

---

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

**TESI DI LAUREA**

***"PROGETTO DI IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE  
PER ABITAZIONE CIVILE"***

LAUREANDO:

***BETTINI MASSIMO***

*Matr. 0000106237*

RELATORE:

*Chiar.mo Prof. Ing. GAMBERI MAURO*

*DISCIPLINA: Impianti meccanici*

---

ANNO ACCADEMICO 2008-2009

III SESSIONE

---



# Indice

<b>Prefazione.....</b>	<b>5</b>
<b>Cap. 1 - Definizione delle superfici disperdenti.....</b>	<b>7</b>
1.1 <i>Proprietà delle pareti opache.....</i>	<i>7</i>
1.2 <i>Verifica relativa al comportamento estivo.....</i>	<i>8</i>
1.3 <i>Verifica relativa al comportamento invernale.....</i>	<i>9</i>
1.4 <i>Verifica termoigrometrica della parete.....</i>	<i>12</i>
1.5 <i>Verifica delle caratteristiche termiche dinamiche.....</i>	<i>13</i>
1.6 <i>Tipologie di pareti presenti nel fabbricato.....</i>	<i>14</i>
1.7 <i>Rilievo delle superfici disperdenti.....</i>	<i>36</i>
1.8 <i>Calcolo del perimetro e del volume dei locali riscaldati.....</i>	<i>45</i>
1.9 <i>Calcolo del fabbisogno di potenza termica.....</i>	<i>49</i>
<b>Cap. 2 - Progettazione dei pannelli radianti a pavimento.....</b>	<b>53</b>
2.1 <i>Generalità sui pannelli radianti.....</i>	<i>53</i>
2.2 <i>Progetto in dettaglio dei pannelli a pavimento....</i>	<i>56</i>
2.3 <i>Calcolo della portata e del salto di pressione....</i>	<i>60</i>
<b>Cap. 3 - Dimensionamento della macchina termica.....</b>	<b>70</b>
3.1 <i>Progetto della rete di alimentazione dei collettori.....</i>	<i>70</i>

---

3.2 Dimensionamento della rete di alimentazione dei collettori.....	76
3.3 Scelta della pompa di calore.....	84
<b>Cap. 4 - Fabbisogno di acqua calda sanitaria.....</b>	<b>93</b>
4.1 Calcolo del fabbisogno di acqua calda.....	93
4.2 Dimensionamento del bollitore ad accumulo.....	95
4.3 Fabbisogno energetico per acqua calda.....	99
<b>Cap. 5 - Verifiche di legge sull'impianto.....</b>	<b>105</b>
5.1 Calcolo dei rendimenti dell'impianto.....	105
5.2 Verifiche di legge secondo normativa nazionale...	110
5.3 Verifiche di legge secondo normativa regionale...	113
5.4 Certificazione energetica.....	117
<b>Conclusioni.....</b>	<b>125</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>127</b>
<b>Allegati.....</b>	<b>129</b>
<i>Planimetria dell'abitazione</i>	
<i>Progetto dei pannelli radianti a pavimento</i>	
<i>Progetto della rete di alimentazione dei collettori</i>	

## **Prefazione**

Questa tesi di laurea descrive la progettazione di un impianto di riscaldamento di un edificio civile (villetta bifamiliare) eseguito rispettando i vincoli della normativa vigente.

Il fabbricato (di nuova costruzione) è sito nel comune di Castel S. Pietro Terme (BO).

Il lavoro di progettazione verrà svolto presso lo studio termotecnico del dott. ing. Sergio Beltrami con la collaborazione dell'ing. Lelli Claudio.

Il testo è suddiviso in capitoli per meglio evidenziare i vari passi che verranno compiuti per arrivare alla progettazione definitiva dell'impianto.

Si procederà al rilievo di tutte le superfici disperdenti del fabbricato al fine di definire la potenza termica necessaria a mantenere la temperatura desiderata in ogni ambiente. Per fare ciò ci si baserà sulla planimetria fornita dall'architetto progettista dello stabile.

Si dimensioneranno quindi i pannelli radianti a pavimento in modo da soddisfare la richiesta di potenza termica precedentemente calcolata.

Se necessario si provvederà al dimensionamento di eventuali radiatori integrativi nei locali ove se ne presentasse la necessità.

Si andrà poi a quantificare l'energia necessaria a soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria seguendo la norma UNI TS 11300.

Verrà poi scelta la tipologia e la taglia della macchina termica in base alle esigenze termiche e logistiche del caso, una volta dimensionato il resto dell'impianto e appurata la potenza termica

necessaria.

Una volta completata la progettazione dell'impianto di eseguirà la classificazione energetica dell'edificio; verranno poi messe in evidenza le eventuali modifiche necessarie al miglioramento della classe energetica precedentemente ottenuta.

Si stabilirà poi quali di queste modifiche possano essere economicamente vantaggiose in rapporto al risparmio energetico che consegue dalla loro adozione.

In allegato verranno inclusi i riferimenti alle normative utilizzate durante l'iter progettuale e le planimetrie dell'edificio in cui è installato l'impianto.

# Capitolo 1

## Definizione delle superfici disperdenti

### 1.1 Proprietà delle pareti opache

Il primo passo nella progettazione dell'impianto consiste nella definizione delle tipologie di pareti disperdenti presenti nel progetto del fabbricato definito dall'architetto. Per pareti disperdenti si intendono tutti quei divisori che separano un ambiente riscaldato da un ambiente non riscaldato.

Ognuna di queste pareti dovrà essere analizzata strato per strato considerando lo spessore e le proprietà fisiche di ogni materiale componente gli strati in questione.

Si dovrà poi verificare che le proprietà complessive delle pareti disperdenti rispondano alle richieste imposte dalla legge ed alle esigenze termiche ed igrometriche dell'edificio.

Per effettuare le verifiche ci si avvale del software EC601 dell'azienda Edilclima. Il software ha in memoria una libreria di materiali con tutte le proprietà fisiche associate; definendo i materiali di cui è composta la parete ed i relativi spessori andrà a calcolare le proprietà complessive della parete.

Per ogni parete verranno calcolate le seguenti proprietà:

- spessore totale;
- massa superficiale;
- conduttanza unitaria superficiale interna;
- conduttanza unitaria superficiale esterna;
- trasmittanza totale;
- resistenza unitaria superficiale interna;

- resistenza unitaria superficiale esterna;
- resistenza termica totale;
- trasmittanza termica periodica;
- fattore di attenuazione;
- sfasamento dell'onda termica.

## **1.2 Verifica relativa al comportamento estivo**

La prima verifica che si dovrà effettuare sarà quella sulla massa superficiale; questo controllo si rende necessario più per le prestazioni estive che per quelle invernali della parete.

Si è notato sperimentalmente che l'isolamento termico estivo dipende in gran parte dalla massa superficiale della parete.

Il decreto del Presidente della Repubblica n° 59 del 2 aprile 2009 art. 4 comma 18 affronta questo problema e regola in maniera più precisa rispetto al decreto legislativo n° 192 del 19 agosto 2005 (già leggermente modificato mediante il decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006) le verifiche da effettuare in questo caso.

Tali decreti sono stati recepiti anche a livello regionale da parte dell'Emilia Romagna mediante la delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008.

Questa verifica è prevista per tutti gli edifici ad eccezione di quelli classificati come E.5, E.6, E.7, E.8, nelle località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, è maggiore o uguale a 290 W/m<sup>2</sup>; la classificazione degli edifici viene eseguita secondo il decreto del Presidente della Repubblica n° 412 del 26 agosto 1993 art. 4 in base alla destinazione d'uso.

Il fabbricato in esame, in quanto abitazione adibita a residenza con carattere continuativo, rientra nella tipologia E.1.

Per la zona ove è sito il fabbricato (comune di Castel S. Pietro Terme, provincia di Bologna) risulta da tabella UNI 10349 un



valore massimo di irradianza pari a  $306 \text{ W/m}^2$ . Il caso in esame rientra dunque nella casistica in cui deve essere effettuata la verifica.

La verifica in questione prevede che per le pareti verticali opache sia verificata una di queste condizioni:

- 1) il valore della massa superficiale delle pareti sia superiore a  $230 \text{ kg/m}^2$ ;
- 2) il valore del modulo della trasmittanza termica periodica sia inferiore a  $0,12 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .

In pratica si andrà a verificare la prima condizione, in quanto risulta più semplice da ottenere.

Per le pareti opache orizzontali o inclinate è prevista la verifica sulla sola trasmittanza termica periodica, che deve risultare inferiore al valore  $0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .

### **1.3 Verifica relativa al comportamento invernale**

La seconda verifica da effettuare sarà sulla trasmittanza delle pareti. Questa proprietà influenza principalmente il comportamento invernale della parete, nel periodo in cui è in funzione l'impianto di riscaldamento oggetto del presente lavoro.

La normativa che si occupa dei limiti di trasmittanza per le varie pareti è il decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006 allegato C; questa legge assegna un limite superiore alle trasmittanze delle varie pareti opache in base al periodo di messa in opera dell'impianto e alla zona climatica in cui è sito l'edificio dove si deve installare l'impianto.

La classificazione della zona climatica è prevista a norma di legge dal decreto del Presidente della Repubblica n° 412 del 26 agosto 1993 art. 2; questa classificazione è indipendente dalla localizzazione geografica del comune, ma è in funzione della misurazione dei gradi-giorno.

Al comune di Castel S. Pietro Terme (BO) corrisponde una

classificazione di zona climatica di tipo E.

Per quanto riguarda il limite di trasmittanza a scadenza temporale, si terrà conto del valore più restrittivo, decorrente dal 1° gennaio 2010.

Nelle tabelle 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5 di seguito riportate vengono illustrati questi limiti per ogni tipologia di parete; il valore evidenziato dal rettangolo nero sarà quello preso come riferimento nel nostro progetto.

**Tabella 1-1**

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache, espressa in  $W/m^2K$

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2008 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2010 U ( $w/m^2K$ )
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,4
D	0,5	0,4	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

**Tabella 1-2**

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, espressa in  $W/m^2K$

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2008 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2010 U ( $w/m^2K$ )
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Tabella 1-3

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali in pavimento, espressa in  $W/m^2K$

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2008 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2010 U ( $w/m^2K$ )
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Tabella 1-4

Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi, espressa in  $W/m^2K$

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2008 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2010 U ( $w/m^2K$ )
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,4	2,2
F	2,4	2,2	2,0

Tabella 1-5

Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri, espressa in  $W/m^2K$

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2008 U ( $w/m^2K$ )	Dall'1 gennaio 2010 U ( $w/m^2K$ )
A	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,4	2,7
C	3,0	2,3	2,1
D	2,6	2,1	1,9
E	2,4	1,9	1,7
F	2,3	1,7	1,3

#### **1.4 Verifica termoigrometrica della parete**

La verifica termoigrometrica delle pareti serve per controllare che non sussistano problemi di condensa in superficie o negli strati interni.

Tale controllo viene eseguito dal software tenendo conto dei dati di permeabilità al vapore dei vari strati della parete e dei valori di temperatura e pressione sulla superficie interna ed esterna della parete stessa.

La verifica si basa sull'intersezione della curva della pressione di vapor saturo lungo lo spessore della parete con la curva dell'andamento della pressione reale nel medesimo spessore; dove la curva della pressione reale supera quella della pressione di vapor saturo avviene il fenomeno della condensa.

Questa verifica viene eseguita per tutti i mesi dell'anno, in quanto le condizioni di pressione e temperatura sono notevolmente mutevoli nell'arco dell'annualità.

Nel caso in cui si verifichi condensa (tipicamente ciò avviene nei mesi invernali più freddi) la verifica non è per forza di cose non superata; è tollerata una certa quantità di condensa, ammesso che questa riesca ad evaporare durante i mesi più caldi.

Sostanzialmente la cosa importante è che la condensa di vapor d'acqua non si accumuli nel susseguirsi degli anni, ma di volta in volta in estate evapori quella che si è eventualmente formata nei mesi invernali precedenti.

## 1.5 Verifica delle caratteristiche termiche dinamiche

La verifica delle caratteristiche termiche dinamiche delle pareti è richiesta dalla delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 della regione Emilia Romagna. In particolare il requisito 6.4 dell'allegato 3, in merito al contenimento dei consumi energetici in regime estivo, impone dei limiti ai valori del fattore di attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica delle pareti.

Si richiede in particolare che ogni parete opaca raggiunga una classe di prestazione non inferiore alla classe III. Ciò implica, consultando la tabella C.2 del medesimo allegato, i seguenti limiti per S (sfasamento dell'onda termica) e per fa (fattore di attenuazione):

- $S > 8$  ore
- $fa \leq 0,4$

Questa normativa limita dunque dei parametri diversi rispetto alla normativa nazionale in merito al comportamento estivo delle pareti (che impone un limite alla trasmittanza termica periodica), ma il fine è comunque lo stesso: imporre un limite inferiore per l'isolamento termico in regime estivo, in modo da contenere la spesa energetica per il raffrescamento.

Inoltre la trasmittanza termica periodica è funzione del coefficiente di attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica, quindi i due limiti risultano ridondanti.

Tuttavia la normativa impone di verificarli entrambi, quindi il software effettuerà tutti e due i controlli e fornirà in output tutti e tre i parametri.

## 1.6 Tipologie di pareti presenti nel fabbricato

Di seguito verranno elencate le varie tipologie di pareti disperdenti che è possibile identificare dalla planimetria del fabbricato:

- M1: parete esterna rasata
- M2: parete interna verso zone non riscaldate
- M3: porta blindata esterna
- M4: parete contro terreno
- M5: porta interna
- P1: pavimento su terreno
- P2: pavimento su zone non riscaldate
- P3: pavimento su esterno
- S1: soffitto
- S2: pavimento esterno su zone riscaldate

Si procederà poi all'analisi mediante software delle varie tipologie di pareti per effettuare tutte le verifiche precedentemente descritte.

Le porte devono essere considerate come pareti opache a tutti gli effetti.

La trasmittanza totale della parete viene calcolata dal software partendo dai dati presenti nel suo database, relativi ad ogni tipologia di materiale costituente i vari strati della suddetta parete; il programma non farà altro che applicare, per ogni parete, la seguente formula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{C_j} \right) + \frac{1}{\alpha_e}}$$

con:

- $U$  = trasmittanza totale, espressa in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\alpha_i$  = conduttanza unitaria superficiale interna, espressa in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $n$  = numero totale degli strati costituenti la parete;
- $s_j$  = spessore dello strato  $j$ -esimo, espresso in metri;
- $\lambda_j$  = conduttività termica del materiale costituente lo strato  $j$ -esimo, espressa in  $W/(m \cdot K)$ ;
- $C_j$  = conduttanza termica del materiale costituente lo strato  $j$ -esimo, espressa in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\alpha_e$  = conduttanza unitaria superficiale esterna, espressa in  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Di seguito vengono mostrati i risultati forniti come output dal software, dopo aver inserito in input la conformazione degli strati delle pareti.

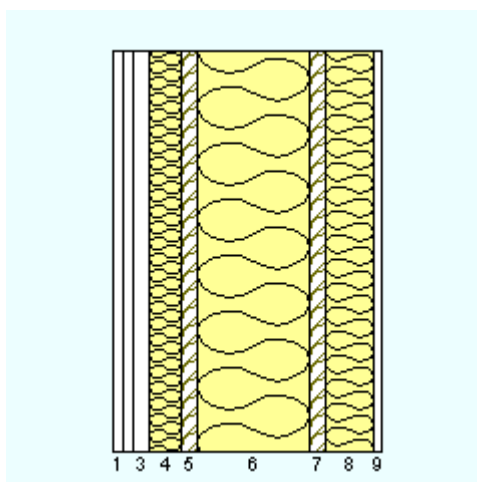
**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PARETE ESTERNA RASATA**Codice struttura **M1**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039
2	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039
3	Aria non ventilata (fl.orizz.)	20	0,114	5,714	0	400,000	400,000	0,175
4	Pannello in fibra di legno STEICO FLEX	40	0,038	0,950	50	40,000	40,000	1,053
5	Pannelli di trucioli di legno pressati	20	0,150	7,500	700	1,869	3,922	0,133
6	Pannello in fibra di legno STEICO FLEX	140	0,038	0,271	50	40,000	40,000	3,684
7	Pannelli di trucioli di legno pressati	20	0,150	7,500	700	1,869	3,922	0,133
8	Pann. fibra di legno DIFFUTHERM PAVATEX	60	0,044	0,733	190	40,000	40,000	1,364
9	Intonaco plastico per cappotto	10	0,300	30,000	1300	6,667	6,667	0,033

		Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>335</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>63</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,146</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>6,851</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,2	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846



---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,011</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,074</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-15,578</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 37 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 727 [Pa]

## Simbologia

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta_a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta_u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

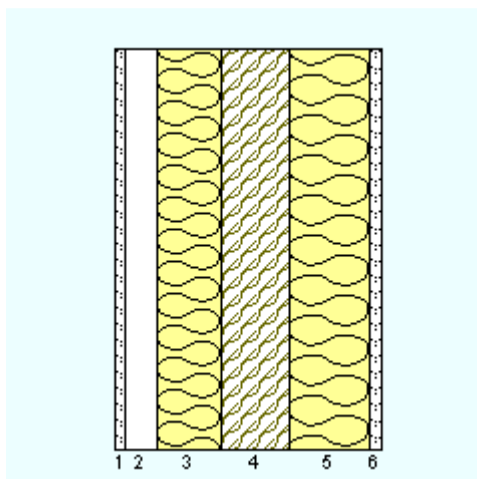
**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PARETE INTERNA SPESSA VERSO ZONE NON RISCALDATE**Codice struttura **M2**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039
2	Aria non ventilata (fl.orizz.)	40	0,222	5,556	0	800,000	800,000	0,180
3	Pann. fibra di legno DIFFUTHERM PAVATEX	80	0,044	0,550	190	40,000	40,000	1,818
4	Legno di pino flusso perpend. alle fibre	85	0,150	1,765	550	4,651	4,651	0,567
5	Pann. fibra di legno DIFFUTHERM PAVATEX	100	0,044	0,440	190	40,000	40,000	2,273
6	intonaco generico	15	1,000	66,667	1600	10,000	10,000	0,015

		Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>333</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	7,692	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,130
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>119</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,194</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>5,152</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	9,7	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,007</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,038</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-18,000</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 362 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a \_\_\_\_\_ [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 750 [Pa]

**Simbologia**

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta_a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta_u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

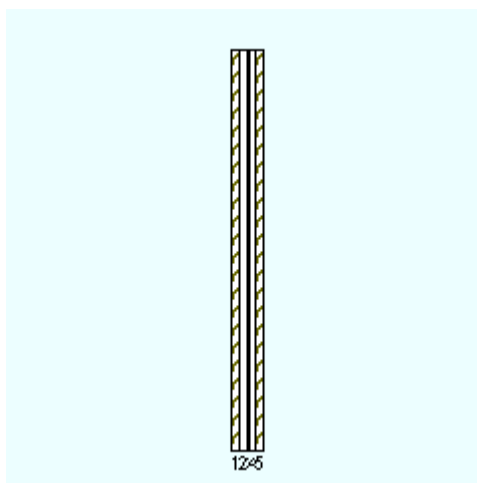
**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PORTA BLINDATA ESTERNA**Codice struttura **M3**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Pannelli di trucioli di legno estrusi	10	0,170	17,000	700	9,524	9,524	0,059
2	Aria non ventilata (fl.orizz.)	10	0,067	6,667	0	200,000	200,000	0,150
3	Lamiera di acciaio	2	52,00	26000	7800	0,000	0,000	0,000
4	Aria non ventilata (fl.orizz.)	6	0,050	8,333	0	120,000	120,000	0,120
5	Pannelli di trucioli di legno estrusi	10	0,170	17,000	700	9,524	9,524	0,059

		Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>38</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>30</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>1,711</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>0,585</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,2	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>1,680</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,982</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-1,099</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 2911 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]

## Simbologia

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

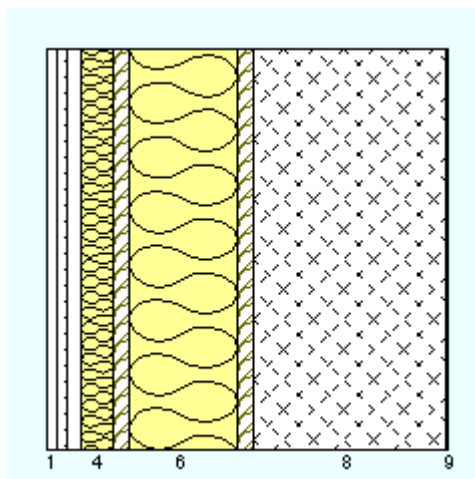
Tipo di struttura: **PARETE CONTRO TERRENO**

Codice struttura

**M4**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039
2	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039
3	Aria non ventilata (fl.orizz.)	20	0,114	5,714	0	400,000	400,000	0,175
4	Pannello in fibra di legno STEICO FLEX	40	0,038	0,950	50	40,000	40,000	1,053
5	Pannelli di trucioli di legno pressati	20	0,150	7,500	700	1,869	3,922	0,133
6	Pannello in fibra di legno STEICO FLEX	140	0,038	0,271	50	40,000	40,000	3,684
7	Pannelli di trucioli di legno pressati	20	0,150	7,500	700	1,869	3,922	0,133
8	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	250	1,910	7,640	2400	2,000	3,333	0,131
9	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	2	0,160	80,000	1400	0,004	0,004	0,013

		Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>517</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>654</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,179</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>5,597</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	14,3	1629
Estiva (luglio)	25,5	2120	14,3	1629

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,009</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,049</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-17,498</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 143 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 782 [Pa]

**Simbologia**

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta_a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta_u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

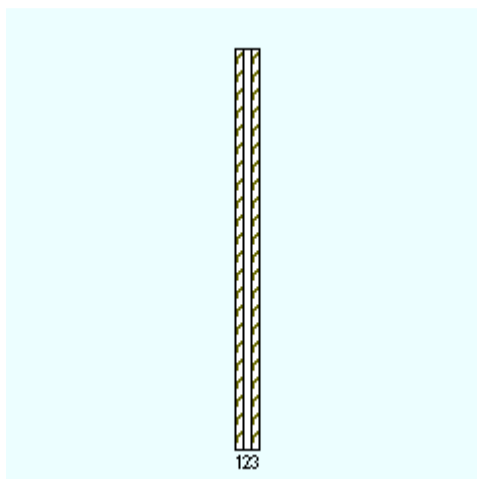
Tipo di struttura: **PORTA INTERNA**

Codice struttura

**M5**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083
2	Aria non ventilata (fl.orizz.)	10	0,067	6,667	0	200,000	200,000	0,150
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083

		Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>30</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	7,692	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,130
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>9</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>1,734</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>0,577</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	9,7	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846



---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>1,715</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,989</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-0,803</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 400 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a \_\_\_\_\_ [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 400 [Pa]

**Simbologia**

s	Spessore dello strato	$\delta_a$	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
$\lambda$	Conduttività	$\delta_u$	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
$\rho$	Massa volumica	Pe	Pressione parziale esterna		

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

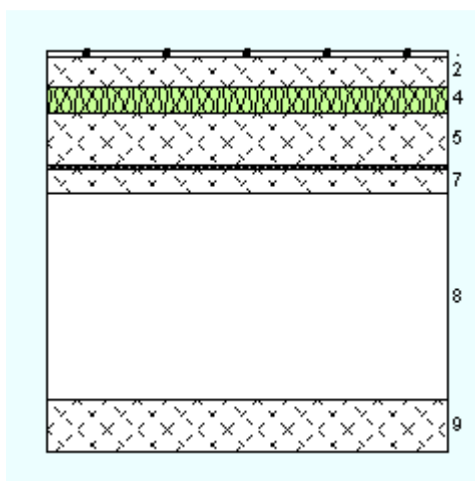
Tipo di struttura: **PAVIMENTO SU TERRENO**

Codice struttura

**P1**

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Piastrelle in ceramica	10	1,000	100	2300	1,000	1,000	0,010
2	Caldana additivata per pannelli	60	1,000	16,667	1800	6,667	6,667	0,060
3	Polietilene, bassa massa volumica	0,2	0,330	1650	920	0,002	0,002	0,001
4	Polistirene espanso, estruso con pelle	50	0,036	0,720	30	1,000	1,000	1,389
5	C.l.s. di polistirolo	100	0,130	1,300	500	40,000	40,000	0,769
6	Impermeabilizzazione con guaina finit. in ardesia	8	0,230	28,750	1200	0,004	0,004	0,035
7	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	50	2,150	43,000	2400	2,000	3,333	0,023
8	Aria non ventilata (fl.discend.)	400	1,739	4,348	0	8000,000	8000,000	0,230
9	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	100	2,150	21,500	2400	2,000	3,333	0,047

		Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>778</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>552</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,357</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>2,800</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	14,1	1608
Estiva (luglio)	25,5	1794	14,1	1608

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,033</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,092</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-15,413</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 1,42 E-01 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 978 [Pa]

## Simbologia

s Spessore dello strato  
λ Conduttività  
C Conduttanza  
ρ Massa volumica

δ a Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
δ u Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

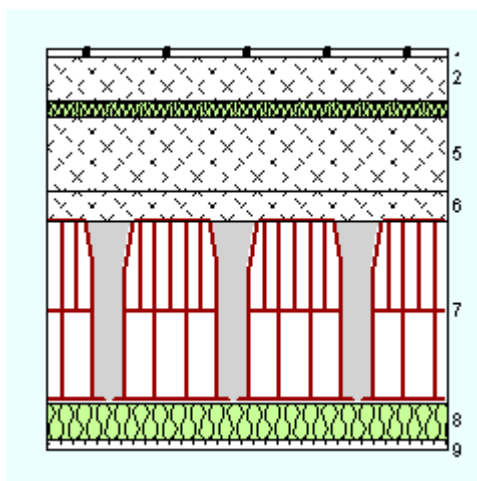
Tipo di struttura: PAVIMENTO SU ZONE NON RISCALDATE

Codice struttura

P2

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Piastrelle in ceramica	10	1,000	100	2300	1,000	1,000	0,010
2	Caldana additivata per pannelli	60	1,000	16,667	1800	6,667	6,667	0,060
3	Polietilene, bassa massa volumica	0,2	0,330	1650	920	0,002	0,002	0,001
4	Polistirene espanso, estruso con pelle	20	0,036	1,800	30	1,000	1,000	0,556
5	C.l.s. di polistirolo	100	0,130	1,300	500	40,000	40,000	0,769
6	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	40	1,910	47,750	2400	2,000	3,333	0,021
7	Blocco da solaio 24	240	0,615	2,563	842	22,222	22,222	0,390
8	Polistirene espanso, estruso con pelle	50	0,036	0,720	30	1,000	1,000	1,389
9	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039

		Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>533</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>481</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,280</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>3,571</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	9,7	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,006</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,021</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-17,688</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 622 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a \_\_\_\_\_ [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 720 [Pa]

## Simbologia

s	Spessore dello strato	$\delta_a$	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
$\lambda$	Conduttività	$\delta_u$	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
$\rho$	Massa volumica	Pe	Pressione parziale esterna		

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

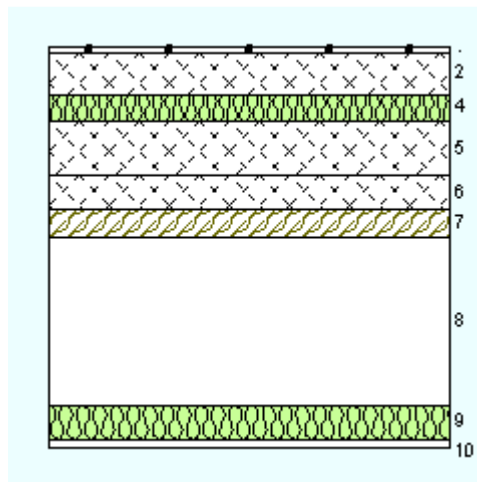
Tipo di struttura: PAVIMENTO SU ESTERNO

Codice struttura

P3

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Piastrelle in ceramica	10	1,000	100	2300	1,000	1,000	0,010
2	Caldana additivata per pannelli	60	1,000	16,667	1800	6,667	6,667	0,060
3	Polietilene, bassa massa volumica	0,2	0,330	1650	920	0,002	0,002	0,001
4	Polistirene espanso, estruso con pelle	40	0,036	0,900	30	1,000	1,000	1,111
5	C.l.s. di polistirolo	80	0,130	1,625	500	40,000	40,000	0,615
6	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	50	1,910	38,200	2400	2,000	3,333	0,026
7	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	40	0,120	3,000	450	0,311	0,935	0,333
8	Aria non ventilata (fl.discend.)	250	1,099	4,396	0	5000,000	5000,000	0,228
9	Polistirene espanso, estruso con pelle	50	0,036	0,720	30	1,000	1,000	1,389
10	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039

		Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>593</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>312</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,247</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>4,049</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,2	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,009</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,038</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-14,223</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 84 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a \_\_\_\_\_ [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 666 [Pa]

**Simbologia**

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta_a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta_u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

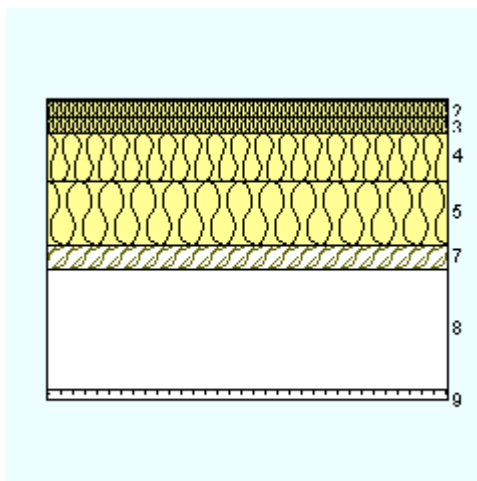
Tipo di struttura: SOFFITTO

Codice struttura

S1

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Impermeabilizzazione con bitume	4	0,170	42,500	1200	0,004	0,004	0,024
2	Pannello in fibra di legno NATURAIOLANT NATURATEX	20	0,046	2,300	220	40,000	40,000	0,435
3	Pannello in fibra di legno NATURAIOLANT NATURATEX	20	0,046	2,300	220	40,000	40,000	0,435
4	Pannello in fibra di legno NATURATEX NATURATHERM	60	0,040	0,667	170	40,000	40,000	1,500
5	Pannello in fibra di legno NATURATEX NATURATHERM	80	0,040	0,500	170	40,000	40,000	2,000
6	Freno al vapore RIWEGA USB MICRO 0.4 mm	0,4	35,00	87500	350	0,040	0,040	0,000
7	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	30	0,120	4,000	450	0,311	0,935	0,250
8	Aria non ventilata (fl.ascend.)	150	0,938	6,250	0	3000,000	3000,000	0,160
9	Pannello di cartongesso	13	0,600	46,154	750	25,000	25,000	0,022

		Conduttanza unitaria superficiale interna	10,000	Resistenza unitaria superficiale interna	0,100
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>377</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>51</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,200</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>4,992</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,2	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846



---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,033</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,167</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-14,195</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 63 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 695 [Pa]

## Simbologia

s Spessore dello strato  
 $\lambda$  Conduttività  
C Conduttanza  
 $\rho$  Massa volumica

$\delta_a$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
 $\delta_u$  Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

**CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO**

secondo UNI EN 832 - UNI 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

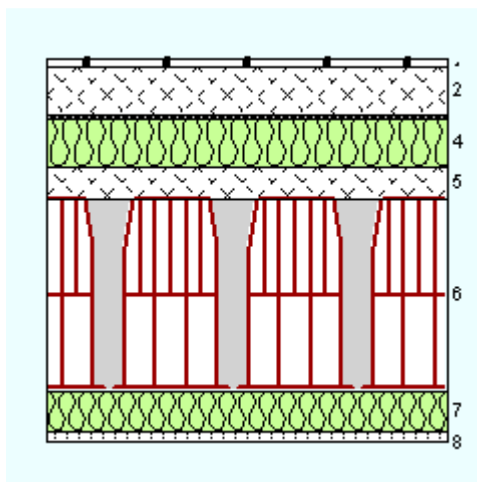
Tipo di struttura: PAVIMENTO ESTERNO SU ZONE RISCALDATE

Codice struttura

S2

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Piastrelle in klinker	10	1,500	150	2500	0,667	0,667	0,007
2	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	60	1,490	24,833	2200	2,857	2,857	0,040
3	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
4	Polistirene espanso, estruso con pelle	60	0,036	0,600	30	1,000	1,000	1,667
5	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	40	1,910	47,750	2400	2,000	3,333	0,021
6	Blocco da solaio 24	240	0,615	2,563	842	22,222	22,222	0,390
7	Polistirene espanso, estruso con pelle	50	0,036	0,720	30	1,000	1,000	1,389
8	Pannello in gessofibra Fermacell spess. 12,5	12,5	0,320	25,600	1150	15,385	15,385	0,039

		Conduttanza unitaria superficiale interna	10,000	Resistenza unitaria superficiale interna	0,100
<b>Spessore totale [mm]</b>	<b>478</b>	Conduttanza unitaria superficiale esterna	14,947	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,067
<b>Massa superficiale [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>464</b>	<b>TRASMITTANZA TOTALE [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,267</b>	<b>RESISTENZA TERMICA TOTALE [m<sup>2</sup>K/W]</b>	<b>3,745</b>

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA**

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,2	641
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1846

---

<b>Trasmittanza periodica</b>	<b>0,009</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Fattore di attenuazione</b>	<b>0,035</b>	<b>-</b>
<b>Sfasamento dell'onda</b>	<b>-13,879</b>	<b>h</b>

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a \_\_\_\_\_ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 49 [g/m<sup>2</sup>]  
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.  
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 657 [Pa]

**Simbologia**

s Spessore dello strato  
λ Conduttività  
C Conduttanza  
ρ Massa volumica

δ a Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%  
δ u Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%  
R Resistenza termica dello strato  
Pe Pressione parziale esterna

Ti Temperatura interna  
Te Temperatura esterna  
Pi Pressione parziale interna

## **1.7 Rilievo delle superfici disperdenti**

Si procede ora contrassegnando sulla planimetria del fabbricato fornita dall'architetto tutti i locali che necessitano di riscaldamento.

Come si evince dalle planimetrie si può notare che la villetta bifamiliare in questione risulta perfettamente simmetrica rispetto all'asse mediano verticale.

Si prenderà in esame dunque il solo appartamento di sinistra in quanto le superfici disperdenti dell'appartamento di destra saranno le medesime, ribaltate rispetto all'asse di simmetria.

Di seguito le figure 1-1, 1-2, 1-3 mostrano come sono stati numerati i vari locali dei vari piani; nella figura 1-1 è visibile il piano interrato, nella figura 1-2 il piano terra e nella figura 1-3 il primo piano.

Le planimetrie si considerino orientate con il Nord verso l'alto del foglio, il Sud verso il basso, l'Est a destra e l'Ovest a sinistra.

Figura 1-1

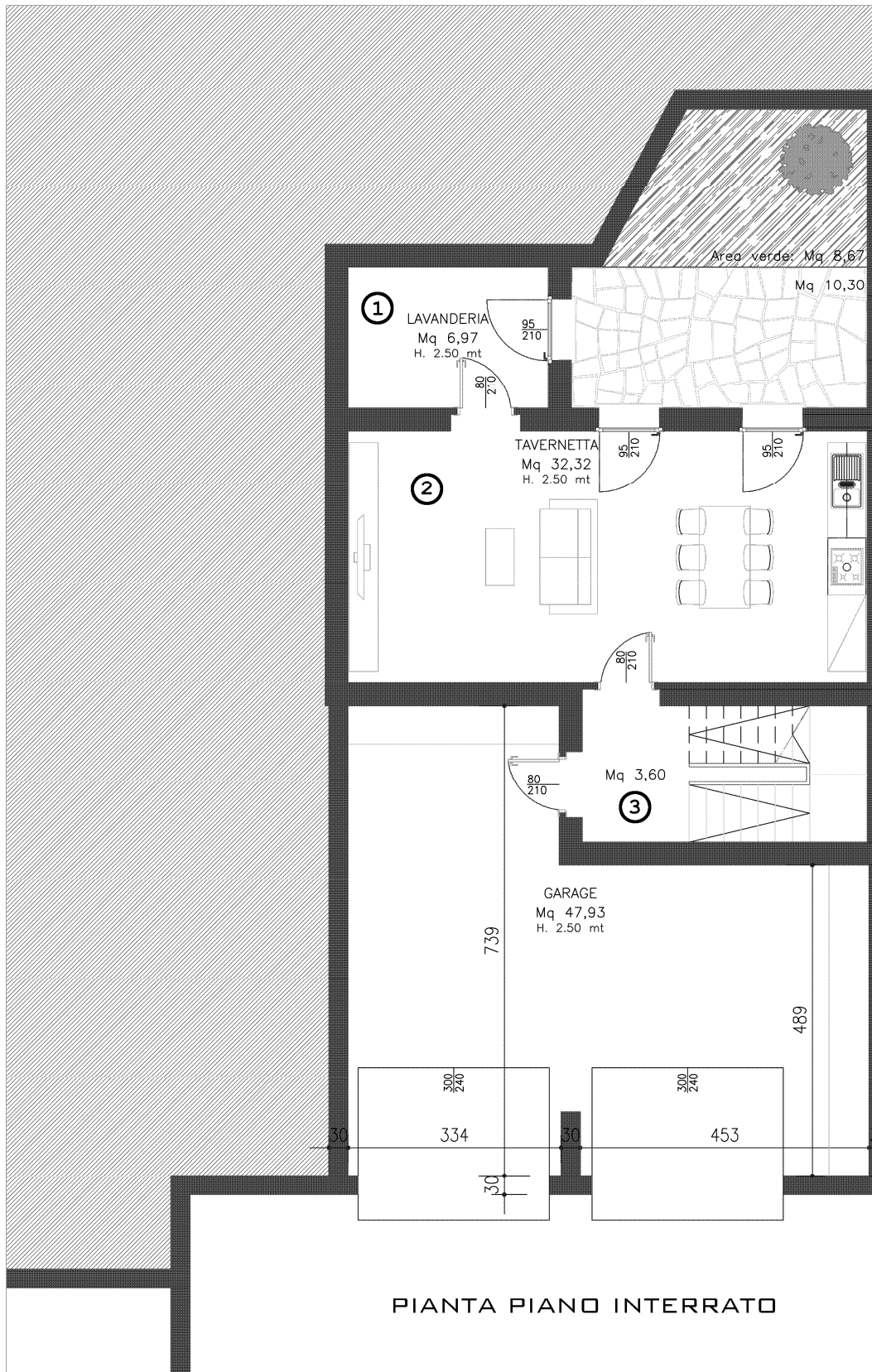


Figura 1-2

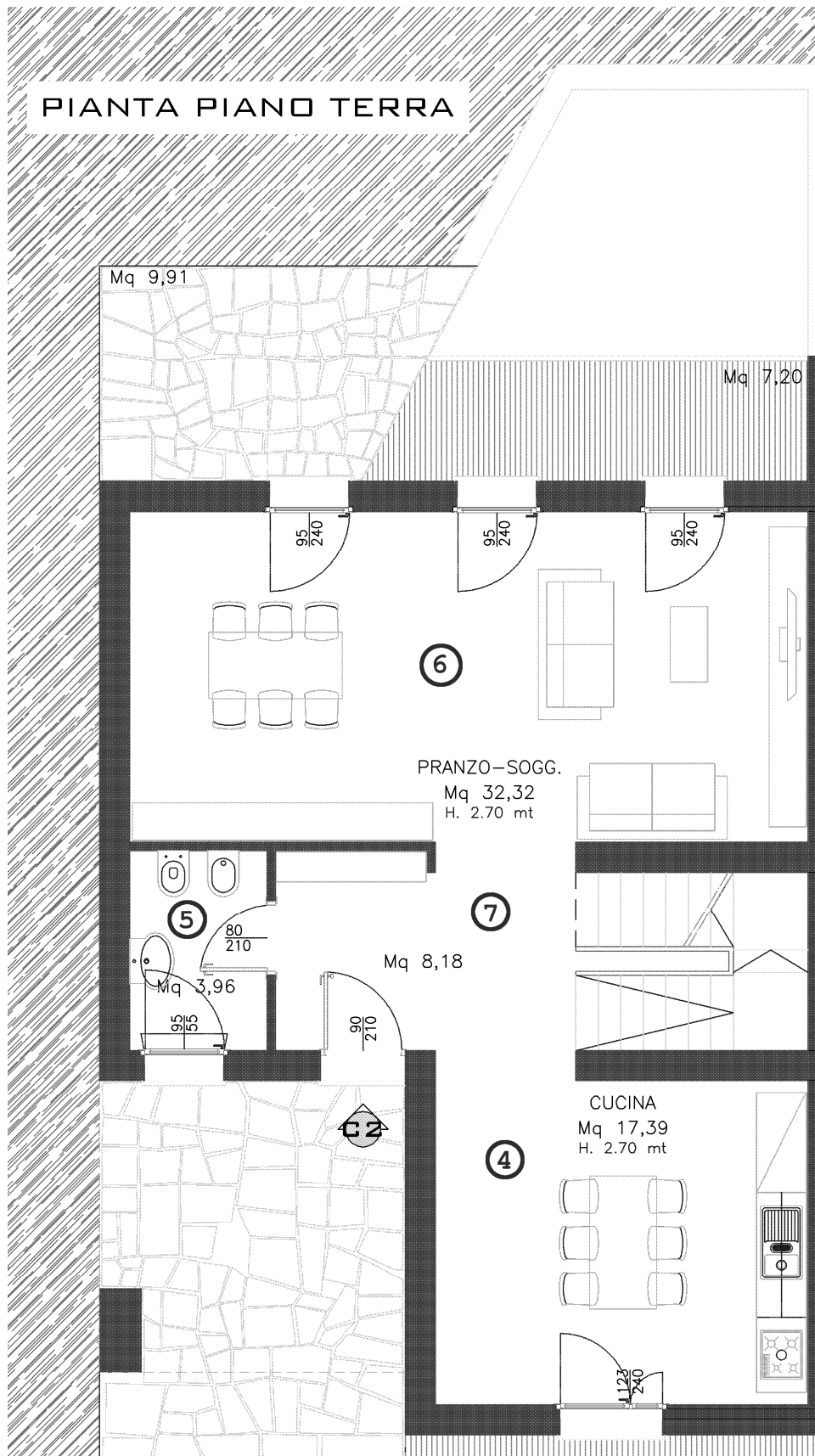
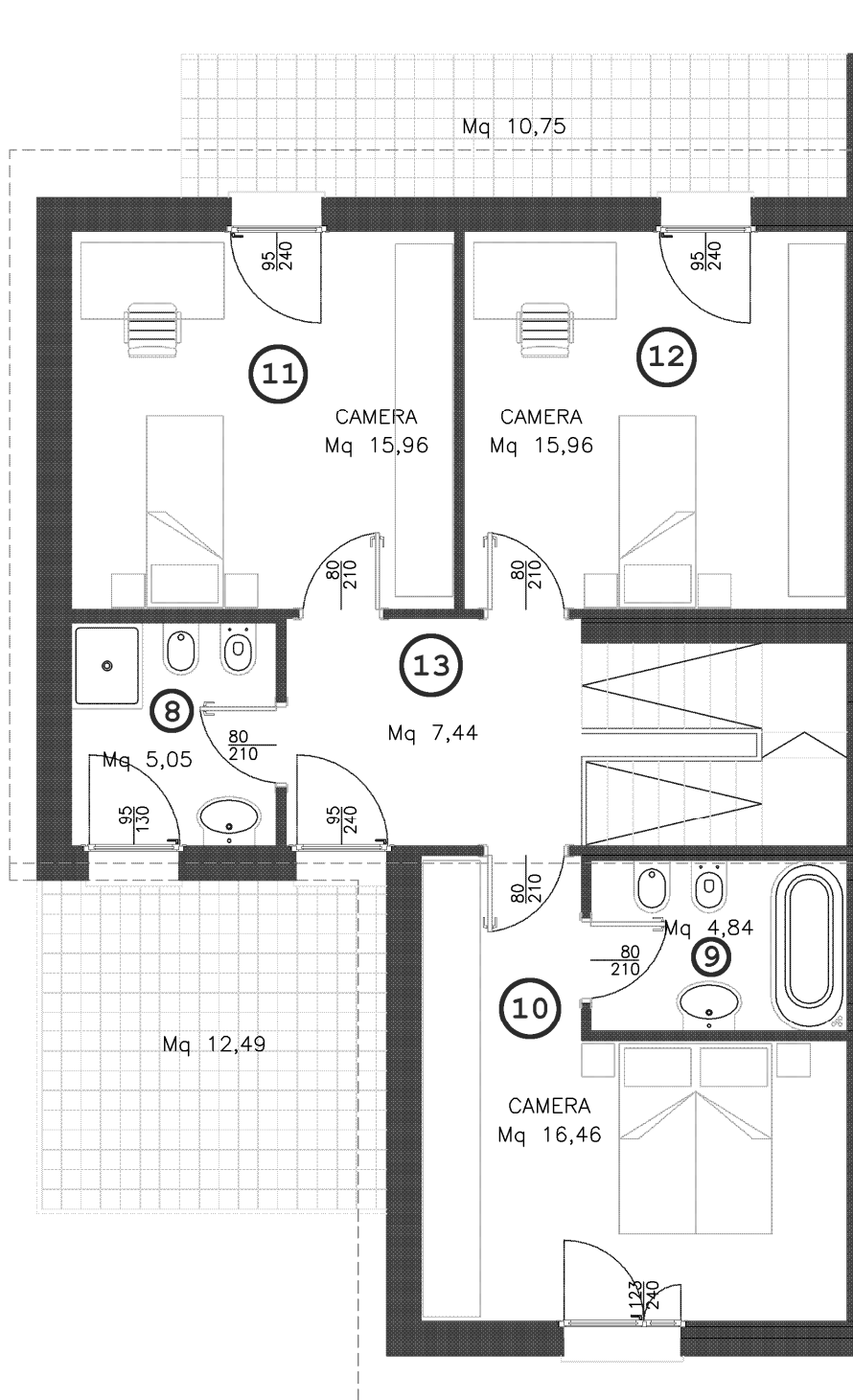


Figura 1-3



PIANTA PIANO PRIMO

Si andranno poi a elencare per ogni vano da riscaldare una serie di proprietà che saranno utili al software per calcolare la dispersione di calore totale.

Dovranno essere messi in evidenza in particolare i seguenti elementi:

- volume netto del locale: altezza netta x pianta netta;
- pianta lorda del locale.

Sarà necessario conoscere il volume netto del locale poichè si considera un ricambio d'aria in volume, dovuto a spifferi ed eventuali aperture delle finestre, pari a metà del volume netto del vano per ogni ora.

Per ogni locale andranno individuate tutte le pareti disperdenti. Per ognuna di esse si dovrà indicare:

- tipologia della parete (in relazione a quelle individuate ed elencate al paragrafo 1.5);
- orientamento secondo i punti cardinali, nel caso in cui la parete sia oggetto di irraggiamento solare;
- superficie lorda della parete: larghezza lorda x altezza lorda.

Si rende necessario conoscere l'orientamento cardinale delle pareti disperdenti irraggiate in quanto il software terrà conto di questo fattore nel calcolo della potenza termica dispersa attraverso opportuni coefficienti di sicurezza maggiorativi.

Nella fattispecie questi coefficienti cardinali aumentano la dispersione termica del 20% se la parete è esposta a Nord, del 10% se è esposta ad Ovest, del 15% se è esposta ad Est e dello 0% se è esposta a Sud.

Nel calcolare superfici e lunghezze nette, tali grandezze si considerano senza includere gli spessori dei muri nella misurazione.



Se invece si considerano superfici e lunghezze lorde si dovrà includere nel calcolo la totalità dello spessore del muro se dall'altra parte è presente una zona non riscaldata, o metà dello spessore del muro nel caso in cui dall'altra parte si abbia un vano riscaldato.

Per le altezze lorde in genere si approssima considerando:

$$\text{altezza lorda} = \text{altezza netta} + 0,5 \text{ m}$$

Questa approssimazione, ai fini dei calcoli successivi, non introduce errori apprezzabili.

Si tenga conto che il primo ed ultimo piano ha il soffitto inclinato con una pendenza del 20%, pari ad un angolo di 11,31°. La massima altezza del soffitto si avrà in corrispondenza del colmo del tetto (situato ove indicato sulla planimetria) e risulterà pari a 3,80 m. L'altezza delle pareti opache verticali dei locali appartenenti a questo piano viene dunque calcolata partendo da questo dato e considerando la pendenza sopra indicata. Per ogni locale riscaldato i dati numerici delle pareti disperdenti verranno elencati secondo il seguente schema:

**Locale [numero progressivo]**

[altezza netta] x [superficie netta] (superficie lorda)  
[elenco delle pareti disperdenti]

Per ognuna di tali pareti disperdenti si indicherà:

[tipologia di parete] / [solo se la parete è irraggiata, eventuale orientamento secondo i punti cardinali]

[larghezza lorda] x [altezza lorda]

Nel caso in cui la parete opaca sia un pavimento o un soffitto non si indicherà il prodotto [larghezza lorda] x [altezza lorda], ma verrà riportata la superficie lorda.

Se il soffitto è inclinato, come accade per il primo piano, per valutare la misura delle altezze lorde e nette ci si riferisce al loro valor medio.

Tutte le misure di lunghezza sono da intendersi espresse in metri, mentre tutte le misure di superficie sono espresse in metri al quadrato.

Di seguito viene riportato il rilievo delle pareti disperdenti relativo al fabbricato in esame:

### **Locale 1**

2,50 x 6,97 (10,65)  
F1/E 0,95 x 2,10  
M1/E 2,76 x 3,00 - 0,95 x 2,10  
M4/- 3,86 x 3,00  
M4/- 2,76 x 3,00  
P1/- 10,65  
S2/- 10,65

### **Locale 2**

2,50 x 32,32 (39,18)  
F1/N 0,95 x 2,10  
F1/N 0,95 x 2,10  
M1/N 5,00 x 3,00 - 0,95 x 2,10 x 2  
M4/- 4,51 x 3,00  
M2/- 3,31 x 3,00  
P1/- 39,18

### **Locale 3**

2,50 x 9,57 (13,43)  
M5/- 0,80 x 2,10  
M2/- 2,68 x 3,00 - 0,80 x 2,10  
M2/- 5,01 x 3,00  
P1/- 13,43

**Locale 4**

2,70 x 17,39 (22,19)  
M1/O 4,61 x 3,20  
F3/S 1,23 x 2,40  
M1/S 5,01 x 3,20 - 1,23 x 2,40  
P2/- 22,19

**Locale 5**

2,70 x 3,96 (5,79)  
M1/O 2,81 x 3,20  
F4/S 0,95 \* 0,55  
M1/S 2,11 x 3,20 - 0,95 x 0,55  
P3/- 5,79

**Locale 6**

2,70 x 32,32 (38,68)  
F2/N 0,95 x 2,40  
F2/N 0,95 x 2,40  
F2/N 0,95 x 2,40  
M1/N 8,68 x 3,20 - 0,95 x 2,40 x 3  
M1/O 4,38 x 3,20

**Locale 7**

2,70 x 14,15 (17,13)  
M3/S 0,90 x 2,10  
M1/S 1,97 x 3,20 - 0,90 x 2,10

**Locale 8**

3,58 x 5,05 (7,12)  
M1/O 2,78 x 4,08  
F5/S 0,95 x 1,30  
M1/S 2,61 x 4,30 - 0,95 x 1,30  
S1/- 7,26

**Locale 9** $3,62 \times 4,84 \quad (5,61)$ 

S1/- 5,72

**Locale 10** $3,61 \times 3,28 + 3,12 \times 13,18 \quad (20,53)$ M1/O 5,13  $\times$  3,81F3/S 1,23  $\times$  2,40M1/S 5,01  $\times$  3,32 - 1,23  $\times$  2,40

S1/- 20,94

P3/- 5,56

**Locale 11** $2,90 \times 15,96 \quad (19,45)$ F2/N 0,95  $\times$  2,40M1/N 4,43  $\times$  3,00 - 0,95  $\times$  2,40M1/O 4,40  $\times$  3,40

S1/- 19,83

**Locale 12** $2,90 \times 15,96 \quad (19,00)$ F2/N 0,95  $\times$  2,40M1/N 4,25  $\times$  3,00 - 0,95  $\times$  2,40

S1/- 19,38

**Locale 13** $3,58 \times 13,41 \quad (15,38)$ F2/S 0,95  $\times$  2,40M1/S 1,29  $\times$  4,30 - 0,95  $\times$  2,40

S1/- 15,68

## 1.8 Calcolo del perimetro e del volume dei locali riscaldati

Di seguito si quantificheranno una serie di dati utili a successivi calcoli e comunque richiesti come input dal software per la valutazione del fabbisogno energetico dell'edificio e della potenza termica dissipata dalle pareti.

### Volume totale riscaldato netto:

- locale 1:  $2,50 \times 6,97 = 17,42 \text{ m}^3$
- locale 2:  $2,50 \times 32,32 = 80,80 \text{ m}^3$
- locale 3:  $2,50 \times 9,57 = 23,92 \text{ m}^3$
- locale 4:  $2,70 \times 17,39 = 46,95 \text{ m}^3$
- locale 5:  $2,70 \times 3,96 = 10,69 \text{ m}^3$
- locale 6:  $2,70 \times 32,32 = 87,96 \text{ m}^3$
- locale 7:  $2,70 \times 14,15 = 38,20 \text{ m}^3$
- locale 8:  $3,58 \times 5,05 = 18,08 \text{ m}^3$
- locale 9:  $3,62 \times 4,84 = 17,52 \text{ m}^3$
- locale 10:  $3,61 \times 3,28 +$   
 $3,12 \times 13,18 = 52,96 \text{ m}^3$
- locale 11:  $2,90 \times 15,96 = 46,28 \text{ m}^3$
- locale 12:  $2,90 \times 15,96 = 46,28 \text{ m}^3$
- locale 13:  $2,58 \times 13,41 = 48,01 \text{ m}^3$

=====

TOTALE

534,37 m<sup>3</sup>

Volume totale riscaldato lordo:

- locale 1:  $3,00 \times 10,65 = 31,95 \text{ m}^3$
- locale 2:  $3,00 \times 39,18 = 117,54 \text{ m}^3$
- locale 3:  $3,00 \times 13,43 = 40,29 \text{ m}^3$
- locale 4:  $3,20 \times 22,19 = 71,01 \text{ m}^3$
- locale 5:  $3,20 \times 5,79 = 18,53 \text{ m}^3$
- locale 6:  $3,20 \times 38,68 = 123,78 \text{ m}^3$
- locale 7:  $3,20 \times 17,13 = 54,82 \text{ m}^3$
- locale 8:  $4,08 \times 7,12 = 29,05 \text{ m}^3$
- locale 9:  $4,12 \times 5,61 = 23,11 \text{ m}^3$
- locale 10:  $(3,36 \times 5,01) \times 3,62 +$   
 $(2,09 \times 1,77) \times 4,11 = 76,14 \text{ m}^3$
- locale 11:  $3,40 \times 19,45 = 66,13 \text{ m}^3$
- locale 12:  $3,40 \times 19,00 = 64,60 \text{ m}^3$
- locale 13:  $3,08 \times 15,38 = 62,75 \text{ m}^3$

=====

TOTALE 779,70 m<sup>3</sup>

Superficie totale disperdente:

- locale 1:  $2,76 \times 3,00 + 3,86 \times 3,00 + 3,86 \times 3,00 + 2,76 \times$   
 $3,00 + 10,65 + 10,65 = 49,44 \text{ m}^2$
- locale 2:  $5,00 \times 3,00 + 4,51 \times 3,00 + 3,31 \times 3,00 + 39,18 =$   
 $= 77,64 \text{ m}^2$
- locale 3:  $2,68 \times 3,00 + 5,01 \times 3,00 + 13,43 = 36,50 \text{ m}^2$
- locale 4:  $4,61 \times 3,20 + 5,01 \times 3,20 + 22,19 = 52,97 \text{ m}^2$
- locale 5:  $2,81 \times 3,20 + 2,11 \times 3,20 + 5,79 = 21,53 \text{ m}^2$
- locale 6:  $8,68 \times 3,20 + 4,38 \times 3,20 = 41,79 \text{ m}^2$
- locale 7:  $1,97 \times 3,20 = 6,30 \text{ m}^2$
- locale 8:  $2,78 \times 4,08 + 2,61 \times 4,30 + 7,26 = 29,82 \text{ m}^2$

- locale 9: 5,72 m<sup>2</sup>
- locale 10:  $5,13 \times 3,81 + 5,01 \times 3,32 + 5,56 + 20,94 = 62,68 \text{ m}^2$
- locale 11:  $4,43 \times 3,00 + 4,40 \times 3,40 + 19,83 = 48,08 \text{ m}^2$
- locale 12:  $4,25 \times 3,00 + 19,38 = 32,13 \text{ m}^2$
- locale 13:  $1,29 \times 4,30 + 15,68 \text{ m}^2$

=====

TOTALE

485,83 m<sup>2</sup>

Area lorda totale dei locali riscaldati:

- locale 1: 10,65 m<sup>2</sup>
- locale 2: 39,18 m<sup>2</sup>
- locale 3: 13,43 m<sup>2</sup>
- locale 4: 22,19 m<sup>2</sup>
- locale 5: 5,79 m<sup>2</sup>
- locale 6: 38,68 m<sup>2</sup>
- locale 7: 17,13 m<sup>2</sup>
- locale 8: 7,12 m<sup>2</sup>
- locale 9: 5,61 m<sup>2</sup>
- locale 10: 20,53 m<sup>2</sup>
- locale 11: 19,45 m<sup>2</sup>
- locale 12: 19,00 m<sup>2</sup>
- locale 13: 15,38 m<sup>2</sup>

=====

TOTALE

234,14 m<sup>2</sup>

Area netta totale dei locali riscaldati:

- locale 1: 6,97 m<sup>2</sup>
- locale 2: 32,32 m<sup>2</sup>
- locale 3: 9,57 m<sup>2</sup>
- locale 4: 17,39 m<sup>2</sup>
- locale 5: 3,96 m<sup>2</sup>
- locale 6: 32,32 m<sup>2</sup>
- locale 7: 14,15 m<sup>2</sup>
- locale 8: 5,05 m<sup>2</sup>
- locale 9: 4,84 m<sup>2</sup>
- locale 10: 3,28 + 13,18 = 16,46 m<sup>2</sup>
- locale 11: 15,96 m<sup>2</sup>
- locale 12: 15,96 m<sup>2</sup>
- locale 13: 13,41 m<sup>2</sup>

=====

TOTALE            188,36 m<sup>2</sup>



## 1.9 Calcolo del fabbisogno di potenza termica

Si procederà ora al calcolo della potenza termica necessaria al riscaldamento invernale per ogni singolo locale.

Questo calcolo verrà svolto dal software EC 601 già precedentemente utilizzato, in quanto si tratta di operazioni e calcoli ripetitivi che ben si prestano ad essere eseguiti da un computer.

In realtà il software non farà altro che applicare, per ogni parete disperdente, la formula:

$$P_t = A * S * \Delta t$$

con:

- $P_t$ : potenza termica dispersa per trasmissione;
- $A$ : trasmittanza per unità di superficie della parete;
- $S$ : area della parete;
- $\Delta t$ : differenza di temperatura fra il lato riscaldato della parete e quello rivolto verso zone non riscaldate o esterne.

Ogni parete disperdente avrà dunque una potenza termica associata; sommando le potenze termiche delle pareti componenti un locale avremo il fabbisogno di potenza termica, dovuto alla trasmissione di calore all'esterno, di quel locale.

Come già accennato al paragrafo 1.7, va anche considerata la potenza necessaria al riscaldamento dell'aria nel locale per compensare gli eventuali spifferi e l'apertura saltuaria delle finestre; si considera di dover riscaldare un volume d'aria pari a metà del volume del locale ogni ora, dalla temperatura esterna a quella interna desiderata. Anche questo calcolo verrà effettuato dal software, che non farà altro che applicare per ogni locale la formula:

$$P_v = c * \Delta t * \rho * V * n$$

con:

- $P_v$  = potenza termica dispersa per ventilazione;
- $c$  = calore specifico dell'aria;
- $\Delta t$  = differenza di temperatura fra il locale riscaldato e l'esterno;
- $\rho$  = densità dell'aria;
- $V$  = volume del locale;
- $n$  = numero di ricambi d'aria per ora.

Per far eseguire al programma questi calcoli sarà necessario inserire una serie di dati in input che sono stati calcolati appositamente nel corso della trattazione; in particolare saranno richiesti i seguenti elementi:

- trasmittanza per unità di superficie di ogni singola tipologia di parete (calcolata nel paragrafo 1.6);
- dimensione e orientamento delle pareti disperdenti associate ad ogni locale (descritte nel paragrafo 1.7);
- dimensione e orientamento delle finestre (la cui trasmittanza è ottenuta da una libreria interna al programma);
- coefficienti cardinali (descritti nel paragrafo 1.7);
- coefficiente di sicurezza maggiorativo sul calcolo delle potenze (assunto pari al 5%);
- volumi e superfici dei vari locali (calcolate nel paragrafo 1.8).

L'output che viene fornito in uscita dal programma è riportato in tabella 1-6, con:

- $P_g$  = potenza termica totale ( $P_g = P_t + P_v$ );

- Pgc = potenza termica totale corretta dal coefficiente di sicurezza.

Le potenze sono espresse in Watt.

Tabella 1-6

n° locale	Pt	Pv	Pg	Pgc
1	335	77	412	433
2	562	357	919	965
3	185	106	291	306
4	333	208	541	568
5	127	47	174	183
6	497	386	883	927
7	105	169	274	288
8	180	80	260	273
9	30	77	107	112
10	408	234	642	674
11	332	205	537	564
12	263	205	468	491
13	189	212	401	421
<b>Totali</b>	<b>3546</b>	<b>2363</b>	<b>5909</b>	<b>6204</b>

Per quanto riguarda il raffrescamento estivo si è scelto di condizionare solo i locali n° 2, n° 4, n° 6, n° 10, n°11, n°12. In pratica si è deciso di tralasciare i bagni, le zone di passaggio e la lavanderia.

Poichè il calcolo sul raffrescamento estivo presenta margini di errore maggiori e differenze più pronunciate fra valori ottenuti con il calcolo teorico e valori misurati nella realtà a impianto funzionante, il software effettua questo calcolo nella peggiore

delle ipotesi. Per ogni locale viene calcolato il mese dell'anno in cui è necessaria la maggior potenza raffrescante; la potenza totale risulta la somma di queste potenze, anche se risulta ovvio che, se i mesi e le ore del giorno di massima domanda energetica non coincidono, questa richiesta di potenza non si verifica in nessun periodo dell'anno. Tuttavia risulta un modo per tutelarsi dai sopracitati possibili errori, ponendoci nel caso peggiore di massima potenza teorica richiesta da ogni locale.

In tabella 1.7 sono riportati i dati forniti in output dal software, con:

- $Q_{sen}$  = potenza termica relativa al calore sensibile;
- $Q_{lat}$  = potenza termica relativa al calore latente;
- $Q_{max}$  = potenza termica totale ( $Q_{max} = Q_{sen} + Q_{lat}$ ).

I dati inseriti in input sono i medesimi necessari al riscaldamento invernale, già citati in precedenza.

Le potenze sono espresse in Watt.

Tabella 1-7

Locale	$Q_{sen}$	$Q_{lat}$	$Q_{max}$	Mese	Ora
2	952	396	1348	Giugno	16
4	981	279	1260	Settembre	12
6	1134	406	1540	Giugno	16
10	914	217	1131	Settembre	12
11	656	137	793	Giugno	16
12	616	137	753	Giugno	16
<b>Totali</b>	<b>5253</b>	<b>1572</b>	<b>6825</b>		

## Capitolo 2

# Progettazione dei pannelli radianti a pavimento

### 2.1 Generalità sui pannelli radianti

Si procederà ora al dimensionamento dei pannelli radianti a pavimento e dei relativi collettori, utili al riscaldamento dei vari locali.

Questi pannelli sono costituiti da un tubo che si sviluppa a serpentina su tutto il pavimento della stanza; all'interno del tubo viene immessa l'acqua scaldata dalla pompa di calore.

Ogni circuito inizierà e finirà in corrispondenza di un collettore; per ogni piano dell'edificio è presente un collettore dedicato.

Per posare questi pannelli è necessario stendere uno strato di isolante sopra alla soletta portante del pavimento; sopra questo strato vengono sistemati i tubi dei pannelli radianti. Successivamente queste tubazioni vengono annegate nel massetto del pavimento.

I pannelli funzionano secondo il principio dell'irraggiamento termico; risulta molto importante quindi che ogni punto del pavimento dei locali riscaldati sia servito dai pannelli perchè, anche se fornissi la potenza necessaria coprendo solo parzialmente il pavimento del locale, nelle zone non servite avrei un discomfort.

Naturalmente sono escluse dalla posa dei pannelli quelle zone occupate dai sanitari perchè il condotto sarebbe ostacolato dall'impianto di distribuzione dell'acqua sanitaria.

Questi pannelli presentano diversi vantaggi rispetto ai radiatori tradizionali:

- si possono ottenere le stesse temperature nei locali da riscaldare utilizzando acqua a più bassa temperatura, ottenendo un migliore rendimento energetico;
- non si ha l'ingombro dei classici radiatori, potendo quindi sfruttare completamente l'area della stanza per l'arredamento.

Tra gli svantaggi si annovera:

- un costo di messa in opera leggermente superiore;
- uno spessore maggiore dei pavimenti di circa 10 cm, il che ne rende problematico l'impiego in caso di ristrutturazione di un edificio.

Trattandosi nel caso in questione di edificio di nuova costruzione, quest'ultimo svantaggio non viene considerato.

Facendo una valutazione complessiva di tutti i lati positivi e negativi di questo sistema si è deciso che questa fosse la soluzione progettuale migliore.

La normativa che si occupa di regolamentare questi pannelli è la UNI EN 1264.

Il vincolo principale imposto da questa normativa è quello relativo alla massima temperatura del pavimento nei vari locali; questo limite è indicato nel prospetto A.14 dell'appendice A della norma UNI EN 1264-2.

Questi limiti sono di 29°C per le zone di soggiorno, di 33°C per i bagni e di 35°C per le zone vicino alle pareti disperdenti.

Questo vincolo indirettamente impone un limite superiore per la temperatura dell'acqua in ingresso al pannello e un limite inferiore per il passo della serpentina.

Sono ammesse temperature più elevate nei pressi delle pareti

disperdenti perchè è prassi comune infittire il passo della serpentina in questa zona.

Il passo può essere:

- fisso a 10 cm;
- fisso a 20 cm;
- misto (di norma pari a 20 cm, vicino alle pareti disperdenti ridotto a 10 cm).

Nel caso in questione si utilizzerà un passo di 10 cm, poichè si prevede di utilizzare i pannelli radianti anche per il raffrescamento estivo. Dall'esperienza è noto che il rendimento dei pannelli è notevolmente inferiore per il raffrescamento rispetto che per il riscaldamento, quindi si preferisce una serpentina a passo minore che garantisca una resa accettabile anche in estate. Naturalmente si terrà conto del passo adottato nella determinazione della temperatura dell'acqua in entrata.

Un altro limite è dato dall'estensione della superficie di un singolo pannello; questo limite deriva dal fatto che un pannello eccessivamente esteso causerebbe una perdita di carico nettamente superiore a quella di un pannello di minore superficie, causando una differenza di pressione troppo elevata nel collettore di ritorno.

Per ovviare a questo inconveniente è buona norma utilizzare diversi pannelli per riscaldare locali di grande metratura.

In linea di massima l'esperienza mostra che l'area dei pannelli non dovrebbe superare i seguenti limiti:

- 20 m<sup>2</sup> per pannelli con passo di 20 cm;
- 13 m<sup>2</sup> per pannelli con passo di 10 cm;
- 15 m<sup>2</sup> per pannelli con passo misto.

L'eventuale complessità del circuito del pannello non influenza questo limite in quanto le curve del tubo hanno raggio

relativamente elevato e la perdita di carico è sostanzialmente proporzionale alla lunghezza del condotto.

Per le zone di passaggio al termine delle rampe di scale di accesso ai piani si è scelto di non installare un pannello dedicato, ma di riscaldare l'ambiente mediante le tubazioni di mandata e di ritorno degli altri pannelli, posizionate con passo di 20 cm; si sfrutteranno in particolare le tubazioni di ritorno dai pannelli di minore estensione superficiale, in quanto l'acqua in questi condotti avrà maggiore energia termica residua che altrimenti non verrebbe sfruttata.

## **2.2 Progetto in dettaglio dei pannelli a pavimento**

Di seguito si può vedere il progetto in cui si evidenzia il collocamento dei vari pannelli a pavimento (in marrone) e la suddivisione delle aree dei locali nel caso in cui siano di metratura troppo elevata per essere climatizzati con un solo pannello. Sono visibili anche le tubazioni di mandata (in rosso) e di ritorno (in blu) che, partendo dal collettore, alimentano i singoli pannelli.

Per ogni piano dell'edificio è stata anche studiata la sistemazione del collettore in modo da sottrarre la minor quantità possibile di spazio utile ai locali di soggiorno e cercando di limitare l'impatto estetico sugli ambienti.

Infine è stato definito il tracciato a serpentina di alcuni condotti di ritorno che si occupano di climatizzare le zone di passaggio per cui si è ritenuta superflua l'installazione di un pannello dedicato.

Nella figura 2-1 è visibile il piano interrato, nella figura 2-2 il piano terra e nella figura 2-3 il primo piano.

Per il disegno tecnico dell'impianto è stato utilizzato il software Autodesk Autocad 2006.



Figura 2-1

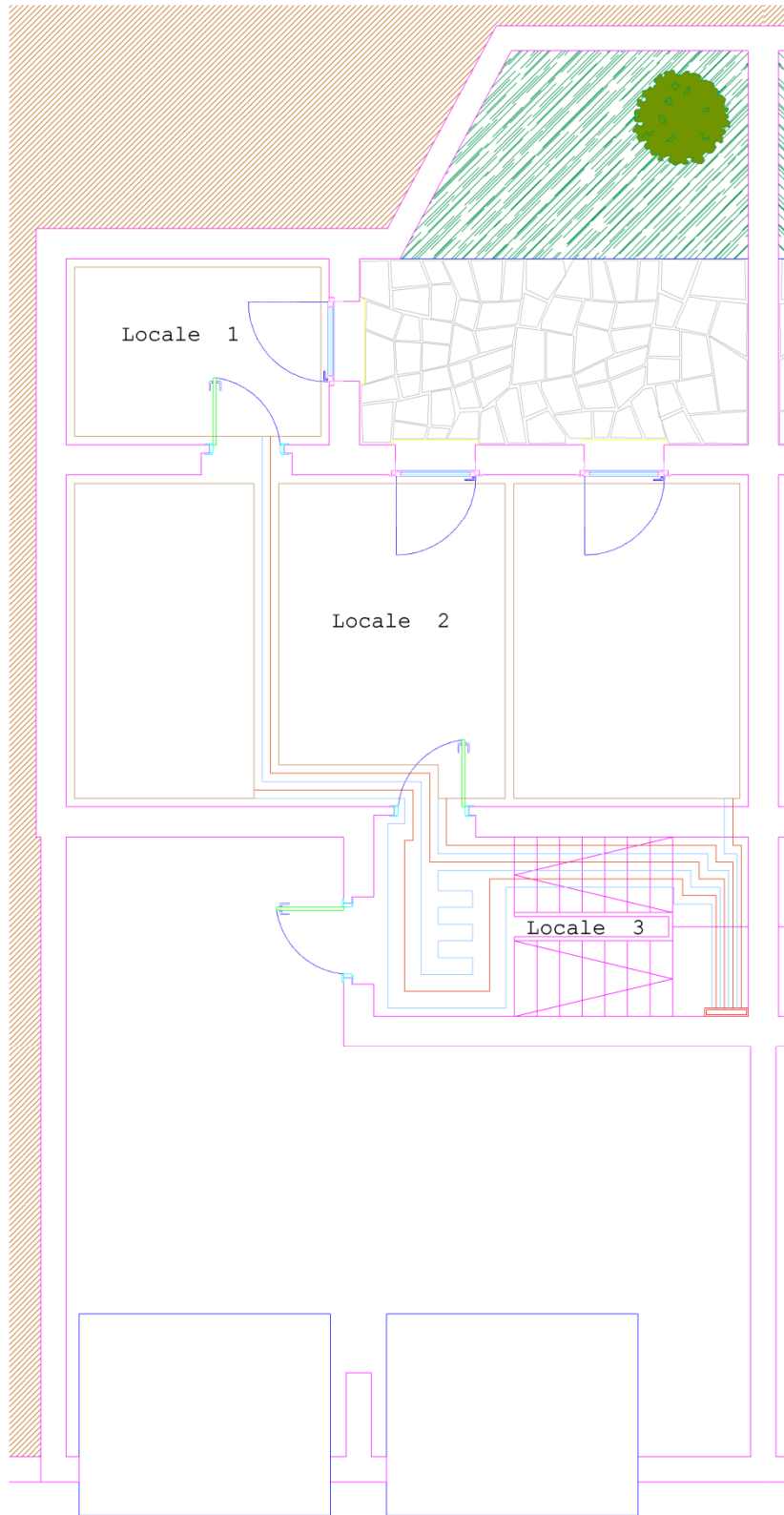


Figura 2-2

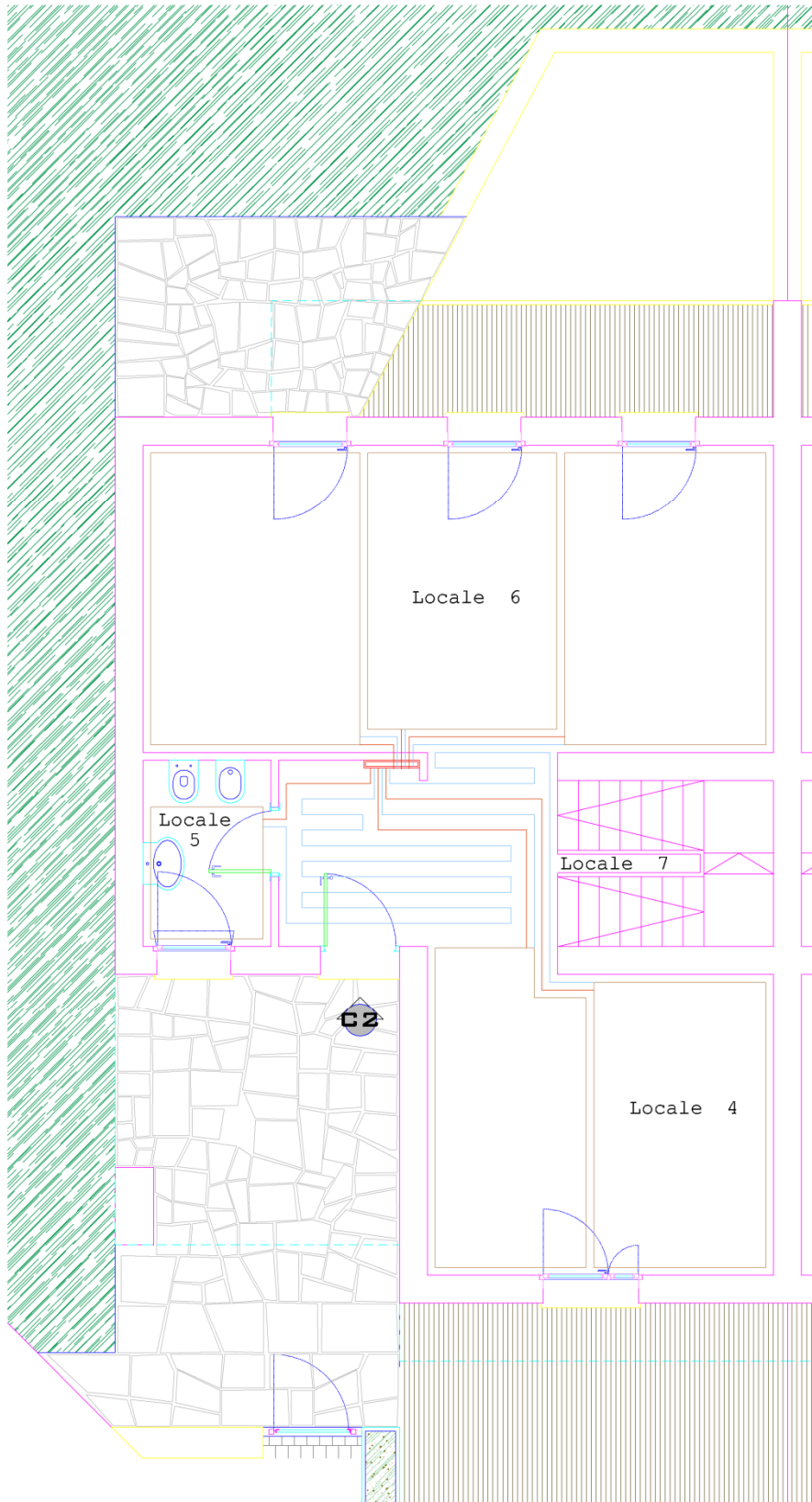
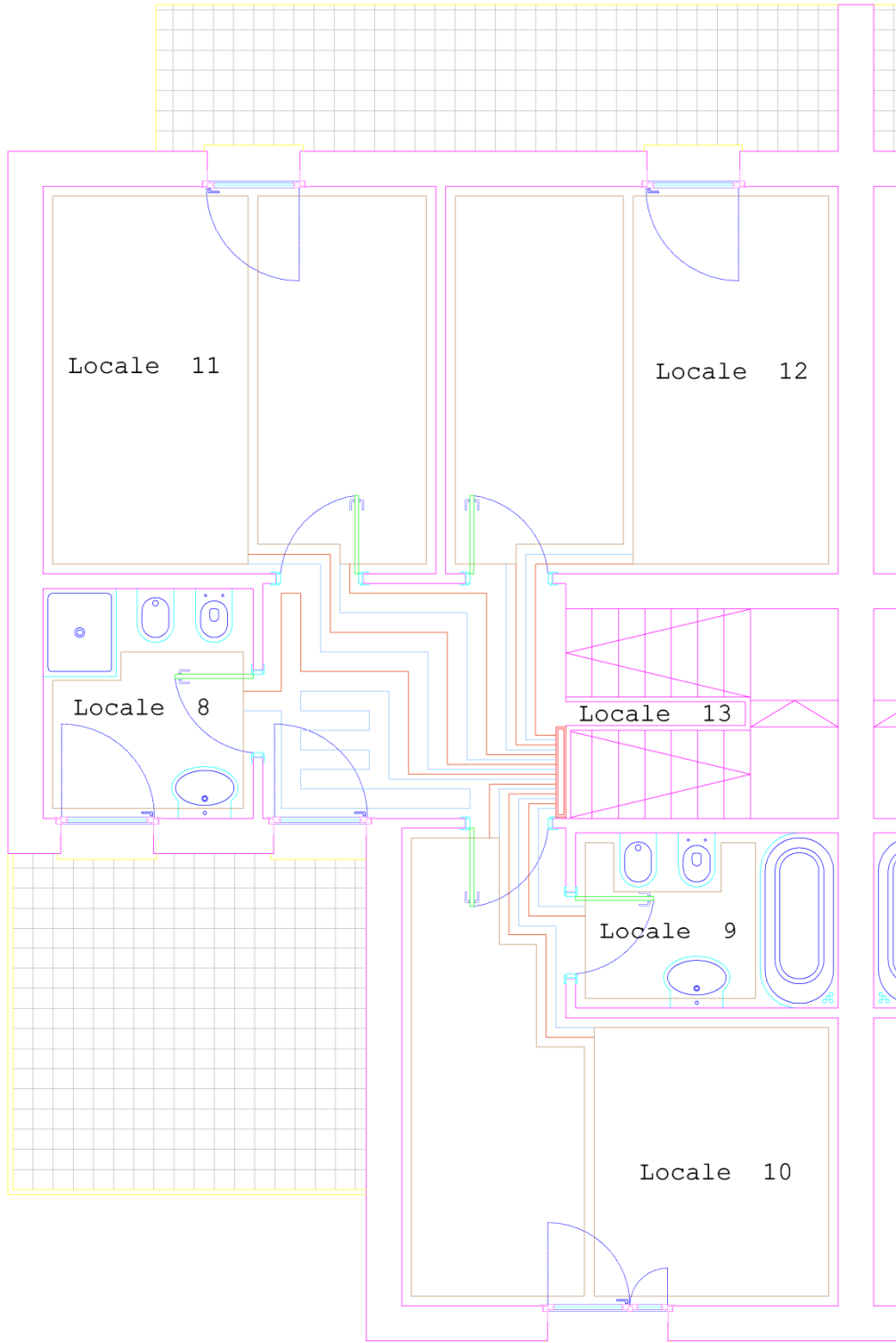


Figura 2-3



## 2.3 Calcolo della portata e del salto di pressione

Una volta disegnati i pannelli radianti e le tubazioni che li collegano al collettore, si procede al calcolo della portata d'acqua richiesta e della caduta di pressione fra la tubazione di mandata e quella di ritorno.

Per far ciò ci si avvale di un foglio di calcolo in Excel che restituirà in forma tabellare i risultati cercati.

I dati da inserire sono:

- locale N.: in questo campo si deve indicare il numero del locale in cui è installato il pannello radiante;
- denom. locale: in questo campo andrà specificata la sigla "wc" se il locale in questione è un bagno;
- circuito N.: questo valore indica il numero del circuito a cui fa capo il pannello. I circuiti sono numerati progressivamente, guardando il collettore frontalmente, da sinistra verso destra;
- dispersioni locale W: in questo campo si deve indicare la potenza termica che il pannello considerato deve fornire (nel caso in cui in un locale siano necessari più pannelli si procederà dividendo la richiesta termica del locale per il numero dei pannelli installati);
- area utile m<sup>2</sup>: questo valore indica l'area totale del pannello installato;
- VZ 10 m<sup>2</sup>: in questo campo si deve indicare l'area del pannello con passo 10 cm;
- VZ 15 m<sup>2</sup>: in questo campo si deve indicare l'area del pannello con passo 15 cm;
- VZ 20 m<sup>2</sup>: in questo campo si deve indicare l'area del pannello con passo 20 cm;
- VZ 30 m<sup>2</sup>: in questo campo si deve indicare l'area del pannello con passo 30 cm;

- lungh. coll. (a+r) m: questo valore indica la lunghezza della tubazione che collega il pannello al collettore arrotondata per eccesso (somma della lunghezza della tubazione di mandata e di quella di ritorno);
- lungh. tub. passaggio m: in questo campo si deve indicare la lunghezza delle tubazioni di alimentazione di altri pannelli che attraversano l'area del pannello considerato arrotondata per eccesso;
- $\Delta t$ : questo valore indica la differenza di temperatura al collettore fra l'acqua in mandata e quella in ritorno (normalmente si imposta  $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ ).

I dati calcolati dal foglio di lavoro sono:

- dispersioni specifiche  $\text{W/m}^2$ : questo valore indica il rapporto fra i campi "dispersioni locale" e "area utile";
- lungh. pannelli m: in questo campo è calcolata la lunghezza di tubazione necessaria a coprire l'intero pannello. Il calcolo si basa sul fatto che per ogni metro quadrato di pannello a passo 10, 15, 20 o 30 sono presenti rispettivamente 10, 7,5, 5 e 3,33 metri di tubazione;
- potenza resa W: in questo campo è calcolata la potenza massima teorica erogabile dal pannello in esame, considerando che ogni metro quadrato di pannello a passo 10, 15, 20 o 30 può erogare rispettivamente 104, 99, 98 e 90 Watt. Naturalmente questa potenza non dovrà superare quella richiesta;
- potenza restante W: questo valore rappresenta la differenza fra i campi "potenza resa" e "dispersioni locale";
- lungh. tot circuito m: questo valore indica la lunghezza totale del circuito, ottenuta sommando la lunghezza della tubazione del pannello con la lunghezza dei condotti di collegamento con il collettore (mandata e ritorno) e

sottraendo la lunghezza delle tubazioni di passaggio relative ad altri pannelli;

- pot. caldaia W: in questo campo è calcolata la potenza scaldante necessaria al funzionamento del circuito intesa come somma fra la "potenza resa" e la dissipazione di calore delle condotte di collegamento tra pannello e collettore, misurata in 17 W/m. Tale dissipazione si otterrà moltiplicando il campo "lung. coll. (a+r)" per 17;
- portata al collett. l/h: in questo campo si calcola la portata d'acqua necessaria al soddisfacimento del fabbisogno di potenza termica del pannello;
- $\Delta p$  circuito mm c.a.: questo valore indica la caduta di pressione del circuito al collettore fra la tubazione di mandata e quella di ritorno misurata in millimetri d'acqua.

La portata d'acqua per ogni pannello si calcola sfruttando la formula:

$$P = Q * c * \Delta t * cost$$

con:

- P = potenza termica globale necessaria al pannello, calcolata nel campo "pot. caldaia";
- Q = portata d'acqua da determinare;
- c = calore specifico dell'acqua. Si assume come valore di riferimento  $4186 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ;
- $\Delta t$  = salto di temperatura precedentemente definito fra acqua in mandata e in ritorno al collettore;
- cost = costante per adeguare le unità di misura all'ottenimento della portata in litri per ora.

Essendo già noti P, c,  $\Delta t$ , cost, il calcolo di Q è immediato.

Per quanto concerne il calcolo della caduta di pressione lungo il circuito ci si basa sui dati forniti dai produttori del tubo utilizzato nei pannelli radianti.

In particolare la caduta di pressione per unità di lunghezza del condotto è funzione della portata d'acqua immessa nella tubazione, secondo l'espressione:

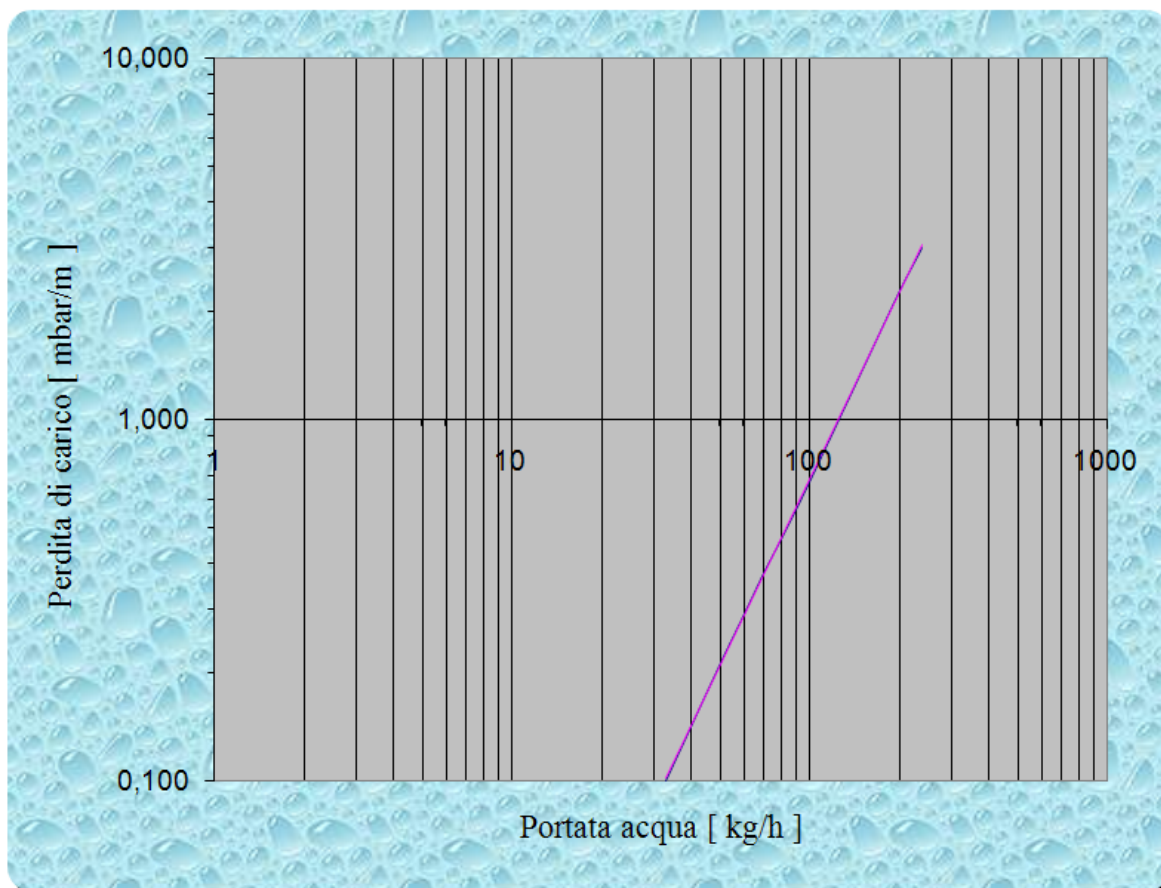
$$\Delta p_u = e^{a \times \ln Q + \ln \left(\frac{1}{b}\right)}$$

con:

- $\Delta p_u$ : caduta di pressione per unità di lunghezza del condotto, espressa in mbar;
- $a$ : costante, assunta pari a 1,7214;
- $Q$ : portata del condotto, espressa in kg/h;
- $b$ : costante, assunta pari a 4050.

In figura 2-4 si mostra l'andamento di questa curva, rappresentato in un grafico:

Figura 2-4



L'espressione utilizzata per il calcolo della caduta di pressione totale nel condotto sarà:

$$\Delta p = \Delta p_u * l * cost$$

con:

- $\Delta p_u$ : caduta di pressione per unità di lunghezza descritta precedentemente;
- $l$ : lunghezza totale del condotto;
- $cost$ : costante per adeguare le unità di misura all'ottenimento della caduta di pressione in millimetri d'acqua.



Per ogni pannello viene dunque calcolata  $\Delta p_u$  in funzione della portata  $Q$ , già determinata precedentemente nel campo "portata al collett.". Una volta nota  $\Delta p_u$  è immediato calcolare il valore di  $\Delta p$ , sostituendo all'interno dell'espressione il valore di  $l$  con quello del campo "lungh. tot circuito", anch'esso già determinato precedentemente.

Da notare che nella parte alta del foglio di calcolo sono presenti le lunghezze massime relative alle tubazioni per ogni tipologia di pannello; in particolare questi limiti sono: 150 m, 135 m, 115 m e 100 m rispettivamente per pannelli con passo 10 cm, 15 cm, 20 cm, e 30 cm. Sarà cura del progettista non superare questi limiti.

Di seguito si mostrano i dati forniti in output dal foglio di calcolo, relativi ad ogni collettore ed alla somma totale riguardante l'edificio.

Le tabelle 2-1, 2-2 e 2-3 sono relative rispettivamente ai collettori del piano interrato, del piano terra e del primo piano.

La tabella 2-4 riguarda la somma totale relativa all'edificio.









## Capitolo 3

### Dimensionamento della macchina termica

#### 3.1 Progetto dei condotti di alimentazione dei collettori

Si andrà ora a definire il tracciato delle tubazioni che collegano la macchina termica con i collettori dei vari piani dell'edificio; questa rete di condotti non andrà a interferire con quella dei pannelli a pavimento, in quanto si troverà su un altro piano, più precisamente al di sotto di quest'ultima.

Per quanto riguarda la tipologia della macchina, è stata scelta una pompa di calore, in quanto è in grado di soddisfare sia il fabbisogno di riscaldamento invernale, che il fabbisogno di raffrescamento estivo mediante l'utilizzo dei pannelli radianti a pavimento; si è scelto il locale 1 come ubicazione della macchina, in quanto ritenuto più idoneo.

La rete di tubazioni sarà a due tubi, cioè comprensiva sia della tubazione di mandata, che di quella di ritorno; nel calcolo delle lunghezze e delle accidentalità si procederà quindi raddoppiando il tracciato percorso dai condotti.

Nei calcoli successivi si considera che entrambi i condotti percorrano lo stesso tracciato, anche se in realtà saranno ovviamente paralleli; questa approssimazione non introduce errori apprezzabili ai fini del dimensionamento della rete.

Nella suddetta rete saranno presenti due nodi, contraddistinti con N1 e N2, dove saranno presenti diramazioni a "T".

I tratti in cui è possibile suddividere la rete saranno:

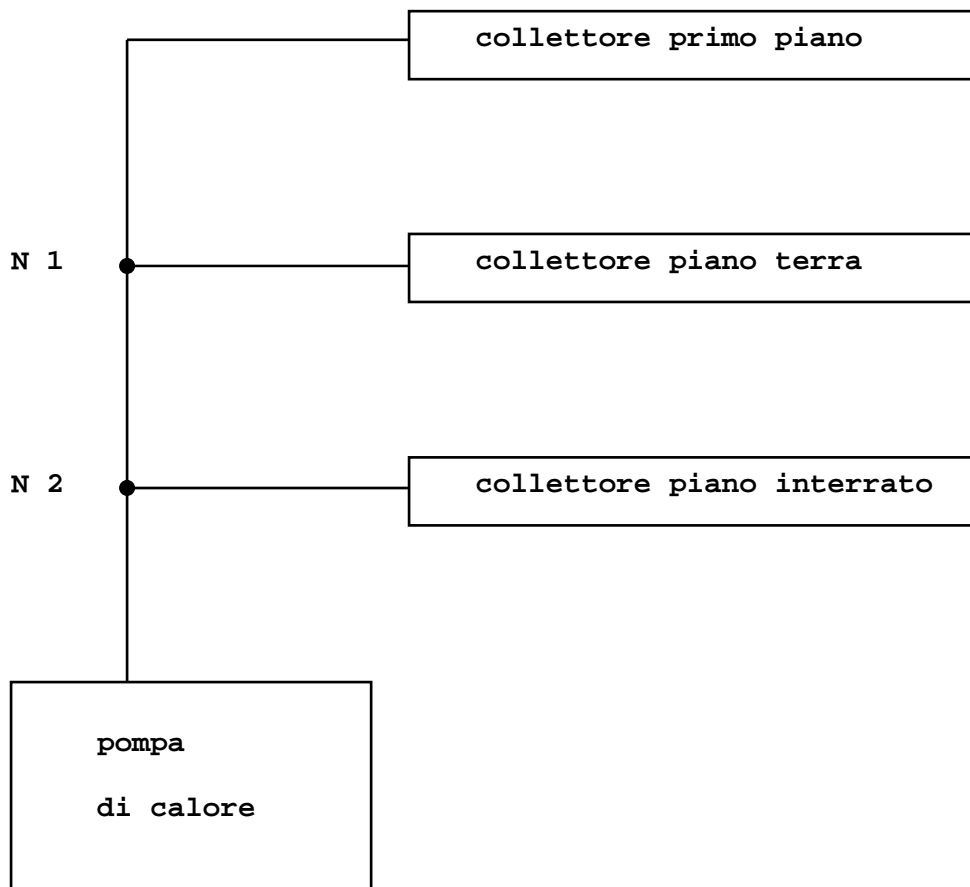
- collett. P. 1 - N1: dal collettore del 1° piano al nodo N1;
- collett. P. t. - N1: dal collettore del piano terra al nodo

N1;

- N1 - N2: dal nodo N1 al nodo N2;
- collett. P. int. - N2: dal collettore del piano interrato al nodo N2;
- N2 - pompa cal.: dal nodo N2 alla pompa di calore.

In figura 3-1 si mostra una schematizzazione della rete dei condotti.

Figura 3-1



Nel seguito si possono vedere i progetti costruttivi della rete, disegnati utilizzando il software Autodesk Autocad 2006.

In rosso sono indicate le tubazioni di mandata, in azzurro quelle di ritorno.

Nel locale 1 è visibile la sagoma della pompa di calore avente dimensioni:

- larghezza: 0,8 m;
- lunghezza: 0,6 m;
- altezza: 2 m.

Nelle figure 3-2, 3-3 e 3-4 sono visibili rispettivamente le tubazioni presenti al piano interrato, al piano terra e al primo piano.



Figura 3-2

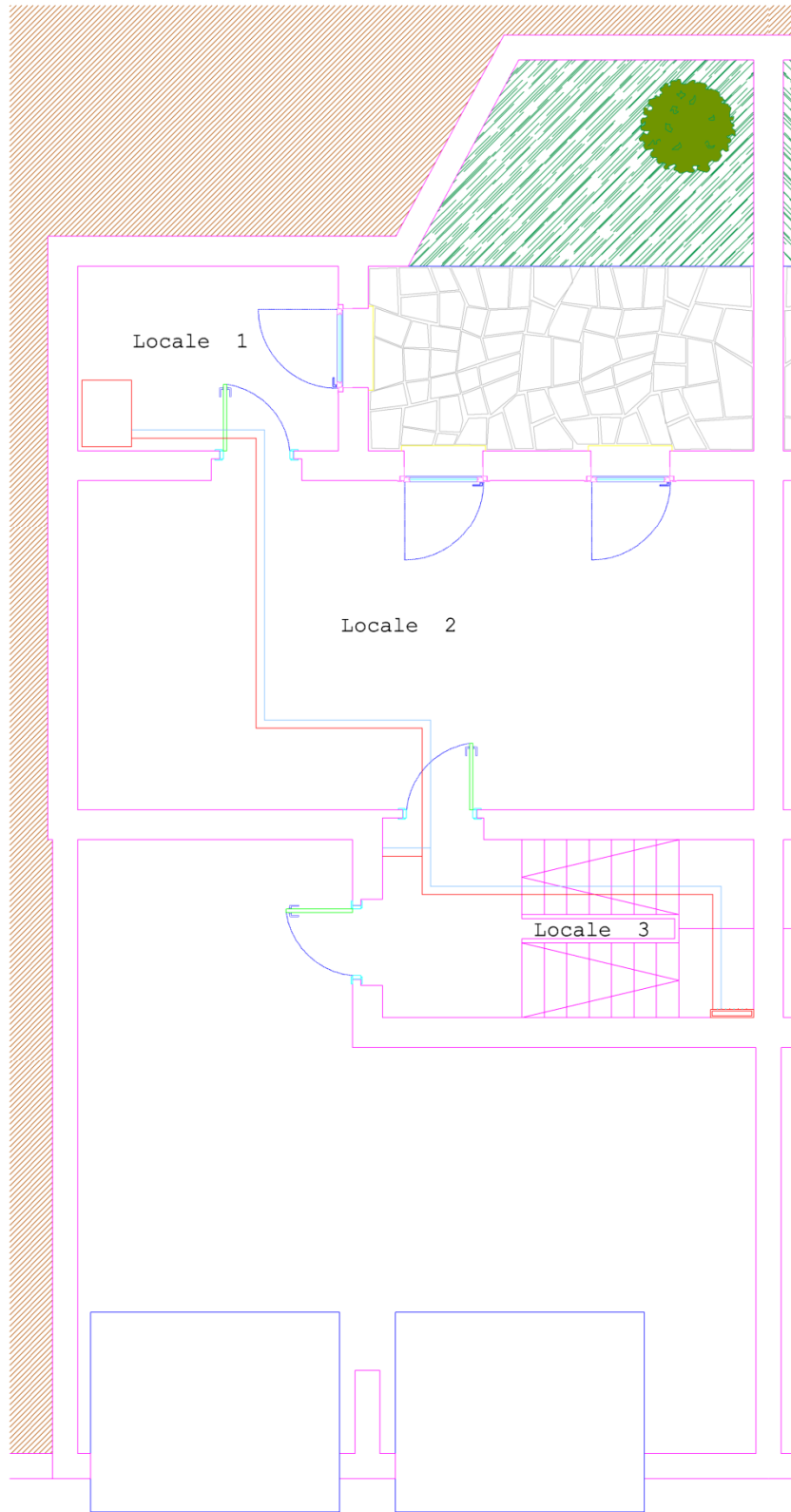


Figura 3-3

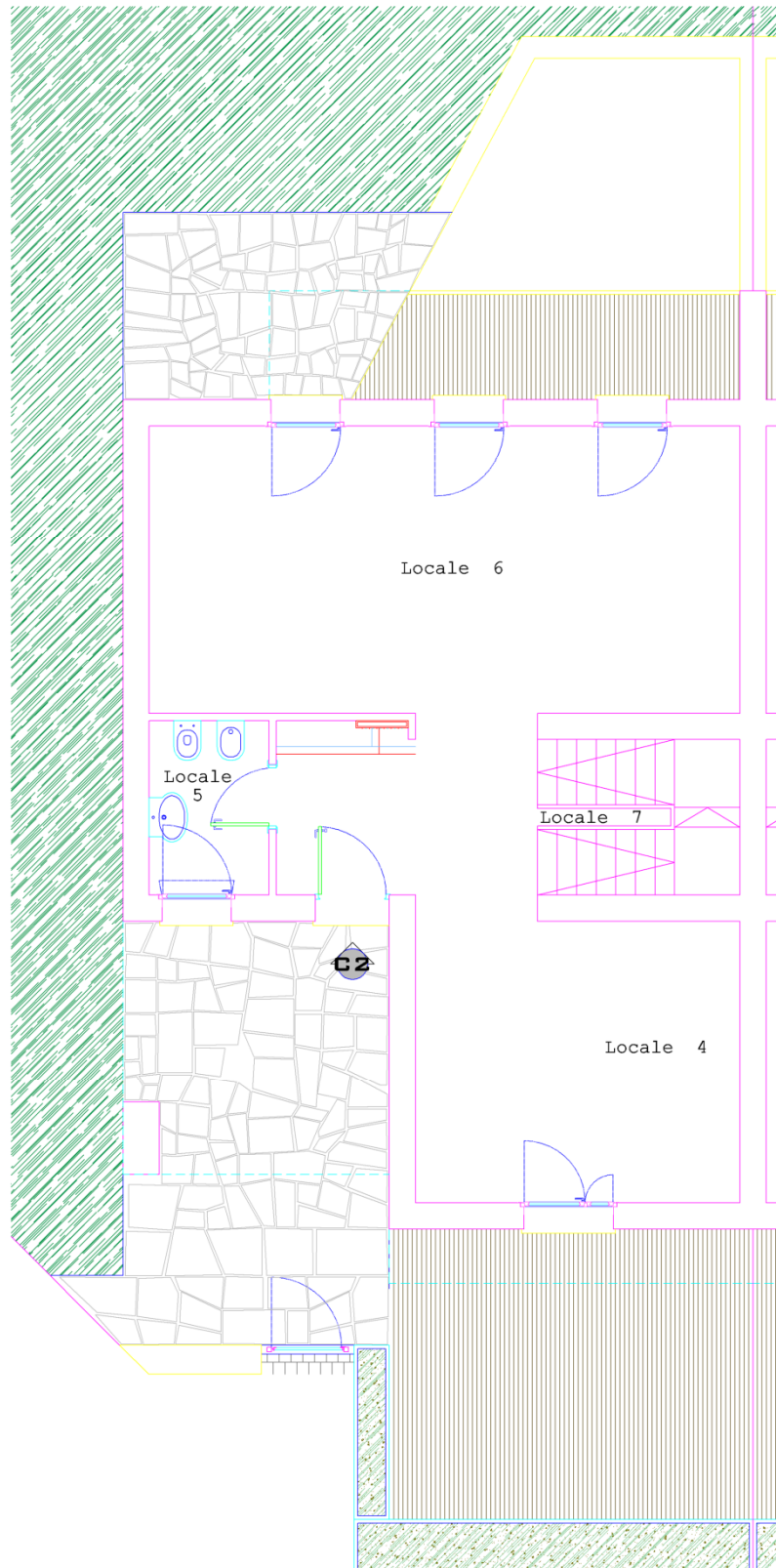
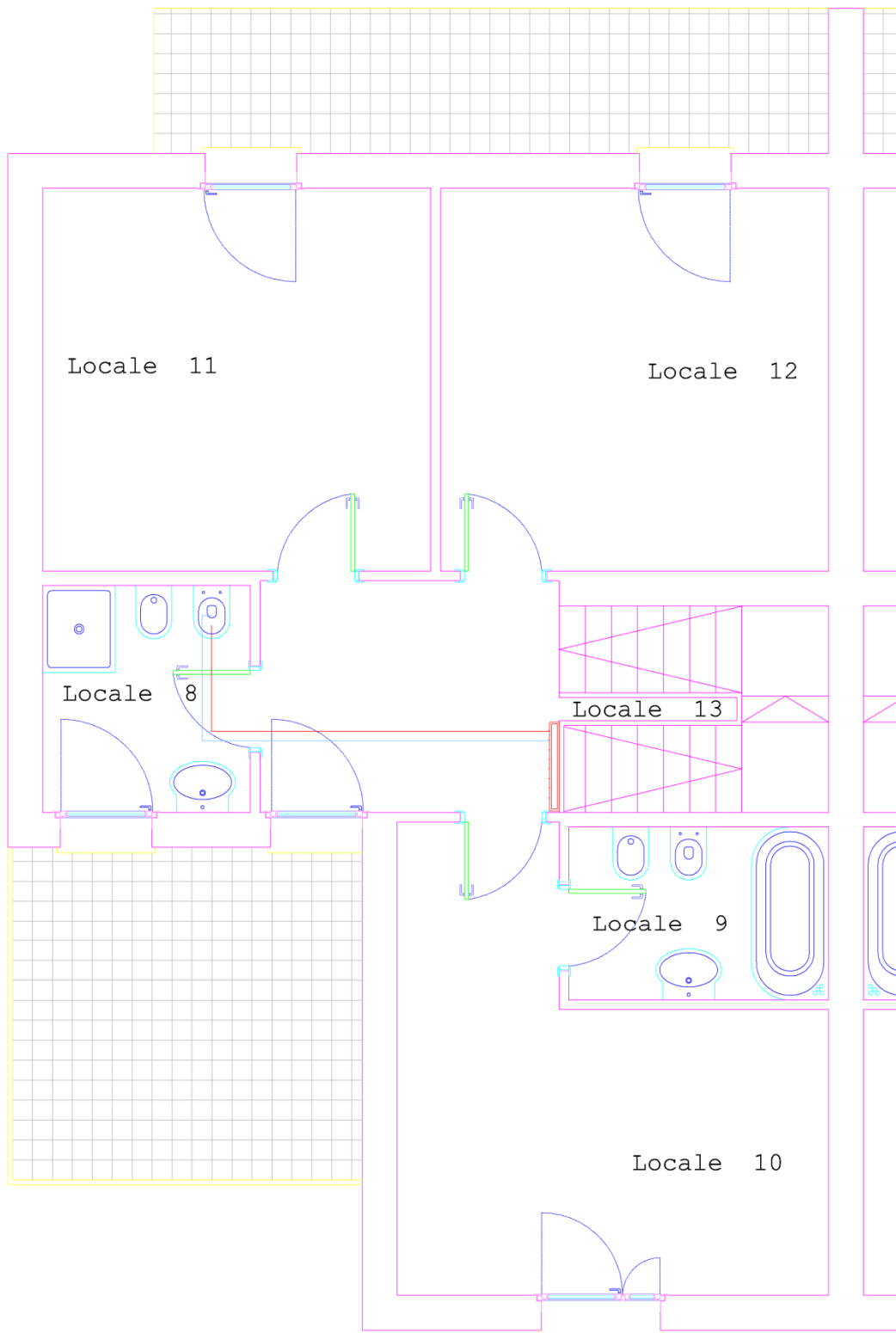


Figura 3-4



### 3.2 Dimensionamento della rete di alimentazione dei collettori

La rete che, partendo dalla pompa di calore, alimenta i collettori dei diversi piani dell'edificio è costituita da tubazioni in rame di diverse misure.

La designazione delle dimensioni del tubo avrà la forma:

$$\Phi_e \times s$$

con:

- $\Phi_e$ : diametro esterno del tubo, espresso in millimetri;
- $s$ : spessore della parete del tubo, espresso in millimetri.

Le dimensioni unificate dei tubi, di cui è possibile reperire esemplari commerciali, sono:

- 10 x 1;
- 12 x 1;
- 14 x 1;
- 16 x 1;
- 18 x 1;
- 22 x 1;
- 28 x 1,5;
- 35 x 1,5;
- 42 x 1,5;
- 54 x 2.

Per dimensionare correttamente la rete ci si avvale di un foglio di calcolo in Excel, che restituirà in una tabella i dati

necessari alla progettazione.

I dati da inserire come input saranno:

- TRATTO: in questo campo si deve indicare la denominazione che contraddistingue il tratto della rete preso in esame; per tratto si intende un condotto compreso fra due elementi, quali: la pompa di calore, un nodo oppure un collettore;
- Q l/h: questo valore indica la portata d'acqua che attraversa il tratto della rete preso in esame; questo dato si ricava dalle tabelle 2-1, 2-2 e 2-3, in base a quale collettore viene alimentato dal segmento di rete considerato. Nel caso in cui il tratto di rete alimenti più collettori, si eseguirà la somma delle portate richieste da questi ultimi. La misura è espressa in litri per ora;
- $\phi_e$  mm: in questo campo si deve indicare il diametro esterno del tubo, espresso in millimetri; questo dato viene inserito iterativamente, partendo dal diametro più piccolo disponibile. Una volta inserito un valore per il diametro e per lo spessore della tubazione, si dovrà verificare che le perdite di carico per unità di lunghezza di condotto non superino i 20 millimetri di colonna d'acqua, misura che viene considerata come massimo valore accettabile. Nel caso in cui il calo di pressione per unità di lunghezza sia superiore a questo valore, si inseriranno le misure di diametro e spessore commerciali immediatamente superiori; se la perdita di pressione è inferiore a questo valore di riferimento, le misure inserite come diametro e spessore del tubo sono corrette;
- s mm: questo valore indica lo spessore della parete del tubo, espresso in millimetri; anche questo dato viene inserito iterativamente, come per il diametro esterno. Ad ogni misura del diametro è abbinato uno spessore del tubo, come indicato precedentemente;
- $L_1$  m: in questo campo si deve indicare la lunghezza del tratto

di rete considerato, espressa in metri. Questo dato è facilmente ricavabile dal progetto della rete disegnato sulla planimetria dell'edificio; come lunghezza  $L_1$  si dovrà considerare la somma delle lunghezze del condotto di mandata e di quello di ritorno del ramo in esame. Nel passaggio del condotto da un piano all'altro dell'edificio, si considera una lunghezza aggiuntiva di 3 m, necessaria a raggiungere il piano superiore o inferiore;

- $L_2$  m: questo valore indica la lunghezza equivalente fittizia del condotto, espressa in metri, dovuta a perdite concentrate, quali curve o incroci a T. Nel seguito della trattazione verrà mostrato come calcolare questo dato;
- $\Delta p_{\max}$  coll. mm c.a.: nel caso in cui il tratto di rete considerato termini in un collettore, in questo campo andrà indicata la perdita di pressione massima fra quelle dei circuiti dei pannelli a pavimento collegati al collettore in questione. Questo dato si ricava facilmente dalle tabelle 2-1, 2-2 e 2-3. La misura è espressa in millimetri di colonna d'acqua;
- $\Delta p_{sfav}$  mm c.a. : nel caso in cui il tratto di rete considerato termini in un nodo, in questo campo andrà indicata la perdita di pressione massima fra quelle presenti negli altri rami che terminano nel nodo in questione. La misura è espressa in millimetri di colonna d'acqua.

I dati calcolati dal foglio di lavoro sono:

- $L_t$  m: questo valore indica la lunghezza totale del condotto, espressa in metri. Questa misura comprende sia la lunghezza reale del ramo della rete, che quella fittizia. Viene calcolata come:  $L_t = L_1 + L_2$ ;
- $v$  m/s: in questo campo è calcolata la velocità dell'acqua all'interno del condotto, espressa in metri al secondo;
- $R$  mm c.a.: questo valore indica la perdita di carico per

unità di lunghezza del condotto, espressa in millimetri di colonna d'acqua.

- $\Delta p_1$  mm c.a.: in questo campo è calcolata la perdita di carico all'interno del condotto, espressa in millimetri di colonna d'acqua. Questa misura viene calcolata come:  $\Delta p_1 = R * L_t$ ;
- $\Delta p_{TOT}$  mm c.a.: questo valore rappresenta la perdita di carico totale fino al ramo della rete considerato, compreso lo stesso, espressa in millimetri di colonna d'acqua. Questa misura viene calcolata come:  $\Delta p_{TOT} = \Delta p_1 + \Delta p_{max \text{ coll.}} + \Delta p_{sfav}$ ;

Nel calcolo della velocità dell'acqua nel condotto si sfrutterà la formula:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \times \left( \frac{\Phi_e - 2 \times s}{1000} \right)^2}$$

Per calcolare le perdite per unità di lunghezza nel condotto si utilizza la seguente formula, fornita dal produttore dei condotti stessi:

$$R = \frac{2214 \times \left( \frac{0,354 \times Q}{\Phi_e - 2 \times s} \right)^{1,79}}{(\Phi_e - 2 \times s)^{1,25}}$$

In tabella 3-1 sono visibili i dati forniti in output dal foglio di calcolo.

Tabella 3-1

CALCOLO DIAMETRI CONDOTTE IN RAME																
TRATTO	POTEN. Watt.	delta T	Q l/h	$\phi_e$ mm	s mm	L <sub>1</sub> m	L <sub>2</sub> m	L <sub>1</sub> m	L <sub>1</sub> m	v m/s	R mm c.a.	$\Delta p_L$ mm c.a.	$\Delta p_{max}$ coll. mm c.a.	$\Delta p_{3vie}$ mm c.a.	$\Delta p_{slav}$ mm c.a.	$\Delta p_{TOT}$ mm c.a.
<b>rete a due tubi impianto di riscaldamento a pavimento</b>																
collett. P. 1 - N1			580,0	22	1,0	17	11,2	28,2	0,5128	15,9	447	494				941
collett. P. t. - N1			551,0	22	1,0	1	5,4	6,4	0,4872	14,5	93	821				914
N1 - N2			1131,0	28	1,5	9	7,8	16,8	0,6400	17,8	300				941	1241
collett. P. int. - N2			452,0	22	1,0	11	8,8	19,8	0,3997	10,2	201	1283				1484
N2 - pompa cal.			1583,0	35	1,5	22	16,0	38,0	0,5467	9,9	376				1484	1860
<b>elettropompa 1,6 m<sup>3</sup>/h, 1,86 m c.a.</b>																
<b>circolatore di serie pompa di calore</b>																



Per quanto riguarda il calcolo della lunghezza fittizia dovuta alle perdite concentrate dei vari tratti di condotto si utilizza un altro foglio di calcolo.

I dati da inserire in input saranno:

- TRATTO: in questo campo si deve indicare la denominazione che contraddistingue il tratto della rete preso in esame;
- $\phi_e$  mm: questo valore indica diametro esterno del tubo, espresso in millimetri;
- s mm: in questo campo si deve indicare lo spessore della parete del tubo, espresso in millimetri;
- per ogni tipologia di perdita concentrata raffigurata nella tabella se ne dovrà indicare la quantità, considerando sia il condotto di mandata che quello di ritorno del ramo della rete in esame.

I dati forniti in output dal foglio di calcolo sono:

- $\phi_i$  mm: questo valore indica il diametro interno del tubo, espresso in millimetri; viene calcolato mediante la formula:  
$$\phi_i = \phi_e - 2 * s;$$
- $L_2$  m: in questo campo è calcolata la lunghezza equivalente fittizia del condotto, espressa in metri; questo valore viene calcolato sommando le lunghezze fittizie attribuite ad ogni perdita concentrata, mostrate nel seguito.






Di seguito si elencano le tipologie di accidentalità riscontrabili nei condotti di questa tipologia di rete, con le relative lunghezze fittizie associate; queste ultime variano a seconda del diametro interno della tubazione:

- curva a gomito:
  - per  $0 < \phi_i \leq 17$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,8 m;

- per  $17 < \phi_i \leq 32$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,2 m;
- per  $33 < \phi_i \leq 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,6 m;
- per  $\phi_i > 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,8 m;
- incrocio a T con deviazione della vena d'acqua:
  - per  $0 < \phi_i \leq 17$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,8 m;
  - per  $17 < \phi_i \leq 32$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,5 m;
  - per  $33 < \phi_i \leq 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 2,2 m;
  - per  $\phi_i > 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 3,6 m;
- incrocio a T percorso in maniera rettilinea:
  - per  $0 < \phi_i \leq 17$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,4 m;
  - per  $17 < \phi_i \leq 32$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,8 m;
  - per  $33 < \phi_i \leq 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,2 m;
  - per  $\phi_i > 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,6 m;
- biforcazione a T:
  - per  $0 < \phi_i \leq 17$  si avrà una lunghezza fittizia di 1,6 m;
  - per  $17 < \phi_i \leq 32$  si avrà una lunghezza fittizia di 3,1 m;
  - per  $33 < \phi_i \leq 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 4,6 m;
  - per  $\phi_i > 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 6,6 m;
- curva raccordata:
  - per  $0 < \phi_i \leq 17$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,4 m;
  - per  $17 < \phi_i \leq 32$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,6 m;
  - per  $33 < \phi_i \leq 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 0,8 m;
  - per  $\phi_i > 52$  si avrà una lunghezza fittizia di 1 m.

In tabella 3-2 sono visibili i dati forniti in output dal foglio di calcolo.

Tabella 3-2

CALCOLO $L_2$									
TRATTO	$\phi_e$ mm	s mm	$\phi_i$ mm						$L_2$
<b>rete a due tubi impianto di riscaldamento a pavimento</b>									
collett. P. 1 - N1	22	1,0	20,0	8		2			<b>11,2</b>
collett. P. t. - N1	22	1,0	20,0	2	2				<b>5,4</b>
N1 - N2	28	1,5	25,0	4	2				<b>7,8</b>
collett. P. int. - N2	22	1,0	20,0	6		2			<b>8,8</b>
N2 - pompa cal.	35	1,5	32,0	10					<b>16,0</b>

Al termine dei calcoli emergono le caratteristiche dell'elettropompa necessaria a soddisfare il fabbisogno dell'impianto:

- portata: 1,6 m<sup>3</sup>/h;
- prevalenza: 1,86 m c.a.

Queste specifiche possono essere soddisfatte tranquillamente dalla pompa presente all'interno della pompa di calore; se così non fosse stato, sarebbe risultato necessario provvedere all'installazione di una pompa ausiliaria esterna.

### 3.3 Scelta della pompa di calore

Si procederà ora alla scelta della pompa di calore più idonea a soddisfare il fabbisogno termico dell'edificio.

Per fare ciò si dovrà calcolare la temperatura di alimentazione dei collettori dei pannelli radianti a pavimento; questo dato si può ricavare dal diagramma fornito dal costruttore dei pannelli radianti.

Come dato in ingresso è richiesta la resistenza termica del pavimento  $R_{\lambda,B}$ ; nell'abitazione oggetto del progetto si prevede di installare un pavimento in parquet multistrato galleggiante.

In tabella 3-3 sono visibili le resistenze termiche per le varie tipologie di pavimento in parquet; i dati sono stati forniti dal costruttore dei pavimenti in questione.

Tabella 3-3

RESISTENZA TERMICA MEDIA DEL PARQUET		
Tipi di parquet	Spessore (mm)	Resistenza termica (m <sup>2</sup> K/W)
Parquet mosaico	8	0,038
Tavoletta o listello (lamparquet)	10	0,048
Listone	22	0,105
Multistrato incollato	10	0,048-0,065
Multistrato galleggiante	15	0,110

Per la varietà di parquet scelta risulterà dunque un valore di  $R_{\lambda,B}$  pari a 0,11 m<sup>2</sup>\*K/W.

Il diagramma si utilizza intersecando la retta orizzontale corrispondente a  $R_{\lambda,B} = 0,11$  m<sup>2</sup>\*K/W con la curva relativa al passo dei pannelli radianti utilizzato nei vari locali.

Partendo da questo punto si traccia una retta verticale fino a intersecare la curva limite relativa al medesimo passo di posa dei pannelli indicato prima. La retta obliqua che passa per questo

punto determina il valore di  $\Delta\theta_H$  da utilizzare per l'alimentazione dei pannelli a pavimento; questo valore rappresenta la differenza di temperatura  $\Delta\theta_H = \theta_H - \theta_i$  espressa in gradi Kelvin, con:

- $\theta_H$  = temperatura dell'acqua di alimento dei pannelli, espressa in gradi centigradi;
- $\theta_i$  = temperatura ambientale desiderata nel locale interessato, espressa in gradi centigradi; nel caso in esame la temperatura di progetto all'interno dei locali è stata considerata pari a 20°C.

Applicando la procedura sopra indicata per i locali con pannelli radianti installati con passo di 10 cm si ottiene un valore di  $\Delta\theta_H$  pari a 28 K.

La temperatura dell'acqua che andrà ad alimentare i collettori sarebbe dunque di 48 °C.

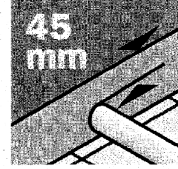
Per i locali con pannelli con passo di 20 cm si ottiene un valore per  $\Delta\theta_H$  di 33 K; la temperatura dell'acqua in mandata verso i collettori risulterebbe dunque di 53 °C.

Chiaramente la temperatura dell'acqua in uscita dalla pompa di calore deve essere la stessa per tutti i collettori, quindi per questo dato si assume un valore di progetto pari a 50 °C, senza introdurre apprezzabili errori nelle temperature ambientali ottenute nei diversi locali.

In figura 3-5 è rappresentato il diagramma utilizzato per ottenere i valori di  $\Delta\theta_H$  sopra citati; in rosso è visibile la retta che intercetta il corretto valore di  $\Delta\theta_H$  per i pannelli radianti con passo di 10 cm, mentre in blu è evidenziata la retta relativa ai pannelli a pavimento con passo di 20 cm.

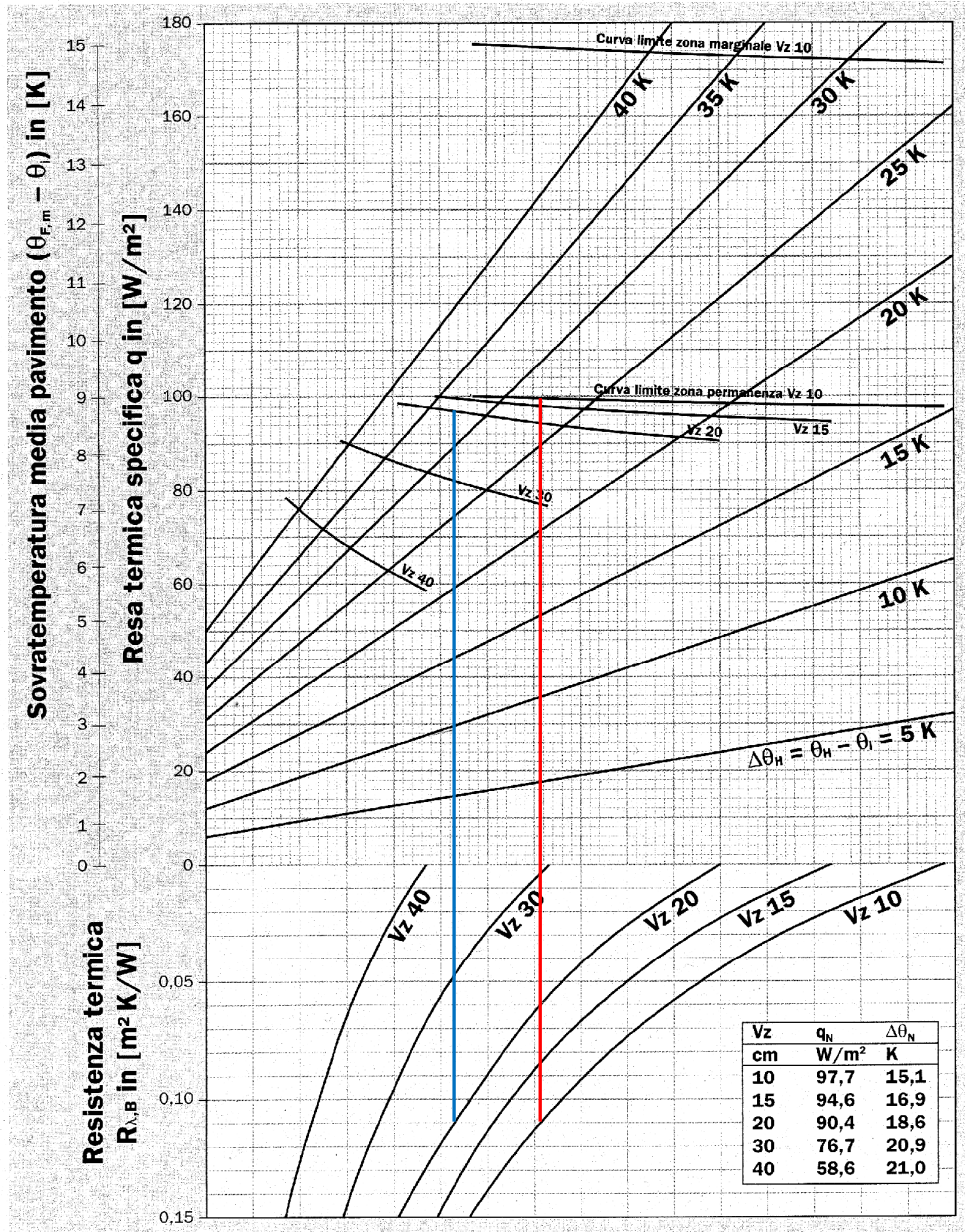
Figura 3-5

Diagramma di dimensionamento Velta Calore con strato di ripartizione del carico in massetto di calcestruzzo e additivo VD 450/550N ( $S_u = 45$  mm con  $\lambda_u = 1,2$  W/mK)



La curva limite vale per  $\theta_{r, max} = 29^\circ\text{C}$

**Avvertenza:**  
Secondo DIN EN 1264 nel calcolo della temperatura di mandata di progetto bisogna escludere bagni, docce, WC e simili. Le curve limite non devono essere superate. La temperatura di mandata di progetto non deve superare il valore:  
 $\theta_{v, des} = \Delta\theta_{h, g} + \theta_i + 2,5$  K.  
Il valore  $\Delta\theta_{h, g}$  risulta dalla curva limite della zona di soggiorno in corrispondenza del passo dei tubi minimo.



Si deve ora scegliere dal catalogo del fornitore di pompe di calore la macchina che più si avvicina alle esigenze dell'abitazione.

La potenza termica invernale che la macchina deve fornire è pari a 6204 W, come calcolato al paragrafo 1.9, considerando una temperatura ambientale esterna di -6 °C e una temperatura dell'acqua di alimento dei collettori pari a 50 °C.

La potenza raffrescante estiva richiesta dall'edificio risulta pari a 6825 W, come indicato nel paragrafo 1.9.

La macchina con minore potenza, e quindi più economica, che soddisfa questi requisiti risulta il modello Hidros LZT 10M SW6.

Questa sarà dunque la macchina che verrà installata all'interno del fabbricato, in quanto rappresenta il compromesso migliore fra richiesta di potenza termica e minor costo.

In tabella 3-4 è mostrata la scheda fornita dal costruttore della pompa di calore, con evidenziato il valore massimo di potenza termica invernale erogabile nelle condizioni di funzionamento previste dal presente progetto.

In tabella 3-5 sono illustrati i dati relativi alla potenza frigorifera estiva che la macchina può fornire, con evidenziati i valori massimi erogabili nelle condizioni di funzionamento previste.

Tabella 3-4

LZT Pompe di calore aria – acqua ad alta efficienza

HidROS

## POTENZA TERMICA E ASSORBIMENTI ELETTRICI COMPRESSORI

Mod.	TAMB (°C)	UR(%)	PH (kW)						PA (kW)						COP					
			TWUC (°C)						TWUC (°C)						W/W					
			35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60
06	-15	90%	3,5	3,49	3,49	3,49			1,32	1,44	1,56	1,69			2,61	2,39	2,21	2,04		
	-10	90%	4,05	4,02	3,99	3,96			1,37	1,49	1,62	1,76			2,92	2,66	2,43	2,22		
	-5	90%	4,65	4,59	4,55	4,5			1,41	1,53	1,68	1,83			3,26	2,95	2,68	2,43		
	0	90%	5,33	5,23	5,15	5,1	5		1,44	1,58	1,72	1,89	2,07		3,64	3,28	2,95	2,67	2,4	
	5	85%	6,07	5,96	5,84	5,73	5,61	5,5	1,48	1,62	1,77	1,94	2,13	2,33	4,04	3,63	3,26	2,92	2,61	2,34
	7	85%	6,40	6,28	6,15	6	5,87	5,74	1,5	1,64	1,79	1,96	2,15	2,36	4,21	3,79	3,39	3,03	2,7	2,41
	10	85%	6,93	6,78	6,6	6,47	6,31	6,14	1,52	1,66	1,82	2	2,19	2,41	4,49	4,03	3,59	3,21	2,85	2,53
08	-15	90%	7,86	7,69	7,49	7,31	7,06	6,88	1,57	1,71	1,87	2,05	2,25	2,48	4,95	4,44	3,96	3,53	3,11	2,76
	-10	90%	4,77	4,69	4,61	4,53			1,89	2,04	2,19	2,33			2,52	2,29	2,11	1,94		
	-5	90%	5,47	5,41	5,33	5,26			1,95	2,12	2,3	2,48			2,8	2,55	2,32	2,12		
	0	90%	6,3	6,19	6,09	6,01			2,02	2,2	2,39	2,6			3,12	2,82	2,55	2,31		
	5	85%	7,22	7,07	6,94	6,87	6,79		2,09	2,27	2,48	2,71	2,95		3,46	3,12	2,8	2,54	2,3	
	7	85%	8,21	8,05	7,88	7,76	7,66	7,57	2,16	2,25	2,56	2,8	3,07	3,35	3,8	3,43	3,08	2,77	2,5	2,26
	10	85%	8,7	8,45	8,3	8,14	8,04	7,96	2,2	2,37	2,59	2,84	3,11	3,41	3,95	3,56	3,20	2,87	2,58	2,34
10M	-15	90%	9,39	9,16	8,93	8,77	8,65	8,56	2,25	2,43	2,64	2,89	3,18	3,49	4,17	3,77	3,38	3,03	2,72	2,45
	-10	90%	10,66	10,36	10,1	9,91	9,74	9,57	2,36	2,52	2,73	2,98	3,28	3,61	4,52	4,11	3,7	3,32	2,97	2,66
	-5	90%	5,55	5,58	5,62	5,68	5,72		2,09	2,24	2,4	2,6	2,82		2,65	2,49	2,34	2,19	2,04	
	0	90%	6,28	6,3	6,34	6,4	6,49		2,16	2,32	2,5	2,71	2,95		2,9	2,72	2,54	2,37	2,2	
	5	85%	7,07	7,06	7,11	7,17	7,27	7,39	2,32	2,4	2,59	2,81	3,07	3,37	3,17	2,94	2,74	2,55	2,37	2,19
	7	85%	7,97	7,98	8	8,05	8,13	8,22	2,31	2,48	2,69	2,92	3,2	3,51	3,46	3,21	2,98	2,75	2,54	2,34
	10	85%	8,95	8,93	8,94	8,97	9,06	9,16	2,37	2,56	2,78	3,03	3,32	3,65	3,78	3,49	3,22	2,96	2,73	2,51
10T	-15	90%	9,4	9,34	9,41	9,4	9,45	9,54	2,4	2,59	2,82	3,07	3,37	3,71	3,92	3,61	3,34	3,06	2,81	2,57
	-10	90%	10,03	10,01	10,02	10,07	10,08	10,23	2,44	2,64	2,87	3,14	3,44	3,81	4,12	3,8	3,49	3,21	2,93	2,69
	-5	90%	11,21	11,17	11,14	11,16	11,21	11,3	2,5	2,71	2,96	3,24	3,56	3,94	4,49	4,12	3,77	3,44	3,15	2,87
	0	90%	5,64	5,69	5,78	5,92	6,10		2,01	2,19	2,42	2,63	3,04		2,8	2,59	2,39	2,2	2,01	
	5	85%	6,45	6,48	6,54	6,64	6,78		2,11	2,29	2,51	2,79	3,13		3,06	2,83	2,61	2,39	2,17	
	7	85%	7,35	7,35	7,35	7,44	7,55	7,67	2,21	2,4	2,62	2,89	3,23	3,64	3,32	3,06	2,81	2,57	2,34	2,11
	10	85%	8,35	8,32	8,33	8,37	8,42	8,49	2,33	2,52	2,75	3,03	3,36	3,76	3,59	3,30	3,30	2,76	2,51	2,26
14M	-15	90%	9,44	9,36	9,34	9,34	9,39	9,42	2,45	2,65	2,89	3,17	3,51	3,91	3,86	3,53	3,24	2,95	2,68	2,41
	-10	90%	9,82	9,81	9,82	9,78	9,79	9,83	2,49	2,7	2,95	3,23	3,57	3,98	3,94	3,63	3,33	3,03	2,74	2,47
	-5	90%	10,52	10,48	10,47	10,47	10,5	10,48	2,56	2,78	3,03	3,33	3,68	4,08	4,10	3,77	3,45	3,15	2,86	2,57
	0	90%	11,73	11,67	11,62	11,62	11,62	11,63	2,68	2,92	3,18	3,29	3,84	4,27	4,37	4	3,65	3,33	3,02	2,72
	5	85%	8,2	8,3	8,5	8,8	9,2		3,2	3,4	3,7	4,1	4,5		2,57	2,41	2,27	2,14	2,04	
	7	85%	9,3	9,4	9,6	9,8	10,2		3,3	3,6	3,9	4,3	4,7		2,84	2,65	2,47	2,31	2,17	
	10	85%	10,5	10,6	10,8	11	11,3	11,7	3,4	3,7	4	4,4	4,9	5,4	3,11	2,9	2,7	2,5	2,32	2,16
14T	-15	90%	11,8	11,9	12,1	12,2	12,5	12,8	3,5	3,8	4,1	4,6	5	5,6	3,41	3,16	2,92	2,69	2,48	2,29
	-10	90%	13,3	13,3	13,4	13,6	13,7	14	3,6	3,9	4,2	4,7	5,2	5,8	3,73	3,44	3,16	2,9	2,66	2,43
	-5	90%	13,9	14	14	14,1	14,3	14,5	3,6	3,9	4,4	4,7	5,2	5,8	3,86	3,56	3,27	2,99	2,73	2,49
	0	90%	14,8	14,9	15	15,1	15,2	15,3	3,6	4	4,3	4,8	5,3	5,9	4,06	3,75	3,44	3,14	2,86	2,59
	5	85%	16,5	16,5	16,5	16,6	16,6	16,7	3,7	4,1	4,4	4,9	5,4	6	4,41	4,07	3,72	3,39	3,07	2,78
	7	85%	8,6	8,8	8,9	9,2	9,4		3,2	3,5	3,7	4,1	4,5		2,69	2,54	2,38	2,23	2,07	
	10	85%	9,8	9,9	10	10,2	10,4		3,3	3,5	3,8	4,2	4,6		2,99	2,8	2,62	2,44	2,25	
21	-15	90%	11	11,1	11,3	11,4	11,5	11,7	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,3	3,31	3,09	2,88	2,66	2,44	2,23
	-10	90%	12,4	12,5	12,5	12,6	12,8	12,9	3,4	3,7	4	4,4	4,8	5,3	3,65	3,39	3,14	2,89	2,65	2,40
	-5	90%	13,9	13,9	14	14	14,1	14,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,9	5,5	4	3,71	3,42	3,14	2,87	2,6
	0	90%	14,6	14,6	14,6	14,6	14,7	14,7	3,5	3,8	4,1	4,5	5	5,5	4,17	3,85	3,53	3,24	2,96	2,68
	5	85%	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	3,5	3,8	4,2	4,6	5	5,6	4,4	4,05	3,73	3,41	3,11	2,81
	7	85%	17,3	17,3	17,3	17,2	17,2	17,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,7	4,81	4,4	4,03	3,68	3,35	3,02
	10	85%	12,6	12,7	12,8	12,9	13		4,4	4,7	5,2	5,7	6,3		2,9	2,69	2,49	2,28	2,07	
21	-15	90%	14,3	14,3	14,3	14,4	14,4		4,5	4,9	5,3	5,8	6,5		3,18	2,94	2,7	2,46	2,23	
	-10	90%	16	16	15,9	15,9	15,9	15,9	4,6	5	5,5	6	6,6	7,4	3,46	3,19	2,91	2,65	2,4	2,15
	-5	90%	17,9	17,8	17,8	17,6	17,6	17,4	4,8	5,2	5,7	6,2	6,8	7,6	3,75	3,45	3,15	2,85	2,58	2,3
	0	90%	19,9	19,9	19,7	19,3	19,3	19,1	4,9	5,3	5,8	6,4	7	7,8	4,05	3,72	3,39	3,05	2,75	2,46
	5	85%	20,9	20,7	20,5	20,3	20	19,8	5	5,4	5,9	6,4	7,1	7,8	4,19	3,83	3,48	3,15	2,82	2,52
	7	85%	22,4	22,2	21,9	21,6	21,3	20,9	5,1	5,5	6	6,6	7,2	8	4,4	4,03	3,66	3,3	2,96	2,63
	10	85%	25	24,7	24,4	24	23,6	23,1	5,3	5,7	6,2	6,8	7,4	8,2	4,75	4,35	3,94	3,56	3,18	2,82

TWUC: Temperatura uscita acqua utenza (°C)  
TAMB: Temperatura aria esterna a bulbo secco (°C)  
PA: Potenza assorbita compressore (kW)  
PH: Potenza termica (kW)



Tabella 3-5

LZT Pompe di calore aria – acqua ad alta efficienza

HidROS

## POTENZA FRIGORIFERA E ASSORBIMENTI ELETTRICI COMPRESSORI

Mod.	TWUE(°C)	PF (kW)						PA (kW)						E.E.R.					
		TAMB (°C)						TAMB (°C)						W/W					
		20	25	30	35	40	45	20	25	30	35	40	45	20	25	30	35	40	45
06	7	7,09	6,69	6,28	5,85	5,41	4,96	1,53	1,55	1,78	1,91	2,06	2,22	4,58	4,02	3,50	3,03	2,60	2,22
	9	7,54	7,12	6,68	6,2	5,75	5,3	1,57	1,69	1,82	1,96	2,11	2,27	4,74	4,16	3,62	3,13	2,7	2,31
	11	8,0	7,56	7,06	6,59	6,11	5,61	1,62	1,73	1,86	2,01	2,16	2,33	4,89	4,31	3,75	3,25	2,8	2,39
	13	8,54	8,02	7,50	7,00	6,47	5,95	1,66	1,79	1,93	2,06	2,22	2,39	5,09	4,44	3,85	3,36	2,89	2,47
	15	9,04	8,53	7,94	7,39	6,86	6,31	1,71	1,83	1,98	2,13	2,28	2,46	5,24	4,61	3,97	3,44	2,98	2,56
	17	9,61	9,02	8,46	7,82	7,24	6,68	1,76	1,88	2,02	2,19	2,34	2,5	5,39	4,74	4,15	3,54	3,07	2,66
18	9,68	9,29	8,69	8,10	7,45	6,48	1,79	1,91	2,05	2,2	2,37	2,49	5,45	4,82	4,20	3,65	3,12	2,58	
08	7	8,92	8,45	7,93	7,43	6,98	6,58	2,14	2,25	2,4	2,57	2,77	3	4,16	3,75	3,31	2,89	2,52	2,17
	9	9,54	8,98	8,1	7,96	7,47	6,91	2,22	2,32	2,43	2,64	2,84	3,07	4,29	3,86	3,34	3,02	2,63	2,25
	11	9,68	9,13	8,57	8,04	7,87	7,36	2,25	2,34	2,48	2,66	2,9	3,14	4,31	3,90	3,46	3,03	2,72	2,35
	13	10,2	9,58	9,61	8,89	8,36	7,45	2,3	2,41	2,61	2,77	2,97	3,17	4,41	3,97	3,69	3,21	2,81	2,36
	15	10,8	10,2	9,58	9,37	8,5	7,92	2,4	2,5	2,52	2,84	3	3,25	4,54	4,11	3,66	3,30	2,83	2,44
	17	11,3	10,7	10,1	9,62	8,73	8,24	2,5	2,56	2,7	2,81	3,06	3,3	4,59	4,18	3,78	3,42	2,86	2,49
18	12,2	12,2	10,9	9,8	9,22	8,55	2,6	2,57	2,8	2,9	3,12	3,38	4,74	4,34	3,91	3,38	2,96	2,53	
10M	7	10,3	9,94	9,60	9,18	8,91	-	2,4	2,56	2,77	3,1	3,19	-	4,33	3,87	3,47	3,05	2,79	-
	9	10,5	10,6	10,2	9,37	9,34	8,7	2,4	2,6	2,8	3,02	3,33	3,6	4,4	4,03	3,57	3,10	2,81	2,41
	11	11,1	11,2	10,8	10,3	9,61	9,17	2,4	2,7	2,9	3,1	3,39	3,71	4,57	4,19	3,7	3,29	2,84	2,47
	13	11,7	11,3	11,1	10,5	10,1	9,80	2,5	2,5	2,9	3,2	3,5	3,82	4,71	4,18	3,77	3,30	2,91	2,57
	15	12,3	12,5	11,5	11,1	10,7	9,90	2,5	2,73	3	3,3	3,6	3,88	4,86	4,57	3,84	3,4	2,99	2,55
	17	13	13,1	11,9	11,7	11,4	10,4	2,6	2,85	3,1	3,4	3,63	4,0	5,04	4,59	3,88	3,49	3,14	2,62
18	13,3	12,9	12,5	12	11,2	10,7	2,55	2,79	3,1	3,4	3,7	4,02	5,21	4,62	4,02	3,53	3,03	2,66	
10T	7	10,8	10,4	10,1	9,65	9,30	-	2,4	2,7	2,9	3,1	3,31	-	4,44	3,93	3,5	3,11	2,81	-
	9	11,4	10,6	10,6	10,2	9,69	8,94	2,5	2,7	3	3,2	3,47	3,71	4,54	3,97	3,58	3,17	2,79	2,41
	11	11,6	11,7	11,2	10,7	9,92	9,46	2,5	2,8	3,1	3,3	3,51	3,83	4,55	4,15	3,66	3,23	2,82	2,47
	13	12,1	11,7	11,5	10,9	10,4	9,97	2,6	2,8	3,1	3,3	3,6	3,94	4,62	4,13	3,7	3,27	2,88	2,53
	15	12,8	12,2	12,3	11,2	11	10,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,1	4,73	4,19	3,79	3,27	2,94	2,56
	17	13,3	12,8	13,0	12	11,5	10,7	2,8	3,0	3,27	3,6	3,9	4,2	4,84	4,28	3,97	3,39	2,95	2,56
18	13,6	13,1	12,5	12,3	11,8	11,1	2,8	3,1	3,23	3,6	3,9	4,19	4,87	4,29	3,87	3,42	2,99	2,65	
14M	7	14,1	13,8	13,5	13,1	12,7	12,2	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,2	4,18	3,79	3,41	3,05	2,69	2,37
	9	14,8	14,6	14,3	13,8	13,4	12,9	3,4	3,7	4,0	4,4	4,8	5,3	4,33	3,95	3,53	3,15	2,79	2,44
	11	15,7	15,4	15,0	14,6	14,1	13,5	3,5	3,8	4,1	4,4	4,9	5,3	4,5	4,08	3,67	3,29	2,89	2,53
	13	16,5	16,2	16,1	15,3	14,8	14,2	3,6	3,8	4,2	4,5	4,9	5,4	4,64	4,23	3,87	3,39	2,99	2,62
	15	17,4	17,0	16,6	16,1	15,5	14,9	3,6	3,9	4,2	4,6	5	5,5	4,81	4,38	3,94	3,50	3,53	2,70
	17	18,2	17,9	17,5	16,9	16,3	15,6	3,7	4,0	4,3	4,7	5,1	5,6	4,97	4,52	4,08	3,63	3,19	2,80
18	18,6	18,3	17,9	17,3	16,7	16,0	3,7	4,0	4,3	4,7	5,1	5,6	4,97	4,52	4,08	3,63	3,19	2,80	
14T	7	14	13,6	13,2	12,8	12,4	11,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	5	4,27	3,82	3,42	3,06	2,73	2,4
	9	14,7	14,4	14,0	13,6	13,1	12,6	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	5	4,45	3,96	3,56	3,19	2,84	2,5
	11	15,5	15,1	14,7	14,2	13,8	13,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,7	5,1	4,62	4,12	3,68	3,29	2,93	2,58
	13	16,3	15,9	15,7	15,0	14,5	13,9	3,4	3,7	4,1	4,4	4,8	5,2	4,79	4,27	3,86	3,4	3,02	2,62
	15	17,2	16,8	16,2	15,7	15,2	14,6	3,5	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	4,97	4,41	3,93	3,5	3,11	2,74
	17	18,0	17,5	17,0	16,5	16,0	15,3	3,5	3,9	4,2	4,6	5	5,4	5,08	4,54	4,05	3,61	3,21	2,82
18	18,4	17,9	17,4	16,9	16,3	15,7	3,6	3,9	4,2	4,6	5	5,5	5,18	4,59	4,11	3,66	3,25	2,87	
21	7	21,8	21,2	20,4	19,3	18,6	17,3	4,8	5,11	5,5	5,9	6,4	7	4,59	4,15	3,7	3,26	2,88	2,5
	9	23,1	23,3	21,4	20,4	19,6	18,5	4,9	5,3	5,6	6,1	6,6	7,11	4,76	4,41	3,8	3,36	2,99	2,60
	11	24,4	23,8	22,7	21,7	20	19,6	4,87	5,26	5,7	6,2	6,7	7,26	5,01	4,52	3,96	3,49	3,01	2,70
	13	25,7	24,9	23,9	22,9	21,3	20,1	5,1	5,5	5,84	6,3	6,66	7,4	5,08	4,57	4,09	3,63	3,20	2,72
	15	27,1	25,7	25,2	23,5	22,2	20,8	5,2	5,5	6	6,4	6,79	7,5	5,23	4,64	4,19	3,67	3,27	2,78
	17	28,0	27,4	26,4	24,4	23,4	21,8	5,3	5,7	6,1	6,5	6,94	7,6	5,31	4,81	4,33	3,75	3,37	2,86
18	29,2	28,3	27,4	25,1	23,8	22,4	6,38	5,75	6,09	6,59	7,13	7,7	5,45	4,92	4,5	3,81	3,34	2,91	

TWUE: Temperatura acqua uscita utenza (°C)  
 TAMB: Temperatura aria esterna a bulbo secco (°C)  
 PA: Potenza assorbita totale secondo UNI 14511 (kW)  
 PF: Potenza frigorifera (kW)  
 E.E.R.: Energy Efficiency Ratio

Si procede ora inserendo nel software Edilclima EC 601 i dati della pompa di calore richiesti; questi valori verranno sfruttati dal software per effettuare i calcoli dei rendimenti dell'impianto e della prestazione energetica dell'edificio.

I dati richiesti sono:

- Marca / Serie / Modello: nome del modello della pompa di calore; questo campo risulta utile nel caso in cui in un edificio siano installate diverse tipologie di pompe di calore;
- Potenza nominale, espressa in Watt; questo dato si ricava dal catalogo del costruttore della pompa di calore, riferendosi ai valori relativi alle condizioni di utilizzo indicate più vicine a quelle di progetto;
- Potenza elettrica pompe di circolazione, espressa in Watt; anche questo dato è reperibile dal catalogo della pompa di calore;
- Rendimento pompe di circolazione: questo valore è stato stimato nell' 85%; in realtà questo dato risulta di norma superiore, ma la stima è stata volutamente prudente per dare un maggior margine di sicurezza ai calcoli;
- Tempo di accensione al giorno di pompe di circolazione e ausiliari, espresso in ore; questo dato esprime una valutazione sul tempo in cui sono in funzione i ventilatori della pompa di calore e l'elettropompa di circolazione. Questo valore è stato stimato approssimativamente in 8 ore.
- Potenza media degli ausiliari, espressa in Watt; in questo campo viene considerata la potenza elettrica assorbita dai ventilatori della pompa di calore. Questo dato è reperibile dal catalogo della pompa di calore.
- COPE: in questo campo si inserisce il coefficiente di prestazione della pompa di calore, ricavato dal catalogo del costruttore; ci si riferirà ai valori relativi alle

condizioni di esercizio indicate più vicine a quelle di progetto;

- Temperatura esterna della sorgente, espressa in gradi centigradi. Questo dato rappresenta la temperatura ambientale esterna a cui sono riferiti la potenza nominale e il coefficiente di prestazione.

In figura 3-6 si può osservare la maschera utilizzata per inserire i dati della pompa di calore all'interno del software.

Figura 3-6

The screenshot shows a software window titled "Pompa di Calore" with a menu bar (Esci, Proposti, Help) and a toolbar. The main area displays the following data:

Marca / Serie / Modello		HIDROS LZT 10 SW6	
Potenza nominale	Pn (W) =	9400	
Potenza elettrica pompe di circolazione	Ppo (W) =	200	
Rendimento pompe di circolazione	Eta po (%) =	85	
Tempo di accensione al giorno di pompe di circolazione e ausiliari	tpo (ore) =	8	
Potenza media degli ausiliari	Pav (W) =	200	

Energia utilizzata per il funzionamento	
<input checked="" type="radio"/> Elettrica	COPE = 3.9
<input type="radio"/> Chimica	COPT = 0
Tipo combustibile:	1 Gasolio

Temperatura esterna della sorgente	
<input type="radio"/> Costante	
<input checked="" type="radio"/> Variabile	
Temp.rif (°C) =	7

In tabella 3-6 è mostrata la scheda tecnica della pompa di calore riportante i dati principali forniti dal costruttore; si mettono in evidenza i valori utili alla compilazione della sopracitata maschera.

Tabella 3-6

LZT Pompe di calore aria – acqua ad alta efficienza

HidROS

## DATI TECNICI

Mod.		06	08	10M	10T	14M	14T	21
Refrigerante		R407C	R407C	R407C	R407C	R407C	R407C	R407C
Potenza termica <sup>(1)</sup>	kW	6,4	8,7	9,4	9,9	13,9	14,6	20,9
Potenza assorbita totale <sup>(1)</sup>	kW	1,52	2,2	2,4	2,5	3,6	3,5	5
C.O.P. <sup>(1)</sup>	WW	4,2	4	3,9	3,96	3,86	4,17	4,2
Potenza termica <sup>(2)</sup>	kW	6	8,16	9,4	9,8	14,1	14,6	20,3
Potenza assorbita totale <sup>(2)</sup>	kW	2	2,84	3,07	3,23	4,72	4,5	6,4
C.O.P. <sup>(2)</sup>	WW	3	2,87	3,06	3,03	2,99	3,24	3,15
Potenza termica <sup>(3)</sup>	kW	5,32	7,2	8,41	8,75	12,7	13,2	18,4
Potenza assorbita totale <sup>(3)</sup>	kW	1,93	2,75	2,97	3,08	4,58	4,41	6,28
C.O.P. <sup>(3)</sup>	WW	2,76	2,62	2,83	2,84	2,77	2,99	2,93
Potenza termica acqua calda sanitaria <sup>(4)</sup>	kW	5,32	7,2	8,41	8,75	12,7	13,2	18,4
Potenza assorbita totale <sup>(4)</sup>	kW	1,93	2,75	2,97	3,08	4,58	4,41	6,28
C.O.P. <sup>(4)</sup>	kw	2,76	2,62	2,83	2,84	2,77	2,99	2,93
Potenza frigorifera <sup>(5)</sup>	kW	8,1	9,8	12	12,3	17,3	16,9	25,1
Total input power <sup>(5)</sup>	kW	2,25	2,9	3,5	3,6	4,67	4,6	6,6
E.E.R. <sup>(5)</sup>	WW	3,6	3,4	3,4	3,4	3,7	3,66	3,8
Potenza frigorifera <sup>(6)</sup>	kW	5,85	7,43	9,18	9,65	13,1	12,8	19,3
Potenza assorbita totale <sup>(6)</sup>	kW	1,93	2,57	3,0	3,10	4,3	4,18	5,9
E.E.R. <sup>(6)</sup>	WW	3,03	2,89	3,05	3,11	3,05	3,06	3,26
Massima corrente assorbita	A	17	21	25,5	8	33	12	19,5
Massima corrente di spunto	A	60	78	100	48	162	60	106
Alimentazione elettrica		230/1/50			400/3+N/50	230/1/50	400/3+N/50	
Portata d'aria	m <sup>3</sup> /h	2000	3350	3150	3150	7000	7000	8500
Ventilatori	n° x kW	1 x 0,12	1 x 0,2	1 x 0,2	1 x 0,2	2 x 0,2	2 x 0,2	2 x 0,195
Compressore		Scroll			Scroll with economizer and vapour injection			
	n°	1	1	1	1	1	1	1
Circuito frigorifero	n°	1	1	1	1	1	1	1
Livello di potenza sonora <sup>(7)</sup>	dB(A)	68	68	68	68	70	70	74
Livello di pressione sonora <sup>(8)</sup>	dB(A)	40	40	40	40	42	42	46
Pompa di circolazione (accessorio)	kW	0,13	0,13	0,2	0,2	0,3	0,3	0,45
Serbatoio di accumulo (accessorio)	lt.	40	40	40	40	60	60	60
Vaso di espansione (accessorio)	lt.	2	2	2	2	5	5	5

Le prestazioni sono riferite alle seguenti condizioni:

(1) Riscaldamento: Temperatura aria esterna bulbo secco 7°C, bulbo umido 6°C, Acqua 35/30°C.

(2) Riscaldamento: Temperatura aria esterna bulbo secco 7°C, bulbo umido 6°C, Acqua 50/45°C.

(3) Riscaldamento: Temperatura aria esterna bulbo secco 2°C, bulbo umido 1°C, Acqua 50/45°C.

(4) Acqua calda sanitaria: Temperatura aria esterna bulbo secco 2°C, bulbo umido 1°C, Acqua 50/45°C.

(5) Raffreddamento: Temperatura aria esterna 35°C, Acqua 23/18°C.

(6) Raffreddamento: Temperatura aria esterna 35°C, Acqua 12/7°C.

(7) Livello di potenza sonora calcolato secondo ISO 3746 (versione LS).

(8) Livello di pressione sonora misurato in campo libero, a 10 metri dall'unità, farrore di direzionalità Q=2, secondo ISO 3746 (versione LS).

## Capitolo 4

### Fabbisogno di acqua calda sanitaria

#### 4.1 Calcolo del fabbisogno di acqua calda

Per determinare il fabbisogno di acqua calda sanitaria da rendere disponibile per l'abitazione si seguono le indicazioni fornite dalla normativa UNI TS 11300 parte 2 paragrafo 5.2.1.

In questa parte della specifica tecnica sono presenti diversi elementi utili alla corretta quantificazione del volume di acqua calda occorrente in media ogni giorno agli abitanti dell'edificio considerato.

Innanzitutto viene valutata in 40 °C la temperatura convenzionale di erogazione dell'acqua sanitaria; la temperatura di ingresso di quest'acqua nel bollitore è stimata in 15 °C.

Il salto termico che si deve ottenere per il volume di acqua considerato è di 25 K. Questi dati saranno utili per valutare l'entità dell'energia necessaria per riscaldare la quantità di acqua sopra menzionata.

La normativa prescrive di calcolare il fabbisogno giornaliero di acqua mediante la formula:

$$V_w = a * N_u$$

con:

- $V_w$  = volume di acqua richiesto, espresso in litri per giorno;
- $a$  = fabbisogno giornaliero specifico;
- $N_u$  = parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio; per gli edifici civili ad uso residenziale

questo valore corrisponde alla superficie netta dell'appartamento espressa in metri quadrati (indicata in seguito con  $S_u$ ), già calcolata al paragrafo 1.8.

Il fabbisogno giornaliero specifico viene calcolato mediante la formula di seguito riportata, tratta anch'essa dalla normativa sopra citata:

$$a = 4,514 \times S_u^{-0,2356}$$

La specifica tecnica consente di calcolare anche il fabbisogno equivalente di energia termica utile  $E_{eq}$  per scaldare la quantità di acqua precedentemente calcolata.

Per quantificare questo valore in Wh/(G\*m<sup>2</sup>) si applica la formula di seguito riportata:

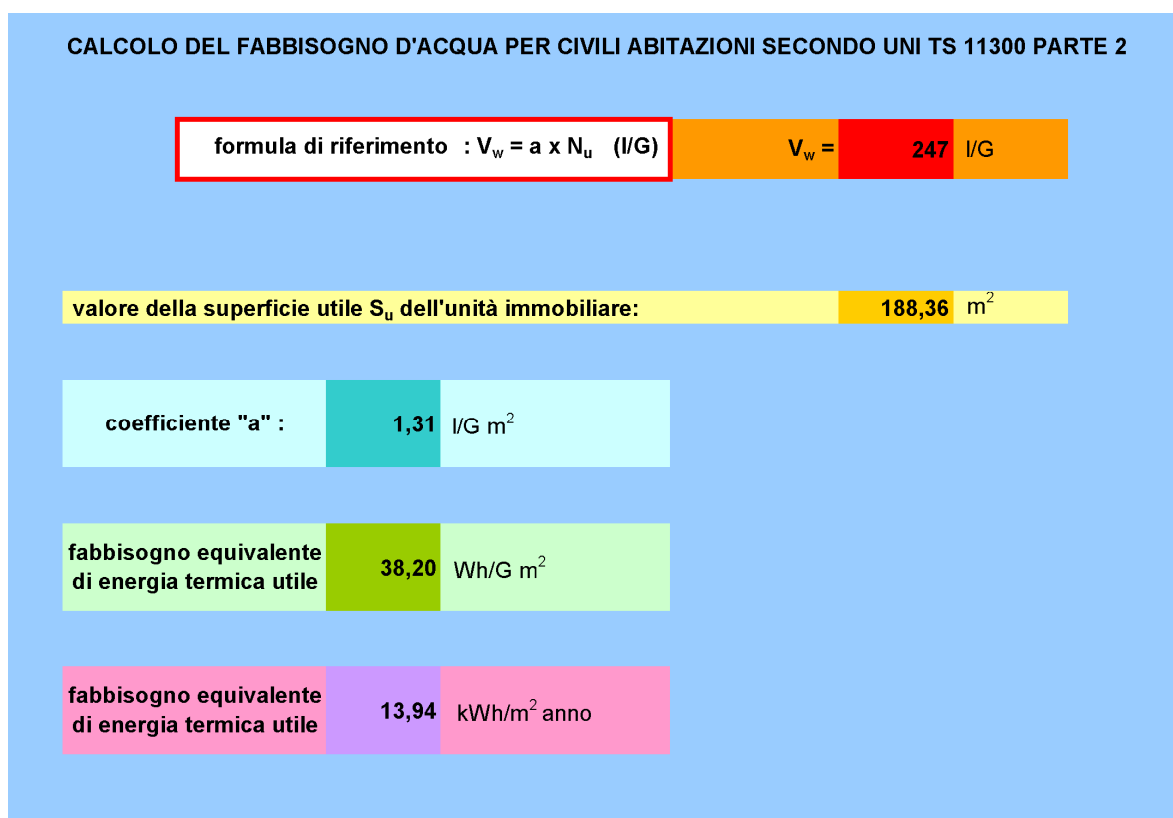
$$E_{eq} = 131,22 \times S_u^{-0,2356}$$

Se si vuole il medesimo dato misurato in kWh/(m<sup>2</sup>\*anno) si deve utilizzare la formula seguente:

$$E_{eq} = 47,9 \times S_u^{-0,2356}$$

In figura 4-1 sono mostrati i risultati dei conti effettuati utilizzando un foglio di calcolo che applica le formule precedentemente illustrate al caso dell'edificio oggetto dello studio; tutti i dati sono ottenuti attribuendo ad  $S_u$  il valore 188,36 m<sup>2</sup> calcolato in precedenza.

Figura 4-1



## 4.2 Dimensionamento del bollitore ad accumulo

Si procede ora al dimensionamento del bollitore dove verrà accumulata l'acqua calda sanitaria riscaldata dalla pompa di calore. Questo serbatoio ha lo scopo di soddisfare il fabbisogno di acqua calda tenendo presente anche i consumi nei periodi di punta.

Per eseguire questo computo ci si avvale del procedimento descritto nell'appendice L della norma UNI 9182.

Si ricorre ad un foglio di calcolo per risolvere le formule descritte nella sopracitata specifica tecnica.

Di seguito sono indicati i dati da inserire come input nei vari campi del foglio di calcolo:

- TU: questo campo serve per indicare se l'utenza è residenziale o se si tratta di un'utenza di comunità; si inserirà il valore 1 per utenze residenziali oppure il valore 2 per utenze comunitarie;
- F: questo valore rappresenta il fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per persona; questo dato si può ricavare dalla tabella G1 della norma UNI 9182 appendice G;
- N: in questo campo deve essere inserito il numero di unità abitative servite dal bollitore;
- Dpu: questo dato indica la durata in ore del periodo di punta di consumo di acqua calda sanitaria; il corretto valore da inserire può essere ricavato dalla tabella H1 della norma UNI 9182 appendice H;
- Tf: in questo campo si indica la temperatura espressa in gradi centigradi dell'acqua in ingresso nel bollitore; come già visto questo dato è fornito dalla normativa UNI 11300 parte 2;
- Tc: questo dato indica la temperatura espressa in gradi centigradi dell'acqua distribuita alle utenze; questo valore si può approssimare alla temperatura dell'acqua accumulata nel bollitore senza introdurre errori apprezzabili;
- Tacc: questo dato indica la temperatura espressa in gradi centigradi dell'acqua accumulata nel bollitore; come già visto questo dato è fornito dalla normativa UNI 11300 parte 2;
- Dpr: in questo campo si indica la durata in ore del tempo necessario al preriscaldamento dell'acqua nel bollitore;
- P: questo valore indica il numero di persone che si prevede che alloggeranno nell'unità abitativa;
- Fl: questo dato indica il fattore di contemporaneità relativo al numero di unità abitative; il corretto valore da inserire può essere ricavato dalla tabella H3 della norma UNI 9182 appendice H;



- F2: in questo campo si deve inserire il fattore di moltiplicazione relativo al numero di vani per ogni unità abitativa; il corretto valore da inserire può essere ricavato dalla tabella H4 della norma UNI 9182 appendice H. Nel caso dell'abitazione in esame si considera una quantità di vani pari a 10, in quanto nel computo non devono essere presi in considerazione i vani scala;
- F3: questo valore indica il fattore di moltiplicazione relativo al tenore di vita degli occupanti dell'unità abitativa; questo dato si può ricavare dalla tabella H5 della norma UNI 9182 appendice H;

Nel seguito si esplicita come il foglio di calcolo consegue i risultati forniti come output:

- Cmc: in questo campo è indicato il consumo massimo orario per utenze di comunità, espresso in litri per ora; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  **$Cmc = F * N / Dpu$** ;
- Ca: questo valore indica il consumo medio per unità abitativa, espresso in litri per giorno; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  **$Ca = F * P$** ;
- Cc: in questo campo è indicato il consumo medio di tutte le unità abitative servite dal bollitore, espresso in litri per giorno; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  **$Cc = Ca * N$** ;
- Cpu: questo valore indica il consumo massimo orario nel periodo di punta per utenze residenziali, espresso in litri per ora; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  **$Cpu = Cc / Dpu$** ;
- Cm: in questo campo è indicato il consumo massimo orario per utenze residenziali modificato dai fattori di correzione, espresso in litri per ora; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  **$Cpu = Cc / Dpu$** ;

- Epu: questo valore indica l'energia spesa per il riscaldamento dell'acqua sanitaria nel periodo di punta, espresso in kilowattora; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  $E_{pu} = C_m * D_{pu} * (T_c - T_f) * c$ , con:  $c =$  calore specifico dell'acqua, valutato in  $1,163 \text{ Wh}/(1^\circ\text{C})$ ;
- Qt: in questo campo è indicata la potenza termica da installare, espressa in kilowatt; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  $Q_t = E_{pu} / (D_{pu} + D_{pr})$ ;
- Fpr: questo valore indica il fattore di moltiplicazione per il dimensionamento del bollitore; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  $F_{pr} = D_{pr} / (T_{acc} - T_f)$ ;
- V: in questo campo è indicato il volume di accumulo del bollitore; questo dato viene calcolato risolvendo la formula:  $V = Q_t * F_{pr}$ ;

Una volta risolte tutte le formule, dopo aver inserito opportunamente tutti i dati in ingresso, il foglio di calcolo restituisce il valore del volume minimo dell'accumulo di acqua sanitaria nel bollitore, pari a 131,6 litri.

Al fine di mantenere un ragionevole margine di sicurezza verrà scelto per l'installazione un bollitore con un accumulo di 150 litri.

Questo margine di sicurezza rispetto alla dimensione minima indicata dai calcoli è necessario per tenere conto di eventuali variabili ignote che possono far lievitare il consumo di acqua calda sanitaria.

In figura 4-2 è visibile il foglio di calcolo precedentemente descritto con tutti i campi debitamente compilati.

Figura 4-2

### CALCOLO DEI BOLLITORI AD ACCUMULO PER ACQUA SANITARIA

FONTE: UNI 9182

#### DATI GENERALI DA INSERIRE

TU	1	
F	60	litri/giorno
N	1	alloggi
Dpu	3	ore
Tf	15	°C
Tc	40	°C
Tacc	40	°C
Dpr	1,5	ore

#### DATI AGGIUNTIVI DA INSERIRE SOLO PER UTENZE RESIDENZIALI

P	4
F1	1,15
F2	1,3
F3	1,1

#### VERIFICA DEI CONSUMI PER UTENZE DI COMUNITA'

Cmc	20,0	litri/ora
-----	------	-----------

#### VERIFICA DEI CONSUMI PER UTENZE RESIDENZIALI

Ca	240	litri/giorno
Cc	240	litri/giorno
Cpu	80	litri/ora
Cm	131,6	litri/ora

#### RISULTATI DEI CALCOLI

Epu	11,48	kWh
Qt	2,55	kW
Fpr	0,0600	
V	131,6	litri

### 4.3 Fabbisogno energetico per acqua calda

Per calcolare il fabbisogno energetico necessario al riscaldamento dell'acqua sanitaria ci si avvale del procedimento descritto nella norma UNI TS 11300 parte 2.

Si utilizzerà il software EC 601 come ausilio allo svolgimento dei calcoli, in particolare si andrà ad utilizzare la maschera "Acqua calda sanitaria". Nel seguito viene descritto passo per passo il procedimento svolto dal software, che seguirà l'iter previsto dalla sopracitata specifica tecnica.

Inizialmente dovremo inserire in ingresso alcuni dati già calcolati in precedenza, in particolare:

- $T_w$ : in questo campo si deve indicare la temperatura di erogazione dell'acqua sanitaria, espressa in gradi centigradi; questo dato è già stato stabilito al paragrafo 4.1;
- Categoria della zona: questo valore indica la tipologia in cui rientra l'edificio in esame; questo dato è già stato stabilito al paragrafo 1.2;
- Superficie utile: in questo campo si deve indicare l'area netta dei locali riscaldati, espressa in metri quadrati; questo dato è già stato stabilito al paragrafo 1.8;
- $V_w$ : questo valore indica il fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria, espresso in litri per giorno; questo dato è già stato stabilito al paragrafo 4.1;
- $T_o$ : in questo campo si deve indicare la temperatura dell'acqua sanitaria in ingresso nel bollitore; questo dato è già stato stabilito al paragrafo 4.1.

Successivamente viene calcolato il fabbisogno di energia utile ideale  $Q_{h,w}$  (indicato in megajoule) per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, necessario a soddisfare il periodo di una mensilità. Per fare ciò si risolve la seguente formula, analoga a quella proposta nel paragrafo 5.2 della normativa UNI TS 11300 parte 2:

$$Q_{h,w} = c * V_w * (T_w - T_o) * G$$

Con  $c$  viene indicato il valore del calore specifico dell'acqua, valutato in  $4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . La variabile  $G$  indica invece il numero medio di giorni in un mese, valutato in 30,5.

Si procede calcolando le perdite per erogazione  $Q_{l,w,er}$  (indicate in megajoule), determinate mediante la formula presente nel paragrafo 6.9.1 della normativa UNI TS 11300 parte 2 di seguito riportata:

$$Q_{1,w,er} = Q_{h,w} * (1 - \eta_{w,er}) / \eta_{w,er}$$

Con  $\eta_{w,er}$  viene indicato il valore del rendimento di erogazione, valutato nel 95% come disposto dal suddetto paragrafo della normativa UNI TS 11300.

Nella sezione dedicata al calcolo delle perdite per distribuzione  $Q_{1,w,d}$  (indicate in megajoule) viene indicato che l'impianto è di tipo autonomo ed ha una potenza minore di 35 kW; il soddisfacimento di queste due condizioni permette di utilizzare i valori di default per il rendimento di distribuzione  $\eta_{w,d}$ , come indicato al paragrafo 7.2 della normativa UNI TS 11300 parte 2.

Il rendimento di distribuzione  $\eta_{w,d}$  viene valutato mediante la formula:

$$\eta_{w,d} = 1 - f_{1,w,d}$$

Con  $f_{1,w,d}$  viene indicato il valore del coefficiente di perdita, assunto pari a 0,12 come indicato al paragrafo 6.9.2 della normativa UNI TS 11300 parte 2. Per il rendimento di distribuzione risulta dunque un valore pari all'88%; tuttavia il software, per introdurre un minimo margine di sicurezza, lo considera pari all'87%.

Le perdite per distribuzione  $Q_{1,w,d}$  (indicate in megajoule) vengono quindi calcolate applicando la seguente formula, come indicato nel paragrafo 6.11 della normativa UNI TS 11300 parte 2:

$$Q_{1,w,d} = (Q_{h,w} + Q_{1,w,er}) * (1 - \eta_{w,d}) / \eta_{w,d}$$

Nella sezione successiva si valutano le perdite per accumulo  $Q_{1,w,s}$ . Questo valore (indicated in megajoule) viene calcolato mediante la formula seguente, come indicato nel paragrafo 6.11 della normativa UNI TS 11300 parte 2:

$$Q_{1,w,s} = (Q_{h,w} + Q_{1,w,er} + Q_{1,w,d}) * (1 - \eta_{w,s}) / \eta_{w,s}$$

Con  $\eta_{w,s}$  viene indicato il valore del rendimento di accumulo. Il software calcola questo rendimento basandosi su due dati: le dimensioni del bollitore e il luogo dove il serbatoio d'accumulo è installato (all'interno di un locale riscaldato oppure no). Si procede quindi indicando nel campo "Volume di accumulo" il valore 51 - 200; infatti il volume del bollitore scelto risulta di 150 litri, come già calcolato al paragrafo 4.2. Si deve inoltre spuntare la casella di controllo della voce "Installato all'interno dell'ambiente riscaldato", in quanto il bollitore è situato nel locale 1, lo stesso in cui si trova la pompa di calore; questo locale risulta infatti provvisto di pannelli radianti a pavimento per il riscaldamento. Per un bollitore elettrico con le sopracitate caratteristiche il programma calcola un valore del rendimento di accumulo stagionale  $\eta_{w,s}$  pari all'85,8%.

Si può ora calcolare il fabbisogno di energia utile  $Q_{p,w}$  (indicato in megajoule) risolvendo la seguente formula:

$$Q_{p,w} = Q_{h,w} + Q_{1,w,er} + Q_{1,w,d} + Q_{1,w,s}$$

Successivamente si deve indicare la quantità di energia rinnovabile  $Q_{p,acs}$  (indicata in megajoule) utilizzata per la produzione di acqua calda sanitaria. Nel caso del presente progetto quest'energia rinnovabile è fornita dai pannelli fotovoltaici installati sul tetto dell'edificio, i quali produrranno energia elettrica che andrà ad alimentare la pompa di calore. La quantità di energia ottenuta mediante fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria deve risultare pari ad almeno il 50% del fabbisogno complessivo, come indicato nella delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 2 comma 18.

Il quantitativo energetico medio mensile che si è scelto di produrre mediante i pannelli fotovoltaici è stato valutato in 600 MJ, pari a 7200 MJ annui. Ogni metro quadrato di pannello fotovoltaico installato fornisce in media una quantità di energia

elettrica pari a 500 MJ per anno. Per produrre i 7200 MJ di energia elettrica da fonte rinnovabile che ci si propone di ottenere sono necessari un minimo di:  $7200 / 500 = 14,4$  m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici. Quest'area è nettamente inferiore alla superficie del tetto dell'edificio, per cui non si prospettano difficoltà nell'installazione di una quantità di pannelli fotovoltaici tale da coprire questa estensione superficiale minima.

Si procede calcolando il fabbisogno di energia utile effettivo  $Q_{p',w}$  (indicato in megajoule), valutato mediante la seguente formula:

$$Q_{p',w} = Q_{p,w} - Q_{p,acs}$$

In seguito nel campo "Tipo combustibile" si procede scegliendo "Energia elettrica" dall'elenco delle opzioni disponibili, in quanto questa è la forma di energia che alimenta la pompa di calore installata nell'impianto.

Risulta dunque ora possibile calcolare il fabbisogno di energia primaria  $Q_w$  (indicato in megajoule) attraverso la seguente formula:

$$Q_w = Q_{p',w} / \eta_{w,p}$$

Con  $\eta_{w,p}$  viene indicato il valore del rendimento di produzione; questo valore è stato stimato nel 98%.

In realtà questo dato risulta di norma superiore, in quanto la pompa di calore riesce a trasferire all'acqua sanitaria la quasi totalità dell'energia consumata; la stima è stata volutamente prudente per dare un maggior margine di sicurezza ai calcoli.

Per il riscaldamento dell'acqua sanitaria risulta dunque un fabbisogno energetico mensile medio di 520 MJ.

In figura 4-3 si può osservare la maschera utilizzata per eseguire i calcoli sopracitati con l'ausilio del software EC 601.

Figura 4-3

Acqua calda sanitaria																																																																
Esci Help																																																																
<< < Zona 1 > >> ?																																																																
<b>Fabbisogno di energia termica utile</b>																																																																
Tw	°C	40																																																														
Superficie utile	m²	188,36																																																														
												Categoria della zona (DPR 412)	E.1 (1)																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>GEN</th> <th>FEB</th> <th>MAR</th> <th>APR</th> <th>MAG</th> <th>GIU</th> <th>LUG</th> <th>AGO</th> <th>SET</th> <th>OTT</th> <th>NOV</th> <th>DIC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vw</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> <td>247</td> </tr> <tr> <td>To</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Qh,w</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table>														GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Vw	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	To	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	Qh,w	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC																																																				
Vw	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247																																																				
To	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15																																																				
Qh,w	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786	786																																																				
<b>Erogazione</b>																																																																
Ql,w,er	MJ	41																																																														
												Eta w,er	%	95																																																		
<b>Distribuzione</b>																																																																
Sistema autonomo < 35 kW <input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO																																																																
Eta w,d	%	87,0																																																														
Ql,w,d	MJ	124																																																														
<b>Accumulo</b>																																																																
Volume di accumulo	litri	51-200																																																														
												<input checked="" type="checkbox"/> Installato all'interno dell'ambiente riscaldato																																																				
Eta w,s	%	85,8																																																														
Ql,w,s	MJ	158																																																														
<b>Fabbisogno di energia primaria</b>																																																																
Qp,w	MJ	1110																																																														
Qp,acs	MJ	600																																																														
Qp',w	MJ	510																																																														
Eta w,p	%	98																																																														
												Tipo combustibile	Energia elettrica																																																			
Qw	MJ	520																																																														



## Capitolo 5

### Verifiche di legge sull'impianto

#### 5.1 Calcolo dei rendimenti dell'impianto

Per poter determinare il consumo annuo energetico dell'impianto di riscaldamento è necessario valutare i rendimenti dei vari sottosistemi che lo compongono, come indicato nella normativa UNI TS 11300 parte 2.

Per effettuare questi calcoli ci si avvale del software EC 601, che non farà altro che applicare il procedimento indicato nella specifica tecnica sopra citata.

Nel seguito viene descritta la procedura per il calcolo di questi rendimenti.

Per quanto riguarda il rendimento di emissione  $\eta_e$ , si dovranno inserire nel programma i seguenti dati:

- Altezza media locali: in questo campo si deve indicare il valore medio dell'altezza dei locali riscaldati, espresso in metri; nel caso preso in esame nel presente progetto, questo dato corrisponde a 2,8 m;
- Term. di erogazione: questo valore indica la tipologia del terminale di erogazione; nel caso preso in esame questo dato corrisponde al codice 6, cioè pannelli isolati annegati a pavimento;
- Fabbisogni elettrici: in questo campo si deve indicare il fabbisogno elettrico del terminale di erogazione del calore, espresso in Watt; come indicato al paragrafo 6.7.1 della normativa UNI TS 11300 parte 2, per i pannelli annegati a pavimento questo dato corrisponde a 0 W. Nella maschera del

programma si inserirà il valore di 1 W, in quanto questa quantità corrisponde alla grandezza minima accettata dal software per questo campo.

Il rendimento di emissione  $\eta_e$  risulta dunque pari al 99%, come indicato al paragrafo 6.6.1.1 della normativa UNI TS 11300 parte 2.

Si procede ora al calcolo del rendimento di regolazione  $\eta_{rg}$ . Nella maschera del software si deve indicare il tipo di regolazione presente nell'impianto; nel campo "Tipo" si indica "Climatica + Ambiente a 2 posizioni on/off", che corrisponde a quella presente nell'installazione oggetto del presente studio.

Il rendimento di regolazione  $\eta_{rg}$  risulta dunque pari al 95%, come indicato al paragrafo 6.6.2 della normativa UNI TS 11300 parte 2.

Si procede ora al calcolo del rendimento di distribuzione  $\eta_d$ ; si dovranno inserire nel programma i seguenti dati:

- Tipo Impianto: in questo campo si deve indicare la tipologia di impianto installata nel fabbricato; nel caso preso in esame questo dato corrisponde al codice A, cioè impianto autonomo;
- Numero di piani: questo valore indica il numero di piani su cui sono distribuiti i locali riscaldati; nel caso preso in esame questo dato corrisponde a tre;
- Isolamento distrib.: in questo campo si deve indicare la normativa seguita per la progettazione dell'isolamento per l'impianto di distribuzione dell'acqua per il riscaldamento. Essendo un edificio di recente progettazione, si sceglierà dall'elenco la normativa più recente, cioè "Legge 10/91", che comprende le abitazioni progettate dopo il 1993.
- DT progetto: questo valore indica la differenza di temperatura di progetto fra l'acqua in mandata ai terminali di erogazione di calore e quella desiderata negli ambienti riscaldati, espressa in gradi centigradi. La temperatura di

progetto all'interno dei locali riscaldati è stata considerata pari a 20°C, mentre quella dell'acqua in mandata verso i pannelli radianti a pavimento è stata valutata in 50°C, come già visto al paragrafo 3.3. Nel caso preso in esame quindi il dato "DT progetto" corrisponde a 30°C, quindi si sceglierà dall'elenco il valore "30/35";

- Fabbisogni elettrici: in questo campo si deve indicare il fabbisogno elettrico del sistema di distribuzione del calore, espresso in Watt; nel seguito sarà spiegato come calcolare questo valore;
- pompa sempre in funzione: si dovrà selezionare questa casella se la pompa di circolazione dell'impianto di distribuzione è sempre in funzione; non è questo il caso dell'impianto in esame;
- pompa a velocità variabile: si dovrà selezionare questa casella se la pompa di circolazione dell'impianto di distribuzione è gestita elettronicamente in base al fabbisogno di portata d'acqua dei collettori; è questo il caso dell'impianto in esame.

Il fabbisogno elettrico della pompa di distribuzione  $P_{po,d}$  (espresso in Watt) è calcolato con una formula simile a quella presente nel paragrafo 6.7.3 della normativa UNI TS 11300 parte 2, dove viene calcolato il fabbisogno energetico  $Q_{po,d}$  della suddetta pompa (espresso in Wattora) considerando il tempo in cui rimane in funzione; la formula utilizzata è la seguente:

$$P_{po,d} = W_{po} * F_v$$

con:

- $W_{po}$ : questo valore indica la potenza nominale di progetto della pompa di circolazione, espressa in Watt; questo dato è già stato ricavato dal catalogo fornito dal costruttore della

pompa di circolazione al paragrafo 3.3 della presente trattazione;

- $F_v$ : questo fattore tiene conto delle possibili variazioni di velocità della pompa; nel caso del presente progetto questo valore è pari a 0,6, come indicato al paragrafo 6.7.3 della normativa UNI TS 11300 parte 2.

Il fabbisogno elettrico della pompa di distribuzione  $P_{po,d}$  risulta dunque pari a 120 W.

Il rendimento di distribuzione senza correzione  $\eta$  risulta pari al 99%, come indicato al paragrafo 6.6.3 della normativa UNI TS 11300 parte 2. Si deve ora applicare l'opportuna correzione per ottenere il rendimento di distribuzione  $\eta_d$ , come indicato nel sopracitato paragrafo della specifica tecnica.

La formula che si utilizza, nel caso in cui la differenza di temperatura fra l'acqua in mandata ai terminali di erogazione del calore e quella desiderata negli ambienti riscaldati sia di 30°C, è la seguente:

$$\eta_d = 1 - (1 - \eta) * 0,25$$

Il rendimento di distribuzione  $\eta_d$  risulta dunque pari al 99,8%.

Si procede ora al calcolo del rendimento di generazione  $\eta_{gn}$ .

Per prima cosa si deve determinare il rendimento della pompa di calore  $\eta_{poc}$ ; questo dato viene calcolato mediante la seguente formula:

$$\eta_{poc} = COP * \eta_{sen}$$

con:

- COP: questo valore indica il coefficiente di prestazione della pompa di calore;
- $\eta_{sen}$ : questo dato individua il rendimento del sistema

elettrico nazionale, assunto convenzionalmente pari al 36%; questo dato verrà inserito nell'apposito campo nella maschera del software relativa ai rendimenti.

Il COP della pompa di calore è fortemente influenzato dalle condizioni ambientali esterne; per calcolare il valore di questo coefficiente, il software utilizza i valori nominali forniti dal costruttore, precedentemente inseriti al paragrafo 3.3, e i dati ambientali stagionali della zona ove sorgerà l'abitazione, già presenti nel database del programma.

Il software provvede quindi a calcolare un valore diverso del rendimento della pompa di calore  $\eta_{poc}$  per ogni mese dell'anno.

Il rendimento di generazione  $\eta_{gn}$  è influenzato anche dal fattore di intermittenza, che indica se il generatore di calore funziona ad intermittenza sempre alla stessa potenza oppure funziona in maniera continuativa fra un valore di potenza minimo ed uno massimo; questa seconda opzione è quella corretta nel caso del presente progetto.

Nel software andremo ad indicare nel campo "Modalità di funzionamento" il valore C, che descrive la modalità di funzionamento continuativa sopra descritta.

Una volta precisato anche questo parametro, il programma può dunque calcolare i valori definitivi che assume il rendimento di generazione  $\eta_{gn}$  in ogni mese dell'anno.

In figura 5-1 si può osservare la maschera utilizzata per eseguire i calcoli sopracitati con l'ausilio del software EC 601.

Figura 5-1

The screenshot shows the 'Rendimenti [\_tesi]' software interface. The window title is 'Rendimenti [\_tesi]'. The menu bar includes 'Vai a...', 'Utilità', and 'Help'. The interface is divided into several sections:

- Dati di input riferiti a:** Radio buttons for 'Edificio' and 'Zone'.
- Generatore:** A table with columns 'n°', 'Descrizione', and 'Generatore'. Row 1: '1', 'Pompa di calore'.
- Fattore di intermittenza:** 'Modalità di funzionamento' set to 'C'. Fields for 'h.spd(ore) = 0' and 'h.spn(ore) = 0'. 'T. min.' set to '0', 'gac(giorni) = 0'.
- Rendimento di Regolazione:** 'Tipo' set to 'Climatica+Ambiente a 2 posizioni ON/OFF'. 'Eta c = 95 %'.
- Rendimento di emissione:** 'Altezza media locali' 2.8 m, 'Term. di erogazione' 6, 'Tipologia di installaz.' 1, 'Temp. di mandata' 70 °C, 'Eta e = 99 %'. 'Fabbisogni elettrici' 1 W. 'sempre in funzione' checkbox is unchecked.
- Rendimento di distribuzione:** 'Tipo Impianto' A, 'Numero di piani' 3, 'Isolamento distrib.' 'Legge 10/91', 'DT progetto' 30/35, 'Eta d = 99.8 %'. 'Fabbisogni elettrici' 120 W. 'pompa sempre in funzione' and 'pompa a velocità variabile' checkboxes are checked.
- Barra di navigazione:** 'Rendimento di Produzione' (red), 'Energie Riscaldamento (UNI/TS 11300-1) e Qp vari' (green), 'Energie per Acqua sanitaria' (green).
- Caratteristiche generali del generatore:** 'Generatore per riscaldamento:' with checkboxes for 'con produzione di acqua calda', 'con produzione per altri usi (Qp vari)', and 'con produzione da fonte rinnovabile (Qp risc.)'. 'Rend. sist. elettrico nazionale EtaSen = 36 %'.
- Generatore scelto:** 'Pompa di calore'. 'Elenco Generatori' table:
 

Elenco Generatori
Caldiaia
Gen. aria calda
Pompa di calore
Tabellato
Caldiaia a condensazione

 'Scegli' and 'Modifica' buttons.

## 5.2 Verifiche di legge secondo normativa nazionale

Si procede ora ad eseguire le verifiche di legge previste dal decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006 allegato I comma 1. Per effettuare i calcoli per queste verifiche ci si avvale del software EC 601.

La prima verifica prevede che la prestazione energetica per la climatizzazione invernale  $EP_i$  (espressa in  $kWh/(m^2 \cdot anno)$ ) sia inferiore al limite imposto dalla legge per la zona climatica ove è situato l'edificio. Questo limite è indicato nel decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006 allegato C tabella 1.3.

Questo valore limite è influenzato da due variabili: il numero di

gradi-giorno della zona in cui sorge l'abitazione e il rapporto di forma dell'edificio. I gradi-giorno per il comune di Castel San Pietro Terme, dove è ubicato l'edificio oggetto del presente studio, sono 2263. Dai dati già calcolati al paragrafo 1.8 possiamo desumere il rapporto di forma dell'edificio, calcolato mediante la formula:

$$S / V = 485,83 / 779,70 = 0,62$$

con:

- S: questo valore indica la superficie totale disperdente, espressa in metri quadrati;
- V: questo dato indica il volume totale riscaldato lordo, espresso in metri cubi.

Nell'eventualità in cui ci si trovi in un caso intermedio fra gli estremi dei valori imposti dalla normativa, per calcolare l'esatto limite di legge si procede per interpolazione lineare.

Effettuando gli opportuni calcoli otteniamo un valore limite di 70,35 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno). Il software calcola una prestazione energetica per la climatizzazione invernale EP<sub>i</sub> per l'abitazione oggetto di questa trattazione pari a 27,63 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno). La verifica risulta quindi superata.

La successiva verifica prevede che la prestazione energetica dell'involucro per il raffrescamento EP<sub>e</sub> (espressa in kWh/(m<sup>2</sup>\*anno)) sia inferiore al limite imposto dalla legge. Questo limite è indicato nel decreto del Presidente della Repubblica n° 59 del 2 aprile 2009 art. 4 comma 3 ed è pari a 30 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno) per la zona climatica ove è situato l'edificio.

Il software calcola una prestazione energetica dell'involucro per il raffrescamento EP<sub>e</sub> per l'abitazione oggetto di questa trattazione pari a 19,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno). La verifica risulta quindi superata.

La verifica seguente prevede che il rendimento globale medio stagionale  $\eta_g$  sia inferiore al limite imposto dalla legge. Questo limite è indicato nel decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006 allegato I.

Questo valore limite è calcolato mediante la formula prevista dalla sopracitata disposizione di legge, di seguito riportata:

$$\eta_g = (65 + 3 * \log P_n) \% = 67,9\%$$

Con  $P_n$  viene indicata la potenza utile nominale del generatore di calore espressa in kilowatt; nel caso del progetto in esame questo dato assume il valore di 9,4 kW, come già visto al paragrafo 3.3.

Il software calcola un rendimento globale medio stagionale  $\eta_g$  per l'abitazione oggetto di questa trattazione pari al 106,3%. La verifica risulta quindi superata.

L'ultima verifica consiste nel controllare che la trasmittanza media delle pareti sia inferiore al valore imposto dalla legge. Questa prova è già stata eseguita al paragrafo 1.3, dove si è verificato che la trasmittanza di ogni singola parete fosse inferiore al limite di legge; ne consegue immediatamente che anche la media delle trasmittanze sia inferiore alla soglia imposta dalla norma.

In figura 5-2 si può osservare la maschera utilizzata per eseguire i calcoli sopracitati con l'ausilio del software EC 601.



Figura 5-2

Verifiche DLgs 311/06

Esci Help

Generatore : POMPA DI CALORE

Tipo di Intervento: Edificio di nuova costruzione

Verifiche previste dal DLgs 311/06, Allegato I, comma 1  
 Verifiche alternative previste dal DLgs 311/06, Allegato I, comma 6

	Verifica	Ammissibili	Calcolati	
Prestazione energetica per la climatizzazione invernale	Positiva	70,35	> 27,63	kWh/(m <sup>2</sup> *anno)
Prestazione energetica dell'involucro per il raffrescamento		30	> 19,5	kWh/(m <sup>2</sup> *anno)
Rendimento globale medio stagionale Eta g	Positiva	67,9	< 106,3	%
Rendimento utile - 30 % Pn EtaU				
Rendimento utile - 100 % Pn EtaU				
Rendimento di combustione 100 % Pn EtaC				
Trasmittanza media chiusure trasparenti	Positiva			
Trasmittanza media strutture opache	Positiva			
Verifica massa superficiale e trasmittanza periodica				
Rendimento utile - EtaU, riferito all'energia primaria				
Rapporto superficie trasparente / superficie utile				

### 5.3 Verifiche di legge secondo normativa regionale

Si procede ora ad eseguire le verifiche di legge previste dalla delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 2 comma 1. Per effettuare i calcoli per queste verifiche ci si avvale del software EC 601.

Alcuni di questi controlli sono ridondanti rispetto a quelli appena effettuati seguendo la normativa nazionale, tuttavia la legge impone di effettuare comunque le verifiche anche secondo la normativa regionale.

La prima verifica prevede che la prestazione energetica per riscaldamento  $EP_i$  (espressa in kWh/(m<sup>2</sup>\*anno)) sia inferiore al limite imposto dalla legge per la zona climatica ove è situato

l'edificio. Questo limite è indicato nella delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 3 requisito 6.1.1 tabella A.1.

Questo valore limite è influenzato da due variabili: il numero di gradi-giorno della zona in cui sorge l'abitazione e il rapporto di forma dell'edificio, in maniera del tutto analoga alla normativa nazionale esaminata al paragrafo 5.1.

Nell'eventualità in cui l'edificio sia dotato di impianto di climatizzazione invernale combinato con la produzione di acqua calda sanitaria (come nel caso della pompa di calore installata nel presente progetto), i valori limite sopra indicati sono validi per la prestazione energetica complessiva, calcolata come la somma fra la prestazione energetica per riscaldamento  $EP_i$  e la prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria  $EP_{acs}$ .

Quest'ultimo dato (espresso in kWh/(m<sup>2</sup>\*anno)) è calcolato mediante la formula:

$$EP_{acs} = Q_w * 12 * 0,28 / 188,36$$

Il valore calcolato per la prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria  $EP_{acs}$  risulta dunque pari a 9,21 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno).

Il software calcola una prestazione energetica complessiva per l'abitazione oggetto di questa trattazione pari a 36,84 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno). Effettuando gli opportuni calcoli otteniamo un valore limite di 70,35 kWh/(m<sup>2</sup>\*anno), come per la normativa nazionale. La verifica risulta quindi superata.

La verifica seguente prevede che il rendimento globale medio stagionale  $\eta_g$  sia inferiore al limite imposto dalla legge. Questo limite è indicato nella delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 3 requisito 6.2.

Questo valore limite è calcolato mediante la formula prevista dalla sopracitata disposizione di legge, di seguito riportata:

$$\eta_g = (75 + 3 * \log P_n) \% = 77,9\%$$

Con  $P_n$  viene indicata la potenza utile nominale del generatore di calore espressa in kilowatt; nel caso del progetto in esame questo dato assume il valore di 9,4 kW, come già visto al paragrafo 3.3.

Il software calcola un rendimento globale medio stagionale  $\eta_g$  per l'abitazione oggetto di questa trattazione pari al 106,3%. La verifica risulta quindi superata.

Il successivo accertamento riguarda la verifica termoigrometrica delle pareti, già effettuata al paragrafo 1.4.

Il controllo seguente prevede le verifiche della massa superficiale e della classe prestazionale estiva delle pareti, già effettuate ai paragrafi 1.2 e 1.5.

In seguito viene verificato se la quantità di energia ottenuta mediante fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria risulta pari ad almeno il 50% del fabbisogno complessivo, come indicato nella delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 2 comma 18. Sfruttando i pannelli fotovoltaici installati sul tetto dell'edificio si producono mediamente 600 MJ di energia mensili a fronte di un fabbisogno di 1110 MJ; la quota di energia prodotta mediante fonti rinnovabili risulta dunque pari al 54% della quantità occorrente. La verifica risulta quindi superata.

L'ultima verifica consiste nel controllare che la trasmittanza media delle pareti sia inferiore al valore imposto dalla legge. Questa prova è già stata eseguita al paragrafo 1.3.

Nelle figure 5-3 e 5-4 si possono osservare le maschere utilizzate per eseguire le verifiche sopracitate con l'ausilio del software EC 601.

Figura 5-3

Regione Emilia Romagna

Verifiche secondo deliberazione Giunta Regionale 04 marzo 2008, N. 156

Tipo di generatore: Pompa di calore

Destinazione d'uso: Abit.residenziali con carattere continuativo  Edificio situato in centro storico

Tipo di intervento: Edifici di nuova costruzione (Allegato 2 c.1)

Tipo di verifica	VERIFICA	Valore ammissibile	Valore calcolato	u.m.	Info
Prestazione energetica per riscaldamento	Positiva	70,35 >	36,84 kWh/(m²anno)		
Rendimento globale medio stagionale Eta g	Positiva	77,9 <	106,3 %		
Trasmittanza media chiusure trasparenti (con infissi)					
Trasmittanza media chiusure trasparenti (solo vetro)					
Verifica termigrometrica	Positiva				
Massa superficiale / Classe prestazionale benessere estivo	Positiva				
Produzione ACS con fonte rinnovabile	Positiva	50 <	54 %		
Trasmittanza media strutture opache	Positiva				

• Per gli edifici con numero di unità immobiliari superiori a 4, appartenenti alle categorie E.1 ed E.2, è obbligatorio prevedere la realizzazione di impianti termici centralizzati.  
 • Ad esclusione delle categorie E.6 e E.8, il progettista valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare.  
 • Ad esclusione delle categorie E.6 e E.8, il progettista utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio.  
 • Il progettista valuta puntualmente e documenta l'applicazione di efficaci sistemi filtranti delle superfici vetrate tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento, in conformità alle disposizioni contenute nell'allegato 3, requisito 6.4.  
 • Ad eccezione delle categorie E.6 ed E.8, e limitatamente a collegi, conventi, case di pena e caserme per la categoria E.1, per immobili di superficie utile superiore a 1000 m², è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni secondo quanto stabilito nell'allegato 3 requisito 6.4.  
 • Nel caso di installazione di nuovi impianti termici è prescritto l'utilizzo di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi.  
 • E' obbligatoria la predisposizione delle opere necessarie a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento, in presenza di tratte di rete ad una distanza inferiore a 1000 m, ovvero in presenza di progetti previsti dai vigenti strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica e in corso di realizzazione.

OK Annulla

Figura 5-4

EC601 - Relazione Tecnica - [Regione Emilia Romagna]

File Help

Esci Stampa Indietro Indice Avanti Help

VERIFICHE SECONDO D.G.R. 04.03.2008, N. 156/08

Zona: 1

Tipo di generatore: Pompa di calore

Tipo di intervento: Edifici di nuova costruzione (Allegato 2 c.1)

**a) Involucro edilizio**

Verifica trasmittanza strutture opache	Positiva
Verifica trasmittanza componenti finestrate	
Verifica igrometrica	Positiva
Verifica massa superficiale / Classe prestazionale	Positiva
Trasmittanza media pareti opache	0,153 W/m²K
Trasmittanza media copertura	0,207 W/m²K
Trasmittanza media basamento	0,241 W/m²K
Trasmittanza media infissi	1,285 W/m²K

**b) Valori dei rendimenti medi stagionali di progetto**

Rendimento globale medio stagionale	106,3 %
Rendimento globale medio stagionale limite	77,9 %
Verifica	Positiva

**c) Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento**

Metodo di calcolo: UNI/TS 11300-1, UNI/TS 11300-2 e norme correlate

Valore di progetto	27,63 kWh/m²anno
Valore limite	70,35 kWh/m²anno
Verifica	Positiva

**f) Indice di copertura da fonte rinnovabile per ACS**

Verifica copertura	Positiva
--------------------	----------

## 5.4 Certificazione energetica

Si procede ora all'elaborazione dell'attestato di certificazione energetica, conformemente a quanto prescritto dalla delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008 allegato 7.

**ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA**  
**Delibera Regione Emilia Romagna n. 156**  
**del 04/03/2008**

Oggetto n. 3124: "Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di Certificazione Energetica degli edifici", ALLEGATO 7

EDIFICIO: *FABBRICATO AD USO CIVILE ABITAZIONE*

INDIRIZZO: *INCROCIO VIA EMILIA - VIA SAN CARLO*

COMUNE: *CASTEL SAN PIETRO TERME*

INTERVENTO: *Edificio di nuova costruzione*  
*(Allegato 2 c.1)*

- Delibera Regione Emilia Romagna n. 156 del 04/03/2008,  
ALLEGATO 7

**ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA**

**Delibera Regione Emilia Romagna n. 156 del 04/03/2008 - ALLEGATO 7**

**b. Dati identificativi dell'immobile o dell'unità immobiliare  
(riferimenti catastali) e del proprietario**

Edificio

***FABBRICATO AD USO CIVILE ABITAZIONE***

---

Sito in

***CASTEL SAN PIETRO TERME***

---

Riferimenti catastali dell'immobile

---

Destinazione d'uso (categoria DPR 412/93)

***E.1 (1)***

---

Proprietario dell'immobile

---

**c. Dati identificativi del tecnico/i qualificato/i preposti alla  
determinazione della prestazione energetica**

Progettisti dell'isolamento termico

---

Progettisti degli impianti termici

---

**d. Dati identificativi del soggetto che emette l'attestato stesso  
(soggetto certificatore), con evidenza del suo accreditamento  
presso l'organismo regionale di accreditamento di cui al  
presente atto**

Organismo di accreditamento

---

---

**Date di emissione e di scadenza dell'attestato**

Data emissione

**20 / 01 / 2010**

---

Data scadenza

---

**e. Codice di identificazione univoca dell'attestato di certificazione energetica, attribuito sulla base della procedura di registrazione attivata dall'organismo regionale di accreditamento**

Codice di identificazione

---

**g. Risultati della procedura di valutazione delle prestazioni energetiche con indicazione del valore dell'indice di prestazione energetica (energia primaria)  $EP_{tot}$  complessivo e degli indici  $EP$  parziali, secondo quanto indicato in Allegato 8.**

Zona

**E**

---

Unità di ripartizione

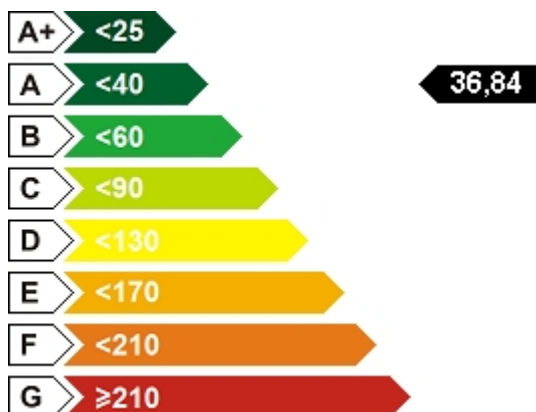
**1**

---

 $EP_i$  per la climatizzazione invernale**27,63**kWh/(m<sup>2</sup>\*anno) $EP_{acs}$  per la produzione di acqua calda sanitaria**9,21**kWh/(m<sup>2</sup>\*anno) $EP_{tot}$  complessivo**36,84**kWh/(m<sup>2</sup>\*anno)

**h. Classe di appartenenza dell'edificio in base alla scala di prestazione energetica di cui all'allegato 9**

Classe energetica di appartenenza



**i. Indicazione degli indici di prestazione energetica minimi obbligatori, come disciplinati dalla delibera Regione Emilia Romagna n. 156 del 04/03/2008 per gli edifici di cui al par. 3.1 del presente atto**

Indice di prestazione energetica minima

kWh/(m<sup>2</sup>\*anno)

**j. Indicazione dei potenziali interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche, con una loro valutazione sintetica in termine di costi e benefici**

*IL RAGGIUNGIMENTO DELLA CLASSE ENERGETICA "A" RISULTA UN TRAGUARDO PIU' CHE SODDISFACENTE. EVENTUALI INTERVENTI VOLTI A CONSEGUIRE PER L'EDIFICIO UNA CLASSIFICAZIONE ENERGETICA "A+" AVREBBERO UN RAPPORTO COSTI / BENEFICI SFAVOREVOLE.*

**k. Asseverazione dei dati riportati nell'attestato da parte dei soggetti preposti di cui alle lettere c. e d. precedenti**

I soggetti sotto indicati certificano che i dati riportati nel presente documento, sono conformi alle disposizioni di cui al Provvedimento Regionale n. 156 del 04/03/2008.



---

**ALLEGATI ALL'ATTESTATO DI CERTIFICAZIONE ENERGETICA****Tipologia edilizia**

Descrizione

***FABBRICATO AD USO CIVILE ABITAZIONE***

---

**Dati identificativi del/i progettista/i del progetto  
architettonico e degli impianti tecnici a servizio dell'edificio,  
del direttore lavori e del costruttore, quando disponibili**

Direttori lavori dell'isolamento termico

---

Direttori lavori degli impianti termici

---

Progettisti dell'isolamento termico

---

Progettisti degli impianti termici

---

Costruttore

---

**Dati climatici**

Zona climatica

***E***

---

Gradi giorno (determinati in base al DPR 412/93)

***2263*** GG

---

Temperatura minima di progetto dell'aria esterna

***-6*** °C

---

**Caratteristiche dimensionali dell'edificio (unità immobiliare)**

Descrizione

**RISCALDAMENTO CON PANNELLI A PAVIMENTO ALIMENTATI DA  
POMPA DI CALORE**

Rendimento di regolazione

95,0
------

 %

Rendimento di distribuzione

99,8
------

 %

Rendimento di emissione

99,0
------

 %

Rendimento di produzione

113,3
-------

 %

Rendimento globale medio stagionale di progetto

106,3
-------

 %**Fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale**Fabbisogno di energia utile  $Q_H$ 

18736
-------

 MJ**Caratteristiche del sistema edificio-impianto rilevanti per la climatizzazione estiva**

Descrizione

**CLIMATIZZAZIONE CON PANNELLI A PAVIMENTO ALIMENTATI DA  
POMPA DI CALORE**

Fabbisogno di energia utile per la climatizzazione estiva

13223
-------

 MJ

**Caratteristiche dell'impianto di produzione di ACS**

Sistemi di produzione e di distribuzione dell'acqua calda sanitaria

***POMPA DI CALORE CON PRODUZIONE DI ACQUA CALDA***

***SANITARIA INTEGRATA***

Fabbisogno di energia utile  $Q_{h,w}$

9432

MJ

**Caratteristiche dell'impianto per l'illuminazione artificiale degli ambienti**

Descrizione

Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale

kWh

**Contributo delle fonti rinnovabili alla copertura del fabbisogno di energia primaria totale**

Impianti a fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda

***PANNELLI FOTOVOLTAICI INSTALLATI SUL TETTO DELL'EDIFICIO***

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo

54 %

Impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica

***PANNELLI FOTOVOLTAICI INSTALLATI SUL TETTO DELL'EDIFICIO***

Percentuale di copertura del fabbisogno annuo

**Sistemi e dotazioni impiantistiche per la gestione, automazione e controllo degli edifici (dotazione sistemi BACS)**

Descrizione

**Altri dispositivi e usi energetici**Descrizione

---

**Indicazioni delle metodologie di valutazione adottate e del software utilizzato con autodichiarazione della esistenza delle garanzie della casa produttrice dello scostamento massimo dei risultati conseguiti inferiore del 5% rispetto ai corrispondenti valori della metodologia di calcolo di riferimento**

Metodo di calcolo adottato (indicazione obbligatoria)

***UNI/TS 11300-1, UNI/TS 11300-2 e norme correlate***

---

**Origine dei dati relativi alla prestazione energetica utilizzati per la certificazione dell'edificio, con esplicita indicazione circa la relativa responsabilità**

**Software di calcolo utilizzato:**

EC 601 versione 7 - CD 9.1 T (luglio 2009) della ditta Edilclima S.r.l.

**Validazione software di calcolo:**

Data validazione software : 23 luglio 2009

Rilasciata da : Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente

## Conclusioni

Una volta redatta la certificazione energetica è terminato l'iter progettuale dell'impianto di climatizzazione della villetta bifamiliare.

Il progetto è stato eseguito tenendo conto delle normative più restrittive per quanto riguarda il risparmio energetico; questa scelta è stata fatta in quanto si intendeva raggiungere un elevato standard di prestazione energetica per l'edificio.

Il raggiungimento della classe energetica A risulta un traguardo importante, che pone l'abitazione oggetto dello studio ai vertici per quanto riguarda l'economicità energetica dell'impianto per la climatizzazione e per la produzione di acqua calda sanitaria.

E' stato possibile raggiungere questo obiettivo grazie anche ad un'attenta progettazione in campo edile, poichè se si intende raggiungere elevate prestazioni di climatizzazione invernale ed estiva è necessario progettare l'edificio in funzione di questo obiettivo, utilizzando materiali isolanti molto prestazionali per il rivestimento delle pareti disperdenti.

Non sarebbe infatti sufficiente installare impianti di climatizzazione molto efficienti in un edificio in cui l'isolamento termico sia inefficace.

Ne è la prova il fatto che le prestazioni energetiche raggiunte in questo progetto sono appannaggio degli edifici di nuova costruzione; questi risultati sono infatti impossibili da raggiungere in vecchi edifici ristrutturati, anche nel caso si installino impianti ad alto rendimento.

Risulta dunque fondamentale che la progettazione architettonica ed impiantistica avvengano in parallelo, influenzandosi reciprocamente, in modo da creare sinergie atte al raggiungimento

degli obiettivi preposti, in questo caso un'alta prestazione energetica per la climatizzazione.

Eventuali migliorie volte a portare l'edificio in classe energetica A+, che rappresenta il non plus ultra in quanto a risparmio energetico per la climatizzazione, avrebbero comportato costi difficilmente sostenibili in campo edilizio; per contro il beneficio sarebbe stato tutto sommato piuttosto limitato, in quanto la classe A rappresenta già di per sè uno standard molto parsimonioso per quanto riguarda la spesa energetica.

Si ringrazia lo studio termotecnico dell'ing. Beltrami Sergio per la disponibilità dimostrata ed in particolare l'ing. Lelli Claudio per la collaborazione fornita nell'esecuzione del progetto.

## Bibliografia

Nel corso della trattazione si fa riferimento a numerose leggi e normative tecniche che sono state consultate durante il lavoro di progettazione; qui di seguito ne viene riportato l'elenco completo:

- norme nazionali consultate:

- legge n° 10 del 9 gennaio 1991
- decreto del Presidente della Repubblica n° 412 del 26 agosto 1993
- decreto legislativo n° 192 del 19 agosto 2005
- decreto legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006
- decreto del Presidente della Repubblica n° 59 del 2 aprile 2009

- norme regionali consultate:

- delibera regionale n° 156 del 4 marzo 2008

- normative tecniche consultate:

- UNI 10349
- UNI EN 1264-1
- UNI EN 1264-2
- UNI EN 1264-3
- UNI EN 1264-4

- UNI 9182
- UNI TS 11300-1
- UNI TS 11300-2
- UNI TS 11300-3