



**UNIVERSITÀ**  
DEGLI STUDI DELLA  
**Tuscia**



**Dafne**

Dipartimento di scienze e tecnologie per  
l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE  
FORESTE, LA NATURA E L'ENERGIA**

**Corso di Dottorato di Ricerca in**

**Ingegneria dei Sistemi Agrari e Forestali - XXVI Ciclo.**

**STUDIO E SVILUPPO DI “EDIFICI AD ENERGIA QUASI ZERO”  
DEL CORPO FORESTALE DELLO STATO**

**ING-IND/09**

**Tesi di dottorato di:**

Dott. Domenico ZILLI

**Coordinatore del corso**

Prof. Massimo Cecchini

Firma .....

**Tutore**

Prof. Ing. Maurizio CARLINI

Firma .....

23 GIUGNO 2014

## Sommario

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO .....                         | 1  |
| <b>1. PREMESSA</b> .....                                                     | 5  |
| <b>2. DATI GENERALI DELL'EDIFICIO</b> .....                                  | 7  |
| 2.1 PIANTE E PROSPETTI .....                                                 | 8  |
| 2.1.1 Pianta Scuola del CFS di Sabaudia .....                                | 8  |
| 2.1.2 Pianta immobile oggetto di riqualificazione energetica .....           | 8  |
| 2.1.3 Prospetto SUD-OVEST .....                                              | 9  |
| 2.1.4 Prospetti SUD-EST .....                                                | 9  |
| 2.1.5 Prospetti NORD-OVEST .....                                             | 10 |
| 2.1.6 Prospetto NORD-EST .....                                               | 10 |
| 2.2 INFORMAZIONI GENERALI .....                                              | 11 |
| 2.2.1 Dati di contesto dell'edificio .....                                   | 11 |
| 2.2.2 Caratteristiche geometriche e termiche dell'edificio .....             | 11 |
| 2.2.3 Dati relativi all'utenza e parametri gestionali .....                  | 12 |
| <b>3 ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI</b> .....                               | 16 |
| 3.1 ANALISI DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA .....                     | 17 |
| 3.2 METODO DELLA FIRMA ENERGETICA .....                                      | 18 |
| <b>4.DESCRIZIONE DEI COMPONENTI STRUTTURALI COSTITUENTI L'EDIFICIO</b> ..... | 22 |
| 4.1 COMPONENTI TRASPARENTI .....                                             | 22 |
| 4.1.1 Finestra di Tipologia A .....                                          | 23 |
| 4.1.2 Finestra di Tipologia B .....                                          | 24 |
| 4.1.3 Finestra di Tipologia C .....                                          | 25 |
| 4.1.4 Finestra di Tipologia D .....                                          | 26 |
| 4.1.5 Finestra di Tipologia E .....                                          | 27 |
| 4.1.6 Finestra di Tipologia F .....                                          | 28 |
| 4.1.7 Finestra di Tipologia .....                                            | 29 |
| 4.1.8 Finestra di Tipologia H .....                                          | 30 |
| 4.1.9 Finestra di Tipologia I .....                                          | 31 |
| 4.1.10 Finestra di Tipologia L .....                                         | 32 |
| 4.1.11 Finestra di Tipologia M .....                                         | 33 |
| 4.1.12 Finestra di Tipologia N .....                                         | 34 |
| 4.1.13 Finestra di Tipologia O .....                                         | 35 |
| 4.1.14 Finestra di Tipologia P .....                                         | 37 |
| 4.1.15 Finestra di Tipologia Q .....                                         | 38 |

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.16 Finestra di Tipologia R.....                                                         | 39        |
| 4.1.17 Finestra di Tipologia S.....                                                         | 40        |
| 4.1.18 Quadro di sintesi chiusure trasparenti .....                                         | 41        |
| 4.2 COMPONENTI OPACHI.....                                                                  | 43        |
| 4.2.1 Componenti opachi verticali disperdenti verso esterno .....                           | 43        |
| 4.2.2 Componenti opachi verticali disperdenti verso locali non climatizzati (vano scale) .  | 45        |
| 4.2.3 Componenti opachi orizzontali disperdenti verso esterno (solaio di copertura) .....   | 47        |
| 4.2.4 Componenti opachi orizzontali inferiori disperdenti verso locali non climatizzati ... | 48        |
| 4.2.5 Componenti opachi orizzontali inferiori disperdenti verso locali non climatizzati ... | 50        |
| <b>5. DESCRIZIONE DELLE ZONE TERMICHE.....</b>                                              | <b>52</b> |
| <b>6. DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI TECNICI.....</b>                                           | <b>53</b> |
| 6.1 IMPIANTO PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE .....                                         | 53        |
| 6.1.1 Sottosistema di emissione .....                                                       | 53        |
| 6.1.2 Sottosistema di regolazione.....                                                      | 54        |
| 6.1.3 Sottosistema di distribuzione .....                                                   | 54        |
| 6.1.4 Sottosistema di generazione.....                                                      | 55        |
| <b>7. ANALISI DEI CONSUMI REALI.....</b>                                                    | <b>56</b> |
| 7.1 Consumi termici.....                                                                    | 56        |
| <b>8. DETERMINAZIONE DELLE OPPORTUNITA' DI RISPARMIO ENERGETICO (ORE) .....</b>             | <b>61</b> |
| 8.1 Intervento 1 .....                                                                      | 61        |
| 8.2 Intervento 2 .....                                                                      | 62        |
| 8.3 Intervento 3 .....                                                                      | 63        |
| 8.3.1 Considerazioni sugli interventi proposti nelle ORE 1,2 e 3. ....                      | 65        |
| 8.4 Intervento 4 .....                                                                      | 66        |
| 8.5 Intervento 5 .....                                                                      | 67        |
| 8.6 Intervento 6 .....                                                                      | 68        |
| 8.7 Intervento 7 .....                                                                      | 69        |
| 8.8 Intervento 8 .....                                                                      | 70        |
| 8.9 Intervento 9 .....                                                                      | 71        |
| 8.10 Intervento 10 .....                                                                    | 72        |
| 8.11 Intervento 11 .....                                                                    | 73        |
| 8.12 Determinazione degli incentivi ritraibili ai sensi del D.M. 28/12/12.....              | 76        |
| 8.13 Analisi del Pay Back relativo all'intervento 7 .....                                   | 78        |
| 8.14 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 7 con incentivo .....                   | 79        |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.15 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 8 .....                | 80         |
| 8.16 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 8 con incentivo .....  | 81         |
| 8.17 Analisi del tempo di ritorno relativo all'intervento 9 .....          | 82         |
| 8.18 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 10 .....               | 83         |
| 8.19 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 10 con incentivo ..... | 84         |
| 8.20 Analisi del tempo di ritorno dell'investimento 11 .....               | 85         |
| 8.21 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 11 CON INCENTIVO ..... | 86         |
| 8.22 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....                                        | 87         |
| <b>9. ANALISI DEGLI SCAMBI TERMICI IN REGIME DINAMICO .....</b>            | <b>90</b>  |
| 9.1 Strumento di calcolo utilizzato: TAS Engineering 9.2.1.7 .....         | 91         |
| 9.1.1 Creazione del modello geometrico.....                                | 92         |
| 9.1.2 Simulazione dinamica .....                                           | 94         |
| 9.2 ANALISI DEI RISULTATI .....                                            | 102        |
| 9.2.1 Determinazione dei fabbisogni di energia termica.....                | 102        |
| 9.2.2 Determinazione dei carichi termici di picco .....                    | 110        |
| 9.2.3 Analisi delle condizioni di benessere ambientale .....               | 118        |
| <b>10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>                                  | <b>136</b> |

## **1. PREMESSA<sup>[1]</sup>**

L'utilizzo razionale dell'energia è stato regolamentato dalla Direttiva UE 2002/91/CE, (rendimento energetico nell'edilizia) e recepito nei Decreti legislativi n. 192/2005 e n. 311/2006 e s.m.i., come una delle azioni prioritarie per far fronte ai problemi delle emissioni dei gas climalteranti ed alla forte e pericolosa dipendenza da forniture energetiche provenienti da paesi in condizioni politiche instabili.

La Direttiva UE 2006/32/CE, che si inserisce nel quadro delle politiche e delle misure concrete da applicare per il conseguimento degli obiettivi degli accordi internazionali e del Protocollo di Kyoto, assegna al settore pubblico il ruolo di esempio e di stimolo per il privato nel campo dell'uso razionale dell'energia e in particolare delle fonti rinnovabili.

La Direttiva UE 2002/91/CE, che ha segnato di fatto l'inizio delle certificazioni energetiche degli immobili, è stata abrogata dalla Direttiva UE 2010/31/CE. Quest'ultima, recepita con il D.L. giugno 2013, n. 63 (convertito in legge dalla L. 90 del 3 agosto 2013) ha tra le altre cose introdotto il concetto di "Edifici ad energia quasi zero", rendendo di fatto obbligatoria, dopo il 31.12.2020 (31.12.2018 per gli edifici pubblici), la costruzione solo di edifici ad altissime prestazioni con un fabbisogno energetico molto basso e coperto in maniera significativa da impianti ad energia rinnovabile.

Attualmente in Italia il patrimonio edilizio esistente è caratterizzato da bassissime prestazioni energetiche con notevoli margini di miglioramento. Pertanto considerato il lento processo di sostituzione delle vecchie con nuove costruzioni, appare evidente che il perseguimento degli obiettivi di efficienza energetica è legato in larga misura ad opportuni e robusti interventi sul patrimonio immobiliare esistente, in particolare sugli edifici di proprietà pubblica, solitamente vetusti e di grande volumetria.

In merito è stata recentemente emanata la Direttiva UE 2012/27/CE. La stessa prevede che dal 1 gennaio 2014, ogni anno il 3% degli edifici pubblici riscaldati e/o raffreddati dovrà essere ristrutturata per rispettare i requisiti minimi dettati dalla Direttiva 2010/31/CE.

L'intento è dunque quello di portare gli edifici pubblici al rispetto degli standard prestazionali di legge in occasione di interventi di ristrutturazione, promuovendo l'applicazione di tecnologie e sistemi costruttivi in grado di assicurare consumi molto ridotti sia di combustibili convenzionali e sia di energia elettrica. Gli interventi effettuati sugli edifici pubblici dovranno avere carattere pilota e dimostrativo, ed un numero significativo di essi dovrà dotarsi dell'Attestato di Prestazione Energetica che verrà affisso in luoghi visibili al pubblico.

In tale contesto il Corpo Forestale dello Stato, in collaborazione con il Centro Interdipartimentale di Ricerca e Diffusione delle Energie Rinnovabili dell'Università della Tuscia, si è proposto di studiare, analizzare e fornire ipotesi di miglioramento prestazionale di un importante edificio pubblico, quale la "Palazzina alloggi e uffici" della Scuola del CFS Sede Staccata di Sabaudia (Lt). Struttura questa che può avere chiaramente un ruolo "pilota" nel settore delle buone pratiche di risparmio energetico, vista la sua evidente vocazione pubblica e divulgativa.

Sull'edificio selezionato è stato svolto un dettagliato audit preliminare finalizzato a:

- valutare le inefficienze impiantistiche, strutturali e gestionali;
- studiare i possibili interventi stimandone il relativo risparmio di energia;
- determinare i costi di massima degli interventi medesimi e i tempi di ritorno degli investimenti da affrontare.

## 2. DATI GENERALI DELL'EDIFICIO

Il fabbricato oggetto di Diagnosi Energetica è ubicato nel Capoluogo del Comune di Sabaudia in area pianiziaria ad una quota di 10 m s.l.m. ed individuato dalle coordinate geografiche  $41^{\circ}18'0''$  N –  $13^{\circ}1'54''$  E. La realizzazione della struttura risale ai primi anni 50 e lo stile architettonico, come del resto quello della cittadina, è riconducibile al “*Razionalismo italiano*”. I locali sono da sempre destinati ad ospitare la Sede Staccata della Scuola del Corpo Forestale dello Stato (fig. 1). La proprietà comprende diversi corpi di fabbrica destinati alle varie esigenze didattiche e logistiche (aule didattiche, zona benessere, foresteria, uffici, camerate). Oggetto della presente analisi energetica sono i locali esistenti nei due piani fuori terra della struttura adibiti ad uffici, mensa e camerate (evidenziati dalle lettere E,F,G nella fig. 2 e nella fig. 3).



Figura 1: Foto aerea proprietà

## 2.1 PIANTE E PROSPETTI

### 2.1.1 Pianta Scuola del CFS di Sabaudia

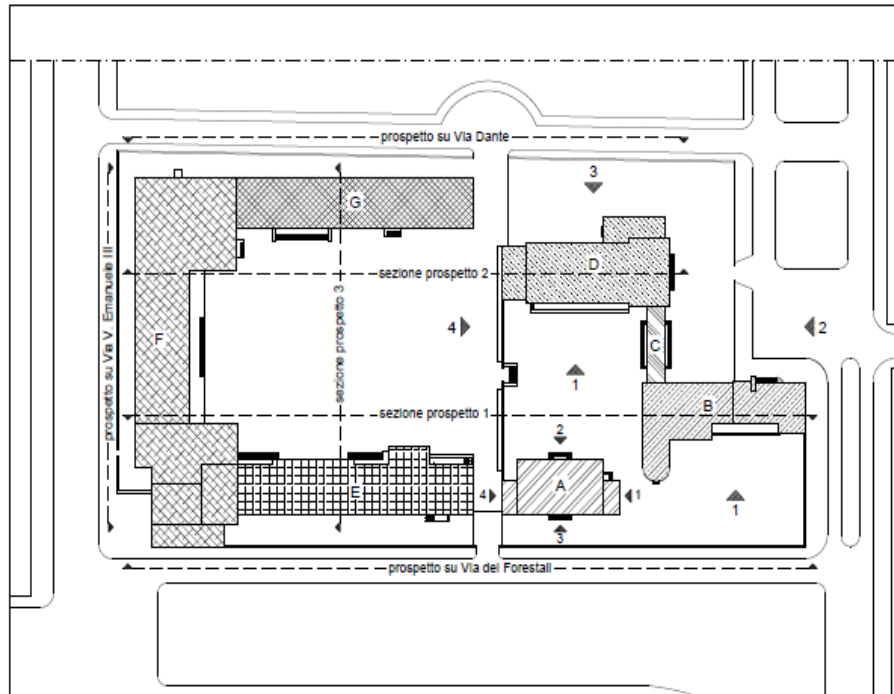


Figura 2: Pianta generale proprietà

### 2.1.2 Pianta immobile oggetto di riqualificazione energetica

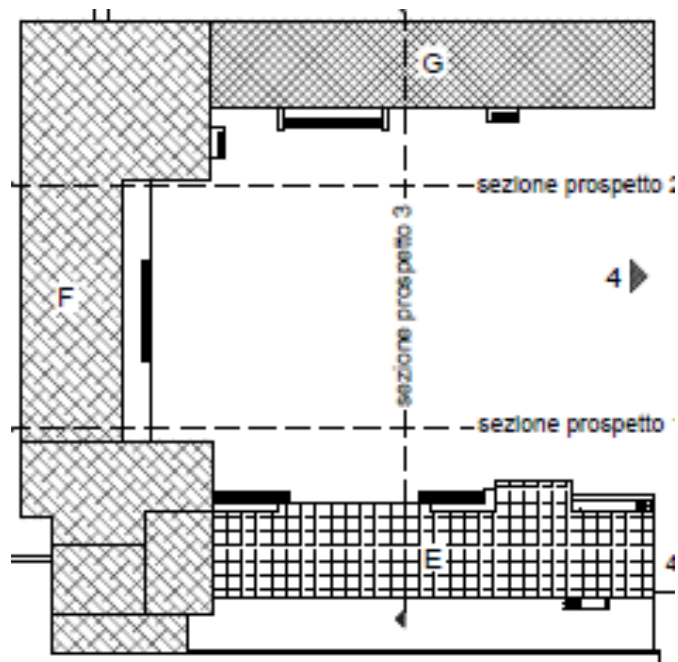


Figura 3: Pianta immobile da riqualificare

### 2.1.3 Prospetto SUD-OVEST

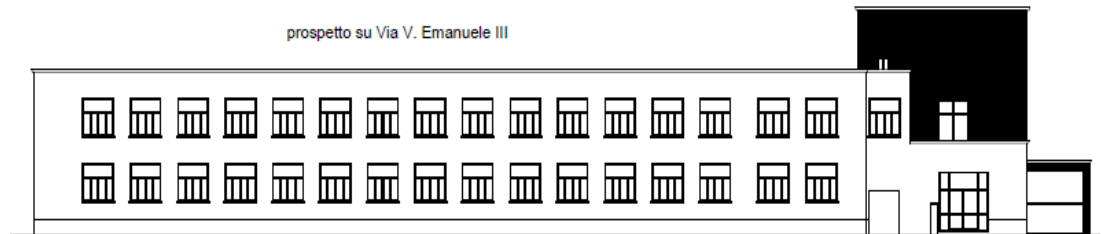


Figura 4: Prospetto Sud-Ovest

### 2.1.4 Prospetti SUD-EST

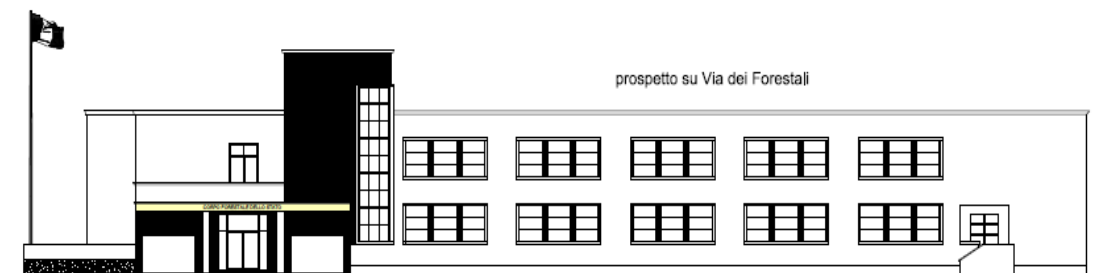


Figura 5: Prospetto Sud-Est



Figura 6: Prospetto Sud-Est

### 2.1.5 Prospetti NORD-OVEST



Figura 7: Prospetto Nord-Ovest



Figura 8: Prospetto Nord-Ovest

### 2.1.6 Prospetto NORD-EST



Figura 9: Prospetto Nord-Est

## 2.2 INFORMAZIONI GENERALI

### 2.2.1 Dati di contesto dell'edificio

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Comune                        | Sabaudia                    |
| Provincia                     | Latina                      |
| Destinazione d'uso prevalente | Uffici e residenziale       |
| Tipologia                     | E.1                         |
| Altitudine                    | 10 m s.l.m.                 |
| Coordinate geografiche        | 41°18'0''36 N-13°1'54''12 E |
| Gradi giorno                  | 1171                        |
| Periodo di riscaldamento      | 15 novembre-31 marzo        |
| Giorni di riscaldamento       | 136                         |
| Zona climatica                | C                           |
| Rapporto S/V                  | 0,419                       |

Tabella 1: Dati di contesto dell'edificio

### 2.2.2 Caratteristiche geometriche e termiche dell'edificio

| DESCRIZIONE GRANDEZZA         | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------|------------------|--------|
| Superficie in pianta          | m <sup>2</sup>   | 1883   |
| Piani fuori terra             | -                | 2      |
| Superficie climatizzata netta | m <sup>2</sup>   | 2.636  |
| Superficie climatizzata lorda | m <sup>2</sup>   | 3.766  |
| Volume climatizzato netto     | m <sup>3</sup>   | 11.006 |
| Volume climatizzato lordo     | m <sup>3</sup>   | 18.265 |

Tabella 2: Dati planimetrici e volumetrici dell'immobile

| DESCRIZIONE GRANDEZZA                    | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|------------------------------------------|------------------|--------|
| Superficie opaca verticale disperdente   | m <sup>2</sup>   | 2.785  |
| Superficie opaca orizzontale disperdente | m <sup>2</sup>   | 1.883  |
| Superficie trasparente disperdente       | m <sup>2</sup>   | 830    |
| TOTALE                                   | m <sup>2</sup>   | 5.498  |

Tabella 3: Tipologie delle superfici disperdenti verso l'esterno

| DESCRIZIONE GRANDEZZA                                     | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-----------------------------------------------------------|------------------|--------|
| Superficie opaca orizzontale disperdente verso scantinato | m <sup>2</sup>   | 1356   |
| Superficie opaca orizzontale disperdente verso terreno    | m <sup>2</sup>   | 583    |
| Superficie opaca verticale disperdente verso vano scale   | m <sup>2</sup>   | 207    |
| TOTALE                                                    | m <sup>2</sup>   | 2.146  |

Tabella 4: Tipologie delle superfici disperdenti verso locali non climatizzati

| DESCRIZIONE GRANDEZZA                             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|---------------------------------------------------|------------------|--------|
| <b>Superficie opaca verticale disperdente S-O</b> | m <sup>2</sup>   | 421    |
| <b>Superficie opaca verticale disperdente S-E</b> | m <sup>2</sup>   | 793    |
| <b>Superficie opaca verticale disperdente N-O</b> | m <sup>2</sup>   | 1014   |
| <b>Superficie opaca verticale disperdente N-E</b> | m <sup>2</sup>   | 557    |
| <b>TOT</b>                                        | m <sup>3</sup>   | 2.785  |

Tabella 5: Distribuzione delle superfici disperdenti opache verticali per esposizione

| DESCRIZIONE GRANDEZZA                  | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|----------------------------------------|------------------|--------|
| Superficie trasparente disperdente S-O | m <sup>2</sup>   | 158    |
| Superficie trasparente disperdente S-E | m <sup>2</sup>   | 280    |
| Superficie trasparente disperdente N-O | m <sup>2</sup>   | 280    |
| Superficie trasparente disperdente N-E | m <sup>2</sup>   | 112    |
| <b>TOT</b>                             | m <sup>3</sup>   | 830    |

Tabella 6: Distribuzione delle superfici disperdenti trasparenti verticali per esposizione

### 2.2.3 Dati relativi all'utenza e parametri gestionali

Nella tabella 7 sono riportati i parametri gestionali che sono stati considerati nell'analisi energetica standard, così come previsto dalla legislazione vigente in tema di certificazione energetica e dal DPR 412/93.

| DESCRIZIONE GRANDEZZA         | UNITA' DI MISURA      | VALORE |
|-------------------------------|-----------------------|--------|
| Tipologia di ventilazione     | Ventilazione naturale |        |
| Temperatura interna invernale | °C                    | 20     |
| Temperatura interna estiva    | °C                    | 26     |

Tabella 7: Parametri gestionali

Al fine di poter trovare una correlazione tra consumi energetici e numero di utenti della struttura, sono stati raccolti i dati relativi alla numero di persone che la struttura ha ospitato negli anni 2010, 2011 e 2012.

|    | G   | F   | M | A | M   | G   | L   | A    | S     | O     | N     | D     |
|----|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| 1  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 2  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 3  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 4  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 5  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 6  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 7  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 8  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 9  |     | 5   |   |   |     |     |     | 89   | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 10 |     | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 11 | 67  | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 12 | 67  | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 13 | 67  | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 14 | 67  | 5   |   |   |     | 100 |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 15 | 5   | 5   |   |   |     | 100 |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 16 | 5   | 5   |   |   |     | 100 |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 17 | 5   | 5   |   |   |     | 100 |     |      | 89    | 119   | 89    | 95    |
| 18 | 5   | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 19 | 5   | 5   |   |   | 130 |     |     |      | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 20 | 5   | 5   |   |   |     |     |     |      | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 21 | 25  | 5   |   |   | 137 |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 22 | 5   | 5   |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 89    | 95    |
| 23 | 5   | 5   |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 24 | 5   | 5   |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 25 | 5   | 5   |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 26 | 5   | 5   |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 27 | 5   |     |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 28 | 5   |     |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 29 | 5   |     |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 30 | 5   |     |   |   |     |     | 89  | 89   | 89    | 89    | 95    |       |
| 31 | 5   |     |   |   |     |     | 89  | 89   |       | 89    |       |       |
|    | 363 | 130 | 0 | 0 | 267 | 400 | 979 | 1780 | 2.670 | 3.089 | 2.718 | 2.090 |

Tabella 8: Profilo di utilizzo anno 2010

|    | G     | F     | M     | A     | M     | G     | L   | A   | S   | O   | N     | D   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| 1  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 2  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 3  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 4  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 5  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 6  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 20    | 20  |
| 7  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89  | 20  | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 8  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 | 20  | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 9  | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 | 20  | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 10 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 11 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 12 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 13 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 14 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 15 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 16 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 17 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 18 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 19 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 20 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 109 |     | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 21 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 22 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 49    | 20  |
| 23 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 49    |     |
| 24 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 49    |     |
| 25 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 26 | 95    | 89    | 89    | 89    | 176   | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 27 | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 28 | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 29 | 95    |       | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 30 | 95    |       | 89    | 89    | 89    | 89    | 20  | 20  | 20  | 20  | 20    |     |
| 31 | 95    |       | 89    |       | 89    |       | 20  | 20  |     | 20  |       |     |
|    | 2.185 | 2.642 | 2.759 | 2.670 | 3.107 | 2.670 | 843 | 400 | 600 | 620 | 1.142 | 440 |

Tabella 9: Profilo di utilizzo anno 2011

|    | G     | F     | M     | A     | M     | G     | L | A | S | O | N | D |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|
| 1  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 2  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 3  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 4  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 5  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 6  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 7  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 8  |       | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 10 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 15 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 16 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 17 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 18 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 19 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 21 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 95    | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 23 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 24 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 95    | 95    | 89    | 89    | 176   | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 26 | 95    | 89    | 89    | 89    | 176   | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 27 | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 95    | 89    | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 29 | 95    |       | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 30 | 95    |       | 89    | 89    | 89    | 89    |   |   |   |   |   |   |
| 31 | 95    |       | 89    |       | 89    |       |   |   |   |   |   |   |
|    | 2.185 | 2.459 | 2.759 | 2.670 | 3.107 | 2.670 |   |   |   |   |   |   |

Tabella 10: Profilo di utilizzo anno 2012

### 3. ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI

L'audit energetico è stato condotto sulla struttura considerata, attraverso il software MC 11300 di Aermec S.p.A. che risulta accreditato dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano) con certificato n. 32 del 17.12.2012.<sup>[2]</sup>

Il programma utilizzato ipotizza un calcolo in “REGIME QUASI STAZIONARIO”.<sup>[3]</sup>

Per inciso si ricorda che un sistema termodinamico è stazionario quando le grandezze fisiche che lo caratterizzano vengono considerate costanti nel tempo. Il software MC 11300, in linea con quanto richiesto dalla normativa vigente in tema di certificazioni energetiche, studia i flussi termici attraverso l'involucro edilizio considerando costanti le temperature interne (pari a 20° C in inverno e 26° C in estate, come previsto dal D.P.R. 412/93) e facendo variare mensilmente le temperature esterne (temperature medie mensili). Per tale prerogativa si dice che il programma opera in regime quasi stazionario.

Sono stati, quindi, calcolati gli specifici indici di prestazione energetica sia per la climatizzazione invernale ( $EP_i$ ), che per la produzione di acqua calda sanitaria ( $EP_{ACS}$ ). I valori ottenuti sono stati quindi confrontati con i rispettivi indici limite ( $EP_{i-lim}$  e  $EP_{ACS-lim}$ ) per individuare gli eventuali punti di inefficienza strutturale e gestionale.

Per applicare la valutazione energetica del tipo “*Adattata all'utenza (Tailored rating)*” e quindi determinare realistici valori si è partiti dall'analisi delle fatturazioni degli anni 2010, 2011 e 2012 (primo semestre).

Per analizzare le criticità relative alla parte impiantistica è stato adottato il metodo della “Firma Energetica”, che ha permesso di dimensionare nella maniera più adeguata l'impianto di riscaldamento proposto.

Sulla base delle varie criticità strutturali, gestionali ed impiantistiche riscontrate sono state individuate diverse Opportunità di Risparmio Energetico (ORE) e per ognuna di esse è stata effettuata un'analisi economica che ha considerato sia l'investimento iniziale che il risparmio connesso, pervenendo ad attendibili risultati per di tempo di ammortamento dell'investimento (*Pay Back Time*).

Infine è stata effettuata una valutazione energetica di tipo Standard (*Asset rating*) da cui è scaturito l’Attestato di Prestazione Energetica (APE) del fabbricato nelle attuali condizioni.

### 3.1 ANALISI DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

Di seguito vengono schematicamente riportate le caratteristiche energetiche della struttura (tabb. 11, 12 e 13). Gli indici di prestazione energetica riportati sono stati messi in relazione con gli indici di riferimento (*benchmark*), al fine di evidenziare adeguatamente, attraverso il confronto con essi, le eventuali carenze in termini di prestazione energetica della struttura oggetto di studio.

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 307.463 kWh |
| ET <sub>C</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 134.966 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

**Tabella 11: Fabbisogni di energia termica della struttura**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 493.051 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 534.721 kWh |

**Tabella 12: Fabbisogni di energia primaria della struttura**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE<br>(kWh/m <sup>3</sup> a) | VALORE<br>LIMITE<br>*(kWh/m <sup>3</sup> a) |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,003                           | 8,128                                       |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                             | 4,311                                       |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                           | 12,439                                      |
|                   | <u>Classe energetica di assegnazione</u>                  | <u>G</u>                         | <u>C</u>                                    |

**Tabella 13: Fabbisogni di energia primaria della struttura e valori limite**

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 “Linee guida per la Certificazione Energetica”.

### 3.2 METODO DELLA FIRMA ENERGETICA

Al fine di ottenere ulteriori elementi di valutazione energetica della struttura oggetto di studio è stato utilizzato anche il cosiddetto metodo della “Firma Energetica”.<sup>[4]</sup>

Tale procedura ha consentito di rappresentare graficamente il consumo energetico in funzione della variabile che più lo influenza, ovvero la temperatura esterna (graff. 1, 2).

I dati relativi ai consumi discendono da letture mensili al contatore che alimenta i generatori di calore asserviti alla struttura. I dati climatici sono stati estrapolati dalla norma UNI 10349. Tale procedimento è stato applicato tanto all’esercizio 2010-2011, quanto a quello 2011-2012 (tabb. 14, 15).

| DATA                                    | 15-30 NOVEMBRE | DICEMBRE | GENNAIO | FEBBRAIO | MARZO  |
|-----------------------------------------|----------------|----------|---------|----------|--------|
| GIORNI PERIODO                          | 16             | 31       | 31      | 28       | 31     |
| ORE/GIORNO ATT. IMPIANTO                | 10             | 10       | 10      | 10       | 10     |
| ORE PERIODO                             | 384            | 744      | 744     | 672      | 744    |
| TEMPO ATTIVAZIONE IMPIANTO (h)          | 160            | 310      | 310     | 280      | 310    |
| CONSUMO METANO (smc)                    | 1953           | 7439     | 6890    | 10860    | 7737   |
| CONSUMO METANO (MWh)                    | 18,73          | 71,34    | 66,07   | 104,14   | 74,19  |
| POTENZA MEDIA GENERATORE (kW)           | 117,06         | 230,13   | 213,12  | 371,93   | 239,32 |
| POTENZA MEDIA GENERATORE SU 24 ORE (kW) | 48,77          | 95,88    | 88,8    | 154,97   | 99,71  |
| T EXT MEDIA                             | 12,87          | 9,64     | 9,9     | 10,46    | 12,35  |

**Tabella 14: Raccolta dati per la costruzione della funzione “Firma Energetica 2010-2011”**

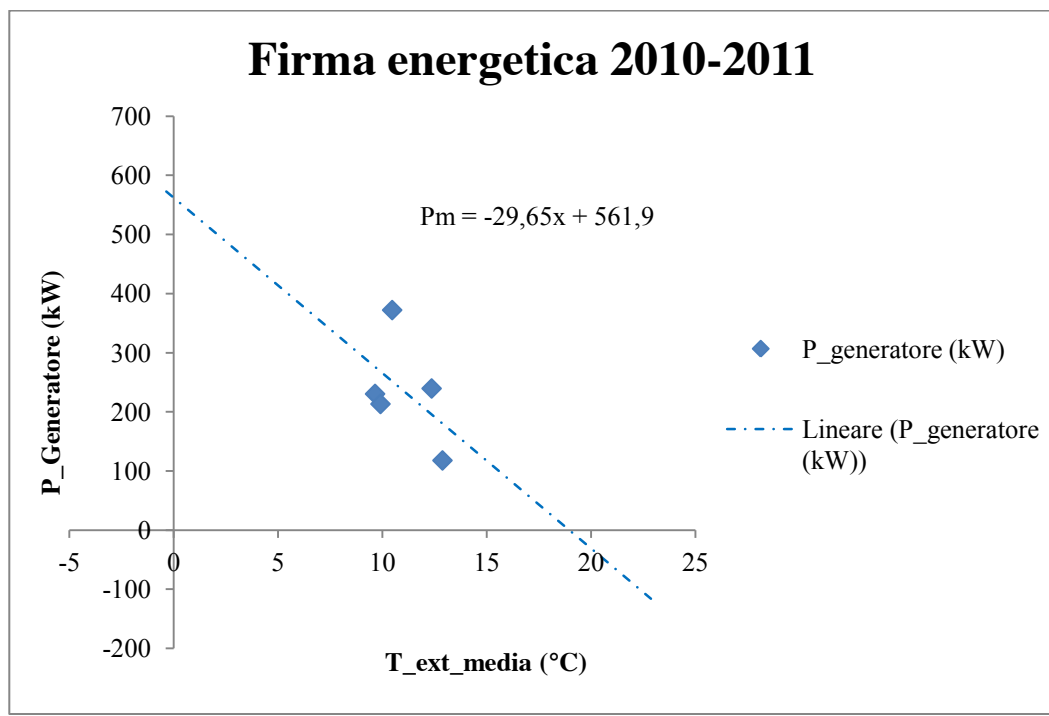


Grafico 1: "Firma Energetica" esercizio 2010-2011

| DATA                                       | 15-30<br>NOVEMBRE | DICEMBRE | GENNAIO | FEBBRAIO | MARZ<br>O |
|--------------------------------------------|-------------------|----------|---------|----------|-----------|
| GIORNI PERIODO                             | 16                | 31       | 31      | 28       | 31        |
| ORE/GIORNO ATT. IMPIANTO                   | 10                | 10       | 10      | 10       | 10        |
| ORE PERIODO                                | 384               | 744      | 744     | 672      | 744       |
| TEMPO ATTIVAZIONE IMPIANTO (h)             | 160               | 310      | 310     | 280      | 310       |
| CONSUMO METANO (smc)                       | 1599              | 6053     | 8861    | 9236     | 7704      |
| CONSUMO METANO (MWh)                       | 15,33             | 58,05    | 84,98   | 88,57    | 73,88     |
| POTENZA MEDIA GENERATORE (kW)              | 95,48             | 187,25   | 274,12  | 316,33   | 238,33    |
| POTENZA MEDIA GENERATORE SU<br>24 ORE (kW) | 48,77             | 95,88    | 88,8    | 154,97   | 99,71     |
| T EXT MEDIA                                | 13,75             | 11,58    | 8,9     | 7,85     | 14,74     |

Tabella 15: Raccolta dati per la costruzione della funzione "Firma Energetica 2011-2012"

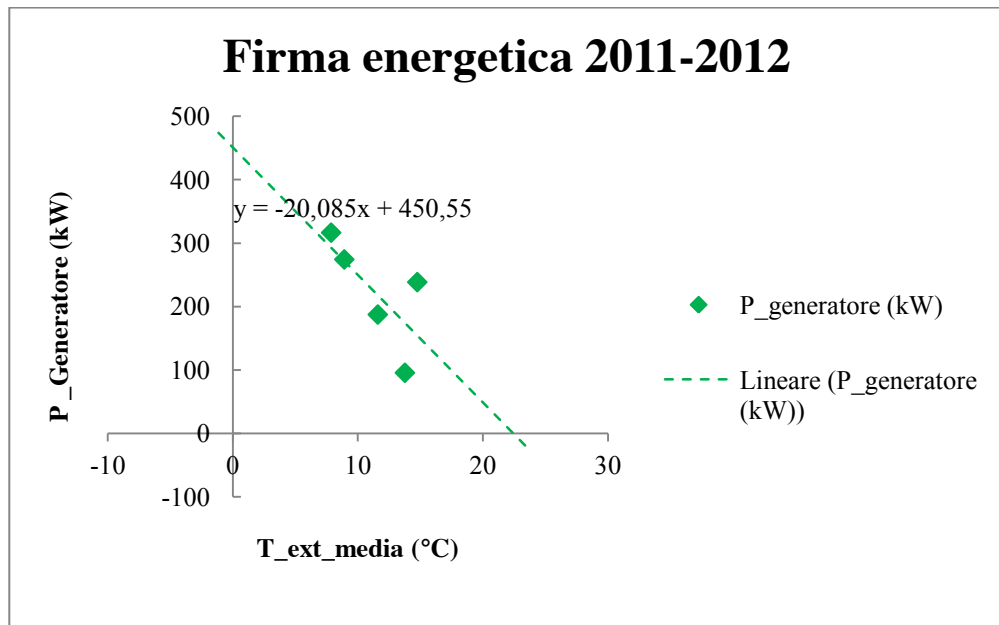


Grafico 2: "Firma Energetica" esercizio 2011-2012

Dall'analisi delle curve rappresentate è possibile ricavare la Potenza media del generatore destinato alla climatizzazione invernale ( $P_m$ ), che nell'esercizio 2010/2011 per una temperatura esterna di progetto di 2°C risulta essere:

$$P_m' = -29,65X + 561,9 = -29,65 \cdot 2 + 561,9 = -59,3 + 561,9 = 502,6 \text{ kW}$$

Mentre nell'esercizio 2011/2012 sarà:

$$P_m'' = -20,08X + 450,5 = -20,08 \cdot 2 + 450,5 = -40,16 + 450,5 = 410,3 \text{ kW}$$

Il valore medio per le due stagioni invernali monitorate, sarà:

$$P_m = (P_m' + P_m'') / 2 = 502,6 + 410,3 = 456,45 \text{ W/m}^3$$

Per verificare il corretto dimensionamento del generatore installato con le reali esigenze di climatizzazione, si è utilizzato l'indice  $I_p$ : potenza termica per unità di Volume.

$$I_p = Q_{g,out} / V = \text{Potenza termica utile generatore} / \text{Volume lordo riscaldato} \text{ [W/m}^3\text{]}$$

$$I_p = 744.000 / 18.265 = 40,73 \text{ W/m}^3$$

Se il dimensionamento del generatore fosse fatto seguendo quanto indicato dal metodo della firma energetica sopra riportato, la potenza termica teorica per unità di volume  $I_p'$ , sarebbe:

$$I_p' = 456.450 / 18.265 = 25 \text{ W/m}^3$$

Pertanto il rapporto tra la potenza termica teorica e quella reale risulta:

$$I_p / I_p' = 40,73 / 25 = 1,63$$

Tale valore, che indica un sovradimensionamento del generatore di oltre il 60%, suggerisce di intervenire oltrech  sull'involucro edilizio e sull'efficienza impiantistica anche sul dimensionamento dell'impianto.

## **4. DESCRIZIONE DEI COMPONENTI STRUTTURALI COSTITUENTI L'EDIFICIO**

### **4.1 COMPONENTI TRASPARENTI**

Come già evidenziato nella descrizione dell'edificio, l'immobile è dotato di circa 830 m<sup>2</sup> di chiusure trasparenti classificabili in 17 tipologie distinte.

Ad eccezione di poche tipologie, la maggioranza dei componenti trasparenti è dotata di avvolgibili in plastica con relativi cassonetti, entrambi privi di isolamento.

Non sono presenti sistemi di schermatura solare.

Alcuni infissi sono caratterizzati da telaio in alluminio senza taglio termico e vetro singolo, mentre altri, di recente installazione (tipologie I ed S), sono composti da telaio in alluminio con taglio termico e doppio vetro con intercapedine d'aria.

I valori di trasmittanza delle singole tipologie sono state determinate con il metodo analitico previsto dalla UNI EN ISO 10077.

#### 4.1.1 Finestra di Tipologia A

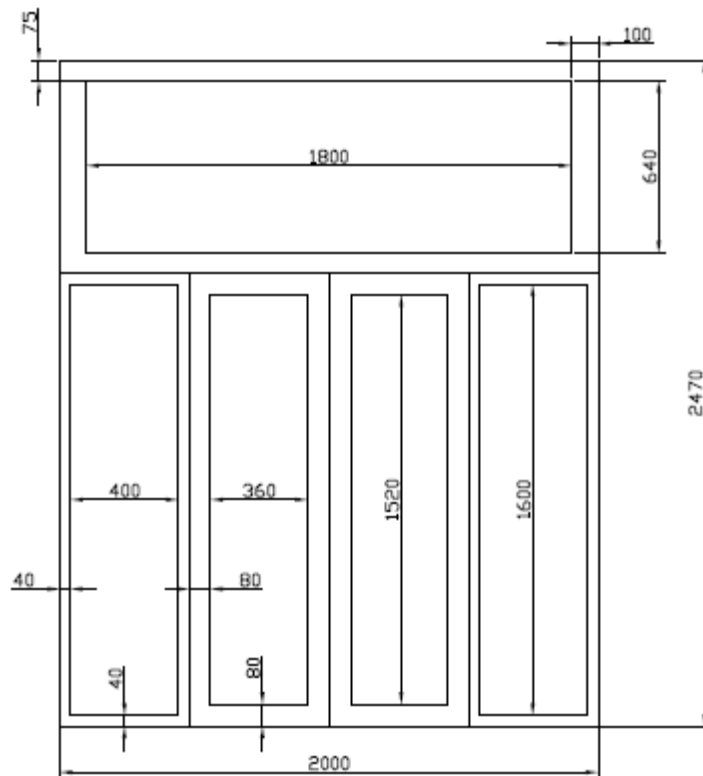


Figura 10: Dati geometrici finestra tipologia A

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,47   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,94   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 3,52   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,42   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,71   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2 K$      | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2 K$      | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 20,44  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / m K$        |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2 K$      | 6,06   |

Tabella 16: Dati generali finestra di tipologia A

#### 4.1.2 Finestra di Tipologia B

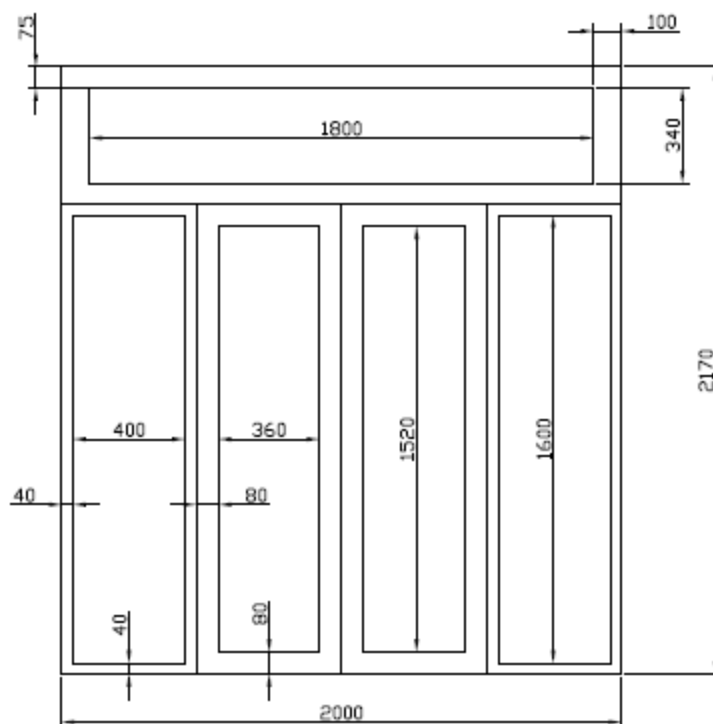


Figura 11: Dati geometrici finestra tipologia B

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,17   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,34   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 2,98   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,36   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,69   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 19,8   |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,09   |

Tabella 17: Dati generali finestra di tipologia B

### 4.1.3 Finestra di Tipologia C

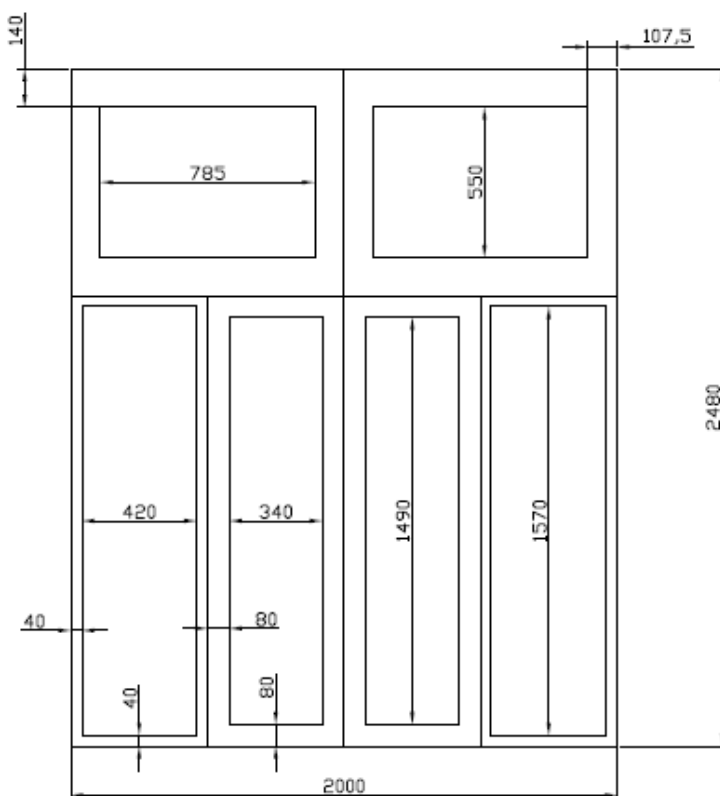


Figura 12: Dati geometrici finestra di tipologia C

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,17   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,34   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 2,98   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,36   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,69   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 19,8   |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,09   |

Tabella 18: Dati generali finestra di tipologia C

#### 4.1.4 Finestra di Tipologia D

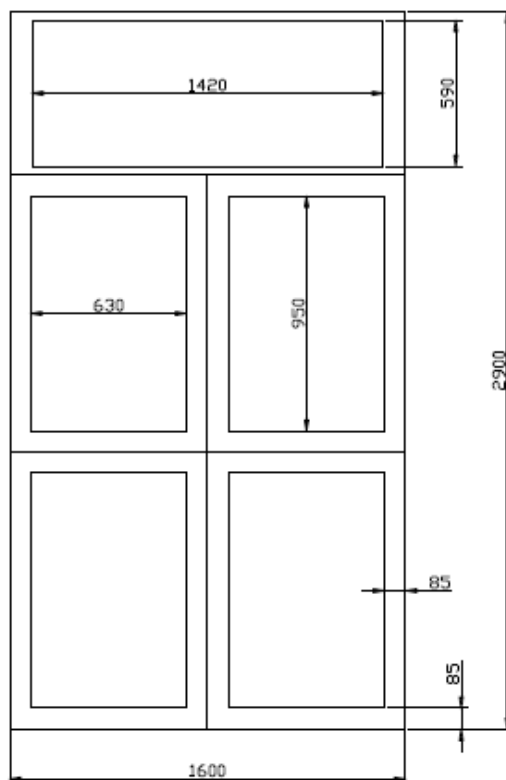


Figura 13: Dati geometrici finestra tipologia D

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,6    |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,9    |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,64   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 3,08   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,56   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,66   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 16,06  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,12   |

Tabella 19: Dati generali finestra di tipologia D

#### 4.1.5 Finestra di Tipologia E

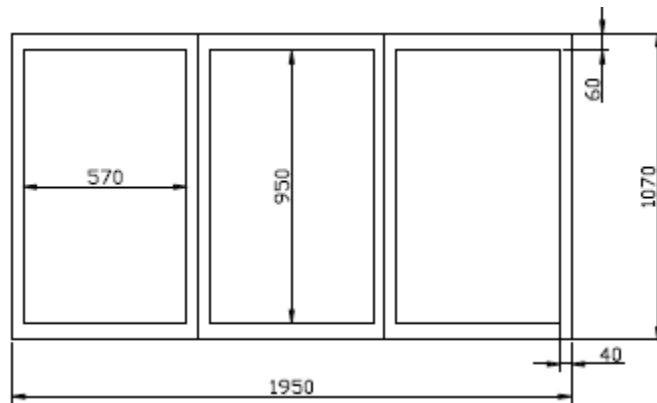


Figura 14: Dati geometrici finestra di tipologia E

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,96   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 1,07   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 2,10   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 1,5    |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 0,6    |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,71   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 8,8    |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,05   |

Tabella 20: Dati generali finestra di tipologia E

#### 4.1.6 Finestra di Tipologia F

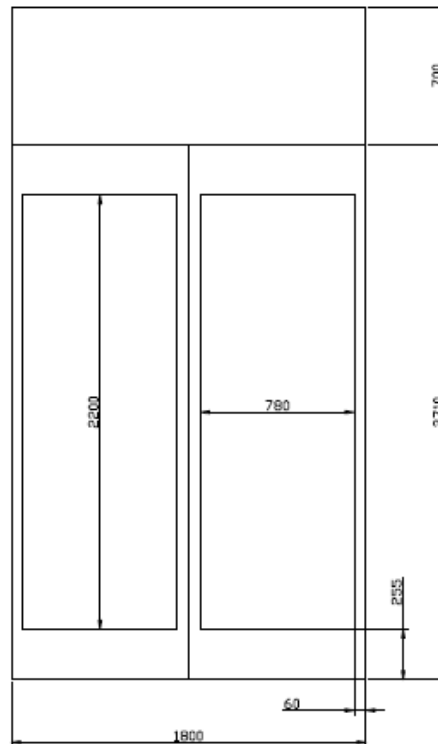


Figura 15: Dati geometrici finestra di tipologia F

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,80   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 3,41   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 6,14   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 4,16   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,98   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,68   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 27,88  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,10   |

Tabella 21: Dati generali finestra di tipologia F

#### 4.1.7 Finestra di Tipologia

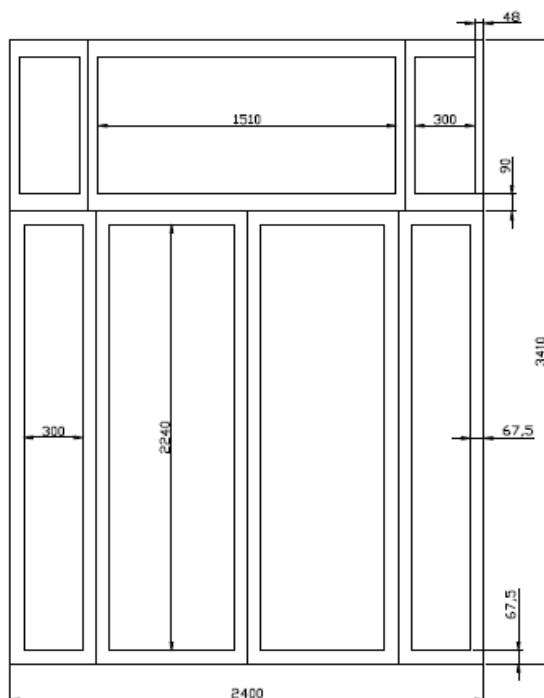


Figura 16: Dati geometrici finestra di tipologia G

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,40   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 3,41   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 8,18   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 5,67   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 2,51   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,69   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 33,9   |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,08   |

Tabella 22: Dati generali finestra di tipologia G

#### 4.1.8 Finestra di Tipologia H

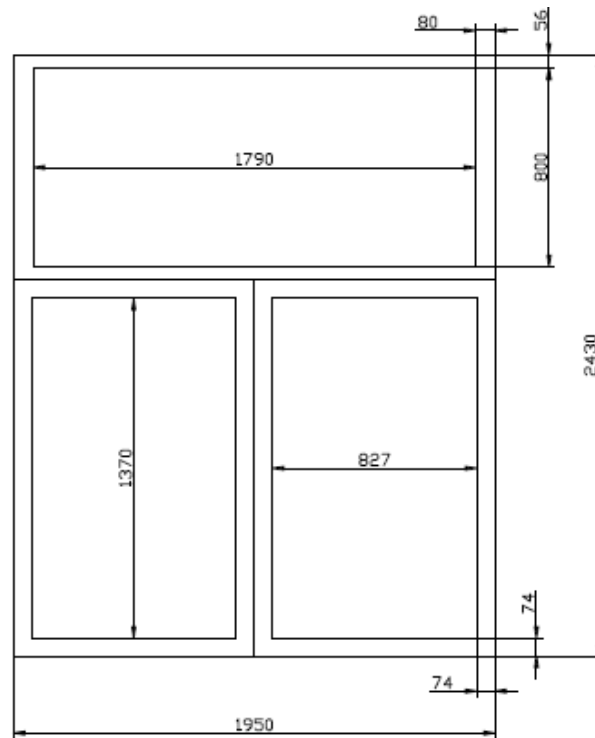


Figura 17: Dati geometrici finestra tipologia H

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,95   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,43   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,73   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 3,73   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,00   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,79   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 14,02  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 5,95   |

Tabella 23: Dati generali finestra di tipologia H

#### 4.1.9 Finestra di Tipologia I

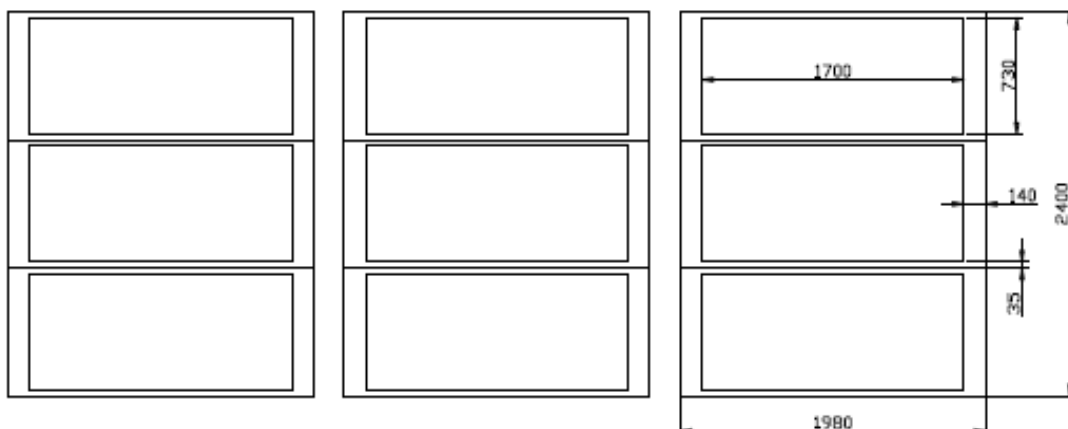
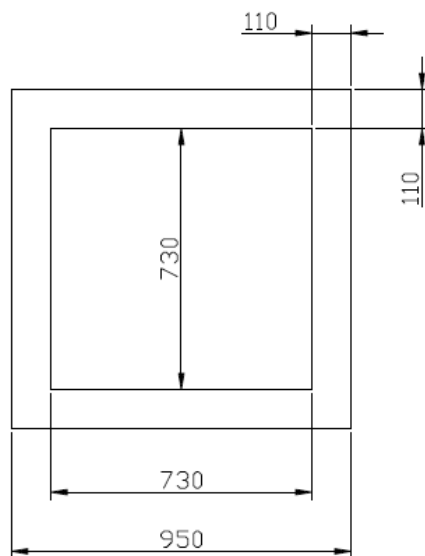


Figura 18: Dati generali finestra di tipologia I

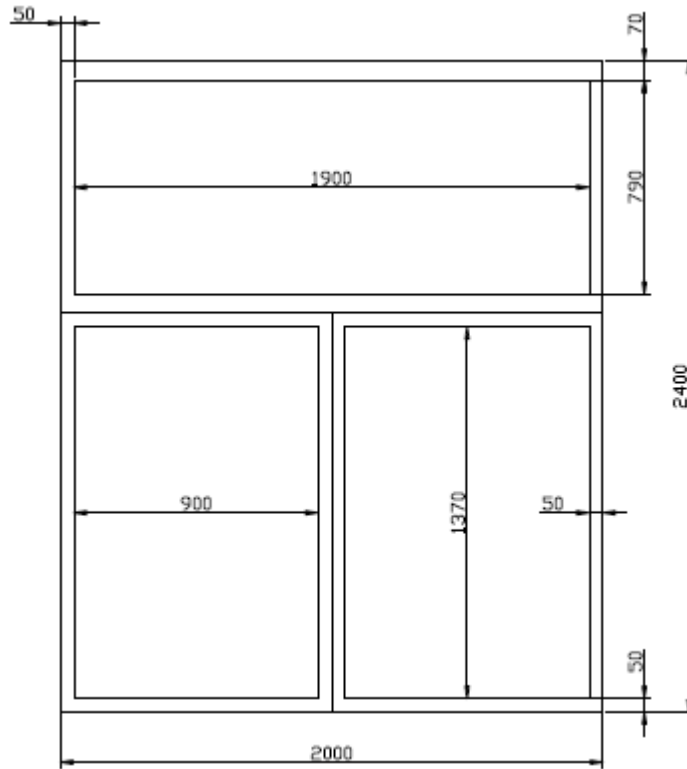
| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 5,94   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,40   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 14,26  |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 11,17  |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,79   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,78   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 3,31   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 3,8    |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 43,74  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 3,36   |

Tabella 24: Dati generali finestra di tipologia I

**4.1.10 Finestra di Tipologia L****Figura 19: Dati geometrici finestra tipologia L**

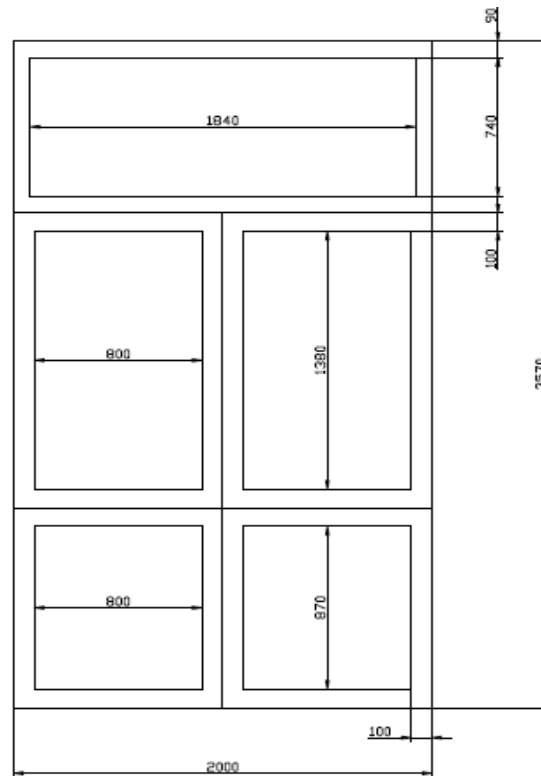
| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 0,95   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 0,95   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 0,90   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 0,53   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 0,37   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,59   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 2,92   |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,22   |

**Tabella 25: Dati generali finestra di tipologia L**

**4.1.11 Finestra di Tipologia M****Figura 20: Dati geometrici finestra tipologia M**

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,40   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,80   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 4,05   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 0,75   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,84   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 14,58  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 5,88   |

**Tabella 26: Dati generali finestra di tipologia M**

**4.1.12 Finestra di Tipologia N****Figura 21: Dati generali finestra tipologia N**

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,40   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,80   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 4,05   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 0,75   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,84   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 14,58  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 5,88   |

**Tabella 27: Dati generali finestra di tipologia N**

[illegible]

35

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,90   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 7      |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 13,3   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 10,25  |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 3,05   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,77   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 39,78  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 5,98   |

Tabella 28: Dati generali finestra di tipologia O

#### 4.1.14 Finestra di Tipologia P

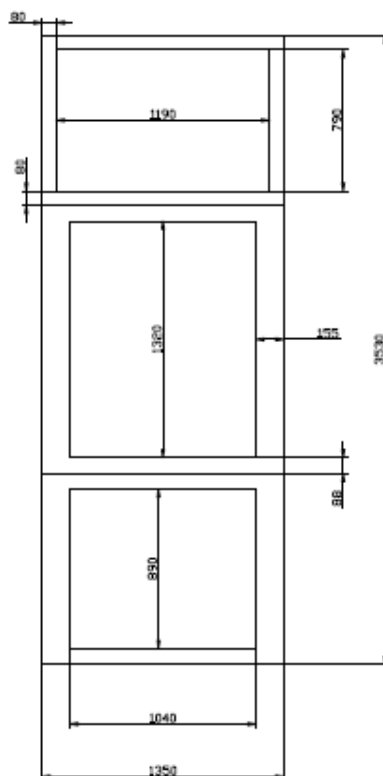


Figura 23: Dati geometrici finestra di tipologia P

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 1,35   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 3,53   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,76   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 3,23   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,53   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,68   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 12,54  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,10   |

Tabella 29: Dati generali finestra di tipologia P

#### 4.1.15 Finestra di Tipologia Q

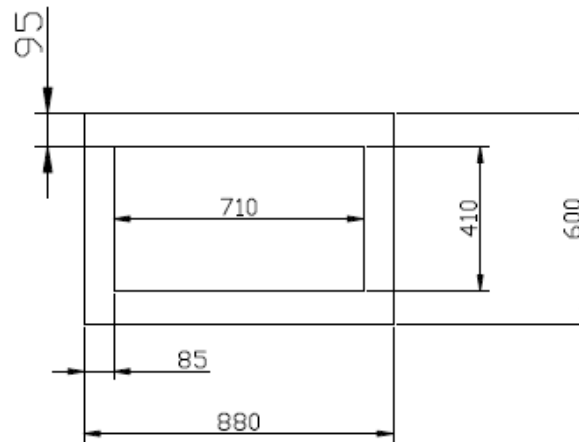


Figura 24: Dati geometrici finestra di tipologia Q

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 0,6    |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 0,88   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 0,53   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 0,30   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 0,23   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,57   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 2,24   |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infilso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 6,26   |

Tabella 30: Dati generali finestra di tipologia Q

#### 4.1.16 Finestra di Tipologia R

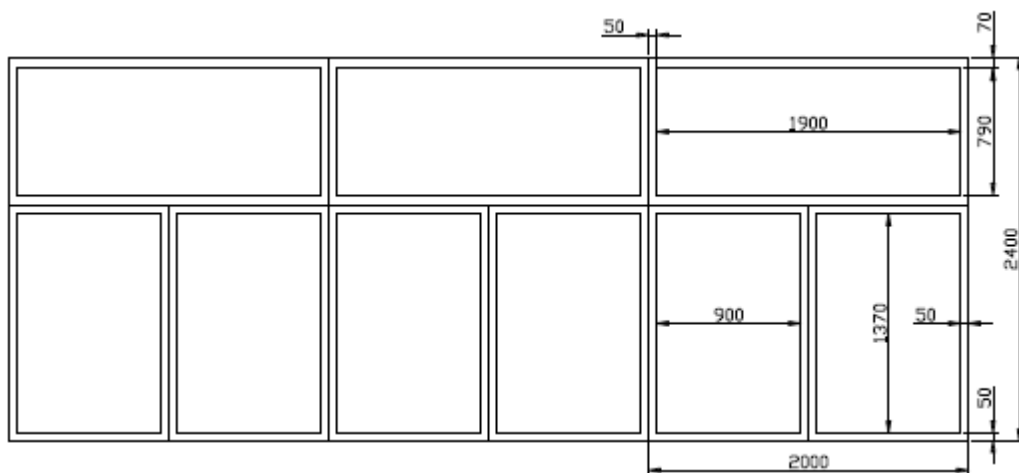
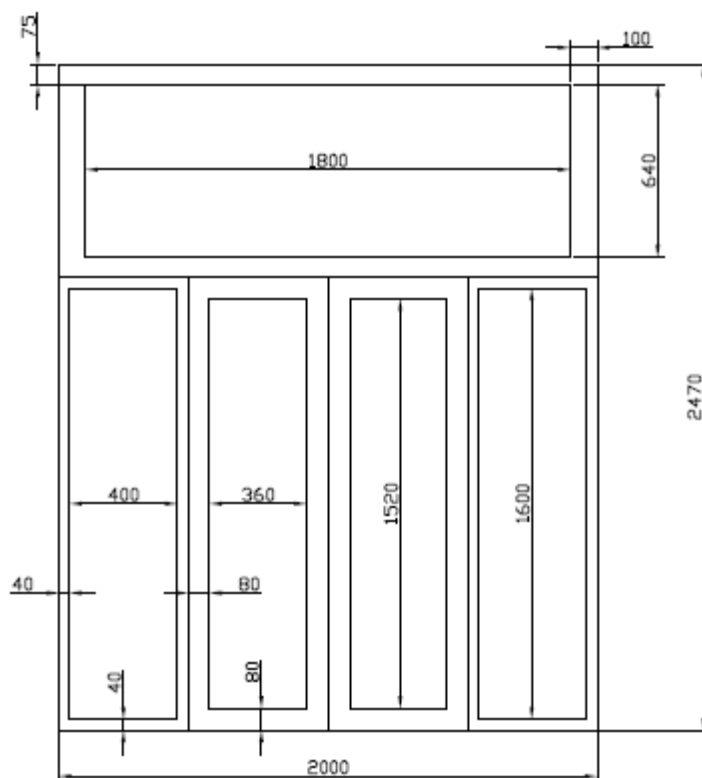


Figura 25: Dati geometrici finestra di tipologia R

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 6,30   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,40   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 14,76  |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 12,15  |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 2,61   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,82   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 5,68   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 7      |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 43,74  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 5,91   |

Tabella 31: Dati generali finestra di tipologia R

**4.1.17 Finestra di Tipologia S****Figura 26: Dati geometrici finestra di tipologia S**

| DESCRIZIONE DELLA GRANDEZZA                                             |             | UNITA' DI MISURA | VALORE |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------|
| Larghezza del serramento                                                | L           | m                | 2,00   |
| Altezza del serramento                                                  | H           | m                | 2,47   |
| Area del serramento                                                     | $A_w$       | $m^2$            | 4,94   |
| Area della superficie vetrata                                           | $A_g$       | $m^2$            | 3,52   |
| Area occupata dal telaio                                                | $A_f$       | $m^2$            | 1,42   |
| Rapporto tra area della superficie vetrata e area totale del serramento | $A_g / A_w$ | -                | 0,71   |
| Trasmittanza termica del vetro                                          | $U_g$       | $W / m^2K$       | 3,31   |
| Trasmittanza termica del telaio                                         | $U_g$       | $W / m^2K$       | 3,8    |
| Lunghezza perimetrale della superficie vetrata                          | $L_g$       | m                | 20,44  |
| Trasmittanza termica lineica del giunto tra vetro e telaio              | $\Psi_g$    | $W / mK$         |        |
| Trasmittanza termica dell'infisso                                       | $U_w$       | $W / m^2K$       | 3,44   |

**Tabella 32: Dati generali finestra di tipologia S**

**4.1.18 Quadro di sintesi chiusure trasparenti**

Nella seguente tabella, per ognuna delle precedenti tipologie si riporta il numero di finestre, la relativa esposizione e la singola superficie.

| TIPOLOGIA  | NUMERO     | ESPOSIZIONE    | SUPERFICIE<br>m <sup>2</sup> | U<br>(W/m <sup>2</sup> K) |
|------------|------------|----------------|------------------------------|---------------------------|
| A          | 38         | 12SE+10NE+16SO | 4,94                         | 6,06                      |
| B          | 28         | 28NO           | 4,34                         | 6,09                      |
| C          | 8          | 8SE            | 4,96                         | 6,19                      |
| D          | 1          | 1NE            | 4,64                         | 6,12                      |
| E          | 1          | 1NE            | 2,10                         | 6,05                      |
| F          | 2          | 1SE+1NE        | 6,14                         | 6,10                      |
| G          | 6          | 3SE+3NE        | 8,18                         | 6,08                      |
| H          | 6          | 6NE            | 4,73                         | 5,95                      |
| I          | 10         | 10SE           | 12,96                        | 3,36                      |
| L          | 10         | 8SE+2NO        | 0,90                         | 6,22                      |
| M          | 25         | 25NO           | 4,80                         | 5,88                      |
| N          | 2          | 2NO            | 7,14                         | 6,07                      |
| O          | 1          | 1SE            | 13,30                        | 5,98                      |
| P          | 1          | 1SO            | 4,76                         | 6,10                      |
| Q          | 15         | 15NO           | 0,52                         | 6,26                      |
| R          | 1          | 1NO            | 14,76                        | 5,91                      |
| S          | 16         | 16SO           | 4,94                         | 3,44                      |
| <b>TOT</b> | <b>171</b> |                |                              |                           |

Tabella 33: Riepilogo dati generali componenti trasparenti

Nelle tabelle successive (34, 35, 36, 37), con riferimento alle quattro esposizioni indicate, per ogni tipologia di finestra si riporta la superficie vetrata singola e complessiva nonché la relativa trasmittanza.

| N° Finestre | Tipo | S unitaria(m <sup>2</sup> ) | S totale (m <sup>2</sup> ) | Uw (W/m <sup>2</sup> K) |
|-------------|------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 12          | A    | 4,94                        | 59,28                      | 6,06                    |
| 8           | C    | 4,96                        | 39,68                      | 6,19                    |
| 1           | F    | 6,14                        | 6,14                       | 6,10                    |
| 3           | G    | 8,18                        | 24,54                      | 6,08                    |
| 10          | I    | 12,96                       | 129,6                      | 3,36                    |
| 8           | L    | 0,90                        | 7,2                        | 6,22                    |
| 1           | O    | 13,30                       | 13,30                      | 5,98                    |
| 43          |      |                             | 279,74                     | Um=4,94                 |

Tabella 34: Dati generali componenti trasparenti esposizione Sud-Est

| N° Finestre | Tipo | S unitaria(m <sup>2</sup> ) | S totale (m <sup>2</sup> ) | Uw (W/m <sup>2</sup> K) |
|-------------|------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 28          | B    | 4,34                        | 121,52                     | 6,09                    |
| 2           | L    | 0,90                        | 1,8                        | 6,22                    |
| 25          | M    | 4,80                        | 120,0                      | 5,88                    |
| 2           | N    | 7,14                        | 14,28                      | 6,07                    |
| 15          | Q    | 0,52                        | 7,8                        | 6,26                    |
| 1           | R    | 14,76                       | 14,76                      | 5,91                    |
| 73          |      |                             | 280,16                     | Um=5,98                 |

Tabella 35: Dati generali componenti trasparenti esposizione Nord-Ovest

| N° Finestre | Tipo | S unitaria(m <sup>2</sup> ) | S totale (m <sup>2</sup> ) | Uw (W/m <sup>2</sup> K) |
|-------------|------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 10          | A    | 4,94                        | 49,40                      | 6,06                    |
| 1           | D    | 4,64                        | 4,64                       | 6,12                    |
| 1           | E    | 2,10                        | 2,10                       | 6,05                    |

|           |   |      |               |                |
|-----------|---|------|---------------|----------------|
| 1         | F | 3,41 | 3,41          | 6,10           |
| 3         | G | 8,18 | 8,18          | 6,08           |
| 6         | H | 4,73 | 28,38         | 5,95           |
| <b>22</b> |   |      | <b>112,47</b> | <b>Um=5,15</b> |

Tabella 36: Dati generali componenti trasparenti esposizione Nord-Est

| N° Finestre | Tipo | S unitaria(m <sup>2</sup> ) | S totale (m <sup>2</sup> ) | Uw (W/m <sup>2</sup> K) |
|-------------|------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 16          | A    | 4,94                        | 79,04                      | 6,06                    |
| 1           | P    | 4,76                        | 4,76                       | 6,10                    |
| 16          | S    | 4,94                        | 79,04                      | 3,44                    |
| <b>33</b>   |      |                             | <b>162,84</b>              | <b>Um=4,79</b>          |

Tabella 37: Dati generali componenti trasparenti esposizione Sud-Ovest

## 4.2 COMPONENTI OPACHI

### 4.2.1 Componenti opachi verticali disperdenti verso esterno

L'immobile risulta delimitato da una muratura perimetrale costituita da due paramenti di mattoni, uno posizionato nel lato interno ed uno su quello esterno, con un riempimento interno di muratura a sacco composta da elementi lapidei calcarei e malta di calce, per uno spessore totale di 0,40 m.

| COMPONENTE OPACO        |                      |
|-------------------------|----------------------|
| <b>Codice</b>           | 0001                 |
| <b>Descrizione</b>      | Muratura a sacco     |
| <b>Note</b>             | Rilievo              |
| <b>Giacitura</b>        | VE=Verticale esterno |
| <b>Origine del dato</b> | Da stratigrafia      |

Tabella 38: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300).

**RIEPILOGO**

|                                         |                        |         |
|-----------------------------------------|------------------------|---------|
| <b>Spessore</b>                         | m                      | 0,400   |
| <b>Massa superficiale</b>               | kg/m <sup>2</sup>      | 624,000 |
| <b>Massa totale</b>                     | kg/m <sup>2</sup>      | 684,000 |
| <b>Capacità termica interna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 64,39   |
| <b>Capacità termica esterna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 102,63  |
| <b>Resistenza termica dei materiali</b> | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,528   |
| <b>Resistenza termica totale</b>        | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,698   |
| <b>Trasmittanza termica totale</b>      | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,433   |
| <b>Trasmittanza termica periodica</b>   | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 0,236   |

Tabella 39: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300).

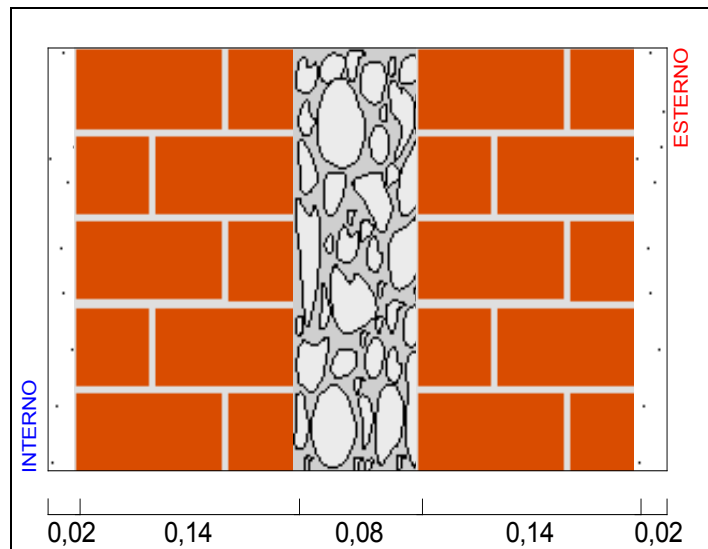


Figura 27: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).

**STRATIGRAFIA**

| <b>Codice materiale</b> | <b>Descrizione</b>                              | <b>D [m]</b> | <b>λ [W/mK]</b> | <b>C [W/m<sup>2</sup>K]</b> | <b>ρ [kg/m<sup>3</sup>]</b> | <b>Cp [J/kgK]</b> | <b>R [m<sup>2</sup>K/W]</b> |
|-------------------------|-------------------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
|                         | Resistenza superficiale interna                 |              |                 |                             |                             |                   | 0,130                       |
| <b>INT507</b>           | Intonaco di calce e gesso                       | 0,02         | 0,700           | 0,000                       | 1400,000                    | 1000              | 0,029                       |
| <b>MUR506</b>           | Mattoni pieni, forati, leggeri (pareti interne) | 0,12         | 0,590           | 0,000                       | 1600,000                    | 40                | 0,203                       |
| <b>INT507</b>           | Intonaco di calce e gesso                       | 0,02         | 0,700           | 0,000                       | 1400,000                    | 1000              | 0,029                       |
|                         | Resistenza superficiale esterna                 |              |                 |                             |                             |                   | 0,130                       |

Tabella 40: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300).

#### 4.2.2 Componenti opachi verticali disperdenti verso locali non climatizzati (vano scale)

Le partizioni interne sono realizzate, presumibilmente, con laterizi da 12 cm, intonacati su entrambe le superfici per uno spessore totale di 16 cm.

##### COMPONENTE OPACO

|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| <b>Codice</b>           | 05                            |
| <b>Descrizione</b>      | muro interno verso vano scala |
| <b>Note</b>             | Rilievo                       |
| <b>Giacitura</b>        | VI=Verticale interno          |
| <b>Origine del dato</b> | Da stratigrafia               |

Tabella 41 Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300).

##### RIEPILOGO

|                                         |                        |         |
|-----------------------------------------|------------------------|---------|
| <b>Spessore</b>                         | m                      | 0,160   |
| <b>Massa superficiale</b>               | kg/m <sup>2</sup>      | 192,000 |
| <b>Massa totale</b>                     | kg/m <sup>2</sup>      | 248,000 |
| <b>Capacità termica interna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 64,30   |
| <b>Capacità termica esterna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 64,30   |
| <b>Resistenza termica dei materiali</b> | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,261   |
| <b>Resistenza termica totale</b>        | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,521   |
| <b>Trasmittanza termica totale</b>      | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,921   |
| <b>Trasmittanza termica periodica</b>   | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,093   |

Tabella 42: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300).

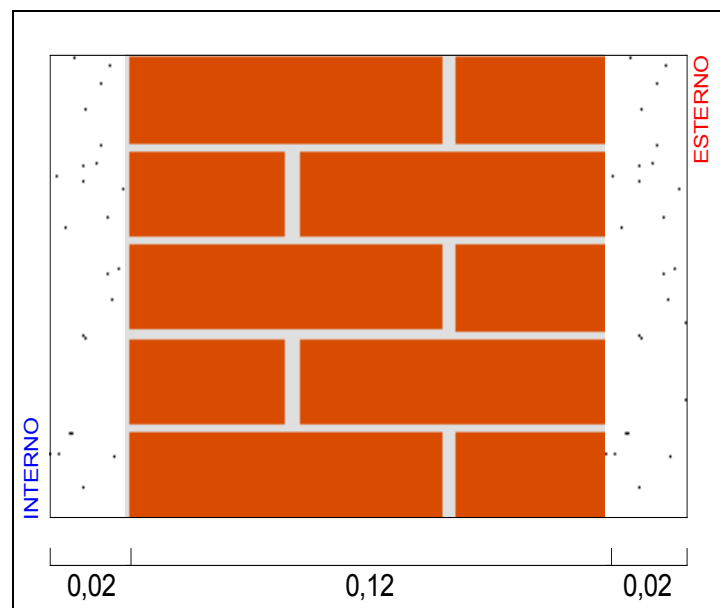


Figura 28: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).

| STRATIGRAFIA     |                                                 |       |                  |                        |                             |            |                        |
|------------------|-------------------------------------------------|-------|------------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------------------|
| Codice materiale | Descrizione                                     | D [m] | $\lambda$ [W/mK] | C [W/m <sup>2</sup> K] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Cp [J/kgK] | R [m <sup>2</sup> K/W] |
|                  | Resistenza superficiale interna                 |       |                  |                        |                             |            | 0,130                  |
| INT507           | Intonaco di calce e gesso                       | 0,02  | 0,700            | 0,000                  | 1400,000                    | 1000       | 0,029                  |
| MUR506           | Mattoni pieni, forati, leggeri (pareti interne) | 0,12  | 0,590            | 0,000                  | 1600,000                    | 40         | 0,203                  |
| INT507           | Intonaco di calce e gesso                       | 0,02  | 0,700            | 0,000                  | 1400,000                    | 1000       | 0,029                  |
|                  | Resistenza superficiale esterna                 |       |                  |                        |                             |            | 0,130                  |

Tabella 43: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300).

### 4.2.3 Componenti opachi orizzontali disperdenti verso esterno (solaio di copertura)

Il solaio di copertura risulta realizzato, dall'interno verso l'esterno, con intonaco civile, elementi latero-cementizi, caldana in malta cementizia, strato impermeabilizzante e maiolica di finitura, per uno spessore totale di 25 cm

| COMPONENTE OPACO        |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| <b>Codice</b>           | 02                                   |
| <b>Descrizione</b>      | SOLAIO TERRAZZA                      |
| <b>Note</b>             | Rilievo                              |
| <b>Giacitura</b>        | SE=Solaio esterno(flusso ascendente) |
| <b>Origine del dato</b> | Da stratigrafia                      |

Tabella 44: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300).

| RIEPILOGO                               |                        |         |
|-----------------------------------------|------------------------|---------|
| <b>Spessore</b>                         | m                      | 0,251   |
| <b>Massa superficiale</b>               | kg/m <sup>2</sup>      | 236,600 |
| <b>Massa totale</b>                     | kg/m <sup>2</sup>      | 264,600 |
| <b>Capacità termica interna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 68,76   |
| <b>Capacità termica esterna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 91,76   |
| <b>Resistenza termica dei materiali</b> | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,368   |
| <b>Resistenza termica totale</b>        | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,508   |
| <b>Trasmittanza termica totale</b>      | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,967   |
| <b>Trasmittanza termica periodica</b>   | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,319   |

Tabella 45 : Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300).

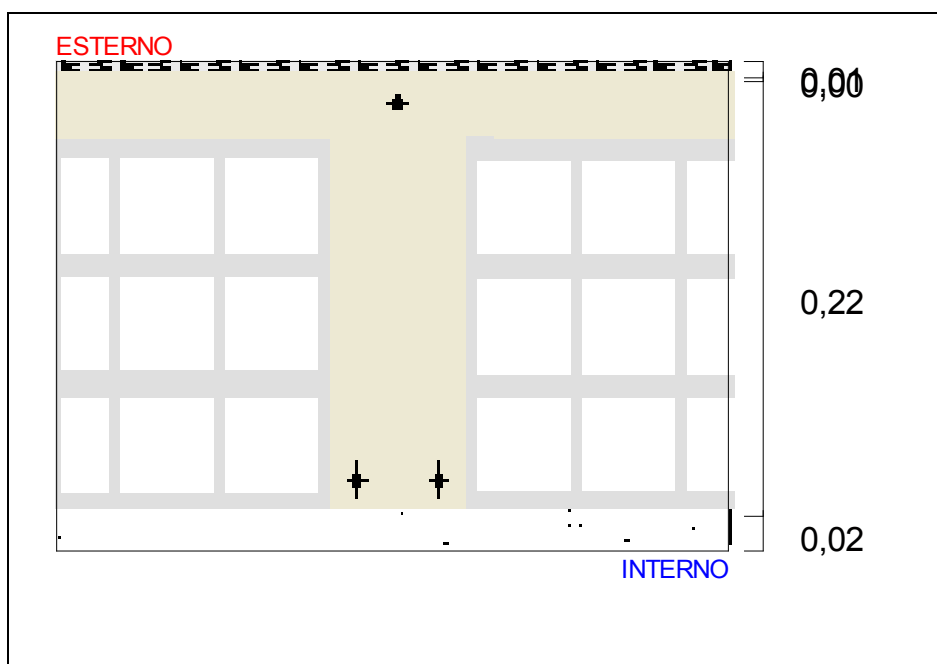


Figura 29: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).

## STRATIGRAFIA

| Codice materiale | Descrizione                                                 | D [m]   | $\lambda$ [W/mK] | C [W/m <sup>2</sup> K] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Cp [J/kgK] | R [m <sup>2</sup> K/W] |
|------------------|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------------------|
|                  | Resistenza superficiale interna                             |         |                  |                        |                             |            | 0,100                  |
| INT507           | Intonaco di calce e gesso                                   | 0,02000 | 0,700            | 0,000                  | 1400,000                    | 1000       | 0,029                  |
| MUR811           | Blocco da solaio 200 mm (2.1.07i - Po - 200x495x250 - 74%O) | 0,22000 | 0,000            | 3,030                  | 963,636                     | 840        | 0,330                  |
| IMP05            | Cartone catramato                                           | 0,00100 | 0,500            | 0,000                  | 1600,000                    | 1050       | 0,002                  |
| PAV501           | Piastrelle di ceramica/porcellana                           | 0,01000 | 1,300            | 0,000                  | 2300,000                    | 840        | 0,008                  |

Tabella 46: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300).

#### 4.2.4 Componenti opachi orizzontali inferiori disperdenti verso locali non climatizzati

Parte del solaio di base delimita la struttura da uno scantinato non climatizzato. Il solaio è composto partendo dallo strato superiore, da: piastrelle di ceramica, blocchi da solaio e intonaco di malta cementizia.

**COMPONENTE OPACO**

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| <b>Codice</b>           | 03                       |
| <b>Descrizione</b>      | SOLAIO CONTRO SCANTINATO |
| <b>Note</b>             | Rilievo                  |
| <b>Giacitura</b>        | PT= Pavimento terreno    |
| <b>Origine del dato</b> | Da stratigrafia          |

Tabella 47: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300).

**RIEPILOGO**

|                                         |                        |         |
|-----------------------------------------|------------------------|---------|
| <b>Spessore</b>                         | m                      | 0,290   |
| <b>Massa superficiale</b>               | kg/m <sup>2</sup>      | 331,000 |
| <b>Massa totale</b>                     | kg/m <sup>2</sup>      | 367,000 |
| <b>Capacità termica interna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 58,75   |
| <b>Capacità termica esterna</b>         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 127,60  |
| <b>Resistenza termica dei materiali</b> | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,380   |
| <b>Resistenza termica totale</b>        | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,550   |
| <b>Trasmittanza termica totale</b>      | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,818   |
| <b>Trasmittanza termica periodica</b>   | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 0,953   |

Tabella 48: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300).

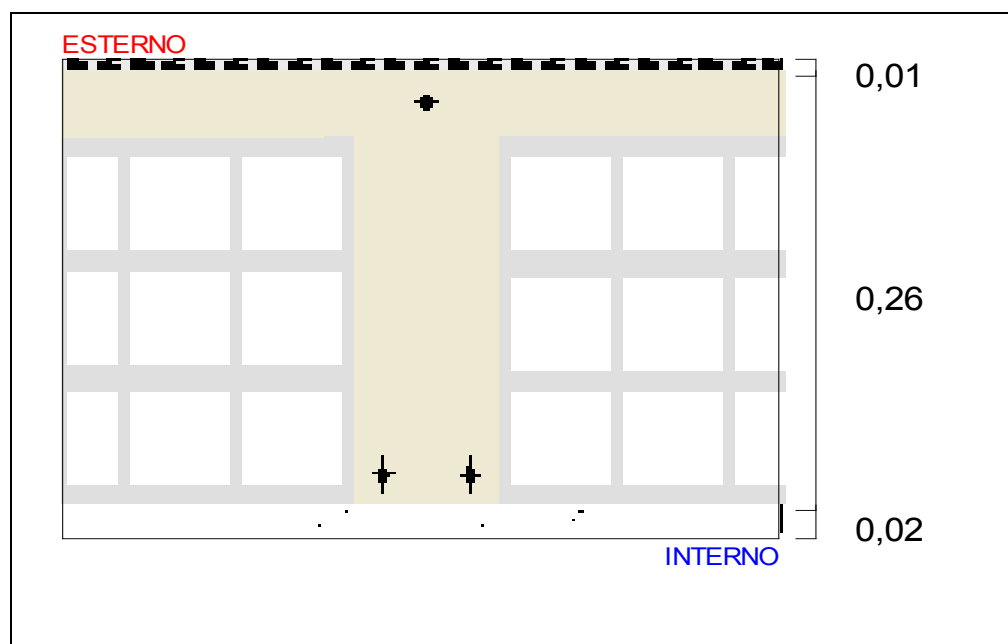


Figura 30: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).

**STRATIGRAFIA**

| Codice materiale | Descrizione                                                 | D [m]   | $\lambda$ [W/mK] | C [W/m <sup>2</sup> K] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | C <sub>p</sub> [J/kgK] | R [m <sup>2</sup> K/W] |
|------------------|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
|                  | Resistenza superficiale interna                             |         |                  |                        |                             |                        | 0,100                  |
| INT507           | Intonaco di calce e gesso                                   | 0,02000 | 0,700            | 0,000                  | 1400,000                    | 1000                   | 0,029                  |
| MUR811           | Blocco da solaio 200 mm (2.1.07i - Po - 200x495x250 - 74%O) | 0,22000 | 0,000            | 3,030                  | 963,636                     | 840                    | 0,330                  |
| PAV501           | Piastrelle di ceramica/porcellana                           | 0,01000 | 1,300            | 0,000                  | 2300,000                    | 840                    | 0,008                  |

Tabella 49: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300).

**4.2.5 Componenti opachi orizzontali inferiori disperdenti verso locali non climatizzati****COMPONENTE OPACO**

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Codice           | 03                       |
| Descrizione      | SOLAIO SU VESPAIO AREATO |
| Note             | Rilievo                  |
| Giacitura        | PT= Pavimento terreno    |
| Origine del dato | Da stratigrafia          |

Tabella 50: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300).

**RIEPILOGO**

|                                  |                        |         |
|----------------------------------|------------------------|---------|
| Spessore                         | m                      | 0,230   |
| Massa superficiale               | kg/m <sup>2</sup>      | 235,000 |
| Massa totale                     | kg/m <sup>2</sup>      | 235,000 |
| Capacità termica interna         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 51,40   |
| Capacità termica esterna         | kJ/(m <sup>2</sup> ·K) | 95,70   |
| Resistenza termica dei materiali | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,338   |
| Resistenza termica totale        | m <sup>2</sup> ·K/W    | 0,508   |
| Trasmittanza termica totale      | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,970   |
| Trasmittanza termica periodica   | W/(m <sup>2</sup> ·K)  | 1,407   |

Tabella 51: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300).

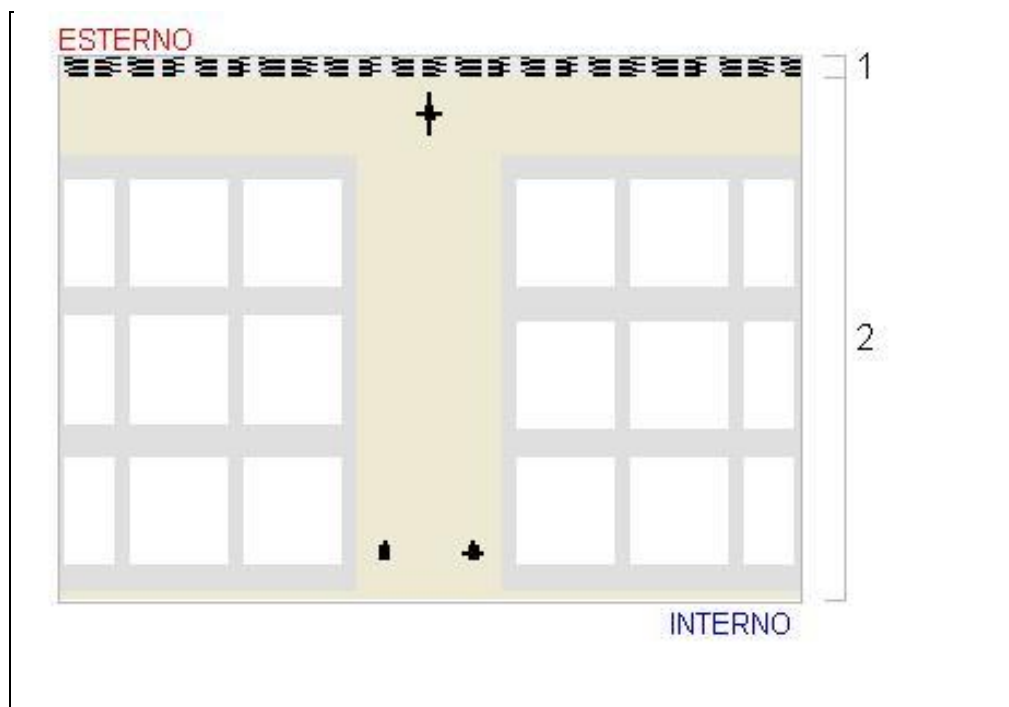


Figura 31: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).

| STRATIGRAFIA     |                                                             |         |                  |                        |                             |            |                        |
|------------------|-------------------------------------------------------------|---------|------------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------------------|
| Codice materiale | Descrizione                                                 | D [m]   | $\lambda$ [W/mK] | C [W/m <sup>2</sup> K] | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | Cp [J/kgK] | R [m <sup>2</sup> K/W] |
|                  | Resistenza superficiale interna                             |         |                  |                        |                             |            | 0,170                  |
| PAV501           | Piastrelle di ceramica/porcellana                           | 0,01000 | 1,300            | 0,000                  | 2300,000                    | 840        | 0,008                  |
| MUR811           | Blocco da solaio 200 mm (2.1.07i - Po - 200x495x250 - 74%O) | 0,22000 | 0,000            | 3,030                  | 963,636                     | 840        | 0,330                  |
|                  | Resistenza superficiale esterna                             |         |                  |                        |                             |            | 0,000                  |

Tabella 52: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300).

## 5. DESCRIZIONE DELLE ZONE TERMICHE

L'edificio in esame, come già ricordato, è costituito da 2 piani in elevazione mentre il pavimento del piano terra è di circa 50 cm sopra il piano di campagna.

Nel piano terra sono collocati i locali adibiti ad ufficio e la mensa con relativa cucina. Al primo piano si trovano, invece, le camerate.

Le norme UNI/TS 11300 (in accordo con le definizioni legislative) con il termine *edificio* intendono: *“un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, gli altri edifici. Il termine (edificio) può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di un edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti”*.

La Direttiva 2002/91/CE inoltre sottolinea che :*“un edificio è una costruzione [.....] per la quale l'energia è utilizzata per il condizionamento del clima degli ambienti interni”*.

Le uniche zone non climatizzate risultano essere, il vano scale delimitato da due lati verso l'esterno con esposizioni SO e SE, e lo scantinato. Tutti gli altri locali sono stati considerati come un'unica zona climatizzata, in considerazione del fatto che tutti i locali risultano climatizzati alla stessa temperatura e serviti dal medesimo impianto.

## 6. DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI TECNICI

La struttura è dotata di due generatori di calore per il riscaldamento degli ambienti e da uno per la produzione di acqua calda sanitaria.

### 6.1 IMPIANTO PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE

Le due caldaie destinate al riscaldamento sono identiche e lavorano alternativamente, per cui ai fini dei calcoli dell'energia primaria necessaria alla corretta conduzione della struttura si ipotizza l'esistenza di un unico generatore.

Di seguito sono schematicamente riportate le caratteristiche dei due identici generatori di calore (tab. 53).

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| MARCA                    | IVAR     |
| MODELLO                  | BLP 1000 |
| POTENZA NOMINALE (kW)    | 670      |
| POTENZA AL FOCOLARE (kW) | 744      |
| PRODUZIONE VAPORE (kg/h) | 1000     |

**Tabella 53: Caratteristiche generatore di calore per la climatizzazione invernale**

Ai fini del calcolo, l'impianto di climatizzazione invernale si considera suddiviso nei seguenti sottosistemi.

#### 6.1.1 Sottosistema di emissione

Lo scambio termico con l'ambiente da climatizzare avviene tramite radiatori posti sulle pareti esterne non isolate.

Al fine di poter utilizzare i valori contenuti nel prospetto 17 della norma UNI/TS 11300-2, è stato calcolato il carico termico annuo  $C_t$  [ $W/m^3$ ].

$$C_t = E_t / \tau \times V$$

Dove:

$E_t$  = fabbisogno annuo di energia termica utile [Wh]

$\tau$  = tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione (10 ore al giorno x n giorni di riscaldamento) [h]

V = volume lordo climatizzato [m<sup>3</sup>]

$C_t = 307.463.000 / (10 \times 136 \times 18.265) = 12,38 \text{ W/m}^3$

essendo  $C_t > 10 \text{ W/m}^3$ , per il citato prospetto 17:

$\eta_e = 0,92 - 0,04$  (riduzione prevista per pareti non isolate) = **0,88**

### **6.1.2 Sottosistema di regolazione**

Essendo la regolazione climatica di tipo ambiente con regolatore on/off, per il prospetto 20 della norma UNI/TS 11300-2:

$\eta_{rg} = \mathbf{0,94}$

### **6.1.3 Sottosistema di distribuzione**

La distribuzione del fluido termovettore avviene attraverso montanti verticali nei paramenti interni o nell'intercapedine con isolamento delle tubazioni leggero o assente.

L'epoca di realizzazione dell'impianto è antecedente il 1976.

Pertanto per il prospetto 21 della norma UNI/TS 1300-2:

$\eta_d = \mathbf{0,90}$

#### **6.1.4 Sottosistema di generazione**

Come analizzato con il metodo della "Firma Energetica" il generatore risulta sovradimensionato rispetto alle reali esigenze di climatizzazione di oltre il 60%.

Il camino ha un'altezza superiore ai 10 m, e la temperatura media di caldaia è maggiore di 65°C.

Pertanto per il prospetto 23 della norma UNI/TS 1300-2:

$$\eta_g=0,84$$

#### **6.1.5 Rendimento globale**

Alla luce di quanto sopra riportato, sarà:

$$\eta_{gl}= \eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_g = 0,88 \times 0,94 \times 0,90 \times 0,84 = 0,63$$

## 7. ANALISI DEI CONSUMI REALI

Nelle sezioni che seguono sono riportati i dati derivanti dall'esame delle bollette riferibili ai consumi di energia termica.

Si sottolinea che tali consumi si riferiscono al riscaldamento ambienti (uffici e camerate) e alla produzione di ACS. Non vengono inclusi nei dati riportati i consumi connessi alla preparazione dei pasti, fatturati a parte.

### 7.1 CONSUMI TERMICI

L'analisi dei dati contenuti nelle fatture e del profilo di utenza della struttura ha consentito di verificare l'esistenza o meno di una stretta correlazione tra numero di occupanti e consumi termici.

| PERIODO                   | CONSUMI (smc) | SPESA (euro)     |
|---------------------------|---------------|------------------|
| 1 gennaio - 15 gennaio    | 3.221         | 2.991,66         |
| 16 gennaio - 9 marzo      | 15.334        | 11.149,18        |
| 10 marzo - 8 aprile       | 6.471         | 4.632,79         |
| 9 aprile - 10 maggio      | 4.252         | 3.157,85         |
| 11 maggio - 8 giugno      | 1.640         | 1.221,96         |
| 9 giugno - 8 luglio       | 1.931         | 1.526,42         |
| 9 luglio - 9 agosto       | 1.135         | 1.005,15         |
| 10 agosto - 8 settembre   | 2.533         | 2.167,55         |
| 9 settembre - 11 ottobre  | 1.305         | 1.009,88         |
| 12 ottobre - 8 novembre   | 1.430         | 1.100,30         |
| 9 novembre - 9 dicembre   | 5.050         | 3.878,34         |
| 10 dicembre - 31 dicembre | 5.924         | 5.148,72         |
| <b>2010</b>               | <b>50.226</b> | <b>33.846,22</b> |

**Tabella 54: Consumi termici relativi all'anno 2010**

| MESE          | CONSUMO [m <sup>3</sup> ] | MEDIA OCCUPANTI |
|---------------|---------------------------|-----------------|
| GENNAIO       | 7379                      | 72,6            |
| FEBBRAIO      | 7277                      | 4,6             |
| MARZO         | 8585                      | 0               |
| APRILE        | 4803                      | 0               |
| MAGGIO        | 2464                      | 8,6             |
| GIUGNO        | 1928                      | 13,3            |
| LUGLIO        | 1218                      | 31,6            |
| AGOSTO        | 2164                      | 59,3            |
| SETTEMBRE     | 1555                      | 89              |
| OTTOBRE       | 1508                      | 99,6            |
| NOVEMBRE      | 3906                      | 87,7            |
| DICEMBRE      | 7439                      | 67,4            |
| <b>TOTALE</b> | <b>50226</b>              | <b>44,5</b>     |

Tabella 55: Confronto tra consumi mensili e profili di utilizzo

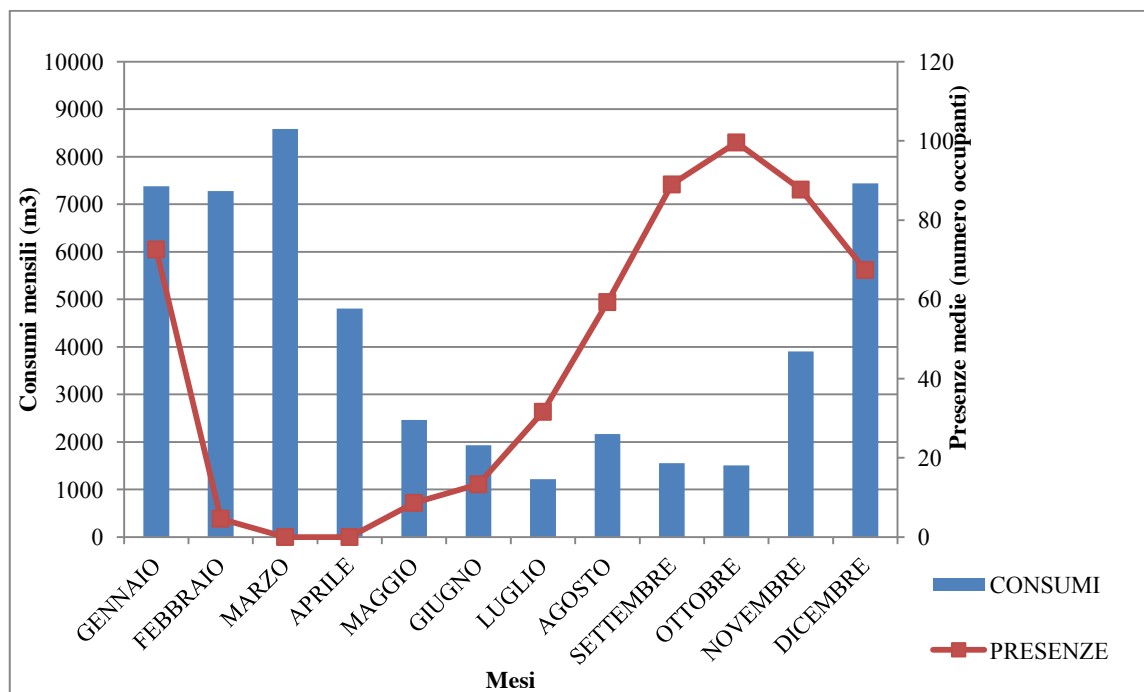


Grafico 3: Andamento dei consumi per l'anno 2010

| PERIODO                | CONSUMI (smc) | SPESA (euro) |
|------------------------|---------------|--------------|
| 1 gennaio - 20 gennaio | 2.624,5       | 2.050        |
| 21 gennaio - 9 marzo   | 18.229        | 14.172,23    |
| 10 marzo - 11 aprile   | 7.062         | 5.454,89     |
| 12 aprile - 9 maggio   | 3.762         | 2.966,86     |
| 10 maggio - 8 giugno   | 1.709         | 1.351,57     |

| PERIODO                  | CONSUMI (smc)   | SPESA (euro)     |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| 9 giugno - 7 luglio      | 1.920           | 1.598,41         |
| 8 luglio - 8 agosto      | 1.123           | 1.004,94         |
| 9 agosto - 8 settembre   | 1.024           | 847,78           |
| 9 settembre - 10 ottobre | 1.322           | 1.101,11         |
| 11 ottobre - 8 novembre  | 1.902           | 1.660,76         |
| 9 novembre - 7 dicembre  | 3.607           | 3.284,04         |
| 8 dicembre - 31 dicembre | 5.151           | 5.148,72         |
| <b>2011</b>              | <b>49.435,5</b> | <b>40.641,97</b> |

Tabella 56: Consumi termici relativi all'anno 2011

| MESE             | CONSUMO [m <sup>3</sup> ] | MEDIA OCCUPANTI |
|------------------|---------------------------|-----------------|
| <b>GENNAIO</b>   | 6890                      | 70,5            |
| <b>FEBBRAIO</b>  | 10860                     | 94,6            |
| <b>MARZO</b>     | 7737                      | 89              |
| <b>APRILE</b>    | 4936                      | 89              |
| <b>MAGGIO</b>    | 2491                      | 100,2           |
| <b>GIUGNO</b>    | 1912                      | 89              |
| <b>LUGLIO</b>    | 1313                      | 27,2            |
| <b>AGOSTO</b>    | 1066                      | 13              |
| <b>SETTEMBRE</b> | 1143                      | 20              |
| <b>OTTOBRE</b>   | 1836                      | 20              |
| <b>NOVEMBRE</b>  | 3198                      | 38              |
| <b>DICEMBRE</b>  | 6053                      | 14,2            |
| <b>TOTALE</b>    | <b>49435</b>              | <b>55,4</b>     |

Tabella 57: Confronto tra consumi mensili e profilo di utilizzo- anno 2011

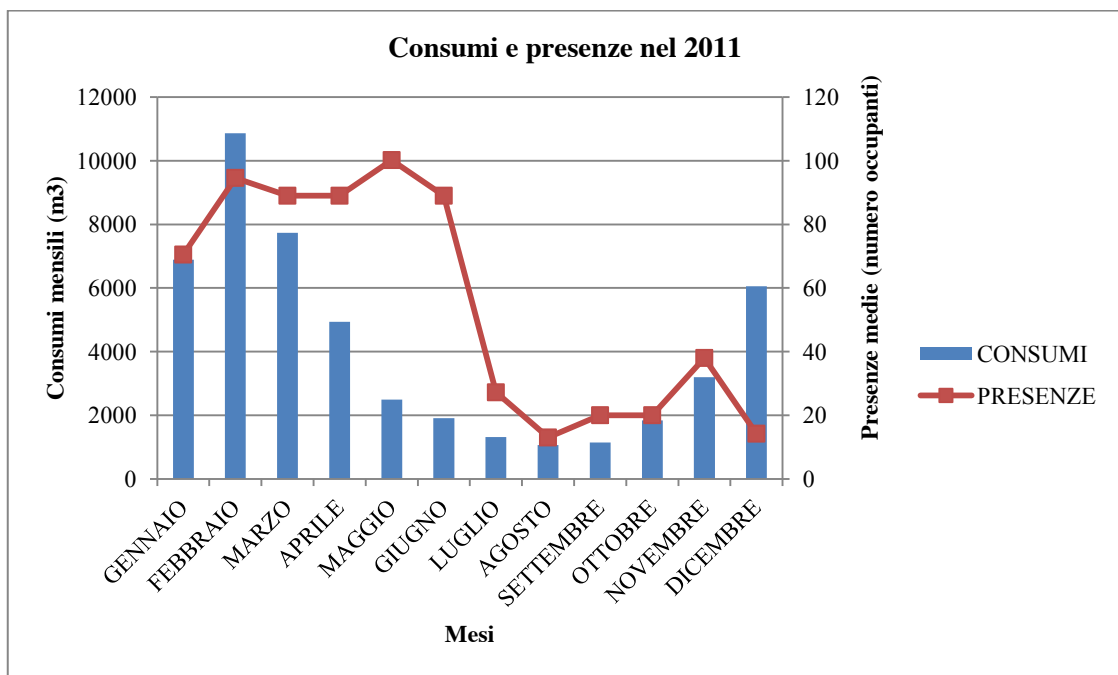


Grafico 4: Andamento dei consumi per l'anno 2011

| PERIODO                 | CONSUMI (smc) | SPESA (euro)     |
|-------------------------|---------------|------------------|
| 1 gennaio - 10 gennaio  | 2.575         | 2.238,58         |
| 11 gennaio - 7 febbraio | 8.082         | 7.374,65         |
| 8 febbraio - 7 marzo    | 10.044        | 9.009,58         |
| 8 marzo - 10 aprile     | 7.317         | 6.565,47         |
| 11 aprile - 8 maggio    | 3.878         | 3.544,50         |
| 9 maggio - 30 giugno    | 1.880,27      | 1.727,25         |
| <b>1° SEMESTRE 2012</b> | <b>33.776</b> | <b>30.460,03</b> |

Tabella 58: consumi termici relativi all'anno 2012 (I semestre)

| MESE          | CONSUMO [m³] | MEDIA OCCUPANTI |
|---------------|--------------|-----------------|
| GENNAIO       | 8861         | 70,5            |
| FEBBRAIO      | 9236         | 87,8            |
| MARZO         | 7704         | 89              |
| APRILE        | 4946         | 89              |
| MAGGIO        | 1980         | 100,2           |
| GIUGNO        | 1049         | 89              |
| <b>TOTALE</b> | <b>33776</b> | <b>87,6</b>     |

Tabella 59: Confronto tra consumi mensili e profili di utilizzo- anno 2012 (I semestre)

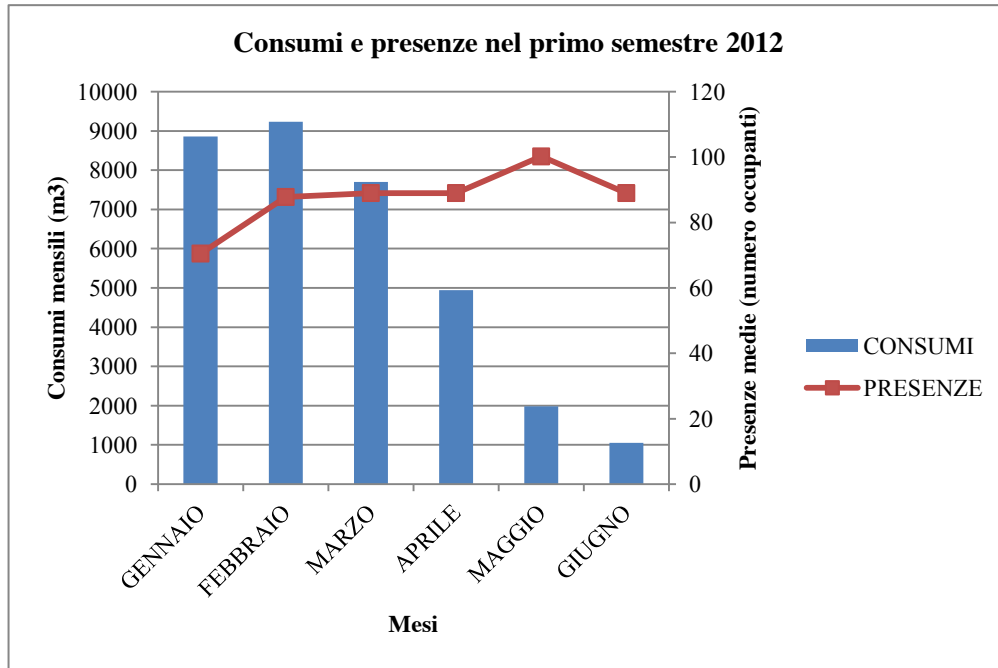


Grafico 5: Andamento dei consumi per l'anno 2012 (I semestre)

Come è possibile notare dalle tabelle e dai relativi grafici sopra riportati ed in particolar modo nella tabella riepilogativa n. 60, non esiste una univoca relazione tra consumi termici e numero di ospiti della struttura. Tale circostanza è ascrivibile alla assoluta mancanza di apparati di regolazione zonali, che non consentono quindi di modulare l'energia termica emessa in relazione ai volumi abitati.

| MESE      | ANNO 2010       |                    | ANNO 2011       |                    | ANNO 2012       |                    |
|-----------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|           | CONSUMO<br>[m³] | MEDIA<br>OCCUPANTI | CONSUMO<br>[m³] | MEDIA<br>OCCUPANTI | CONSUMO<br>[m³] | MEDIA<br>OCCUPANTI |
| GENNAIO   | 7379            | 72,6               | 6890            | 70,5               | 8861            | 70,5               |
| FEBBRAIO  | 7277            | 4,6                | 10860           | 94,6               | 9236            | 87,8               |
| MARZO     | 8585            | 0                  | 7737            | 89                 | 7704            | 89                 |
| APRILE    | 4803            | 0                  | 4936            | 89                 | 4946            | 89                 |
| MAGGIO    | 2464            | 8,6                | 2491            | 100,2              | 1980            | 100,2              |
| GIUGNO    | 1928            | 13,3               | 1912            | 89                 | 1049            | 89                 |
| LUGLIO    | 1218            | 31,6               | 1313            | 27,2               |                 |                    |
| AGOSTO    | 2164            | 59,3               | 1066            | 13                 |                 |                    |
| SETTEMBRE | 1555            | 89                 | 1143            | 20                 |                 |                    |
| OTTOBRE   | 1508            | 99,6               | 1836            | 20                 |                 |                    |
| NOVEMBRE  | 3906            | 87,7               | 3198            | 38                 |                 |                    |
| DICEMBRE  | 7439            | 67,4               | 6053            | 14,2               |                 |                    |
| TOTALE    | 50226           | 44,5               | 49435           | 55,4               | 33776           | 87,6               |

Tabella 60: Riepilogo consumi e presenze anni 2010-2011-2012 (I semestre)

## 8. Determinazione delle Opportunità di Risparmio Energetico (ORE)

La parte fondamentale di ogni Diagnosi Energetica è rappresentata dagli interventi che il redattore dell'elaborato consiglia alla committenza al fine di migliorare le prestazioni energetiche dell'immobile analizzato. <sup>[5]</sup>

Segue ora una sintetica descrizione degli interventi di riqualificazione ipotizzati.

### 8.1 INTERVENTO 1

Realizzazione di un isolamento dall'esterno delle murature perimetrali,<sup>6</sup> con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,036 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 8 cm**. <sup>[6,7]</sup>

I pannelli saranno ancorati alle pareti con un idoneo adesivo cementizio, steso per cordoli lungo il perimetro e per punti al centro. In aggiunta all'incollaggio, l'isolamento verrà ancorato alla parete per mezzo di idonei tasselli ad espansione in ragione di almeno 6/m<sup>2</sup>.

In corrispondenza di finestre e angoli verranno posati idonei profili.

Il rivestimento dei pannelli avverrà tramite la stesura di due mani di adesivo cementizio. Dopo la prima mano verrà annegata una rete in fibra di vetro.

La finitura sarà eseguita con un rivestimento traspirante e idrorepellente, di tipo silossanico.

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 217.137 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 163.839 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

**Tabella 61: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 1**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 348.066 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 389.736 kWh |

Tabella 62: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 1

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 19,06                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 21,34                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | F                      | C                      |

Tabella 63: Indici di prestazione energetica ORE 1

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.2 INTERVENTO 2

Realizzazione di un isolamento dall'esterno delle murature perimetrali, con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,036 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 10 cm.** <sup>[6,7]</sup>

I pannelli saranno ancorati alle pareti con un idoneo adesivo cementizio, steso per cordoli lungo il perimetro e per punti al centro. In aggiunta all'incollaggio, l'isolamento verrà ancorato alla parete per mezzo di idonei tasselli ad espansione in ragione di almeno 6/m<sup>2</sup>.

In corrispondenza di finestre e angoli verranno posati idonei profili.

Il rivestimento dei pannelli avverrà tramite la stesura di due mani di adesivo cementizio. Dopo la prima mano verrà annegata una rete in fibra di vetro.

La finitura sarà eseguita con un rivestimento traspirante e idrorepellente, di tipo silossanico.

| SIMBOLO | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|---------|--------------------------------------------------------|-------------|
| $ET_H$  | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 213.202 kWh |
| $ET_c$  | Fabbisogno di energia termica per il raffreddamento    | 164.130 kWh |
| $ET_w$  | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 64: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 2

| SIMBOLO    | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| $EP_H$     | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 341.741 kWh |
| $EP_w$     | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| $EP_{H+W}$ | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 383.411 kWh |

Tabella 65: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 2

| SIMBOLO    | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|            |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| $EP_i$     | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 18,71                  | 8,128                  |
| $EP_{ACS}$ | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| $EP_{GL}$  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 20,99                  | 12,439                 |
|            | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | F                      | C                      |

Tabella 66: Indici di prestazione energetica ORE 2

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

### 8.3 INTERVENTO 3

Realizzazione di un isolamento dall'esterno delle murature perimetrali, con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,036 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 12 cm**. <sup>[6,7]</sup>

I pannelli saranno ancorati alle pareti con un idoneo adesivo cementizio, steso per cordoli lungo il perimetro e per punti al centro. In aggiunta all'incollaggio,

l'isolamento verrà ancorato alla parete per mezzo di idonei tasselli ad espansione in ragione di almeno  $6/m^2$ .

In corrispondenza di finestre e angoli verranno posati idonei profili.

Il rivestimento dei pannelli avverrà tramite la stesura di due mani di adesivo cementizio. Dopo la prima mano verrà annegata una rete in fibra di vetro.

La finitura sarà eseguita con un rivestimento traspirante e idrorepellente, di tipo silossanico.

| SIMBOLO | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|---------|--------------------------------------------------------|-------------|
| $ET_H$  | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 210.428 kWh |
| $ET_c$  | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 164.587 kWh |
| $ET_w$  | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

**Tabella 67: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 3**

| SIMBOLO    | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| $EP_H$     | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 337.285 kWh |
| $EP_w$     | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| $EP_{H+W}$ | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 378.955 kWh |

**Tabella 68: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 3**

| SIMBOLO    | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|            |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| $EP_i$     | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 18,46                  | 8,128                  |
| $EP_{ACS}$ | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| $EP_{GL}$  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 20,74                  | 12,439                 |
|            | Classe energetica di assegnazione                         | <u>G</u>               | <u>F</u>               | <u>C</u>               |

**Tabella 69: Indici di prestazione energetica ORE 3**

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

### 8.3.1 Considerazioni sugli interventi proposti nelle ORE 1, 2 e 3.

Allo scopo di avere maggiori elementi di valutazione circa la scelta dello spessore di isolante, è stata compiuta un'analisi costi/benefici come da tabella che segue.

Sono stati calcolati per ogni ipotetico spessore di isolante, la trasmittanza termica U del pacchetto murario, il valore delle dispersioni termiche attraverso l'involucro ed infine l'ammontare dell'energia termica richiesta dalla struttura per mantenere al proprio interno la temperatura di progetto pari a 20 °C.

| Spessore | Consumi | Costo   |
|----------|---------|---------|
| cm       | kWh     | euro/mq |
| 0        | 307     | 0       |
| 2        | 290     | 38      |
| 3        | 275     | 40      |
| 4        | 262     | 42      |
| 5        | 248     | 44      |
| 6        | 237     | 46      |
| 7        | 228     | 48      |
| 8        | 217     | 50      |
| 9        | 215     | 52      |
| 10       | 213     | 54      |
| 11       | 211,5   | 56      |
| 12       | 210     | 58      |
| 13       | 209     | 60      |
| 14       | 208     | 62      |
| 15       | 207     | 64      |
| 16       | 206     | 66      |
| 17       | 205,5   | 68      |
| 18       | 205     | 70      |
| 19       | 204,5   | 72      |
| 20       | 204     | 74      |

Tabella 70: Fabbisogni di energia termica e costi relativi ai diversi spessori di isolante termico.

Riportando i valori della tabella in un grafico a doppia ordinata, si ottiene il seguente grafico n.6.

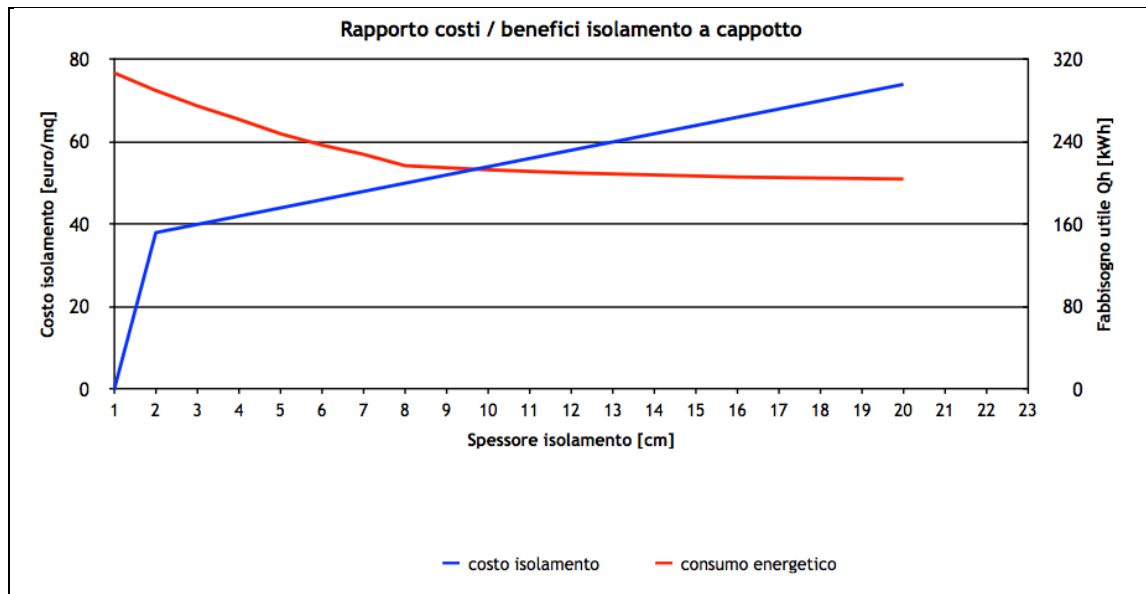


Grafico 6: Rapporto Costi/Benefici relativo a diversi spessori di isolante termico.

Come è possibile notare con immediatezza al grafico precedente, oltre un determinato spessore di coibente, gli effetti sul risparmio energetico diventano irrilevanti (andamento asintotico della funzione), mentre i costi continuano ad aumentare linearmente. Il punto di equilibrio tra i costi del materiale isolante ed i reali benefici si ha per uno spessore del coibente di circa 8/9 cm.

## 8.4 INTERVENTO 4

Sostituzione di **tutti gli infissi esistenti**, con altri di analoghe dimensioni, aventi il telaio di legno rivestito esternamente di alluminio, triplo vetro di tipo basso emissivo e vetrocamera riempita di gas argon. <sup>[8]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 224.350 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 187.922 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 71: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 4

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 359.656 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 401.326 kWh |

Tabella 72: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 4

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 19,69                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 21,97                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | F                      | C                      |

Tabella 73: Indici di prestazione energetica ORE 4

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.5 INTERVENTO 5

Sostituzione di tutti **gli infissi presenti al primo piano**, con altri di analoghe dimensioni, aventi il telaio di legno rivestito esternamente di alluminio, triplo vetro di tipo basso emissivo e vetrocamera riempita di gas argon. <sup>[8]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 269.810 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 148.048 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 74: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 5

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 432.700 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 474.370 kWh |

Tabella 75: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 5

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 23,69                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 25,97                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | <u>G</u>               | <u>F</u>               | <u>C</u>               |

Tabella 76: Indici di prestazione energetica ORE 5

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.6 INTERVENTO 6

Realizzazione di un isolamento dall'esterno delle murature perimetrali, con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,036 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 10 cm.** <sup>[6,7]</sup> I pannelli saranno ancorati alle pareti con un idoneo adesivo cementizio, steso per cordoli lungo il perimetro e per punti al centro. In aggiunta all'incollaggio, l'isolamento verrà ancorato alla parete per mezzo di idonei tasselli ad espansione in ragione di almeno 6/m<sup>2</sup>. In corrispondenza di finestre e angoli verranno posati idonei profili. Il rivestimento dei pannelli avverrà tramite la stesura di due mani di adesivo cementizio. Dopo la prima mano verrà annegata una rete in fibra di vetro. La finitura sarà eseguita con un rivestimento traspirante e idrorepellente, di tipo silossanico.

Isolamento dell'estradosso del solaio di copertura piana con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,039 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 14 cm.** <sup>[7]</sup>

Sostituzione di tutti **gli infissi presenti al primo piano**, con altri di analoghe dimensioni, aventi il telaio di legno rivestito esternamente di alluminio, triplo vetro di tipo basso emissivo e vetrocamera riempita di gas argon. <sup>[8]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 93.470 kWh  |
| ET <sub>C</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 121.213 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 77: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 6

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 146.226 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 187.960 kWh |

Tabella 78: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 6

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 8,00                   | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 10,28                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | C                      | C                      |

Tabella 79: Indici di prestazione energetica ORE 6

**\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".**

## 8.7 INTERVENTO 7

Realizzazione di un isolamento dall'esterno delle murature perimetrali, con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,036 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 10 cm**. I pannelli saranno ancorati alle pareti con un idoneo adesivo cementizio, steso per cordoli lungo il perimetro e per punti al centro. In aggiunta all'incollaggio, l'isolamento verrà ancorato alla parete per mezzo di idonei tasselli ad espansione in ragione di almeno 6/m<sup>2</sup>. In corrispondenza di finestre e angoli verranno posati idonei profili. Il rivestimento dei pannelli avverrà tramite la stesura di due mani di adesivo cementizio. Dopo la prima mano verrà annegata una rete in fibra di vetro.

La finitura sarà eseguita con un rivestimento traspirante e idrorepellente, di tipo silossanico.

Isolamento dell'estradosso del solaio di copertura piana con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,039 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 14 cm**.

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 129.335 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 154.042 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

**Tabella 80: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 7**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 202.674 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 244.344 kWh |

**Tabella 81: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 7**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 11,09                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 13,37                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | D                      | C                      |

**Tabella 82: Indici di prestazione energetica ORE 7**

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.8 INTERVENTO 8

Isolamento dell'estradosso del solaio di copertura piana con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,039 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 14 cm**.<sup>[7]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 221.757 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 121.251 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 83: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 8

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 355.514 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 397.184 kWh |

Tabella 84: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 8

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 19,49                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 21,77                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | F                      | C                      |

Tabella 85: Indici di prestazione energetica ORE 8

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.9 INTERVENTO 9

Sostituzione delle esistenti valvole di regolazione dei radiatori, con altre di tipo termostatico. <sup>[9]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 307.463 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 135.007 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 86: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 9

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 473.081 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 514.751 kWh |

Tabella 87: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 9

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE OPERAM     | VALORE POST OPERAM     | VALORE LIMITE *        |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 25,90                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 28,18                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | G                      | C                      |

Tabella 88: Indici di prestazione energetica ORE 9

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.10 INTERVENTO 10

Sostituzione della caldaia esistente, con una a condensazione multi bruciatore modulare marca IMMERGAS modello ARES 550. <sup>[10]</sup>

Sostituzione delle esistenti valvole di regolazione dei radiatori, con altre di tipo termostatico.

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 307.463 kWh |
| ET <sub>c</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 135.007 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 89: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 10

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 374.417 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 416.387 kWh |

Tabella 90: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 10

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 20,51                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 22,79                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | F                      | C                      |

Tabella 91: Indici di prestazione energetica ORE 10

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

## 8.11 INTERVENTO 11

Isolamento dell'estradosso del solaio di copertura piana con l'impiego di pannelli in isolante minerale con conducibilità dichiarata  $\lambda_d$  non inferiore a 0,039 W/m<sup>2</sup>K dello **spessore di 14 cm**.<sup>[7]</sup>

Sostituzione della caldaia esistente, con una a condensazione multi bruciatore modulare marca IMMERGAS modello ARES 550.<sup>[10]</sup>

Sostituzione delle esistenti valvole di regolazione dei radiatori, con altre di tipo termostatico.<sup>[9]</sup>

| SIMBOLO         | DESCRIZIONE                                            | VALORE      |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| ET <sub>H</sub> | Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento     | 221.757 kWh |
| ET <sub>C</sub> | Fabbisogno di energia termica per il raffrescamento    | 121.229 kWh |
| ET <sub>w</sub> | Fabbisogno di energia termica per la produzione di ACS | 26.508 kWh  |

Tabella 92: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 11

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                                                | VALORE      |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| EP <sub>H</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento                        | 270.101 kWh |
| EP <sub>w</sub>   | Fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS                    | 41.670 kWh  |
| EP <sub>H+W</sub> | Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS | 311.771 kWh |

**Tabella 93: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 11**

| SIMBOLO           | DESCRIZIONE                                               | VALORE ANTE<br>OPERAM  | VALORE POST<br>OPERAM  | VALORE<br>LIMITE *     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                   |                                                           | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) | (kWh/m <sup>3</sup> a) |
| EP <sub>i</sub>   | Indice di prestazione energetica invernale                | 27,00                  | 14,78                  | 8,128                  |
| EP <sub>ACS</sub> | Indice di prestazione energetica per la produzione di ACS | 2,28                   | 2,28                   | 4,311                  |
| EP <sub>GL</sub>  | Indice di prestazione energetica globale                  | 29,285                 | 17,06                  | 12,439                 |
|                   | Classe energetica di assegnazione                         | G                      | E                      | C                      |

**Tabella 94: Indici di prestazione energetica ORE 11**

\*= Valore di demarcazione tra le classi C e D ai sensi del D.M. 26.06.2009 "Linee guida per la Certificazione Energetica".

Le seguenti tabelle contengono una sintesi dei parametri considerati, tecnici, economici ed ecologici, per il confronto tra le varie Opportunità di Risparmio Energetico proposte.

| TIPO<br>D'INTERVENTO                   | ET <sub>H</sub><br>(kWh) | EP <sub>H</sub><br>(kWh) | ET <sub>W</sub><br>(kWh) | EP <sub>W</sub><br>(kWh) | ET <sub>H+W</sub><br>(kWh) | EP <sub>H+W</sub><br>(kWh) | EP <sub>ACS</sub><br>(kWh/m <sup>3</sup> a) | EP <sub>i</sub><br>(kWh/m <sup>3</sup> a) | EP <sub>GL</sub><br>(kWh/m <sup>3</sup> a) | CLASSE |
|----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|
| <b>EX ANTE<br/>STD</b>                 | 402.802                  | 645.696                  | 36.550                   | 57.153                   | 439.352                    | 702.849                    | 3,146                                       | 35,356                                    | 38,502                                     | G      |
| <b>EX ANTE<br/>"tailored rating"</b>   | 307.463                  | 493.051                  | 26.508                   | 41.670                   | 333.971                    | 534.721                    | 2,28                                        | 27,003                                    | 29,285                                     | G      |
| <b>O.R.E. 1<br/>"tailored rating"</b>  | 217.137                  | 348.066                  | 26.508                   | 41.670                   | 243.645                    | 389.736                    | 2,28                                        | 19,057                                    | 21,338                                     | F      |
| <b>O.R.E. 2<br/>"tailored rating"</b>  | 213.202                  | 341.741                  | 26.508                   | 41.670                   | 239.710                    | 383.411                    | 2,28                                        | 18,710                                    | 20,992                                     | F      |
| <b>O.R.E. 3<br/>"tailored rating"</b>  | 210.428                  | 337.285                  | 26.508                   | 41.670                   | 236.936                    | 378.955                    | 2,28                                        | 18,466                                    | 20,748                                     | F      |
| <b>O.R.E. 4<br/>"tailored rating"</b>  | 224.350                  | 359.656                  | 26.508                   | 41.670                   | 250.858                    | 401.326                    | 2,28                                        | 19,691                                    | 21,972                                     | F      |
| <b>O.R.E. 5<br/>"tailored rating"</b>  | 269.810                  | 432.700                  | 26.508                   | 41.670                   | 296.318                    | 474.370                    | 2,28                                        | 23,690                                    | 25,972                                     | F      |
| <b>O.R.E. 6<br/>"tailored rating"</b>  | 93.470                   | 146.226                  | 26.508                   | 41.670                   | 119.978                    | 187.960                    | 2,28                                        | 8,006                                     | 10,287                                     | C      |
| <b>O.R.E. 7<br/>"tailored rating"</b>  | 129.335                  | 202.674                  | 26.508                   | 41.670                   | 155.843                    | 244.344                    | 2,28                                        | 11,096                                    | 13,378                                     | D      |
| <b>O.R.E. 8<br/>"tailored rating"</b>  | 221.757                  | 355.514                  | 26.508                   | 41.670                   | 248.265                    | 397.184                    | 2,28                                        | 19,493                                    | 21,774                                     | F      |
| <b>O.R.E. 9<br/>"tailored rating"</b>  | 307.463                  | 473.081                  | 26.508                   | 41.670                   | 333.971                    | 514.751                    | 2,28                                        | 25,901                                    | 28,182                                     | G      |
| <b>O.R.E. 10<br/>"tailored rating"</b> | 307.463                  | 374.417                  | 26.508                   | 41.670                   | 333.971                    | 416.387                    | 2,28                                        | 20,516                                    | 22,797                                     | F      |
| <b>O.R.E. 11<br/>"tailored rating"</b> | 221.757                  | 270.101                  | 26.508                   | 41.670                   | 248.265                    | 311.771                    | 2,28                                        | 14,788                                    | 17,069                                     | E      |

**Tabella 95: Prospetto riassuntivo dei valori relativi all'energia termica, energia primaria e agli indici di prestazione energetica conseguenti ai diversi interventi ipotizzati.**

| TIPO D'INTERVENTO              | COSTO<br>INTERVENTO<br>[€] | RISPARMIO<br>ANNUO<br>[€] | EMISSIONI<br>DI CO <sub>2</sub><br>PRODOTTE<br>[kg<br>CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a] | EMISSIONI DI<br>CO <sub>2</sub><br>RISPARMIATE<br>[kg] | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | MIGLIORAMENTO<br>ENERGETICO<br>[%] |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| EX ANTE<br>"tailored rating"   |                            |                           | 55,472                                                                                   |                                                        |                                 |                                    |
| O.R.E. 1<br>"tailored rating"  | 153.250                    | 12.100                    | 39,732                                                                                   | 36.071                                                 | 144.285                         | 27                                 |
| O.R.E. 2<br>"tailored rating"  | 168.200                    | 12.600                    | 39,067                                                                                   | 37.827                                                 | 151.310                         | 28                                 |
| O.R.E. 3<br>"tailored rating"  | 183.800                    | 13.000                    | 38,599                                                                                   | 38.941                                                 | 155.766                         | 29                                 |
| O.R.E. 4<br>"tailored rating"  | 290.000                    | 10.800                    | 41,363                                                                                   | 32.364                                                 | 129.459                         | 24                                 |
| O.R.E. 5<br>"tailored rating"  | 140.000                    | 5.050                     | 48,625                                                                                   | 15.088                                                 | 60.351                          | 11                                 |
| O.R.E. 6<br>"tailored rating"  | 410.500                    | 28.900                    | 18,523                                                                                   | 86.690                                                 | 346.761                         | 65                                 |
| O.R.E. 7<br>"tailored rating"  | 271.800                    | 24.250                    | 24,555                                                                                   | 72.594                                                 | 290.377                         | 54                                 |
| O.R.E. 8<br>"tailored rating"  | 103.600                    | 11.500                    | 40,570                                                                                   | 34.384                                                 | 137.537                         | 25                                 |
| O.R.E. 9<br>"tailored rating"  | 7.500                      | 1.670                     | 52,87                                                                                    | 4.992                                                  | 19.970                          | 3,7                                |
| O.R.E. 10<br>"tailored rating" | 45.000                     | 9.870                     | 42,532                                                                                   | 29.583                                                 | 118.334                         | 22                                 |
| O.R.E. 11<br>"tailored rating" | 148.600                    | 18.600                    | 31,540                                                                                   | 55.737                                                 | 222.950                         | 42                                 |

**Tabella 96:** Prospetto riassuntivo dei valori relativi al costo, al risparmio economico, ecologico ed economico ed al miglioramento energetico conseguibili dai diversi interventi ipotizzati.

## **8.12 DETERMINAZIONE DEGLI INCENTIVI RITRAIBILI AI SENSI DEL D.M. 28/12/12**

Le opportunità di risparmio energetico proposte sono tutte volte ad incrementare l'efficienza di un immobile della PA attraverso il contenimento delle dispersioni termiche. Pertanto, ai sensi dell'art. 4, c. 1, lettere a) e b) del Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 28 dicembre 2012, sono incentivabili con rate annuali costanti per una durata temporale di 5 anni. <sup>[11]</sup>

Nella seguente tabella n. 97 si riporta un quadro prospettico relativo alla determinazione degli incentivi collegati alle undici Opportunità di Risparmio Energetico prospettate.

Si fa presente che l'unico intervento non incentivabile è l'O.R.E. 1 in quanto pur migliorando sensibilmente la prestazione energetica dell'immobile, come visto in tab. 97 non soddisfa il requisito tecnico richiesto nel citato decreto.

Infatti la trasmittanza U del pacchetto murario composto dalla muratura esistente e dalla posa di 8 cm di isolante delle caratteristiche precedentemente citate, risulta superiore a 0,28 kWh/m<sup>2</sup>K richiesto per accedere all'incentivo previsto dal "Conto Termico".

Nel seguente prospetto si riportano, per ogni singolo intervento, gli importi incentivabili e le relative quote rateali.

| TIPOLOGIA DI INTERVENTO | SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )          | COSTO SPECIFICO (€)        | COSTO TOTALE (€)                           | COSTO MAX (€)                     | REQUISITO TECNICO (W/m <sup>2</sup> K)            | VERIFICA | INCENTIVO MAX (€)  | INCENTIVO TOTALE (€)                     | RATE ANNUALI | IMPORTO RATA (€) |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|----------|--------------------|------------------------------------------|--------------|------------------|
| ORE 1                   | 3.600m                                | 45,00                      | 162.000                                    | 100,00                            | U<0,28                                            | NO       |                    |                                          |              |                  |
| ORE 2                   | 3.600                                 | 50,00                      | 180.000                                    | 100,00                            | U<0,28                                            | SI       | 250.000            | 72.000                                   | 5            | 14.400           |
| ORE 3                   | 3.600                                 | 55,00                      | 198.000                                    | 100,00                            | U<0,28                                            | SI       | 250.000            | 79.200                                   | 5            | 15.840           |
| ORE 4                   | 830                                   | 350,00                     | 290.500                                    | 350,00                            | U<1,75                                            | SI       | 45.000             | 45.000                                   | 5            | 9.000            |
| ORE 5                   | 400                                   | 350,00                     | 140.000                                    | 350,00                            | U<1,75                                            | SI       | 45.000             | 45.000                                   | 5            | 9.000            |
| ORE 6                   | 3600+<br>1800+<br>400                 | 50,00/<br>55,00/<br>350,00 | 180.000+<br>90.000+<br>140.000=<br>410.000 | 100,00<br>200,00                  | U<0,28<br>U<0,27<br>U<1,75                        | SI       | 250.000/<br>45.000 | 72.000+<br>36.000+<br>45.000=<br>153.000 | 5            | 30.600           |
| ORE 7                   | 3600+<br>1800                         | 50,00/<br>50,00            | 180.000+<br>90.000=<br>270.000             | 100,00/<br>200,00                 | U<0,28<br>U<0,27                                  | SI       | 250.000            | 72.000+<br>36.000=<br>108.000            | 5            | 21.600           |
| ORE 8                   | 1800                                  | 50,00                      | 90.000                                     | 200,00                            | U<0,27                                            | SI       | 250.000            | 36.000                                   | 5            | 7.200            |
| ORE 9                   | 300 PZ                                | 25,00                      | 7.500                                      |                                   |                                                   |          |                    |                                          |              |                  |
| ORE 10                  | 300 PZ +<br>1                         | 25,00+<br>37.500           | 7.500+<br>37.500=<br>45.000                | 130 €/kWt                         | $\eta \geq 93 + 2 \log$<br>$P_n = 95,6$           | SI       | 26.000             | 26.000                                   | 5            | 5.200            |
| ORE 11                  | 300 PZ +<br>1+<br>1800 m <sup>2</sup> | 25,00+<br>37.500+<br>50,00 | 7.500+<br>37.500+<br>90.000<br>135.000     | 130 €/kW<br>200,00/m <sup>2</sup> | $\eta \geq 93 + 2 \log$<br>$P_n = 95,6$<br>U<0,27 | SI<br>SI | 26.000<br>250.000  | 26.000+<br>36.000=<br>62.000             | 5            | 12.400           |

Tabella 97: Quadro prospettico degli incentivi previsti nel Decreto Ministeriale del 28.12.2012.

Alla luce degli incentivi finanziabili, sono stati determinati i nuovi tempi di ritorno degli investimenti proposti.

Si è ritenuto di dover approfondire l'analisi economica soltanto relativamente alle ORE 7, 8, 9, 10 e 11, in ragione della loro maggiore completezza.

**8.13 ANALISI DEL PAY BACK RELATIVO ALL'INTERVENTO 7**

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| TIPO DI INTERVENTO    | ORE 7  |
| INVESTIMENTO INIZIALE | 270.00 |
| RISPARMIO ANNUO       | 24.250 |
| TASSO D'INTERESSE     | 3      |
| INFLAZIONE            | 1,6    |
| TASSO DI SCONTO       | 1,38   |

Tabella 98: Dati generali ORE 7.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m³] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN)<br>[€] |
|------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                             | 0                         | -270.000                              | 0                        | -270.000                                       |
| 1    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -245.750                              | 24.200                   | -245.750                                       |
| 2    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -221.500                              | 24.253                   | -221.447                                       |
| 3    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -197.250                              | 24.306                   | -197.091                                       |
| 4    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -173.000                              | 24.359                   | -172.681                                       |
| 5    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -148.750                              | 24.413                   | -148.218                                       |
| 6    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -124.500                              | 24.466                   | -123.701                                       |
| 7    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -100.250                              | 24.520                   | -99.131                                        |
| 8    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -76.000                               | 24.573                   | -74.506                                        |
| 9    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -51.750                               | 24.627                   | -49.828                                        |
| 10   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -27.500                               | 24.681                   | -25.096                                        |
| 11   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -3.250                                | 24.735                   | -309                                           |
| 12   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 21.000                                | 24.789                   | 24.531                                         |
| 13   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 45.250                                | 24.844                   | 49.426                                         |
| 14   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 69.500                                | 24.898                   | 74.376                                         |
| 15   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 93.750                                | 24.953                   | 99.380                                         |

Tabella 99: Flusso di cassa per ORE 7

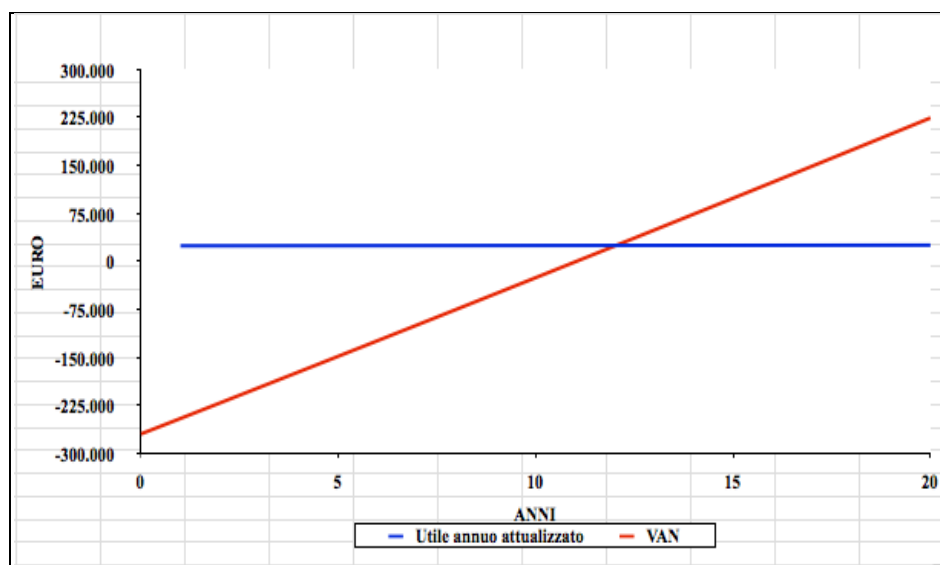


Grafico 7: Tempo di ritorno relativo all'ORE 7.

### 8.14 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 7 CON INCENTIVO

| TIPO DI INTERVENTO            | O.R.E. 7 |
|-------------------------------|----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE         | 270.00   |
| RISPARMIO ANNUO               | 24.250   |
| INCENTIVO ANNUO (5 annualità) | 21.600   |
| TASSO D'INTERESSE             | 3        |
| INFLAZIONE                    | 1,6      |
| TASSO DI SCONTO               | 1,38     |

Tabella 100: Dati generali ORE 7 con incentivi.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m³] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN)<br>[€] |
|------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                             | 0                         | -270.000                              | 0                        | -270.000                                       |
| 1    | 290.300                         | 0,08                             | 45.850                    | -224.150                              | 45.850                   | -224.150                                       |
| 2    | 290.300                         | 0,08                             | 45.850                    | -178.300                              | 45.950                   | -178.200                                       |
| 3    | 290.300                         | 0,08                             | 45.850                    | -132.450                              | 46.051                   | -132.149                                       |
| 4    | 290.300                         | 0,08                             | 45.850                    | -86.600                               | 46.152                   | -85.997                                        |
| 5    | 290.300                         | 0,08                             | 45.850                    | -40.750                               | 46.253                   | -39.744                                        |
| 6    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | -16.500                               | 24.466                   | -15.278                                        |
| 7    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 7.750                                 | 24.520                   | 9.242                                          |
| 8    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 32.000                                | 24.573                   | 33.815                                         |
| 9    | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 56.250                                | 24.627                   | 58.442                                         |
| 10   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 80.500                                | 24.681                   | 83.123                                         |
| 11   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 104.750                               | 24.735                   | 107.858                                        |
| 12   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 129.000                               | 24.789                   | 132.647                                        |
| 13   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 153.250                               | 24.844                   | 157.491                                        |
| 14   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 177.500                               | 24.898                   | 182.389                                        |
| 15   | 290.300                         | 0,08                             | 24.250                    | 201.750                               | 24.953                   | 206.982                                        |

Tabella 101: Flusso di cassa per ORE 7 con incentivi.

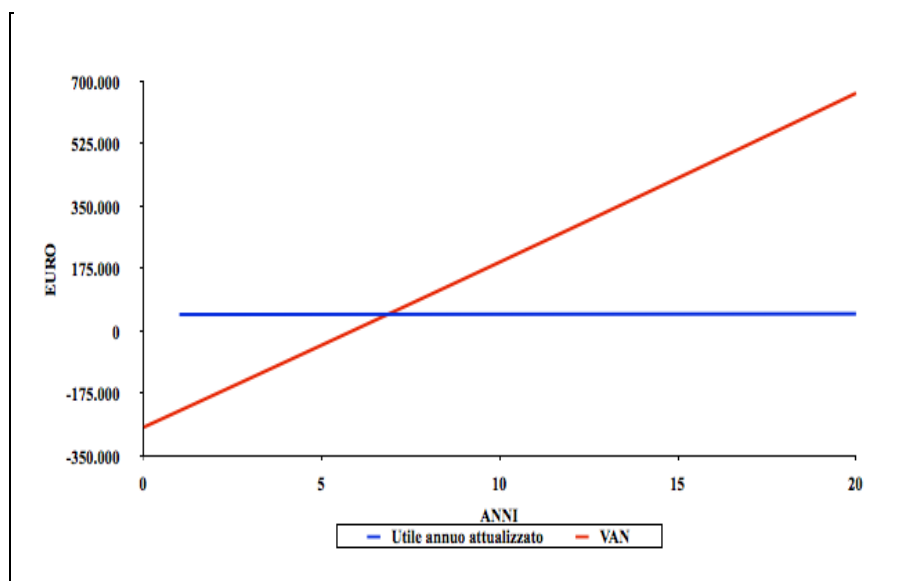


Grafico 8: Tempo di ritorno relativo all'ORE / con incentivi.

**8.15 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 8**

| TIPO DI INTERVENTO        | ORE 8   |
|---------------------------|---------|
| INVESTIMENTO INIZIALE (€) | 103.600 |
| RISPARMIO ANNUO (€)       | 11.500  |
| TASSO D'INTERESSE (%)     | 3       |
| INFLAZIONE (%)            | 1,6     |
| TASSO DI SCONTO (%)       | 1,38    |

Tabella 102: Dati generali ORE 8.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN)<br>[€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -103.600                              | 0                        | -103.600                                       |
| 1    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -92.100                               | 11.500                   | -92.100                                        |
| 2    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -80.600                               | 11.525                   | -80.575                                        |
| 3    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -69.100                               | 11.550                   | -69.024                                        |
| 4    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -57.600                               | 11.576                   | -57.449                                        |
| 5    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -46.100                               | 11.601                   | -45.848                                        |
| 6    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -34.600                               | 11.626                   | -34.221                                        |
| 7    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -23.100                               | 11.652                   | -22.569                                        |
| 8    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -11.600                               | 11.677                   | -10.892                                        |
| 9    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | -100                                  | 11.703                   | 811                                            |
| 10   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 11.400                                | 11.729                   | 12.540                                         |
| 11   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 22.900                                | 11.754                   | 24.295                                         |
| 12   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 34.400                                | 11.780                   | 36.075                                         |
| 13   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 45.900                                | 11.806                   | 47.881                                         |
| 14   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 57.400                                | 11.832                   | 59.713                                         |
| 15   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 68.900                                | 11.858                   | 71.571                                         |

Tabella 103: Flusso di cassa per ORE 8.

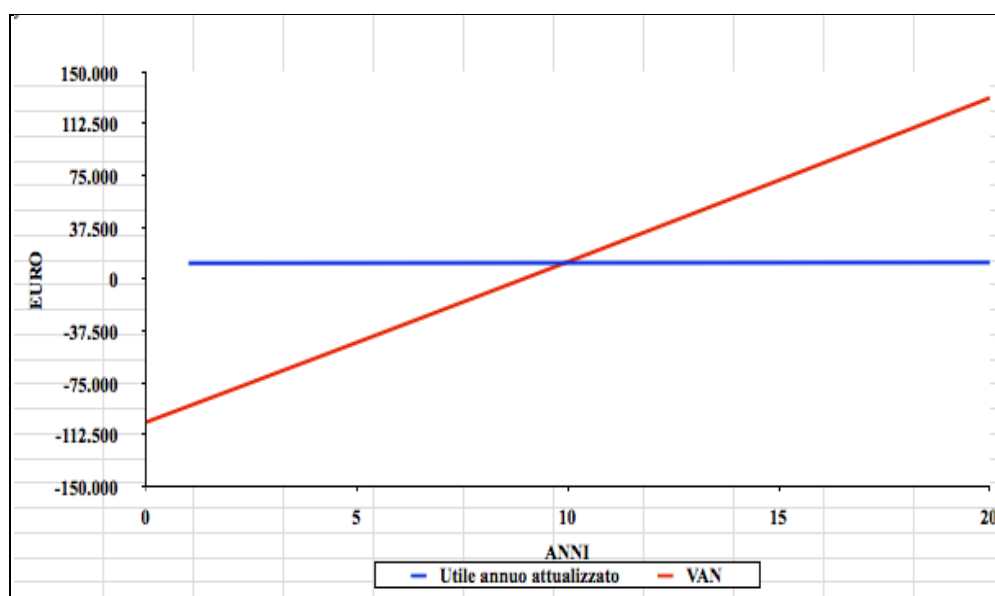


Grafico 9: Tempo di ritorno relativo all'ore 8.

## 8.16 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 8 CON INCENTIVO

| TIPO DI INTERVENTO            | O.R.E. 7 |
|-------------------------------|----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE         | 103.600  |
| RISPARMIO ANNUO               | 11.500   |
| INCENTIVO ANNUO (5 annualità) | 7.200    |
| TASSO D'INTERESSE             | 3        |
| INFLAZIONE                    | 1,6      |
| TASSO DI SCONTO               | 1,38     |

Tabella 104: Dati generali ORE 8 con incentivi.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN)<br>[€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -103.600                              | 0                        | -103.600                                       |
| 1    | 137.500                         | 0,08                                          | 18.700                    | -84.900                               | 18.700                   | -84.900                                        |
| 2    | 137.500                         | 0,08                                          | 18.700                    | -66.200                               | 18.741                   | -66.159                                        |
| 3    | 137.500                         | 0,08                                          | 18.700                    | -47.500                               | 18.782                   | -47.377                                        |
| 4    | 137.500                         | 0,08                                          | 18.700                    | -28.800                               | 18.823                   | -28.554                                        |
| 5    | 137.500                         | 0,08                                          | 18.700                    | -10.100                               | 18.864                   | -9.690                                         |
| 6    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 1.400                                 | 11.626                   | 1.936                                          |
| 7    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 12.900                                | 11.652                   | 13.588                                         |
| 8    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 24.400                                | 11.677                   | 25.265                                         |
| 9    | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 35.900                                | 11.703                   | 36.968                                         |
| 10   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 47.400                                | 11.729                   | 48.697                                         |
| 11   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 58.900                                | 11.754                   | 60.451                                         |
| 12   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 70.400                                | 11.780                   | 72.231                                         |
| 13   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 81.900                                | 11.806                   | 84.037                                         |
| 14   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 93.400                                | 11.832                   | 95.869                                         |
| 15   | 137.500                         | 0,08                                          | 11.500                    | 104.900                               | 11.858                   | 107.727                                        |

Tabella 105. Flusso di cassa per ORE 8 con incentivi.

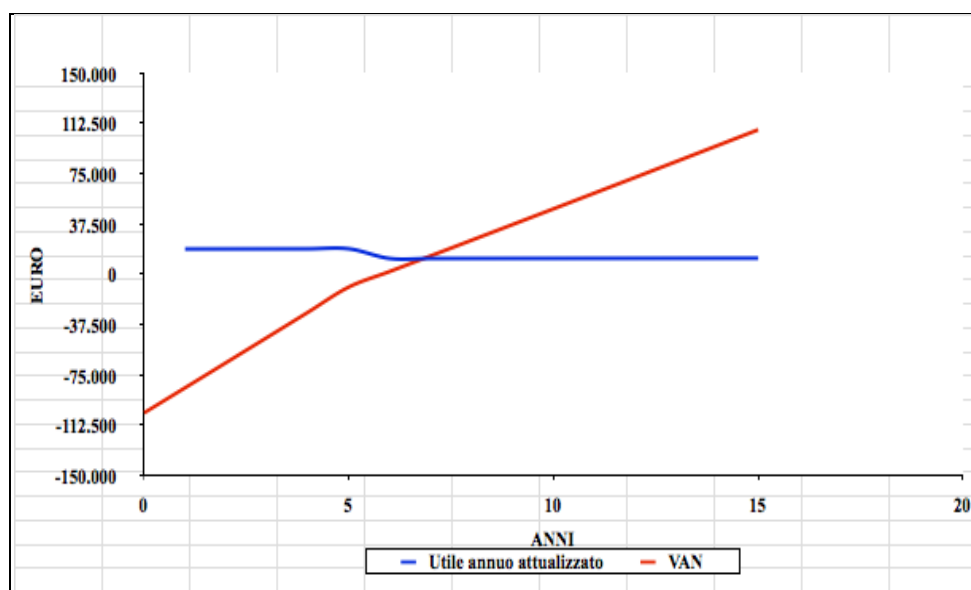


Grafico 10: Tempo di ritorno relativo all'ORE 8 con incentivi.

**8.17 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO RELATIVO ALL'INTERVENTO 9**

| TIPO DI INTERVENTO    | ORE 9 |
|-----------------------|-------|
| INVESTIMENTO INIZIALE | 7.500 |
| RISPARMIO ANNUO       | 1.670 |
| TASSO D'INTERESSE     | 3     |
| INFLAZIONE            | 1,6   |
| TASSO DI SCONTO       | 1,38  |

Tabella 106: Dati generali per ORE 9

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br><br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br><br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br><br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br><br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN)<br>[€] |
|------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| 0    | 0                                   | 0,08                                              | 0                             | -7.500                                | 0                            | -7.500                                         |
| 1    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | -5.830                                | 1.670                        | -5.830                                         |
| 2    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | -4.160                                | 1.674                        | 4.156                                          |
| 3    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | -2.490                                | 1.677                        | -2.479                                         |
| 4    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | -820                                  | 1.681                        | -798                                           |
| 5    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 850                                   | 1.685                        | 887                                            |
| 6    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 2.520                                 | 1.688                        | 2.575                                          |
| 7    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 4.190                                 | 1.692                        | 4.267                                          |
| 8    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 5.860                                 | 1.696                        | 5.963                                          |
| 9    | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 7.530                                 | 1.699                        | 7.662                                          |
| 10   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 9.200                                 | 1.703                        | 9.365                                          |
| 11   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 10.870                                | 1.707                        | 11.072                                         |
| 12   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 12.540                                | 1.711                        | 12.783                                         |
| 13   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 14.210                                | 1.714                        | 14.497                                         |
| 14   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 15.880                                | 1.718                        | 16.215                                         |
| 15   | 19.970                              | 0,08                                              | 1.670                         | 17.550                                | 1.722                        | 17.937                                         |

Tabella 107: Flusso di cassa per ORE 9.

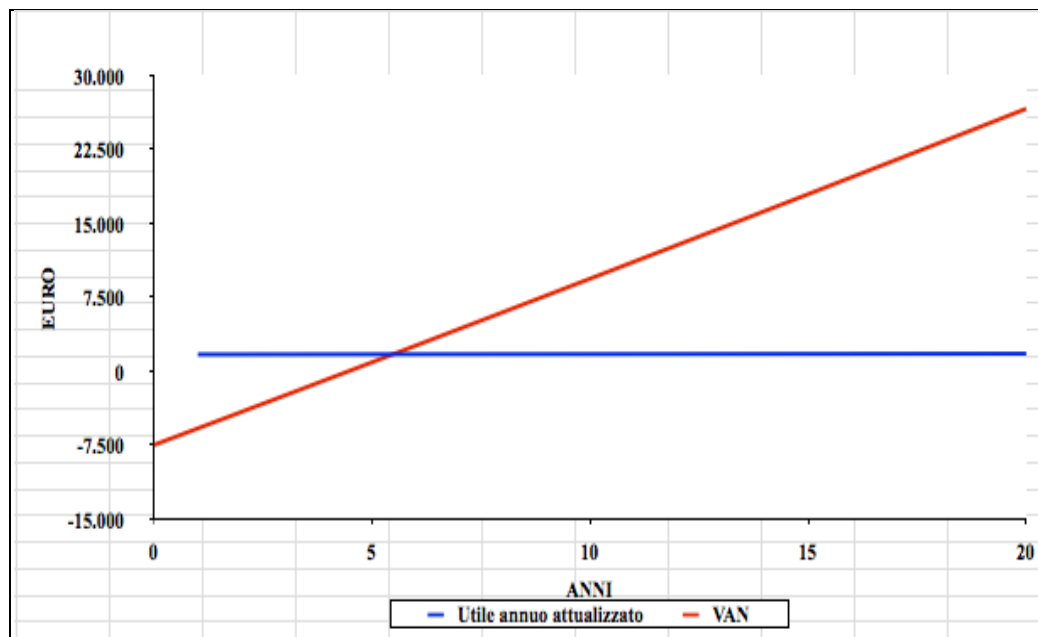


Grafico 11: Tempo di ritorno relativo all'ORE 9.

**8.18 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 10**

| TIPO DI INTERVENTO    | O.R.E. 10 |
|-----------------------|-----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE | 45.000    |
| RISPARMIO ANNUO       | 9.870     |
| TASSO D'INTERESSE     | 3         |
| INFLAZIONE            | 1,6       |
| TASSO DI SCONTO       | 1,38      |

Tabella 108: Dati generali per ORE 10.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE[<br>€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN) [€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -45.000                               | 0                        | -45.000                                     |
| 1    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | -35.130                               | 9.870                    | -35.130                                     |
| 2    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | -25.260                               | 9.892                    | -25.238                                     |
| 3    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | -15.390                               | 9.913                    | -15.325                                     |
| 4    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | -5.520                                | 9.935                    | -5.390                                      |
| 5    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 4.350                                 | 9.957                    | 4.567                                       |
| 6    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 14.220                                | 9.979                    | 14.545                                      |
| 7    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 24.090                                | 10.000                   | 24.546                                      |
| 8    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 33.960                                | 10.022                   | 34.568                                      |
| 9    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 43.830                                | 10.066                   | 44.612                                      |
| 10   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 53.700                                | 10.088                   | 54.679                                      |
| 11   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 63.570                                | 10.110                   | 64.767                                      |
| 12   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 73.440                                | 10.133                   | 74.877                                      |
| 13   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 83.310                                | 10.155                   | 85.010                                      |
| 14   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 93.180                                | 10.177                   | 95.165                                      |
| 15   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 103.050                               | 10.199                   | 105.342                                     |

Tabella 109: Flusso di cassa per ORE 10.

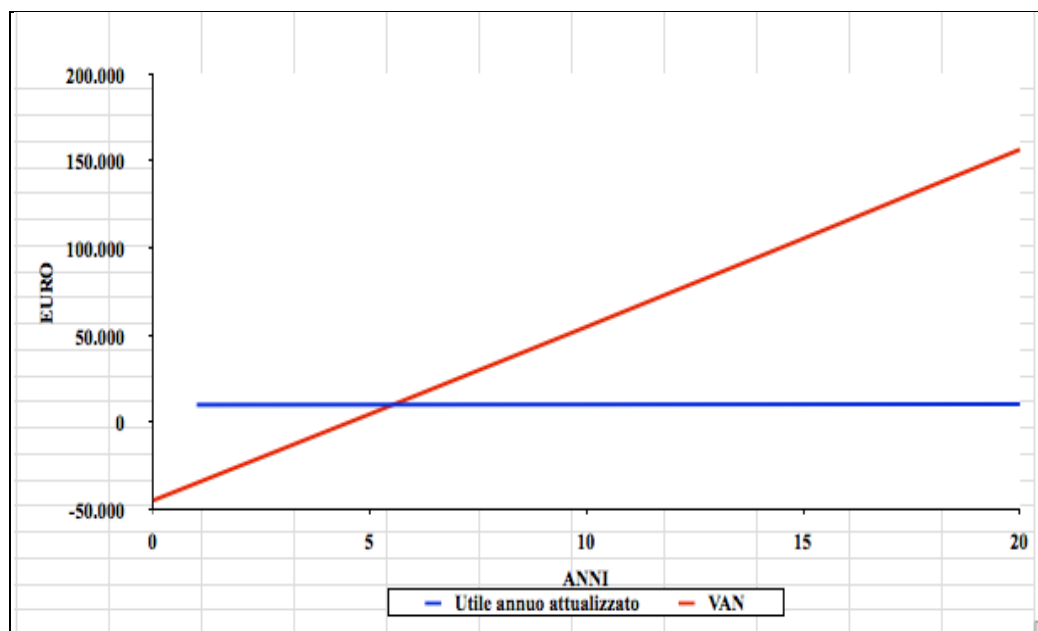


Grafico 12: Tempo di ritorno relativo all'ORE 10.

### 8.19 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 10 CON INCENTIVO

| TIPO DI INTERVENTO            | O.R.E. 10 |
|-------------------------------|-----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE         | 45.000    |
| RISPARMIO ANNUO               | 9.870     |
| INCENTIVO ANNUO (5 annualità) | 5.200     |
| TASSO D'INTERESSE             | 3         |
| INFLAZIONE                    | 1,6       |
| TASSO DI SCONTO               | 1,38      |

Tabella 110: Dati generali ORE 10 con incentivi.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE<br>[€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN) [€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -45.000                               | 0                        | -45.000                                     |
| 1    | 118.334                         | 0,08                                          | 15.070                    | -29.930                               | 15.070                   | -29.930                                     |
| 2    | 118.334                         | 0,08                                          | 15.070                    | -14.860                               | 15.103                   | -14.827                                     |
| 3    | 118.334                         | 0,08                                          | 15.070                    | 210                                   | 15.136                   | 309                                         |
| 4    | 118.334                         | 0,08                                          | 15.070                    | 15.280                                | 15.169                   | 15.478                                      |
| 5    | 118.334                         | 0,08                                          | 15.070                    | 30.350                                | 15.202                   | 30.680                                      |
| 6    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 40.220                                | 9.979                    | 40.659                                      |
| 7    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 50.090                                | 10.000                   | 50.659                                      |
| 8    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 59.960                                | 10.022                   | 60.681                                      |
| 9    | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 69.830                                | 10.066                   | 70.747                                      |
| 10   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 79.700                                | 10.088                   | 80.835                                      |
| 11   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 89.570                                | 10.110                   | 90.945                                      |
| 12   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 99.440                                | 10.133                   | 101.078                                     |
| 13   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 109.310                               | 10.155                   | 111.233                                     |
| 14   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 119.180                               | 10.177                   | 121.410                                     |
| 15   | 118.334                         | 0,08                                          | 9.870                     | 129.050                               | 10.199                   | 131.609                                     |

Tabella 111: Flusso di cassa per ORE 10 con incentivi.

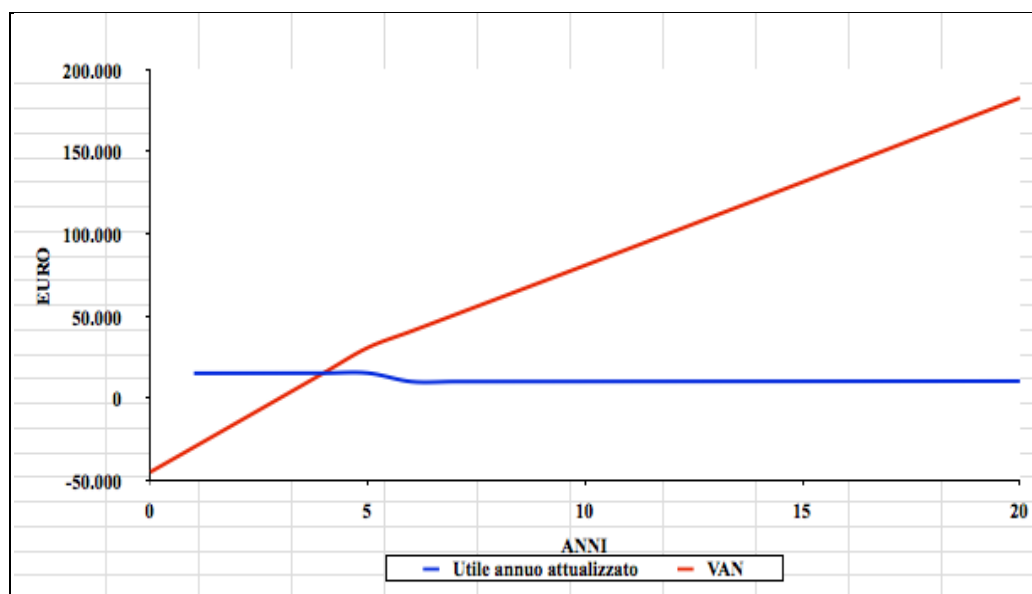


Grafico 13: Tempo di ritorno relativo all'ORE 10 con incentivi.

**8.20 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 11**

| TIPO DI INTERVENTO    | O.R.E. 11 |
|-----------------------|-----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE | 135.000   |
| RISPARMIO ANNUO       | 18.600    |
| TASSO D'INTERESSE     | 3         |
| INFLAZIONE            | 1,6       |
| TASSO DI SCONTO       | 1,38      |

Tabella 112: Dati generali ORE 11.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE[<br>€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN) [€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -135.000                              | 0                        | -135.000                                    |
| 1    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -116.400                              | 18.600                   | -116.400                                    |
| 2    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -97.800                               | 18.641                   | -97.759                                     |
| 3    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -79.200                               | 18.682                   | -79.078                                     |
| 4    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -60.600                               | 18.722                   | -60.355                                     |
| 5    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -42.000                               | 18.805                   | -41.592                                     |
| 6    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -23.400                               | 18.846                   | -22.787                                     |
| 7    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | -4.800                                | 18.887                   | -3941                                       |
| 8    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 13.800                                | 18.928                   | 14.946                                      |
| 9    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 32.400                                | 18.970                   | 33.874                                      |
| 10   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 51.000                                | 19.011                   | 52.844                                      |
| 11   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 69.600                                | 19.053                   | 71.855                                      |
| 12   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 88.200                                | 19.095                   | 90.909                                      |
| 13   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 106.800                               | 19.137                   | 110.003                                     |
| 14   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 125.400                               | 19.179                   | 129.140                                     |
| 15   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 144.000                               | 19.221                   | 148.319                                     |

Tabella 113: Flusso di cassa per ORE 11

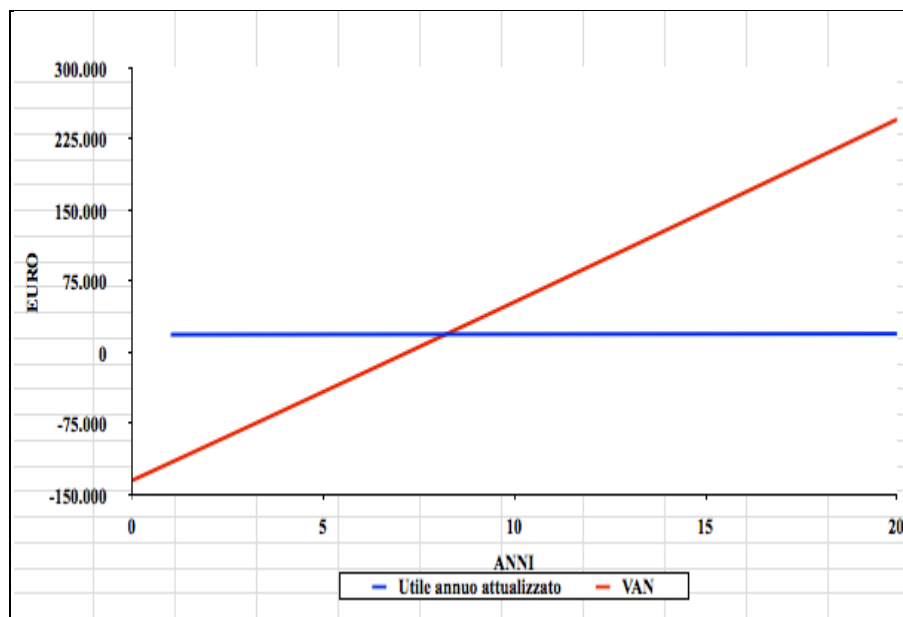


Grafico 14: Tempo di ritorno relativo all'ORE 11.

## 8.21 ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO 11 CON INCENTIVO

| TIPO DI INTERVENTO            | O.R.E. 11 |
|-------------------------------|-----------|
| INVESTIMENTO INIZIALE         | 135.000   |
| RISPARMIO ANNUO               | 18.600    |
| INCENTIVO ANNUO (5 annualità) | 12.400    |
| TASSO D'INTERESSE             | 3         |
| INFLAZIONE                    | 1,6       |
| TASSO DI SCONTO               | 1,38      |

Tabella 114: Dati generali ORE 11 con incentivi.

| ANNO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>[kWh] | PREZZO<br>COMBUSTIBILE<br>[€/m <sup>3</sup> ] | BENEFICIO<br>ANNUO<br>[€] | FLUSSO DI<br>CASSA<br>COSTANTE[<br>€] | BENEFICIO<br>ATT<br>[€]. | FLUSSO DI<br>CASSA<br>SCONTATO<br>(VAN) [€] |
|------|---------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| 0    | 0                               | 0,08                                          | 0                         | -135.000                              | 0                        | -135.000                                    |
| 1    | 222.950                         | 0,08                                          | 31.000                    | -104.000                              | 31.000                   | -104.000                                    |
| 2    | 222.950                         | 0,08                                          | 31.000                    | -73.000                               | 31.068                   | -72.932                                     |
| 3    | 222.950                         | 0,08                                          | 31.000                    | -42.000                               | 31.136                   | -41.796                                     |
| 4    | 222.950                         | 0,08                                          | 31.000                    | -11.000                               | 31.204                   | -10.592                                     |
| 5    | 222.950                         | 0,08                                          | 31.000                    | 20.000                                | 31.272                   | 20.680                                      |
| 6    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 38.600                                | 18.846                   | 39.485                                      |
| 7    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 57.200                                | 18.887                   | 58.330                                      |
| 8    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 75.800                                | 18.928                   | 77.217                                      |
| 9    | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 94.400                                | 18.970                   | 96.146                                      |
| 10   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 113.000                               | 19.011                   | 115.116                                     |
| 11   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 131.600                               | 19.053                   | 134.127                                     |
| 12   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 150.200                               | 19.095                   | 153.180                                     |
| 13   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 168.800                               | 19.137                   | 172.275                                     |
| 14   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 187.400                               | 19.179                   | 210.590                                     |
| 15   | 222.950                         | 0,08                                          | 18.600                    | 206.000                               | 19.221                   | 229.811                                     |

Tabella 115: Flusso di cassa relativo all'ORE 11 con incentivi.

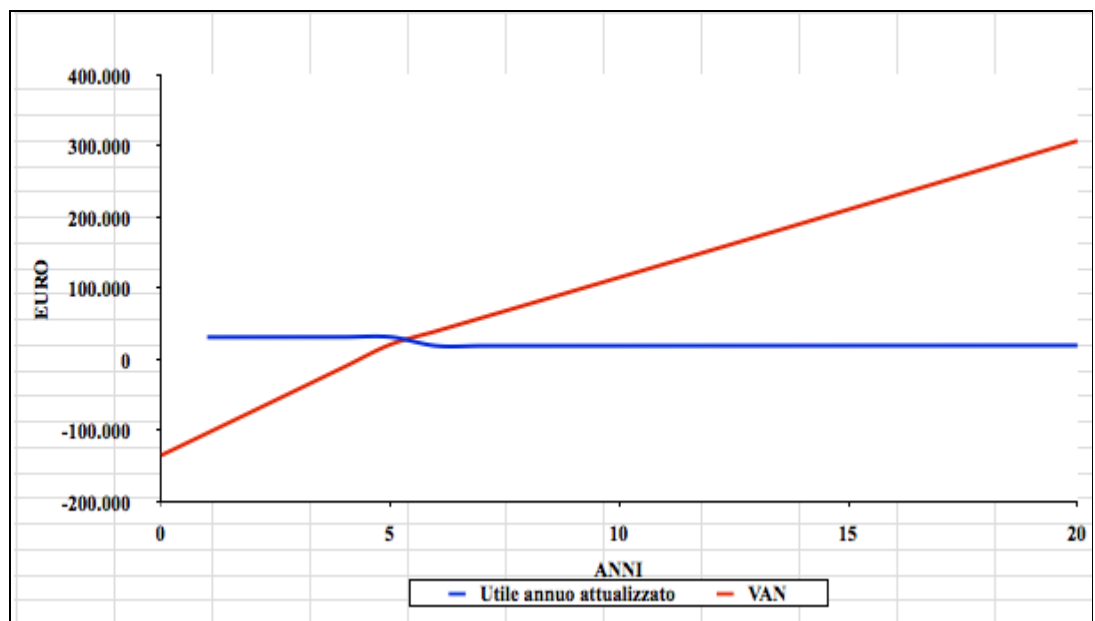


Grafico 15: Tempo di ritorno ORE 11 con incentivi.

## 8.22 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella successiva tabella n. 116 vengono sintetizzati i costi relativi all'esecuzione delle opere previste nelle Opportunità di Risparmio Energetico paventate, come da prezzo della Regione Lazio dell'anno 2012. Vengono pure riportati i valori dei risparmi annui conseguibili a seguito della realizzazione delle varie Opportunità di Risparmio Energetico, i tempi di ritorno degli investimenti, anche in presenza di incentivi, i quantitativi di energia risparmiata e la percentuale di miglioramento.

| TIPO<br>D'INTERVENTO     | COSTO<br>INTERVENTO | RISPARMIO<br>ANNUO | PAY BACK<br>SENZA<br>INCENTIVO | PAY BACK<br>CON<br>INCENTIVO | ENERGIA<br>RISPARMIATA<br>kWh | MIGLIORAMENTO<br>ENERGETICO<br>% |
|--------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| EX ANTE                  |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 1                 | 153.250             | 12.100             | 12/13                          | NO                           | 144.285                       | 27                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 2                 | 168.200             | 12.600             | 13/14                          | 7/8                          | 151.310                       | 28                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 3                 | 183.800             | 13.000             | 14/15                          | 8/9                          | 155.766                       | 29                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 4                 | 290.000             | 10.800             | 26/27                          | 22/23                        | 129.459                       | 24                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 5                 | 140.000             | 5.050              | 27/28                          | 18/19                        | 60.351                        | 11                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 6                 | 410.500             | 28.900             | 14/15                          | 8/9                          | 346.761                       | 65                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 7                 | 271.800             | 24.250             | 11/12                          | 6/7                          | 290.377                       | 54                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 8                 | 103.600             | 11.500             | 8/9                            | 5/6                          | 137.537                       | 25                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 9                 | 7.500               | 1.670              | 4/5                            | NO                           | 19.970                        | 3,7                              |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 10                | 45.000              | 9.870              | 4/5                            | 2/3                          | 118.334                       | 22                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |
| O.R.E. 11                | 148.600             | 18.600             | 7/8                            | 4/5                          | 222.950                       | 42                               |
| <i>"tailored rating"</i> |                     |                    |                                |                              |                               |                                  |

**Tabella 116: Tabella riassuntiva.**

Come evidenziato nella successiva tab. 117, l'intervento che potrebbe garantire il miglioramento energetico più marcato è l'ORE 6. Tale intervento, radicale e diffuso, non è stato tuttavia considerato nell'analisi economica in quanto ritenuto dalla committenza eccessivo rispetto alle previsioni di spesa. Escludendo pertanto l'ORE 6 l'interesse si è focalizzato sulle ORE 7 e 11, che garantirebbero dai calcoli effettuati rispettivamente la seconda e la terza percentuale di miglioramento energetico.

| NUMERO D'ORDINE | TIPO DI INTERVENTO | MIGLIORAMENTO ENERGETICO (%) |
|-----------------|--------------------|------------------------------|
| <b>1</b>        | O.R.E. 6           | 65                           |
| <b>2</b>        | O.R.E. 7           | 54                           |
| <b>3</b>        | O.R.E. 11          | 42                           |
| <b>4</b>        | O.R.E. 3           | 29                           |
| <b>5</b>        | O.R.E. 2           | 28                           |
| <b>6</b>        | O.R.E.1            | 27                           |
| <b>7</b>        | O.R.E. 8           | 25                           |
| <b>8</b>        | O.R.E. 4           | 24                           |
| <b>9</b>        | O.R.E. 10          | 22                           |
| <b>10</b>       | O.R.E. 5           | 11                           |
| <b>11</b>       | O.R.E. 9           | 3,7                          |

**Tabella 117: ORE ordinate per percentuale di miglioramento.**

Nella tabella 118, invece gli interventi proposti sono stati ordinati in base al tempo di ritorno dell'investimento, sia nel caso in cui si acceda all'incentivo previsto, sia nel caso in cui si opti per non sfruttare tale opportunità.

| NUMERO D'ORDINE | TIPO DI INTERVENTO | PAY BACK senza incentivo | PAY BACK con incentivo |
|-----------------|--------------------|--------------------------|------------------------|
| <b>1</b>        | O.R.E. 10          | 4/5                      | 2/3                    |
| <b>2</b>        | O.R.E. 9           | 4/5                      | no                     |
| <b>3</b>        | O.R.E. 11          | 7/8                      | 4/5                    |
| <b>4</b>        | O.R.E. 8           | 8/9                      | 5/6                    |
| <b>5</b>        | O.R.E. 7           | 11/12                    | 6/7                    |
| <b>6</b>        | O.R.E.1            | 12/13                    | no                     |
| <b>7</b>        | O.R.E. 2           | 13/14                    | 7/8                    |
| <b>8</b>        | O.R.E. 3           | 14/15                    | 8/9                    |
| <b>9</b>        | O.R.E. 6           | 14/15                    | 8/9                    |
| <b>10</b>       | O.R.E. 4           | 26/27                    | 22/23                  |
| <b>11</b>       | O.R.E. 5           | 27/28                    | 18/19                  |

**Tabella 118:ORE ordinate per tempo di ritorno degli investimenti.**

Nella tabella 119 le ORE sono state invece ordinate in base all'ammontare delle somme necessarie alla realizzazione delle opere.

| NUMERO D'ORDINE | TIPO DI INTERVENTO | COSTO INTERVENTO (€) |
|-----------------|--------------------|----------------------|
| <b>1</b>        | O.R.E. 9           | 7.500                |
| <b>2</b>        | O.R.E. 10          | 45.000               |
| <b>3</b>        | O.R.E. 8           | 103.600              |
| <b>4</b>        | O.R.E. 5           | 140.000              |
| <b>5</b>        | O.R.E. 11          | 148.600              |
| <b>6</b>        | O.R.E. 1           | 153.250              |
| <b>7</b>        | O.R.E. 2           | 168.200              |
| <b>8</b>        | O.R.E. 3           | 183.800              |
| <b>9</b>        | O.R.E. 7           | 271.800              |
| <b>10</b>       | O.R.E. 4           | 290.000              |
| <b>11</b>       | O.R.E. 6           | 410.500              |

Tabella 119: ORE ordinate in base ai relativi costi realizzativi.

## **9. ANALISI DEGLI SCAMBI TERMICI IN REGIME DINAMICO**

La differenza tra l'analisi statica (i cui risultati sono stati espressi nei capitoli precedenti) e quella dinamica consiste principalmente nella scelta di alcuni parametri che nel caso stazionario vengono mantenuti costanti nel tempo, mentre in quello dinamico vengono fatti variare.<sup>[12]</sup> Nell'analisi quasi stazionaria effettuata fino ad ora, le temperature esterne venivano fatte variare solo mensilmente approssimando così in maniera grossolana il regime reale. L'analisi dinamica che invece risulta molto più aderente a quanto avviene realmente, considera i dati climatici variabili su base oraria e quindi transienti nel corso della giornata.

Le simulazioni in regime stazionario consentono di indagare solo in modo parziale le reali prestazioni degli edifici, in quanto partono dal presupposto che la variazione ciclica delle temperature e il contributo della radiazione solare possano essere trascurati, per cui i dati climatici sono molto aggregati. Le simulazioni effettuate in regime dinamico, invece, permettono un'analisi molto più realistica e completa valutando nel dettaglio i contributi apportati dall'inerzia termica dell'involucro e dalla ventilazione naturale, che hanno ripercussioni sulle prestazioni termiche sia in regime invernale che estivo.

E' possibile affermare, dunque, che il reale comportamento termico dell'edificio è strettamente dipendente dal variare delle condizioni interne all'edificio (determinate dalla modalità di occupazione e di gestione degli impianti), e contemporaneamente dalle fluttuazioni delle condizioni climatiche che si verificano all'esterno. Per individuare, quindi, il reale comportamento dell'immobile, è necessario procedere con valutazioni di tipo dinamico che considerino la variabile temporale correlata alla capacità termica dei materiali.

Effettuare una valutazione di tipo dinamico consente quindi di considerare non solo la resistenza termica (unica caratteristica dell'involucro edilizio considerata nell'analisi stazionaria), ma anche l'inerzia termica, peculiarità questa che consente all'involucro edilizio di mitigare gli effetti del clima esterno sull'ambiente abitativo, in particolare durante la stagione estiva.<sup>[13]</sup>

Nei successivi capitoli l'edificio verrà analizzato con il software “TAS Engineering” prodotto dalla Enironmental Design Solutions Limited.<sup>[14]</sup>

## **9.1 STRUMENTO DI CALCOLO UTILIZZATO: TAS ENGINEERING 9.2.1.7**

TAS, acronimo di Thermal Analysis Software, è un programma per la simulazione termica in regime dinamico degli edifici e degli impianti, nato circa venticinque anni fa in ambito universitario e successivamente commercializzato e diffuso in tutto il mondo. Il programma si basa su un metodo di calcolo orario che tiene conto delle proprietà capacitative dell'edificio e degli impianti ed è stato realizzato e sviluppato da un gruppo di lavoro multidisciplinare che ha definito collegialmente i codici di calcolo, rendendoli assai affidabili, sia in termini di precisione che di rapidità di calcolo. Il programma dispone un motore di calcolo, in grado di eseguire le simulazioni circa trentacinque volte più velocemente di ogni altro software basato su EnergyPlus.

TAS si basa su una tecnologia multicore che gli consente di utilizzare in parallelo tutti i core del processore. In questo modo se il processore è quadcore il programma è in grado di eseguire quattro simulazioni dinamiche in parallelo, rendendone estremamente veloce l'applicazione agli edifici per la certificazione LEED.

Il programma è composto da una suite unica che comprende il modellatore tridimensionale 3D Modeller, che consente di modellare l'edificio direttamente all'interno del software o di importare ed esportare modelli in formato gbXML, il simulatore dinamico Building Simulator con il quale vengono settati i parametri della simulazione ed eseguiti i calcoli, ed un visualizzatore di risultati Result Viewer con in quale è possibile filtrare i risultati e salvare ed esportarli i dati in ogni formato (xls, csv, pdf, ecc.). Il programma ha al suo interno diverse macros ed utilities per l'esportazione dei principali risultati di calcolo (carichi termici per riscaldamento, raffrescamento, umidificazione e deumidificazione, potenze richieste per riscaldamento e raffrescamento locale per locale e per l'intero edificio, verifiche di comfort (calcolo del voto medio previsto PMV e della percentuale di insoddisfatti PPD per ogni ambiente e

per l'intero edificio nonché verifica della frequenza di ogni tipo di fenomeno fisico relativo all'edificio).

### 9.1.1 Creazione del modello geometrico

Il modello geometrico (fig. 33) della struttura da analizzare è stato realizzato con 3D Modeller. Si è partiti disegnando i tre piani, scantinato, piano terra e piano primo, definendone i confini esterni, le partizioni interne e le quote.

In questa fase sono state specificate anche le caratteristiche termiche e fisiche degli elementi costruttivi (pareti perimetrali, solai e finestre), ininfluenti nella fase di rendering tridimensionale, ma rilevanti nella successiva fase di simulazione.

Oltre che la struttura oggetto di analisi, sono stati reconsiderati anche gli edifici contigui e la vegetazione circostante, in quanto fondamentali per una corretta definizione degli ombreggiamenti e dei conseguenti carichi termici solari adottati nella successiva fase di analisi energetica.

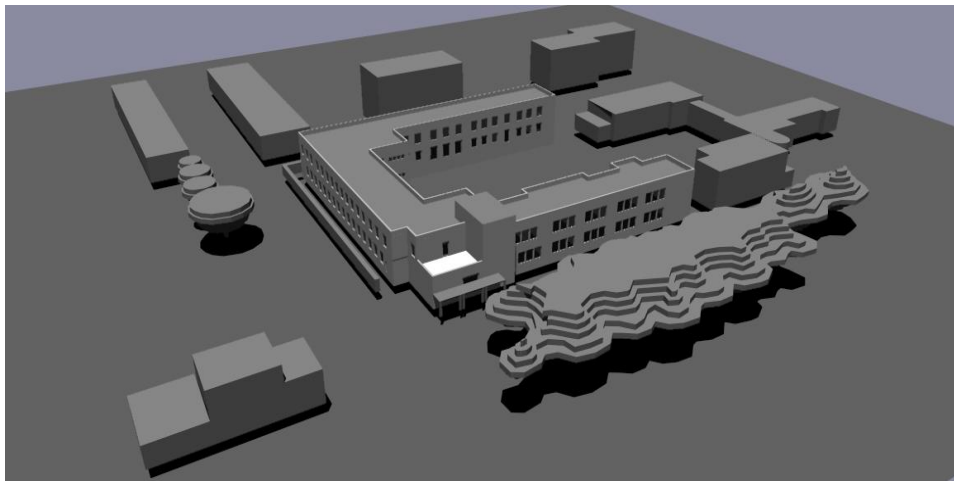


Figura 32: Modello tridimensionale della struttura oggetto di studio.

Sempre nella fase di definizione del modello geometrico, sono state individuate le differenti zone termiche.

La zona termica può essere definita come una porzione di edificio climatizzata ad una determinata temperatura, con identiche modalità di regolazione. Le norme tecniche indicano che non è necessario suddividere un ambiente in più zone termiche se:

- a. Le temperature interne di regolazione per il riscaldamento non differiscono di più di 4°C;
- b. Gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;
- c. In caso di un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'aria climatizzata è servita dallo stesso impianto.

Pertanto la struttura analizzata potrebbe essere suddivisa in poche zone (camere, uffici, vani scala, mensa, cucina), come in effetti è stato fatto in fase di valutazione semi stazionaria. Tuttavia la possibilità di eseguire un approfondito studio dell'edificio offerta dal programma utilizzato, ha di fatto consentito una dettagliata suddivisione dell'immobile arrivando ad individuare ben 87 zone termiche, evidenziate nella figura 34 dalle differenti colorazioni. Per ogni zona termica è stato necessario definire geometricamente il volume lordo  $V$  degli ambienti riscaldati e le superfici  $S$  disperdenti che delimitano tale volume. Sono stati inoltre individuati:

- I confini disperdenti:
  - verso l'esterno;
  - verso gli ambienti interni non riscaldati;
  - verso il terreno.
- I confini non disperdenti verso le altre zone ugualmente climatizzate.

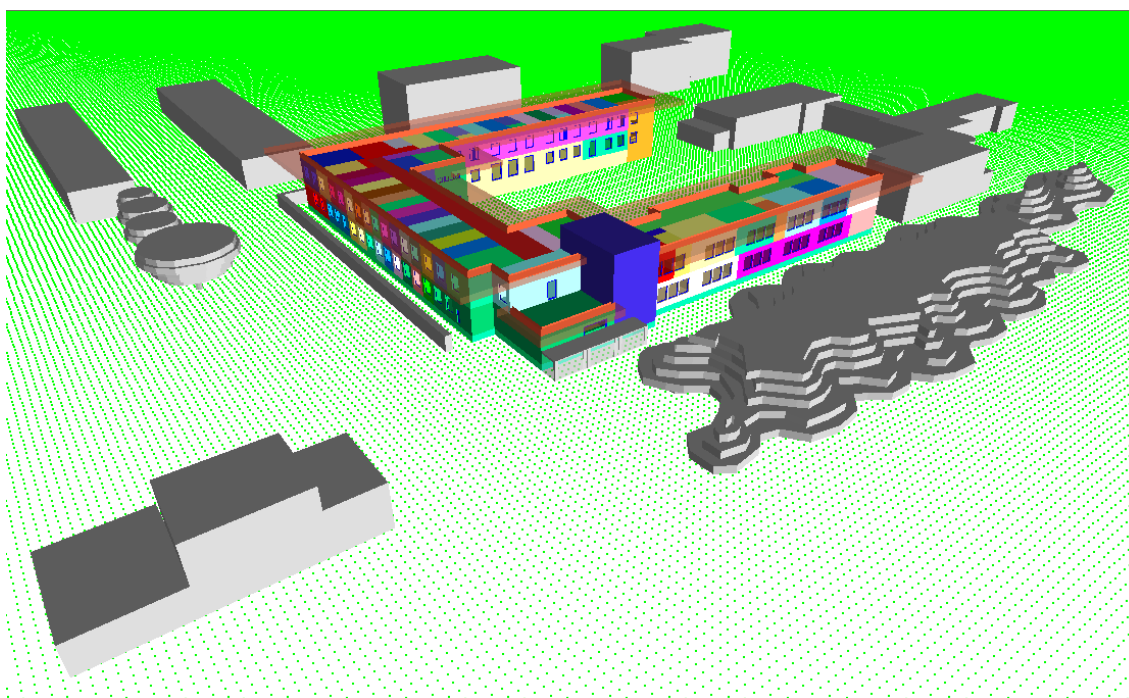


Figura 33: Suddivisione della struttura in 87 zone termiche distinte con diversi colori.

### 9.1.2 Dati climatici

Prima di avviare la simulazione e dopo aver descritto fisicamente la struttura, è stato necessario individuare le condizioni meteorologiche tipiche della stazione, e le condizioni interne dell'immobile.

| SABAUDIA (LT) Dati climatici secondo la norma UNI 10349 |            |           |                                         |                      |                      |                      |                    |
|---------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|                                                         | T<br>media | Pressione | Irraggiamento giornaliero medio mensile |                      |                      |                      | Durata del<br>mese |
|                                                         |            |           | Orizzontale                             | Sud                  | Est-<br>Ovest        | Nord                 |                    |
|                                                         | [°C]       | [Pa]      | [MJ/m <sup>2</sup> ]                    | [MJ/m <sup>2</sup> ] | [MJ/m <sup>2</sup> ] | [MJ/m <sup>2</sup> ] | [giorni]           |
| <b>Gennaio</b>                                          | 8,33       | 865       | 6,70                                    | 11,49                | 5,31                 | 2,13                 | 31                 |
| <b>Febbraio</b>                                         | 9,03       | 896       | 9,60                                    | 12,49                | 7,23                 | 2,92                 | 28                 |
| <b>Marzo</b>                                            | 10,93      | 949       | 14,40                                   | 13,30                | 10,32                | 4,05                 | 31                 |
| <b>Aprile</b>                                           | 13,53      | 1123      | 19,50                                   | 11,89                | 13,21                | 5,77                 | 30                 |
| <b>Maggio</b>                                           | 16,93      | 1377      | 23,80                                   | 10,53                | 15,48                | 8,29                 | 31                 |
| <b>Giugno</b>                                           | 20,93      | 1751      | 27,00                                   | 10,04                | 17,25                | 10,23                | 30                 |
| <b>Luglio</b>                                           | 23,73      | 1941      | 27,90                                   | 10,80                | 18,06                | 9,64                 | 31                 |
| <b>Agosto</b>                                           | 23,83      | 1982      | 24,00                                   | 12,57                | 16,15                | 6,74                 | 31                 |
| <b>Settembre</b>                                        | 21,53      | 1890      | 18,30                                   | 14,66                | 13,01                | 4,47                 | 30                 |
| <b>Ottobre</b>                                          | 17,33      | 1487      | 12,70                                   | 15,75                | 9,63                 | 3,28                 | 31                 |
| <b>Novembre</b>                                         | 12,93      | 1188      | 7,80                                    | 12,83                | 6,17                 | 2,34                 | 30                 |
| <b>Dicembre</b>                                         | 9,53       | 945       | 5,90                                    | 10,97                | 4,75                 | 1,90                 | 31                 |

Tabella 120: Dati climatici Sabaudia (LT) secondo la norma UNI 10349

Nella tab. 120 sono stati riportati i valori forniti dalla UNI 10349 riguardo le condizioni climatiche della stazione oggetto di analisi. Si rammenta tuttavia che tale norma fornendo i dati aggregati mensilmente, non può essere utilizzata in un'analisi di tipo dinamico, mentre rappresenta l'origine dei dati climatici delle analisi di tipo stazionario. In considerazione della vastità di parametri climatici considerati nella fase di simulazione dinamica, si riportano, al solo titolo di esempio, le tabb. 121 e 122 contenenti i dati meteorologici orari della stazione del giorno più freddo e più caldo dell'anno.

| HOURL | GLOBAL<br>SOLAR<br>RADIATION<br>[W/m <sup>2</sup> ] | DIFFUSE<br>SOLAR<br>RADIATION<br>[W/m <sup>2</sup> ] | CLOUD<br>COVER<br>[0-1] | DRY<br>BULB<br>[°C] | RELATIVE<br>HUMIDITY<br>[%] | WIND<br>SPEED<br>[m/s] | WIND<br>DIRECTION<br>[°] |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | -4,00               | 99,00                       | 3,60                   | 85,00                    |
| 2     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | -2,40               | 97,00                       | 4,10                   | 80,00                    |
| 3     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | -2,50               | 94,00                       | 3,10                   | 69,00                    |
| 4     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | -1,00               | 86,00                       | 1,30                   | 72,00                    |
| 5     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | -0,10               | 87,00                       | 1,10                   | 141,00                   |
| 6     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | 0,30                | 85,00                       | 1,50                   | 127,00                   |
| 7     | 0,00                                                | 0,00                                                 | 1,00                    | 0,40                | 95,00                       | 2,10                   | 111,00                   |
| 8     | 4,00                                                | 4,00                                                 | 1,00                    | 1,00                | 87,00                       | 1,90                   | 172,00                   |
| 9     | 16,00                                               | 16,00                                                | 1,00                    | 1,50                | 85,00                       | 1,50                   | 149,00                   |
| 10    | 28,00                                               | 28,00                                                | 1,00                    | 1,80                | 83,00                       | 2,90                   | 108,00                   |
| 11    | 39,00                                               | 39,00                                                | 1,00                    | 1,90                | 90,00                       | 2,30                   | 97,00                    |
| 12    | 60,00                                               | 60,00                                                | 1,00                    | 3,00                | 88,00                       | 2,10                   | 163,00                   |
| 13    | 65,00                                               | 65,00                                                | 1,00                    | 3,40                | 84,00                       | 2,50                   | 175,00                   |
| 14    | 349,00                                              | 163,00                                               | 0,50                    | 6,10                | 81,00                       | 0,90                   | 121,00                   |
| 15    | 231,00                                              | 74,00                                                | 0,10                    | 7,20                | 81,00                       | 1,30                   | 102,00                   |
| 16    | 109,00                                              | 45,00                                                | 0,10                    | 7,40                | 64,00                       | 2,50                   | 146,00                   |
| 17    | 3,00                                                | 3,00                                                 | 0,30                    | 6,60                | 65,00                       | 1,50                   | 100,00                   |
| 18    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,30                    | 6,50                | 64,00                       | 0,90                   | 117,00                   |
| 19    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,30                    | 6,30                | 67,00                       | 1,90                   | 132,00                   |
| 20    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,40                    | 6,20                | 67,00                       | 1,90                   | 155,00                   |
| 21    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,40                    | 6,00                | 68,00                       | 1,10                   | 129,00                   |
| 22    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,40                    | 5,90                | 70,00                       | 0,70                   | 148,00                   |
| 23    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,50                    | 5,70                | 71,00                       | 1,20                   | 154,00                   |
| 24    | 0,00                                                | 0,00                                                 | 0,50                    | 5,50                | 70,00                       | 1,50                   | 104,00                   |

Tabella 121: Dati climatici orari del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)

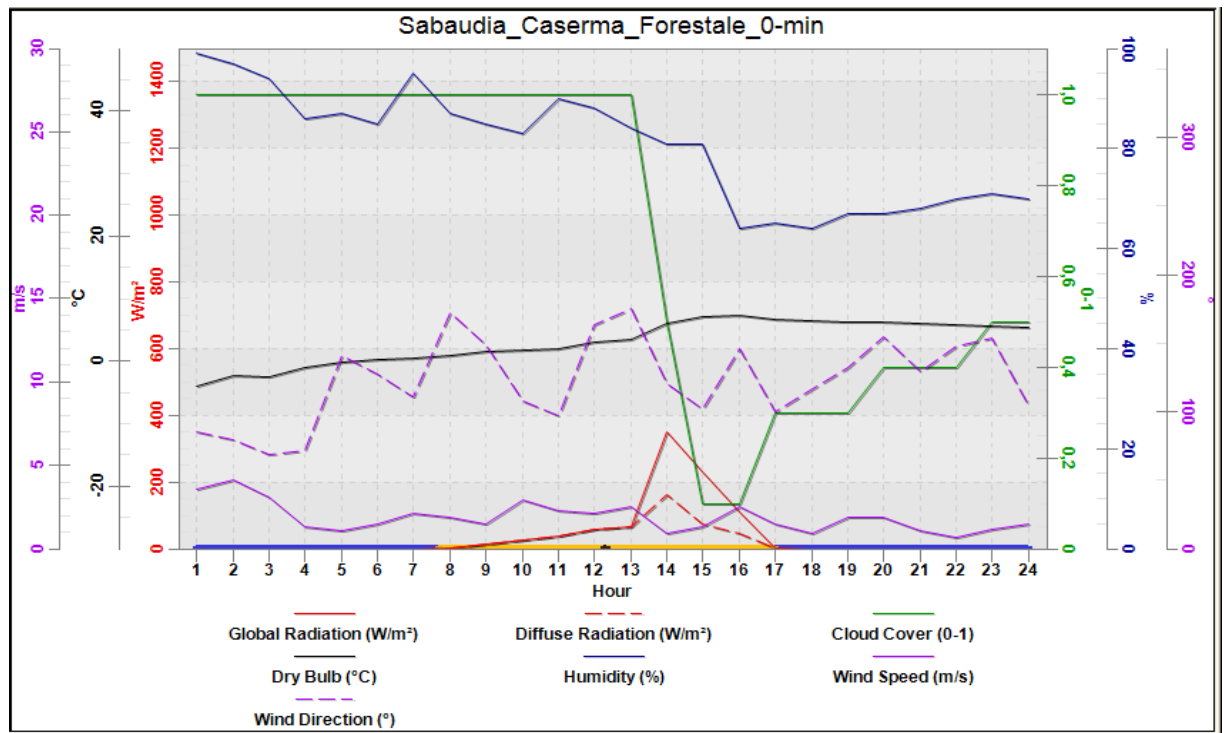


Figura 34: Dati limatici orari del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)

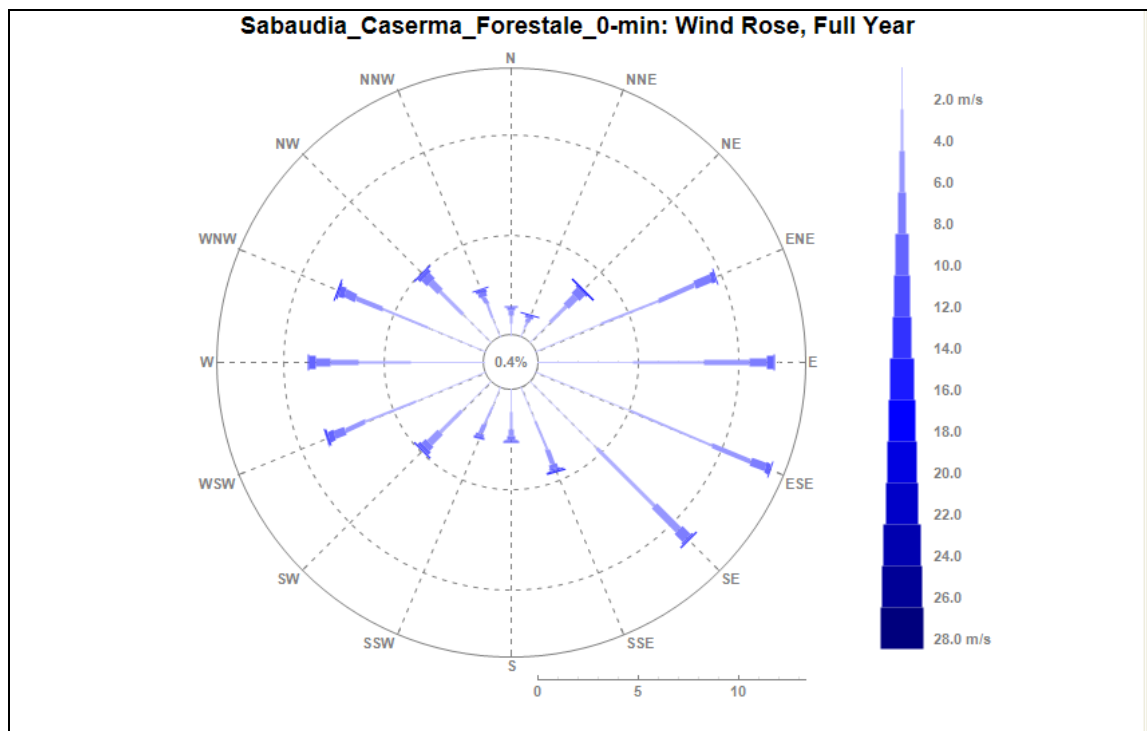


Figura 35: Rosa dei venti del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)

| HOUR | GLOBAL<br>SOLAR<br>RADIATION<br>[W/m2] | DIFFUSE<br>SOLAR<br>RADIATION<br>[W/m2] | CLOUD<br>COVER<br>[0-1] | DRY<br>BULB<br>[°C] | RELATIVE<br>HUMIDITY<br>[%] | WIND<br>SPEED<br>[m/s] | WIND<br>DIRECTION<br>[°] |
|------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1    | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,30                    | 30,50               | 83,00                       | 2,40                   | 298,00                   |
| 2    | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,30                    | 29,70               | 88,00                       | 2,40                   | 269,00                   |
| 3    | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,10                    | 29,30               | 89,00                       | 2,60                   | 274,00                   |
| 4    | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,10                    | 29,00               | 90,00                       | 4,20                   | 315,00                   |
| 5    | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,10                    | 29,10               | 88,00                       | 3,50                   | 316,00                   |
| 6    | 72,00                                  | 35,00                                   | 0,00                    | 29,70               | 91,00                       | 2,20                   | 304,00                   |
| 7    | 243,00                                 | 55,00                                   | 0,00                    | 30,70               | 81,00                       | 2,90                   | 335,00                   |
| 8    | 442,00                                 | 72,00                                   | 0,00                    | 32,10               | 78,00                       | 3,50                   | 313,00                   |
| 9    | 624,00                                 | 81,00                                   | 0,00                    | 33,40               | 70,00                       | 3,30                   | 333,00                   |
| 10   | 770,00                                 | 99,00                                   | 0,00                    | 34,70               | 60,00                       | 3,70                   | 322,00                   |
| 11   | 871,00                                 | 112,00                                  | 0,00                    | 35,80               | 55,00                       | 2,10                   | 302,00                   |
| 12   | 919,00                                 | 113,00                                  | 0,00                    | 36,80               | 54,00                       | 2,20                   | 301,00                   |
| 13   | 908,00                                 | 105,00                                  | 0,00                    | 37,50               | 50,00                       | 2,60                   | 302,00                   |
| 14   | 831,00                                 | 93,00                                   | 0,00                    | 38,00               | 46,00                       | 3,70                   | 319,00                   |
| 15   | 704,00                                 | 74,00                                   | 0,00                    | 38,20               | 48,00                       | 4,60                   | 305,00                   |
| 16   | 530,00                                 | 59,00                                   | 0,00                    | 38,20               | 50,00                       | 3,70                   | 322,00                   |
| 17   | 330,00                                 | 57,00                                   | 0,00                    | 37,70               | 51,00                       | 4,40                   | 298,00                   |
| 18   | 138,00                                 | 81,00                                   | 0,50                    | 36,90               | 52,00                       | 4,60                   | 298,00                   |
| 19   | 4,00                                   | 4,00                                    | 0,50                    | 36,10               | 54,00                       | 2,90                   | 310,00                   |
| 20   | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,40                    | 35,10               | 57,00                       | 1,70                   | 318,00                   |
| 21   | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,40                    | 34,20               | 60,00                       | 1,30                   | 335,00                   |
| 22   | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,40                    | 33,20               | 67,00                       | 0,60                   | 269,00                   |
| 23   | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,30                    | 32,30               | 74,00                       | 0,60                   | 285,00                   |
| 24   | 0,00                                   | 0,00                                    | 0,30                    | 31,30               | 77,00                       | 0,20                   | 56,00                    |

Tabella 122: Dati limatici orari del giorno 19 agosto (giorno in media più caldo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)

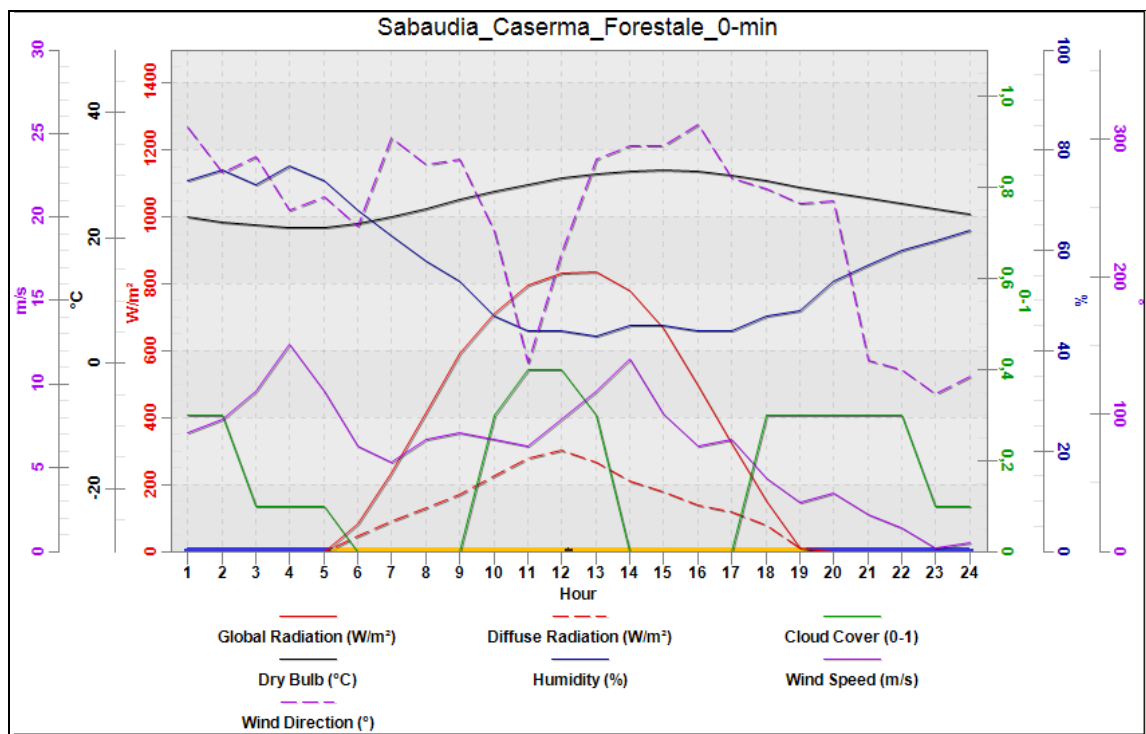


Figura 36: Dati limatici orari del giorno 9 agosto (giorno in media più caldo a Saubaudia). (Fonte TAS Engineering)

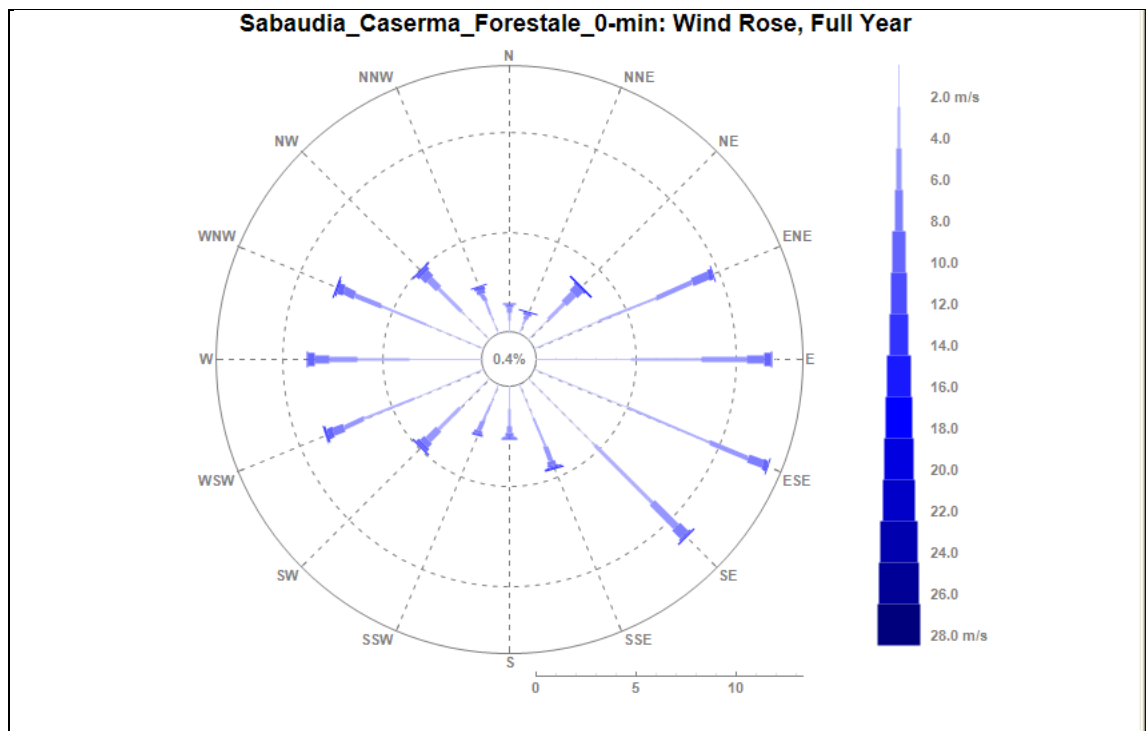
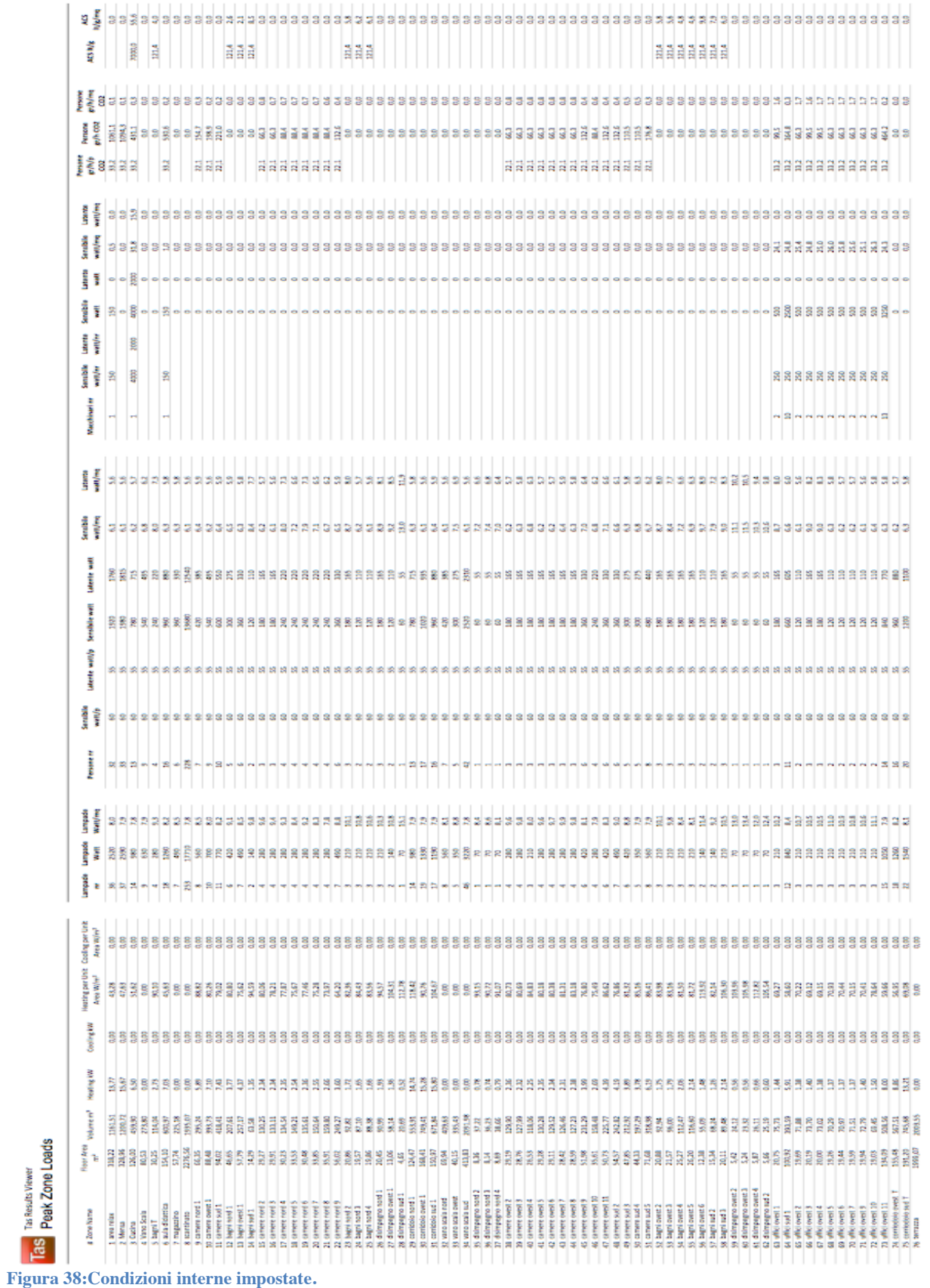


Figura 37: Rosa dei venti del giorno 9 agosto (giorno in media più caldo a Saubaudia). (Fonte TAS Engineering)

Le condizioni interne ipotizzate sono sintetizzate nella tabella 123.



### 9.1.3 Simulazione dinamica

La simulazione è avvenuta ipotizzando 4 scenari diversi rappresentanti rispettivamente: la situazione attuale, l’isolamento dell’intera copertura piana (come da O.R.E. n° 8), la realizzazione dell’isolamento della superficie opaca verticale (cappotto termico come da O.R.E. n° 2) ed infine entrambi gli interventi.

Prima di entrare nel dettaglio dell’analisi, si riportano dei quadri di sintesi dei risultati delle simulazioni energetiche poste in essere per i quattro scenari citati.

|                       | Value  | Unit | Zone                     | Day | Hour |
|-----------------------|--------|------|--------------------------|-----|------|
| Max Air Temp          | 42,45  | °C   | cucina                   | 243 | 14   |
| Min Air Temp          | -3,97  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max Humidity          | 100,0  | %    | Zone No. 78 - Not output | 171 | 6    |
| Min Humidity          | 15,83  | %    | uffici ovest 2           | 15  | 9    |
| Max Heating Load      | 26,453 | kW   | area relax               | 16  | 1    |
| Max Cooling Load      | 18,312 | kW   | mensa                    | 243 | 13   |
| Max Latent Addition   | 0,0    | kW   |                          | 0   | 0    |
| Max Latent Removal    | 7,26   | kW   | area relax               | 172 | 15   |
| Max Resultant Temp    | 46,08  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min Resultant Temp    | -3,87  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max MRT               | 57,44  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min MRT               | -6,66  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 40  | 7    |
| Max External Temp     | 38,2   | °C   | External                 | 231 | 15   |
| Min External Temp     | -4,0   | °C   | External                 | 16  | 1    |
| Max External Humidity | 100,0  | %    | External                 | 3   | 7    |
| Min External Humidity | 34,0   | %    | External                 | 50  | 14   |

**Figura 39: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario “EX ANTE” (Fonte TAS Engineering).**

|                       | Value  | Unit | Zone                     | Day | Hour |
|-----------------------|--------|------|--------------------------|-----|------|
| Max Air Temp          | 42,15  | °C   | cucina                   | 243 | 14   |
| Min Air Temp          | -3,97  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max Humidity          | 100,0  | %    | Zone No. 78 - Not output | 141 | 14   |
| Min Humidity          | 15,83  | %    | uffici ovest 2           | 15  | 9    |
| Max Heating Load      | 25,086 | kW   | area relax               | 16  | 1    |
| Max Cooling Load      | 18,012 | kW   | mensa                    | 243 | 13   |
| Max Latent Addition   | 0,0    | kW   |                          | 0   | 0    |
| Max Latent Removal    | 7,222  | kW   | area relax               | 172 | 15   |
| Max Resultant Temp    | 46,08  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min Resultant Temp    | -3,87  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max MRT               | 57,44  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min MRT               | -6,66  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 40  | 7    |
| Max External Temp     | 38,2   | °C   | External                 | 231 | 15   |
| Min External Temp     | -4,0   | °C   | External                 | 16  | 1    |
| Max External Humidity | 100,0  | %    | External                 | 3   | 7    |
| Min External Humidity | 34,0   | %    | External                 | 50  | 14   |

**Figura 40: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario “ISOLAMENTO DEL SOLAIO DI COPERTURA” (Fonte TAS Engineering).**

|                       | Value  | Unit | Zone                     | Day | Hour |
|-----------------------|--------|------|--------------------------|-----|------|
| Max Air Temp          | 41,89  | °C   | cucina                   | 243 | 14   |
| Min Air Temp          | -3,97  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max Humidity          | 100,0  | %    | centrale termica         | 171 | 19   |
| Min Humidity          | 15,83  | %    | uffici ovest 2           | 15  | 9    |
| Max Heating Load      | 22,261 | kW   | area relax               | 16  | 1    |
| Max Cooling Load      | 17,118 | kW   | mensa                    | 243 | 13   |
| Max Latent Addition   | 0,0    | kW   |                          | 0   | 0    |
| Max Latent Removal    | 7,106  | kW   | area relax               | 172 | 15   |
| Max Resultant Temp    | 46,08  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min Resultant Temp    | -3,85  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max MRT               | 57,44  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min MRT               | -6,67  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 40  | 7    |
| Max External Temp     | 38,2   | °C   | External                 | 231 | 15   |
| Min External Temp     | -4,0   | °C   | External                 | 16  | 1    |
| Max External Humidity | 100,0  | %    | External                 | 3   | 7    |
| Min External Humidity | 34,0   | %    | External                 | 50  | 14   |

**Figura 41: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario “ISOLAMENTO A CAPPOTTO” (Fonte TAS Engineering).**

|                       | Value  | Unit | Zone                     | Day | Hour |
|-----------------------|--------|------|--------------------------|-----|------|
| Max Air Temp          | 41,52  | °C   | cucina                   | 243 | 14   |
| Min Air Temp          | -3,97  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max Humidity          | 100,0  | %    | Zone No. 78 - Not output | 230 | 24   |
| Min Humidity          | 15,83  | %    | uffici ovest 2           | 15  | 9    |
| Max Heating Load      | 20,804 | kW   | area relax               | 16  | 1    |
| Max Cooling Load      | 16,766 | kW   | mensa                    | 243 | 13   |
| Max Latent Addition   | 0,0    | kW   |                          | 0   | 0    |
| Max Latent Removal    | 6,803  | kW   | area relax               | 172 | 15   |
| Max Resultant Temp    | 46,08  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min Resultant Temp    | -3,85  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 16  | 1    |
| Max MRT               | 57,44  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 176 | 13   |
| Min MRT               | -6,67  | °C   | Zone No. 74 - Not output | 40  | 7    |
| Max External Temp     | 38,2   | °C   | External                 | 231 | 15   |
| Min External Temp     | -4,0   | °C   | External                 | 16  | 1    |
| Max External Humidity | 100,0  | %    | External                 | 3   | 7    |
| Min External Humidity | 34,0   | %    | External                 | 50  | 14   |

**Figura 42: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario "ISOLAMENTO A CAPPOTTO + ISOLAMENTO COPERTURA". (Fonte TAS Engineering)**

## 9.2 ANALISI DEI RISULTATI

### 9.2.1 Determinazione dei fabbisogni di energia termica

I primi dati analizzati sono stati quelli relativi ai fabbisogni energetici della struttura attuale e quelli necessari dopo l'esecuzione dei lavori di riqualificazione proposti in regime invernale. Allo *status quo*, per riscaldare gli ambienti interni dell'immobile si deve fornire un'energia termica pari a poco più di 280.000 kWh. Tale quantitativo si ridurrebbe di circa il 25% se si isolasse la copertura piana con 14 cm di coibente, diminuendo il fabbisogno termico a circa 210.000 kWh.

Risultato di poco superiore, circa 218.000 kWh, si otterrebbe con la posa in opera di un cappotto termico dello spessore di 10 cm.

Decisamente più performante risulterebbe infine la struttura qualora l'involucro edilizio venisse isolato in tutte le sue componenti opache, ottenendo un miglioramento prestazionale in termini di energia termica necessaria, di circa il 50%, scendendo a soli 144.000 kWh ogni anno (graf. 16).

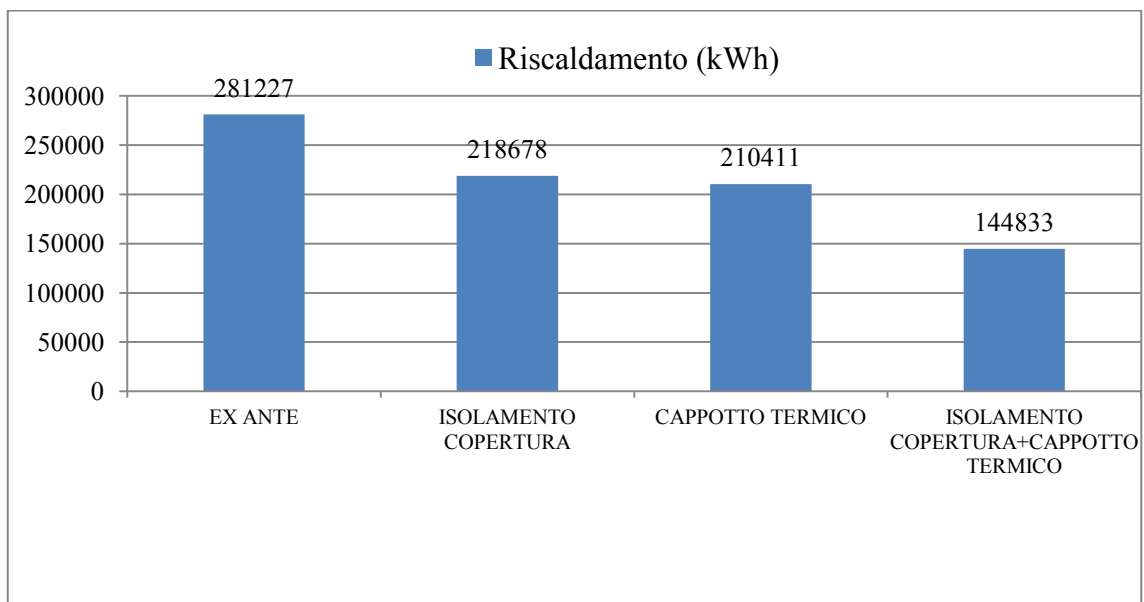


Grafico 16: Fabbisogni di energia termica relativi al riscaldamento

Successivamente l'analisi ha riguardato il comportamento dell'edificio allo stato attuale e con i vari interventi ipotizzati, in regime estivo. L'immobile attualmente avrebbe bisogno, se fosse dotato di un impianto di climatizzazione estiva, per mantenere al proprio interno una temperatura dell'aria di 26 °C, di circa 302.000 kWh/a.

Se invece la copertura venisse isolata come proposto, il consumo risulterebbe pari a circa 244.000 kWh.

L'apposizione del solo cappotto termico, invece, non produrrebbe gli stessi ottimi risultati che l'intervento produce in regime invernale, facendo attestare i consumi estivi su circa 289.000 kWh. Infine, l'esecuzione di entrambi gli interventi porterebbero ad utilizzare ogni anno, per il raffrescamento della struttura un quantitativo energetico pari a circa 213.000 kWh (graf. 17).

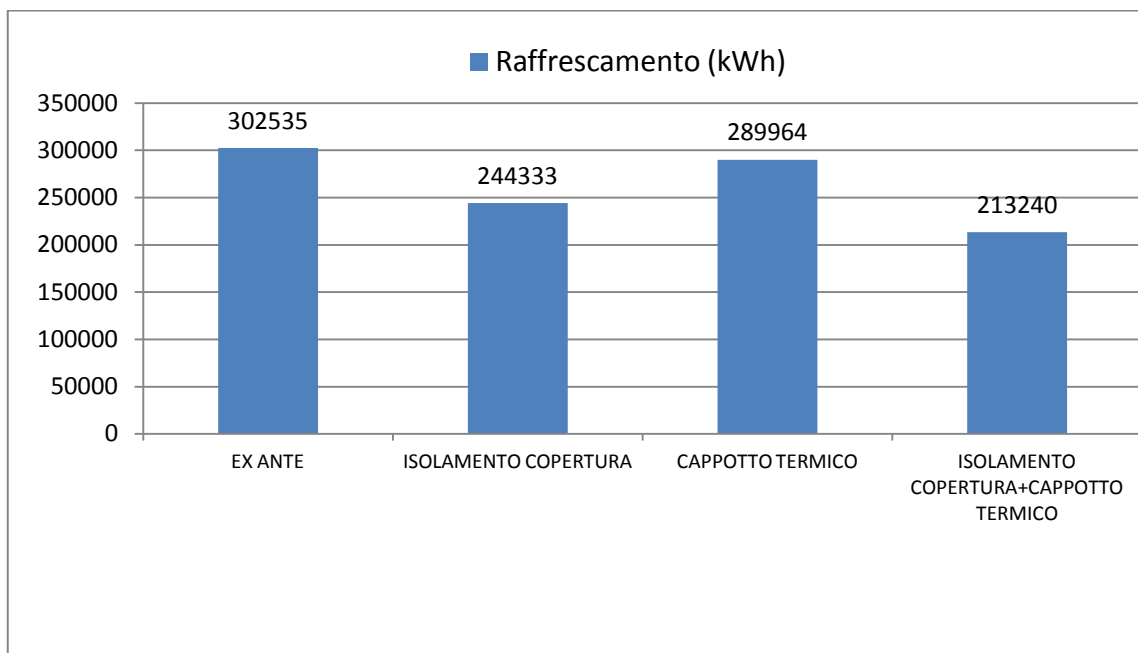


Grafico 17: Fabbisogni di energia termica relativi al raffrescamento

Dai dati calcolati (fig. 42) emerge che, essendo l'edificio ubicato in zona climatica tipicamente mediterranea, i consumi dovuti alla climatizzazione estiva sono superiori a quelli relativi alla climatizzazione invernale. Nella figura citata, sono riportati anche i dati numerici relativi agli apporti energetici (*internal gains*) relativi alla radiazione solare (*solar*), all'illuminazione (*lighting*), alla presenza di individui (*occupancy*) e alla presenza di macchinari (*equipment*).

Ricordiamo tuttavia che nel caso in esame l'immobile non risulta dotato di impianti tecnici deputati al raffrescamento, motivo per cui pur considerando tali informazioni utili a livello progettuale, non vengono correlate ad alcun aspetto economico.

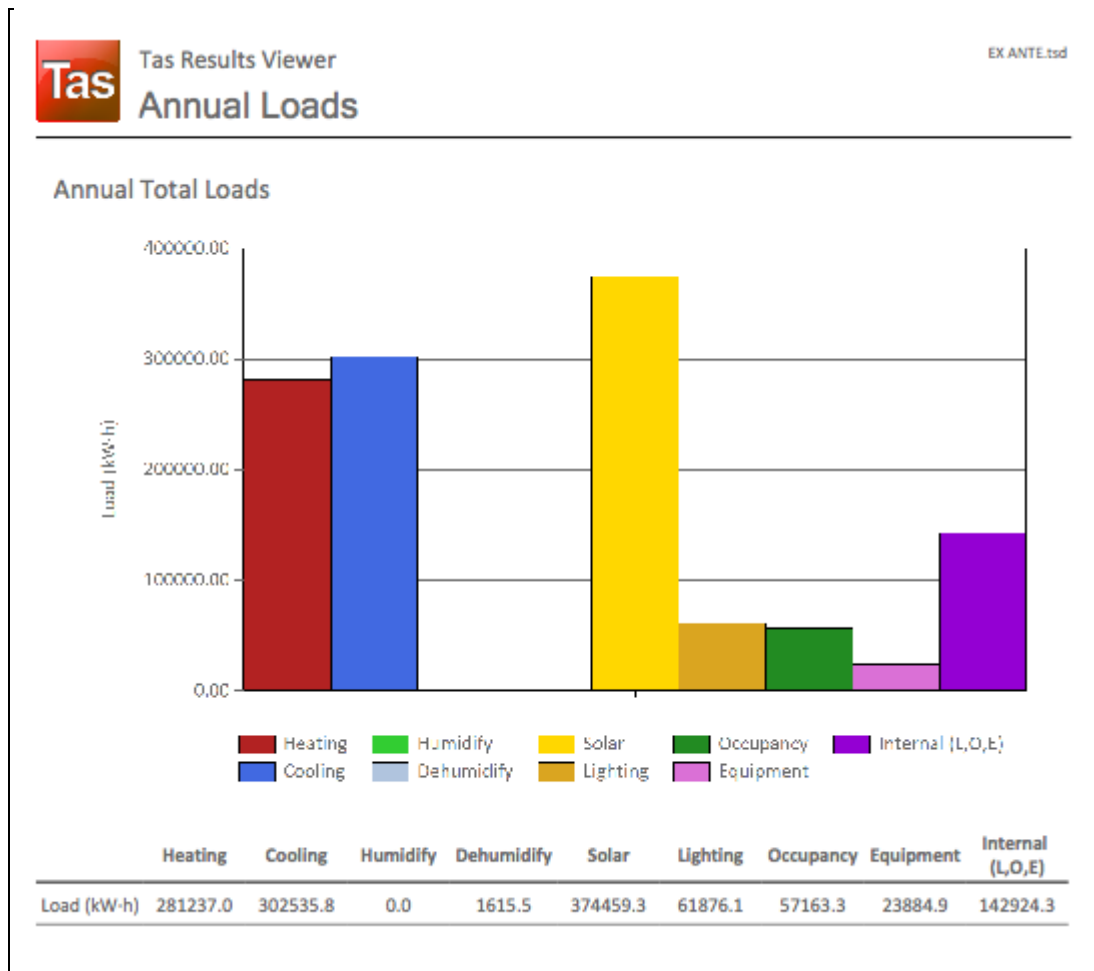


Figura 43: Fabbisogni di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva dell'immobile. (Fonte TAS E.)

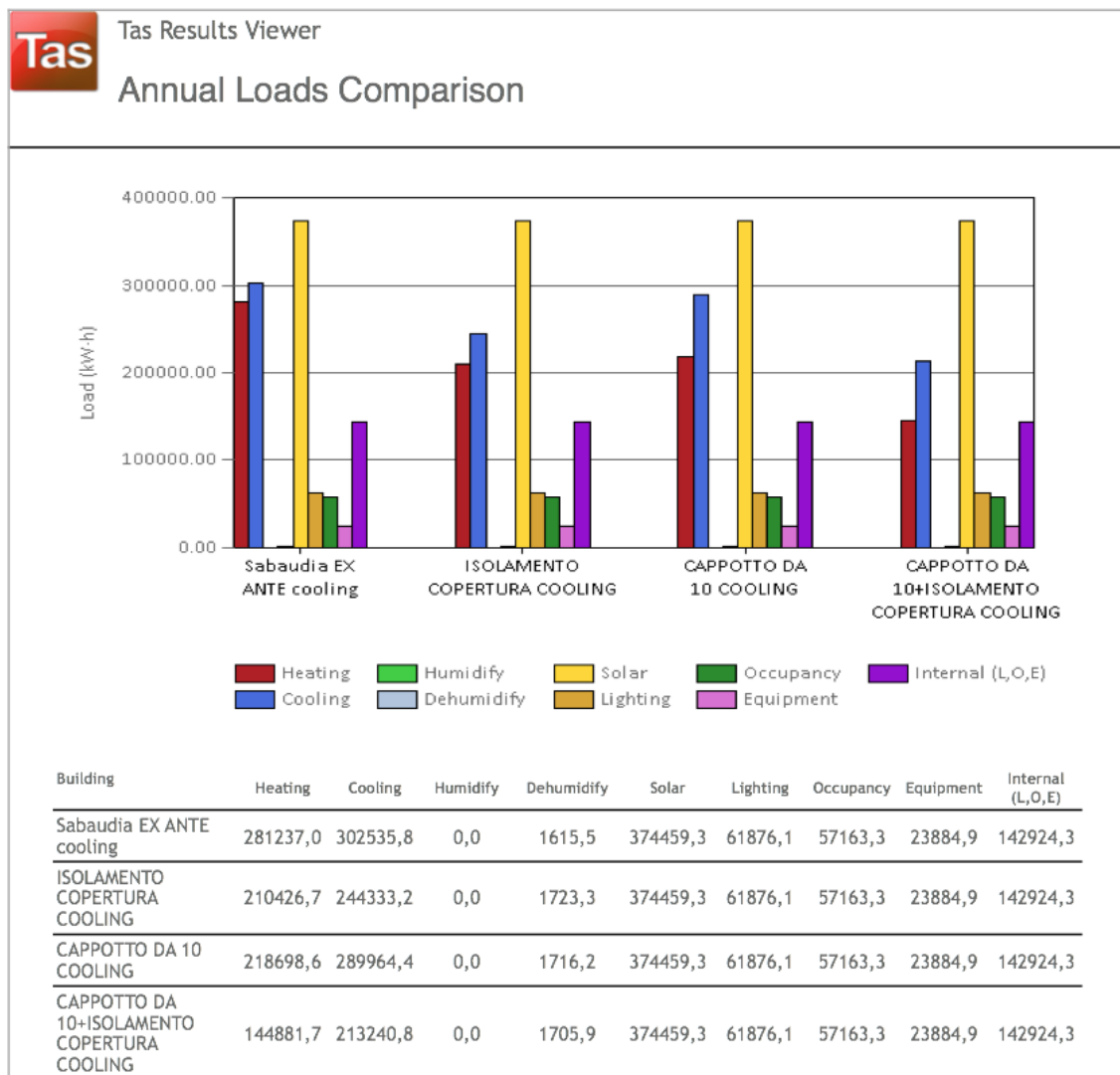


Figura 44: Fabbisogni di energia primaria e apporti gratuiti (Fonte TAS E.).

Al fine di individuare con debita attendibilità la migliore strategia di riqualificazione energetica per conseguire i risultati che si vogliono raggiungere, si è proceduto all'analisi dei fabbisogni energetici soltanto per due gruppi di zone termiche: il gruppo "CAMERE" e il gruppo "UFFICI". Queste risultano infatti, rappresentative rispettivamente del piano primo e del piano terra della struttura. Si rammenta inoltre che mentre il piano terra, dove si trovano gli uffici, ha un utilizzo continuativo, il primo piano che ospita le camerate, viene utilizzato solo quando la Scuola è sede di corsi.

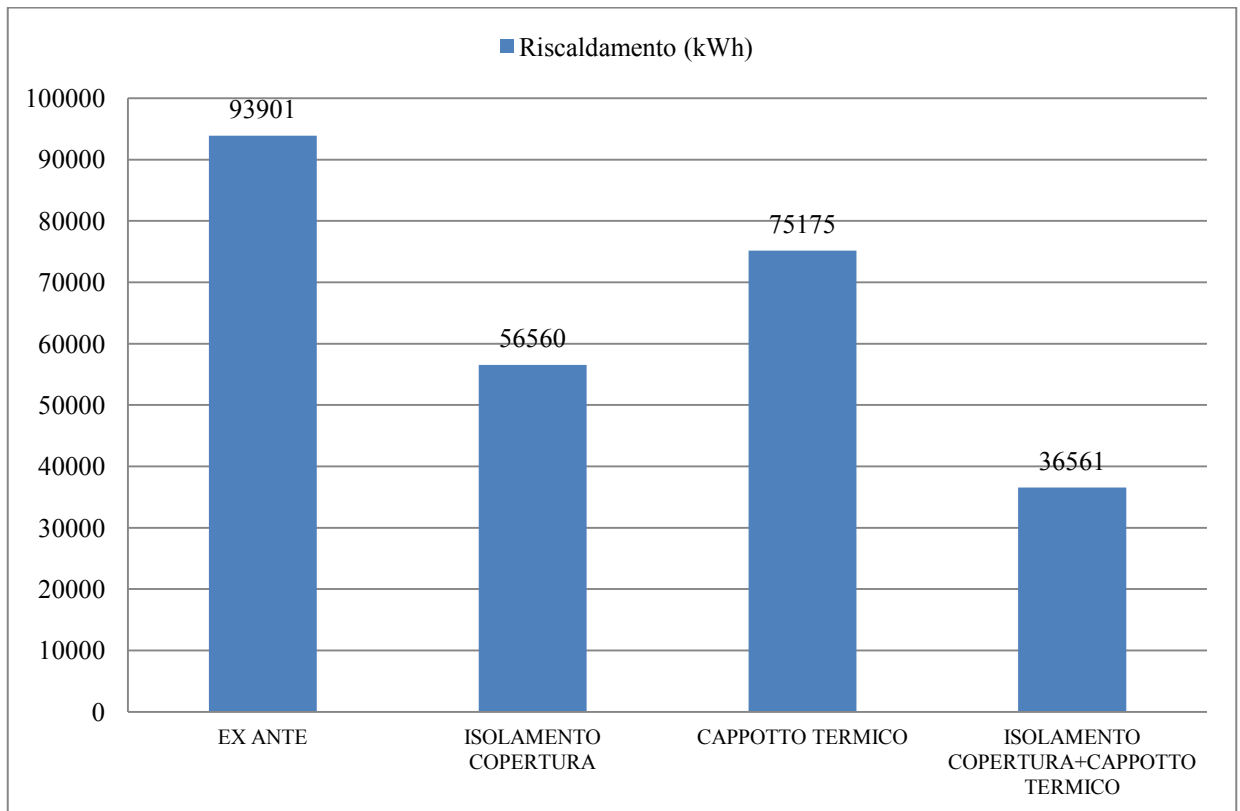


Grafico 18: Fabbisogni di energia primaria relativi al riscaldamento del gruppo zone termiche "CAMERE".  
(Fonte TAS E.)

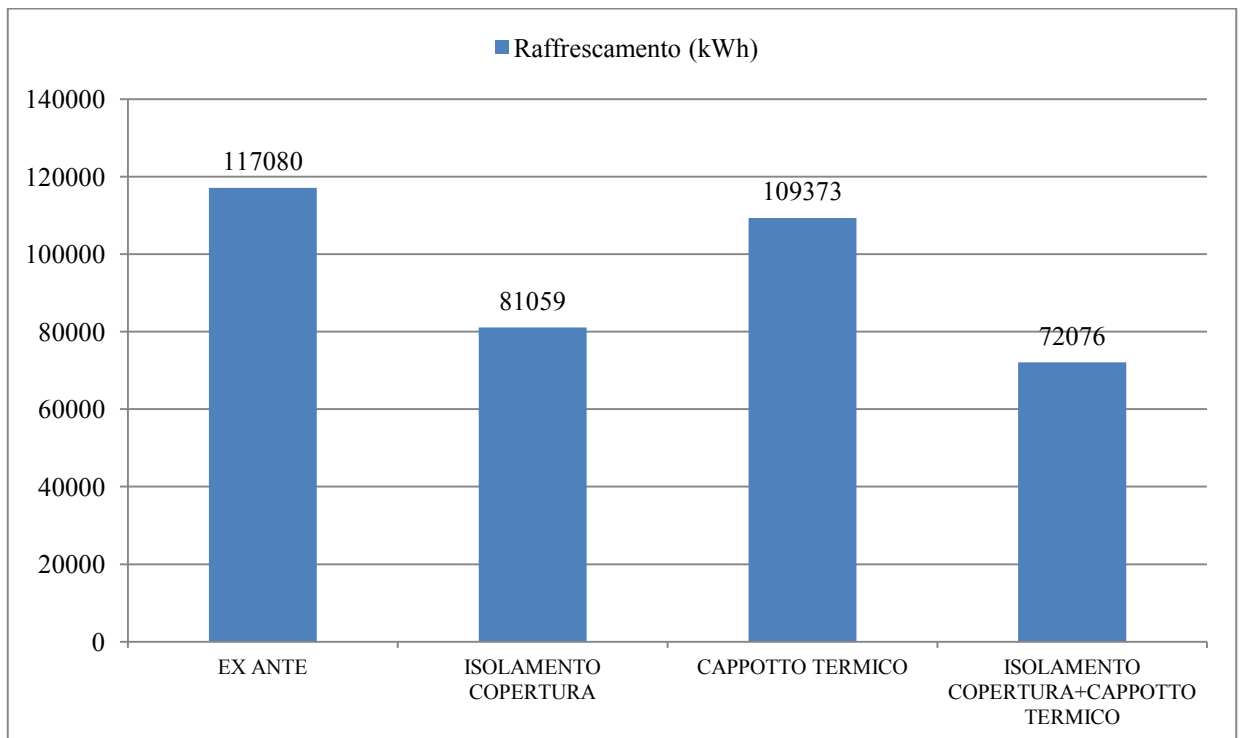
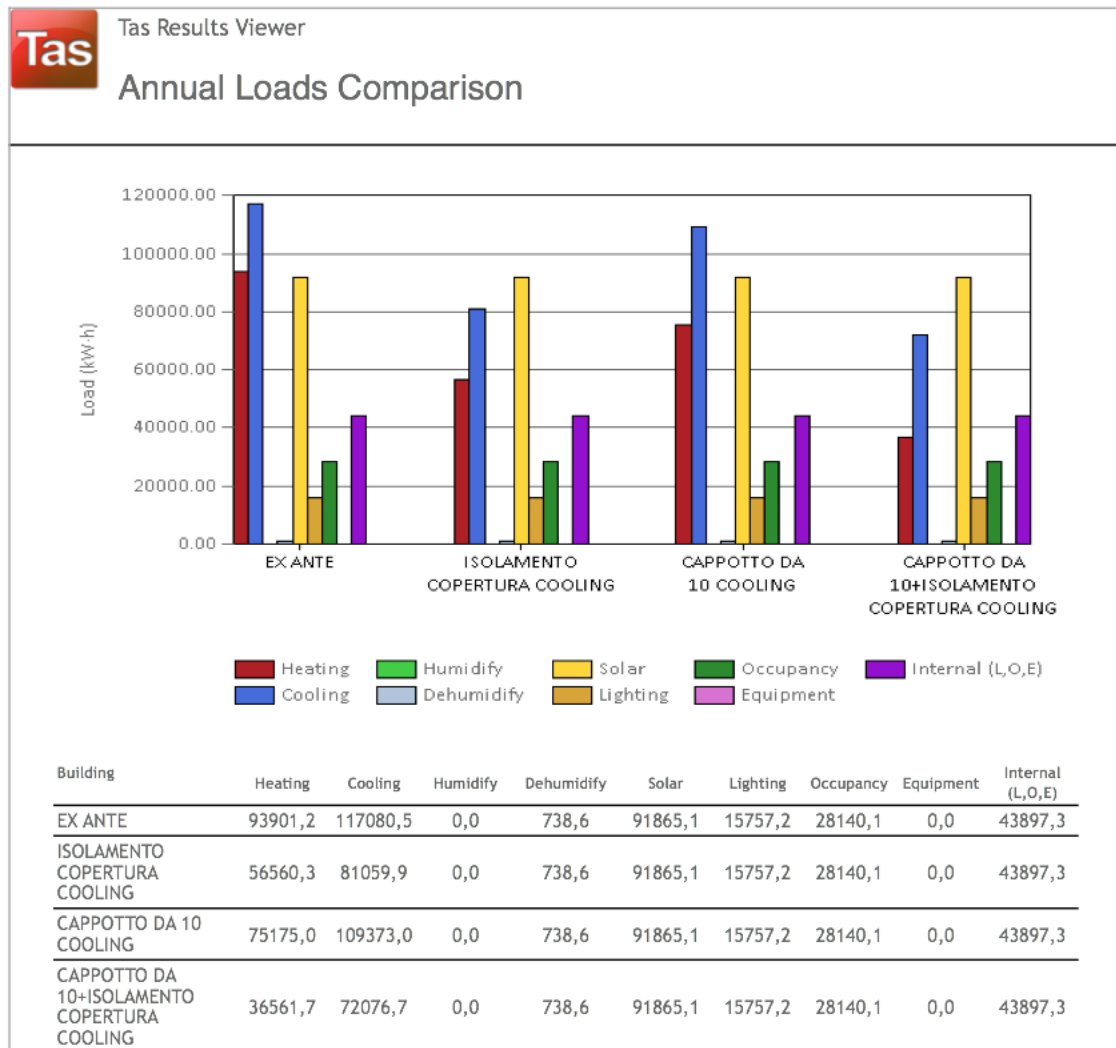


Grafico 19: Fabbisogni di energia primaria relativi al raffrescamento del gruppo zone termiche "CAMERE".  
(Fonte TAS E.)

Dall'esame dei dati riportati nel grafico 19 e nella figura 44, emerge che l'isolamento termico della copertura è l'intervento che più degli altri contribuisce al contenimento dei consumi energetici del gruppo di zone termiche "CAMERE". Tale risultato risulta più che attendibile visto che il gruppo "CAMERE" è ubicato immediatamente al di sotto della copertura piana.

Di seguito, sono riportati anche i dati relativi agli apporti termici (fig. 44).



**Figura 45: Fabbisogni di energia primaria e apporti gratuiti relativi al gruppo di zone termiche "CAMERE":**

Nel gruppo zone termiche "UFFICI", invece, il cappotto termico consente di conseguire i migliori risultati (graff.20 e 21).

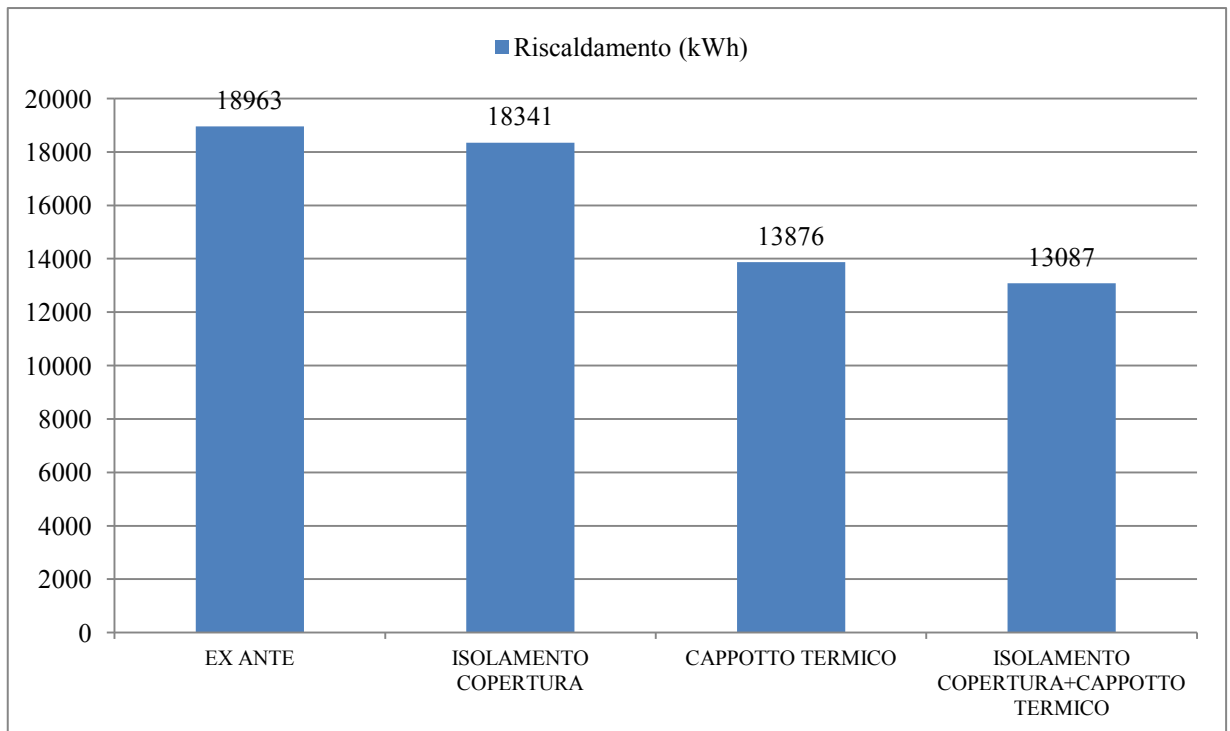


Grafico 20: Fabbisogni di energia primaria relativi al riscaldamento del gruppo zone termiche "UFFICI".

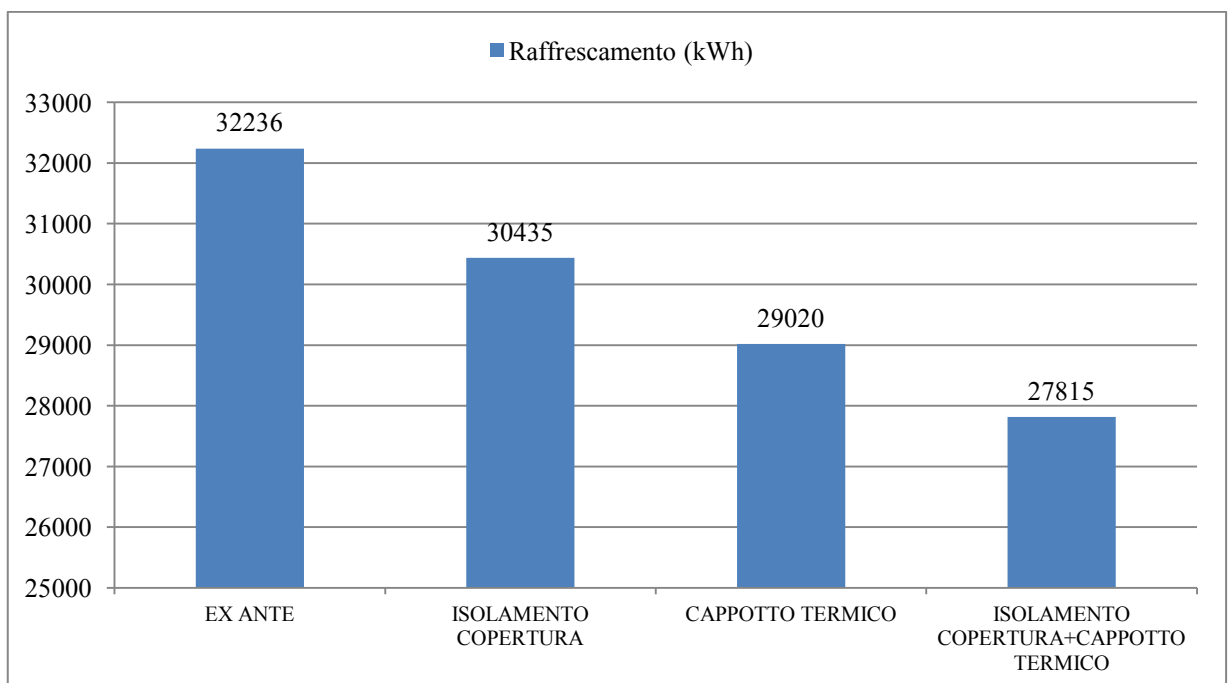


Grafico 21: Fabbisogni di energia primaria relativi al raffrescamento del gruppo zone termiche "UFFICI".

Di seguito (fig. 45) sono riportati i valori relativi agli apporti interni e solari delle zone termiche “UFFICI”.

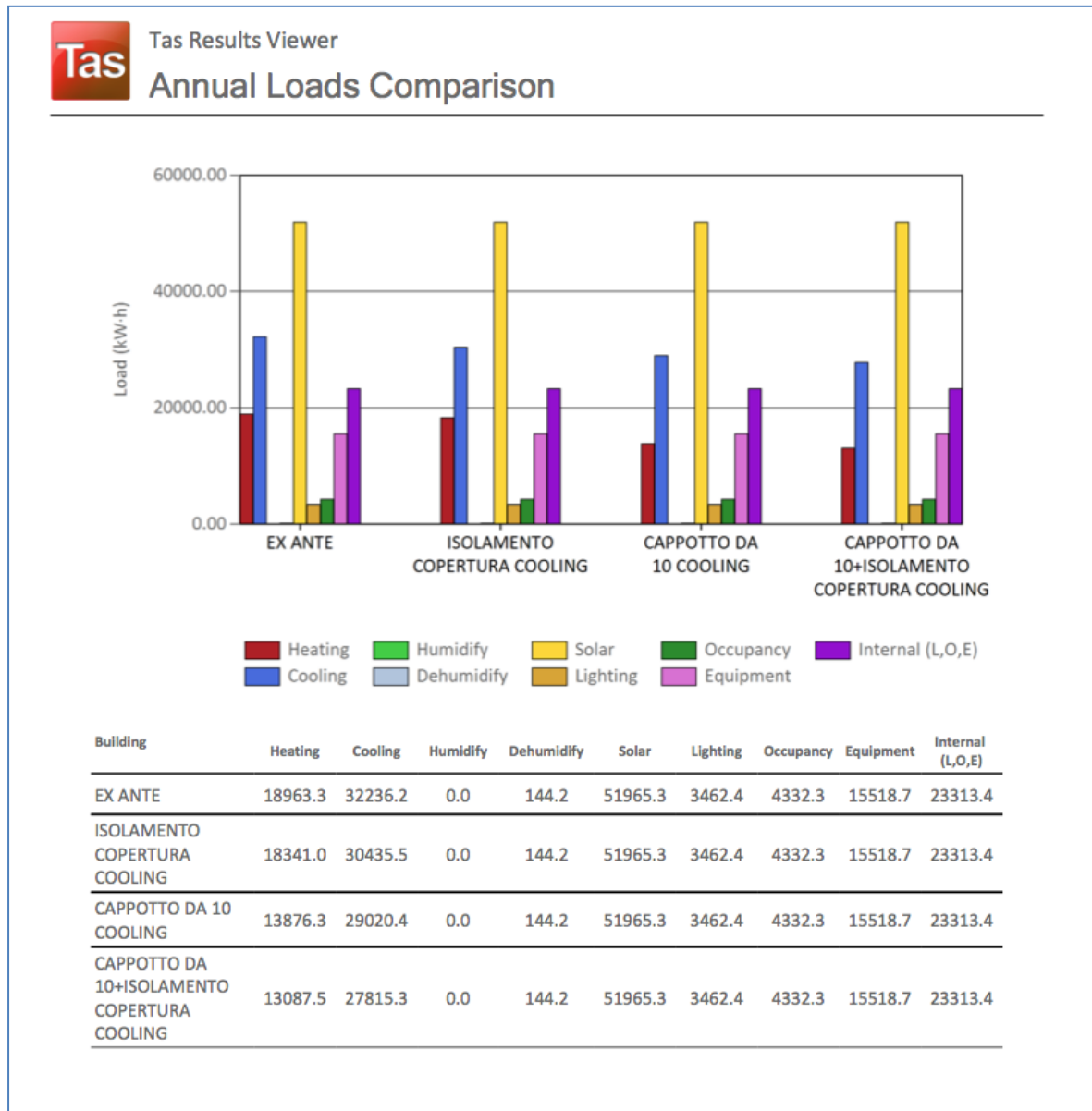


Figura 46: Fabbisogni di energia termica e apporti gratuiti relativi al gruppo di zone termiche “UFFICI”:

### 9.2.2 Determinazione dei carichi termici di picco

L’analisi termica della struttura è proseguita poi con la determinazione dei carichi termici di picco, invernali ed estivi.

Infatti per poter correttamente individuare la potenza degli impianti tecnici, (nel nostro caso la sola caldaia per il riscaldamento degli ambienti) si deve prima calcolare la potenza necessaria a climatizzare gli ambienti alla temperatura di progetto considerata, nella situazione climatica più sfavorevole.

Nelle seguenti figure (46, 47 e 48), sono riportati i risultati dei calcoli effettuati con il software TAS Engineering.

Il carico termico di picco invernale è così risultato pari a 297,63 kW, corrispondenti a 59,77 W/m<sup>2</sup> di carico termico medio per unità di superficie.

Dall'esame dei dati di calcolo, emerge che in gran parte delle zone termiche la situazione climaticamente più sfavorevole per il riscaldamento della struttura, si verifica il sedicesimo giorno dell'anno solare. Pertanto sulla base dei dati climatici storici utilizzati, il 16 gennaio è il giorno in cui viene richiesta all'impianto la massima potenza termica per raggiungere e mantenere una temperatura interna dell'aria pari a 20° C.

Il dato ottenuto dal software sopracitato in ordine al carico termico invernale, si ritiene decisamente più preciso di quello ottenuto con il metodo della “Firma Energetica” (paragrafo 3.2 pag. 21). Quest'ultimo infatti risente di una cattiva conduzione dell'impianto di riscaldamento, spesso poco correlata alle reali condizioni atmosferiche. Si rammenta, infatti che il metodo della “Firma Energetica”, correla la temperatura esterna media mensile con la potenza media del generatore. Grandezza questa che si ottiene dividendo l'energia consumata (lettura contatore o fattura) per il tempo di attivazione dell'impianto. Pertanto se, come realmente si verifica, il riscaldamento è inserito anche quando le condizioni metereologiche non lo richiederebbero si ottengono consumi superiori a quanto necessario e il metodo di dimensionamento utilizzato sovrastima le reali esigenze.

Tenendo presente che, il “Metodo della Firma Energetica” porta ad una potenza termica di impianto di circa 450 kW, il dato scaturito dalla simulazione dinamica (potenza termica di picco di 297,63 kW), appare ragionevole e pienamente attendibile.

Risulta pertanto evidente, che la potenza della caldaia attualmente installata (744 kW) è largamente superiore alle potenze individuate con le due metodologie precedenti (“Firma Energetica” e “Simulazione dinamica”).

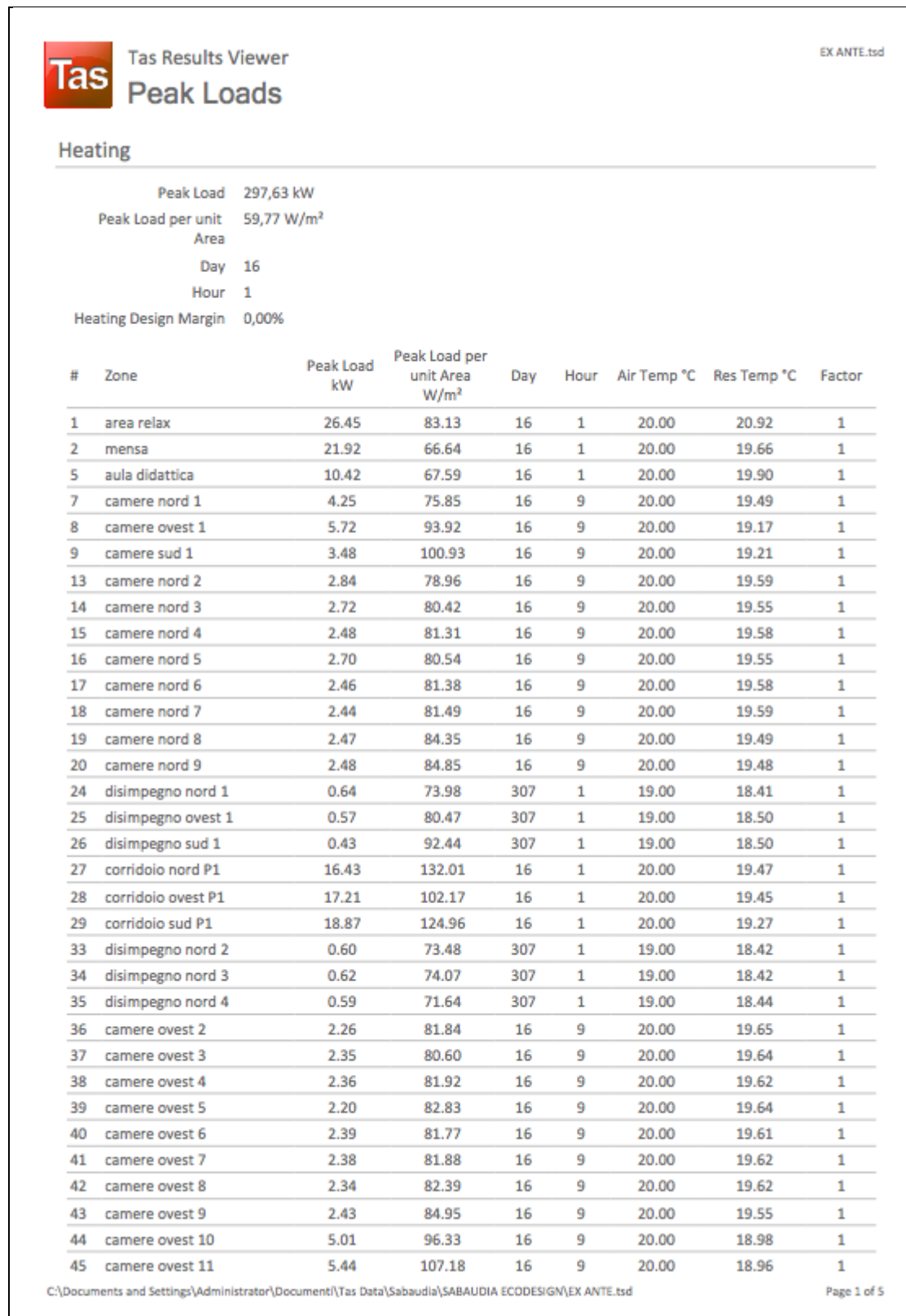
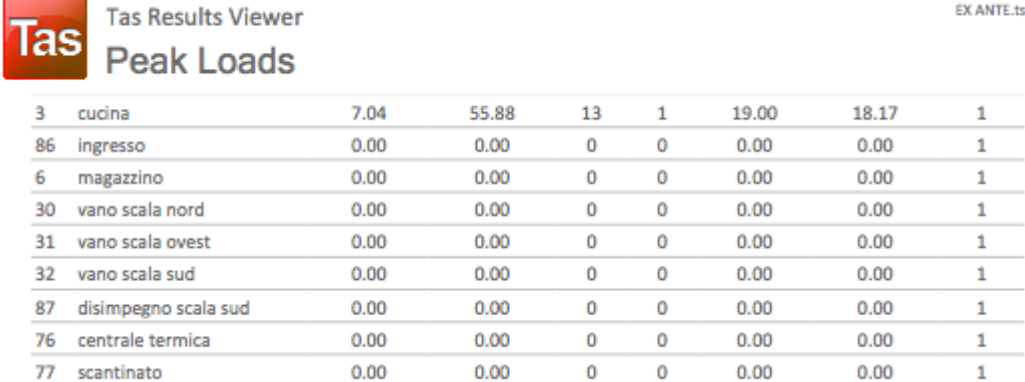


Figura 47: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 1



| ID | Room Name          | Value 1 | Value 2 | Value 3 | Value 4 | Value 5 | Value 6 | Value 7 |
|----|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 46 | camere sud 2       | 5.20    | 87.20   | 16      | 9       | 20.00   | 19.30   | 1       |
| 47 | camere sud 3       | 4.82    | 88.34   | 16      | 9       | 20.00   | 19.33   | 1       |
| 48 | camere sud 4       | 4.43    | 92.52   | 16      | 1       | 20.00   | 19.37   | 1       |
| 49 | camere sud 5       | 4.16    | 93.90   | 16      | 1       | 20.00   | 19.35   | 1       |
| 57 | disimpegno ovest 2 | 0.41    | 69.34   | 307     | 1       | 19.00   | 18.55   | 1       |
| 58 | disimpegno ovest 3 | 0.37    | 68.95   | 307     | 1       | 19.00   | 18.57   | 1       |
| 59 | disimpegno ovest 4 | 0.37    | 71.12   | 307     | 1       | 19.00   | 18.57   | 1       |
| 60 | disimpegno sud 2   | 0.49    | 87.04   | 307     | 1       | 19.00   | 18.48   | 1       |
| 61 | uffici ovest 1     | 1.28    | 61.56   | 16      | 1       | 20.00   | 20.15   | 1       |
| 62 | uffici sud 1       | 7.05    | 69.83   | 16      | 1       | 20.00   | 19.89   | 1       |
| 63 | uffici ovest 2     | 1.24    | 62.94   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 64 | uffici ovest 3     | 1.26    | 62.41   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 65 | uffici ovest 4     | 1.25    | 62.59   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 66 | uffici ovest 5     | 1.22    | 63.51   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 67 | uffici ovest 6     | 1.23    | 63.31   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 68 | uffici ovest 7     | 1.24    | 63.19   | 16      | 1       | 20.00   | 20.14   | 1       |
| 69 | uffici ovest 9     | 1.27    | 63.70   | 16      | 1       | 20.00   | 20.11   | 1       |
| 70 | uffici ovest 10    | 1.45    | 76.04   | 16      | 1       | 20.00   | 19.81   | 1       |
| 71 | uffici ovest 11    | 3.54    | 61.54   | 16      | 1       | 20.00   | 20.12   | 1       |
| 72 | corridolo ovest PT | 10.90   | 70.12   | 16      | 1       | 20.00   | 19.80   | 1       |
| 73 | corridolo sud PT   | 15.67   | 81.97   | 16      | 1       | 20.00   | 19.67   | 1       |
| 75 | uffici ovest 12    | 5.75    | 75.04   | 16      | 1       | 20.00   | 19.45   | 1       |
| 81 | camere nord 10     | 4.26    | 114.94  | 16      | 9       | 20.00   | 18.88   | 1       |
| 82 | camere ovest 12    | 3.09    | 86.83   | 16      | 9       | 20.00   | 19.43   | 1       |
| 83 | camere sud 6       | 8.01    | 111.76  | 16      | 9       | 20.00   | 18.68   | 1       |
| 84 | disimpegno ovest 5 | 0.47    | 79.68   | 307     | 1       | 19.00   | 18.52   | 1       |
| 85 | disimpegno nord 5  | 0.74    | 60.54   | 16      | 9       | 20.00   | 19.60   | 1       |
| 4  | bagni PT           | 2.62    | 86.64   | 16      | 1       | 20.00   | 19.65   | 1       |
| 10 | bagni nord 1       | 1.95    | 98.23   | 16      | 1       | 20.00   | 19.76   | 1       |
| 11 | bagni ovest 1      | 3.08    | 88.13   | 16      | 1       | 20.00   | 19.72   | 1       |
| 12 | bagni sud 1        | 1.59    | 111.55  | 16      | 1       | 20.00   | 19.76   | 1       |
| 21 | bagni nord 2       | 1.95    | 99.63   | 16      | 1       | 20.00   | 19.73   | 1       |
| 22 | bagni nord 3       | 2.04    | 97.93   | 16      | 1       | 20.00   | 19.72   | 1       |
| 23 | bagni nord 4       | 1.94    | 99.65   | 16      | 1       | 20.00   | 19.73   | 1       |
| 50 | bagni ovest 2      | 2.19    | 96.04   | 16      | 1       | 20.00   | 19.76   | 1       |
| 51 | bagni ovest 3      | 2.05    | 98.03   | 16      | 1       | 20.00   | 19.78   | 1       |
| 52 | bagni ovest 4      | 2.10    | 97.26   | 16      | 1       | 20.00   | 19.78   | 1       |
| 53 | bagni ovest 5      | 2.52    | 99.84   | 16      | 1       | 20.00   | 19.54   | 1       |
| 54 | bagni ovest 6      | 2.27    | 86.79   | 16      | 1       | 20.00   | 19.69   | 1       |
| 55 | bagni sud 2        | 1.20    | 78.35   | 16      | 1       | 20.00   | 19.90   | 1       |
| 56 | bagni sud 3        | 2.69    | 133.75  | 16      | 9       | 20.00   | 19.10   | 1       |
| 79 | bagni nord 5       | 2.65    | 97.38   | 16      | 1       | 20.00   | 19.55   | 1       |
| 80 | bagni ovest 7      | 1.82    | 147.22  | 16      | 1       | 20.00   | 19.47   | 1       |

Figura 48: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 2



**Tas Results Viewer**  
**Peak Loads**  
EX ANTE.tsd

|    |                      |      |       |    |   |       |       |   |
|----|----------------------|------|-------|----|---|-------|-------|---|
| 3  | cucina               | 7.04 | 55.88 | 13 | 1 | 19.00 | 18.17 | 1 |
| 86 | ingresso             | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 6  | magazzino            | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 30 | vano scala nord      | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 31 | vano scala ovest     | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 32 | vano scala sud       | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 87 | disimpegno scala sud | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 76 | centrale termica     | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |
| 77 | scantinato           | 0.00 | 0.00  | 0  | 0 | 0.00  | 0.00  | 1 |

Figura 49: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 3

Di seguito (figg. 49, 50 e 51) sono riportati analoghi risultati di calcolo dei carichi termici, eseguiti con TAS Engineering, riferibili al periodo estivo.

In questo caso, poiché la struttura non risulta dotata di impianti tecnici di climatizzazione estiva, non è stato possibile in nessun modo confrontare i dati calcolati con quelli reali.

| Cooling                 |                    |                        |                                          |     |      |             |             |        |
|-------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------------|-----|------|-------------|-------------|--------|
| Peak Load               |                    | 227,44 kW              |                                          |     |      |             |             |        |
| Peak Load per unit Area |                    | 45,67 W/m <sup>2</sup> |                                          |     |      |             |             |        |
| Day                     |                    | 232                    |                                          |     |      |             |             |        |
| Hour                    |                    | 17                     |                                          |     |      |             |             |        |
| Cooling Design Margin   |                    | 0,00%                  |                                          |     |      |             |             |        |
| #                       | Zone               | Peak Load kW           | Peak Load per unit Area W/m <sup>2</sup> | Day | Hour | Air Temp °C | Res Temp °C | Factor |
| 1                       | area relax         | 17.35                  | 54.51                                    | 232 | 15   | 26.00       | 27.84       | 1      |
| 2                       | mensa              | 18.31                  | 55.67                                    | 243 | 13   | 26.00       | 28.57       | 1      |
| 5                       | aula didattica     | 10.12                  | 65.68                                    | 232 | 11   | 26.00       | 29.10       | 1      |
| 7                       | camere nord 1      | 3.59                   | 64.16                                    | 176 | 19   | 26.00       | 29.29       | 1      |
| 8                       | camere ovest 1     | 4.68                   | 76.75                                    | 232 | 19   | 26.00       | 29.66       | 1      |
| 9                       | camere sud 1       | 2.93                   | 85.06                                    | 232 | 11   | 26.00       | 29.49       | 1      |
| 13                      | camere nord 2      | 2.53                   | 70.51                                    | 176 | 19   | 26.00       | 29.11       | 1      |
| 14                      | camere nord 3      | 2.46                   | 72.82                                    | 176 | 19   | 26.00       | 29.12       | 1      |
| 15                      | camere nord 4      | 2.28                   | 74.68                                    | 176 | 19   | 26.00       | 29.06       | 1      |
| 16                      | camere nord 5      | 2.45                   | 73.02                                    | 176 | 19   | 26.00       | 29.11       | 1      |
| 17                      | camere nord 6      | 2.25                   | 74.34                                    | 232 | 19   | 26.00       | 28.90       | 1      |
| 18                      | camere nord 7      | 2.23                   | 74.69                                    | 232 | 19   | 26.00       | 28.90       | 1      |
| 19                      | camere nord 8      | 2.23                   | 76.08                                    | 232 | 19   | 26.00       | 28.92       | 1      |
| 20                      | camere nord 9      | 2.25                   | 77.00                                    | 232 | 19   | 26.00       | 28.95       | 1      |
| 24                      | disimpegno nord 1  | 0.63                   | 72.82                                    | 176 | 20   | 26.00       | 28.22       | 1      |
| 25                      | disimpegno ovest 1 | 0.59                   | 82.16                                    | 232 | 1    | 26.00       | 28.24       | 1      |
| 26                      | disimpegno sud 1   | 0.45                   | 97.12                                    | 176 | 20   | 26.00       | 28.23       | 1      |
| 27                      | corridoio nord P1  | 13.93                  | 111.91                                   | 232 | 11   | 26.00       | 29.72       | 1      |
| 28                      | corridoio ovest P1 | 11.60                  | 68.88                                    | 176 | 18   | 26.00       | 29.28       | 1      |
| 29                      | corridoio sud P1   | 14.91                  | 98.78                                    | 232 | 18   | 26.00       | 30.13       | 1      |
| 33                      | disimpegno nord 2  | 0.60                   | 74.13                                    | 176 | 20   | 26.00       | 28.22       | 1      |
| 34                      | disimpegno nord 3  | 0.63                   | 74.93                                    | 176 | 19   | 26.00       | 28.23       | 1      |
| 35                      | disimpegno nord 4  | 0.61                   | 74.41                                    | 176 | 20   | 26.00       | 28.22       | 1      |
| 36                      | camere ovest 2     | 2.27                   | 82.26                                    | 232 | 19   | 26.00       | 29.00       | 1      |

C:\Documents and Settings\Administrator\Documenti\Tas Data\Sabaudia\SABAUDIA ECODESIGN\EX ANTE.tsd

Page 3 of 5

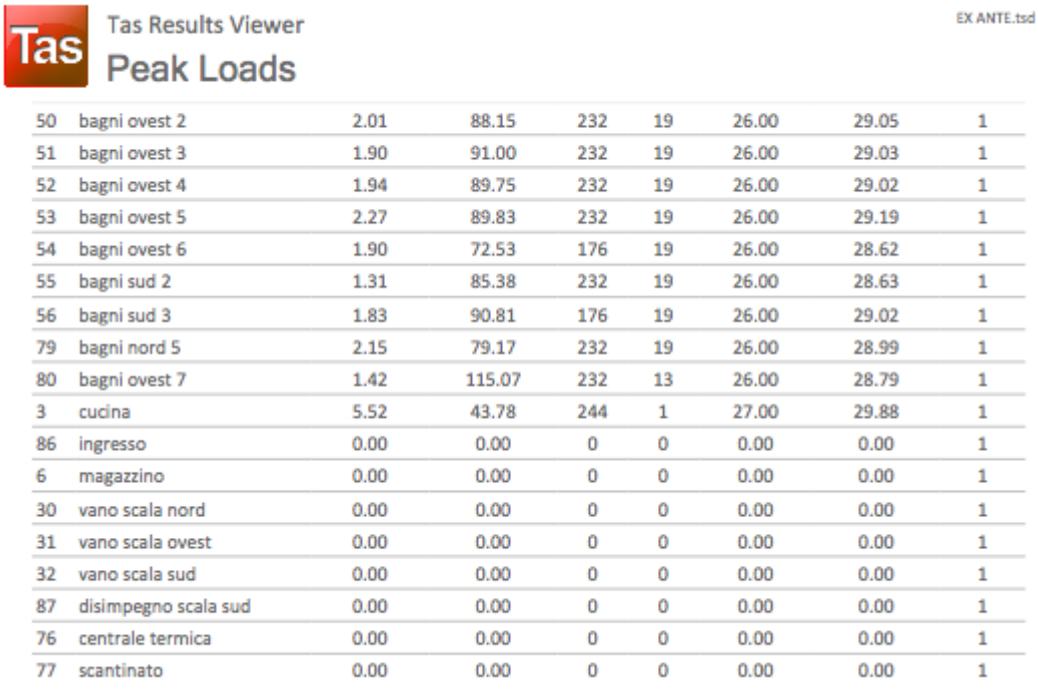
Figura 50: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 1

| <div> <div>Tas</div> <div> Tas Results Viewer<br/>Peak Loads </div> </div> <div>EX ANTE.tsd</div> |                    |       |        |     |    |       |       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|--------|-----|----|-------|-------|---|
| 37                                                                                                | camere ovest 3     | 2.35  | 80.42  | 232 | 19 | 26.00 | 29.03 | 1 |
| 38                                                                                                | camere ovest 4     | 2.32  | 80.81  | 232 | 19 | 26.00 | 29.02 | 1 |
| 39                                                                                                | camere ovest 5     | 2.21  | 83.36  | 232 | 19 | 26.00 | 28.99 | 1 |
| 40                                                                                                | camere ovest 6     | 2.35  | 80.35  | 232 | 19 | 26.00 | 29.03 | 1 |
| 41                                                                                                | camere ovest 7     | 2.35  | 80.68  | 232 | 19 | 26.00 | 29.03 | 1 |
| 42                                                                                                | camere ovest 8     | 2.30  | 80.92  | 232 | 19 | 26.00 | 29.00 | 1 |
| 43                                                                                                | camere ovest 9     | 2.36  | 82.71  | 232 | 19 | 26.00 | 29.06 | 1 |
| 44                                                                                                | camere ovest 10    | 4.10  | 78.93  | 232 | 19 | 26.00 | 29.58 | 1 |
| 45                                                                                                | camere ovest 11    | 3.72  | 73.36  | 176 | 19 | 26.00 | 29.46 | 1 |
| 46                                                                                                | camere sud 2       | 4.57  | 76.62  | 232 | 19 | 26.00 | 29.68 | 1 |
| 47                                                                                                | camere sud 3       | 4.23  | 77.51  | 232 | 19 | 26.00 | 29.64 | 1 |
| 48                                                                                                | camere sud 4       | 4.03  | 84.31  | 232 | 11 | 26.00 | 29.71 | 1 |
| 49                                                                                                | camere sud 5       | 3.83  | 86.34  | 232 | 11 | 26.00 | 29.80 | 1 |
| 57                                                                                                | disimpegno ovest 2 | 0.47  | 78.97  | 176 | 20 | 26.00 | 28.05 | 1 |
| 58                                                                                                | disimpegno ovest 3 | 0.43  | 80.20  | 232 | 1  | 26.00 | 28.19 | 1 |
| 59                                                                                                | disimpegno ovest 4 | 0.43  | 81.36  | 176 | 20 | 26.00 | 28.02 | 1 |
| 60                                                                                                | disimpegno sud 2   | 0.50  | 88.94  | 176 | 19 | 26.00 | 28.19 | 1 |
| 61                                                                                                | uffici ovest 1     | 2.05  | 98.94  | 232 | 16 | 26.00 | 28.20 | 1 |
| 62                                                                                                | uffici sud 1       | 8.93  | 88.46  | 232 | 11 | 26.00 | 28.87 | 1 |
| 63                                                                                                | uffici ovest 2     | 1.98  | 100.47 | 232 | 16 | 26.00 | 28.20 | 1 |
| 64                                                                                                | uffici ovest 3     | 2.01  | 99.49  | 232 | 16 | 26.00 | 28.19 | 1 |
| 65                                                                                                | uffici ovest 4     | 2.00  | 99.86  | 232 | 16 | 26.00 | 28.20 | 1 |
| 66                                                                                                | uffici ovest 5     | 1.95  | 101.32 | 232 | 16 | 26.00 | 28.21 | 1 |
| 67                                                                                                | uffici ovest 6     | 1.96  | 100.74 | 232 | 16 | 26.00 | 28.20 | 1 |
| 68                                                                                                | uffici ovest 7     | 1.97  | 100.41 | 232 | 16 | 26.00 | 28.20 | 1 |
| 69                                                                                                | uffici ovest 9     | 2.00  | 100.23 | 232 | 16 | 26.00 | 28.21 | 1 |
| 70                                                                                                | uffici ovest 10    | 2.07  | 108.99 | 232 | 16 | 26.00 | 28.45 | 1 |
| 71                                                                                                | uffici ovest 11    | 5.53  | 96.23  | 232 | 16 | 26.00 | 28.74 | 1 |
| 72                                                                                                | corridolo ovest PT | 6.62  | 42.56  | 232 | 16 | 26.00 | 27.84 | 1 |
| 73                                                                                                | corridolo sud PT   | 11.98 | 62.66  | 232 | 18 | 26.00 | 28.66 | 1 |
| 75                                                                                                | uffici ovest 12    | 5.67  | 73.98  | 232 | 16 | 26.00 | 27.92 | 1 |
| 81                                                                                                | camere nord 10     | 2.85  | 76.88  | 176 | 19 | 26.00 | 29.38 | 1 |
| 82                                                                                                | camere ovest 12    | 2.45  | 68.66  | 176 | 19 | 26.00 | 29.09 | 1 |
| 83                                                                                                | camere sud 6       | 5.85  | 81.63  | 176 | 19 | 26.00 | 30.18 | 1 |
| 84                                                                                                | disimpegno ovest 5 | 0.51  | 86.86  | 232 | 1  | 26.00 | 28.29 | 1 |
| 85                                                                                                | disimpegno nord 5  | 0.89  | 72.88  | 232 | 19 | 26.00 | 28.34 | 1 |
| 4                                                                                                 | bagni PT           | 1.71  | 56.56  | 232 | 11 | 26.00 | 27.97 | 1 |
| 10                                                                                                | bagni nord 1       | 1.64  | 82.42  | 176 | 19 | 26.00 | 28.95 | 1 |
| 11                                                                                                | bagni ovest 1      | 2.77  | 79.13  | 232 | 19 | 26.00 | 29.19 | 1 |
| 12                                                                                                | bagni sud 1        | 1.61  | 113.02 | 232 | 13 | 26.00 | 29.06 | 1 |
| 21                                                                                                | bagni nord 2       | 1.66  | 84.69  | 176 | 19 | 26.00 | 28.98 | 1 |
| 22                                                                                                | bagni nord 3       | 1.70  | 81.67  | 232 | 19 | 26.00 | 28.84 | 1 |
| 23                                                                                                | bagni nord 4       | 1.62  | 83.09  | 232 | 19 | 26.00 | 28.82 | 1 |

C:\Documents and Settings\Administrator\Document\Tas Data\Sabaudia\SABAUDIA ECODESIGN\EX ANTE.tsd

Page 4 of 5

Figura 51: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 2



| ID | Zone Name            | Value 1 | Value 2 | Value 3 | Value 4 | Value 5 | Value 6 | Value 7 |
|----|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 50 | bagni ovest 2        | 2.01    | 88.15   | 232     | 19      | 26.00   | 29.05   | 1       |
| 51 | bagni ovest 3        | 1.90    | 91.00   | 232     | 19      | 26.00   | 29.03   | 1       |
| 52 | bagni ovest 4        | 1.94    | 89.75   | 232     | 19      | 26.00   | 29.02   | 1       |
| 53 | bagni ovest 5        | 2.27    | 89.83   | 232     | 19      | 26.00   | 29.19   | 1       |
| 54 | bagni ovest 6        | 1.90    | 72.53   | 176     | 19      | 26.00   | 28.62   | 1       |
| 55 | bagni sud 2          | 1.31    | 85.38   | 232     | 19      | 26.00   | 28.63   | 1       |
| 56 | bagni sud 3          | 1.83    | 90.81   | 176     | 19      | 26.00   | 29.02   | 1       |
| 79 | bagni nord 5         | 2.15    | 79.17   | 232     | 19      | 26.00   | 28.99   | 1       |
| 80 | bagni ovest 7        | 1.42    | 115.07  | 232     | 13      | 26.00   | 28.79   | 1       |
| 3  | cucina               | 5.52    | 43.78   | 244     | 1       | 27.00   | 29.88   | 1       |
| 86 | ingresso             | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 6  | magazzino            | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 30 | vano scala nord      | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 31 | vano scala ovest     | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 32 | vano scala sud       | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 87 | disimpegno scala sud | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 76 | centrale termica     | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |
| 77 | scantinato           | 0.00    | 0.00    | 0       | 0       | 0.00    | 0.00    | 1       |

Figura 52: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 3

L'isolamento dell'involucro edilizio, così come ipotizzato nei tre diversi scenari, ha fornito nuovi valori dei carichi termici di picco sia in regime invernale che estivo.

Il carico termico di picco invernale si riduce quindi a 240 kW circa isolando la copertura, a 260 kW praticando l'isolamento a cappotto delle murature perimetrali e a poco più di 200 kW attuando entrambe le proposte (fig. 52).

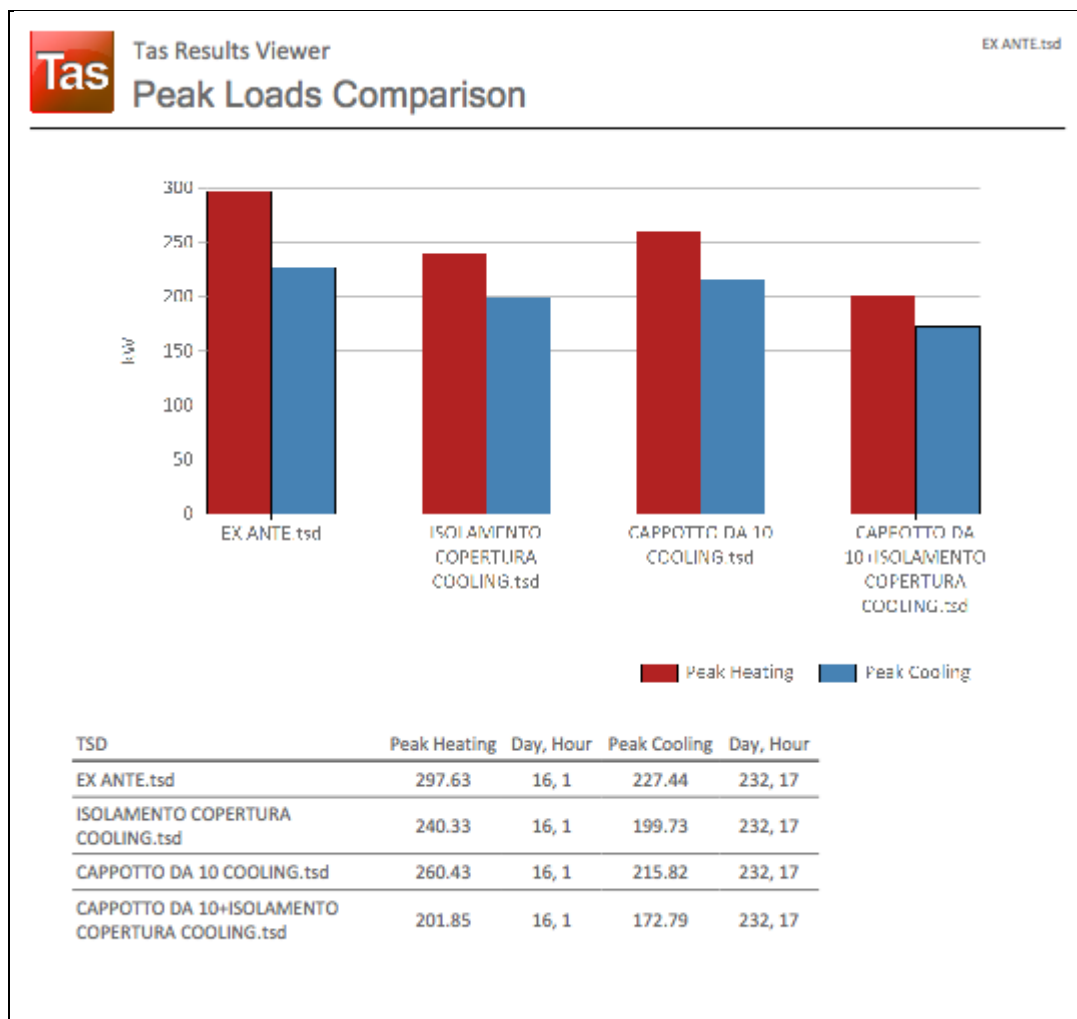


Figura 53: Confronto dei valori dei carichi termici di picco relativamente ai diversi interventi proposti.

### 9.2.3 Analisi delle condizioni di benessere ambientale

Dai paragrafi precedenti, emerge chiaramente, in particolare per il periodo invernale, che un'attenta coibentazione dell'involucro porta a consistenti risparmi energetici. Per quanto importante, però, sia economicamente che ecologicamente, il risparmio energetico non è tuttavia l'unico aspetto da considerare in occasione di importanti opere di riqualificazione degli immobili. Poiché gli edifici sono destinati ad ospitare persone è logico attendersi che ogni intervento di ristrutturazione sia volto a migliorare le sensazioni di benessere ambientale degli occupanti.

Il concetto di confort è stato nel corso degli anni definito e approfondito da diversi teorici, tra questi merita certamente una citazione Victor Olgyay che nel 1962

scrisse: *“L’ambiente fisico è formato da molti elementi tra i quali esiste un rapporto complesso. Si può cercare di descrivere le componenti ambientali come: luminosa, sonora, climatica, spaziale e biologica. Esse agiscono tutte direttamente sul corpo umano, che può assorbirle o cercare di reagire ai loro effetti. Da questa lotta per l’equilibrio biologico derivano delle reazioni fisiche e psicologiche. L’uomo cerca di raggiungere il punto in cui per adattarsi all’ambiente ha bisogno della minima spesa di energia. Le condizioni in cui riesce a farlo possono essere definite come la zona di confort, entro la quale la maggior parte della sua energia è disponibile per la produttività”.*

Da questo postulato appare evidente come per migliorare la produttività ma soprattutto migliorare la sensazione di benessere, sia fondamentale agire sulle componenti ambientali. Nel corso della trattazione verrà analizzato l’eventuale miglioramento della componente climatica interna in seguito ai lavori di riqualificazione.

Mentre nel periodo invernale la naturale omotermia dell’uomo trova un fondamentale alleato nell’impianto di riscaldamento, è nel periodo estivo, considerato che la struttura non è dotata di impianto di climatizzazione e che il clima del sito è tipicamente mediterraneo, che risulta più opportuno analizzare i parametri indicativi di situazioni di maggiore o minore benessere abitativo.

La prassi e la normativa vigente, D.P.R. 412/93, fissano in 26° C (tab. 123) il limite massimo della temperatura interna estiva oltre il quale possono insorgere situazioni di stress ambientale.

|                       | ESTATE      | INVERNO      |
|-----------------------|-------------|--------------|
| TEMPERATURA DELL’ARIA | 26°C        | 20°C         |
| UMIDITA’ RELATIVA     | 30%<U<60%   | 30%<U<50%    |
| VELOCITA’ DELL’ARIA   | 0,1-0,2 m/s | 0,05-0,1 m/s |

**Tabella 123: Parametri ambientali di benessere termo igrometrico.**

La temperatura dell’aria misurata con un termometro a bulbo secco, non è però l’unico parametro da considerare per poter valutare il benessere termico.

La grandezza che assume l’importanza più rilevante al riguardo, è la cosiddetta temperatura operativa o risultante, così definita:

$$T_o = \frac{T_a + T_{mr}}{2} [^{\circ}\text{C}]$$

dove:

$T_a$  = temperatura dell'aria misurata con un termometro a bulbo secco;

$$T_{mr} = \text{temperatura media radiante} = \frac{\sum A_i \times T_{ri}}{\sum A_i} [^{\circ}\text{C}]$$

con

$T_i$  = temperatura superficiale interna i-esima [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$A_i$  = superficie i-esima [ $\text{m}^2$ ]

La spiegazione fisica di questa formula è che il nostro corpo scambia calore per metà per irraggiamento con le pareti ( $T_{mr}$  considera questo fattore), e per metà per convezione con l'aria ( $T_a$ ). Dunque la temperatura operativa o risultante tiene conto contemporaneamente degli scambi termici per convezione ed irraggiamento.

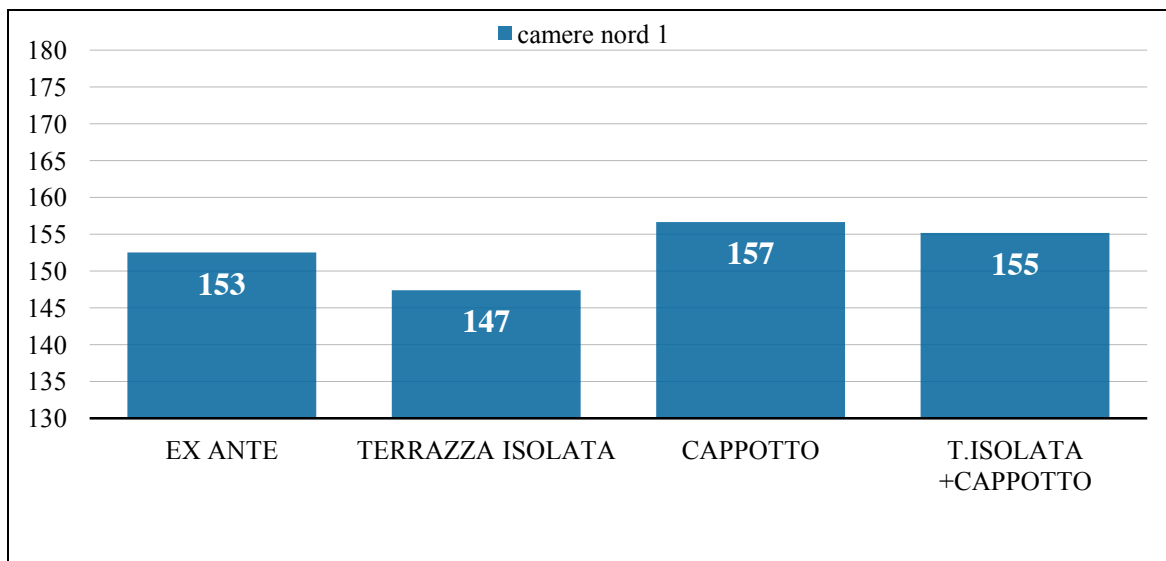
Nella tabella che segue (tab. 124), sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione dinamica effettuata nei quattro scenari di riferimento in merito al numero di ore e dei corrispondenti giorni in cui la temperatura risultante è maggiore di  $26^{\circ}\text{C}$ . Si è ritenuto utile, per non appesantire eccessivamente la trattazione, evidenziare i risultati soltanto di alcune zone termiche rappresentative dell'edificio, pur avendo effettuato l'analisi di tutte le 87 zone termiche presenti.

| CONFRONTO TRA Opportunità di Risparmio Energetico NEL PERIODO ESTIVO IN TERMINI DI BENESSERE ABITATIVO T<br>RISULTANTE |              |           |                  |           |              |           |                               |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|------------------|-----------|--------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| Zone Name                                                                                                              |              |           |                  |           |              |           |                               |           |
|                                                                                                                        | EX ANTE      |           | TERRAZZA ISOLATA |           | CAPPOTTO     |           | TERRAZZA ISOLATA+<br>CAPPOTTO |           |
|                                                                                                                        | n°<br>h>26°C | n°GG>26°C | n°<br>h>26°C     | n°GG>26°C | n°<br>h>26°C | n°GG>26°C | n°<br>h>26°C                  | n°GG>26°C |
| area relax                                                                                                             | 3288         | 137       | 3221             | 134       | 3351         | 140       | 3277                          | 137       |
| mensa                                                                                                                  | 3566         | 149       | 3540             | 148       | 3695         | 154       | 3681                          | 153       |
| aula didattica                                                                                                         | 3758         | 157       | 3765             | 157       | 3896         | 162       | 3906                          | 163       |
| camere nord 1                                                                                                          | 3660         | 153       | 3537             | 147       | 3759         | 157       | 3724                          | 155       |
| camere ovest 1                                                                                                         | 3714         | 155       | 3630             | 151       | 3881         | 162       | 3963                          | 165       |
| camere sud 1                                                                                                           | 3805         | 159       | 3910             | 163       | 3879         | 162       | 4129                          | 172       |
| camere nord 2                                                                                                          | 3692         | 154       | 3602             | 150       | 3761         | 157       | 3739                          | 156       |
| camere nord 3                                                                                                          | 3722         | 155       | 3647             | 152       | 3803         | 158       | 3845                          | 160       |
| camere nord 4                                                                                                          | 3731         | 155       | 3657             | 152       | 3812         | 159       | 3876                          | 162       |
| camere nord 5                                                                                                          | 3732         | 156       | 3656             | 152       | 3818         | 159       | 3881                          | 162       |
| camere nord 6                                                                                                          | 3732         | 156       | 3658             | 152       | 3812         | 159       | 3880                          | 162       |
| camere nord 7                                                                                                          | 3733         | 156       | 3658             | 152       | 3812         | 159       | 3888                          | 162       |
| camere nord 8                                                                                                          | 3750         | 156       | 3685             | 154       | 3871         | 161       | 3958                          | 165       |
| camere nord 9                                                                                                          | 3746         | 156       | 3675             | 153       | 3869         | 161       | 3949                          | 165       |
| disimpegno nord 1                                                                                                      | 3702         | 154       | 3635             | 151       | 3742         | 156       | 3750                          | 156       |
| disimpegno ovest 1                                                                                                     | 3720         | 155       | 3653             | 152       | 3771         | 157       | 3936                          | 164       |
| disimpegno sud 1                                                                                                       | 3849         | 160       | 3862             | 161       | 3940         | 164       | 4200                          | 175       |
| corridoio nord P1                                                                                                      | 3725         | 155       | 3733             | 156       | 3863         | 161       | 3946                          | 164       |
| corridoio ovest P1                                                                                                     | 3633         | 151       | 3543             | 148       | 3691         | 154       | 3713                          | 155       |
| corridoio sud P1                                                                                                       | 3567         | 149       | 3550             | 148       | 3723         | 155       | 3750                          | 156       |
| disimpegno nord 2                                                                                                      | 3749         | 156       | 3673             | 153       | 3832         | 160       | 3955                          | 165       |
| disimpegno nord 3                                                                                                      | 3748         | 156       | 3680             | 153       | 3834         | 160       | 3967                          | 165       |
| disimpegno nord 4                                                                                                      | 3755         | 156       | 3692             | 154       | 3850         | 160       | 4003                          | 167       |
| camere ovest 2                                                                                                         | 3943         | 164       | 3969             | 165       | 4060         | 169       | 4182                          | 174       |
| camere ovest 3                                                                                                         | 3985         | 166       | 4041             | 168       | 4100         | 171       | 4234                          | 176       |
| camere ovest 4                                                                                                         | 4029         | 168       | 4123             | 172       | 4155         | 173       | 4310                          | 180       |
| camere ovest 5                                                                                                         | 4047         | 169       | 4139             | 172       | 4169         | 174       | 4332                          | 181       |
| camere ovest 6                                                                                                         | 4027         | 168       | 4125             | 172       | 4154         | 173       | 4314                          | 180       |
| camere ovest 7                                                                                                         | 4019         | 167       | 4110             | 171       | 4142         | 173       | 4301                          | 179       |
| camere ovest 8                                                                                                         | 3987         | 166       | 4046             | 169       | 4097         | 171       | 4233                          | 176       |
| camere ovest 9                                                                                                         | 3908         | 163       | 3938             | 164       | 4017         | 167       | 4131                          | 172       |
| camere ovest 10                                                                                                        | 3720         | 155       | 3631             | 151       | 3793         | 158       | 3852                          | 161       |
| camere ovest 11                                                                                                        | 3383         | 141       | 3211             | 134       | 3527         | 147       | 3371                          | 140       |
| camere sud 2                                                                                                           | 3999         | 167       | 4132             | 172       | 4156         | 173       | 4392                          | 183       |
| camere sud 3                                                                                                           | 4001         | 167       | 4113             | 171       | 4143         | 173       | 4359                          | 182       |
| camere sud 4                                                                                                           | 4032         | 168       | 4146             | 173       | 4185         | 174       | 4386                          | 183       |
| camere sud 5                                                                                                           | 3999         | 167       | 4077             | 170       | 4140         | 173       | 4308                          | 180       |
| disimpegno ovest 2                                                                                                     | 3790         | 158       | 3790             | 158       | 3884         | 162       | 4068                          | 170       |
| disimpegno ovest 3                                                                                                     | 3811         | 159       | 3835             | 160       | 3907         | 163       | 4098                          | 171       |
| disimpegno ovest 4                                                                                                     | 3785         | 158       | 3792             | 158       | 3876         | 162       | 4063                          | 169       |
| disimpegno sud 2                                                                                                       | 3827         | 159       | 3811             | 159       | 3923         | 163       | 4170                          | 174       |
| uffici ovest 1                                                                                                         | 4026         | 168       | 4034             | 168       | 4163         | 173       | 4209                          | 175       |
| uffici sud 1                                                                                                           | 3911         | 163       | 3917             | 163       | 4028         | 168       | 4052                          | 169       |
| uffici ovest 2                                                                                                         | 4062         | 169       | 4076             | 170       | 4192         | 175       | 4251                          | 177       |
| uffici ovest 3                                                                                                         | 4063         | 169       | 4076             | 170       | 4197         | 175       | 4254                          | 177       |
| uffici ovest 4                                                                                                         | 4065         | 169       | 4081             | 170       | 4201         | 175       | 4263                          | 178       |
| uffici ovest 5                                                                                                         | 4078         | 170       | 4088             | 170       | 4205         | 175       | 4274                          | 178       |
| uffici ovest 6                                                                                                         | 4066         | 169       | 4083             | 170       | 4197         | 175       | 4261                          | 178       |
| uffici ovest 7                                                                                                         | 4057         | 169       | 4062             | 169       | 4186         | 174       | 4239                          | 177       |
| uffici ovest 9                                                                                                         | 4009         | 167       | 4017             | 167       | 4141         | 173       | 4185                          | 174       |
| uffici ovest 10                                                                                                        | 3861         | 161       | 3845             | 160       | 3971         | 165       | 3967                          | 165       |
| uffici ovest 11                                                                                                        | 3911         | 163       | 3896             | 162       | 4022         | 168       | 4009                          | 167       |
| corridoio ovest PT                                                                                                     | 3421         | 143       | 3388             | 141       | 3504         | 146       | 3510                          | 146       |
| corridoio sud PT                                                                                                       | 3428         | 143       | 3402             | 142       | 3528         | 147       | 3530                          | 147       |
| uffici ovest 12                                                                                                        | 3182         | 133       | 3107             | 129       | 3370         | 140       | 3320                          | 138       |
| camere nord 10                                                                                                         | 3439         | 143       | 3309             | 138       | 3644         | 152       | 3482                          | 145       |
| camere ovest 12                                                                                                        | 3587         | 149       | 3486             | 145       | 3689         | 154       | 3628                          | 151       |
| camere sud 6                                                                                                           | 3516         | 147       | 3443             | 143       | 3682         | 153       | 3653                          | 152       |

|                      |      |            |      |            |      |            |      |            |
|----------------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|
| disimpegno ovest 5   | 3722 | <b>155</b> | 3655 | <b>152</b> | 3758 | <b>157</b> | 3895 | <b>162</b> |
| disimpegno nord 5    | 3741 | <b>156</b> | 3671 | <b>153</b> | 3826 | <b>159</b> | 3937 | <b>164</b> |
| bagni PT             | 3231 | <b>135</b> | 3201 | <b>133</b> | 3348 | <b>140</b> | 3270 | <b>136</b> |
| bagni nord 1         | 3601 | <b>150</b> | 3479 | <b>145</b> | 3684 | <b>154</b> | 3609 | <b>150</b> |
| bagni ovest 1        | 3790 | <b>158</b> | 3769 | <b>157</b> | 3889 | <b>162</b> | 4008 | <b>167</b> |
| bagni sud 1          | 3965 | <b>165</b> | 4124 | <b>172</b> | 4110 | <b>171</b> | 4370 | <b>182</b> |
| bagni nord 2         | 3671 | <b>153</b> | 3600 | <b>150</b> | 3731 | <b>155</b> | 3754 | <b>156</b> |
| bagni nord 3         | 3671 | <b>153</b> | 3602 | <b>150</b> | 3731 | <b>155</b> | 3761 | <b>157</b> |
| bagni nord 4         | 3673 | <b>153</b> | 3608 | <b>150</b> | 3737 | <b>156</b> | 3784 | <b>158</b> |
| bagni ovest 2        | 3995 | <b>166</b> | 4066 | <b>169</b> | 4106 | <b>171</b> | 4274 | <b>178</b> |
| bagni ovest 3        | 4034 | <b>168</b> | 4132 | <b>172</b> | 4148 | <b>173</b> | 4323 | <b>180</b> |
| bagni ovest 4        | 4009 | <b>167</b> | 4083 | <b>170</b> | 4117 | <b>172</b> | 4280 | <b>178</b> |
| bagni ovest 5        | 3790 | <b>158</b> | 3772 | <b>157</b> | 3863 | <b>161</b> | 3961 | <b>165</b> |
| bagni ovest 6        | 3424 | <b>143</b> | 3245 | <b>135</b> | 3587 | <b>149</b> | 3385 | <b>141</b> |
| bagni sud 2          | 3867 | <b>161</b> | 3909 | <b>163</b> | 3962 | <b>165</b> | 4302 | <b>179</b> |
| bagni sud 3          | 3317 | <b>138</b> | 3226 | <b>134</b> | 3553 | <b>148</b> | 3392 | <b>141</b> |
| bagni nord 5         | 3627 | <b>151</b> | 3545 | <b>148</b> | 3728 | <b>155</b> | 3735 | <b>156</b> |
| bagni ovest 7        | 3528 | <b>147</b> | 3455 | <b>144</b> | 3636 | <b>152</b> | 3609 | <b>150</b> |
| cucina               | 3950 | <b>165</b> | 3928 | <b>164</b> | 4131 | <b>172</b> | 4126 | <b>172</b> |
| ingresso             | 3357 | <b>140</b> | 3277 | <b>137</b> | 3408 | <b>142</b> | 3374 | <b>141</b> |
| magazzino            | 3143 | <b>131</b> | 3094 | <b>129</b> | 3157 | <b>132</b> | 3168 | <b>132</b> |
| vano scala nord      | 3146 | <b>131</b> | 3050 | <b>127</b> | 3195 | <b>133</b> | 3067 | <b>128</b> |
| vano scala ovest     | 3258 | <b>136</b> | 3143 | <b>131</b> | 3335 | <b>139</b> | 3207 | <b>134</b> |
| vano scala sud       | 3383 | <b>141</b> | 3278 | <b>137</b> | 3454 | <b>144</b> | 3342 | <b>139</b> |
| disimpegno scala sud | 3481 | <b>145</b> | 3413 | <b>142</b> | 3575 | <b>149</b> | 3517 | <b>147</b> |
| centrale termica     | 1635 | <b>68</b>  | 1500 | <b>63</b>  | 1209 | <b>50</b>  | 931  | <b>39</b>  |
| scantinato           | 2699 | <b>112</b> | 2592 | <b>108</b> | 2753 | <b>115</b> | 2578 | <b>107</b> |
|                      |      |            |      |            |      |            |      |            |

Tabella 124: Calcolo delle ore e dei giorni in cui la temperatura risultante è superiore a 26°C.

Le zone termiche per le quali si riportano i risultati in dettaglio sono: la "Camera nord 1", la "Camera ovest 1" e la "Camera sud 1", tutte situate al piano superiore e le zone "Uffici sud 1" e "Uffici ovest 1" ubicate al piano terra. Nelle figure che seguono sono rappresentati, per gli ambienti citati, il numero dei giorni equivalenti [1] in cui la temperatura operativa è superiore ai 26° C.

Grafico 22: Giorni in cui  $T_o > 26^\circ\text{C}$  nella zona termica "Camere nord 1".

[1]: Il numero dei giorni equivalenti si ottiene dividendo per 24 il totale delle ore in cui la temperatura operativa è superiore a 26 °C.

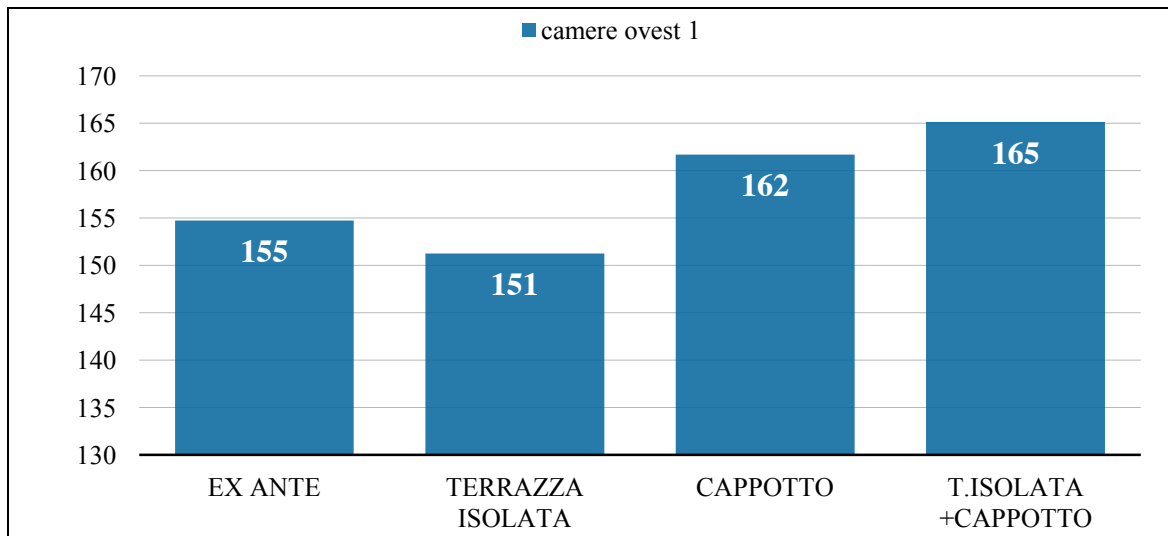


Grafico 23: Giorni in cui  $T_o > 26^\circ\text{C}$  nella zona termica "Camere ovest 1".

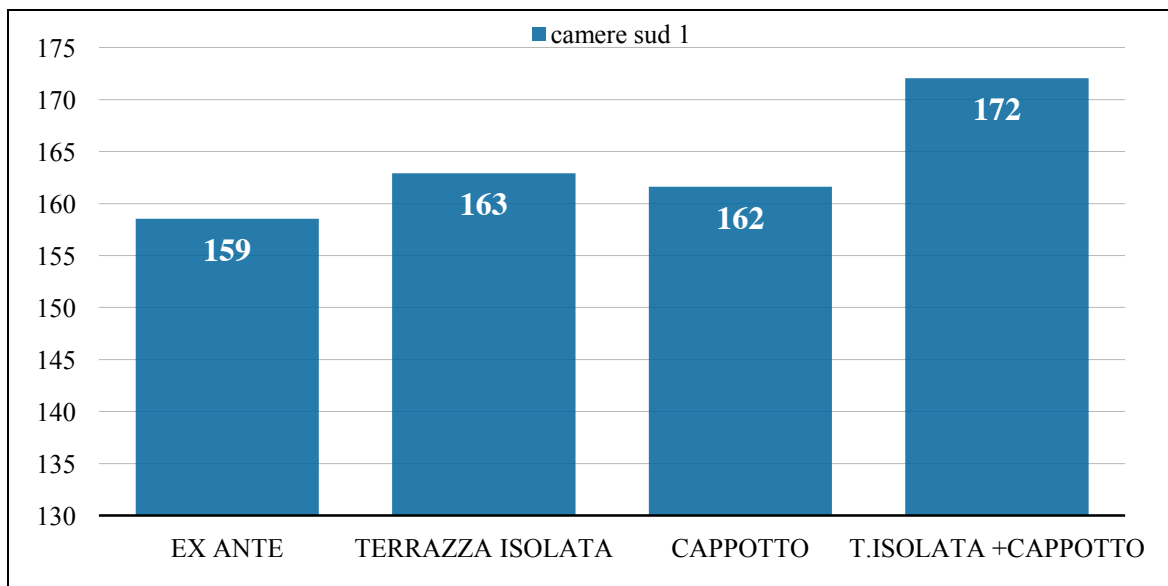
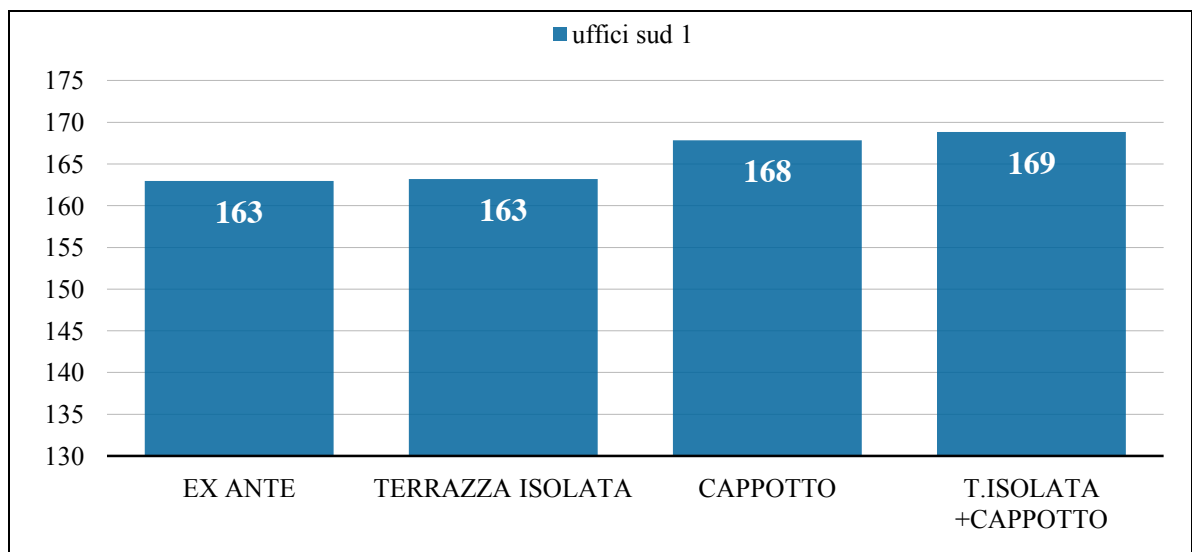
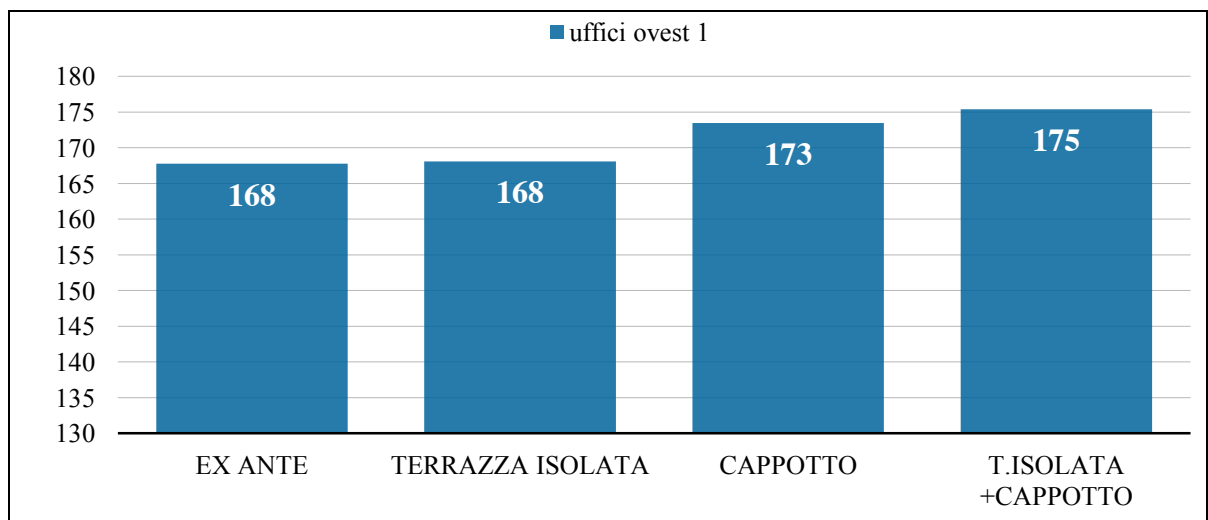


Grafico 24: Giorni in cui  $T_o > 26^\circ\text{C}$  nella zona termica "Camere sud 1".



**Grafico 25:** Giorni in cui  $T_o > 26^\circ\text{C}$  nella zona termica "Uffici sud 1".



**Grafico 26:** Giorni in cui  $T_o > 26^\circ\text{C}$  nella zona termica "Camere ovest 1".

Dall'esame dei dati contenuti nei grafici 22, 23, 24, 25 e 26 appare evidente che gli interventi proposti non raggiungano gli effetti auspicati in termini di riduzione dei giorni di sovra riscaldamento. Addirittura per l'intervento più completo (isolamento di tutte le superfici opache), il peggioramento è riscontrabile in tutte le zone termiche analizzate. Questo è ascrivibile agli elevati apporti energetici gratuiti, soprattutto quelli solari, che le zone assorbono nel periodo diurno e che per effetto dell'isolamento, non riescono a disperdere velocemente. Si ricorda infatti che l'irraggiamento solare avviene

unicamente attraverso le superfici trasparenti, sulle quali si è ritenuto a causa degli elevati costi, di non intervenire affatto. A riprova di quanto asserito si è proceduto all’analisi dei carichi termici delle zone termiche “Camera Nord 1”, “Camera Ovest 1” e “Camera Sud 1” (figg.53, 54, 55 e tabb. ).

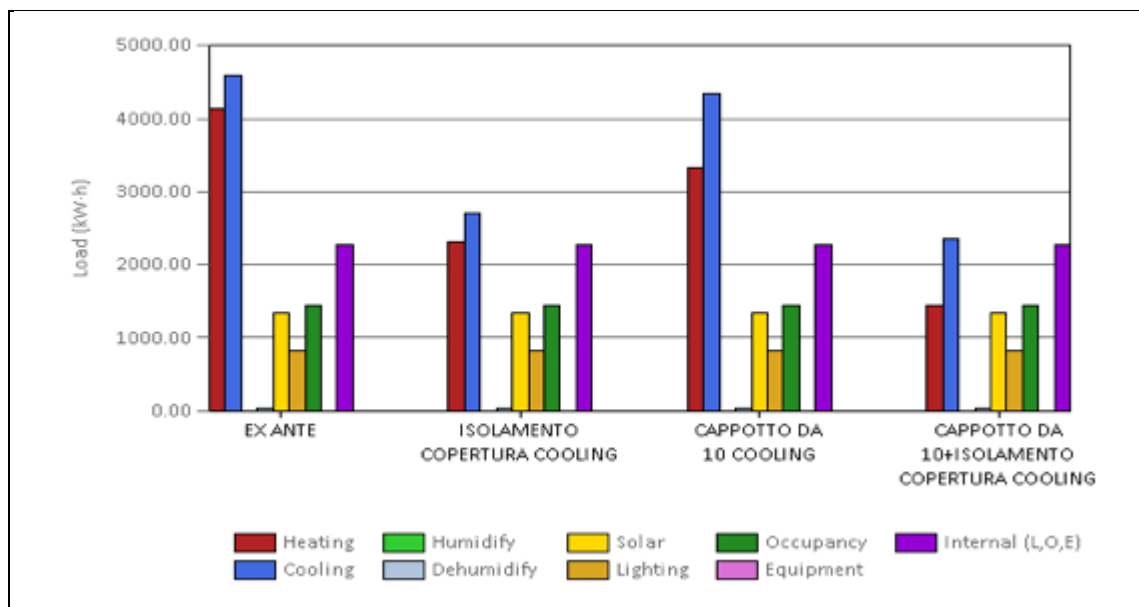


Figura 54: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica “Camera Nord 1” (Fonte TAS E.)

| Building                            | Heating | Cooling | Solar  | Lighting | Lighting | Equipment | Internal (L,O,E) |
|-------------------------------------|---------|---------|--------|----------|----------|-----------|------------------|
| EX ANTE                             | 4129,3  | 4582,0  | 1344,9 | 818,7    | 818,7    | 0,0       | 2272,0           |
| ISOLAMENTO COPERTURA                | 2312,5  | 2711,8  | 1344,9 | 818,7    | 818,7    | 0,0       | 2272,0           |
| CAPPOTTO DA 10                      | 3333,0  | 4346,1  | 1344,9 | 818,7    | 818,7    | 0,0       | 2272,0           |
| CAPPOTTO DA 10+ISOLAMENTO COPERTURA | 1446,5  | 2351,0  | 1344,9 | 818,7    | 818,7    | 0,0       | 2272,0           |

Tabella 125: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica “Camera Nord 1” (Fonte TAS E.)

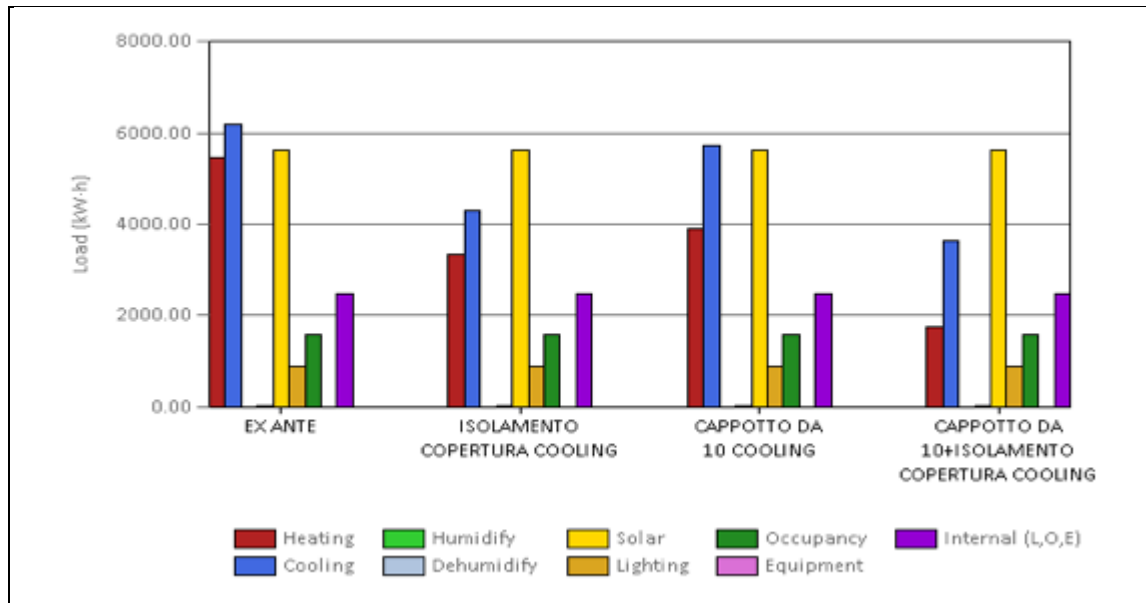


Figura 55: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica “Camera Ovest 1” (Fonte TAS E.)

| Building                            | Heating | Cooling | Solar  | Lighting | Lighting | Equipment | Internal (L,O,E) |
|-------------------------------------|---------|---------|--------|----------|----------|-----------|------------------|
| EX ANTE                             | 5441,8  | 6182,8  | 5613,5 | 890,4    | 1580,4   | 0         | 2470,8           |
| ISOLAMENTO COPERTURA                | 3336,4  | 4314,0  | 5613,5 | 890,4    | 1580,4   | 0         | 2470,8           |
| CAPPOTTO DA 10                      | 3909,6  | 5711,5  | 5613,5 | 890,4    | 1580,4   | 0         | 2470,8           |
| CAPPOTTO DA 10+ISOLAMENTO COPERTURA | 1743,3  | 3627,4  | 5613,5 | 890,4    | 1580,4   | 0         | 2470,8           |

Tabella 126: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica “Camera Ovest 1” (Fonte TAS E.)

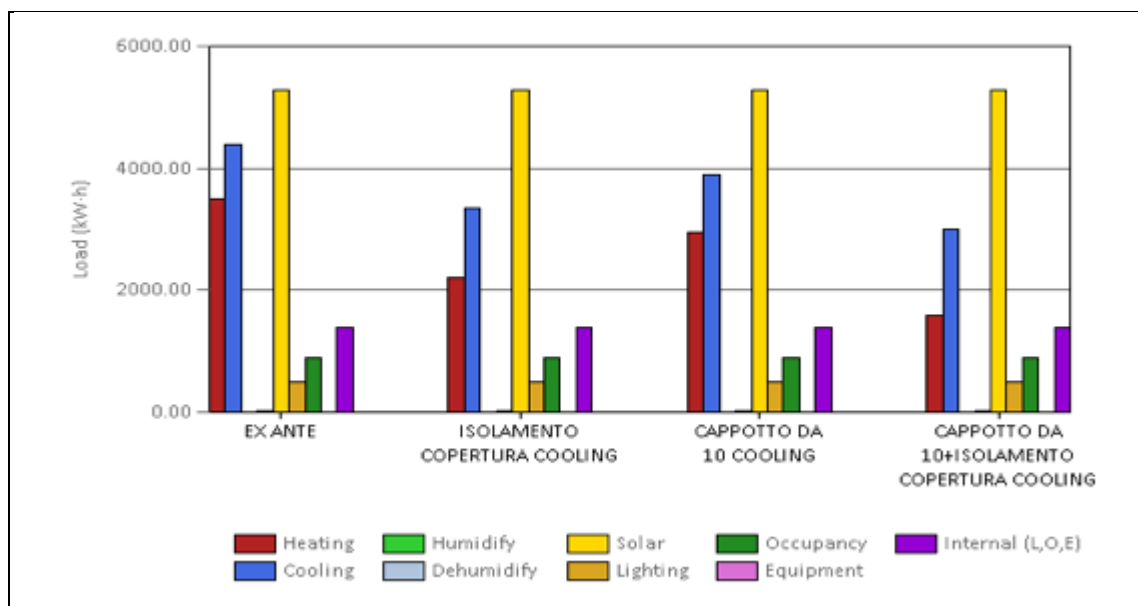


Figura 56: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Sud 1" (Fonte TAS E.)

| Building                            | Heating | Cooling | Solar  | Lighting | Lighting | Equipment | Internal (L,O,E) |
|-------------------------------------|---------|---------|--------|----------|----------|-----------|------------------|
| EX ANTE                             | 3505,0  | 4403,3  | 5286,0 | 499,6    | 893,7    | 0         | 1393,3           |
| ISOLAMENTO COPERTURA                | 2193,1  | 3337,0  | 5286,0 | 499,6    | 893,7    | 0         | 1393,3           |
| CAPPOTTO DA 10                      | 2959,7  | 3891,1  | 5286,0 | 499,6    | 893,7    | 0         | 1393,3           |
| CAPPOTTO DA 10+ISOLAMENTO COPERTURA | 1592,3  | 3005,4  | 5286,0 | 499,6    | 893,7    | 0         | 1393,3           |

Tabella 127: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Sud 1" (Fonte TAS E.)

Appare evidente che, per le tre zone termiche considerate, in termini del numero di giorni con una temperatura minore di 26° C, ottenuti. più grande è il quantitativo energetico dell'apporto solare e minori sono i vantaggi ottenuti dagli interventi isolanti.

Pertanto al fine di valutare più correttamente gli effetti degli interventi proposti è opportuno integrare la precedente analisi considerando il numero dei giorni equivalenti in cui le diverse zone termiche si trovano in condizione di *overheating*, e cioè condizione di surriscaldamento con temperatura maggiore di 26 °C.

Appare evidente, infatti che un conto è soggiornare in un ambiente a 40 °C e un altro è permanere nello stesso ambiente a 27 °C. A tale proposito si riporta la

tabella 128, in cui per la zona termica "Camera Nord 1" vengono riportate le ore in cui la temperatura risultante è superiore ai valori di temperatura compresi tra 26 °C e 40°C.

| CAMERA NORD 1 |         |                      |          |                                |
|---------------|---------|----------------------|----------|--------------------------------|
| T [°C]        | EX ANTE | ISOLAMENTO COPERTURA | CAPPOTTO | CAPPOTTO+ ISOLAMENTO COPERTURA |
| 26            | 3660    | 3537                 | 3784     | 3724                           |
| 27            | 3464    | 3269                 | 3566     | 3403                           |
| 28            | 3323    | 3147                 | 3332     | 3234                           |
| 29            | 3166    | 2990                 | 3226     | 3106                           |
| 30            | 2935    | 2606                 | 3028     | 2857                           |
| 31            | 2663    | 2309                 | 2703     | 2462                           |
| 32            | 2399    | 2083                 | 2466     | 2192                           |
| 33            | 2137    | 1836                 | 2215     | 2023                           |
| 34            | 1849    | 1462                 | 1937     | 1680                           |
| 35            | 1600    | 1050                 | 1646     | 1099                           |
| 36            | 1288    | 449                  | 1297     | 492                            |
| 37            | 845     | 91                   | 849      | 99                             |
| 38            | 491     | 6                    | 484      | 4                              |
| 39            | 228     | 0                    | 240      | 0                              |
| 40            | 60      | 0                    | 88       | 0                              |

Tabella 128: Numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.

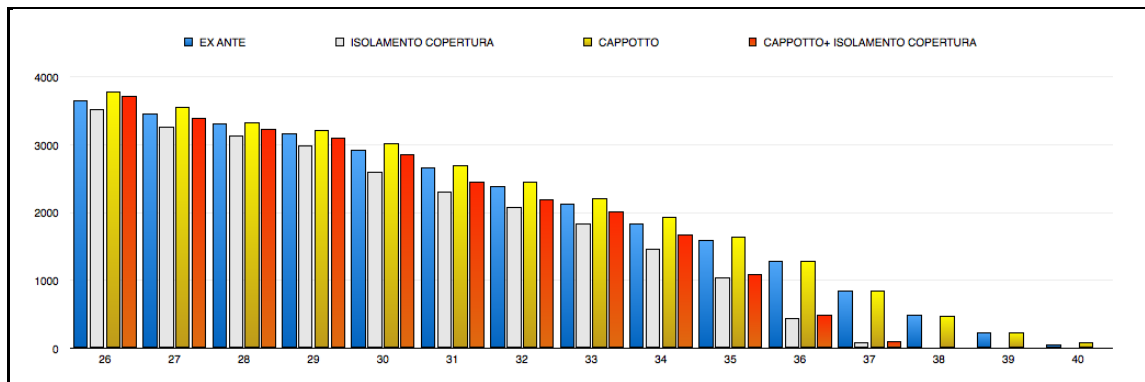


Figura 57: Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e i vari Ex Post (Fonte TAS E.)

Come deducibile dai grafici, il miglioramento risulta marcato nel caso si scelga di intervenire sulla copertura, esclusivamente o in abbinamento all'isolamento delle pareti perimetrali, mentre anche in quest'altra analisi non risulta di particolare rilevanza la posa in opera del solo cappotto termico. Nella figura 56 sono stati messi a confronto tutte le tipologie di opere con lo stato di fatto, mentre nelle figure seguenti (figg. 60, 61, 62) per una maggiore chiarezza i confronti con la situazione *ante operam* sono stati eseguiti per singolo intervento (in giallo l'*ex ante* in blu l'*ex post*).

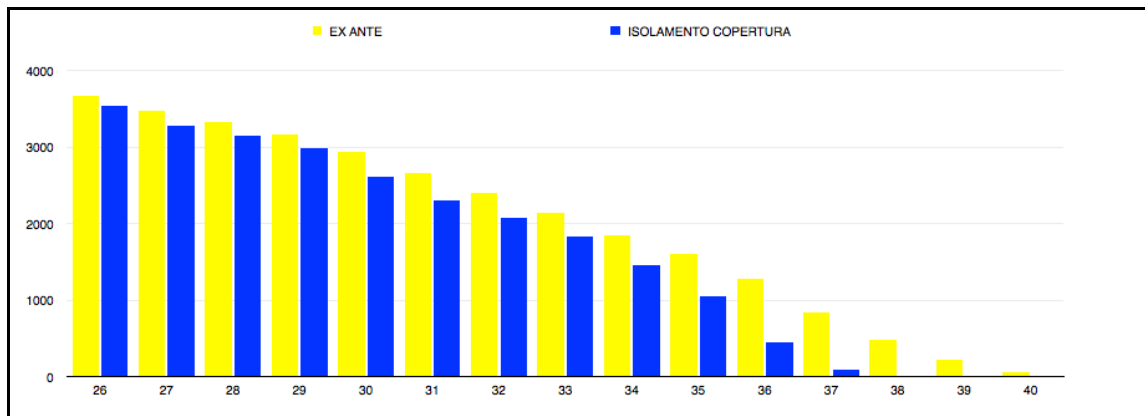


Figura 58. Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Isolamento copertura"(Fonte TAS E.)

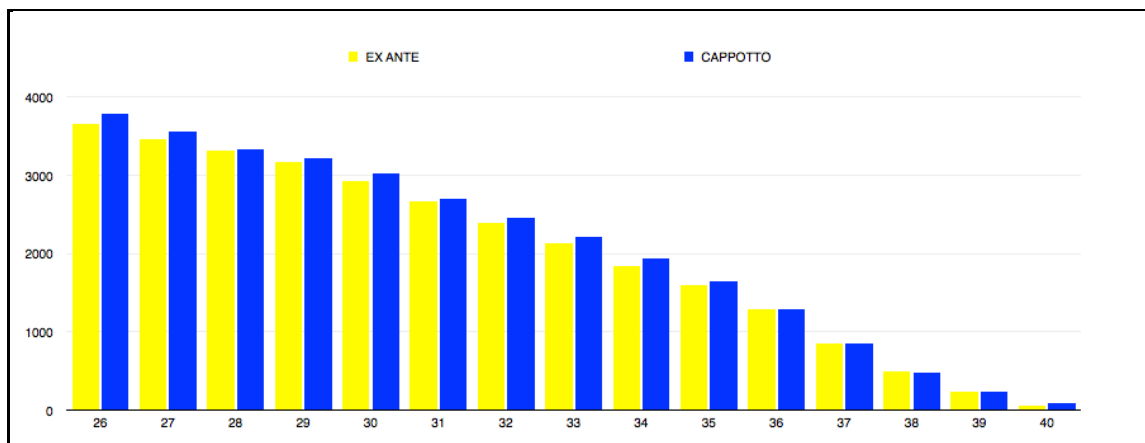


Figura 59 Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Cappotto"(Fonte TAS E.)

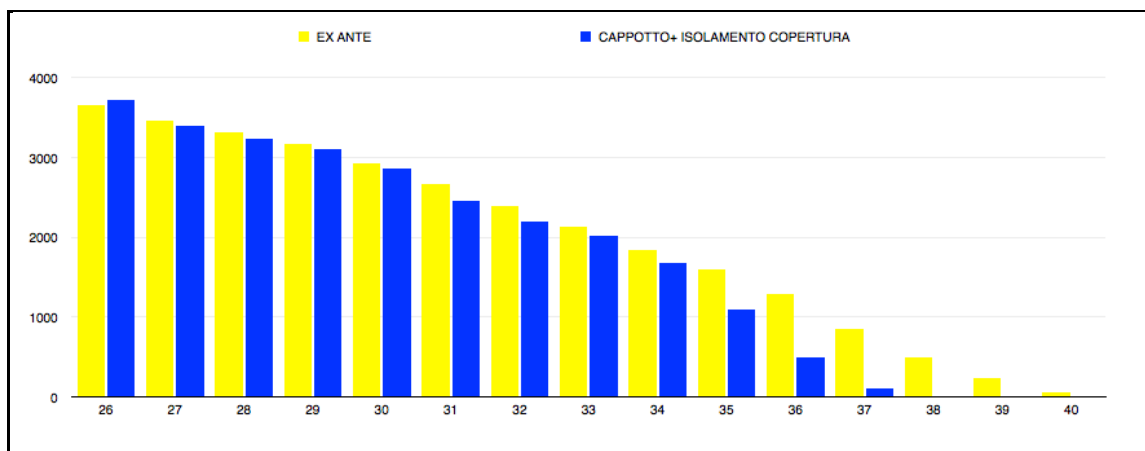


Figura 60 Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Cappotto+Isolamento copertura"(Fonte TAS E.)

Successivamente si è proceduto con lo studio delle temperature, dell'aria, radiante e risultante delle varie zone termiche rappresentative, nel giorno più caldo che nella città di Sabaudia statisticamente risulta essere il giorno 231, ovvero il 19 agosto. Per semplicità si riportano solo i dati riferibili alla zona termica "Camera Nord 1" (tab.129

|            |       | CAMERA NORD 1 EX ANTE |            |              | CAMERA NORD 1 TERRAZZA ISOLATA |            |              | CAMERA NORD 1 CAPPOTTO |            |              | CAMERA NORD 1 CAPPOTTO + ISOLAMENTO TERRAZZA |            |              |
|------------|-------|-----------------------|------------|--------------|--------------------------------|------------|--------------|------------------------|------------|--------------|----------------------------------------------|------------|--------------|
| GIORNO 231 | T EXT | T ARIA                | T RADIANTE | T RISULTANTE | T ARIA                         | T RADIANTE | T RISULTANTE | T ARIA                 | T RADIANTE | T RISULTANTE | T ARIA                                       | T RADIANTE | T RISULTANTE |
| 1          | 30,50 | 39,14                 | 40,49      | 39,82        | 35,64                          | 36,23      | 35,94        | 39,06                  | 40,39      | 39,73        | 35,44                                        | 36,04      | 35,74        |
| 2          | 29,70 | 38,96                 | 40,29      | 39,63        | 35,55                          | 36,22      | 35,88        | 38,84                  | 40,17      | 39,51        | 35,32                                        | 36,00      | 35,66        |
| 3          | 29,30 | 38,80                 | 40,08      | 39,44        | 35,49                          | 36,20      | 35,84        | 38,66                  | 39,94      | 39,30        | 35,23                                        | 35,96      | 35,59        |
| 4          | 29,00 | 38,63                 | 39,85      | 39,24        | 35,43                          | 36,17      | 35,80        | 38,47                  | 39,70      | 39,08        | 35,15                                        | 35,91      | 35,53        |
| 5          | 29,10 | 38,50                 | 39,62      | 39,06        | 35,41                          | 36,15      | 35,78        | 38,33                  | 39,46      | 38,89        | 35,12                                        | 35,88      | 35,50        |
| 6          | 29,70 | 38,43                 | 39,42      | 38,93        | 35,46                          | 36,16      | 35,81        | 38,25                  | 39,24      | 38,75        | 35,16                                        | 35,87      | 35,52        |
| 7          | 30,70 | 38,38                 | 39,21      | 38,79        | 35,54                          | 36,16      | 35,85        | 38,20                  | 39,03      | 38,61        | 35,24                                        | 35,87      | 35,55        |
| 8          | 32,10 | 38,38                 | 39,04      | 38,71        | 35,68                          | 36,19      | 35,93        | 38,20                  | 38,86      | 38,53        | 35,37                                        | 35,89      | 35,63        |
| 9          | 33,40 | 38,41                 | 38,91      | 38,66        | 35,85                          | 36,21      | 36,03        | 38,23                  | 38,73      | 38,48        | 35,54                                        | 35,91      | 35,72        |
| 10         | 34,70 | 38,49                 | 38,87      | 38,68        | 36,03                          | 36,24      | 36,13        | 38,32                  | 38,69      | 38,50        | 35,73                                        | 35,94      | 35,84        |
| 11         | 35,80 | 38,60                 | 38,90      | 38,75        | 36,22                          | 36,28      | 36,25        | 38,44                  | 38,73      | 38,59        | 35,93                                        | 35,99      | 35,96        |
| 12         | 36,80 | 38,78                 | 39,06      | 38,92        | 36,43                          | 36,34      | 36,38        | 38,62                  | 38,90      | 38,76        | 36,14                                        | 36,05      | 36,10        |
| 13         | 37,50 | 38,99                 | 39,32      | 39,16        | 36,61                          | 36,42      | 36,51        | 38,84                  | 39,16      | 39,00        | 36,34                                        | 36,13      | 36,23        |
| 14         | 38,00 | 39,23                 | 39,66      | 39,44        | 36,75                          | 36,49      | 36,62        | 39,10                  | 39,51      | 39,30        | 36,49                                        | 36,20      | 36,34        |
| 15         | 38,20 | 39,51                 | 40,06      | 39,78        | 36,86                          | 36,58      | 36,72        | 39,38                  | 39,91      | 39,64        | 36,60                                        | 36,29      | 36,45        |
| 16         | 38,20 | 39,85                 | 40,54      | 40,20        | 37,01                          | 36,75      | 36,88        | 39,72                  | 40,40      | 40,06        | 36,75                                        | 36,46      | 36,61        |
| 17         | 37,70 | 40,12                 | 41,00      | 40,56        | 37,09                          | 36,92      | 37,00        | 40,01                  | 40,87      | 40,44        | 36,84                                        | 36,63      | 36,74        |
| 18         | 36,90 | 40,24                 | 41,26      | 40,75        | 37,05                          | 36,95      | 37,00        | 40,15                  | 41,14      | 40,64        | 36,81                                        | 36,68      | 36,74        |
| 19         | 36,10 | 40,21                 | 41,30      | 40,76        | 36,90                          | 36,85      | 36,87        | 40,11                  | 41,17      | 40,64        | 36,64                                        | 36,57      | 36,60        |
| 20         | 35,10 | 40,18                 | 41,34      | 40,76        | 36,75                          | 36,83      | 36,79        | 40,06                  | 41,19      | 40,62        | 36,47                                        | 36,53      | 36,50        |
| 21         | 34,20 | 40,11                 | 41,31      | 40,71        | 36,61                          | 36,82      | 36,72        | 39,97                  | 41,15      | 40,56        | 36,33                                        | 36,50      | 36,41        |
| 22         | 33,20 | 40,01                 | 41,23      | 40,62        | 36,49                          | 36,82      | 36,66        | 39,85                  | 41,05      | 40,45        | 36,18                                        | 36,48      | 36,33        |
| 23         | 32,30 | 39,87                 | 41,10      | 40,48        | 36,38                          | 36,82      | 36,60        | 39,70                  | 40,90      | 40,30        | 36,04                                        | 36,45      | 36,24        |
| 24         | 31,30 | 39,70                 | 40,95      | 40,33        | 36,26                          | 36,81      | 36,54        | 39,51                  | 40,73      | 40,12        | 35,89                                        | 36,42      | 36,15        |
| T MEDIA    | 33,73 | 39,23                 | 40,12      | 39,67        | 36,23                          | 36,48      | 36,36        | 39,08                  | 39,96      | 39,52        | 35,95                                        | 36,19      | 36,07        |

Tabella 129: Valori delle temperature nella camera Nord 1 nella stato attuale ed in seguito ai vari interventi.

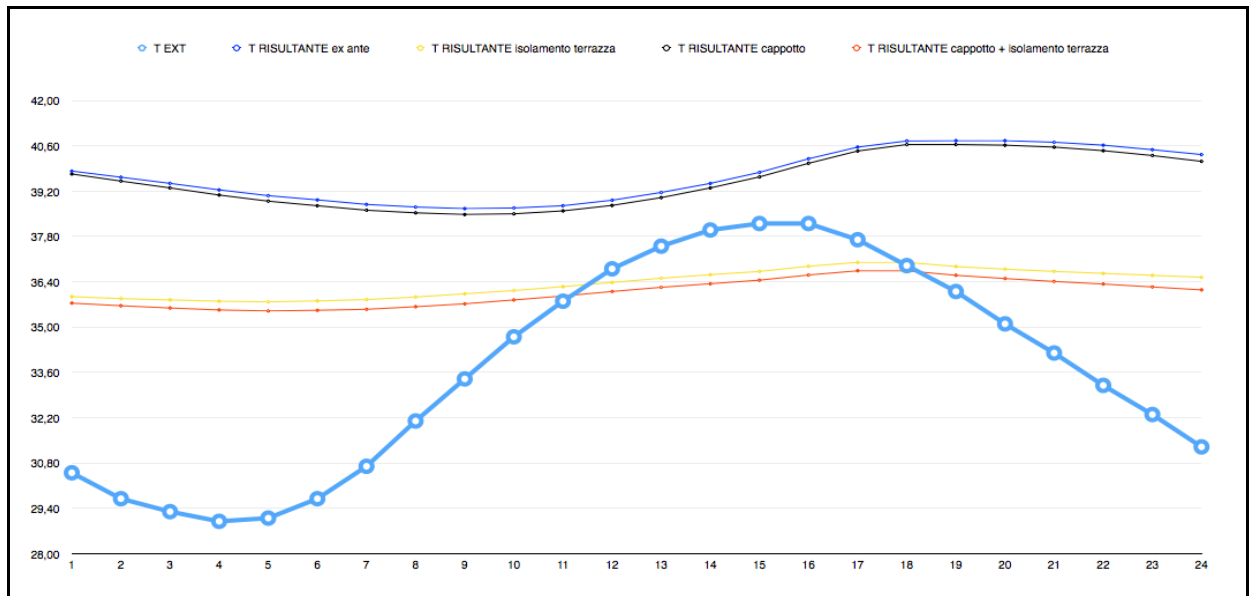


Grafico 27: Grafico dei valori delle temperature nella camera Nord 1 nella stato attuale ed in seguito ai vari interventi.

Il graf. 27 evidenzia che mentre il solo cappotto termico (linea nera) non consente particolari riduzioni delle temperature ambientali rispetto alla situazione attuale (linea blu), è decisamente migliorativo l'isolamento della copertura, da solo (linea verde) o in abbinamento all'isolamento perimetrale (linea rossa).

Si rammenta che la simulazione dinamica proposta, non considera le eventuali aperture dei serramenti, né gli ombreggiamenti ottenibili con la chiusura degli avvolgibili, poiché ascrivibili a comportamenti soggettivi. In questa sede si è infatti preferito considerare solo le caratteristiche dell'involucro edilizio. Questo spiega come le temperature interne degli ambienti siano sostanzialmente più elevate della temperatura esterna (linea azzurra tratto grosso).

Rammentando l'importanza della temperatura media radiante, ovvero la media pesata delle temperature superficiali delle parti di involucro edilizio con le quali gli occupanti scambiano flussi termici per irraggiamento, si riportano i valori delle temperature superficiali dei solai superiori delle zone termiche “Camera nord 1” e “Camera sud 1”. Visti i risultati ottenuti dall'intervento di coibentazione della copertura e l'ubicazione delle zone termiche analizzate (immediatamente al di sotto della

copertura piana), si è ritenuto di considerare soltanto gli scenari "EX ANTE" e "ISOLAMENTO DELLA COPERTURA" (tabb. 131,132, 133, 134 e graff. 28, 29,30, 31)

| giorno | TEMPERATURA EXT | CAMERA NORD 1 EX ANTE | CAMERA NORD 1 TERRAZZA ISOLATA |
|--------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| 16, 1  | -4,00           | 15,61                 | 19,57                          |
| 16, 2  | -2,40           | 15,47                 | 19,58                          |
| 16, 3  | -2,50           | 15,37                 | 19,58                          |
| 16, 4  | -1,00           | 15,26                 | 19,57                          |
| 16, 5  | -0,10           | 15,18                 | 19,56                          |
| 16, 6  | 0,30            | 15,14                 | 19,54                          |
| 16, 7  | 0,40            | 15,04                 | 19,44                          |
| 16, 8  | 1,00            | 15,01                 | 19,37                          |
| 16, 9  | 1,50            | 15,17                 | 19,50                          |
| 16, 10 | 1,80            | 15,27                 | 19,55                          |
| 16, 11 | 1,90            | 15,36                 | 19,58                          |
| 16, 12 | 3,00            | 15,44                 | 19,60                          |
| 16, 13 | 3,40            | 15,55                 | 19,61                          |
| 16, 14 | 6,10            | 15,61                 | 19,63                          |
| 16, 15 | 7,20            | 15,84                 | 19,61                          |
| 16, 16 | 7,40            | 16,08                 | 19,59                          |
| 16, 17 | 6,60            | 16,36                 | 19,59                          |
| 16, 18 | 6,50            | 16,63                 | 19,59                          |
| 16, 19 | 6,30            | 16,66                 | 19,43                          |
| 16, 20 | 6,20            | 16,68                 | 19,36                          |
| 16, 21 | 6,00            | 16,67                 | 19,31                          |
| 16, 22 | 5,90            | 16,61                 | 19,28                          |
| 16, 23 | 5,70            | 16,54                 | 19,26                          |
| 16, 24 | 5,50            | 16,55                 | 19,33                          |

Tabella 130: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 16

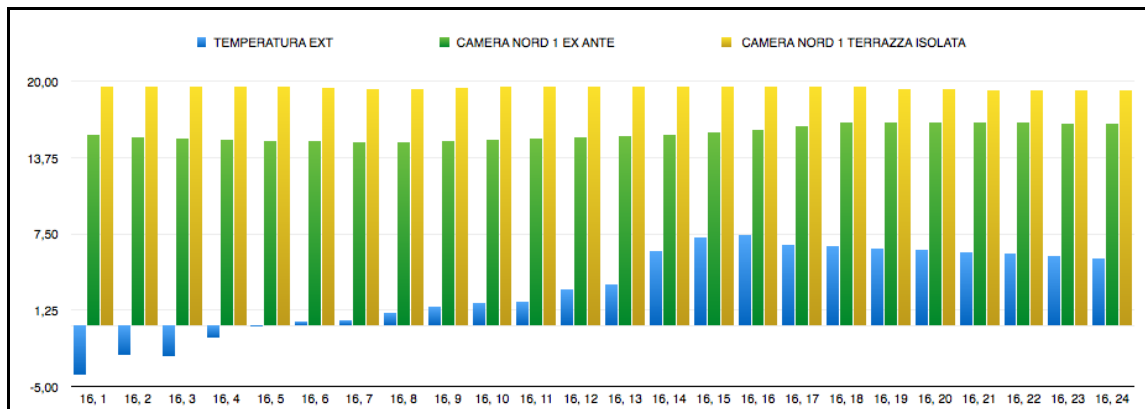


Grafico 28:Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 16

| giorno | TEMPERATURA EXT | CAMERA SUD 1 EX ANTE | CAMERA SUD 1 TERRAZZA ISOLATA |
|--------|-----------------|----------------------|-------------------------------|
| 16, 1  | -4,00           | 15,26                | 19,05                         |
| 16, 2  | -2,40           | 15,12                | 19,04                         |
| 16, 3  | -2,50           | 15,01                | 19,04                         |
| 16, 4  | -1,00           | 14,90                | 19,02                         |
| 16, 5  | -0,10           | 14,83                | 19,00                         |
| 16, 6  | 0,30            | 14,78                | 18,98                         |
| 16, 7  | 0,40            | 14,69                | 18,89                         |
| 16, 8  | 1,00            | 14,67                | 18,83                         |
| 16, 9  | 1,50            | 14,81                | 18,94                         |
| 16, 10 | 1,80            | 14,91                | 18,98                         |
| 16, 11 | 1,90            | 15,00                | 19,01                         |
| 16, 12 | 3,00            | 15,09                | 19,03                         |
| 16, 13 | 3,40            | 15,20                | 19,05                         |
| 16, 14 | 6,10            | 15,39                | 19,17                         |
| 16, 15 | 7,20            | 15,57                | 19,16                         |
| 16, 16 | 7,40            | 15,68                | 19,12                         |
| 16, 17 | 6,60            | 15,82                | 19,07                         |
| 16, 18 | 6,50            | 15,95                | 19,05                         |
| 16, 19 | 6,30            | 15,91                | 18,89                         |
| 16, 20 | 6,20            | 15,90                | 18,81                         |
| 16, 21 | 6,00            | 15,88                | 18,76                         |
| 16, 22 | 5,90            | 15,86                | 18,73                         |
| 16, 23 | 5,70            | 15,82                | 18,71                         |
| 16, 24 | 5,50            | 15,86                | 18,76                         |

Tabella 131:Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1-Giorno 16

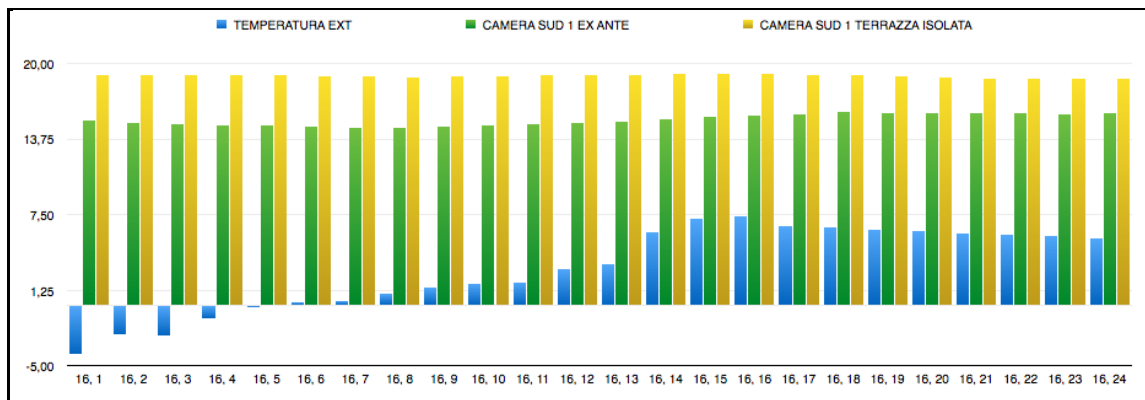


Grafico 29: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 16

| Hour    | TEMPERATURA EXT | CAMERA NORD 1 EX ANTE | CAMERA NORD 1 TERRAZZA ISOLATA |
|---------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| 231, 1  | 30,50           | 43,15                 | 36,49                          |
| 231, 2  | 29,70           | 42,50                 | 36,49                          |
| 231, 3  | 29,30           | 41,85                 | 36,48                          |
| 231, 4  | 29,00           | 41,22                 | 36,46                          |
| 231, 5  | 29,10           | 40,60                 | 36,44                          |
| 231, 6  | 29,70           | 40,01                 | 36,43                          |
| 231, 7  | 30,70           | 39,45                 | 36,42                          |
| 231, 8  | 32,10           | 39,01                 | 36,42                          |
| 231, 9  | 33,40           | 38,72                 | 36,42                          |
| 231, 10 | 34,70           | 38,68                 | 36,41                          |
| 231, 11 | 35,80           | 38,87                 | 36,42                          |
| 231, 12 | 36,80           | 39,42                 | 36,46                          |
| 231, 13 | 37,50           | 40,24                 | 36,53                          |
| 231, 14 | 38,00           | 41,27                 | 36,61                          |
| 231, 15 | 38,20           | 42,35                 | 36,69                          |
| 231, 16 | 38,20           | 43,35                 | 36,78                          |
| 231, 17 | 37,70           | 44,23                 | 36,87                          |
| 231, 18 | 36,90           | 44,79                 | 36,93                          |
| 231, 19 | 36,10           | 45,00                 | 36,94                          |
| 231, 20 | 35,10           | 44,94                 | 36,96                          |
| 231, 21 | 34,20           | 44,66                 | 36,98                          |
| 231, 22 | 33,20           | 44,21                 | 37,00                          |
| 231, 23 | 32,30           | 43,70                 | 37,02                          |
| 231, 24 | 31,30           | 43,14                 | 37,02                          |

Tabella 132: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 231

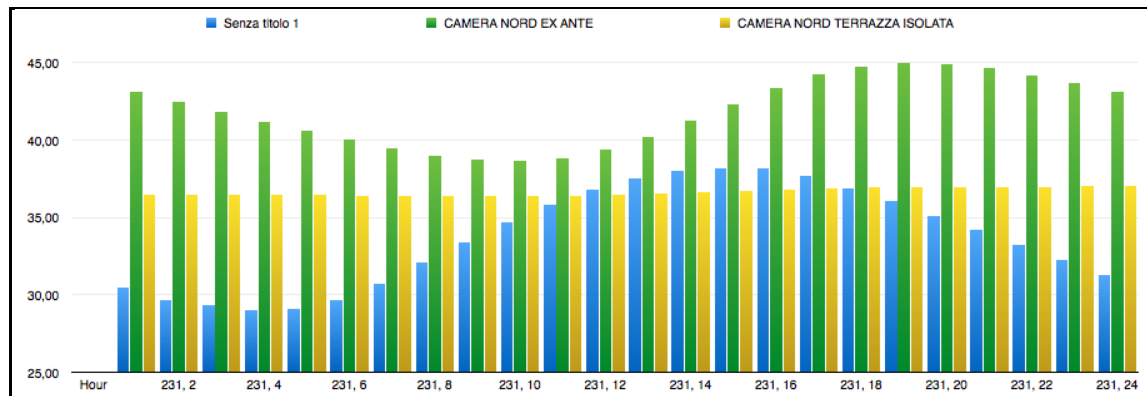


Grafico 30 Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 231

| Hour    | TEMPERATURA EXT | CAMERA SUD 1 EX ANTE | CAMERA SUD 1 TERRAZZA ISOLATA |
|---------|-----------------|----------------------|-------------------------------|
| 231, 1  | 30,50           | 42,32                | 38,84                         |
| 231, 2  | 29,70           | 41,75                | 38,77                         |
| 231, 3  | 29,30           | 41,18                | 38,68                         |
| 231, 4  | 29,00           | 40,62                | 38,59                         |
| 231, 5  | 29,10           | 40,08                | 38,51                         |
| 231, 6  | 29,70           | 39,60                | 38,49                         |
| 231, 7  | 30,70           | 39,43                | 38,75                         |
| 231, 8  | 32,10           | 39,47                | 39,11                         |
| 231, 9  | 33,40           | 39,70                | 39,52                         |
| 231, 10 | 34,70           | 40,11                | 39,92                         |
| 231, 11 | 35,80           | 40,67                | 40,29                         |
| 231, 12 | 36,80           | 41,37                | 40,50                         |
| 231, 13 | 37,50           | 42,12                | 40,54                         |
| 231, 14 | 38,00           | 42,96                | 40,51                         |
| 231, 15 | 38,20           | 43,70                | 40,40                         |
| 231, 16 | 38,20           | 44,27                | 40,27                         |
| 231, 17 | 37,70           | 44,65                | 40,16                         |
| 231, 18 | 36,90           | 44,77                | 40,09                         |
| 231, 19 | 36,10           | 44,66                | 40,00                         |
| 231, 20 | 35,10           | 44,37                | 39,92                         |
| 231, 21 | 34,20           | 43,97                | 39,86                         |
| 231, 22 | 33,20           | 43,52                | 39,80                         |
| 231, 23 | 32,30           | 43,03                | 39,73                         |
| 231, 24 | 31,30           | 42,54                | 39,66                         |

Tabella 133: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 231

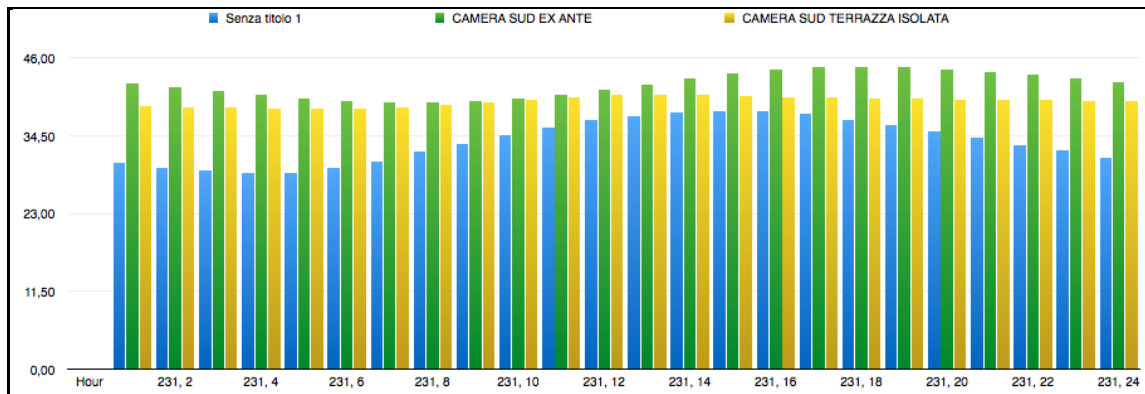


Grafico 31: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 231

## 10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si riportano, al fine di poter confrontare i risultati ottenuti con le diverse metodologie di calcolo, regime quasi stazionario e dinamico, le seguenti tabelle.

| <b><u>EX ANTE</u></b> |                          |                 |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| RISCALDAMENTO         |                          |                 |
| CONSUMI REALI*        | REGIME QUASI STAZIONARIO | REGIME DINAMICO |
| 340.000 kWh           | 307.000 kWh              | 281.000 kWh     |
| RAFFRESCAMENTO        |                          |                 |
| -                     | 135.000 kWh              | 302.000 kWh     |

**Tabella 134: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati. (\*comprensivo dell'ACS)**

Tenendo presente che il dato relativo al consumo reale dell'immobile deve essere decurtato della quota di energia termica relativa alla produzione di ACS e quindi ridotto ragionevolmente di circa 30.000 kWh, il risultato del calcolo ottenuto in regime quasi stazionario è pressoché identico (tab. 135).

Assolutamente in linea può anche considerarsi il risultato ottenuto col software TAS che risulta inferiore di circa il 17% principalmente a causa di un maggior grado di accuratezza per quanto concerne l'analisi degli apporti energetici gratuiti, in principal modo quelli solari.

Come ampiamente nelle aspettative la vera differenza tra le due metodologie si manifesta nel calcolo dei flussi termici nella stagione estiva. Il valore dell'energia termica

necessaria a mantenere una temperatura interna di 26° C calcolato con TAS (302.000 kWh) è più che raddoppiata rispetto allo stesso dato fornito dal software MC11300 (135.000 kWh).

Come ricordato in precedenza infatti, l'ipotesi del regime quasi stazionario sulla quale si basano tutti i software per la certificazione energetica validati dal CTI, quale MC11300, può essere accettata nello studio dei fenomeni termici invernali ma non per quelli estivi, molto più soggetti a continue variazioni nel tempo.

L'ubicazione del fabbricato in una zona costiera dal clima tipicamente mediterraneo, ha suggerito un particolare livello di approfondimento nello studio dei flussi termici nel periodo estivo. Per tale motivo è stata compiuta anche l'analisi energetica in regime dinamico.

Quanto evidenziato, trova riscontro anche nelle analisi compiute a seguito degli interventi di riqualificazione energetica suggeriti (tab. 136, 137 e 138) .

| <b><u>ISOLAMENTO COPERTURA</u></b> |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| <b>RISCALDAMENTO</b>               |                 |
| REGIME QUASI STAZIONARIO           | REGIME DINAMICO |
| 221. 757 kWh                       | 218.678 kWh     |
| <b>RAFFRESCAMENTO</b>              |                 |
| 121.251 kWh                        | 244.333 kWh     |

**Tabella 135: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento della copertura .**

| <b><u>CAPPOTTO DA 10 CM</u></b> |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| <b>RISCALDAMENTO</b>            |                 |
| REGIME QUASI STAZIONARIO        | REGIME DINAMICO |
| 213.202 kWh                     | 210.411 kWh     |
| <b>RAFFRESCAMENTO</b>           |                 |
| 164.130 kWh                     | 289.964 kWh     |

Tabella 136: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento a cappotto delle pareti perimetrali.

| <b><u>CAPPOTTO DA 10 CM+ ISOLAMENTO COPERTURA</u></b> |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>RISCALDAMENTO</b>                                  |                 |
| REGIME QUASI STAZIONARIO                              | REGIME DINAMICO |
| 129.335 kWh                                           | 144.833 kWh     |
| <b>RAFFRESCAMENTO</b>                                 |                 |
| 154.032 kWh                                           | 213.240 kWh     |

Tabella 137 Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento a cappotto delle pareti perimetrali e di isolamento della copertura.

In considerazione dei costi di realizzazione delle opere in argomento, esposti in tab. 96 e dei risultati ottenuti in fase di simulazione, si ritiene di poter consigliare alla committenza come opera iniziale, l'isolamento della copertura piana. Si rammenta infatti che tale tipologia di intervento oltre a rappresentare un buon compromesso tra i costi ed i benefici ottenibili, permetterebbe in maniera significativa di migliorare le condizioni di benessere ambientale interno, riducendo, come visto, sensibilmente la temperatura superficiale del solaio superiore, influenzando quindi anche la temperatura risultante degli ambienti destinati alle camerate.

Si ritiene opportuno altresì consigliare vivamente anche sistemi che possano contribuire a ridurre gli apporti solari, quali ad esempio pellicole oscuranti da apporre sulle superfici trasparenti.

Senza tali accorgimenti infatti, come evidenziato, non solo si rendono vani ulteriori interventi di isolamento ma questi diventano addirittura controindicati in quanto provocherebbero l'intrappolamento degli apporti gratuiti all'interno dei locali, causando fenomeni di surriscaldamento nei periodi estivi.

## INDICE GRAFICI

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Grafico 1: "Firma Energetica" esercizio 2010-2011                                                                                                  | 19  |
| Grafico 2: "Firma Energetica" esercizio 2011-2012                                                                                                  | 20  |
| Grafico 3: Andamento dei consumi per l'anno 2010                                                                                                   | 57  |
| Grafico 4: Andamento dei consumi per l'anno 2011                                                                                                   | 59  |
| Grafico 5: Andamento dei consumi per l'anno 2012 (I semestre)                                                                                      | 60  |
| Grafico 6: Rapporto Costi/Benefici relativo a diversi spessori di isolante termico.                                                                | 66  |
| Grafico 7: Tempo di ritorno relativo all'ORE 7.                                                                                                    | 78  |
| Grafico 8: Tempo di ritorno relativo all'ORE / con incentivi.                                                                                      | 79  |
| Grafico 9: Tempo di ritorno relativo all'ore 8.                                                                                                    | 80  |
| Grafico 10: Tempo di ritorno relativo all'ORE 8 con incentivi.                                                                                     | 81  |
| Grafico 11: Tempo di ritorno relativo all'ORE 9.                                                                                                   | 82  |
| Grafico 12: Tempo di ritorno relativo all'ORE 10.                                                                                                  | 83  |
| Grafico 13: Tempo di ritorno relativo all'ORE 10 con incentivi.                                                                                    | 84  |
| Grafico 14: Tempo di ritorno relativo all'ORE 11.                                                                                                  | 85  |
| Grafico 15: Tempo di ritorno ORE 11 con incentivi.                                                                                                 | 86  |
| Grafico 16: Fabbisogni di energia termica relativi al riscaldamento                                                                                | 103 |
| Grafico 17: Fabbisogni di energia termica relativi al raffrescamento                                                                               | 104 |
| Grafico 18: Fabbisogni di energia primaria relativi al riscaldamento del gruppo zone termiche "CAMERE". (Fonte TAS E.)                             | 107 |
| Grafico 19: Fabbisogni di energia primaria relativi al raffrescamento del gruppo zone termiche "CAMERE" (Fonte TAS E.)                             | 107 |
| Grafico 20: Fabbisogni di energia primaria relativi al riscaldamento del gruppo zone termiche "UFFICI".                                            | 109 |
| Grafico 21: Fabbisogni di energia primaria relativi al raffrescamento del gruppo zone termiche "UFFICI".                                           | 109 |
| Grafico 22: Giorni in cui $T_o > 26^{\circ}\text{C}$ nella zona termica "Camere nord 1".                                                           | 122 |
| Grafico 23: Giorni in cui $T_o > 26^{\circ}\text{C}$ nella zona termica "Camere ovest 1".                                                          | 123 |
| Grafico 24: Giorni in cui $T_o > 26^{\circ}\text{C}$ nella zona termica "Camere sud 1".                                                            | 123 |
| Grafico 25: Giorni in cui $T_o > 26^{\circ}\text{C}$ nella zona termica "Uffici sud 1".                                                            | 124 |
| Grafico 26: Giorni in cui $T_o > 26^{\circ}\text{C}$ nella zona termica "Camere ovest 1".                                                          | 124 |
| Grafico 27: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 16  | 133 |
| Grafico 28: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 16   | 134 |
| Grafico 29: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 231 | 135 |
| Grafico 30: Grafico temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 231  | 136 |

## INDICE TABELLE

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabella 1: Dati di contesto dell'edificio                                      | 11 |
| Tabella 2: Dati planimetrici e volumetrici dell'immobile                       | 11 |
| Tabella 3: Tipologie delle superfici disperdenti verso l'esterno               | 11 |
| Tabella 4: Tipologie delle superfici disperdenti verso locali non climatizzati | 11 |

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabella 5: Distribuzione delle superfici disperdenti opache verticali per esposizione .....</i>      | <i>12</i> |
| <i>Tabella 6: Distribuzione delle superfici disperdenti trasparenti verticali per esposizione .....</i> | <i>12</i> |
| <i>Tabella 7: Parametri gestionali .....</i>                                                            | <i>12</i> |
| <i>Tabella 8: Profilo di utilizzo anno 2010 .....</i>                                                   | <i>13</i> |
| <i>Tabella 9: Profilo di utilizzo anno 2011 .....</i>                                                   | <i>14</i> |
| <i>Tabella 10: Profilo di utilizzo anno 2012 .....</i>                                                  | <i>15</i> |
| <i>Tabella 11: Fabbisogni di energia termica della struttura .....</i>                                  | <i>17</i> |
| <i>Tabella 12: Fabbisogni di energia primaria della struttura .....</i>                                 | <i>17</i> |
| <i>Tabella 13: Fabbisogni di energia primaria della struttura e valori limite .....</i>                 | <i>17</i> |
| <i>Tabella 14: Raccolta dati per la costruzione della funzione "Firma Energetica 2010-2011" .....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Tabella 15: Raccolta dati per la costruzione della funzione "Firma Energetica 2011-2012" .....</i>   | <i>19</i> |
| <i>Tabella 16: Dati generali finestra di tipologia A .....</i>                                          | <i>23</i> |
| <i>Tabella 17: Dati generali finestra di tipologia B .....</i>                                          | <i>24</i> |
| <i>Tabella 18: Dati generali finestra di tipologia C .....</i>                                          | <i>25</i> |
| <i>Tabella 19: Dati generali finestra di tipologia D .....</i>                                          | <i>26</i> |
| <i>Tabella 20: Dati generali finestra di tipologia E .....</i>                                          | <i>27</i> |
| <i>Tabella 21: Dati generali finestra di tipologia F .....</i>                                          | <i>28</i> |
| <i>Tabella 22: Dati generali finestra di tipologia G .....</i>                                          | <i>29</i> |
| <i>Tabella 23: Dati generali finestra di tipologia H .....</i>                                          | <i>30</i> |
| <i>Tabella 24: Dati generali finestra di tipologia I .....</i>                                          | <i>31</i> |
| <i>Tabella 25: Dati generali finestra di tipologia L .....</i>                                          | <i>32</i> |
| <i>Tabella 26: Dati generali finestra di tipologia M .....</i>                                          | <i>33</i> |
| <i>Tabella 27: Dati generali finestra di tipologia N .....</i>                                          | <i>34</i> |
| <i>Tabella 28: Dati generali finestra di tipologia O .....</i>                                          | <i>36</i> |
| <i>Tabella 29: Dati generali finestra di tipologia P .....</i>                                          | <i>37</i> |
| <i>Tabella 30: Dati generali finestra di tipologia Q .....</i>                                          | <i>38</i> |
| <i>Tabella 31: Dati generali finestra di tipologia R .....</i>                                          | <i>39</i> |
| <i>Tabella 32: Dati generali finestra di tipologia S .....</i>                                          | <i>40</i> |
| <i>Tabella 33: Riepilogo dati generali componenti trasparenti .....</i>                                 | <i>41</i> |
| <i>Tabella 34: Dati generali componenti trasparenti esposizione Sud-Est .....</i>                       | <i>42</i> |
| <i>Tabella 35: Dati generali componenti trasparenti esposizione Nord-Ovest .....</i>                    | <i>42</i> |
| <i>Tabella 36: Dati generali componenti trasparenti esposizione Nord-Est .....</i>                      | <i>43</i> |
| <i>Tabella 37: Dati generali componenti trasparenti esposizione Sud-Ovest .....</i>                     | <i>43</i> |
| <i>Tabella 38: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                              | <i>43</i> |
| <i>Tabella 39: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                                | <i>44</i> |
| <i>Tabella 40: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                         | <i>44</i> |
| <i>Tabella 41: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                              | <i>45</i> |
| <i>Tabella 42: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                                | <i>45</i> |
| <i>Tabella 43: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                         | <i>46</i> |
| <i>Tabella 44: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                              | <i>47</i> |
| <i>Tabella 45 : Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                               | <i>47</i> |
| <i>Tabella 46: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                         | <i>48</i> |
| <i>Tabella 47: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                              | <i>49</i> |
| <i>Tabella 48: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                                | <i>49</i> |
| <i>Tabella 49: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                         | <i>50</i> |
| <i>Tabella 50: Dati generali componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                              | <i>50</i> |
| <i>Tabella 51: Dati fisici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                                | <i>50</i> |
| <i>Tabella 52: Dati stratigrafici componente edilizio (Fonte MC11300) .....</i>                         | <i>51</i> |
| <i>Tabella 53: Caratteristiche generatore di calore per la climatizzazione invernale .....</i>          | <i>53</i> |
| <i>Tabella 54: Consumi termici relativi all'anno 2010 .....</i>                                         | <i>56</i> |
| <i>Tabella 55: Confronto tra consumi mensili e profili di utilizzo .....</i>                            | <i>57</i> |

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabella 56: Consumi termici relativi all'anno 2011</i> .....                                                                                                                                           | 58 |
| <i>Tabella 57: Confronto tra consumi mensili e profilo di utilizzo- anno 2011</i> .....                                                                                                                   | 58 |
| <i>Tabella 58: consumi termici relativi all'anno 2012 (I semestre)</i> .....                                                                                                                              | 59 |
| <i>Tabella 59: Confronto tra consumi mensili e profili di utilizzo- anno 2012 (I semestre)</i> .....                                                                                                      | 59 |
| <i>Tabella 60: Riepilogo consumi e presenze anni 2010-2011-2012 (I semestre)</i> .....                                                                                                                    | 60 |
| <i>Tabella 61: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 1</i> .....                                                                                                                      | 61 |
| <i>Tabella 62: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 1</i> .....                                                                                                                     | 62 |
| <i>Tabella 63: Indici di prestazione energetica ORE 1</i> .....                                                                                                                                           | 62 |
| <i>Tabella 64: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 2</i> .....                                                                                                                      | 63 |
| <i>Tabella 65: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 2</i> .....                                                                                                                     | 63 |
| <i>Tabella 66: Indici di prestazione energetica ORE 2</i> .....                                                                                                                                           | 63 |
| <i>Tabella 67: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 3</i> .....                                                                                                                      | 64 |
| <i>Tabella 68: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 3</i> .....                                                                                                                     | 64 |
| <i>Tabella 69: Indici di prestazione energetica ORE 3</i> .....                                                                                                                                           | 64 |
| <i>Tabella 70: Fabbisogni di energia termica e costi relativi ai diversi spessori di isolante termico</i> .....                                                                                           | 65 |
| <i>Tabella 71: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 4</i> .....                                                                                                                      | 66 |
| <i>Tabella 72: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 4</i> .....                                                                                                                     | 66 |
| <i>Tabella 73: Indici di prestazione energetica ORE 4</i> .....                                                                                                                                           | 67 |
| <i>Tabella 74: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 5</i> .....                                                                                                                      | 67 |
| <i>Tabella 75: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 5</i> .....                                                                                                                     | 67 |
| <i>Tabella 76: Indici di prestazione energetica ORE 5</i> .....                                                                                                                                           | 68 |
| <i>Tabella 77: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 6</i> .....                                                                                                                      | 69 |
| <i>Tabella 78: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 6</i> .....                                                                                                                     | 69 |
| <i>Tabella 79: Indici di prestazione energetica ORE 6</i> .....                                                                                                                                           | 69 |
| <i>Tabella 80: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 7</i> .....                                                                                                                      | 70 |
| <i>Tabella 81: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 7</i> .....                                                                                                                     | 70 |
| <i>Tabella 82: Indici di prestazione energetica ORE 7</i> .....                                                                                                                                           | 70 |
| <i>Tabella 83: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 8</i> .....                                                                                                                      | 71 |
| <i>Tabella 84: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 8</i> .....                                                                                                                     | 71 |
| <i>Tabella 85: Indici di prestazione energetica ORE 8</i> .....                                                                                                                                           | 71 |
| <i>Tabella 86: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 9</i> .....                                                                                                                      | 71 |
| <i>Tabella 87: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 9</i> .....                                                                                                                     | 72 |
| <i>Tabella 88: Indici di prestazione energetica ORE 9</i> .....                                                                                                                                           | 72 |
| <i>Tabella 89: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 10</i> .....                                                                                                                     | 72 |
| <i>Tabella 90: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 10</i> .....                                                                                                                    | 72 |
| <i>Tabella 91: Indici di prestazione energetica ORE 10</i> .....                                                                                                                                          | 73 |
| <i>Tabella 92: Fabbisogni di energia termica della struttura ex post ORE 11</i> .....                                                                                                                     | 73 |
| <i>Tabella 93: Fabbisogni di energia primaria della struttura ex post ORE 11</i> .....                                                                                                                    | 74 |
| <i>Tabella 94: Indici di prestazione energetica ORE 11</i> .....                                                                                                                                          | 74 |
| <i>Tabella 95: Prospetto riassuntivo dei valori relativi all'energia termica, energia primaria e agli indici di prestazione energetica conseguenti ai diversi interventi ipotizzati</i> .....             | 74 |
| <i>Tabella 96: Prospetto riassuntivo dei valori relativi al costo, al risparmio economico, ecologico ed economico ed al miglioramento energetico conseguibili dai diversi interventi ipotizzati</i> ..... | 75 |
| <i>Tabella 97: Quadro prospettico degli incentivi previsti nel Decreto Ministeriale del 28.12.2012</i> .....                                                                                              | 77 |
| <i>Tabella 98: Dati generali ORE 7</i> .....                                                                                                                                                              | 78 |
| <i>Tabella 99: Flusso di cassa per ORE 7</i> .....                                                                                                                                                        | 78 |
| <i>Tabella 100: Dati generali ORE 7 con incentivi</i> .....                                                                                                                                               | 79 |
| <i>Tabella 101: Flusso di cassa per ORE 7 con incentivi</i> .....                                                                                                                                         | 79 |
| <i>Tabella 102: Dati generali ORE 8</i> .....                                                                                                                                                             | 80 |
| <i>Tabella 103: Flusso di cassa per ORE 8</i> .....                                                                                                                                                       | 80 |
| <i>Tabella 104: Dati generali ORE 8 con incentivi</i> .....                                                                                                                                               | 81 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <i>Tabella 105: Flusso di cassa per ORE 8 con incentivi.</i>                                                                                                                                                                                                                           | 81                                           |
| <i>Tabella 106: Dati generali per ORE 9.</i>                                                                                                                                                                                                                                           | 82                                           |
| <i>Tabella 107: Flusso di cassa per ORE 9.</i>                                                                                                                                                                                                                                         | 82                                           |
| <i>Tabella 108: Dati generali per ORE 10.</i>                                                                                                                                                                                                                                          | 83                                           |
| <i>Tabella 109: Flusso di cassa per ORE 10.</i>                                                                                                                                                                                                                                        | 83                                           |
| <i>Tabella 110: Dati generali ORE 10 con incentivi.</i>                                                                                                                                                                                                                                | 84                                           |
| <i>Tabella 111: Flusso di cassa per ORE 10 con incentivi.</i>                                                                                                                                                                                                                          | 84                                           |
| <i>Tabella 112: Dati generali ORE 11.</i>                                                                                                                                                                                                                                              | 85                                           |
| <i>Tabella 113: Flusso di cassa per ORE 11</i>                                                                                                                                                                                                                                         | 85                                           |
| <i>Tabella 114: Dati generali ORE 11 con incentivi.</i>                                                                                                                                                                                                                                | 86                                           |
| <i>Tabella 115: Flusso di cassa relativo all'ORE 11 con incentivi.</i>                                                                                                                                                                                                                 | 86                                           |
| <i>Tabella 116: Tabella riassuntiva.</i>                                                                                                                                                                                                                                               | 87                                           |
| <i>Tabella 117: ORE ordinate per percentuale di miglioramento.</i>                                                                                                                                                                                                                     | 88                                           |
| <i>Tabella 118: ORE ordinate per tempo di ritorno degli investimenti.</i>                                                                                                                                                                                                              | 88                                           |
| <i>Tabella 119: ORE ordinate in base ai relativi costi realizzativi.</i>                                                                                                                                                                                                               | 89                                           |
| <i>Tabella 120</i>                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b> |
| <i>Tabella 121: Dati climatici Sabaudia (LT) secondo la norma UNI 10349.</i>                                                                                                                                                                                                           | 94                                           |
| <i>Tabella 122: Dati limatici orari del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering).</i>                                                                                                                                                        | 95                                           |
| <i>Tabella 123: Dati limatici orari del giorno 19 agosto (giorno in media più caldo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering).</i>                                                                                                                                                          | 97                                           |
| <i>Tabella 124: Parametri ambientali di benessere termo igrometrico.</i>                                                                                                                                                                                                               | 119                                          |
| <i>Tabella 125: Calcolo delle ore e dei giorni in cui la temperatura risultante è superiore a 26°C.</i>                                                                                                                                                                                | 122                                          |
| <i>Tabella 126: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Nord 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                                                                                                         | 125                                          |
| <i>Tabella 127: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Ovest 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                                                                                                        | 126                                          |
| <i>Tabella 128: Valori dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Sud 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                                                                                                          | 127                                          |
| <i>Tabella 129: Numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.</i>                                                                                                                                                                              | 128                                          |
| <i>Tabella 130</i>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 130                                          |
| <i>Tabella 131: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 16</i>                                                                                                                                      | 132                                          |
| <i>Tabella 132: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 16</i>                                                                                                                                       | 133                                          |
| <i>Tabella 133: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera nord 1- Giorno 231</i>                                                                                                                                     | 134                                          |
| <i>Tabella 134: Temperature superficiali del lato interno del solaio di copertura- Confronto tra Ex Ante e Ex post.- Camera sud 1- Giorno 231</i>                                                                                                                                      | 135                                          |
| <i>Tabella 135: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati. (*comprensivo dell'ACS)</i>                                                                                    | 137                                          |
| <i>Tabella 136: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento della copertura</i>                                                     | 138                                          |
| <i>Tabella 137: Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento a cappotto delle pareti perimetrali.</i>                                | 139                                          |
| <i>Tabella 138 Confronto valori di Energia termica necessari al riscaldamento ed al raffrescamento dell'involucro edilizio, calcolati nei 2 regimi termici ipotizzati in seguito all'intervento di isolamento a cappotto delle pareti perimetrali e di isolamento della copertura.</i> | 139                                          |

**INDICE FIGURE**

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Figura 1: Foto aerea proprietà</i> .....                                                                                                             | 7   |
| <i>Figura 2: Pianta generale proprietà</i> .....                                                                                                        | 8   |
| <i>Figura 3: Pianta immobile da riqualificare</i> .....                                                                                                 | 8   |
| <i>Figura 4: Prospetto Sud-Ovest</i> .....                                                                                                              | 9   |
| <i>Figura 5: Prospetto Sud-Est</i> .....                                                                                                                | 9   |
| <i>Figura 6: Prospetto Sud-Est</i> .....                                                                                                                | 9   |
| <i>Figura 7: Prospetto Nord-Ovest</i> .....                                                                                                             | 10  |
| <i>Figura 8: Prospetto Nord-Ovest</i> .....                                                                                                             | 10  |
| <i>Figura 9: Prospetto Nord-Est</i> .....                                                                                                               | 10  |
| <i>Figura 10: Dati geometrici finestra tipologia A</i> .....                                                                                            | 23  |
| <i>Figura 11: Dati geometrici finestra tipologia B</i> .....                                                                                            | 24  |
| <i>Figura 12: Dati geometrici finestra di tipologia C</i> .....                                                                                         | 25  |
| <i>Figura 13: Dati geometrici finestra tipologia D</i> .....                                                                                            | 26  |
| <i>Figura 14: Dati geometrici finestra di tipologia E</i> .....                                                                                         | 27  |
| <i>Figura 15: Dati geometrici finestra di tipologia F</i> .....                                                                                         | 28  |
| <i>Figura 16: Dati geometrici finestra di tipologia G</i> .....                                                                                         | 29  |
| <i>Figura 17: Dati geometrici finestra tipologia H</i> .....                                                                                            | 30  |
| <i>Figura 18: Dati generali finestra di tipologia I</i> .....                                                                                           | 31  |
| <i>Figura 19: Dati geometrici finestra tipologia L</i> .....                                                                                            | 32  |
| <i>Figura 20: Dati geometrici finestra tipologia M</i> .....                                                                                            | 33  |
| <i>Figura 21: Dati generali finestra tipologia N</i> .....                                                                                              | 34  |
| <i>Figura 22: Dati geometrici finestra tipologia O</i> .....                                                                                            | 35  |
| <i>Figura 23: Dati geometrici finestra di tipologia P</i> .....                                                                                         | 37  |
| <i>Figura 24: Dati geometrici finestra di tipologia Q</i> .....                                                                                         | 38  |
| <i>Figura 25: Dati geometrici finestra di tipologia R</i> .....                                                                                         | 39  |
| <i>Figura 26: Dati geometrici finestra di tipologia S</i> .....                                                                                         | 40  |
| <i>Figura 27: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).</i> .....                                                                                  | 44  |
| <i>Figura 28: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).</i> .....                                                                                  | 46  |
| <i>Figura 29: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).</i> .....                                                                                  | 48  |
| <i>Figura 30: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).</i> .....                                                                                  | 49  |
| <i>Figura 31: Campitura componente edilizio (Fonte MC11300).</i> .....                                                                                  | 51  |
| <i>Figura 32: Modello tridimensionale della struttura oggetto di studio.</i> .....                                                                      | 92  |
| <i>Figura 33: Suddivisione della struttura in 87 zone termiche distinte con diversi colori.</i> .....                                                   | 94  |
| <i>Figura 34: Dati limatici orari del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)</i> .....                      | 96  |
| <i>Figura 35: Rosa dei venti del giorno 16 gennaio (giorno in media più freddo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)</i> .....                           | 96  |
| <i>Figura 36: Dati limatici orari del giorno 9 agosto (giorno in media più caldo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)</i> .....                         | 98  |
| <i>Figura 37: Rosa dei venti del giorno 9 agosto (giorno in media più caldo a Sabaudia). (Fonte TAS Engineering)</i> .....                              | 98  |
| <i>Figura 38: Condizioni interne impostate.</i> .....                                                                                                   | 99  |
| <i>Figura 39: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario “EX ANTE” (Fonte TAS Engineering).</i> .....                            | 100 |
| <i>Figura 40: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario “ISOLAMENTO DEL SOLAIO DI COPERTURA” (Fonte TAS Engineering).</i> ..... | 101 |

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Figura 41: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario "ISOLAMENTO A CAPPOTTO" (Fonte TAS Engineering).</i>                                                                | 101 |
| <i>Figura 42: Sintesi dei risultati della simulazione energetica dello scenario "ISOLAMENTO A CAPPOTTO + ISOLAMENTO COPERTURA". (Fonte TAS Engineering)</i>                                         | 102 |
| <i>Figura 43: Fabbisogni di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva dell'immobile. (Fonte TAS E.)</i>                                                                            | 105 |
| <i>Figura 44: Fabbisogni di energia primaria e apporti gratuiti (Fonte TAS E.).</i>                                                                                                                 | 106 |
| <i>Figura 45: Fabbisogni di energia primaria e apporti gratuiti relativi al gruppo di zone termiche "CAMERE":</i>                                                                                   | 108 |
| <i>Figura 46: Fabbisogni di energia termica e apporti gratuiti relativi al gruppo di zone termiche "UFFICI":</i>                                                                                    | 110 |
| <i>Figura 47: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 1</i>                                                                                          | 112 |
| <i>Figura 48: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 2</i>                                                                                          | 113 |
| <i>Figura 49: Carichi termici invernali totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 3</i>                                                                                          | 114 |
| <i>Figura 50: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 1</i>                                                                                             | 115 |
| <i>Figura 51: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 2</i>                                                                                             | 116 |
| <i>Figura 52: Carichi termici estivi totali e suddivisi per zona termica calcolati con TAS- Parte 3</i>                                                                                             | 117 |
| <i>Figura 53: Confronto dei valori dei carichi termici di picco relativamente ai diversi interventi proposti.</i>                                                                                   | 118 |
| <i>Figura 54: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Nord 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                       | 125 |
| <i>Figura 55: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Ovest 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                      | 126 |
| <i>Figura 56: Grafico dei fabbisogni di energia termica della zona termica "Camera Sud 1" (Fonte TAS E.)</i>                                                                                        | 127 |
| <i>Figura 57: Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e i vari Ex Post (Fonte TAS E.)</i>                        | 128 |
| <i>Figura 58. Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Isolamento copertura"(Fonte TAS E.)</i>         | 129 |
| <i>Figura 59 Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Cappotto"(Fonte TAS E.)</i>                      | 129 |
| <i>Figura 60 Grafico del numero di ore in cui in cui la zona termica nord 1 si trova alle diverse temperature.- Confronto tra l'Ex Ante e Ex Post "Cappotto+Isolamento copertura"(Fonte TAS E.)</i> | 129 |

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Esposti R., Galbusera G., Panzeri A., Petrone D. Guida alla nuova legge 10. Collana ANIT; 2013.
- [2] Technical handbook. Manuale d'uso del software MC11300. Aermec; 2013
- [3] Cammarata G.. Impianti termotecnici..[www.giulianocammarata.it](http://www.giulianocammarata.it); 2013
- [4] Mazzarella L. Piterà L.A. Dispense del corso "Diagnosi Energetica". Aicarr. 2013
- [5] Mazzarella L. Piterà L.A.. Efficienza energetica attraverso la diagnosi ed il servizio energia negli edifici. [www.aicarr.it](http://www.aicarr.it) ;2013
- [6] Technical handbook. Isolamento a cappotto: manuale di applicazione. AIPE
- [7] Technical handbook. I materiali isolanti ANIT. 2013
- [8] Technical handbook. Brochure informativa: il vetro ed il serramento. FINSTRAL
- [9] Technical handbook. Le valvole termostatiche. FERROLI
- [10] Technical handbook. Le caldaie a condensazione. IMMERGAS
- [11] Carlini M, Allegrini E, Zilli D, Castellucci S (2014). Simulating Heat Transfers through the Building Envelope: a Useful Tool in the Economical Assessment. ENERGY PROCEDIA, ISSN: 1876-6102
- [12] Filippi M., Fabrizio E. Introduzione alla simulazione termo energetica dinamica degli edifici. Editoriale Delfino.; 2012
- [13] Carlini M, Allegrini E, Zilli D, Castellucci S (2014). A simulating study on thermal performance of a Italian public building. In press.
- [14] Technical handbook. Manuale d'uso del software TAS Engineering. Studio Baschieri E.

# APPENDICE



68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013

## Simulating Heat Transfers through the Building Envelope: a Useful Tool in the Economical Assessment

Maurizio Carlini<sup>a</sup>, Elena Allegrini<sup>b,\*</sup>, Domenico Zilli<sup>a</sup>, Sonia Castellucci<sup>b</sup>

<sup>a</sup>University of Tuscia, via San Camillo de Lellis snc, Viterbo 01100, Italy

<sup>b</sup>CIRDER, via Santa Maria in Gradi 4, Viterbo 01100, Italy

### Abstract

The thermal performance of building plays a fundamental role in energy consumption since a large amount of energy is needed to balance heat transfers occurring through the envelope itself. The aim of the present paper is to simulate the heat transfer affecting a specific building envelope considering two different scenarios: current situation and future improvements by replacing transparent enclosures and adding an exterior insulation of different thicknesses. In order to identify the most convenient and suitable solution and to focus the attention on the most compelling action, an economical assessment is carried out taking into account the national incentives.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier Ltd.  
Selection and peer-review under responsibility of ATI NAZIONALE

**Keywords:** heat transfer; simulation; building; economical assessment.

### 1. Introduction

Nowadays a large portion of energy is increasingly supplied by the utilisation of fossil fuels which are finite resources and harmful to the ecosystems. Environmental concerns, be they climate change, pollution or Greenhouses Gases (GHGs) emissions, are fundamental challenges that the world is facing today [1]. Although fossil fuels shortages are predicted for the near future, the energy demand for electricity generation and space heating is still growing [2].

\* Corresponding author. Tel.: +39-0761-401343; fax: +39-0761-401343.  
E-mail address: [allegrini.e@unitus.it](mailto:allegrini.e@unitus.it)

| Nomenclature   |                                                                                   |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $B_i$          | Benefit in the i-th year (€)                                                      |
| $B^*$          | Discounted Benefit (€)                                                            |
| $c$            | specific heat of the material (J/kg K)                                            |
| $C$            | total cost (€)                                                                    |
| $C_{specific}$ | specific cost (€)                                                                 |
| $C^*$          | Discounted Costs (€)                                                              |
| $d$            | thickness of the material (m)                                                     |
| DCF            | Discounted cash flow (€)                                                          |
| $EP_{DHW}$     | total primary energy consumption for domestic hot water (kWh/m <sup>2</sup> year) |
| $EP_{GL}$      | global energy performance indicator for winter heating (kWh/m <sup>2</sup> year)  |
| $EP_w$         | energy performance indicator for winter heating (kWh/m <sup>2</sup> year)         |
| HDD            | heating degree day                                                                |
| $I_{tot}$      | total amount of incentive (€)                                                     |
| $r$            | rate (%)                                                                          |
| $R$            | thermal resistance (m <sup>2</sup> K/W)                                           |
| $S_{ext}$      | surface of the intervention                                                       |
| $t$            | number of years in economical assessment (years)                                  |
| $T$            | temperature (K)                                                                   |
| $T_1$          | boundary condition for the indoor temperature in Comsol (°C)                      |
| $T_2$          | boundary condition for the outdoor temperature in Comsol (°C)                     |
| $T_g$          | boundary condition for the glass temperature in Comsol (°C)                       |
| $U$            | thermal transmittance (W/m <sup>2</sup> K)                                        |
| $x$            | heat wave propagation (m)                                                         |
| $\alpha$       | thermal diffusivity (m <sup>2</sup> /s)                                           |
| $\lambda$      | thermal conductivity of the material (W/m K)                                      |
| $\rho$         | density of the material (kg/m <sup>3</sup> )                                      |
| $\tau$         | time (s)                                                                          |

Broadly speaking, the building sector accounts for the greatest share of energy use and is higher than transport and industry needs. Buildings are responsible for more than 40% of final energy demand in most developed countries and an increasing portion is expected in many emerging economies. In this scenario, they can be seen as a key-element of the needed transition toward sustainability. Reducing energy demand, together with an appropriate exploitation of Renewable Energy Sources (RES), represents a reachable target in the built environment. Building sustainability is a fundamental tool to provide healthy and comfortable indoor conditions and simultaneously limiting the impacts on Earth's natural resources. Thus, energy impact decrease can be efficiently achieved by emissions control, use of RES and energy efficiency improvements. This becomes even more important if the following fact is considered: the majority of existing structures were built before energy efficiency was a concern at all and most of them will be in function at least until 2025. Since the living standards are rising and installing electric heaters and air conditioners has become a common practice, the cost-effective retrofits of building envelopes can be considered as an acceptable way to reduce building energy consumptions [3, 4, 5].

Energy-efficient measures are increasingly implemented in all the EU Member States, leading to establish many regulations for assessing building energy performances and the thermal properties of the building envelope elements. Most European standards address building behaviour with specific regard to the heating demand aspect or provide limits for the thermal transmittance. The latter has therefore become a common indicator for defining the thermal quality of the building shell and the steady-state heat transmission can be seen as the main reference, although it neglects the ability of materials in storing and releasing heat over time (i.e. the dynamic characteristics related with the so called inertia effect) [6]. The thermo-physical properties of the building envelope may be distinguished into

two groups, depending on the type of heat transfer mechanism. The overall heat transfer coefficient and the transparency ratio belong to the first category, while the latter encompasses time lag and decrement factor [7].

Describing the thermal behaviour under steady-boundary conditions results to be acceptable with respect to the building heating demand when the temperature trend does not vary significantly, e.g. during rigid winter seasons or cold climates. Conversely, the dynamic aspects of heat transfer through the building envelope strongly affect the overall energy performance [6].

The materials belonging to the building shell - i.e. walls and transparent enclosures - are the most crucial because they define how the building itself interacts with the external environment, protecting the indoor. In order to predict the thermal behaviour of structural walls, the development of heat transfer analysis is a problem of fundamental concern in a broad range of engineering applications [8].

The aim of the present paper is to simulate the heat transfer affecting a specific building envelope considering two different scenarios: current situation and future improvements by adding an exterior insulation. The survey investigates a case study in Central Italy (Sabaudia). In order to identify the most convenient and suitable solution and to focus the attention on the most compelling action, an economical assessment is carried out taking into account the national incentives with regard to efficiency improvements according to the so called "Renewable Energy for Heating and Cooling Support Scheme".

## 2. Material and methods

### 2.1. Legislative framework

Energy efficiency improvement in Italian buildings is an extremely important aspect to ensure energy saving and GHG emissions reduction. According to ENEA, most of the dwelling in our country were built before the first law on reducing building energy consumption (Legislative Decree 373/76) came into force. Italy accounts for more than 2.7 millions of residential buildings, heterogeneously distributed in the whole territory and mostly belonging to the coldest climatic areas and having a low-thermal performance building envelope. This is even confirmed by the fact that the residential sector is characterised by the highest energy consumptions corresponding to 36% (48262 ktoe) of the national demands and whose mean value is equal to 150-200 kWh/(m<sup>2</sup> x year). The thermal utilisation represents 85% of the building energy demand, including space heating (70%) and domestic hot water (15%) [9, 10].

Hence, the Italian Supporting Measures - the so-called "Renewable Energy for Heating and Cooling Support Scheme"- were established on 28<sup>th</sup> December 2012 in order to speed up the transition from existing heating systems towards more efficient alternatives. The current regulation implements the previous Legislative Decree no. 28 of 3<sup>rd</sup> March 2011 and is addressed to achieve the ambitious targets set by the European Directive 2009/28 whose aim is to reduce GHG emissions by 20%, to produce 20% of energy from renewable sources and to decrease the consumption by 20% improving the energy efficiency. These goals must be reached by 2020 and constitute important parts of the package of measures necessary to comply with the Kyoto Protocol [11].

The Italian incentive mechanism carefully defines the supporting scheme for small-scale projects concerning energy efficiency improvements in existing buildings (called "category 1") and thermal energy production by the use of RES and high efficiency systems ("category 2"), as shown in table 1 and 2. With the term "replacement", it is meant the substitution of an existing power system with a new solution, whose capacity must not exceed more than 10% of the old system. If this constraint is not respected, the corresponding incentive will not be awarded [11].

Table 1. Eligible projects in Category 1, according to Legislative Decree 28<sup>th</sup> December 2012.

| Project Identification Code | Eligible Projects                                                             |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1.A                         | Thermal insulation of opaque enclosures                                       |
| 1.B                         | Replacement of transparent enclosures                                         |
| 1.C                         | Replacement of existing winter heating systems with condensing heat generator |
| 1.D                         | Shading and shielding systems for transparent enclosures                      |

Table 2. Eligible Projects included in Category 2, according to Legislative Decree 28<sup>th</sup> December 2012.

| Project Identification Code | Eligible Projects                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.A                         | Replacement of existing winter heating systems with heat pumps, whose thermal capacity must be less than 1000 kW                                                                        |
| 2.B                         | Replacement of existing heating or cooling systems for greenhouses or agricultural buildings with heat generators supplied by biomass, whose thermal capacity must be less than 1000 kW |
| 2.C                         | Solar thermal collector, whose total area must not exceed 1000 m <sup>2</sup>                                                                                                           |
| 2.D                         | Replacement of electrical boilers with heat pump boilers                                                                                                                                |

"Gestore dei Servizi Energetici" (GSE) is recognized as the body in charge in managing the supporting scheme, awarding the incentives and monitoring technical requirements fulfilment [11].

According to the national regulation, two different parties are eligible, namely Public Administrations (PA) and Private Parties (PP). More precisely, Regions, Provinces, Municipalities, Hospitals, Schools and Universities belong to the former; the latter instead encompasses individuals, apartment block owners and parties with business or agricultural income. However, it has to be noted that Energy Service Companies (ESCOs) may access incentives on behalf of PA or PP. PA may apply for both categories, while PP may require incentives only for category 2. Moreover, focusing the attention on new buildings or on those subject to major renovation, the supporting measure will cover only the part of the project exceeding the mandatory targets set by Legislative Decree no. 28. In order to benefit the incentives, the Responsible Party must fill in the application form available on GSE website, after registering in the customers' area and receiving a personal identification code. Technical data - concerning the existing building and energy systems - must be provided during completing the application form in order to meet the specific requirements laid down by the regulation [11].

A maximum yearly cumulative incentive has been allocated by the Decree, corresponding to 200 million Euros for PA and 700 million for PP. GSE will not accept other incentive requests 60 days after achieving the above-mentioned limits. Furthermore, the supporting measures will be granted only for those projects which do not benefit other incentives from the Government [11].

The present paper investigates projects belonging to category 1.A and 1.B respectively. In order to benefit the public incentives, the so called Energy Performance Certificate (EPC) is always required in the first case; in the second category the EPC is needed if the replacement is provided in the whole building, having more than 100 kW-system [11].

The EPC was laid down by the European Directive 2002/91 and is meant as the amount of energy actually consumed or estimated to meet the different needs associated with a standardised use of the building itself, which may include heating, hot water heating, cooling, ventilation and lighting. This amount shall be reflected in one or more numeric indicators which have been calculated taking into account insulation, technical and installation characteristics, design and positioning in relation to climatic aspects, solar exposure and influence of neighbouring structures, own-energy generation and other factors, including indoor climate, that influence the energy demand. When buildings are constructed, sold or rented out, the EPC is made available to the owner or by the owner to the prospective buyer or tenant, as the case might be. The validity of the certificate shall not exceed 10 years (European Directive 2002/91).

The above-mentioned regulation was repealed by the European Directive 2010/31 with effect from 1 February 2012. Since buildings account for 40% of total energy consumption in the Union and the sector is still expanding, Member States shall ensure that all new buildings occupied and owned by public authorities are nearly zero-energy buildings, by 31 December 2020 and 31 December 2018 respectively. In more detail, a "nearly zero-energy building" is referred to a very high energy performance structure as determined in accordance with Annex I. A very limited amount of energy required should be covered -to a very significant extent- by energy from renewable sources, especially on-site or nearby (European Directive 2010/31).

The European Directive 2012/27 establishes a common framework of measures for promoting energy efficiency within the Union in order to ensure the achievement of the Union's 2020 20% headline target on energy efficiency and to pave the way for further energy efficiency improvements beyond that date (European Directive 2012/27).

With specific regard to Italy, the concepts of energy savings in buildings, rational utilisation of energy and sustainable use of RES were introduced by the National Law 10/91. In the recent years, the legislative framework

has been further developed and still changing in order to comply with the above-described European Directives. The following national regulations must be taken into account to carry out the EPC:

- Legislative Decree 192/05 on energy efficiency of buildings;
- Legislative Decree 311/06 which encompasses corrections and integrations to the Legislative Decree 192/05;
- Presidential Decree 59/09 which enforced Legislative Decree 192/05;
- National guidelines for energy performance set by the Ministerial Decree 26/06/2009;
- UNI TS 11300;
- Ministerial Decree 22/11/2012, including corrections and integrations to the Ministerial Decree 26/06/2009.

Recently, the Legislative Decree 63/13 has been adopted, modifying some parts of the previous regulations. National guidelines are expected to be published in August. Until a new calculation methodology is not available, the previous regulation (namely Legislative Decree 192/05) must be followed.

## 2.2. Heat transfer calculations

The heat transfer analysis is an approach based on the general heat conduction equation which is obtained from Fourier's law and the energy conservation principle. With specific regard to the heat flows through the building envelope –i.e. opaque and transparent enclosures- the general equation can be simplified by considering its one-dimensional form and assuming a single propagation direction. This leads to the following expression [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

The term  $\lambda/\rho c$  represents the so called thermal diffusivity and is an extremely important parameter since it is directly related to the total amount of energy transfer in comparison with the stored one within the system. If  $\alpha$  increases, the velocity by which temperature variations propagate within the material grows. This becomes extremely interesting in civil engineering: during winter seasons,  $\alpha$  decreases assuming  $\lambda$  as a constant value and increasing  $\rho$  and  $c$ . This situation occurs when heavy cladding materials are used in order to increase the transient time [6].

Since Eq. (1) is a partial differential equation, the recourse of numerical methods is required to achieve an accurate solution. Otherwise, particular boundary conditions are considered. Among all approaches, the most commonly adopted methodology is a steady-state calculation where the transient effects of heat wave propagation are completely neglected. However, since the aim of the analysis is to consider extreme temperature conditions, the effect of unsteady elements – namely outdoor climatic variability and indoor heat production- can be neglected in the simulation. Thus, Eq. (1) can be simplified to its stationary form represented by assuming constant outdoor and indoor desired temperatures [6].

## 2.3. Description of the case study

The existing building considered in the present survey is represented by the School of the State Forestry Corp in Sabaudia (Central Italy, Province of Latina). The structure is a 2 story building consisting of 17 typologies of single or double glass windows with an aluminium frame. The external walls are made of 37.5 cm of brick, without any insulation cover. Moreover, an internal and external layer of plaster – whose thickness is equal to 20 mm in both cases - is added. Table 3 shows the main thermal parameters of the current wall layers in the building, leading to

determine the total thermal transmittance which is equal to  $1.448 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . The overall thermal transmittance of the transparent enclosures is calculated according to the analytical method reported in UNI 10077 and varies depending on the considered typology. A minimum value equal to  $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  can be assumed.

Table 3. Thermal properties of the external walls.

| Material         | d     | $\lambda$ | $\rho$ | c    | R     |
|------------------|-------|-----------|--------|------|-------|
| Internal plaster | 0.02  | 0.7       | 1400   | 1000 | 0.029 |
| Brick            | 0.375 | 0.809     | 1800   | 840  | 0.470 |
| External plaster | 0.02  | 0.9       | 1400   | 1000 | 0.022 |

Table 4. Data of the building.

|                                |                                             |
|--------------------------------|---------------------------------------------|
| Use classes                    | Residential                                 |
| Category of use classes        | E.1 according to Presidential Decree 412/93 |
| Latitude/Longitude             | 41,3001 N/ 13,0317 E                        |
| HDD                            | 1171 according Presidential Decree 412/93   |
| Duration of the heating period | November 15 – March 31                      |
| Number of heating days         | 136                                         |
| Climatic zone                  | C according to Presidential Decree 412/93   |

Table 5. Data of the building: conditioned space and volume.

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Floor area              | 1833 m <sup>2</sup>   |
| Gross conditioned space | 3766 m <sup>2</sup>   |
| Net conditioned space   | 2636 m <sup>2</sup>   |
| Conditioned volume      | 11 006 m <sup>3</sup> |
| Ratio S/V               | 0.5 l/m               |

The total dispersion surface towards the external environment accounts for 5498 m<sup>2</sup> whose the vertical dispersion represents the most significant amount, consisting of 2785 m<sup>2</sup> (51%) and resulting as the most compelling action in order to improve the thermal behaviour of the existing building.

Considering the use class of the building and complying with the Presidential Decree 412/93, the set point for indoor temperature is given by 20 °C in winter and 26 °C during summer. Both values ensure thermal comfort within the built environment. With specific regard to the outdoor conditions, the external air temperature is assumed equal to 2 °C in winter according to UNI 5364 and to 33 °C during summer following UNI 10339. The glass temperature can be considered constant if its thickness is limited: however, it depends on thermal irradiation on vertical surface during hot season.

As stated in the previous paragraph, the EPC is needed for the considered structure in order to access public incentives. As it is commonly known, the energy efficiency is given on a scale from A<sup>+</sup> - the most efficient homes - to G - the most energy consuming one. According to the national regulations, the EPC of the specific case study was carried by a commercial software complying with the requirements laid down by Comitato Termotecnico Italiano (CTI). Two different scenarios were considered:

1. asset rating, which is based on standard weather conditions and building use;
2. tailored rating, which is based on measured energy use and takes into account how the building itself is managed and used. Monthly energy and thermal consumptions are available for 2010, 2011 and the first semester of 2012 and show that the standard values coming from 1. exceed real consumptions up to 35%. Thus, in order to correct the asset rating, the occupancy of the building has been considered and has lead to calculate the number of heating days (corresponding to 100 instead of 136 as it is in the asset rating). The number of heating hours has been modified and assumed equal to 10.

The results describing the EPC of the two above-mentioned cases are reported in table 6 and clearly show that EP<sub>GIL</sub> in the asset rating is higher than in the tailored one. In order to improve the thermal behaviour of the existing building, several options –which will be mentioned as Energy Saving Opportunities (ESOs)- can be further investigated, namely:

1. insulation of the external wall by adding an external insulation cover of different thickness (8, 10 and 12 cm corresponding to ESO 1, 2 and 3 respectively). The external thermal insulation leads to several advantages in the existing building, such as the reduction of the thermal bridges, an appropriate thermo-hygrometric behaviour of the wall and a significant increase of the thermal inertia. Although the internal insulation is less expensive, it is not recommended in the present study in order to avoid useful volume reduction and to totally eliminate thermal bridges (e.g. window-wall, window-floor) [12].
2. replacement of the total existing windows by means of low-E triple glass solution filled with argon (E. S. O. 4). Argon fill is chosen since it strongly reduces thermal transmittance if compared with air. The cavity width cannot be limited, otherwise affecting the thermal insulation. However, wide cavities do not represent the best solution, leading to increase the total width and volume of the glass. Recommended values are in the range between 8 and 14 mm. Considering the traditional double pane windows, the argon fill-triple glass leads to save 20 l of fuel per  $m^2$  of window, thus decreasing GHGs emissions and fine particles pollution [13].

The current energy class of the building –both in asset and tailored rating– is represented by G. If the possible interventions are taken into account, a significant improvement in term of energy class is not reached: this may be due to the fact that any replacement of the existing plant is not considered in the simulation. However, it emerges that the  $EP_{Gt}$  decreases at least of 49 kWh/m<sup>2</sup> year if compared with the tailored rating EPC, corresponding to 24%. In order to focus the attention on the most compelling action, an economical assessment is required since it leads to determine some financial indicators, namely the discounted cash flow and the payback time.

Figure 1 shows the current stratigraphy of the external opaque enclosures and the possible improvements which can be successfully reached by ESO 1, 2 and 3.

Table 6. Energy class of the existing building and future and possible improvements generated by the commercial software.

| Options               | $EP_{Gt}$ | $EP_{Gt}$ | $EP_{Gt}$ | Energy class |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Current situation     |           |           |           |              |
| Asset rating          | 22        | 245       | 267       | G            |
| Tailored rating       | 16        | 187       | 203       | G            |
| Future improvements   |           |           |           |              |
| ESO 1 tailored rating | 16        | 132       | 148       | G            |
| ESO 2 tailored rating | 16        | 129       | 145       | G            |
| ESO 3 tailored rating | 16        | 128       | 144       | G            |
| ESO 4 tailored rating | 16        | 138       | 154       | G            |

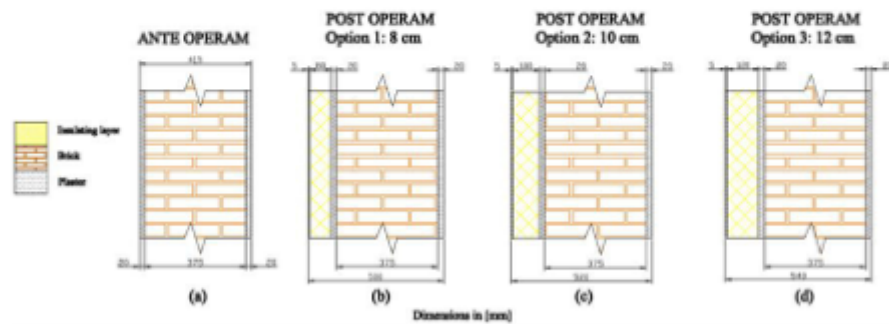


Fig. 1. Building envelope: current situation (a) and future improvements (b, c, d).

## 2.4. Calculations of incentives according to the Italian Support Scheme

According to the Italian supporting measures, the incentive corresponding to thermal insulation of existing enclosures or total replacement of the existing windows is calculated as follows [11]:

$$I_{tot} = 40\% \cdot C \cdot S_{int} \quad (2)$$

In order to benefit the supporting measures, the specific technical requirements reported in Annex 1 must be accomplished, depending on the climatic area of the chosen site (table 7). According to Presidential Decree 412/93, Italy is divided into six different zones, from zone A (the hottest one) to zone F (the coldest one) [14].

Table 7. Technical requirements to access incentives according to Ministerial Decree 28 December 2012.

| Climatic area | Opaque enclosures                     | Transparent enclosures                |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| A             | $U \leq 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 3,08 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| B             | $U \leq 0,34 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 2,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| C             | $U \leq 0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 1,75 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| D             | $U \leq 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 1,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| E             | $U \leq 0,23 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 1,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |
| F             | $U \leq 0,22 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ | $U \leq 1,33 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ |

Table 8. Comparison between the thermal transmittance of the ESOs with the limit values (climatic area: C).

|                   | Thermal transmittance          | Limit value according to Ministerial Decree 28 December 2012 |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Current situation | 1,448 $\text{W/m}^2 \text{ K}$ | -                                                            |
| ESO 1             | 0,299 $\text{W/m}^2 \text{ K}$ | 0,28 $\text{W/m}^2 \text{ K}$                                |
| ESO 2             | 0,249 $\text{W/m}^2 \text{ K}$ | 0,28 $\text{W/m}^2 \text{ K}$                                |
| ESO 3             | 0,214 $\text{W/m}^2 \text{ K}$ | 0,28 $\text{W/m}^2 \text{ K}$                                |
| ESO 4             | 1,1 $\text{W/m}^2 \text{ K}$   | 1,75 $\text{W/m}^2 \text{ K}$                                |

Since ESO 1 does not comply with the mandatory limit value, this solution cannot be taken into account as a feasible option to access incentives and to improve the thermal behaviour of the existing building. It can be easily seen in table 8 that U in ESO 2 is less than the limit value for thermal transmittance of opaque enclosures, hence representing an efficient solution. As a consequence, ESO 3 can be excluded in the following calculations and simulations. Considering the specific need to choose the most compelling action, ESO 4 can be considered as a second and non mandatory option, because  $EP_{01}$  does not significantly decrease if compared with ESO 1. Thus, the simulation and the economical considerations in the following paragraph are referred to ESO 2 (table 9). In order to evaluate the advantages emerging from ESO 2, the discounted benefits and cash flow need to be calculated as follows [15]:

$$B_t^* = \sum_i \frac{B_i}{(1+r)^i} \quad (3)$$

$$DCF = B^* - C^* \quad (4)$$

Table 9. Economical parameters in ESO 2.

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| $S_{int}$        | 3600 $\text{m}^2$  |
| $C_{specific}$   | 50 €/ $\text{m}^2$ |
| C                | 180000 €           |
| $I_{int}$        | 72000 €            |
| Yearly saving    | 12600 €            |
| Yearly incentive | 14400 €            |

### 3. Conclusion

In order to better understand how heat transfers affect a specific building envelope, a simulation in Comsol Multiphysics environment is carried out since the software represents an efficient tool facilitating all the steps in the modelling process [16]. After defining geometry, meshing (figure 2) and the physics, the problem is rapidly solved and the graphic results are visualized. By means of these accurate images given by the powerful simulator, the starting complex model –which requires to solve the Fourier Equation- can be easily interpreted by the user. The results can be plotted as a temperature profile within the section of the wall (figure 3a and 4a) or as isothermal contours (figure 3b and 4b). Moreover, time solving results to be extremely limited and leads to optimise the different solutions by simply varying the input parameters. As a consequence, the analysis of the images given by the simulation can be successfully seen as a fundamental tool to rapidly solve a real problem, which otherwise requires complex hand calculations.

Moreover, the results of the simulation strongly confirm that the insulation cover improves the energy efficiency and the thermal behaviour of the building, hence representing a useful tool for decision making and in the economical assessment of the specific investment. For instance, if we consider the isothermal contours, it can be seen how they modify their trend passing from the current situation (figure 3a and 4a) to ESO 2 (figure 3b and 4b), both in winter and summer conditions.

With specific regard to the economical assessment, figure 5 shows the trend of benefits, cash flow, discounted benefits and discounted cash flow. The payback time of the specific investment ESO 2 is reached after 9 years.

The analysis and simulation of the heat transfers affecting the building envelope –in *ante operam* and *post operam* conditions- together with an appropriate economical assessment of a specific intervention, represent an important package in the process confirming the selection of an action among several alternative scenarios.

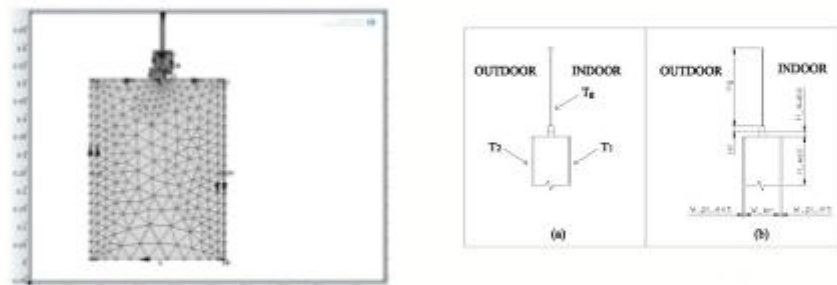


Fig. 2. Example of meshing in Comsol Multiphysics (left). Boundary conditions (a) and explanation (b) of the parameters in Comsol environment (right).

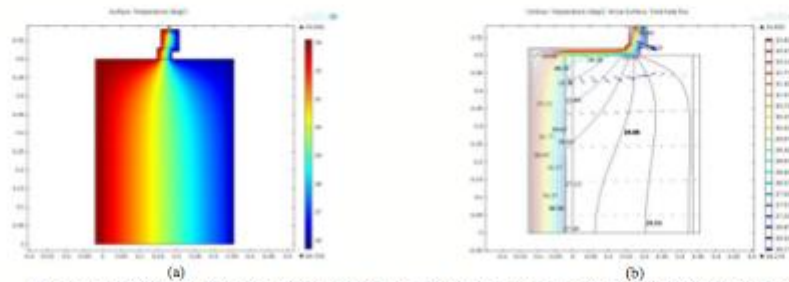


Fig. 3. Heat transfer simulation through the building envelope in summer: ante operam (a) and post operam (b).

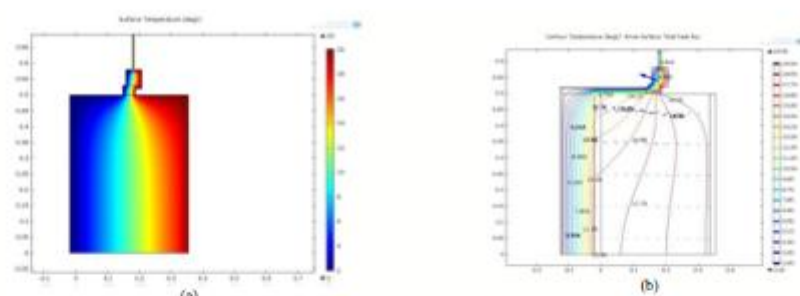


Fig. 4. Heat transfer simulation through the building envelope in winter: ante operam (a) and post operam (b).

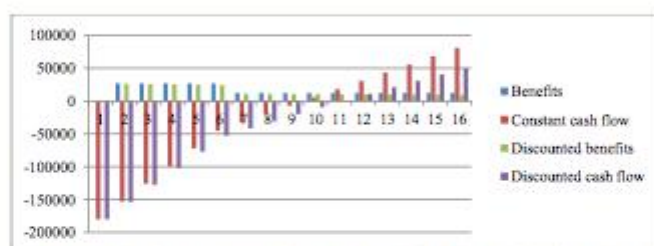


Fig. 5. Economical assessment: benefits, constant cash flow, discounted benefits and DCF.

## References

- [1] Kanagaraj G, Mahalingam A. Designing energy efficient commercial buildings-A system framework. *Energ Buildings* 2011;43:2329-43.
- [2] Self S, Reddy BV, Rosen MA. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Appl Energ* 2013; 101:341-8.
- [3] Hang Y, Niu JL, Chung TM. Study on performance of energy-efficient retrofitting measures on commercial building external walls in cooling dominant cities. *Appl Energ* 2013; 103:97-108.
- [4] Kapsalaki M, Leal V, Santamouris M. A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energ Buildings* 2012; 55:765-78.
- [5] Martin K, Escudero C, Erkoreka A, Flores I, Sala JM. Equivalent wall method for dynamic characterisation of thermal bridges. *Energ Buildings* 2012; 55:704-14.
- [6] Ferrari S, Zanotto V. The thermal performance of walls under actual service conditions: Evaluating the results of climatic chamber tests. *Constr Build Mater* 2013;43: 309-16.
- [7] Berköz E, Yılmaz Z. Determination of the overall heat transfer coefficient of the building envelope from the bioclimatic comfort point of view. *Archit Sci Rev* 2011; 30:117-21.
- [8] Meukam P, Noumowe A. Modelling of heat and mass transfer in lateritic building envelope. *Heat Mass Transfer* 2005; 42: 158-67.
- [9] Citterio M, Dipietra B, Margiotta F. Recupero Energetico dell'Edilizia Sociale, Potenzialità e opportunità, il caso di edifici ATC di Biella. VIII Congresso Nazionale CIRIAF (2008)- Sviluppo Sostenibile e Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana.
- [10] Minister of Economical Development.
- [11] Italian Regulation "D.M. 28 dicembre 2012".
- [12] Technical handbook. Isolamento a cappotto: manuale di applicazione. AIPE.
- [13] Technical handbook. Brochure informativa: il vetro ed il serramento. FINSTRAL.
- [14] Carlini M, Castellucci S, Allegrini E, Tucci A. Down-hole heat exchangers: Modelling of a low-enthalpy geothermal system for district heating. *Math Probl Eng* 2012; art. no. 845192.
- [15] Mosconi EM, Carlini M, Castellucci S, Allegrini E, Mizzelli L, Trifiletti M. Economical assessment of large-scale photovoltaic plants: an Italian case study. *Lect Notes Comput Sc* 2013; 7972: 160-75.
- [16] Comsol Multiphysics.