



**POLITECNICO
DI TORINO**

Corso di laurea in Ingegneria Energetica e Nucleare

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO TERMICO PER RISCALDAMENTO E
PRODUZIONE DI ACS**

Candidata:
Santomauro Giulia
S211269

Relatore:
Professor Verda Vittorio
DENEG

| | | |
|---------------------|---|----|
| INTRODUZIONE | Presentazione del progetto | 3 |
| CAPITOLO 1 | 1.1 Dati generali | 4 |
| | 1.2 Calcolo della trasmittanza - Superfici opache | 7 |
| | 1.3 Calcolo della trasmittanza - Serramenti | 14 |
| CAPITOLO 2 | 2.1 Perdite di calore per trasmissione | 17 |
| | 2.2 Perdite di calore per ventilazione | 23 |
| | 2.3 Apporti gratuiti | 25 |
| | 2.4 Apporti solari | 26 |
| | 2.5 Fabbisogno termico per riscaldamento | 33 |
| | 2.6 Fabbisogno termico per ACS | 35 |
| | 2.7 Fabbisogno termico totale | 37 |
| CAPITOLO 3 | 3.1 Rendimenti degli impianti | 39 |
| | 3.2 Dimensionamento dei componenti dell'impianto | 41 |
| | 3.3 Schema dell'impianto | 43 |
| | 3.4 L'impianto solare termico | 52 |
| CAPITOLO 4 | 4.1 Spesa annua per l'energia primaria | 57 |
| | 4.2 Risparmio di CO ₂ | 62 |
| | 4.3 Pay-back time | 64 |
| | 4.4 Conclusioni | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | Bibliografia, sitografia & immagini | 67 |
| APPENDICE | Schede tecniche | 68 |

INTRODUZIONE

PRESENTAZIONE DEL PROGETTO

La presente relazione ha lo scopo di illustrare la progettazione di un impianto termico per un immobile ad uso abitativo sito in Piemonte, nella provincia di Vercelli; tale elaborato avrà la finalità di trattare i seguenti argomenti:

- Studio della trasmittanza e del fabbisogno termico dell'edificio.
- Progettazione dell'impianto termico per il riscaldamento invernale.
- Progettazione dell'impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS).
- Calcolo del *pay-back time* (tempo di ritorno) dell'investimento.

Il materiale di studio, i progetti e i disegni sono stati sviluppati in sede di tirocinio presso un'azienda attiva nel settore dell'installazione di sistemi che utilizzano fonti primarie rinnovabili e dove ho ricoperto il ruolo di project engineer.

Non sarà invece oggetto di studio la progettazione degli interni e della struttura dell'abitazione, la cui cura è stata affidata ad un secondo studio architettonico.

Nello specifico si sottolinea che l'intera progettazione della struttura e degli impianti dell'abitazione è stata implementata nell'ottica dell'utilizzo di materiali *eco compatibili e fonti energetiche rinnovabili*, queste ultime in grado di garantire una riduzione dei costi di esercizio rispetto a fonti energetiche tradizionali.

Per fonti ad energia rinnovabile si intende tutte quelle fonti che possono essere considerate inesauribili, ovvero che vengono naturalmente reintegrate in una scala temporale commisurabile a quella dell'uomo, il cui sfruttamento quindi non le fa diminuire.

I principali esempi sono costituiti da: energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica e da biomassa.

Il progetto è basato sullo sfruttamento dell'energia solare, tramite l'impianto solare termico, e della biomassa, in quanto combustibile del sistema di generazione.

La biomassa è in generale definita come combustibile di origine biologica, dal materiale legnoso ai rifiuti organici; in questo caso quella utilizzata è di tipo legnoso, in particolare ceppi di legna e pellets (agglomerati costituiti da scarti di origine agricola – forestale).



Figura 1: Schema semplificato dell'impianto

CAPITOLO 1

1.1 DATI GENERALI

L'abitazione oggetto dello studio, ovvero una villetta indipendente di nuova costruzione, è costituita da due piani abitativi, il piano terra (PT) ed il piano primo (PP). Al primo di essi (ref. PT) è presente una parete comunicante con l'autorimessa, mentre le restanti, invece, comunicano con l'esterno tramite relative porte – finestre; infine le superfici trasparenti sono costituite da tre finestre e un velux situato nella porzione di copertura a vista che rimane esposta verso l'esterno.

Al piano primo (ref. PP) risultano invece essere ubicate quattro finestre, due porte – finestre e due velux situati nella copertura a vista (ovvero terracotta opportunamente isolata); le pareti comunicano in questo caso tutte verso l'esterno.

Al piano terreno è inoltre presente un locale tecnico dove verranno alloggiati l'impianto di generazione, l'accumulo e tutti gli elementi ausiliari. L'esposizione e l'area di tutte le superfici opache e trasparenti saranno elencate nel dettaglio nei paragrafi a seguire (nello specifico nel calcolo delle perdite di calore).

Affinché si possa stimare il fabbisogno termico per il riscaldamento invernale, in primo luogo è necessario calcolare la trasmittanza termica di tutte le superfici, cioè la tendenza di ogni superficie allo scambio di energia termica. Da questo dato sarà quindi possibile determinare le perdite di calore dell'edificio ed infine stimare il fabbisogno termico. A seguire, in **tabella 1**, vengono riportate le ipotesi di partenza.

Tabella 1, Ipotesi di partenza

| | | |
|----------------------------------|------|---|
| Zona Climatica | E | Periodo di riscaldamento: 15 ottobre – 15 aprile |
| GG | 2765 | Gradi Giorno |
| t_{risc,max} | 14 | h/giorno – ore di riscaldamento giornaliero massimo |
| Climatizzazione Invernale | | |
| T_{min, progetto} | -6 | [°C] |
| T_{interna} | 20 | [°C] |
| Umidità relativa | 50 | % |
| Abitazione | | |
| A_d | 545 | m ² superficie disperdente |
| Vol | 260 | m ³ volume netto |
| A_f | 150 | m ² superficie calpestabile climatizzata |

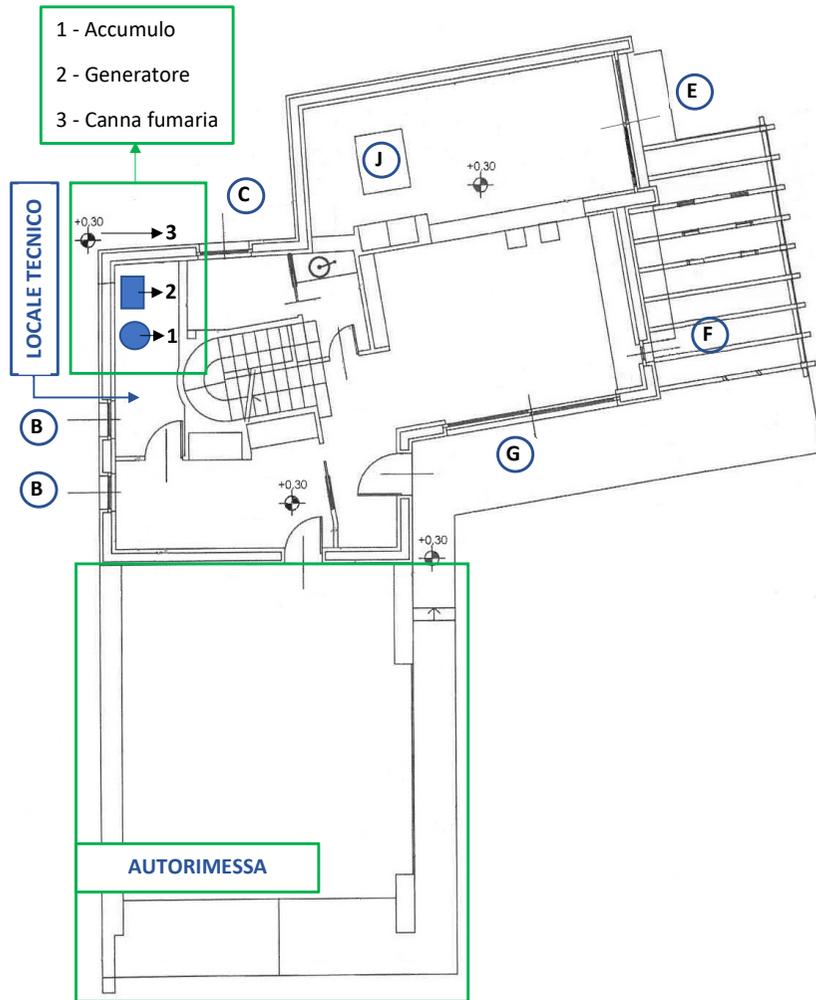


Figura 2: Pianta dell'edificio con riferimenti dei serramenti e disposizione nel locale tecnico - PT

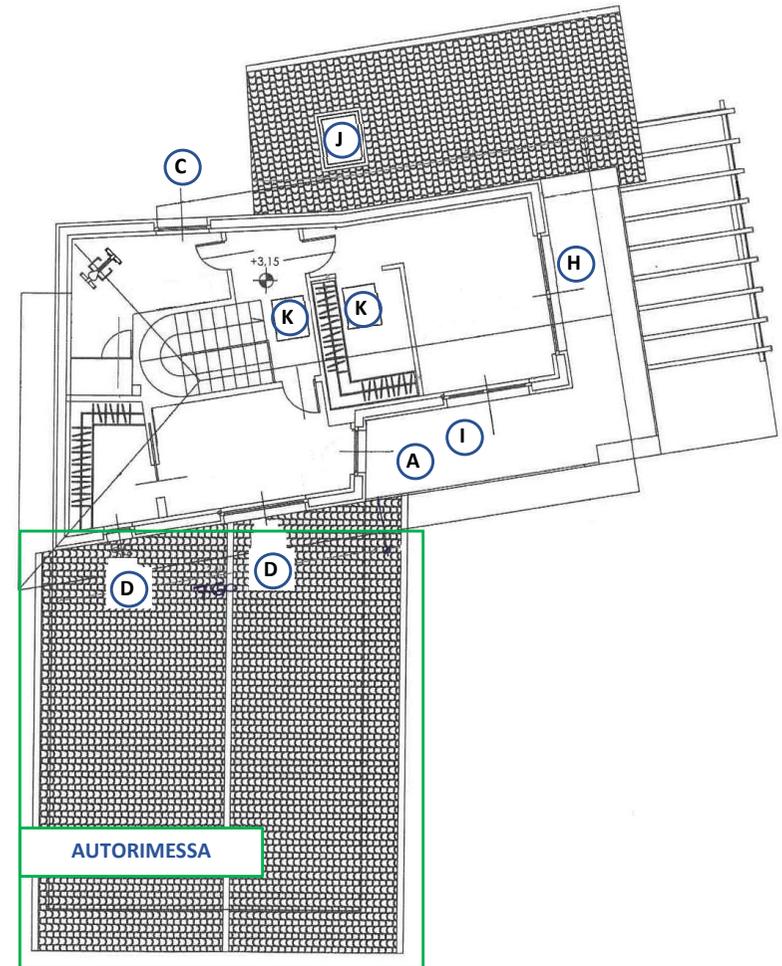


Figura 3: Pianta dell'edificio con riferimenti dei serramenti - PP

1.2 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA – SUPERFICI OPACHE

Come accennato in precedenza, la trasmittanza termica - U_{tot} , espressa in $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$, rappresenta l'attitudine di una superficie allo scambio di energia. L'edificio in questione presenta quattro tipologie di superfici opache:

- Parete esterna (PE)
- Parete autorimessa (PA)
- Copertura a vista (CV)
- Pavimento radiante contro terra (PR)

Per il computo di U_{tot} è stato utilizzato il foglio di calcolo messo a disposizione dalla città metropolitana di Torino, il quale fa riferimento alla norma UNI EN ISO 13786.

A seguire una tabella riassuntiva dei risultati.

Il principio dell'elaborato di calcolo ha un funzionamento semplice, infatti è sufficiente inserire, partendo dall'esterno, ogni singolo strato con le seguenti caratteristiche:

- Conduttività termica, $\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
- Calore specifico, $c \left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$
- Densità, $\rho \left[\frac{kg}{m^3}\right]$
- Spessore, $s [cm]$

Di seguito vengono riportati i dati estrapolati dal foglio di calcolo dedicato ad ogni tipo di superficie opaca.

Le schede tecniche di riferimento dei materiali sono invece riportate in appendice.

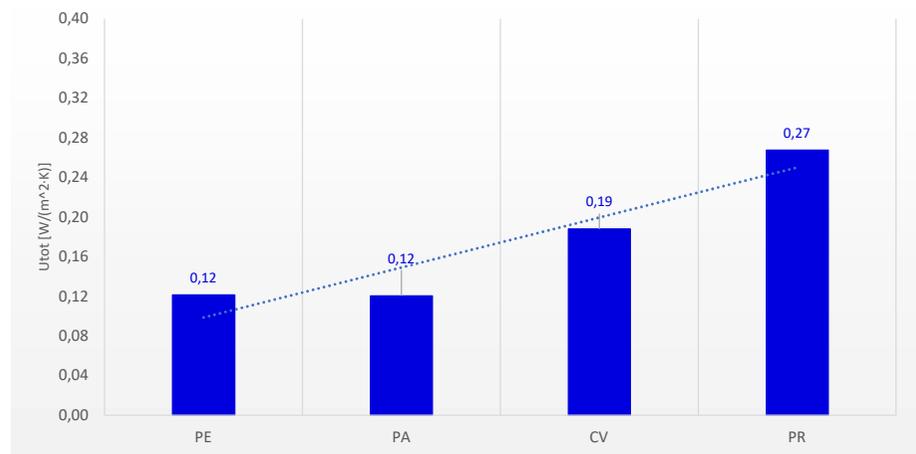
Tabella 2, Sinossi dei risultati

| | PE | PA | CV | PR |
|--|-------|-------|-------|---------|
| Resistenza termica totale | | | | |
| $R_{tot} = \sum(s/\lambda) + R_{si} + R_{se} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ | 8,20 | 8,30 | 5,30 | 3,70 |
| Trasmittanza termica totale | | | | |
| $U_{tot} = 1/R_{tot} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ | 0,12 | 0,12 | 0,19 | 0,27 |
| Massa Superficiale | | | | |
| $MS = \sum(\rho/s) \left[\frac{kg}{m^2} \right]$ | 59,85 | 56,55 | 68,90 | 1720,70 |

Ove:

- R_{si} = Resistenza termica superficiale interna $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$
- R_{se} = Resistenza termica superficiale esterna $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

Trasmittanza Superfici opache



Il valore della trasmittanza, la cui definizione tecnica è il flusso di calore che attraversa una superficie di area unitaria che viene esposta ad un gradiente di temperatura pari ad 1 [K], è il parametro di riferimento per il calcolo delle dispersioni: più il valore della trasmittanza è basso, maggiore sarà la prestazione termica della superficie in questione.

Dal grafico riferito alla **tabella 2** si può facilmente evincere che la superficie più performante, e quindi quella che presenta un isolamento termico più efficace, è la parete verticale.

Questo è dovuto al fatto che le pareti verticali sono tipicamente le più semplici da isolare poiché presentano meno limiti di spessore e tipologia di materiali utilizzabili rispetto alle coperture e ai pavimenti, soprattutto in caso di nuova realizzazione dell'edificio.

Per quanto concerne la superficie più disperdente, ovvero il pavimento, anch'essa presenta un valore di trasmittanza performante; tutti e quattro i parametri rientrano infatti nei limiti imposti in base alla zona climatica dalla normativa D.Lgs 311/2006 - *disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs 19 agosto 2005, relative al rendimento energetico nell'edilizia* – ovvero, per la zona climatica E dove è situato l'edificio:

- $U_{lim} = 0,25 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per le strutture opache di copertura.
- $U_{lim} = 0,30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per le strutture opache di pavimento verso locali non riscaldati o contro terra.
- $U_{lim} = 0,30 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per le strutture opache verticali, verso l'esterno o gli ambienti non climatizzati.

Parete Esterna

| Calcolo delle caratteristiche di inerzia termica di pareti verticali multistrato in regime variabile secondo UNI EN ISO 13786 | | | | | | | |
|---|--|------------------------|--------------------|-----------|----------|---------------------------|--|
| Strati | Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati della parete | | | | | Resistenza termica strato | |
| | Tipo materiale | Conduttività termica λ | Calore specifico c | Densità ρ | Spess. s | | |
| Interno | [Descrizione] | [W/(m *K)] | [J/(kg *K)] | [kg/m³] | [cm] | [(m² *K)/W] | |
| +5 | Cartongesso in lastre | 0,21 | 1000 | 900 | 1,3 | 0,06 | |
| +4 | Cartongesso in lastre | 0,21 | 1000 | 900 | 1,3 | 0,06 | |
| +3 | Bitume: feltro/foglio | 0,23 | 2000 | 1100 | 0,3 | 0,01 | |
| +2 | Isover Mupan K4+ | 0,033 | 1030 | 20 | 5 | 1,52 | |
| +1 | Tavole a fibre orientate (OSB) | 0,13 | 1450 | 650 | 1,5 | 0,12 | |
| Intercapedine | | | | | | 0,00 | |
| -1 | Celenit FL 45 | 0,0381 | 2100 | 50 | 8 | 2,10 | |
| -2 | Celenit FL 45 | 0,0381 | 2100 | 50 | 8 | 2,10 | |
| -3 | Pannelli in fibra (MDF) | 0,18 | 1800 | 800 | 1,5 | 0,08 | |
| -4 | Polistirene espanso | 0,04 | 1500 | 30 | 8 | 2,00 | |
| -5 | | | | | | 0,00 | |
| Esterno | Spessore totale muratura [cm] | | | | | 34,9 | |

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------|
| Dati di default | Periodo delle variazioni T | [s] | 86400 |
| | Coefficiente liminare interno hi | [W/(m² *K)] | 7,69 |
| | Coefficiente liminare esterno he | [W/(m² *K)] | 25,00 |

| | | | |
|-----------------|---|-------------|------|
| UNI EN ISO 6946 | Resistenza termica superficiale interna Rsi | [(m² *K)/W] | 0,13 |
| | Resistenza termica superficiale esterna Rse | [(m² *K)/W] | 0,04 |

| | | | |
|-----------|--|-------------|------|
| Risultati | Resistenza termica totale parete R tot | [(m² *K)/W] | 8,2 |
| | Trasmittanza termica totale parete U tot | [W/(m² *K)] | 0,12 |

| | | | |
|-----------|---|-------------|-------|
| Risultati | Fattore di decremento (smorzamento) | [-] | 0,11 |
| | Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento) | [h] | 13,56 |
| | Capacità termica areica lato interno | [kJ/ m² *K] | 28,01 |
| | Capacità termica areica lato esterno | [kJ/ m² *K] | 7,01 |

| | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|
| Risultati | Massa Superficiale | [kg/m²] | 59,85 |
|-----------|--------------------|---------|-------|



CITTA' DI TORINO

Parete Autorimessa

| Calcolo delle caratteristiche di inerzia termica di pareti verticali multistrato in regime variabile secondo UNI EN ISO 13786 | | | | | | | |
|---|--|------------------------|--------------------|-----------|----------|---------------------------|--|
| Strati | Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati della parete | | | | | Resistenza termica strato | |
| | Tipo materiale | Conduttività termica λ | Calore specifico c | Densità ρ | Spess. s | | |
| Interno | [Descrizione] | [W/(m *K)] | [J/(kg *K)] | [kg/m³] | [cm] | [(m² *K)/W] | |
| +5 | Cartongesso in lastre | 0,21 | 1000 | 900 | 1,3 | 0,06 | |
| +4 | Cartongesso in lastre | 0,21 | 1000 | 900 | 1,3 | 0,06 | |
| +3 | Isover Mupan K4+ | 0,033 | 1030 | 20 | 5 | 1,52 | |
| +2 | Tavole a fibre orientate (OSB) | 0,13 | 1450 | 650 | 1,5 | 0,12 | |
| +1 | Celenit FL 45 | 0,0381 | 2100 | 50 | 8 | 2,10 | |
| Intercapedine | | | | | | 0,00 | |
| -1 | Celenit FL 45 | 0,0381 | 2100 | 50 | 8 | 2,10 | |
| -2 | Pannelli in fibra (MDF) | 0,18 | 1800 | 800 | 1,5 | 0,08 | |
| -3 | Polistirene espanso | 0,04 | 1500 | 30 | 8 | 2,00 | |
| -4 | | | | | | 0,00 | |
| -5 | | | | | | 0,00 | |
| Esterno | Spessore totale muratura [cm] | | | | | 34,6 | |

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------|
| Dati di default | Periodo delle variazioni T | [s] | 86400 |
| | Coefficiente liminare interno hi | [W/(m² *K)] | 7,69 |
| | Coefficiente liminare esterno he | [W/(m² *K)] | 7,69 |

| | | | |
|-----------------|---|-------------|------|
| UNI EN ISO 6946 | Resistenza termica superficiale interna Rsi | [(m² *K)/W] | 0,13 |
| | Resistenza termica superficiale esterna Rse | [(m² *K)/W] | 0,13 |

| | | | |
|-----------|--|-------------|------|
| Risultati | Resistenza termica totale parete R tot | [(m² *K)/W] | 8,3 |
| | Trasmittanza termica totale parete U tot | [W/(m² *K)] | 0,12 |

| | | | |
|-----------|---|-------------|-------|
| Risultati | Fattore di decremento (smorzamento) | [-] | 0,11 |
| | Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento) | [h] | 13,27 |
| | Capacità termica areica lato interno | [kJ/ m² *K] | 23,6 |
| | Capacità termica areica lato esterno | [kJ/ m² *K] | 7,03 |

| | | | |
|-----------|--------------------|---------|-------|
| Risultati | Massa Superficiale | [kg/m²] | 56,55 |
|-----------|--------------------|---------|-------|



CITTA' DI TORINO

Copertura a vista

| Calcolo delle caratteristiche di inerzia termica di pareti verticali multistrato in regime variabile secondo UNI EN ISO 13786 | | | | | | |
|---|--|------------------------|--------------------|-----------|----------|---------------------------|
| Strati | Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati del solaio | | | | | Resistenza termica strato |
| | Tipo materiale | Conductività termica λ | Calore specifico c | Densità ρ | Spess. s | |
| Interno | [Descrizione] | [W/(m °K)] | [J/(kg °K)] | [kg/m³] | [cm] | [(m² °K)/W] |
| +5 | | | | | | 0,00 |
| +4 | | | | | | 0,00 |
| +3 | | | | | | 0,00 |
| +2 | | | | | | 0,00 |
| +1 | Terracotta | 1 | 880 | 2000 | 1,00 | 0,01 |
| Intercapedine | | | | | 5,00 | 0,16 |
| -1 | Tavole in fibra orientata (OSB) | 0,13 | 1450 | 650 | 1,20 | 0,09 |
| -2 | Celenit FL 150 | 0,038 | 2100 | 160 | 9,00 | 2,37 |
| -3 | Celenit FL 151 | 0,038 | 2100 | 160 | 9,00 | 2,37 |
| -4 | Bitume: feltro/foglio | 0,23 | 2000 | 1100 | 0,30 | 0,01 |
| -5 | Abete (flusso perpendicolare a fibre) | 0,12 | 2700 | 450 | 2,00 | 0,17 |
| Esterno | Spessore totale muratura [cm] | | | | 27,50 | |

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------|
| Dati di default | Periodo delle variazioni T | [s] | 86400 |
| | Coefficiente liminare interno hi | [W/(m² °K)] | 10,00 |
| | Coefficiente liminare esterno he | [W/(m² °K)] | 25,00 |

| | | | |
|-----------------|---|-------------|------|
| UNI EN ISO 6946 | Resistenza termica superficiale interna Rsi | [(m² °K)/W] | 0,1 |
| | Resistenza termica superficiale esterna Rse | [(m² °K)/W] | 0,04 |

| | | | |
|-----------|--|-------------|------|
| Risultati | Resistenza termica totale parete R tot | [(m² °K)/W] | 5,3 |
| | Trasmittanza termica totale parete U tot | [W/(m² °K)] | 0,19 |

| | | | |
|-----------|---|-------------|------|
| Risultati | Fattore di decremento (smorzamento) | [-] | 0,24 |
| | Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento) | [h] | 12,8 |
| | Capacità termica areica lato interno | [kJ/ m² °K] | 30 |
| | Capacità termica areica lato esterno | [kJ/ m² °K] | 34 |

| | | | |
|-----------|--------------------|---------|------|
| Risultati | Massa Superficiale | [kg/m²] | 68,9 |
|-----------|--------------------|---------|------|



Pavimento radiante contro terra

| Calcolo delle caratteristiche di inerzia termica di pareti verticali multistrato in regime variabile secondo UNI EN ISO 13786 | | | | | | |
|---|---|------------------------|--------------------|-----------|----------|---------------------------|
| Strati | Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati del pavimento | | | | | Resistenza termica strato |
| | Tipo materiale | Conductività termica λ | Calore specifico c | Densità ρ | Spess. s | |
| Interno | [Descrizione] | [W/(m °K)] | [J/(kg °K)] | [kg/m³] | [cm] | [(m² °K)/W] |
| +1 | Piastrella in ceramica | 1,30 | 850 | 2300 | 1,50 | 0,01 |
| +2 | Caldana additiva | 1,00 | 900 | 1800 | 5,50 | 0,06 |
| +3 | Pannello per PR | 0,031 | 1250 | 30 | 4,00 | 1,29 |
| +4 | Polistirene espanso | 0,034 | 2100 | 50 | 6,00 | 1,76 |
| +5 | Massetto calcestruzzo | 1,06 | 880 | 1700 | 9,00 | 0,08 |
| +6 | Calcestruzzo armato | 2,30 | 840 | 2300 | 40,00 | 0,17 |
| +7 | Sabbia e ghiaia | 2,00 | 840 | 1700 | 30,00 | 0,15 |
| +8 | | | | | | 0,00 |
| +9 | | | | | | 0,00 |
| +10 | | | | | | 0,00 |
| Esterno | Spessore totale muratura [cm] | | | | 96,00 | |

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------|
| Dati di default | Periodo delle variazioni T | [s] | 86400 |
| | Coefficiente liminare interno hi | [W/(m² °K)] | 5,88 |
| | Coefficiente liminare esterno he | [W/(m² °K)] | 25,00 |

| | | | |
|-----------------|---|-------------|------|
| UNI EN ISO 6946 | Resistenza termica superficiale interna Rsi | [(m² °K)/W] | 0,17 |
| | Resistenza termica superficiale esterna Rse | [(m² °K)/W] | 0,04 |

| | | | |
|-----------|--|-------------|------|
| Risultati | Resistenza termica totale parete R tot | [(m² °K)/W] | 3,7 |
| | Trasmittanza termica totale parete U tot | [W/(m² °K)] | 0,27 |

| | | | |
|-----------|---|-------------|-------|
| Risultati | Fattore di decremento (smorzamento) | [-] | 0,007 |
| | Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento) | [h] | 23,8 |
| | Capacità termica areica lato interno | [kJ/ m² °K] | 80 |
| | Capacità termica areica lato esterno | [kJ/ m² °K] | 134 |

| | | | |
|-----------|--------------------|---------|--------|
| Risultati | Massa Superficiale | [kg/m²] | 1720,7 |
|-----------|--------------------|---------|--------|



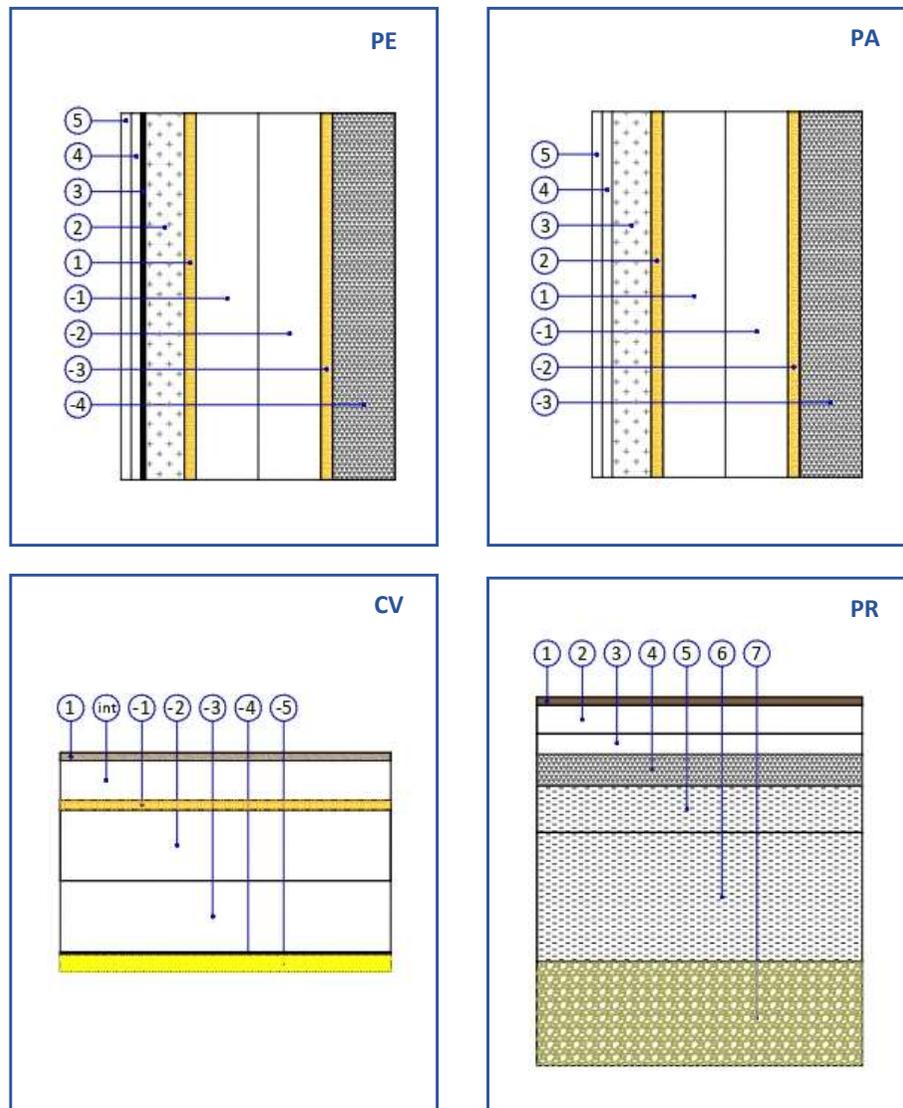


Figura 4: Schizzi degli strati

1.3 CALCOLO DELLA TRASMITTANZA – SERRAMENTI

Come per le superfici opache, si rende necessario ai fini della valutazione delle dispersioni dell'edificio, il calcolo della trasmittanza termica dei serramenti, U_w .

In questo caso la trasmittanza è il risultato della media ponderata tra i valori della superficie trasparente e del telaio.

Inoltre un aspetto di cui è necessario avere considerazione è quello relativo ai ponti termici, ovvero quelle zone che scambiano un flusso termico maggiore a causa dell'intersezione di materiali differenti, come accade nel nostro caso di serramenti vetro - telaio, oppure degli stessi materiali che cambiano orientamento.

I valori di riferimento della trasmittanza dei ponti termici, $\psi \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$, sono riportati nella normativa di riferimento, la UNI EN ISO 14683.

Per il calcolo di $U_w \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ sono stati quindi utilizzati i seguenti parametri geometrici e tecnici, i cui valori sono stati presi dalle relative schede tecniche:

- Area superfici vetrate, $A_g \text{ [m}^2\text{]}$
- Area telai, $A_f \text{ [m}^2\text{]}$
- Lunghezza dei ponti termici, $l_g \text{ [m]}$
- Trasmittanza superfici vetrate, $U_g \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
- Trasmittanza telai, $U_f \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$.

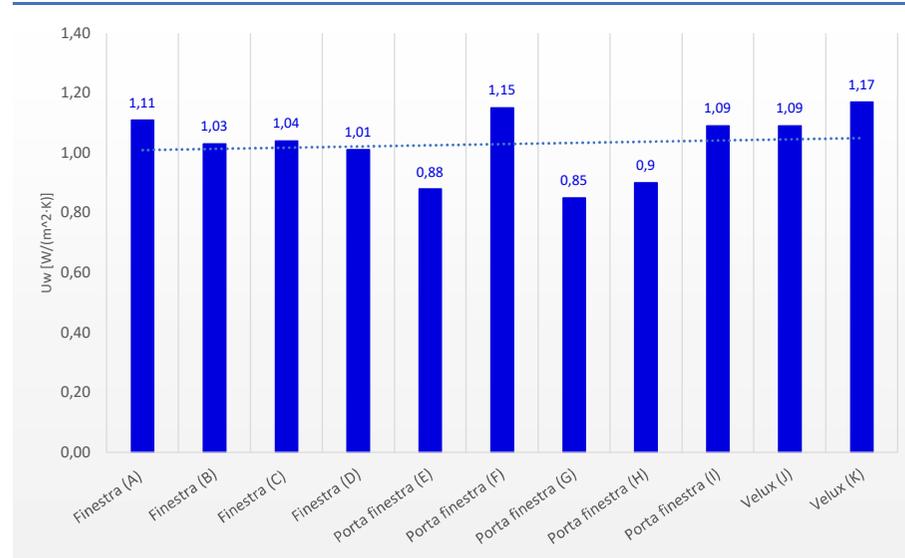
Tabella 3, Calcolo della trasmittanza

| | A_g | A_f | l_g | U_g | U_f | ψ | U_w |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| A_ Finestra | 0,19 | 0,17 | 1,76 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,11 |
| B_ Finestra | 0,41 | 0,23 | 2,56 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,03 |
| C_ Finestra | 0,46 | 0,26 | 2,96 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,04 |
| D_ Finestra | 0,81 | 0,39 | 4,56 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,01 |
| E_ Porta finestra | 6,06 | 1,15 | 14,22 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 0,88 |
| F_ Porta finestra | 0,60 | 0,43 | 5,28 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,15 |
| G_ Porta finestra | 9,73 | 1,48 | 17,82 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 0,85 |
| H_ Porta finestra | 4,81 | 1,07 | 12,72 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 0,90 |
| I_ Porta finestra | 1,32 | 0,78 | 9,12 | 0,8 | 1,2 | 0,06 | 1,09 |
| J_ Velux | 1,22 | 0,38 | 4,44 | 1 | 1,2 | 0,06 | 1,09 |
| K_ Velux | 0,51 | 0,24 | 2,88 | 1 | 1,2 | 0,06 | 1,17 |

Ove:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi}{A_g + A_f} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Trasmittanza Serramenti



Dal grafico riferito alla [tabella 3](#) si può facilmente evincere che le porte – finestre sono leggermente più performanti rispetto gli altri serramenti; in generale i valori di trasmittanza sono comparabili l'uno con l'altro poiché la casa produttrice scelta dal Cliente è la stessa e così anche la tipologia di infissi, ovvero serramenti con telaio in PVC dotati di vetro-camera multipla. Analogamente a quanto detto al §1.2, la normativa di riferimento pone un limite al valore di trasmittanza ammesso anche nel caso delle chiusure tecniche trasparenti comprensive degli infissi, ovvero $1,8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ in zona climatica E, rispettato da tutte le chiusure installate.

Nonostante la superficie totale dei serramenti sia di gran lunga inferiore a quella opaca, una buona qualità nella scelta degli infissi comporta un notevole miglioramento per quanto riguarda le dispersioni dell'involucro rispetto alle vecchie tipologie, quali ad esempio telai in legno o alluminio di spessore ridotto con vetro singolo oppure unica vetro-camera.

Questi ultimi infatti non solo disperdono una quantità maggiore di calore, ma spesso presentano un'inferiore resistenza al passaggio di aria fredda proveniente dall'esterno e una predisposizione inferiore al passaggio di radiazione solare verso l'interno con una diminuzione degli apporti solari gratuiti (§2.4).

CAPITOLO 2

2.1 PERDITE DI CALORE PER TRASMISSIONE

A valle della determinazione della trasmittanza termica dell'involucro, è stato possibile calcolare le perdite di calore per trasmissione. In particolare, esse si suddividono come segue:

- Perdite per trasmissione verso l'esterno
- Perdite per trasmissione verso il terreno
- Perdite per trasmissione verso locali non riscaldati (nel nostro caso l'autorimessa presente al piano terra).

Il computo delle perdite viene definito mediante il coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e quello non climatizzato, $H \left[\frac{W}{K} \right]$.

Per ogni tipo di perdita di trasmissione viene quindi calcolato il relativo coefficiente di scambio, partendo dai valori di trasmittanza e di area della superficie di riferimento, come riportato nelle tabelle a seguire.

Tabella 4, Coefficiente di scambio verso l'esterno - piano terra

| Struttura | Esposizione | A [m ²] | U [W/(m ² ·K)] | h=A·U [W/K] |
|---|-------------|---------------------|---------------------------|--------------|
| Parete esterna | SE | 31,02 | 0,12 | 3,77 |
| Parete esterna | SO | 7,90 | 0,12 | 0,96 |
| Parete esterna | NE | 45,60 | 0,12 | 5,55 |
| Parete esterna | NO | 37,02 | 0,12 | 4,50 |
| Copertura a vista | Orizzontale | 34,20 | 0,19 | 6,43 |
| 2x Finestra (B) | NO | 1,28 | 1,03 | 1,32 |
| Finestra (C) | NE | 0,72 | 1,04 | 0,74 |
| Porta finestra (E) | SE | 7,21 | 0,88 | 6,37 |
| Porta finestra (F) | SE | 1,03 | 1,15 | 1,18 |
| Porta finestra (G) | SO | 11,21 | 0,85 | 9,56 |
| Velux (J) | Orizzontale | 1,60 | 1,09 | 1,74 |
| Ponte termico | Esposizione | L [m] | ψ [W/(m·K)] | h=L·ψ [W/K] |
| Serramento-lato esterno parete | SO | 13,70 | 0,09 | 1,26 |
| Serramento-lato esterno parete | Orizzontale | 5,08 | 0,09 | 0,47 |
| Serramento-lato esterno parete | SE | 16,40 | 0,09 | 1,51 |
| Serramento-lato esterno parete | NE | 3,60 | 0,09 | 0,33 |
| Serramento-lato esterno parete | NO | 6,40 | 0,09 | 0,59 |
| Coefficiente di scambio termico verso l'esterno, H_{d,pt} = Σh [W/K] | | | | 46,29 |

Tabella 5, Coefficiente di scambio verso l'esterno - piano primo

| Struttura | Esposizione | A [m ²] | U [W/(m ² ·K)] | h=A·U [W/K] |
|---|-------------|---------------------|---------------------------|--------------|
| Parete esterna | SE | 15,42 | 0,12 | 1,88 |
| Parete esterna | SO | 40,64 | 0,12 | 4,94 |
| Parete esterna | NE | 39,49 | 0,12 | 4,80 |
| Parete esterna | NO | 43,40 | 0,12 | 5,28 |
| Copertura a vista | Orizzontale | 97,17 | 0,19 | 18,26 |
| Finestra (A) | SO | 0,36 | 1,11 | 0,40 |
| Finestra (C) | NE | 0,72 | 1,04 | 0,74 |
| 2x Finestra (D) | SO | 2,40 | 1,01 | 2,42 |
| Porta finestra (H) | SE | 5,88 | 0,90 | 5,31 |
| Porta finestra (I) | SO | 2,10 | 1,09 | 2,28 |
| 2x Velux (K) | Orizzontale | 1,50 | 1,17 | 1,74 |
| Ponte termico | Esposizione | L [m] | ψ [W/(m·K)] | h=L·ψ [W/K] |
| Serramento-lato esterno parete | SO | 12,80 | 0,09 | 1,18 |
| Serramento-lato esterno parete | Orizzontale | 7,04 | 0,09 | 0,65 |
| Serramento-lato esterno parete | SE | 16,00 | 0,09 | 1,47 |
| Serramento-lato esterno parete | NE | 3,60 | 0,09 | 0,33 |
| Coefficiente di scambio termico verso l'esterno, H_{d,pp} = Σh [W/K] | | | | 51,69 |

Tabella 6, Coefficiente di scambio verso il terreno

| Struttura | 2P [m] | A [m ²] | U [W/(m ² ·K)] | H _g =A·U [W/K] |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Pavimento contro terra | 51,09 | 90 | 0,27 | 24,06 |

Tabella 7, Coefficiente di scambio verso locali non riscaldati

| Struttura | A [m ²] | U [W/(m ² ·K)] | H _u =A·U [W/K] |
|--------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Parete autorimessa | 22,25 | 0,12 | 2,68 |

Dalle tabelle 4, 5, 6 e 7 è possibile osservare come il coefficiente di scambio maggiore sia quello verso l'esterno, con valori simili sia per il primo piano che per il piano terra.

Questo è dovuto principalmente alla maggior area di scambio rivolta verso l'esterno rispetto all'area rivolta verso il terreno e verso i locali non riscaldati. A sostegno di ciò si nota che la superficie inferiore, pari a circa 22 m², è costituita dalla parete comunicante verso l'autorimessa (ovvero il locale non riscaldato).

A seguire vi è la pavimentazione che costituisce un'area di scambio verso il terreno pari a circa 90 m².

L'area di scambio verso l'esterno invece si suddivide in:

- Circa 156 m² di superficie opaca e circa 23 m² di serramenti al piano terra, per un totale di circa 180 m².
- Circa 236 m² di superficie opaca e circa 13 m² di serramenti al primo piano, per un totale di circa 250 m²; in questo caso ad incidere in modo particolare vi è la copertura a vista dell'edificio (97 m²).

Poiché la superficie che scambia con l'esterno è di tipo misto opaco – trasparente, ai fini del calcolo del coefficiente di scambio è stato necessario inoltre prendere in considerazione anche i ponti termici lineici presenti nelle zone di intersezione tra i serramenti e le superfici opache. In questo caso il coefficiente di scambio può essere determinato quale il prodotto della lunghezza dei ponti termici presenti e della loro trasmittanza termica lineica, $\Psi \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$, il cui valore è stato preso dalla norma tecnica di riferimento.

Dai valori calcolati per ogni singola superficie nelle precedenti tabelle si è ricavato il valore di H per entrambi i piani abitativi:

- per il **piano terra**, dove sono presenti il pavimento contro terra e la parete dell'autorimessa

$$H = H_{d,pt} + H_g + H_u = 73,03 \left[\frac{W}{K} \right].$$

- per il **primo piano**

$$H = H_{d,pp} = 51,69 \left[\frac{W}{K} \right].$$

Infine è quindi possibile calcolare le perdite di calore per trasmissione, prendendo in considerazione le temperature esterne mensili durante il periodo di riscaldamento, tramite la seguente formulazione:

$$Q_{tr} = H \cdot (T_{int} - T_{est}) \cdot gg \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]}$$

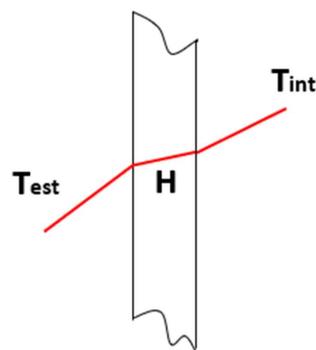


Figura 5: Rappresentazione dello scambio termico tra interno ed esterno

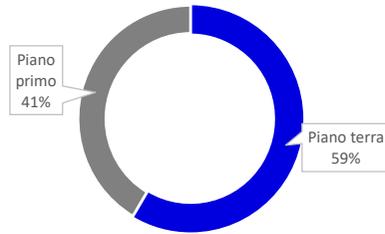
Tabella 8, Perdite per trasmissione totali piano terra

| Mese | gg | T _{int} [°C] | T _{est} [°C] | Q _{tr,pt} [kWh] |
|--|----|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Gennaio | 31 | 20,00 | 0,9 | 1037,83 |
| Febbraio | 28 | 20,00 | 2,5 | 858,87 |
| Marzo | 31 | 20,00 | 7,7 | 668,34 |
| Aprile | 15 | 20,00 | 10,6 | 247,14 |
| Ottobre | 17 | 20,00 | 9,7 | 306,91 |
| Novembre | 30 | 20,00 | 5,1 | 783,50 |
| Dicembre | 31 | 20,00 | 0,7 | 1048,70 |
| Perdite per trasmissione totali piano terra, Q _{g,pt} = ΣQ _{tr,pt} [kWh] | | | | 4951,29 |

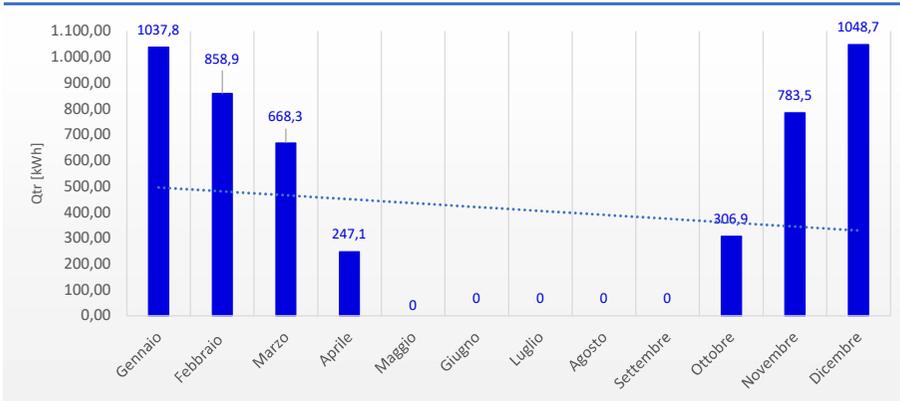
Tabella 9, Perdite per trasmissione totali piano primo

| Mese | gg | T _{int} [°C] | T _{est} [°C] | Q _{tr,pp} [kWh] |
|--|----|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Gennaio | 31 | 20,00 | 0,9 | 734,58 |
| Febbraio | 28 | 20,00 | 2,5 | 607,91 |
| Marzo | 31 | 20,00 | 7,7 | 473,05 |
| Aprile | 15 | 20,00 | 10,6 | 174,93 |
| Ottobre | 17 | 20,00 | 9,7 | 217,23 |
| Novembre | 30 | 20,00 | 5,1 | 554,56 |
| Dicembre | 31 | 20,00 | 0,7 | 742,27 |
| Perdite per trasmissione totali piano primo, Q _{g,pp} = ΣQ _{tr,pp} [kWh] | | | | 3504,52 |

Ove gg sono i giorni di riscaldamento mensili.



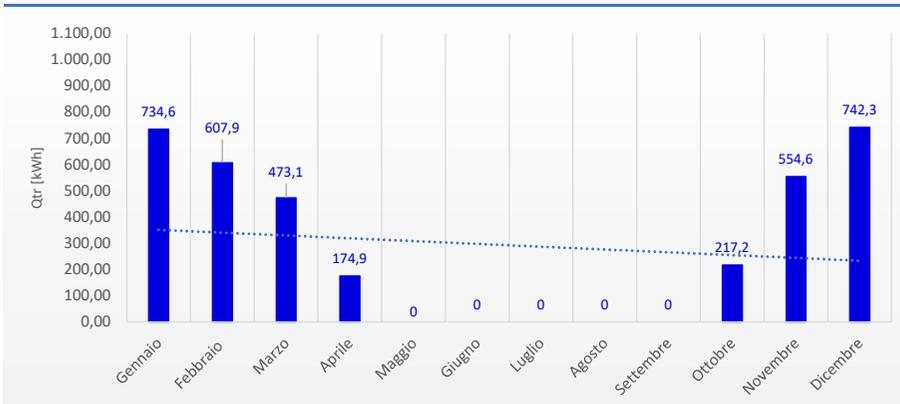
Perdite per trasmissione piano terra



Perdite per trasmissione totali



Perdite per trasmissione piano primo



Dai grafici riferiti alle **tabelle 8 e 9** si può notare che le perdite per trasmissione sono leggermente inferiori al primo piano; ciò è dovuto dalla presenza della parete dell' autorimessa e della pavimentazione contro terra che innalzano il valore del coefficiente di scambio, come calcolato al §2.1. La pavimentazione presente al primo piano, invece, non influisce sullo scambio termico poiché i due piani abitativi vengono entrambi scaldati alla medesima temperatura e non si genera a livello globale alcun flusso termico.

Da questi dati è possibile determinare le perdite per trasmissione totali quali la somma di quelle dei due singoli piani dell'abitazione. L'andamento annuale delle perdite, indipendentemente se globali o relative ad uno dei piani, presenta la medesima distribuzione: i picchi si verificano nei mesi invernali più freddi (dicembre e gennaio) per poi diminuire nei mesi primaverili ed autunnali, più miti. A conferma di ciò il grafico ad anello evidenzia che circa il 42% delle perdite si verifica nei mesi di gennaio e febbraio e solo il 5-6% ad aprile e ottobre.

2.2 PERDITE DI CALORE PER VENTILAZIONE

La rimanente quota parte delle dispersioni dell'abitazione risulta da imputare alle perdite per ventilazione: esse rappresentano la parte di energia dispersa per garantire la corretta ventilazione degli ambienti.

Considerando che per gli edifici residenziali si assume un ricambio d'aria n pari a $0,3 \left[\frac{vol}{h} \right]$, è possibile definire la portata del flusso d'aria disperdente come:

$$q_{ve} = n \cdot Vol \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Partendo dal valore determinato in precedenza di q_{ve} si può quindi calcolare il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione H_{ve} mediante la formula

$$H_{ve} = \rho_a \cdot C_a \cdot q_{ve} / 3600 \left[\frac{W}{K} \right]$$

Ove:

- $\rho_a \cdot C_a$ è la capacità termica volumica dell'aria, pari a $1200 \left[\frac{J}{m^3 \cdot K} \right]$
- 3600 è il fattore di conversione da Joule a Watt-ora.

Tabella 10, Coefficiente di scambio per ventilazione

| Superficie Disp. [m ²] | Vol [m ³] | n [1/h] | q _{ve} [m ³ /h] | H _{ve} [W/K] |
|------------------------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------|
| 545 | 260 | 0,3 | 78,06 | 26,02 |

Utilizzando la stessa formulazione delle perdite di calore per trasmissione, è possibile calcolare anche quelle per ventilazione.

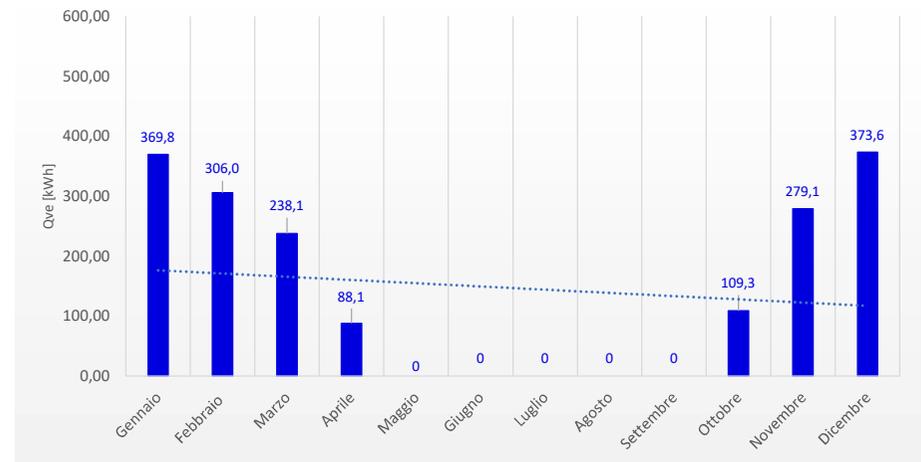
$$Q_{ve} = H_{ve} \cdot (T_{int} - T_{est}) \cdot gg \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]}$$

I valori così determinati durante la stagione di riscaldamento sono riportati in **tabella 11**.

Tabella 11, Perdite globali per ventilazione

| Mese | gg | T _{int} [°C] | T _{est} [°C] | Q _{ve} [kWh] |
|---|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Gennaio | 31 | 20,00 | 0,9 | 369,75 |
| Febbraio | 28 | 20,00 | 2,5 | 306,00 |
| Marzo | 31 | 20,00 | 7,7 | 238,11 |
| Aprile | 15 | 20,00 | 10,6 | 88,05 |
| Ottobre | 17 | 20,00 | 9,7 | 109,35 |
| Novembre | 30 | 20,00 | 5,1 | 279,14 |
| Dicembre | 31 | 20,00 | 0,7 | 373,63 |
| Perdite globali per ventilazione, Q_{g,ve} = ΣQ_{ve} [kWh] | | | | 1764,03 |

Perdite globali per ventilazione

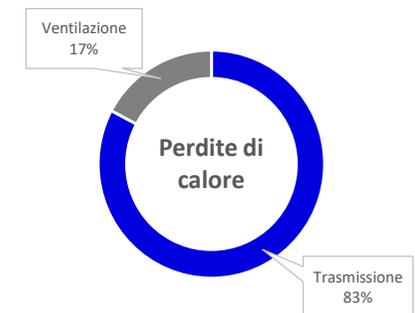


Il coefficiente di scambio per ventilazione dipende unicamente dalla volumetria dell'edificio e dalle caratteristiche termiche dell'aria e quindi, contrariamente a quello per trasmissione, non dipende dall'involucro dell'abitazione. Le perdite per ventilazione sono dunque intrinsecamente legate alla dimensione dell'edificio oggetto dello studio e alle temperature esterne a cui si trova l'aria.

Quest'ultimo fattore fa sì che l'andamento globale durante l'anno presenti una distribuzione del tutto simile alla distribuzione delle perdite per trasmissione, con picchi durante i mesi invernali più freddi e un abbassamento importante durante i mesi più miti. Tuttavia i valori assoluti delle perdite per ventilazione sono notevolmente inferiori rispetto a quelli per trasmissione:

- Q_{g,tr} = 8456 [kWh]
- Q_{g,ve} = 1764 [kWh]

Ricavati rispettivamente dalle **tabelle 8/9 e 11**.



2.3 APPORTI GRATUITI

Gli apporti di calore gratuiti sono distinguibili fra *interni*, dipendenti dal metabolismo degli occupanti, dal calore dovuto alle apparecchiature elettriche presenti e all'illuminazione, e *solari*, derivanti dal flusso solare - termico che attraversa le superfici trasparenti dell'abitazione e quindi dipendenti dall'irraggiamento medio della località, dall'orientamento e dagli ombreggiamenti. Poiché l'abitazione è ad uso residenziale privato, l'occupazione media è di quattro / cinque persone e non vi sono particolari apparecchiature elettriche; gli apporti interni sono quindi trascurabili, vengono invece considerati quelli solari per il cui calcolo viene in seguito riportato l'irraggiamento medio mensile in base all'orientamento della superficie. L'irraggiamento è definito come rapporto tra la quota parte di energia radiante proveniente dal sole che incide su una superficie e l'unità di area ed è quindi espresso in $\frac{W}{m^2}$. È importante sottolineare che non tutta l'energia irradiata dal sole incide sulla superficie: la potenza radiante prima di entrare nell'atmosfera terrestre, definita *costante solare*, è pari a circa $1367 \frac{W}{m^2}$.

Tabella 12, Irraggiamento medio mensile I [W/m²] per orientamento

| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Orizzontale | 54,4 | 86,8 | 147,0 | 166,7 | 237,3 | 275,5 | 275,5 | 232,6 | 150,5 | 81,7 | 49,8 | 38,2 |
| S | 96,5 | 115,5 | 145,3 | 113,3 | 119,8 | 123,3 | 129,4 | 136,7 | 121,4 | 110,8 | 78,1 | 73,3 |
| SE/SO | 75,8 | 97,1 | 136,7 | 127,0 | 145,8 | 155,7 | 161,6 | 157,9 | 122,1 | 87,2 | 62,7 | 56,8 |
| E/O | 43,9 | 66,3 | 108,3 | 117,5 | 156,5 | 178,2 | 180,0 | 157,3 | 105,6 | 70,0 | 38,9 | 31,3 |
| NE/NO | 21,7 | 37,1 | 66,1 | 82,8 | 126,9 | 151,7 | 149,5 | 119,8 | 73,2 | 35,8 | 20,8 | 15,0 |
| N | 19,9 | 30,7 | 45,4 | 61,8 | 93,1 | 117,7 | 112,2 | 82,7 | 52,3 | 33,1 | 18,9 | 14,2 |

Questo valore diminuisce notevolmente attraverso l'atmosfera terrestre poiché si verificano due importanti fenomeni, l'*assorbimento* e lo *scattering*.

L'assorbimento della radiazione è un fenomeno di tipo discreto, ovvero avviene solo per determinate bande dello spettro, ad opera di molecole tri-atomiche quali ad esempio l'ozono e il diossido di carbonio.

Lo scattering – ovvero il cambio di direzione della radiazione solare - è invece un fenomeno che si verifica in modo continuo su tutto lo spettro, in particolare per le lunghezze d'onda inferiori, ad opera di molecole bi-atomiche, polveri e micro particelle di acqua e dà origine alla radiazione diffusa. Quest'ultima, sommata alla radiazione che non ha subito i fenomeni di assorbimento e scattering, definita diretta, rappresenta la quota parte che raggiunge la superficie. A causa di questi fenomeni il valore dell'irraggiamento solare scende fino a poche centinaia di $\frac{W}{m^2}$; tuttavia bisogna tenere in considerazione che sono anche i responsabili dell'assorbimento quasi completo dei raggi infrarossi ed ultravioletti, questi ultimi molto nocivi per l'uomo.

2.4 APPORTI SOLARI

Il flusso termico solare si calcola secondo la formula $Q_{sol} = F \cdot A_{sol} \cdot I \cdot gg \cdot 24 \cdot 10^{-3}$ [kWh] dove:

- $I \left[\frac{W}{m^2} \right]$ è l'irraggiamento medio mensile dipendente dall'orientamento
- A_{sol} [m²] è l'effettiva area di captazione solare il cui valore è dato da $A_{sol} = F_{sh} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_g$ in cui $g_{gl} = 0,9 \cdot g_{gl,n}$; il valore di quest'ultimo parametro è definito dalla UNI 11330-1 in base al tipo di vetro
- F, F_{sh} [-] sono i fattori di riduzione per ombreggiatura e per utilizzo di schermature mobili.

In considerazione del fatto che l'abitazione è totalmente indipendente e priva di barriere e trascurando per semplicità la presenza di schermature mobili, i fattori di riduzione sono entrambi da considerarsi pari ad uno.

Il valore di $(1 - F_f)$ è pari a 0,8 secondo la norma 11330-1 e rappresenta la frazione di area relativa al telaio del componente finestrato. Infine, i valori di g_{gl} per le finestre verticali e per i velux sono pari rispettivamente a 0,36 e 0,43. I valori di Q_{sol} [kWh] così calcolati per ogni serramento nel periodo di riscaldamento sono riportati nelle tabelle a seguire.

Tabella 13, Flusso solare per finestra C al piano terra - esposizione NE

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|-----------------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 21,70 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,66 |
| Febbraio | 28 | 37,10 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 4,11 |
| Marzo | 31 | 66,10 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 8,11 |
| Aprile | 15 | 82,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 4,91 |
| Ottobre | 17 | 35,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,41 |
| Novembre | 30 | 20,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,47 |
| Dicembre | 31 | 15,00 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 1,84 |

Tabella 14, Flusso solare per finestra B (2x) al piano terra - esposizione NO

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|-----------------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 21,70 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 2,38 |
| Febbraio | 28 | 37,10 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 3,68 |
| Marzo | 31 | 66,10 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 7,26 |
| Aprile | 15 | 82,80 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 4,40 |
| Ottobre | 17 | 35,80 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 2,16 |
| Novembre | 30 | 20,80 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 2,21 |
| Dicembre | 31 | 15,00 | 1 | 0,41 | 0,36 | 0,15 | 1,65 |

Tabella 15, Flusso solare per porta finestra E al piano terra – esposizione SE

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 122,95 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 142,26 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 221,73 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 99,68 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 77,56 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 98,42 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 6,06 | 0,36 | 2,18 | 92,13 |

Tabella 16, Flusso solare per porta finestra F al piano terra - esposizione SE

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 12,12 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 14,02 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 21,86 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 9,83 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 7,65 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 9,70 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 0,60 | 0,36 | 0,21 | 9,08 |

Tabella 17, Flusso solare per porta finestra G al piano terra - esposizione SO

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 197,50 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 228,51 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 356,18 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 160,12 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 124,60 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 158,10 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 9,73 | 0,36 | 3,50 | 148,00 |

Tabella 18, Flusso solare per velux J al piano terra - orizzontale

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 54,40 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 21,24 |
| Febbraio | 28 | 86,80 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 30,62 |
| Marzo | 31 | 147,00 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 57,41 |
| Aprile | 15 | 166,70 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 31,50 |
| Ottobre | 17 | 81,70 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 17,50 |
| Novembre | 30 | 49,80 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 18,82 |
| Dicembre | 31 | 38,20 | 1 | 1,22 | 0,43 | 0,52 | 14,92 |

Tabella 19, Flusso solare per finestra C al piano primo – esposizione NE

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 21,70 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,66 |
| Febbraio | 28 | 37,10 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 4,11 |
| Marzo | 31 | 66,10 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 8,11 |
| Aprile | 15 | 82,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 4,91 |
| Ottobre | 17 | 35,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,41 |
| Novembre | 30 | 20,80 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 2,47 |
| Dicembre | 31 | 15,00 | 1 | 0,46 | 0,36 | 0,16 | 1,84 |

Tabella 20, Flusso solare per finestra D (2x) al piano primo - esposizione SO

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 16,44 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 19,03 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 29,66 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 13,33 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 10,37 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 13,16 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 0,81 | 0,36 | 0,29 | 12,32 |

Tabella 21, Flusso solare per finestra A al piano primo – esposizione SO

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 3,94 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 4,56 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 7,10 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 3,19 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 2,48 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 3,15 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 0,19 | 0,36 | 0,07 | 2,95 |

Tabella 22, Flusso solare per porta finestra H al piano primo – esposizione SE

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 97,67 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 113,01 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 176,15 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 79,19 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 61,62 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 78,19 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 4,81 | 0,36 | 1,73 | 73,19 |

Tabella 23, Flusso solare per porta finestra I al piano primo – esposizione SO

| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 75,80 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 26,78 |
| Febbraio | 28 | 97,10 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 30,98 |
| Marzo | 31 | 136,70 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 48,29 |
| Aprile | 15 | 127,00 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 21,71 |
| Ottobre | 17 | 87,20 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 16,89 |
| Novembre | 30 | 62,70 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 21,44 |
| Dicembre | 31 | 56,80 | 1 | 1,32 | 0,36 | 0,47 | 20,07 |

Tabella 24, Flusso solare velux K (2x) al piano primo – orizzontale

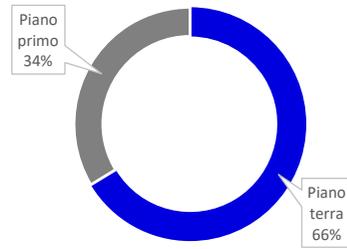
| Mese | gg | I [W/m ²] | F | A _g [m ²] | g _{gl} | A _{sol} [m ²] | Q _{sol} [kWh] |
|----------|----|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------|
| Gennaio | 31 | 54,40 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 17,76 |
| Febbraio | 28 | 86,80 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 25,60 |
| Marzo | 31 | 147,00 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 48,00 |
| Aprile | 15 | 166,70 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 26,34 |
| Ottobre | 17 | 81,70 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 14,63 |
| Novembre | 30 | 49,80 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 15,74 |
| Dicembre | 31 | 38,20 | 1 | 1,02 | 0,43 | 0,44 | 12,47 |

Tabella 25, Riepilogo piano terra

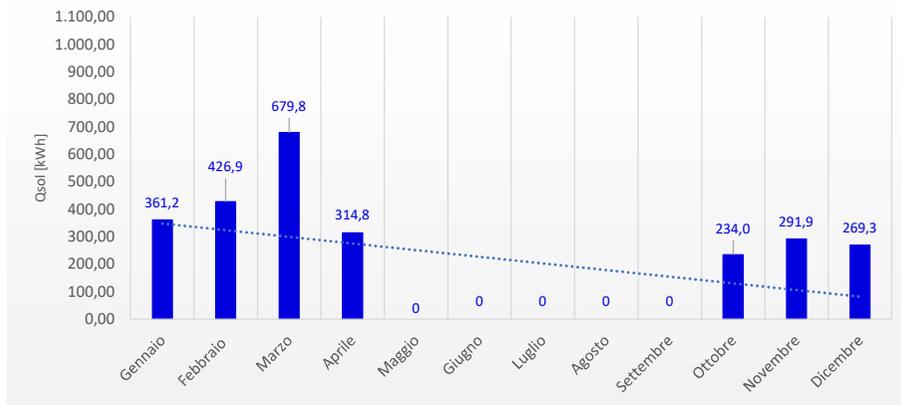
| Mese | gg | Q _{sol,pt} = ΣQ _{sol} [kWh] |
|--|----|---|
| Gennaio | 31 | 361,24 |
| Febbraio | 28 | 426,88 |
| Marzo | 31 | 679,80 |
| Aprile | 15 | 314,83 |
| Ottobre | 17 | 234,02 |
| Novembre | 30 | 291,93 |
| Dicembre | 31 | 269,26 |
| Apporti solari globali piano terra, Q_{g,sol} = ΣQ_{sol,pt} [kWh] | | 2577,97 |

Tabella 26, Riepilogo piano primo

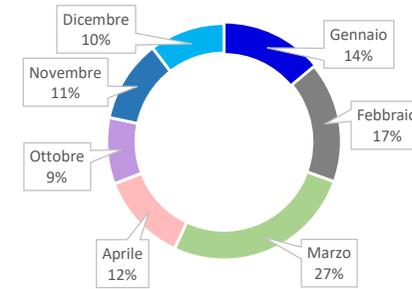
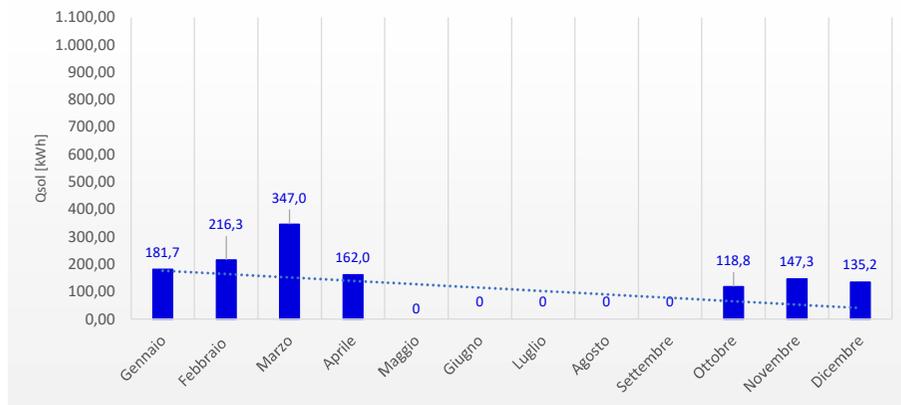
| Mese | gg | Q _{sol,pp} = ΣQ _{sol} [kWh] |
|--|----|---|
| Gennaio | 31 | 181,71 |
| Febbraio | 28 | 216,32 |
| Marzo | 31 | 346,97 |
| Aprile | 15 | 162,01 |
| Ottobre | 17 | 118,79 |
| Novembre | 30 | 147,31 |
| Dicembre | 31 | 135,17 |
| Apporti solari globali piano primo, Q_{g,sol} = ΣQ_{sol,pp} [kWh] | | 1308,27 |



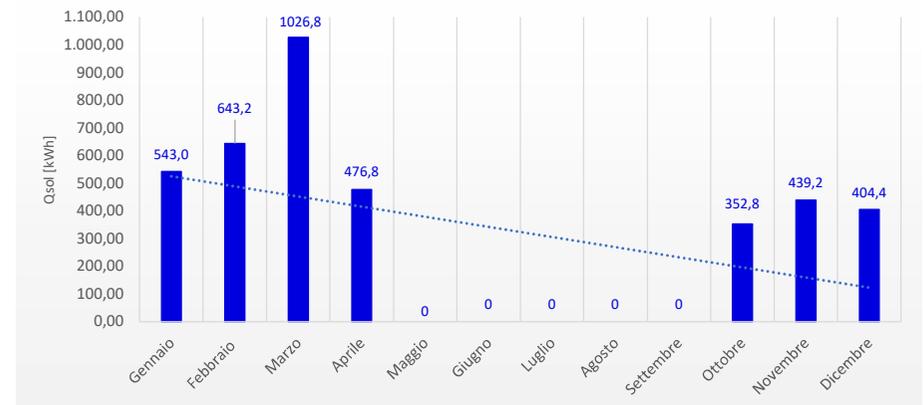
Apporti solari piano terra



Apporti solari piano primo



Apporti solari totali



Dalla **tabella 13** alla **tabella 24** è stato calcolato il flusso solare che attraversa ogni singolo serramento; dai valori ottenuti si può notare che il flusso è maggiore per alcuni serramenti rispetto ad altri nonostante la tipologia sia la stessa. Questo fatto è imputabile a due cause:

- maggiore è la superficie vetrata di un serramento e maggiore è il flusso solare
- maggiore è l'irraggiamento e maggiore è il flusso solare; i serramenti orizzontali oppure esposti a Sud-Est e Sud-Ovest sono quindi privilegiati rispetto agli altri (non vi sono serramenti esposti a Sud).

Per queste due cause, inoltre, il flusso solare in ingresso attraverso i serramenti al piano terra è maggiore di quello al primo piano, come è possibile osservare nei grafici a pagina 31. Per quanto riguarda l'apporto solare totale, la somma di entrambi i piani, è facilmente intuibile dai grafici sopra riportati che esso sia maggiore nei mesi in cui, a parità di esposizione, l'irraggiamento è maggiore. Poiché il periodo di riscaldamento, in cui l'apporto solare gratuito rappresenta un vantaggio, si interrompe a metà aprile, il mese favorito risulta essere marzo, in cui si ottiene circa il 27% dell'apporto globale.

2.5 FABBISOGNO TERMICO PER RISCALDAMENTO

Il fabbisogno termico di riscaldamento è definito come:

$Q_{H,nd} = (Q_{tr} + Q_{ve}) - \eta_H \cdot (Q_{sol} + Q_{int})$ [kWh] in cui η_H è il fattore di utilizzazione degli apporti termici gratuiti, ovvero la misura di quanto questi incidono sul resto del fabbisogno.

Quest'ultimo valore è stato calcolato con la seguente formula:

$$\eta_H = \frac{(1 - \gamma^{a_H})}{(1 - \gamma^{a_H+1})}$$

essendo il valore γ il rapporto tra gli apporti gratuiti e le perdite di calore:

$$\gamma = \frac{(Q_{sol} + Q_{int})}{(Q_{tr} + Q_{ve})}$$

La norma UNI 11300-1 definisce inoltre i valori $a_{H,0} = 1$ e $\tau_{H,0} = 15$ [h] da cui è possibile calcolare:

- $a_H = a_{H,0} + \tau / \tau_{H,0}$
- $\tau = \frac{C_m / 3600}{\sum(H_d + H_{ve})}$ [h], ovvero la costante di tempo termica
- $C_m = \sum C \cdot A_f \left[\frac{J}{K} \right]$, ovvero la capacità termica interna
- $C \left[\frac{kJ}{m^2 \cdot K} \right]$, ovvero la capacità termica lato interno dei componenti edilizi, presa dai fogli di calcolo al §1.2
- $A_f [m^2]$ ovvero la superficie calpestabile climatizzata.

Tabella 27, Parametri per il calcolo di η_H

| $A_f [m^2]$ | $C_m [J/K]$ | $\tau [h]$ | $a_H [-]$ |
|-------------|-------------|------------|-----------|
| 150 | 24241500 | 44,67 | 3,98 |

Tabella 28, Fabbisogno termico di riscaldamento dell'intero subalerno

| Mese | Q_{tr} [kWh] | Q_{ve} [kWh] | Q_{int} [kWh] | Q_{sol} [kWh] | γ | η_H | Q_H [kWh] |
|----------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|-------------|
| Gennaio | 1772,40 | 369,75 | 0,00 | 542,95 | 0,253 | 1,00 | 1600,93 |
| Febbraio | 1466,78 | 306,00 | 0,00 | 643,20 | 0,363 | 0,99 | 1136,88 |
| Marzo | 1141,39 | 238,11 | 0,00 | 1026,77 | 0,744 | 0,90 | 458,05 |
| Aprile | 422,07 | 88,05 | 0,00 | 476,84 | 0,935 | 0,83 | 116,67 |
| Ottobre | 524,15 | 109,35 | 0,00 | 352,81 | 0,557 | 0,95 | 296,79 |
| Novembre | 1338,06 | 279,14 | 0,00 | 439,24 | 0,272 | 1,00 | 1179,75 |
| Dicembre | 1790,96 | 373,63 | 0,00 | 404,43 | 0,187 | 1,00 | 1760,58 |

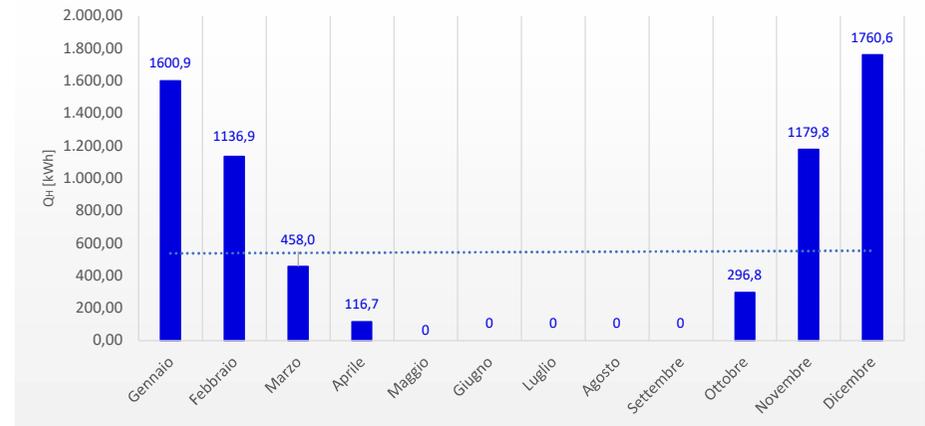
Fabbisogno termico di riscaldamento, $Q_{H,nd} = \sum Q_H$ [kWh]

6550

Ove, per tenere conto sia del piano terra che del primo piano:

- $Q_{tr} = Q_{tr,pt} + Q_{tr,pp}$ [kWh] e $Q_{sol} = Q_{sol,pt} + Q_{sol,pp}$ [kWh]

Fabbisogno termico di riscaldamento



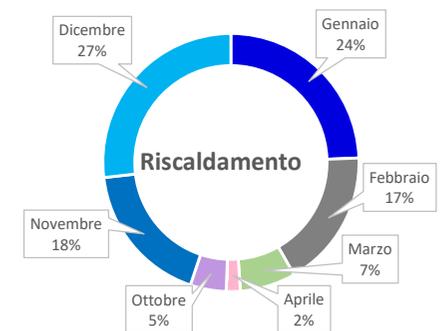
Il fabbisogno termico di riscaldamento, Q_H , è dunque ottenibile come differenza tra la sommatoria dei flussi di calore uscenti dal sistema, ovvero l'abitazione, e la sommatoria dei flussi entranti. In particolare:

- I flussi entranti sono rappresentati dagli apporti gratuiti
- I flussi uscenti sono rappresentati dalle perdite per trasmissione e ventilazione.

Dai valori in **tabella 28** è possibile osservare che la quota parte che incide maggiormente sul fabbisogno termico di riscaldamento è quella imputabile alle perdite per trasmissione, notevolmente maggiori rispetto a quelle per ventilazione, come trattato al §2.2.

Gli apporti gratuiti, i quali diminuiscono il valore di Q_H , incidono poco sul valore globale per due motivi: per loro natura sono molto meno elevati rispetto alle perdite, soprattutto nei mesi invernali (nel nostro caso si considerano solo i flussi solari e non quelli interni);

inoltre vengono ulteriormente diminuiti dal fattore di utilizzazione, soprattutto nei mesi più miti. Per questi motivi, la ripartizione annua di Q_H presenta una distribuzione del tutto simile a quella delle perdite di calore, con picchi durante i mesi più freddi: oltre il 50% si verifica nei mesi di gennaio e febbraio, contro il 9% dei mesi di marzo e aprile.



2.6 FABBISOGNO TERMICO PER ACS

Una quota-parte del fabbisogno termico di un edificio dipende inoltre dalla necessità di produrre acqua calda sanitaria (ACS) per gli occupanti, nel caso trattato pari a quattro persone. Per il computo si è stimato un consumo di 50 [lt] giornalieri a persona durante tutto l'anno: contrariamente a quanto accade per il fabbisogno termico di riscaldamento che ovviamente è stagionale, il fabbisogno di ACS si ipotizza costante durante tutto l'anno poiché legato puramente al numero di occupanti dell'abitazione ed alle loro necessità.

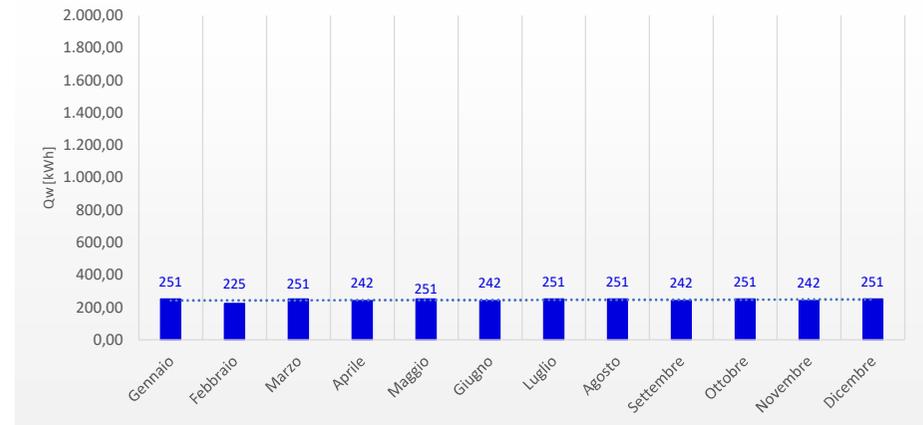
Per il calcolo si è fatto riferimento alla formula $Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot V_w \cdot gg \cdot (T_{w,out} - T_{w,in})$ [kWh] ove:

- $\rho_w \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ è la massa volumica dell'acqua
- $c_w \left[\frac{kWh}{kg \cdot K} \right]$ è il calore specifico dell'acqua
- $V_w \left[\frac{m^3}{giorno} \right] = 50 \left[\frac{lt}{giorno} \right] \cdot 10^{-3} \cdot 4$ è il volume di acqua giornaliero
- gg è il numero di giorni mensili
- $T_{w,out}$ e $T_{w,in}$ [°C] sono rispettivamente la temperatura di erogazione e di ingresso dell'acqua.

Tabella 29, Fabbisogno termico per ACS dell'intero subalterno

| Mese | gg | V _w [lt/gg] | V _w [m ³] | ρ _w [kg/m ³] | c _w [kWh/(kg·K)] | T _{w,in} [°C] | T _{w,out} [°C] | Q _w [kWh] |
|---|----|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Gennaio | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Febbraio | 28 | 200,00 | 5,60 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 225,0 |
| Marzo | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Aprile | 30 | 200,00 | 6,00 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 242,0 |
| Maggio | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Giugno | 30 | 200,00 | 6,00 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 242,0 |
| Luglio | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Agosto | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Settembre | 30 | 200,00 | 6,00 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 242,0 |
| Ottobre | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Novembre | 30 | 200,00 | 6,00 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 242,0 |
| Dicembre | 31 | 200,00 | 6,20 | 1000 | 0,001162 | 10 | 45 | 251,0 |
| Fabbisogno termico per ACS, Q_{g,w} = ΣQ_w [kWh] | | | | | | | | 2950 |

Fabbisogno termico per ACS



Il consumo pro capite giornaliero di ACS è mediamente stimato come:

- basso, 30 $\left[\frac{lt}{persona} \right]$
- medio, 50 $\left[\frac{lt}{persona} \right]$
- alto, 80 $\left[\frac{lt}{persona} \right]$.

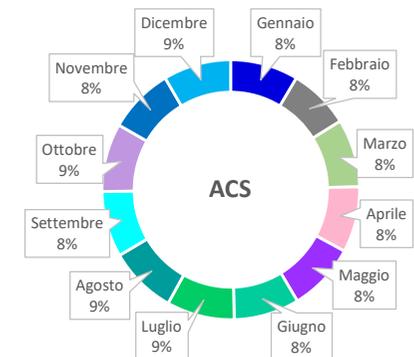
Dall'analisi delle bollette fornite dal Cliente relative ad anni precedenti si è potuto considerare un consumo medio.

Diverse sono le soluzioni tecniche che si possono adottare per far fronte a questo tipo di fabbisogno; nell'ottica dello sfruttamento di fonti rinnovabili, le principali sono l'installazione di un impianto solare termico oppure di un impianto in pompa di calore.

Il Cliente ha ovviamente scelto a suo gusto la soluzione tecnica da adottare, tuttavia un fattore che ha influenzato in parte la scelta del solare termico è stata la riduzione notevole del COP delle pompe di calore aria-acqua nella zona climatica di riferimento, dove le temperature invernali possono scendere sotto lo zero.

Inoltre sono state escluse le pompe di calore geotermiche poiché considerate troppo onerose e invasive nell'installazione. La progettazione e resa dell'impianto solare termico verrà trattata al §3.4.

Per concludere si sottolinea che, come anticipato nell'introduzione del paragrafo, il fabbisogno di ACS presenta una ripartizione annua costante, messa in evidenza dal grafico ad anello a seguire.



2.7 FABBISOGNO TERMICO TOTALE

Il fabbisogno termico totale dell'edificio è quindi definito come la sommatoria del fabbisogno termico di riscaldamento e di ACS; i valori ottenuti sono riportati in **tabella 30**.

Il grafico ad area mette ben in evidenza come la maggior incidenza sul valore totale sia rappresentata dal riscaldamento (rif. area blu), per approssimativamente il 70%.

Il rimanente 30%, imputabile al fabbisogno di ACS (rif. area grigia), si distribuisce uniformemente durante tutto l'anno, inclusi i mesi tra aprile e ottobre.

Infine, si osserva che la curva totale mantiene la stessa distribuzione di quella di riscaldamento, con picchi durante i mesi invernali più freddi.

Il grafico ad anello a seguire evidenzia in modo chiaro le considerazioni appena effettuate.

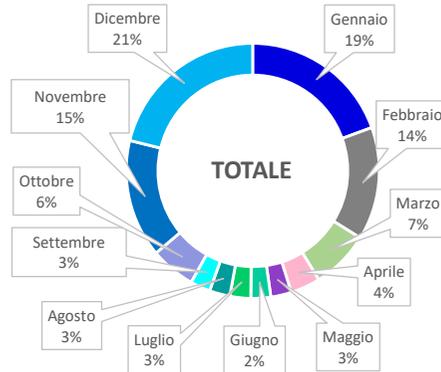
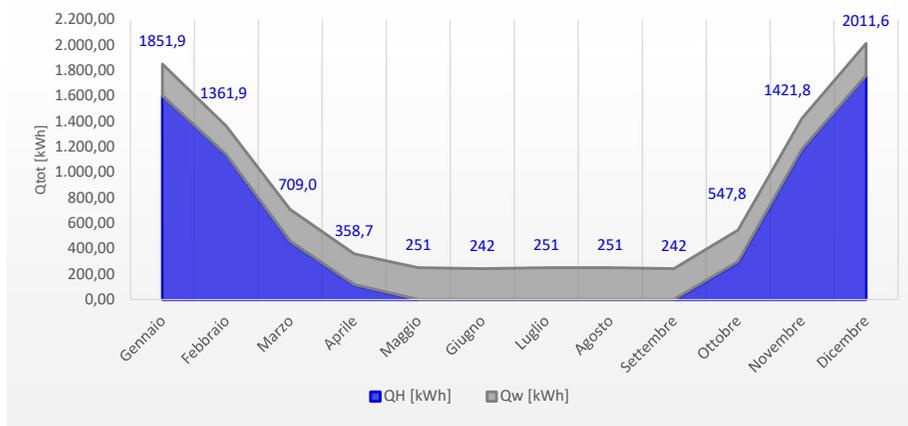


Tabella 30, Fabbisogno termico totale [kWh]

| Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 1852 | 1362 | 709 | 359 | 251 | 242 | 251 | 251 | 242 | 548 | 1422 | 2012 |

Fabbisogno termico totale



CAPITOLO 3

3.1 RENDIMENTI DEGLI IMPIANTI

Il rendimento medio stagionale dell'impianto termico è il rapporto tra il fabbisogno di energia per il riscaldamento invernale e per la produzione di ACS e l'energia sviluppata dalle fonti energetiche.

La norma che regola il sistema di calcolo è la UNI 11300-2, la quale fornisce i rendimenti di emissione, regolazione, distribuzione e generazione in base alla tipologia di impianto installato, nel nostro caso un generatore di calore a biomassa ad alta efficienza collegato ad un tank di storage in cui scambia calore anche l'impianto di collettori solari termici piani ad alta efficienza. Il sistema di emissione è invece costituito dal pavimento radiante, inserito in un contesto di una struttura dell'edificio di nuova costruzione in cui entrambi i piani abitativi sono regolati da termostati dedicati.

Grazie a questi dati è possibile quindi calcolare il rendimento medio stagionale dell'impianto termico come $\eta_g = Q_{H,nd} / Q_{p,H}$ dove:

- $Q_{p,H} = Q_{H,nd} + Q_e + Q_c + Q_d + Q_{gn} + Q_{aux}$ [kWh] è il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento
- Q_e [kWh] sono le perdite totali di emissione
- Q_c [kWh] sono le perdite totali di regolazione
- Q_d [kWh] sono le perdite totali di distribuzione
- Q_{gn} [kWh] sono le perdite totali di generazione
- Q_{aux} [kWh] è il fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari (pompe, ...).

La procedura di calcolo per l'impianto di ACS è del tutto analoga a quella di riscaldamento.

Tabella 31, Perdite di emissione

| | η_e | $Q_e = Q_{H,nd/g,w} \cdot (1 - \eta_e) / \eta_e$ [kWh] |
|---------------------------|----------|--|
| Impianto di riscaldamento | 99 % | 66,16 |
| Impianto di ACS | 100 % | - |

Tabella 32, Perdite di regolazione

| | η_c | $Q_c = (Q_{H,nd/g,w} + Q_e) \cdot (1 - \eta_c) / \eta_c$ [kWh] |
|---------------------------|----------|--|
| Impianto di riscaldamento | 94,5 % | 385,05 |
| Impianto di ACS | 100 % | - |

Tabella 33, Perdite di distribuzione

| | η_d | $Q_d = (Q_{H,nd/g,w} + Q_e + Q_c) \cdot (1 - \eta_d) / \eta_d$ [kWh] |
|---------------------------|----------|--|
| Impianto di riscaldamento | 98,5 % | 106,61 |
| Impianto di ACS | 92,6 % | 235,75 |

Tabella 34, Perdite di generazione

| | η_{gn} | $Q_{gn} = (Q_{H,nd/g,w} + Q_e + Q_c + Q_d) \cdot (1 - \eta_{gn}) / \eta_{gn}$ [kWh] |
|---------------------------|-------------|---|
| Impianto di riscaldamento | 96,2 % | 280,75 |
| Impianto di ACS | 96,2 % | 125,84 |

Tabella 35, Fabbisogno sistemi ausiliari

| | P_{aux} [W] | τ [h] | $Q_{aux} = P_{aux} \cdot \tau / 1000$ [kWh] |
|---------------------------|---------------|------------|---|
| Impianto di riscaldamento | 40 | 1281 | 51,24 |
| Impianto di ACS | 40 | 1281 | 51,24 |

Tabella 36, Rendimento globale

| | $Q_{p,H}$ [kWh] | η_g |
|---------------------------|-----------------|----------|
| Impianto di riscaldamento | 7439,5 | 0,88 |
| Impianto di ACS | 3362,8 | 0,88 |

Tabella 37, Potenza del generatore termico

| | $Q_{p,H tot}$ [kWh] | τ [h] | $P_g = Q_{p,H tot} / \tau$ [kW] |
|---------------------|---------------------|------------|---------------------------------|
| Riscaldamento e ACS | 10803 | 1281 | 9 |

In tabella 37 è stata inoltre calcolata la potenza effettiva del generatore necessaria ad erogare $Q_{p,H}$ totale per una costante di tempo τ pari a 7h per i 183 giorni del periodo di riscaldamento.

Il computo è stato effettuato trascurando la presenza dell'impianto solare (descritto nel §3.4) per garantire la produzione di ACS anche qualora quest'ultimo non sia funzionante.

3.2 DIMENSIONAMENTO DEI COMPONENTI DELL'IMPIANTO

Il generatore di calore scelto dal cliente è una caldaia combinata legna pellet ad alto rendimento dotata di due camere di combustione separate e di un sistema di accensione della legna automatico attraverso la fiamma del pellet. Inoltre entrambe le camere di combustione sono dotate di sonda lambda e di sonda di temperatura le quali permettono il passaggio sicuro ed automatico al pellet quando la legna finisce di bruciare.

Il sistema è collegato ad un accumulo termico da 1250 [lt]; attraverso uno scambiatore di calore dedicato è inoltre collegato l'impianto solare termico per la produzione di ACS, composto da quattro pannelli piani installati sulla falda della copertura meglio esposta per una superficie totale di 10,8 [m²].

Nell'accumulo termico è inoltre presente un secondo scambiatore di calore per la produzione istantanea di ACS. I dati tecnici ed il dimensionamento dei componenti principali sono riportati a seguire.

È importante sottolineare che il corretto dimensionamento dell'impianto unito alla scelta di materiali di buona qualità e di sistemi di generazione (caldaia e collettori solari in particolare) all'avanguardia permette il raggiungimento di un rendimento effettivamente elevato, stimato intorno al 90% in **tabella 36**. Questo risultato è notevole considerando che i vecchi sistemi di generazione a biomassa presentavano rendimenti decisamente inferiori, oltre che una minore affidabilità e sicurezza.

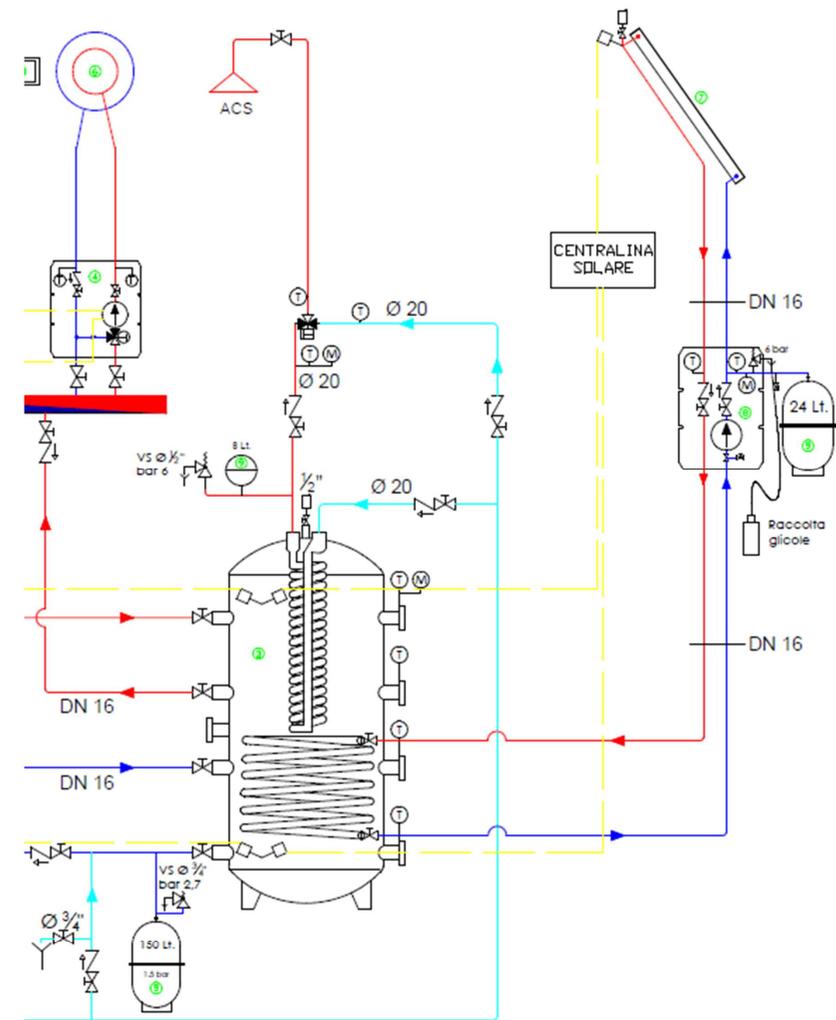
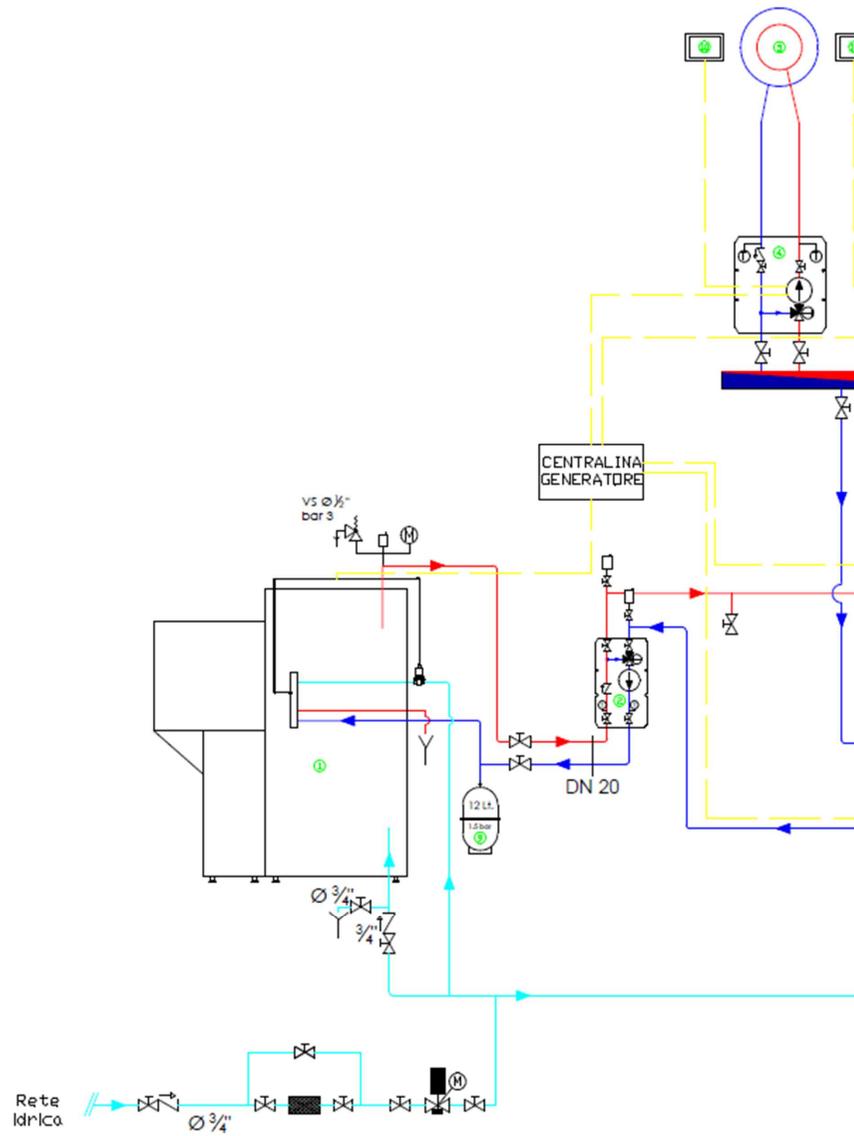
Tabella 38, Dati del generatore termico

| | | | |
|---|---|--|-----------------------|
| P_n, Potenza nominale | 14,9 kW | Temperatura fumi | 140 – 160 °C |
| Range di potenza | 4,5 – 15 kW | Volume acqua interno | 120 lt |
| Rendimento max | 93,5 % | Volume carico legna | 130 lt |
| φ Canna fumaria | 150 mm | Mini-silo pellet | 200 lt |
| Combustibile | Pellet (EN 14961-2) – Legna (lunghezza 33 cm ca.) | | |
| Centralina | 2 circuiti miscelati, 1 circuito sanitario, regolazione accumulo e caricamento stratificato | | |
| Funzioni di sicurezza | Sonda di sicurezza, valvola a stella, tubo di carico discendente, sensore di caricamento, blocco d' aria comburente | | |
| Dimensionamento tubazioni verso accumulo | | | |
| Potenza, P | 9 kW | Portata, Q = P/(c_{p,w}·ΔT) | 0,21 kg/s |
| Differenza temp, ΔT | 10 | Sezione tubo, S = Q/1000/v | 0,0003 m ² |
| Velocità, v | 0,7 m/s | Diametro tubi, φ | 19,8 mm |
| Calore specifico H₂O, C_{p,w} | 4,186 kJ/(kg·K) | Diametro commerciale | DN 20 |

Tabella 39, Dati dei collettori solari

| | | | |
|---|--|--|----------------------------|
| Dimensioni | 2150x1255 mm | Volume d'acqua, V_w | 1,77 lt |
| Area totale | 2,70 m ² | Inclinazione max/min | 90° / 15° |
| Area di apertura, A_a | 2,52 m ² | Pressione di esercizio | 5-10 bar |
| Area di assorbimento | 2,50 m ² | Trasmittanza | 3,43 W/(m ² ·K) |
| Fattore angolare | 0,96 | Efficienza | 0,57 |
| Vetro temperato | 3,2 mm | Telaio | Alluminio nero |
| Isolamento (50 mm) | Lana di roccia | Rivestimento retro | Alluminio 0,4 mm |
| Assorbitore | Piastra in alluminio con trattamento altamente selettivo | | |
| Attacchi | 22 mm a stringere, 4 raccordi sui lati, sistema drain-back approvato | | |
| Dimensionamento tubazioni solari | | | |
| Superficie netta, A=4·A_a | 10,08 m ² | Portata, m = P·A/ΔT | 403 kg/h |
| Potenza specifica, P | 400 kcal/h/m ² | Velocità, v | 0,7 m/s |
| Differenza temp, ΔT | 10 | Sezione tubo, S= Q/ρ/3600/v | 0,0002 m ² |
| % Glicole | 40 % | Diametro tubi, φ | 14,16 mm |
| Densità H₂O-glicole, ρ | 1017 kg/m ³ | Diametro commerciale | DN 16 |
| Dimensionamento vaso solare | | | |
| D interno DN16, d | 16,3 mm | Fluido tubi, V_t=π·d²/4·L/10³ | 8,34 lt |
| Lunghezza tubi (A+R), L | 40 m | Fluido impianto, V_a=V_p+V_t | 15,4 lt |
| Dislivello max | 15 m | Volume vaso, V_u=(V_a·e+V_p)·k | 9 lt |
| Dilatazione fluido, e | 0,073 | Pressione precarica, P₀ | 2,97 bar |
| Coefficiente sicurezza, k | 1,1 | Pressione esercizio, P_{es} | 5,4 bar |
| Fluido pannelli, V_p=4·V_w | 7,08 lt | Vaso, V_n=V_u·(P_{es}+1)/(P_{es}-P₀) | 24 lt |
| Dimensionamento serbatoio di accumulo | | | |
| Volume per generatore, v_{gn} | 50 lt/kW | V_{gn} = v_{gn} · P_n | 750 lt |
| Volume per collettori, v_{cs} | 30 lt/m ² | V_{cs} = v_{cs} · A_a | 300 lt |
| Volume totale, V=V_{gn}+V_{cs} | 1050 lt | Volume commerciale | 1250 lt |

3.3 SCHEMA DELL'IMPIANTO



| | |
|---|------------------------------------|
|  | Valvola a sfera |
|  | Valvola di ritegno |
|  | Miscelatore termostatico |
|  | Manometro |
|  | Termometro |
|  | Gruppo di riempimento automatico |
|  | Sensore di temperatura |
|  | Dispositivo di sfiato |
|  | Filtro |
|  | Gruppo di sicurezza del generatore |
|  | Valvola di sicurezza |
|  | Collettore idraulico |

| | |
|---|---|
|  | 1 Generatore di calore a biomassa con silo del pellet |
|  | 2 Pompa di rilancio anticondensa * |
|  | 3 Accumulo termico da 1250 lt |
|  | 4 #2 Gruppi di rilancio miscelati ** |
|  | 5 Utenza termica del piano terra (pavimento radiante) |
|  | 6 Utenza termica del primo piano (pavimento radiante) |
|  | 7 #4 Collettori solari piani (area lorda 10,8 m ²) |
|  | 8 Gruppo di rilancio solare |
|  | 9 Vasi di espansione (12 lt generatore, 24 lt solare, 150 lt accumulo, 8 lt ACS) |
|  | 10 Termostati di zona |
|  | Circuito di mandata (rosso), di ritorno (blu) e di riempimento da rete idrica (ciano) |
|  | Principali collegamenti elettrici |

1 – Generatore a biomassa

Come introdotto al §3.2, il generatore scelto dal Cliente è di tipo legna – pellet; questo tipo di soluzione presenta tre principali vantaggi rispetto alla tradizionale caldaia a metano:

- **Ecologia:** la biomassa legnosa è meno inquinante rispetto al gas naturale ed è una fonte rinnovabile, ovvero, come anticipato nell'introduzione, sempre reintegrabile e quindi potenzialmente inesauribile.
- **Reperibilità:** questo tipo di biomassa è facilmente rinvenibile, in particolare per il Cliente che dispone di un appezzamento di terreno alberato.
- **Economicità:** la biomassa legnosa è sempre disponibile sul mercato a prezzo fisso poiché, rispetto ai combustibili gassosi, risente meno della fluttuazione del prezzo del petrolio ed è inoltre meno onerosa.

Come premesso, il modello scelto è del tipo combinato legna pellet; nel corpo caldaia sono presenti due camere di combustione entrambe dotate di sonda di temperatura della fiamma e di sonda lambda.

La regolazione di quest'ultima permette di dosare in modo esatto la quantità d'aria necessaria alla corretta combustione in base al combustibile in uso.

Inoltre la sinergia tra le due camere data dalla sonda di temperatura, la quale è in grado di riconoscere il tipo di combustibile, permette l'accensione automatica della legna attraverso il pellet e l'utilizzo di quest'ultimo non appena la legna finisce di ardere: questo tipo di tecnologia permette all'utilizzatore, una volta caricata la legna e riempito il serbatoio del pellet, una completa autonomia del sistema di generazione, un grosso vantaggio rispetto alle vecchie stufe che necessitavano di una continua alimentazione. Questi accorgimenti uniti ad un'ottima coibentazione del corpo caldaia, ai sistemi automatici di scarico delle ceneri e di pulizia degli scambiatori di calore, permette il raggiungimento di un ottimo rendimento: circa il 94% alla potenza nominale di 15 [kW]; la centralina intelligente permette anche di lavorare ai carichi parziali senza perdere molto sul rendimento: la potenza stimata di utilizzo è di circa 9 [kW] (rif. [Tabella 37](#)). È importante precisare la peculiarità di quest'ultimo dato: una villetta indipendente con le stesse dimensioni edificata tra gli anni '70 e '80 (la tipologia più diffusa sul territorio) necessita mediamente di un generatore da almeno 20 [kW]; poche dispersioni date da un buon involucro ed un altro rendimento di generazione ne permettono la diminuzione.

2 – Pompa di rilancio anticondensa

La pompa anticondensa svolge due principali funzioni: garantire la corretta circolazione del fluido termovettore e innalzare la temperatura di ritorno a circa 55-60 [°C] grazie alla miscelazione tramite valvola a tre vie con la mandata.

Questo accorgimento garantisce la diminuzione della differenza di temperatura allo scambiatore di calore in modo che non si formino condense acide che andrebbero a degradare i componenti del generatore, abbreviandone la vita utile.

3 – Accumulo termico

Il sistema di accumulo funge da *volano termico*, ovvero garantisce la giusta temporizzazione tra l'utilizzo di acqua calda, sia per riscaldamento che per ACS, e la sua generazione. Infatti una caldaia a biomassa non è istantanea nella produzione quanto una a gas o a gasolio, tantomeno lo può essere l'impianto solare che per sua definizione non ha una produzione costante o comandabile. All'interno del serbatoio avviene la stratificazione dell'acqua dovuta alla variazione di densità che si verifica aumentando la temperatura, quest'ultima rilevata da due sonde poste in alto e in basso dove si hanno rispettivamente circa 70-80 [°C] e 35-40 [°C]. Il segnale inviato dalle sonde di temperatura viene gestito dalle due centraline della caldaia e dell'impianto solare che regolano così il loro funzionamento.

Le componenti fondamentali presenti all'interno dell'accumulo sono le serpentine di scambio: nella soluzione proposta ve ne sono due, una che scambia calore con il circuito solare (assolutamente necessaria perché in quest'ultimo il fluido termovettore è acqua glicolata) posta nella parte più bassa del serbatoio ed una, posta nella parte alta, che permette la generazione istantanea di ACS prelevandola, pulita, direttamente dal circuito idrico.

Questo tipo di soluzione permette di evitare la circolazione nell'impianto sanitario di acqua stagnante e quindi potenzialmente ricca di batteri dannosi per l'uomo, in primis la legionella che costituisce un serio rischio per la salute e la cui proliferazione va controllata garantendo una temperatura dell'accumulo di 60 [°C] per almeno un'ora al giorno.

Un altro elemento di rilievo è l'anodo al magnesio, in grado di controllare eventuali processi corrosivi come ad esempio le correnti galvaniche.

Infine, è buona norma che l'intero serbatoio venga opportunamente coibentato in modo da evitare dispendiose perdite di calore e che siano presenti elementi come valvole di intercettazione e di scarico, per favorire le operazioni di riempimento e di svuotamento non solo durante la messa in funzione dell'impianto, ma anche durante le operazioni di manutenzione, di termometri posizionati in diversi punti dell'accumulo, di almeno un manometro posto nella parte alta ed infine di uno sfiato posto in cima. Va inoltre sottolineato che la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore sanitario viene controllata tramite un miscelatore termostatico a tre vie che all'occorrenza preleva dal circuito idrico per garantire un'emissione a circa 45 [°C].

4 – Gruppi di rilancio miscelati

Così come la pompa anticondensa, anche i gruppi miscelati svolgono due funzioni: garantire la corretta circolazione del fluido termovettore e, al contrario, abbassare la temperatura a circa 30-40 [°C] tramite miscelazione con il ritorno.

Ciò è reso necessario dal fatto che il pavimento radiante lavora a temperature decisamente inferiori rispetto ai radiatori, nei quali scorre acqua a circa 60-70 [°C], poiché il calore viene diffuso uniformemente nell'ambiente senza creare danni alla circolazione degli occupanti.

5/6 – Utenza termica del piano terra e del primo piano

Il sistema di emissione scelto dal Cliente è un pavimento radiante *a secco*, ovvero costituito da lastre preformate in gesso posate sopra al massetto e in cui si collocano le tubazioni che formano i diversi circuiti. Rispetto al più tradizionale sistema del massetto radiante, questo tipo di posa permette una più rapida realizzazione poiché è da subito calpestabile.

Inoltre presenta una minore inerzia termica e risulta quindi più facile da regolare con tempi di reazione più brevi.

Il pavimento radiante così composto è stato progettato dallo studio architettonico che si è occupato della realizzazione dell'abitazione; per questo motivo non è stato oggetto di uno studio più approfondito in questa relazione.

7 – Collettori solari piani

La tecnologia di pannelli più diffusa a livello domestico, nonché quella scelta dal Cliente, è il collettore solare piano formato da una lastra in metallo, in questo caso alluminio, rivestita da uno strato di materiale altamente selettivo e su cui sono saldate le tubazioni in rame nelle quali scorre il fluido termovettore. Questo tipo di collettore presenta in realtà un'efficienza minore rispetto ai pannelli a tubi sottovuoto, i quali, composti da numerosi *heat pipes*, sfruttano il fenomeno della continua evaporazione e condensazione di un liquido bassobollente non tossico. Il grande potere isolante del vuoto unito alla forma rotonda del tubo, che permette una maggiore captazione dei raggi solari anche quando l'esposizione non è ottimale, garantisce la miglior resa; tuttavia questa tecnologia è da favorirsi in caso di utilizzo anche per il riscaldamento degli ambienti poiché è notevolmente più dispendiosa rispetto al pannello piano che risulta quindi una soluzione più appetibile e sufficiente per la produzione della sola ACS. Ulteriori caratteristiche tecniche riguardanti il collettore solare piano verranno riportate nel paragrafo dedicato a seguire (§3.4).

In questa sezione l'obiettivo è invece quello di giustificare la scelta fatta ed il dimensionamento della superficie di collettori necessaria. Per una prima valutazione si è fatto riferimento ai seguenti valori medi per la produzione di circa 50 [lt] al giorno di ACS:

- Nord Italia: 1,5 – 2,5 [m²]
- Centro Italia: 1,0 – 1,5 [m²]
- Sud Italia: 0,5 – 1,0 [m²]

Considerando il valore di riferimento più cautelativo per il Nord, ovvero 2,5 [m²], ed il fabbisogno di circa 200 [lt] al giorno, stimato in **tabella 29**, la superficie da installare risulta essere di circa 10 [m²].

Poiché, come riportato in **tabella 39**, la superficie dei collettori scelti è di 2,7 [m²] sono stati installati quattro pannelli in totale.

Sempre al §3.4 verrà stimata la produzione, tramite un software dedicato, dei pannelli così dimensionati, tenendo conto anche dell'inclinazione e dell'orientamento.

La tipologia di impianto è di tipo a *circolazione forzata*, ovvero dotato di una pompa che permette al fluido termovettore di circolare dai pannelli allo scambiatore posto nell'accumulo al piano terra (nel locale tecnico).

8 – Gruppo di rilancio solare

Come premesso al punto 7, la pompa solare ha lo scopo di permettere al fluido di circolare correttamente tra i diversi piani dell'abitazione, vincendo tutte le perdite di pressione che si generano a causa del dislivello e di tutte le curve che le tubazioni sono costrette a compiere per poter essere installate nell'apposita cavità.

Nei piccoli impianti come quello preso in considerazione, con una superficie e una lunghezza delle tubazioni rispettivamente inferiori a 15 [m²] e 40 [m], non è stato effettuato un computo di tutte le perdite poiché le piccole pompe per il riscaldamento sono più che sufficienti; lo stesso vale anche per le altre pompe dell'impianto.

9 – Vasi di espansione

La funzione del vaso di espansione, in gergo detto anche *polmone*, è quella di recepire le variazioni di volume del fluido termovettore all'interno degli impianti. La tipologia utilizzata è quella del vaso chiuso al cui interno si trova una membrana che divide in due parti il contenitore rigido, una contenente il liquido e l'altra contenente gas o aria; all'occorrenza tale membrana è in grado di espandersi, evitando dannose sovrappressioni. I principali vasi di espansione del circuito sono quello solare e quello di riscaldamento.

Per quanto riguarda il dimensionamento dei vasi, l'importante è tener conto delle pressioni di esercizio; per quanto riguarda quello solare, il calcolo accurato è stato riportato in **tabella 39**: il valore ottenuto di 24 [lt] è perfettamente in linea con quelli di riferimento.

Più semplice è stato invece il dimensionamento del vaso del circuito di riscaldamento per il quale si è fatto riferimento ad una regola di fisica tecnica valida per i piccoli impianti domestici, ovvero circa un decimo del volume dell'accumulo, quindi nel nostro caso 150 [lt].

10 – Termostati di zona

Nel circuito sono stati inseriti due termostati di zona, uno per il piano terra ed uno per il primo piano. In base alla temperatura impostata, il loro scopo è quello di azionare le pompe di rilancio che movimentano il fluido termovettore dal serbatoio di accumulo al sistema di emissione, il pavimento radiante; è utile sottolineare che le centraline solare e della caldaia sono tra loro collegate.

Ciò implica che il sistema è in grado, oltre che di gestire la richiesta termica, di mettere in funzione la caldaia quando l'accumulo non è in temperatura e il solare termico non sta producendo; in alternativa può far funzionare unicamente il sistema solare, se è sufficiente, o entrambi i sistemi. L'impianto è inoltre predisposto per l'installazione di sei termostati, per poter creare più zone termiche.

Tubazioni, valvole & altri componenti

A seguire viene brevemente descritto lo scopo dei componenti dell'impianto non ancora citati.

- *Valvole a sfera*: permettono l'intercettazione del fluido termovettore nei condotti dell'impianto, favorendone le operazioni di carico e scarico.
- *Valvole di ritegno*: permettono al fluido termovettore di scorrere in una sola direzione, impedendone l'inversione.
- *Gruppo di riempimento automatico*: installato sul circuito di adduzione dell'acqua, permette di mantenere la pressione stabile provvedendo al reintegro dell'acqua mancante.
- *Filtro*: consente la raccolta delle impurità, evitando che queste si depositino lungo i condotti o negli scambiatori creando perdite di carico.
- *Collettore idraulico*: permette il convogliamento delle acque provenienti dai diversi circuiti di riscaldamento; realizzato in acciaio inox opportunamente coibentato.
- *Sfiati*: installati nei punti alti del circuito (ad esempio in cima al serbatoio e sull'ultimo collettore solare) permettono l'evacuazione automatica di aria e vapore acqueo.
- *Gruppo di sicurezza del generatore*: utilizzato per salvaguardare la sicurezza negli impianti che utilizzano biomassa solida, permette lo scarico del generatore quando la pressione supera i 3 [bar].
- *Valvole di sicurezza*: anch'esse utilizzate per la salvaguardia della sicurezza, sono valvole di rilascio impostate ad una determinata pressione (rif. schema); sono installate in concomitanza coi vasi e sono anche integrate nei corpi pompa.

Per quanto riguarda le tubazioni, ve ne sono di tre tipi:

- *Tubazioni di mandata e ritorno dell'impianto*: realizzate in acciaio inox opportunamente coibentato; il dimensionamento del tratto caldaia – accumulo è riportato in **tabella 38**. Per quanto riguarda il tratto accumulo – sistema di pompaggio, il diametro commerciale installato è il DN16, ovvero lo stesso delle tubazioni di arrivo dai collettori del pavimento radiante, preinstallate anch'esse dall'impresa di costruzione. La scelta dell'acciaio inox è la migliore in termini di resistenza alla corrosione e quindi vita dell'impianto, tuttavia è anche una delle più costose; in alternativa potrebbero essere realizzate in rame o in acciaio nero, quest'ultimo decisamente più economico.
- *Tubazioni di riempimento da rete idrica*: così come quelle del circuito dell'acqua potabile, sono realizzate in multistrato.
- *Tubazioni solari*: di tipo corrugato flessibile, sono realizzate rigorosamente in acciaio inox o rame, nel nostro caso in inox; questo tipo di tubazioni sono generalmente fornite pre-coibentate e rivestite da una pellicola superficiale resistente ai raggi UV e all'usura meccanica. Inoltre all'interno della pellicola, tra gli strati di isolante della mandata e del ritorno, passa il cavo di collegamento alla centralina (che si trova in locale tecnico, così come la pompa di rilancio). Grazie al materiale di buona qualità e all'isolante, sono molto resistenti sia all'esposizione solare che all'usura ed al passaggio del fluido termovettore (acqua glicolata).

3.4 L'IMPIANTO SOLARE TERMICO

Il collettore solare è un tipo di scambiatore atto ad intercettare la radiazione proveniente dal sole per trasferire calore ad un fluido termovettore. Per questo motivo lo scambio di tipo radiativo gioca un ruolo fondamentale, contrariamente a quanto accade nei classici scambiatori dove è praticamente trascurabile in confronto allo scambio conduttivo e convettivo.

A seguito delle considerazioni fatte al punto 7-§3.3, andremo ora ad analizzare la tipologia di pannello piano: nella figura a seguire è rappresentata la classica stratigrafia.

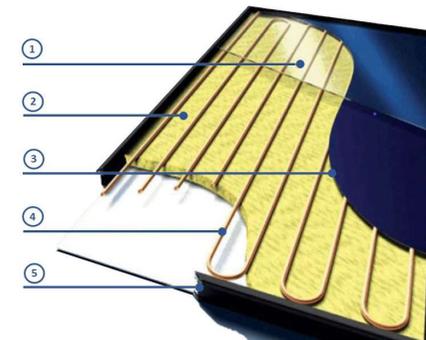


Figura 6: Stratigrafia del collettore

1. *Vetra*: è la parte più esposta del pannello, serve a proteggere l'assorbitore dalle intemperie e diminuisce le perdite di calore verso l'alto; deve essere il più possibile trasparente.
2. *Isolante*: distribuito ai lati e nella parte inferiore del collettore, serve a diminuire le dispersioni di calore aumentando il rendimento; deve essere il più possibile termoresistente.

3. *Assorbitore*: lastra metallica rivestita con uno strato di materiale selettivo, il quale permette l'assorbimento della radiazione solare incidente ($\alpha > 95\%$) irradiando al contempo pochissima energia termica ($\epsilon < 10\%$).
4. *Serpentina*: trasferisce calore dal piatto assorbente al fluido termovettore che scorre in essa; per favorire questo scambio deve essere in buon contatto con l'assorbitore.
5. *Profilo metallico di chiusura*: rinchiude tutti i componenti del pannello; deve essere snello ma al contempo molto robusto perché protegge da intemperie, vapore e polveri.

I collettori solari vengono fissati con delle apposite strutture, profilati in alluminio, sulla falda del tetto: ciò implica che il sistema è di tipo fisso e non ad inseguimento solare (tecnologia utilizzata per impianti decisamente più grandi).

L'orientamento ideale degli impianti per la produzione di ACS è verso Sud, con un'inclinazione pari alla latitudine del luogo meno 15° ; la falda del tetto dell'abitazione permette l'inclinazione ideale, tuttavia la migliore esposizione si ha verso Sud-Ovest invece che verso Sud.

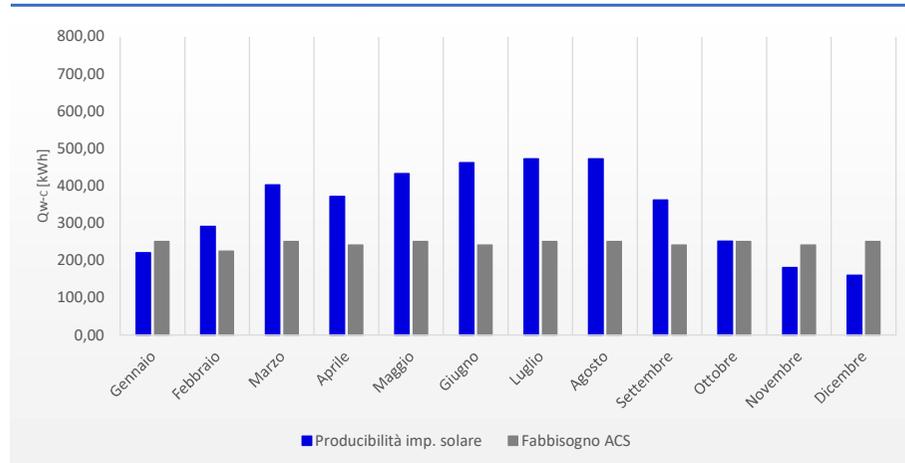
Ciò comporta una lieve riduzione del rendimento, dell'ordine del 3% rispetto ad un sistema esposto a Sud. Il produttore dei pannelli ha messo a disposizione un simulatore on-line per il calcolo della resa dell'impianto, riportata in **tabella 40**, considerando i seguenti dati progettuali:

- Latitudine: $45^\circ 42' 55'' 44 N$
- Inclinazione: 30°
- Orientamento: S-O

Tabella 40, Resa dei collettori solari

| Mese | gg | Q _w [kWh] | Q _c [kWh] | % Copertura |
|-------------|----|----------------------|----------------------|--------------|
| Gennaio | 31 | 251,0 | 221,0 | 88,1 |
| Febbraio | 28 | 225,0 | 292,0 | 129,8 |
| Marzo | 31 | 251,0 | 403,0 | 160,6 |
| Aprile | 30 | 242,0 | 372,0 | 153,7 |
| Maggio | 31 | 251,0 | 433,0 | 172,5 |
| Giugno | 30 | 242,0 | 463,0 | 191,3 |
| Luglio | 31 | 251,0 | 473,0 | 188,5 |
| Agosto | 31 | 251,0 | 473,0 | 188,5 |
| Settembre | 30 | 242,0 | 362,0 | 149,6 |
| Ottobre | 31 | 251,0 | 252,0 | 100,4 |
| Novembre | 30 | 242,0 | 181,0 | 74,8 |
| Dicembre | 31 | 251,0 | 161,0 | 64,1 |
| Anno | | 2950,0 | 4086,0 | 138,5 |

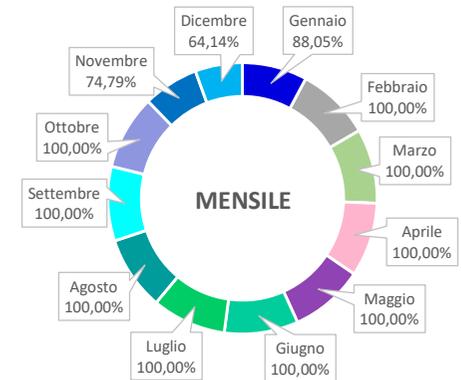
Copertura fabbisogno termico per ACS



Grazie a questi dati si evince che la resa dei collettori è globalmente sufficiente a coprire il fabbisogno termico di ACS calcolato al §2.6. Tuttavia l'apporto solare, da considerarsi gratuito per quanto riguarda il consumo di materia prima, non è sufficiente ai fini della copertura del fabbisogno termico durante i mesi invernali (vedi grafici ad anelli): in questi periodi sarà necessario integrare parte del calore tramite il generatore a biomassa.

Un'altra considerazione importante da fare riguarda il fenomeno della stagnazione, il quale si verifica principalmente nei periodi estivi più caldi: quando l'accumulo termico è caldo, la pompa solare viene disattivata ed i pannelli smettono di scambiare calore, in questo modo la temperatura dell'assorbitore aumenta fino allo stato bilanciato tra la potenza assorbita per irraggiamento e le perdite di calore. La temperatura si innalza a valori di circa 200 [°C], causando l'evaporazione del fluido termovettore; la parte gassosa "spinge" quella liquida che viene quindi raccolta nel vaso di espansione.

Questo fenomeno, oltre che rappresentare una perdita nella produzione, può essere dannoso quando avviene in modo parziale, poiché del vapore potrebbe essere trasportato dal liquido ancora circolante e creare delle sovrappressioni. Per ridurre al minimo questi fenomeni è necessario regolare correttamente l'impianto in fase di messa in funzione e prevedere la corretta installazione di elementi come sfiati e vaso di espansione. Inoltre nel sistema oggetto di studio è stato installato un accumulo termico abbastanza ampio da consentire, nel periodo estivo in cui il generatore non è in funzione, un notevole scambio termico.



Per concludere la trattazione sul solare termico, si riporta lo schema di collegamento tra i pannelli.

Per gli impianti più grandi è possibile realizzare più circuiti in parallelo per contenere le perdite di pressione, mentre su un impianto di soli quattro pannelli è possibile eseguire un unico collegamento in serie.

In figura sono inoltre rappresentati i raccordi:

- Dritti per il collegamento pannello – pannello.
- A croce per l’inserimento dello sfiato e della sonda termica.

L’allacciamento va realizzato partendo dal punto più basso per poi uscire nella parte alta del circuito con il fluido termovettore caldo.

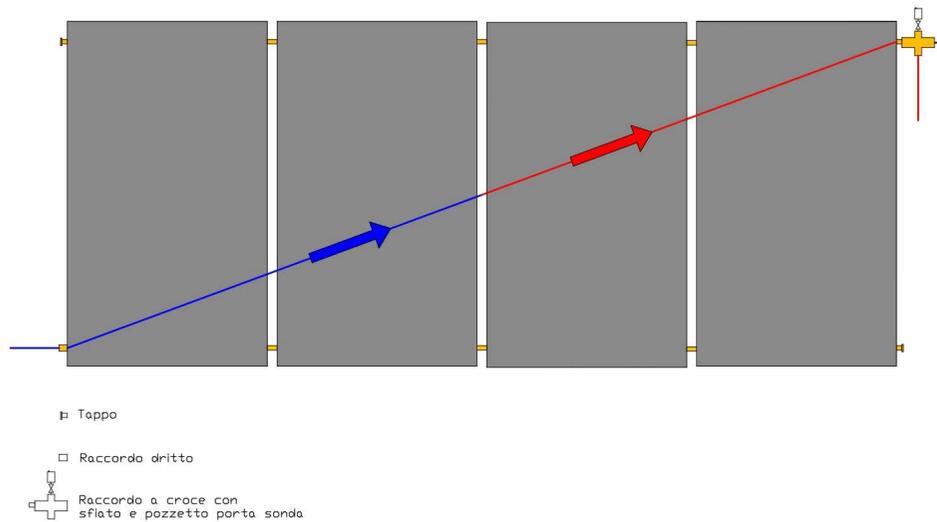


Figura 7: Collegamento dei collettori solari

CAPITOLO 4

4.1 SPESA ANNUA PER L'ENERGIA PRIMARIA

Per quantificare il beneficio nell'installare un impianto a fonti rinnovabili, come quello proposto, rispetto ad uno tradizionale, ovvero una caldaia a gas naturale comunque di nuova generazione e ad alto rendimento, si attua sia alla produzione di ACS che di energia termica per il riscaldamento, è necessario computare il risparmio economico imputabile alla differenza di costo di acquisto dei due tipi di combustibile: gas naturale e biomassa legnosa. Va inoltre precisato che l'installazione dell'impianto solare termico costituisce un'ulteriore fonte di risparmio rispetto alla produzione di ACS da caldaia. Per poter effettuare il calcolo bisogna per prima cosa quantificare l'effettiva quota parte mensile di energia primaria che deve essere prodotta dai due sistemi, passando quindi dal rendimento globale.

Il rendimento globale è stato calcolato al §3.1, tuttavia conoscendo il rendimento massimo della caldaia a biomassa scelta, è stata effettuata una correzione sul valore delle perdite di generazione, lasciando invece invariati gli altri parametri ed escludendo gli ausiliari (elettrici). Partendo dagli stessi valori così calcolati di energia primaria necessaria e, nel caso dell'impianto a fonti rinnovabili, sottraendo l'apporto energetico gratuito dell'impianto solare, è stato possibile stimare la spesa sostenuta per l'acquisto dei diversi combustibili ed il conseguente risparmio.

Il costo medio di acquisto è pari a:

- 0,50 [€/smc] per il gas naturale
- 0,035 [€/kWh] per la legna, tipologia mista
- 0,3 [€/kg] per il pellet di buona qualità.

Tabella 41, Rendimenti dell'impianto & Fabbisogno

| | Riscaldamento | ACS |
|-------------|---------------|---------------|
| η_e | 99 % | 100 % |
| Q_e | 66,2 | 0 |
| η_c | 94,5 % | 100 % |
| Q_c | 385,0 | 0 |
| η_d | 98,5 % | 92,6 % |
| Q_d | 106,6 | 235,7 |
| η_{gn} | 93,5 % | 96,2 % |
| Q_{gn} | 494,1 | 125,8 |
| η'_g | 86,0 % | 89,0 % |
| Q'_g | 7601,6 | 3311,6 |

Tabella 42, Costo del gas naturale

| C_{gn} [€/smc] | PCI_{gn} [kWh/smc] | $C'_{gn} = C_{gn}/PCI_{gn}$ [€/kWh] |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 0,50 | 9,59 | 0,052 |

Tabella 43, Costo della biomassa

| C_{legna} [€/kWh] | C_{pellet} [€/kg] | PCI_{pellet} [kWh/kg] | $C'_{pt} = C_{pellet}/PCI_{pellet}$ [€/kWh] |
|---------------------|---------------------|-------------------------|---|
| 0,035 | 0,3 | 5,0 | 0,060 |

Per quanto riguarda la biomassa, si considera un mix di circa 70% legna e 30% pellet, poiché quest'ultimo, più costoso, viene utilizzato prevalentemente per le accensioni del generatore mentre la legna per il suo normale funzionamento. Il costo medio risulta quindi essere circa $C_{bm} = 0,043$ [€/kWh].

Avendo calcolato il nuovo rendimento globale dell'impianto è possibile calcolare il fabbisogno di energia primaria come:

- $Q'_w = Q_w / \eta'_g$ [kWh]
- $Q'_H = Q_H / \eta'_g$ [kWh]
- $Q'_{p,H} = Q'_w + Q'_H$ [kWh]

Da cui è possibile stimare la spesa totale annua.

Tabella 44, Spesa totale annua – gas naturale

| Mese | Q'_w [kWh] | Q'_H [kWh] | $Q'_{p,H}$ [kWh] | $S_{gn} = Q'_{p,H} \cdot C'_{gn}$ [€] |
|-----------|---------------|---------------|------------------|---------------------------------------|
| Gennaio | 281,8 | 1858,1 | 2139,8 | 111,6 |
| Febbraio | 252,6 | 1319,5 | 1572,0 | 82,0 |
| Marzo | 281,8 | 531,6 | 813,4 | 42,4 |
| Aprile | 271,7 | 135,4 | 407,1 | 21,2 |
| Maggio | 281,8 | 0 | 281,8 | 14,7 |
| Giugno | 271,7 | 0 | 271,7 | 14,2 |
| Luglio | 281,8 | 0 | 281,8 | 14,7 |
| Agosto | 281,8 | 0 | 281,8 | 14,7 |
| Settembre | 271,7 | 0 | 271,7 | 14,2 |
| Ottobre | 281,8 | 344,5 | 626,2 | 32,6 |
| Novembre | 271,7 | 1369,2 | 1640,9 | 85,6 |
| Dicembre | 281,8 | 2043,3 | 2325,1 | 121,2 |
| | 3311,6 | 7601,6 | 10913,2 | 569,0 |

Tabella 45, Spesa totale annua – biomassa & solare termico

| Mese | Q _c [kWh] | $\Delta Q = Q'_{p,H} - Q_c$ [kWh] | S _{bm} = $\Delta Q \cdot C_{bm}$ [€] |
|------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| Gennaio | 221,0 | 1918,8 | 81,5 |
| Febbraio | 292,0 | 1280,0 | 54,4 |
| Marzo | 403,0 | 410,4 | 17,4 |
| Aprile | 372,0 | 35,1 | 1,5 |
| Maggio | 433,0 | 0,0 | 0,0 |
| Giugno | 463,0 | 0,0 | 0,0 |
| Luglio | 473,0 | 0,0 | 0,0 |
| Agosto | 473,0 | 0,0 | 0,0 |
| Settembre | 362,0 | 0,0 | 0,0 |
| Ottobre | 252,0 | 374,2 | 15,9 |
| Novembre | 181,0 | 1459,9 | 62,0 |
| Dicembre | 161,0 | 2164,1 | 92,0 |
| TOT | 4086,0 | 7642,5 | 324,8 |

Spesa totale per l'energia primaria

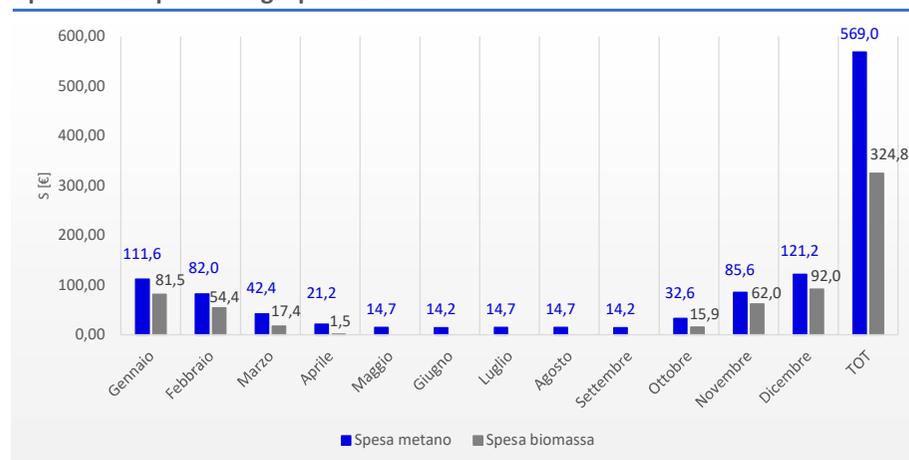
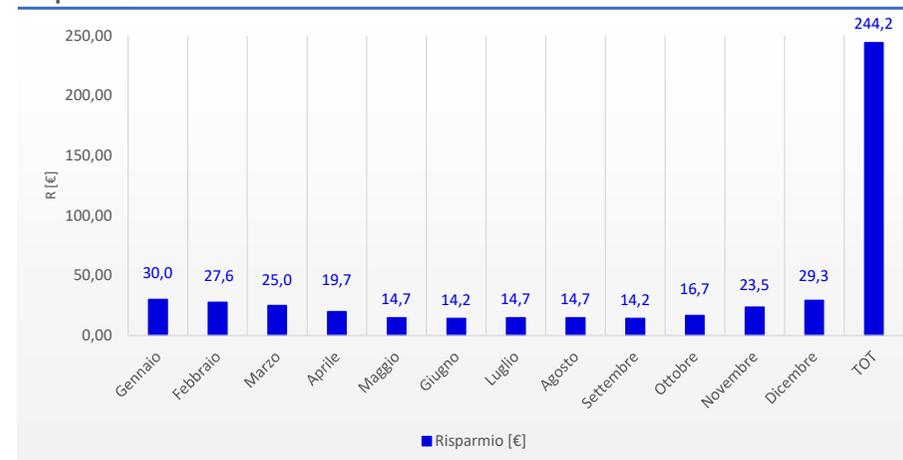


Tabella 46, Stima del risparmio

| Mese | R [€] | R [%] |
|------------|--------------|-------------|
| Gennaio | 30,0 | 27 % |
| Febbraio | 27,6 | 34 % |
| Marzo | 25,0 | 59 % |
| Aprile | 19,7 | 93 % |
| Maggio | 14,7 | 100 % |
| Giugno | 14,2 | 100 % |
| Luglio | 14,7 | 100 % |
| Agosto | 14,7 | 100 % |
| Settembre | 14,2 | 100 % |
| Ottobre | 16,7 | 51 % |
| Novembre | 23,5 | 27 % |
| Dicembre | 29,3 | 24 % |
| TOT | 244,2 | 43 % |

Risparmio



Come già sottolineato più volte, la tipologia di struttura dell'abitazione è particolarmente performante; ciò implica che anche utilizzando fonti tradizionali la spesa annua per l'energia è molto bassa: meno di 600 [€] per riscaldamento e produzione di ACS rappresenta circa il 50% di risparmio rispetto la spesa media sostenuta da una famiglia in Italia.

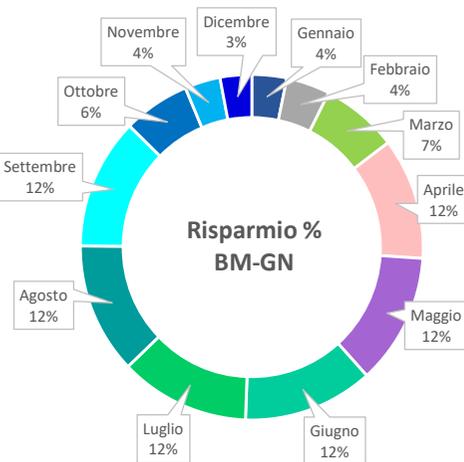
Utilizzando come fonte primaria la biomassa ed unendovi i benefici del solare termico, il risparmio aumenta ulteriormente.

In **tabella 46** si è stimata una spesa annua inferiore a 350 [€], circa il 40% in meno rispetto al gas naturale: una cifra conveniente e sostenibile.

Inoltre nei mesi estivi, salvo anomalie nel clima, si prevede una spesa nulla grazie all'installazione dei collettori, come reso ben in evidenza dal grafico ad anello.

Per concludere, è giusto accennare il fatto che tuttavia è necessario verificare annualmente lo stato degli impianti e fare le opere di manutenzione necessarie a mantenere gli standard prima di tutto di sicurezza, ma anche di efficienza.

Queste operazioni hanno ovviamente un costo (generalmente poche centinaia di euro) che non sono state conteggiate nella stima della spesa annua, ma che in ogni caso vanno sostenute indipendentemente dalla tipologia di generatore che si sceglie.



4.2 RISPARMIO DI CO₂

In **tabella 46** è stato stimato il risparmio economico, tuttavia un altro aspetto importante da tenere in considerazione è quello delle emissioni in atmosfera. Infatti l'installazione di un impianto a biomassa permette di risparmiare una certa quantità di gas serra: i valori da confrontare sono le tonnellate di CO₂ equivalenti calcolate mediante il Global Warming Potential, GWP.

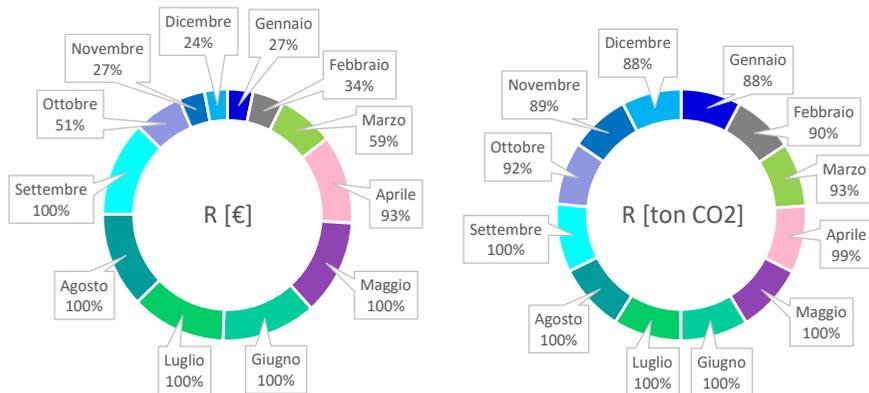
Il GWP è la misura che determina il potere climalterante dei gas a effetto serra, ovvero l'indice che mette in relazione il potenziale di riscaldamento (in 100 anni) di un chilogrammo di un gas rispetto a un chilogrammo di anidride carbonica, CO₂, il cui GWP ha per definizione il valore uno. Per i valori si è fatto riferimento al manuale "conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings", part L2A.

Tabella 47, Valori del GWP

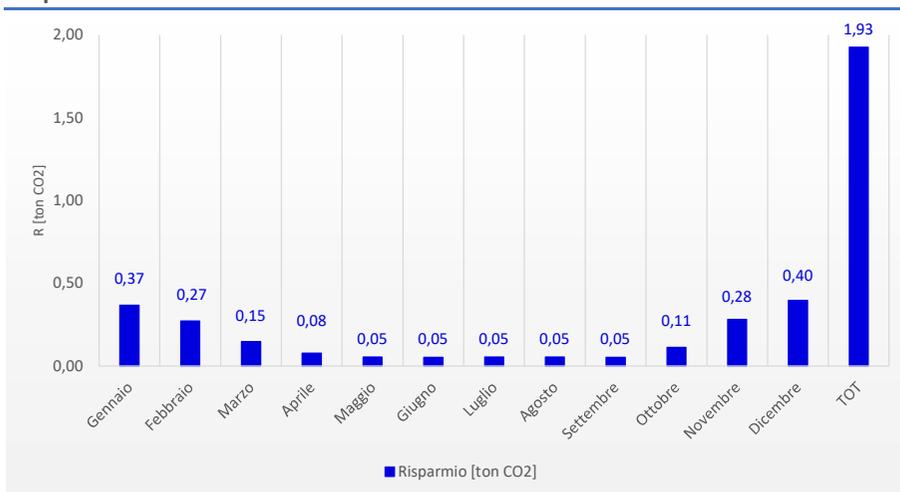
| GWP _{gn} [ton CO ₂ /kWh] | GWP _{bm} [ton CO ₂ /kWh] |
|--|--|
| 0,000194 | 0,000025 |

Tabella 48, Emissioni in tonnellate di CO₂

| Mese | E _{bm} [ton CO ₂] | E _{gn} [ton CO ₂] | R [ton CO ₂] | R [%] |
|------------------|--|--|--------------------------|-------------|
| Gennaio | 0,05 | 0,42 | 0,37 | 88 % |
| Febbraio | 0,03 | 0,30 | 0,27 | 90 % |
| Marzo | 0,01 | 0,16 | 0,15 | 93 % |
| Aprile | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 99 % |
| Maggio | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 100 % |
| Giugno | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 100 % |
| Luglio | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 100 % |
| Agosto | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 100 % |
| Settembre | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 100 % |
| Ottobre | 0,01 | 0,12 | 0,11 | 92 % |
| Novembre | 0,04 | 0,32 | 0,28 | 89 % |
| Dicembre | 0,05 | 0,45 | 0,40 | 88 % |
| | 0,19 | 2,12 | 1,93 | 91 % |



Risparmio



Le emissioni risultanti sono il prodotto del GWP, riportato in **tabella 47**, e di $Q'_{p,H}$, calcolato in **tabella 44**, per quanto riguarda il GN e di ΔQ , **tabella 45**, per quanto riguarda la biomassa.

È subito evidente come l'installazione di un generatore a biomassa comporti il quasi totale annullamento delle emissioni, comportando un elevato beneficio ambientale nell'ottica della salvaguardia del sistema in cui si vive.

4.3 PAY-BACK TIME

Come conclusione dell'analisi tecnica viene stimato il pay-back time (PBT), ovvero il tempo di ritorno dell'investimento sostenuto. Per la stima in questione bisogna calcolare di anno in anno il Net Present Value dell'impianto e verificare quando questo si azzerava. Il valore di NPV si computa attraverso la formula:

$$NPV = -I + R \cdot [(1+i)^n - 1] / [i \cdot (1+i)^n] \text{ [€]}$$

Con:

- $i' = (i - e) / (1 + e)$
- i [%] = tasso d'interesse
- e [%] = tasso di incremento del costo dell'energia
- I [€] = investimento iniziale
- R' [€] = risparmio relativo all'anno n

Per quanto riguarda l'investimento iniziale, poiché l'abitazione è di nuova costruzione e quindi priva di impianto, viene considerato il delta costo tra l'ipotesi di generatore a biomassa e solare termico e l'ipotesi di generatore a gas naturale.

Per quanto riguarda la stima del risparmio annuale viene invece sommato il risparmio dovuto all'acquisto dell'energia primaria calcolato al §4.1, **tabella 46**, con l'incentivo annuale ottenibile (J); quest'ultimo è rappresentato dalla quota parte del costo dell'impianto defiscalizzata, ovvero il 50% del costo iniziale rimborsato in dieci anni. Il PBT ottenuto è di circa otto anni.

Tabella 49, Parametri di calcolo NPV

| I_{gn} [€] | $I_{b,s}$ [€] | $I = I_{b,s} - I_{gn}$ [€] | i [%] | e [%] | i' | J [€] |
|--------------|---------------|----------------------------|---------|---------|--------|---------|
| 5000 | 13500 | 8500 | 2 % | 4% | -0,019 | 675 |

Tabella 50, Calcolo del NPV

| Anno | $R' = R + J$ [€] | NPV [€] |
|------|------------------|----------|
| 1 | 919,2 | -7562,8 |
| 2 | 919,2 | -6607,22 |
| 3 | 919,2 | -5632,91 |
| 4 | 919,2 | -4639,49 |
| 5 | 919,2 | -3626,59 |
| 6 | 919,2 | -2593,83 |
| 7 | 919,2 | -1540,82 |
| 8 | 919,2 | -467,164 |
| 9 | 919,2 | 627,5437 |
| 10 | 919,2 | 1743,717 |

Net Present Value



Nonostante il PBT non sia rapidissimo, confrontandolo con la vita utile degli impianti di circa 25 anni e considerando tutti i benefici esposti, la scelta di installare un impianto di questo genere risulta comunque competitiva.

Inoltre, considerando il clima geo-politico molto instabile in questi ultimi anni, affidarsi ad una risorsa energetica locale, rinnovabile ed a suo modo inesauribile è garanzia di una migliore affidabilità.

4.4 CONCLUSIONI

L'intera abitazione è stata costruita con tecniche innovative in termine di efficienza energetica, così come gli impianti.

La scelta del cliente di installare un impianto a biomassa integrato con un impianto solare termico, oltre che essere in parte mandatoria secondo la vigente legislazione in merito all'edilizia di nuova costruzione, costituisce un'alternativa valida e conveniente da diversi punti di vista: in primis quello economico, ma non ultimo quello ambientale.

La scelta della biomassa mista legna – pellet è stata pensata secondo le esigenze specifiche del cliente e anche se necessita di elevati spazi di storage della materia prima, rappresenta un buon risparmio economico (considerando anche che il cliente dispone di un terreno privato piantumato da cui in parte attingere) e costituisce una fonte rinnovabile.

Inoltre le prestazioni dell'edificio piuttosto elevate permettono di richiedere incentivi statali sia per l'edificazione che per gli impianti. Per quanto riguarda questa trattazione, il punto focale è quello riguardante la progettazione dell'impianto in tutti i suoi componenti per la realizzazione *a regola d'arte*.

Inoltre, si è voluto confrontare la tipologia prescelta di generatori rispetto ad uno più tradizionale, presentando sia gli svantaggi (in particolare il costo di installazione maggiore ed un PBT abbastanza elevato) che gli innumerevoli vantaggi.

La prima parte della trattazione si è invece concentrata maggiormente sulla struttura dell'abitazione, giusta introduzione per poter in seguito dimensionare nel modo più corretto possibile gli impianti. I dati sulla struttura sono stati presi dalla Legge 10 dell'edificio, redatta dall'Ing. Monsù, e successivamente rielaborati. La parte progettuale riguardante gli impianti è stata invece sviluppata dalla sottoscritta in sede di un tirocinio curriculare. Nel complesso, penso che questo tipo di trattazione possa essere un riferimento per il dimensionamento e la progettazione di impianti termici in relazione ai cosiddetti *green buildings*, opere edilizie che in questi anni si stanno sempre più affermando nel mercato immobiliare occidentale e via via anche nel nostro Paese.



Figura 8

BIBLIOGRAFIA, SITOGRAFIA & IMMAGINI

Ing. Monsù L. - “Rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico, Decreto Legislativo 19 agosto 2005 N. 192 e s.m.i.”.

Ing. Simonetti M. - “Criteri di progettazione di impianti solari termici”.

Ing. Tripodi D., Italiano N. - “Procedura di calcolo analitica per la determinazione del fabbisogno di energia”.

Ing. Fracastoro G.V., Perino M. - “Technology for Renewable Energy Sources – Solar Collectors”.

Caleffi M., Poligrafica Moderna S.p.A. Novara - “Manuale di idraulica”.

Duffie & Beckman - “Solar engineering of thermal processes”.

NBS, part of RIBA Enterprises - “Conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings”, part L2A.

<http://www.caminisulweb.it/guida/vantaggi-di-una-caldaia-a-biomassa.html>

<https://www.lohberger.com/heiztechnik/>

<http://blog.hydraclub.org/calcolo-del-gwp-e-delle-tonnellate-equivalenti-di-co2/>

Figura 1: Schema semplificato dell’impianto - http://www.aqes.it/index.php?sc=solare_termico

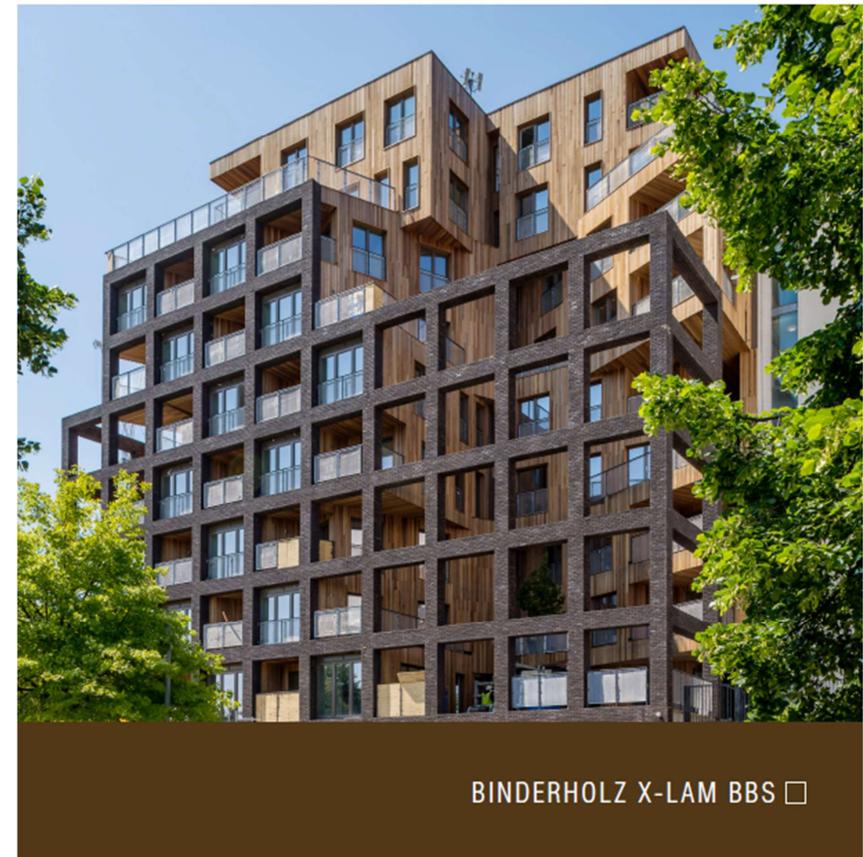
Figura 2-3: Pianta dell’edificio - “Rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico”.

Figura 6: Stratigrafia del collettore - <http://educazionetecnica.dantect.it/wp-content/uploads/2012/02/Solari-a-vetro.gif>

Figura 8: green home - <https://it.cleanpng.com/cleanpng-9e98kf/download-png.html>

*Le figure non citate sono state realizzate dalla candidata.

APPENDICE



BINDERHOLZ X-LAM BBS | DATI TECNICI

| | X-LAM BBS 12s | X-LAM BBS XL |
|-----------------------------------|---|--|
| | | |
| Struttura | strati incrociati di lamelle incollate 3-, 5-, 7-strati | strati incrociati di lamelle incollate 3-, 5-strati |
| Formato | pannello modulare | pannello grande |
| Larghezza Lunghezza | 1,25 m fino a 20 m | max 3,50 m fino a 20 m |
| Spessore | 60 - 280 mm | 60 - 240 mm |
| Umidità del legno | 10 % +/- 2 % alla consegna | |
| Carico proprio X-LAM BBS | 450 kg/m² conformemente a ETA-06/0009 | |
| Lamelle | Spessore 20, 30, 35 o 40 mm legno di conifera, essiccazione tecnica, selezionato in base alla qualità | |
| Qualità Strato esterno | Classificazione secondo DIN EN 13017-1 | |
| a vista | Strato esterno longitudinale (DL) pannelli monostrato con una larghezza di 1,25 m levigato o spazzolato Tipi di legno: abete rosso, larice, pino cembro, antiche (abete bianco evaporato con spazzolatura evidente) | Strato esterno trasversale (DQ) pannelli monostrato con una larghezza di 1,25 m, levigati smusso verticale sul giunto dello strato esterno Tipo di legno: abete rosso |
| non a vista | Strato esterno longitudinale (DL) | |
| Giunzione a pettine | Giunzione a pettine sullo spessore del pannello | Lamelle giuntate a pettine singolarmente strato esterno del pannello con qualità a vista AB/BC senza giunzione a pettine |
| Larghezze di fatturazione | 0,625 1,25 m | 2,40 2,60 2,75 2,95 3,20 3,50 m |
| Pretaglio | Lavorazione CNC | |
| Bordi longitudinali | | |
| Incollaggio | Superficie X-LAM BBS e giunti a pettine universali 1K-PUR conformemente a EN 15425 + EN 14080:2013 Incollaggio laterali degli strati esterni MUF conformemente a EN 301, classe di emissione E1 | |
| Variazione della forma | nel piano del pannello: 0,01 % variazione di forma per % variazione di umidità perpendicolare al piano del pannello: 0,24 % per % variazione di umidità | |
| Isolamento termico | Conducibilità termica secondo EN ISO 10456: $\lambda_{90} = 0,12$ W/mK capacità termica specifica $c = 1600$ J/kgK Valori U per dettagli costruttivi: v. binderholz Manuale per costruzioni in X-LAM BBS | |
| Isolamento acustico | Alto livello di isolamento acustico grazie alla costruzione massiccia Certificazione su richiesta v. binderholz Manuale per costruzioni in X-LAM BBS | |
| Protezione antincendio | Conforma a EN 13501: D, s2, d0 Certificato per REI 30 - 90 rapporti di classificazione e certificati di costruzione di tipo ABP su richiesta velocità di consumo esaminata con durata dell'incendio 90 minuti: pareti 0,75 mm/min, solai 0,90 mm/min | |
| Resistenza alla diffusione | permeabile, barriera al vapore $\mu = 40 - 70$ (a seconda dell'umidità e del numero di giunti incollati) | |
| Tenuta all'aria | tenuta all'aria a partire da 3 strati, certificazione su richiesta | |
| Classi di utilizzo | omologazione per classi di utilizzo 1 o 2 in conformità a EN 1995-1-1 | |
| Impregnazioni | su richiesta impregnazione classe 2 contro lunghi e insetti secondo DIN 68800, CTB P+ certificato | |
| Omologazioni | Omologazione tecnica europea ETA-06/0009 marchio CE Omologazione tedesca per l'edilizia Z-9.1-534 Omologazione francese CSTB Avis Technique 3.3/14-784_V2 | |



BINDERHOLZ X-LAM BBS | PARAMETRI

Valori di sezione per strati longitudinali collegati in modo elastico secondo il metodo Gamma

| Strati | Qualità strato esterno | | Spessore (mm) | Composizione (mm) | | | | | | | Parametri | | | | |
|--------------|------------------------|----------------|---------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | X-LAM BBS 12s | X-LAM BBS XL | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | L _{ref} (m) | A _{net} (cm²) | W _{el} (cm²) | I _{el} (cm⁴) | i _{el} (cm) |
| 3 | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 60 | 20 | 20 | 20 | | | | | 2 | 400 | 562 | 1577 | 1,36 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 574 | 1691 | 2,06 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 576 | 1714 | 2,07 |
| | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 80 | 20 | 40 | 20 | | | | | 2 | 400 | 892 | 3091 | 2,78 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 923 | 3548 | 2,98 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 929 | 3649 | 3,02 |
| | NH-C | NH-C | 90 | 30 | 30 | 30 | | | | | 2 | 600 | 1225 | 4790 | 2,83 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 1280 | 5639 | 3,04 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 1291 | 5707 | 3,08 |
| | NH-C | NH-C | 100 | 35 | 30 | 35 | | | | | 2 | 700 | 1512 | 6669 | 3,04 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 1592 | 7617 | 3,30 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 1608 | 7691 | 3,36 |
| NH-C | NH-C | 120 | 40 | 40 | 40 | | | | | 2 | 800 | 2086 | 9931 | 3,53 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 2249 | 12613 | 3,97 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 2283 | 13277 | 4,07 | |
| 5 | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 100 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | 2 | 600 | 1373 | 5468 | 3,02 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 1308 | 6270 | 3,23 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 1315 | 6449 | 3,28 |
| | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 120 | 20 | 30 | 20 | 30 | 20 | | | 2 | 600 | 1623 | 7743 | 3,59 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 1660 | 9447 | 3,97 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 1691 | 9851 | 4,05 |
| | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 140 | 40 | 20 | 20 | 20 | 40 | | | 2 | 1000 | 2748 | 15078 | 3,88 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 2945 | 19171 | 4,38 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 2986 | 20213 | 4,50 |
| | AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 160 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | | | 2 | 1200 | 3506 | 21680 | 4,25 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 3721 | 27580 | 4,79 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 3764 | 29074 | 4,92 |
| AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 180 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | | | 2 | 1200 | 4061 | 25338 | 4,80 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 4403 | 35310 | 5,42 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 4474 | 38154 | 5,64 | |
| AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 200 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | | | 2 | 1200 | 4617 | 29001 | 4,92 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 5294 | 42666 | 6,03 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 5195 | 40294 | 6,34 | |
| AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 220 | 60 | 30 | 40 | 30 | 60 | | | 2 | 1600 | 8099 | 42978 | 5,18 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 8984 | 68566 | 6,42 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 7196 | 73412 | 6,77 | |
| AB, BC, NH-C | DO-AB/BC, NH-C | 240 | 60 | 40 | 40 | 40 | 60 | | | 2 | 1600 | 6708 | 48343 | 5,38 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 7912 | 77453 | 6,96 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 8198 | 80042 | 7,46 | |
| 7 | AB, BC, NH-C | --- | 260 | 60 | 20 | 40 | 20 | 40 | 20 | 60 | 2 | 2000 | 8396 | 66601 | 5,77 |
| | | | | 4 | | | | | | | | | 9626 | 106296 | 7,26 |
| | | | | 6 | | | | | | | | | 9905 | 118629 | 7,70 |
| AB, BC, NH-C | --- | 280 | 60 | 40 | 20 | 40 | 20 | 40 | 60 | 2 | 1600 | 7925 | 52997 | 5,76 | |
| | | | 4 | | | | | | | | | 9626 | 106296 | 8,00 | |
| | | | 6 | | | | | | | | | 10439 | 125183 | 8,85 | |

L_{ref} ... Lunghezza di riferimento
 A_{net} ... Area di sezione netta (solo strati longitudinali)
 W_{el} ... Momento di resistenza
 I_{el} ... Momento di inerzia
 i_{el} ... Raggio d'inerzia
 Qualità dello strato esterno secondo DIN EN 13017-1:
 AB ... un lato qualità a vista residenziale NH-C ... non a vista
 BC ... un lato qualità a vista industriale
 DQ ... strato esterno trasversale

| Tipo di sollecitazione | EN 1995-1-1 EN 338 N/mm² | |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------|
| | X-LAM BBS 12s | X-LAM BBS XL |
| Strati singoli modulo E | E _{0,05} | 12,000 |
| Flessione regolare sul piano | f _{0,05} | 18 |
| Modulo di spinta | G _{0,05} | 690 |
| Modulo di spinta avvolgibile | G _{0,05} | 50 |
| Spirita da forza trasversale | f _{0,05} | 1 |
| Compressione in piano | f _{0,05} | 21 |
| Compressione regolare verso il piano | f _{0,05} | 2,5 |
| Trazione in piano | f _{0,05} | 10,15 |





Infoline: +39.049.5993544

IT | EN

AZIENDA ACOUSTIC | DESIGN BUILDING | CONSTRUCTION DOWNLOAD Cosa stai cercando? Q

PRESS CONTATTI

Concept Vantaggi Soluzioni Applicazioni Prodotti

BUILDING | CONSTRUCTION

• Torna indietro



CELENIT FL/45

Pannello isolante flessibile in fibre di legno pressate monostrato, densità 50 kg/m³, conforme alla norma UNI EN 13171.

CELENIT FL/45 è certificato FSC®.

Pannello isolante termico e acustico idoneo per applicazioni di isolamento di intercapedini, grazie alla bassa densità e alla capacità di adattamento e flessibilità di un materiale morbido e di bassa consistenza. Usato prevalentemente per cappotti interni a struttura a secco, isolamenti in copertura e su murature a cassetta, CELENIT FL/45 è un materiale che abbina importanti capacità di isolamento termico estivo e invernale alla possibilità di contribuire in modo considerevole al miglioramento della qualità di vita entro i propri muri di casa. Con CELENIT FL/45 si ottiene un ottimo isolamento termico strutturale e si fornisce all'edificio la protezione isolante desiderata a livello di muri, solai e tetto.

VEDI DOCUMENTAZIONE

CARATTERISTICHE:

- ✓ Isolante flessibile, adatto per l'isolamento a incastro
- ✓ Si adatta facilmente alle forme dei profili, grazie alla sua elevata flessibilità
- ✓ Eccellenti proprietà isolanti, in estate come in inverno
- ✓ Traspirante
- ✓ Favorisce un ambiente confortevole e salutare

IMPIEGHI:

isolamento in intercapedine (coperture, pareti perimetrali, pareti divisorie)

DATI TECNICI

| | |
|---|---|
| Dimensioni 1220x575 mm | Conducibilità termica dichiarata λ_D 0,038 W/mK |
| Spessore 40 - 50 - 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 mm | Resistenza termica dichiarata R_D |
| Densità p ca. 50 kg/m ³ | 1,05 m ² K/W (40 mm) |
| Reazione al fuoco Euroclasse E | 1,30 m ² K/W (50 mm) |
| | 1,55 m ² K/W (60 mm) |
| | 2,10 m ² K/W (80 mm) |
| | 2,60 m ² K/W (100 mm) |

Scheda tecnico-commerciale Mupan K e Mupan G3 touch



DESCRIZIONE

Pannello in isolante minerale G3 touch, idrorepellente. Prodotto in Italia con almeno l'80% di vetro riciclato e con una resina termoidurente di nuova generazione, che associa componenti organici e vegetali, minimizzando le emissioni nell'aria di sostanze inquinanti come formaldeide e altri composti organici volatili (VOC). Disponibile nelle seguenti tipologie:

- Mupan K G3 touch: rivestito su una faccia con carta kraft bitumata con funzione di freno al vapore
- Mupan G3 touch: rivestito su una faccia con un velo di vetro

APPLICAZIONE

Isolamento termico e acustico di pareti in intercapedine. Il corretto utilizzo del prodotto prevede la posa in opera con il lato rivestito con freno al vapore applicato verso la parete riscaldata, tipicamente verso l'interno dell'ambiente da isolare.

VANTAGGI

- Isolamento termico e acustico
- Ottima reazione al fuoco
- Facilità di movimentazione
- Velocità di posa
- Rigidità e tenuta meccanica

STOCCAGGIO

Il prodotto deve essere immagazzinato all'aperto, in ambienti ben ventilati e lontano da fonti di calore diretto. Maneggiare con cura onde evitare il distacco dell'eventuale supporto.

ALTRE CARATTERISTICHE

Prodotto di agevole manipolazione e taglio, meccanicamente resistente, resistente all'insaccamento, imputrescibile, inattaccabile dalle muffe. Nelle previste condizioni d'impiego il prodotto è stabile nel tempo.

| Caratteristiche | Valore | Unità di misura | Norma di riferimento | Marcatura CE |
|---|--------|----------------------|----------------------|--------------|
| Conducibilità termica dichiarata λ _D | 0,035 | W/(m·K) | EN 12667 | CE |
| Classe di reazione al fuoco Mupan K G3 touch | F | - | EN 13501-1 | CE |
| Classe di reazione al fuoco Mupan G3 touch | A1 | - | EN 13501-1 | CE |
| Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ Mupan K G3 touch | 3.000 | - | EN 12086 | CE |
| Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ Mupan G3 touch | 1 | - | EN 12086 | CE |
| Assorbimento d'acqua a breve periodo | ≤ 1 | kg/m ² | EN 1609 | CE |
| Tolleranza dimensionali: lunghezza | ± 2% | % | EN 822 | CE |
| Tolleranza dimensionali: larghezza | ± 1,5% | % | EN 822 | CE |
| Tolleranza dimensionali: spessore | T2 | mm | EN 823 | CE |
| Squadratura | ≤ 5 | mm/m | EN 824 | CE |
| Pianarità | ≤ 6 | mm | EN 825 | CE |
| Stabilità dimensionale | ≤ 1 | % | EN 1604 | CE |
| Calore specifico | 1.030 | JKgK | EN 12524 | |
| Costante di attenuazione acustica | 85 | dBm | EN 717-1 | |
| Resistività al flusso d'aria | 13 | kPa·s/m ² | EN 29053 | |

| Spessore (mm) | Resistenza termica dichiarata R _D (m ² K/W) | Dimensioni (m) | m ² /pallet |
|---------------|---|----------------|------------------------|
| 40 | 1,10 | 0,60 x 1,45 | 261,00 |
| 50 | 1,40 | 0,60 x 1,45 | 208,80 |
| 60 | 1,70 | 0,60 x 1,45 | 174,00 |
| 80 | 2,25 | 0,60 x 1,45 | 139,20 |
| 100 | 2,85 | 0,60 x 1,45 | 104,40 |
| 120 | 3,40 | 0,60 x 1,45 | 87,00 |

CODICE: STC 27
REVISIONE: 14
DATA: Marzo 2012

Per quanto riguarda la marcatura CE, Questo prodotto isolante è conforme alle direttive 89/106/CE recepita dal DPR 246 del 21/4/1993 in base alle norme EN 13162 e EN 13172 come da certificati M304 e M316, rilasciati da BVC 0615-CPD-215984G.

I dati CE riportati in questa scheda sono quelli richiesti per l'isolamento termico degli edifici dalla norma EN 13162 e comuni a tutte le applicazioni.

Il sistema di gestione qualità di Saint-Gobain PPC Italia S.p.A. è certificato secondo UNI EN ISO 9001: 2008. Il sistema di gestione ambientale è certificato secondo UNI EN ISO 14001: 2004. Il sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori è certificato secondo OHSAS18001: 2007.

I dati indicati nella presente scheda, ad esclusione di quelli richiesti dalla marcatura CE, non sono tassativi e Saint-Gobain PPC Italia S.p.A. può, senza particolare segnalazione, modificarli.

L'effettuazione delle forniture è subordinata alle nostre possibilità di produzione.

Saint-Gobain PPC Italia S.p.A. si riserva il diritto di apportare in ogni momento e senza preavviso modifiche di qualsivoglia natura, nonché di cessare la produzione.



Saint-Gobain PPC Italia S.p.A. - Attività Isover
Sede Legale: Via Ettore Romagnoli, 6 - 20146 Milano Customer Service Isover Saint-Gobain Tel. + 39 0363 318 400 - Fax. + 39 0363 318 337
www.isovert.it

RINGRAZIAMENTI

Un sentito grazie all'Ingegnere Verda Vittorio, relatore di tesi, per il supporto nella stesura dell'elaborato e per le indispensabili dritte nella compilazione, ed a tutto il collegio di docenti del Politecnico di Torino.

Ringrazio le aziende Energycycle e Sollegno Engineering per la possibilità di svolgere il tirocinio che ha portato alla stesura della presente e per il coinvolgimento in un ambiente lavorativo interessante, competitivo e in linea con il mio percorso di studi; queste prime esperienze lavorative mi hanno permesso di mettermi in gioco, di fare esperienza e raggiungere i miei attuali traguardi lavorativi.

Il ringraziamento più profondo lo devo a mia madre, Piera, e mia sorella, Ilenia, mie compagne di vita e più grandi sostenitrici sia nei momenti belli che in quelli brutti: senza di voi non avrei mai potuto affrontare tutte le difficoltà che mi si sono presentate.

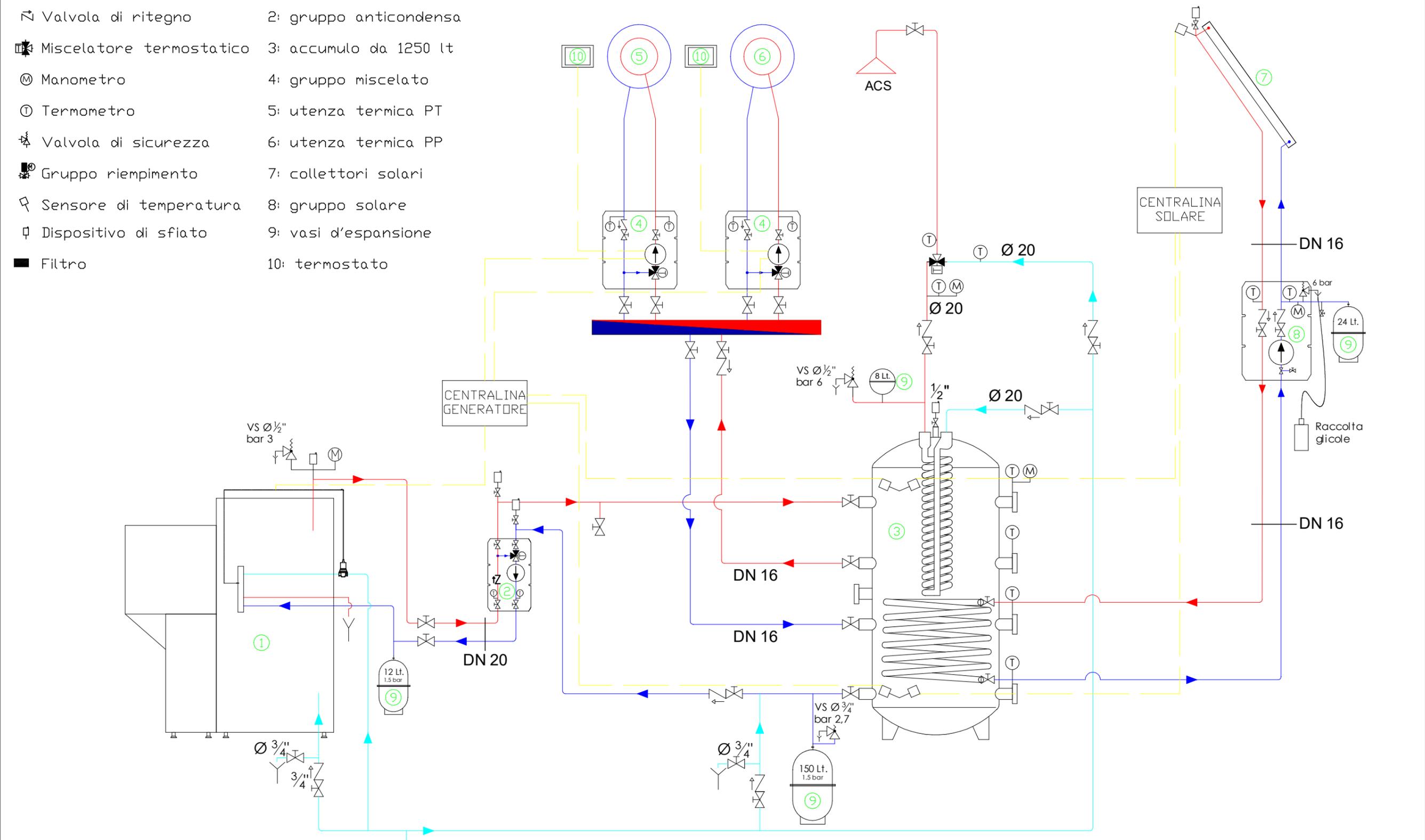
Ringrazio i miei compagni di studio e tutti i miei amici, in particolare Eleonora, con la quale non solo ho condiviso tante ore di studio matto e disperatissimo (cit. Leopardi G.), ma anche tanti momenti tra amiche.

Voglio ringraziare Giuseppe, il quale già dal primo incontro mi ha sostenuto per la stesura dell'elaborato e offerto consigli utilissimi e tantissimo coinvolgimento, e tutti i miei colleghi di lavoro, i quali mi hanno visto crescere come figura professionale ed il cui sostegno nei momenti di congiunzione tra lavoro e preparazione degli esami universitari non è mai venuto a mancare.

Infine grazie ai miei nonni, Leonarda, Felice, Maria e Salvatore, per tutto l'affetto che solo voi sapete concedere.

In particolare a te, nonno *Torù*, forse la persona più fiera dei miei traguardi e colui con cui più di tutti ho condiviso l'amore per le scienze.

- ⊗ Valvola a sfera
 - ↗ Valvola di ritegno
 - ⊕ Miscelatore termostatico
 - ⊙ Manometro
 - ⊕ Termometro
 - ⊕ Valvola di sicurezza
 - ⊕ Gruppo riempimento
 - ⊕ Sensore di temperatura
 - ⊕ Dispositivo di sfiato
 - Filtro
- 1: generatore + silo pellet
 - 2: gruppo anticondensa
 - 3: accumulo da 1250 lt
 - 4: gruppo miscelato
 - 5: utenza termica PT
 - 6: utenza termica PP
 - 7: collettori solari
 - 8: gruppo solare
 - 9: vasi d'espansione
 - 10: termostato



Santomauro Giulia, S211269

Progetto di tesi

Schema idraulico generatore+solare termico