Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB – Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 < GG < 2.100)

D. Testi, W. Grassi, D. Della Vista, E. Menchetti, S. Comelato,
M. Rocca, A. Taverni, V. Vannucci, P. Signoretti, L. Terrinoni

UNIVERSITÀ DI PISA

Report RdS/PAR2015/121

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PUBBLICI ESISTENTI: DIREZIONE NZEB – STUDIO DELL'EDIFICIO SCOLASTICO DI RIFERIMENTO NELLA ZONA CLIMATICA CENTRO ITALIA (ZONA D: 1.400 < GG < 2.100)

D. Testi, W. Grassi, D. Della Vista, E. Menchetti, S. Comelato, M. Rocca, A. Taverni, V. Vannucci – DESTEC, Università di Pisa
P. Signoretti, L. Terrinoni – ENEA

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2015
Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici
Progetto: Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici
Obiettivo: Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 < GG < 2.100)
Responsabile del Progetto: Ing. Luciano Terrinoni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB – Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 < GG < 2.100)"
Responsabile scientifico ENEA: Paolo Signoretti
Responsabile scientifico Università di Pisa: Daniele Testi

Indice

SOMMARIO 5

1 INTRODUZIONE 6

1.1 PREMESSA 6
1.2 OBIETTIVI DEL LAVORO 6
1.3 RIFERIMENTI NORMATIVI 7
1.3.1 Definizione di NZEB (Nearly Zero Energy Building, Edificio ad energia quasi zero) *8*
1.3.2 Obblighi normativi derivanti (su involucro edilizio, impianti di riscaldamento, ACS, condizionamento, illuminazione, ventilazione meccanica) *13*
1.3.3 Applicazione del D.Lgs. n. 28/2011 ..... *15*
1.3.4 Condizioni di calcolo per le verifiche: modalità A2 (asset rating) della Norma di riferimento UNI/TS 11300 e strumenti di calcolo *16*
1.4 APPROCCIO BOTTOM-UP 18

2 ATTIVITÀ PRELIMINARI 19

2.1 CONTESTUALIZZAZIONE TIPOLOGICA E NORMATIVA DEGLI EDIFICI AD USO SCOLASTICO 19
2.2 INDIVIDUAZIONE DEL CASO DI STUDIO 19

3 ANALISI DELLO STATO DI FATTO 21

3.1 CARATTERIZZAZIONE DEL CASO DI STUDIO 21
3.1.1 Descrizione della tipologia edilizia *27*
3.1.2 Descrizione impiantistica *29*
3.1.3 Zonizzazione e profilo di utenza *30*
3.1.4 Profilo di gestione impiantistica *38*
3.1.5 Consumi e firma energetica *39*
3.2 SIMULAZIONE DELLO STATO DI FATTO 44
3.2.1 Simulazione secondo UNI/TS 11300 (software commerciale) *44*
3.2.2 Diagnosi energetica (software SEAS) *59*
3.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DELLO STATO DI FATTO 69
3.3.1 Risultati ottenuti secondo UNI/TS 11300 (software commerciale) *69*
3.3.2 Risultati ottenuti con SEAS *81*

4 ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT 87

4.1 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT 87
4.1.1 Interventi finalizzati all'NZEB *87*
4.1.2 Interventi conseguenti alla diagnosi energetica tramite SEAS *92*
4.2 ANALISI DEI COSTI DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT 93
4.3 SIMULAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RETROFIT 94
4.3.1 Simulazione finalizza all'NZEB e risultati energetico-ambientali ottenuti *94*
4.3.2 Simulazione degli interventi di retrofit su SEAS e risultati energetico-ambientali ottenuti *105*
4.4 ANALISI ECONOMICA E DI SENSIBILITÀ 111
4.4.1 Analisi economica e di sensibilità sugli interventi finalizzati all'NZEB *111*
4.4.2 Analisi economica e di sensibilità sugli interventi di diagnosi energetica *113*

5 CONCLUSIONI 116

APPENDICE A . ABACO DELLE STRUTTURE E RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON SOFTWARE DI CALCOLO 117

A.1 ABACO DEGLI INFISSI 117

A.2 ABACO DELLE STRUTTURE OPACHE 159

A.3 ABACO DEI PONTI TERMICI 168
A.4 RISULTATI DI CALCOLO EDIFICIO ESISTENTE 174
A.5 RISULTATI DI CALCOLO EDIFICIO NZEB 196
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 225
BREVE CURRICULUM SCIENTIFICO DEI MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO 227

Sommario

Nell'ambito della presente ricerca si è valutata la possibilità di riqualificare in NZEB (secondo le definizioni del D.I. 26 giugno 2015 sui "Requisiti minimi") un edificio scolastico di riferimento per la Provincia di Pisa e, più in generale, rappresentativo della zona climatica Centro Italia (zona D).

Il lavoro si è articolato nelle seguenti fasi:

1. individuazione dell'opportuno caso studio (attività svolta in collaborazione con i funzionari della Provincia di Pisa, incaricati della gestione degli istituti superiori): il Liceo "G. Carducci" di Pisa;
2. raccolta dati relativi alla scuola selezionata, attraverso analisi del materiale documentale disponibile, sopralluoghi, misure spot, colloqui col personale e monitoraggio dei contatori (con determinazione della "firma energetica" dell'edificio);
3. simulazione energetica dell'edificio allo stato attuale attraverso due software: il primo è certificato dal CTI come conforme alle norme UNI/TS 11300; il secondo, SEAS 3 (sviluppato in precedenti collaborazioni tra DESTEC ed ENEA, sempre nell'ambito della Ricerca di Sistema), è specificamente raccomandato per le diagnosi energetiche e per la corretta stima degli usi energetici (i risultati del modello sono stati validati rispetto ai consumi effettivi di gas naturale ed energia elettrica);
4. individuazione e simulazione di due pacchetti di interventi di efficientamento energetico e installazione di sistemi a fonti rinnovabili, entrambi tecnicamente fattibili ed inquadrabili in una ristrutturazione importante di 1° livello: il primo set di interventi è finalizzato al raggiungimento della classe NZEB (questa simulazione è stata eseguita tramite software certificato, il quale conferma che la soluzione adottata rispetta tutti i requisiti minimi per l'NZEB); il secondo set è ottenuto cercando interventi affidabili e ottimali in termini di costi-benefici (la simulazione energetica, l'analisi economica e quella di sensibilità sono state eseguite tramite SEAS 3).

Entrambe le soluzioni presentate forniscono metriche economiche complessivamente positive, a fronte tuttavia di investimenti iniziali notevoli (ovviamente maggiori nel caso di retrofit NZEB) e sfruttando necessariamente gli attuali incentivi statali (Nuovo Conto Termico).

1 Introduzione

1.1 Premessa

Il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale, approvato con il Decreto Ministeriale del 21 aprile 2016.

La presente relazione tecnica si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2015, per quanto attiene all'Area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "D.2 Edifici a energia quasi zero (NZEB)", progetto D.2.1 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (NZEB)", obiettivo "a.2 Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: 1.400 < GG ≤ 2.100)". Il tema sviluppato nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria, dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa riguarda la riqualificazione energetica di edifici scolastici pubblici, in applicazione del D.I. 26 giugno 2015 sulle nuove prescrizioni ed i requisiti minimi.

1.2 Obiettivi del lavoro

Si prevede l'individuazione di un caso-studio rappresentativo delle tipologie di edilizia scolastica del secondo dopoguerra in zona climatica Centro Italia (zona D: 1400 < GG ≤ 2100) e la definizione d'interventi di retrofit inquadrabili in una ristrutturazione importante di 1° livello, tendenti a trasformare l'edificio esistente in edificio a energia quasi zero, secondo le definizioni del D.I. 26 giugno 2015 sui "Requisiti minimi".

Le ipotesi di intervento riguarderanno sia l'involucro edilizio, sia gli impianti tecnici (in particolare climatizzazione, illuminazione, produzione di ACS, ventilazione), sia la generazione efficiente di energia termica ed elettrica. Saranno proposte soluzioni tecnologiche avanzate, ma allo stesso tempo coerenti con i principi di fattibilità tecnico-ambientale-economica e replicabilità su larga scala. Le soluzioni proposte saranno orientate all'efficienza energetica, alla gestione intelligente dell'energia e allo sfruttamento delle energie rinnovabili.

L'analisi energetica sarà basata sui vari indicatori, anche disaggregati per servizio e per vettore energetico. L'analisi economica comprenderà il calcolo di vari indicatori: tempo di ritorno, costo totale, VAN, indice di profitto.

Tutta l'attività è svolta in stretta sinergia con le altre unità di ricerca coinvolte nell'attività a. "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB" per gli obiettivi a.1, a.3 e a.4; esse completano l'analisi di edifici scolastici di riferimento sul territorio nazionale, rispettivamente in zona climatica Nord Italia (zona E: 2100<GG≤3000), in zona climatica Sud Italia (zona B: 600<GG≤900) e in edificio soggetto a tutela.

Sarà previsto l'utilizzo, per lo svolgimento della diagnosi energetica, del software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), nato nel precedente PAR da una collaborazione tra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

1.3 Riferimenti normativi

La definizione di "edificio ad energia quasi zero" (Nearly Zero Energy Building, nel seguito "NZEB") è stata introdotta nelle normative nazionali dei paesi comunitari attraverso la Direttiva europea 2010/31/UE[1], che rappresenta la revisione (recast) della Direttiva europea 2002/91/CE nota anche come EPBD (Energy Performance of Buildings Directive).

In particolare, nella EPBD recast è stata introdotta la richiesta di istituire misure volte ad incrementare il numero di edifici che oltre a rispettare i Requisiti Minimi vigenti, presentino una elevata prestazione energetica (molto più elevata rispetto a quei edifici che soddisfano strettamente i Requisiti Minimi), riducendo in tal modo sia il consumo energetico, sia le emissioni di biossido di carbonio. All'interno di tale Direttiva è stato inoltre evidenziato che, allo scopo di migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, gli Stati membri avrebbero dovuto elaborare piani nazionali intesi ad incrementare il numero di "edifici a energia quasi zero".

In virtù di tali premesse, all'interno della Direttiva 2010/31/UE, è riportata, all'art. 2, una definizione di "edificio ad energia quasi zero" ed all'art. 9 sono fornite informazioni di dettaglio in merito alle scadenze temporali da rispettare dai paesi membri, tracciando le seguenti tempistiche:

- entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovrebbero essere edifici a energia quasi zero;
- a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovrebbero essere edifici a energia quasi zero.

Inoltre nell'art. 9 della Direttiva vengono fornite indicazioni aggiuntive in merito alla dotazione di piani energetici nazionali che ogni stato membro dovrebbe redigere al fine di aumentare significativamente il numero di edifici ad energia quasi zero.

Il quadro normativo italiano dal 1991 (anno di emanazione della Legge n.10/1991) al 2005, non ha subito significative variazioni in materia energetica. Dal 2005, a seguito dell'obbligo di recepimento delle direttive europee inerenti il tema dell'energia, il quadro normativo è molto cambiato ed ha subito variazioni e aggiornamenti. La prima direttiva EPBD del 2002 ha portato all'emanazione del D. Lgs. 19 agosto 2005 n. 192[2] (nel seguito, D.Lgs. n. 192/2005) e delle sue successive modifiche ed integrazioni, con un radicale cambiamento degli obblighi normativi vigenti rispetto alla Legge del 1991; il Decreto Legge 4 giugno 2013 n. 63[3] (convertito nella Legge n. 90/2013) ha nuovamente modificato il quadro nazionale, stravolgendo il D.Lgs. n. 192/05, per recepire i contenuti della Direttiva Europea 2010/31/UE[4].

I Decreti attuativi, introdotti dal D.L. n. 63/2013, emanati il 26 giugno 2015 ed entrati in vigore il 1 ottobre 2015 (fatta eccezione per il terzo decreto, contenente i modelli della relazione ex. L. n. 10/91, entrato in vigore il 16 luglio 2015), hanno completato il recepimento della Direttiva Europea, definendo parametri e coefficienti di riferimento, valori limite da rispettare e modalità di calcolo.

---

[1] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

[2] D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

[3] D.L. 4 giugno 2013, n. 63 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".

[4] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

1.3.1 Definizione di NZEB (Nearly Zero Energy Building, Edificio ad energia quasi zero)

La definizione di "edificio ad energia quasi zero" trova dunque la sua prima comparsa nella normativa nazionale nel D.Lgs. n. 192/05[5], a seguito delle modifiche introdotte dal Decreto Legge 4 giugno 2013 n. 63[6]. La definizione, riportata all'art. 2, riprende fedelmente quella riportata nella Direttiva 2010/31/UE[7], adattandola ai riferimenti normativi nazionali.

In particolare all'art. 2, comma 1, punto l-octies del D.Lgs. n. 192/05 succitato, si legge: "edificio a energia quasi zero": edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all'articolo 4, comma 1. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ".

I requisiti richiamati dalla definizione sono stati definiti nei successivi Decreti attuativi del D.Lgs. n. 192/05, in particolare tali requisiti sono descritti nell'Allegato 1, capitolo 3, par. 3.4 del D.I. 26 giugno 2015 "Requisiti Minimi" in cui si sottolinea che sono "edifici a energia quasi zero" tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per i quali siano contemporaneamente rispettati:

a) tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici[8];

---

[5] D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

[6] D.L. 4 giugno 2013, n. 63 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale"

[7] Direttiva 2010/31/UE, art. 2, punto 2):"edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze".

[8] D.I. Requisiti Minimi, Allegato 1, paragrafo 3.3, punto 2: "lettera b), verifica del rispetto delle seguenti condizioni con riferimento ai parametri, indici ed efficienze definite alla precedente lettera a):

i. il parametro H'T risulti inferiore al pertinente valore limite riportato nella Tabella 10, dell'Appendice A;

ii. il parametro Asol,est/Asup utile, determinato in base a quanto previsto al paragrafo 2.2 dell'Appendice A, risulti inferiore al corrispondente valore limite riportato nella Tabella 11 della Appendice A, rispettivamente per gli edifici della categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3), e per tutti gli altri edifici;

iii. gli indici EPH,nd, EPC,nd e EPgl,tot risultino inferiori ai valori dei corrispondenti indici limite calcolati per l'edificio di riferimento (EPH,nd,limite, EPC,nd,limite e EPgl,tot,limite), come definito alla lettera l-novies), del comma 1, dell'articolo 2, del decreto legislativo e per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e di generazione sono dati nelle pertinenti tabelle del Capitolo 1, dell'Appendice A, per i corrispondenti anni di vigenza. Si precisa che per i valori limite di questi indici, contrassegnati con l'anno di inizio della loro validità, è prevista una progressiva riduzione articolata in due fasi:
- I fase - contrassegnata dall'indicazione (2015): in vigore dal 1° luglio 2015 con valori limite validi per tutti gli edifici;
- II fase - contrassegnata dall'indicazione (2019/21): in vigore dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici o a uso pubblico, così come definiti alle lettere l-sexies e l-septies, del comma 1, dell'articolo 2, del decreto legislativo, e dal 1° gennaio 2021 anche per tutti gli altri edifici;

iv. le efficienze η_H, η_W e η_C, risultino superiori ai valori delle corrispondenti efficienze indicate per l'edificio di riferimento ($\eta_{H,limite}$, $\eta_{W,limite}$, e $\eta_{C,limite}$), come definito alla lettera l-novies), del comma 1, dell'articolo 2, del decreto legislativo e per il quale i parametri energetici e le caratteristiche termiche sono dati nelle tabelle 7 e 8 dell'Appendice A."

b) gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28[9].

Il D.Lgs. n. 192/05 e s.m.i.[10] inoltre ha introdotto, a partire dal 1 gennaio 2019, l'obbligo di essere "edifici ad energia quasi zero" per tutti gli edifici di nuova costruzione occupati da pubbliche amministrazioni e di proprietà di queste ultime, compresi gli edifici scolastici. Inoltre è stata disposta l'estensione di tale obbligo a tutti gli edifici di nuova costruzione, a partire dal 1° gennaio 2021. Gli obblighi normativi impongono in particolare che l'edificio in oggetto sia messo a confronto con un edificio "di riferimento", vale a dire un edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, ma avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati. In particolare tali parametri per l'edificio di riferimento con cui verificare l'"edificio ad energia quasi zero" sono quelli riferiti alla scadenza del 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici o a uso pubblico (e validi dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici).
Si riportano di seguito le tabelle riportate nell'Appendice A del D.I. Requisiti Minimi, in cui è evidenziato il valore di interesse per il caso studio, considerando che devono essere 'presi a riferimento i valori limite definiti per il 2019/2021 e che l'edificio esaminato si trova in zona climatica "D" (zona climatica di Pisa, Gradi Giorno GG = 1694, in cui è stata condotta l'analisi del plesso scolastico). Si osservi che, nel caso di strutture delimitanti lo spazio riscaldato verso ambienti non climatizzati, il valore limite della trasmittanza termica riportato nelle tabelle sotto (1, 2, 3 e 4) deve essere diviso per il fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato ed ambiente non climatizzato (fattore di correzione indicato in forma tabellare nella Norma UNI TS 11300-1).

[9] D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE" – Allegato 3, comma 1: "Nel caso di edifici nuovi o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:
   a) il 20 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
   b) il 35 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016;
   c) il 50 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2017.

[10] D.Lgs. n. 192/05 e smi, art. 4-bis "Edifici ad energia quasi zero", comma 1: **"**A partire dal 31 dicembre 2018, gli edifici di nuova costruzione occupati da pubbliche amministrazioni e di proprietà di queste ultime, ivi compresi gli edifici scolastici, devono essere edifici a energia quasi zero. Dal 1° gennaio 2021 la predetta disposizione è estesa a tutti gli edifici di nuova costruzione.

Tabella 1. Trasmittanza termica U strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.

Zona Climatica	U (W/m^{2}K)	
	2015[(1)]	2019/2021[(1)]
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 2. Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati.

Zona Climatica	U (W/m^{2}K)	
	2015[(1)]	2019/2021[(1)]
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Tabella 3. Trasmittanza termica U delle superfici opache orizzontali di pavimento verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.

Zona Climatica	U (W/m^{2}K)	
	2015[(1)]	2019/2021[(1)]
A e B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 4. Trasmittanza termica U chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati.

Zona Climatica	U (W/m^{2}K)	
	2015[(1)]	2019/2021[(1)]
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

In merito invece agli impianti da introdurre nell'edificio di riferimento, si sottolinea che, in assenza di uno specifico servizio energetico nell'edificio reale il D.I. Requisiti Minimi indica di non considerare il fabbisogno di energia primaria per quel servizio.
L'edificio di riferimento si considera pertanto dotato degli stessi impianti di produzione di energia dell'edificio reale[11], assegnando un efficienza media di riferimento sia per i sottosistemi di utilizzazione (emissione/erogazione, regolazione, distribuzione ed eventuale accumulo) dell'edificio di riferimento sia per i sottosistemi di generazione.
Si riportano di seguito le Tabelle 5 e 6, estratte dal D.I. Requisiti Minimi, relative alle efficienze dei sottosistemi. Si osservi che all'interno delle tabelle con la lettera H è indicato il riscaldamento o climatizzazione invernale (Heating), con la lettera C è indicato il raffrescamento o climatizzazione estiva (Cooling) e con la lettera W è indicata la produzione di acqua calda sanitaria (Water).

Tabella 5. Efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento per i servizi H, C, W (Tabella n. 7, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi).

Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione η_u	**H**	**C**	**W**
Distribuzione idronica	0,81	0,81	0,70
Distribuzione aeraulica	0,83	0,83	-
Distribuzione mista	0,82	0,82	-

Per il calcolo dell'energia utile e primaria di alcuni servizi energetici sono previste alcune semplificazioni. Per il servizio di ACS dell'edificio di riferimento il D.I. Requisiti Minimi considera il fabbisogno di energia termica utile $Q_{w,nd}$ pari a quello dell'edificio reale. Per quanto attiene invece l'illuminazione, per l'edificio di riferimento si considerano gli stessi parametri (occupazione, sfruttamento della luce naturale) dell'edificio reale, con sistemi automatici di regolazione di classe B secondo classificazione UNI EN 15232[12].
Poiché, inoltre, tutti i dati di input ed i parametri dell'edificio di riferimento che non sono altrimenti definiti dal decreto si considerano uguali all'edificio reale[13], questo implica che, per l'illuminazione, l'edificio di riferimento debba necessariamente considerarsi dotato della stessa tipologia di lampade e con la medesima potenza installata nell'edificio reale.
Inoltre, l'edificio di riferimento si considera dotato di sistemi di generazione per i servizi energetici di riscaldamento invernale, condizionamento estivo e produzione acqua calda sanitaria della stessa tipologia di quelli presenti nell'edificio reale.
Noto dunque l'edificio di riferimento, come indicato nell'Allegato 1, paragrafo 3.4, negli "Edifici ad energia quasi zero", devono essere rispettati tutti i requisiti riportati all'allegato 1, paragrafo 3.3, comma 2, lettera b), che prevedono due distinte modalità di verifica:

- Alcuni parametri (H'_T e $A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile}$) devono risultare inferiori rispetto ad un valore limite prefissato e riportato in forma tabellare nell'Appendice A (Tabelle 10 e 11);
- Altri requisiti (relativi alle efficienze degli impianti presenti ed agli indici di prestazione energetica) devono risultare inferiori ai valori dei corrispondenti indici dell'edificio di riferimento, per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e di generazione, come già descritto, sono quelli

[11] D.I. 26/06/2015 "Requisiti Minimi", Appendice A, punto 1.2, comma 2.
[12] D.I. 26/06/2015 "Requisiti Minimi", Appendice A, punto 1.2.2, comma 2.
[13] D.I. 26/06/2015 "Requisiti Minimi", Appendice A, punto 1, comma 3.

riferiti alla scadenza del 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici o a uso pubblico (e validi dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici).

Tabella 6. Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e la produzione di energia elettrica in situ (Tabella n. 8, Appendice A, D.I. requisiti Minimi).

SOTTOSISTEMI DI GENERAZIONE	PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA			PRODUZIONE DI ENERGIA IN SITU
	H	C	W	
Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,80	-
Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,70	-
Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3,00	(*)	2,50	-
Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,50	-	-
Pompa di calore ad assorbimento	1,20	(*)	1,10	-
Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	0,60 x η_{gn} (**)	-	-
Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,60	-	-
Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	1,00	1,05	-
Cogeneratore	0,55	-	0,55	0,25
Riscaldamento con resistenza elettrica	1,00	-	-	-
Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
Solare termico	0,3	-	0,3	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)

NOTA: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore
(*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento si considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia.
(**) Si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale.

I parametri da rispettare per il caso studio sono stati quindi ricavati dalle tabelle del D.I. Requisiti Minimi o calcolati con il calcolo dell'edificio di riferimento, modellato con i valori limite obbligatori al 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici. Tali parametri sono riassunti nella Tabella sottostante:

Tabella 7. Valori limite da rispettare.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	U.M.	Valore limite	Rif. normativo
H'_T	W/m^2K	≤ 0,53	Tabella 10, appendice A –D.I. Requisiti Minimi
$A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile}$	-	≤ 0,040	Tabella 11, Appendice A –D.I. Requisiti Minimi
$EP_{H,nd}$	kWh/m^2	≤ $EP_{H,nd,}$ edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
η_H	-	≥ η_H edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
EP_H	kWh/m^2	Verifica non prevista	
$EP_{W,nd}$	kWh/m^2	≤ $EP_{W,nd,}$ edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
η_W	-	≥ η_W edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
EP_W	kWh/m^2	Verifica non prevista	
EP_V	kWh/m^2	Verifica non prevista	
$EP_{C,nd}$	kWh/m^2	≤ $EP_{C,nd,}$ edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
η_C	-	≥ η_C edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
EP_C	kWh/m^2	Verifica non prevista	
EP_L	kWh/m^2	Verifica non prevista	
EP_T	kWh/m^2	Verifica non prevista	
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_C + EP_V + EP_L + EP_T$	kWh/m^2	≤ EP_{gl} edificio di riferimento 2019/2021	Punto b), comma 2, par. 3.3, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi

1.3.2 Obblighi normativi derivanti (su involucro edilizio, impianti di riscaldamento, ACS, condizionamento, illuminazione, ventilazione meccanica)

Si ritengono utili alcune osservazioni sui valori limite da rispettare, ai sensi della nuova normativa:

- Le verifiche sull'involucro edilizio sono numerose ed incisive, interessando sia lo scambio termico dell'involucro edilizio nel suo complesso (con la verifica dell'indice di prestazione energetica utile invernale, $EP_{H,nd}$, sia dell'indice di prestazione termica utile estiva, $EP_{C,nd}$), anche in assenza di impianti di riscaldamento invernale/raffrescamento estivo, sia imponendo una verifica sul coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente, H'_T , che comporta l'avere necessariamente un involucro edilizio molto performante.
- Non esistono verifiche specifiche per lo scambio termico per ventilazione, come invece avviene con lo scambio termico per trasmissione, rendendo pertanto meno necessario intervenire sulla riduzione di queste dispersioni dell'involucro, ai fini del raggiungimento dell'obiettivo NZEB.
- La verifica obbligatoria che interessa l'aera solare equivalente estiva dei componenti finestrati, per unità di superficie utile, rende indispensabile la presenza di schermature solari sugli infissi.

- Le verifiche sulle efficienze degli impianti sono presenti solo su alcuni servizi energetici: riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e raffrescamento estivo; nel caso tali servizi energetici non ci siano, non è prevista alcuna verifica.
- L'indice di prestazione energetica dell'edificio (quindi l'energia primaria calcolata per unità di superficie) è verificato solo come globale, EP_{gl} ed è comprensivo pertanto di tutti i singoli contributi dei servizi energetici presenti: riscaldamento, produzione di ACS, raffrescamento estivo, ventilazione (meccanica, si intende), illuminazione e servizio di trasporto di cose/persone.
- Dunque, nel D.I. Requisiti Minimi non esistono verifiche sui contributi dei singoli servizi energetici.

I valori limite da rispettare, per il caso studio, ai sensi del D.I. Requisiti Minimi, calcolati costruendo l'edificio di riferimento, sono riportati nella seguente Tabella.

Tabella 8. Valori limite da rispettare per il caso di studio

Efficienza, parametro, indice di prestazione	U.M.	Valore limite	Riferimenti
H'_T	W/m^2K	≤ 0,53	Tabella 10, appendice A, D.I. Requisiti Minimi
$A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile}$	-	≤ 0,040	Tabella 11, Appendice A, D.I. Requisiti Minimi
$EP_{H,nd}$	kWh/m^2	≤ 56,22	Ricavato da edificio di riferimento
η_H	-	≥ 56,7 %	Ricavato da edificio di riferimento
EP_H	kWh/m^2	Verifica non prevista	
$EP_{W,nd}$	kWh/m^2	Verifica non prevista	
η_W	-	≥ 69,2 %	Ricavato da edificio di riferimento
EP_W	kWh/m^2	Verifica non prevista	
EP_V	kWh/m^2	Servizio energetico assente	
$EP_{C,nd}$	kWh/m^2	≤ 30,68	
η_C	-	Servizio energetico assente	
EP_C	kWh/m^2	Servizio energetico assente	
EP_L	kWh/m^2	Verifica non prevista	
EP_T	kWh/m^2	Verifica non prevista	
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_C + EP_V + EP_L + EP_T$	kWh/m^2	≤ 127,46	Ricavato da edificio di riferimento

1.3.3 Applicazione del D.Lgs. n. 28/2011

In merito agli obblighi imposti dal D.Lgs. n. 28/2011 e richiamati dall'Allegato 1 del D.I. Requisiti Minimi, per gli "edifici ad energia quasi zero" si riportano le seguenti osservazioni.

In primo luogo, il D.Lgs. n. 28/2011 prevede una applicazione graduale nel tempo degli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni "rilevanti"[14]. Il D.I. Requisiti Minimi impone agli edifici ad energia quasi zero la percentuale più gravosa di copertura di tale fabbisogno con rinnovabile, almeno pari al 50%, prevista per i casi in cui la richiesta del pertinente titolo edilizio sia rilasciata dal 1° gennaio 2017. Si osserva però che tale copertura è relativa esclusivamente ai fabbisogni di riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS, mentre è completamente trascurato il contributo dovuto all'illuminazione, sebbene esso incida sul valore complessivo della prestazione energetica globale; sono trascurati anche altri servizi energetici: ventilazione, trasporto di cose o persone.

La seconda osservazione riguarda invece l'applicazione di altri obblighi previsti dal D.Lgs. n. 28/2011, che non sono direttamente richiamati nel D.I. "Requisiti Minimi", ma che si ritiene debbano essere considerati cogenti. Nell'Allegato 3 del D.Lgs. n. 28/2011, il comma 6[15] prevede una maggiorazione dei limiti di copertura con energie rinnovabili previsti dall'allegato, nella misura del 10% per gli edifici pubblici (portando quindi al 55% il fabbisogno minimo da coprire con fonti rinnovabili). Inoltre il comma 2 dell'Allegato 3 stabilisce che gli obblighi definiti al comma 1 dello stesso decreto non possa essere assolto soltanto da impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica, per alimentare a sua volta solo dispositivi o impianti per la produzione di ACS, riscaldamento e raffrescamento. Dunque il ricorso esclusivo al fotovoltaico risulta non esaustivo per gli obblighi imposti dal D.Lgs. n. 28/2011, anche nel caso di edifici ad energia quasi zero. Sull'applicazione del D.Lgs. n. 28/2011, per gli edifici ad energia quasi zero, rimane un punto critico. Il comma 3[16] dell'Allegato 3 impone in effetti che la potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili a cui fare ricorso per la copertura di una quota parte del fabbisogno energetico dell'edificio sia superiore ad un valore minimo, calcolato sia in funzione della superficie in pianta, al livello del terreno, dell'edificio sottoposto all'applicazione del D.Lgs. n. 28/2011 sia di un coefficiente che, gradualmente con tre scadenze temporali, passa da un valore di 80 ad uno di 50 (determinando un graduale aumento della potenza elettrica minima obbligatoria, a parità di superficie in pianta).

---

[14] D. Lgs. n. 28/2011 – Art. 2, comma 1, punto m): "«edificio sottoposto a ristrutturazione rilevante»: edificio che ricade in una delle seguenti categorie: i) edificio esistente avente superficie utile superiore a 1000 m^2, soggetto a ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro; ii) edificio esistente soggetto a demolizione e ricostruzione anche in manutenzione straordinaria".

[15] D.Lgs. n. 28/2011 - Allegato 3, comma 6: "Per gli edifici pubblici gli obblighi di cui ai precedenti commi sono incrementati del 10%".

[16] D.Lgs. 28/2011 - Allegato 3, comma 3: "Nel caso di edifici nuovi o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, la potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili che devono essere obbligatoriamente installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, misurata in kW, è calcolata secondo la seguente formula:
P = 1/K *S
Dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m^2, e K è un coefficiente (m^2/kW) che assume i seguenti valori:
a) K = 80, quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
b) K = 65, quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al31 dicembre 2016;
c) K = 50, quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2017."

L'Allegato 1 dei Requisiti Minimi impone in modo esplicito per gli edifici a energia quasi zero in effetti il rispetto del solo comma 1 dell'Allegato 3 del D.Lgs. 28/2011, ma d'altro canto il comma 2 del medesimo allegato, come del resto anche il comma 6, si interpretano come una specifica integrativa rispetto a quanto riportato nel comma 1; per questo si è ritenuto consequenziale il dover rispettare oltre al comma 1 anche il comma 2 dello stesso allegato per edifici ad energia quasi zero.
In sintesi, i limiti da verificare per un "edificio ad energia quasi zero", sono riportati nella seguente tabella 9.

Tabella 9. Applicazione del D.Lgs. n. 28/2011, parametri limite da rispettare per edifici NZEB.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	U.M.	Valore limite da rispettare	Rif. Normativo
Copertura del fabbisogno energetico con fonti rinnovabili (riscaldamento + condizionamento + ACS)	%	≥ 55	D. Lgs. n. 28/2011, Allegato 3, comma 1, lettera c) e comma 6
Copertura del fabbisogno energetico con fonti rinnovabili (riferito alla sola produzione di ACS)	%	≥ 55	D. Lgs. n. 28/2011, Allegato 3, comma 1, lettera c) e comma 6
Potenza elettrica di impianti alimentati da fonti rinnovabili	kWe	≥ P * (1/k)*S	D. Lgs. n. 28/2011, Allegato 3, comma 3, lettera c)

Poiché il D.I. Requisiti Minimi impone che la copertura del fabbisogno con fonti rinnovabili sia quella prevista successivamente alla data del 1 gennaio 2017, analogamente per la potenza elettrica si è fatto riferimento allo stesso limite temporale, scegliendo il coefficiente k previsto in quel caso (e pari a 50) e dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno (cioè la sua proiezione a terra).

1.3.4 Condizioni di calcolo per le verifiche: modalità A2 (asset rating) della Norma di riferimento UNI/TS 11300 e strumenti di calcolo

Il Decreto attuativo del 26/06/2016 "Requisiti Minimi" definisce i criteri e le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici all'art. 3, in cui sono definite le norme tecniche nazionali e le loro successive modifiche e integrazioni, predisposte in conformità allo sviluppo del pacchetto di Norme EN a supporto della Direttiva 2010/31/UE.
Ad integrazione delle norme riportate all'art. 3, comma 1, il D.I. Requisiti Minimi, riporta nell'Allegato 2 l'elenco delle norme a cui fare riferimento, precisando anche che gli aggiornamenti delle norme tecniche riportate nell'allegato o le eventuali norme sostitutive o integrative, subentrano o si aggiungono direttamente alle corrispondenti norme dell'elenco che segue.
In particolare le UNI/TS 11300 e la Raccomandazione CTI 14 (sostituita il 29 giugno 2016 dalla Norma UNI/TS 11300-5), vengono indicate come norme quadro di riferimento nazionale, e vengono poi elencate le norme a supporto delle stesse (si rimanda all'Allegato 2 del D.I. Requisiti Minimi).
Si osserva che la UNI/TS 11300-1, nel definire le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica sia per il riscaldamento, sia per il raffrescamento, comprende tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008, quindi il calcolo di progetto (design rating), la valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (asset rating) o quella in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating).
Il D.I. Requisiti Minimi, nel definire la metodologia di calcolo da utilizzare, ai fini dell'applicazione dello stesso decreto, sottolinea che la prestazione energetica degli edifici debba essere determinata sulla base della quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard

dell'edificio[17], richiamando pertanto il calcolo in condizioni standard (asset rating) della UNI/TS 11300-1, evidenziando inoltre che il calcolo del fabbisogno energetico debba essere su base mensile, come in effetti previsto dalla UNI/TS 11300-1.

L'applicazione di un metodo di calcolo su base mensile e con profilo di utilizzo standard (considerando quindi, tra le altre cose, un funzionamento continuato 24h su 24 dei servizi energetici presenti), così come l'avere trascurato alcune caratteristiche emerse nel profilo di utilizzo reale del plesso scolastico, ha chiaramente molto condizionato i risultato finali ricavati.

In merito invece agli strumenti di calcolo da adottarsi si riportano le seguenti osservazioni.

All'art. 7 ("strumenti di calcolo") del D.I. Requisiti Minimi viene imposto che gli strumenti di calcolo e i software commerciali per l'applicazione delle metodologie di calcolo richiamate nel decreto[18] garantiscano che i valori degli indici di prestazione energetica, calcolati attraverso il loro utilizzo, abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5 per cento rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento predisposto dal CTI.

La garanzia è fornita attraverso una dichiarazione resa dal CTI, previa verifica del rispetto dello scostamento dei risultati.

Si osserva a questo proposito che, il 29 giugno 2016, alcune norme richiamate dai decreti attuativi del 26 giugno 2015 sono state sostituite o integrate da altre norme, in particolare:

- Norma UNI 10349-1:2016 (revisione della precedente Norma UNI 10349);
- Norma UNI/TR 10349-2:2016 (revisione della precedente Norma UNI 10349);
- Norma UNI 10349-3:2016 (revisione della precedente Norma UNI 10349);
- Norma UNI/TS 11300-4:2016 (revisione della precedente Norma UNI/TS 11300-4);
- Norma UNI/TS 11300-5:2016 (nuova), in sostituzione della Raccomandazione CTI 14;
- Norma UNI/TS 11300-6:2016 (nuova).

A partire da quella data, i software commerciali sul mercato hanno visto decadere la validazione precedente ricevuta dal CTI ed hanno quindi dovuto procedere con la richiesta di una nuova validazione, ai sensi dell'art. 7 del D.I. Requisiti Minimi.

Il software che è stato utilizzato per costruire il modello energetico dell'edificio esaminato e del corrispondente edificio di riferimento, EC700 calcolo prestazioni energetiche degli edifici, versione 6.0, di Edilclima, ha in effetti la certificazione CTI n. 45 che risulta valida dal 2 ottobre 2014 (giorno di entrata in vigore della revisione delle norme UNI/TS 11300, parti 1 e 2) fino al 28 giugno 2016.

Attualmente il software di Edilclima, nella versione aggiornata 7.0, è in attesa di ricevere la validazione ufficiale del CTI.

Il presente lavoro, poiché è stato avviato in data antecedente all'entrata in vigore delle nuove norme tecniche, è stato condotto utilizzando la versione 6 del software, validata in quel momento, facendo riferimento alle norme in vigore fino al 29 giugno 2016.

Nel presente lavoro pertanto non si è tenuto conto dell'aggiornamento dei dati climatici definito dalla Norma UNI 10349:2016 e delle nuove specifiche per i servizi energetici di trasporto di cose e persone introdotti dalla UNI/TS 11300-6:2016, oltre a utilizzare ancora la Raccomandazione CTI 14, anziché la nuova UNI/TS 11300-5:2016.

[17] D.I. Requisiti Minimi, Allegato 1, prg 1.1, comma 1.

[18] D.I. Requisiti Minimi, art. 3, comma 1.

1.4 Approccio bottom-up

L'approccio seguito per analizzare la fattibilità di riqualificazione energetica degli edifici scolastici esistenti, con l'obiettivo di raggiungere la definizione di NZEB, è stato di tipo "bottom-up". In altre parole, nell'impossibilità di analizzare energeticamente una quota statisticamente significativa del parco edilizio con destinazione d'uso "scuola", una via alternativa consiste nell'identificazione di tipologie costruttive particolarmente diffuse sul territorio analizzato e nell'analisi dettagliata di singoli fabbricati appartenenti a queste classi. Tali edifici-tipo rappresentano dei benchmark per una successiva estensione dei risultati ottenuti e delle conclusioni tratte.

Nel prossimo capitolo si illustrerà il caso studio analizzato in questa attività e si motiverà la sua scelta come significativo rappresentante dell'edilizia scolastica in zona climatica Centro Italia (zona D: 1400 < GG ≤ 2100).

Per questo edificio di riferimento sarà eseguita una diagnosi energetica ex ante, analizzando il comportamento energetico del sistema costituito dall'insieme del fabbricato e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno. La diagnosi prevedrà la costruzione di modelli energetici i cui risultati dovranno convergere con le prestazioni derivanti dai dati di consumo effettivo. L'analisi dello stato di fatto consentirà di costruire il bilancio in usi finali di energia, individuare eventuali cause di sprechi e proporre le azioni e le tecnologie più appropriate per la riqualificazione dell'edificio in senso NZEB, intervenendo sull'involucro, sugli impianti di climatizzazione, di controllo e d'illuminazione artificiale e sugli impianti alimentati da fonti rinnovabili. Sarà valutata non solo la fattibilità tecnica delle misure di retrofit energetico, ma anche e soprattutto quella economica.

2 Attività preliminari

2.1 Contestualizzazione tipologica e normativa degli edifici ad uso scolastico

L'evoluzione dell'edilizia scolastica è relativamente recente, considerato il concreto affermarsi del diritto all'istruzione dal secolo scorso ad oggi col progressivo innalzamento del periodo scolastico obbligatorio. A disciplinare la tipologia edilizia ed individuare gli standard dimensionali degli spazi didattici sono state pubblicate, con D.M. 18/12/1975, le Norme tecniche per l'edilizia scolastica che, pur integrate dalle più recenti Linee Guida in materia di Edilizia scolastica (2013) e dalla normativa di settore in materia di sicurezza (accessibilità, prevenzione incendi, strutture, etc.) e di sostenibilità, sono ancora oggi uno dei principali riferimenti in materia.

Dai dati pubblicati sul sito ufficiale del MIUR – Anagrafe dell'Edilizia Scolastica, recentemente resa disponibile – il 55% degli edifici scolastici censiti è stato costruito prima del 1976, il 70% appositamente per uso scolastico. Nel 77% dei casi, si evince dall'Anagrafe, gli edifici scolastici sono di proprietà dei Comuni, mentre nel 9% appartengono alle Province. Un 2% è riconducibile ad altri Enti pubblici e una percentuale uguale a società o persone private.

L'edilizia scolastica per scuole secondarie di secondo grado, rispetto alle altre scuole di grado inferiore, si caratterizza per bacini di utenza sovracomunali, con maggior numero di studenti e quindi maggiori dimensioni, maggiore specializzazione degli spazi didattici e maggiore complessità generale, con fabbricati spesso aggregati in complessi scolastici polifunzionali.

Dai vari rapporti di analisi disponibili a livello nazionale (Ministero, Legambiente, etc.) si rileva per questi fabbricati un diffuso stato di vetustà e necessità di intervento a vario livello. Infatti, nel tempo, sono stati assoggettati ad obblighi, spesso prorogati più volte, in materia di accessibilità (dal 1996), prevenzione incendi (dal 1992), sicurezza strutturale (dal 2003 obbligo di verifica di vulnerabilità sismica) e risparmio energetico, i cui interventi di adeguamento sono stati eseguiti in modo non organico ed in larga parte sono ancora in corso o da compiersi.

2.2 Individuazione del caso di studio

Viene ricercato un caso studio rappresentativo di edilizia scolastica per scuole secondarie di secondo grado, i cui fabbricati sono in gestione, a seguito dell'attuazione della L. n. 23/1996, all'ente Provincia.

La Provincia di Pisa gestisce circa 20 Istituti superiori, sia di natura tecnica che magistrale, dislocati in circa 25 sedi per oltre 30 fabbricati.

Considerata la situazione mediamente complessa, un primo pre-requisito richiesto al caso studio è stato la dotazione di utenze specifiche, sia per energia elettrica che gas combustibile, con disponibilità di dati storici relativi ai consumi.

Degli edifici così selezionati si sono valutate le caratteristiche di rappresentatività, finalizzata alla replicabilità dello studio, nonché di praticabilità per l'effettuazione dei vari monitoraggi, individuando così il Liceo "G. Carducci" di Pisa, via S. Zeno, 3.

La sede del Liceo, già "istituto magistrale", è un edificio:

- costruito nella seconda metà degli anni sessanta, sin dall'origine a destinazione scolastica, in un periodo di massima crescita delle costruzioni di tale tipologia; nella Provincia di Pisa, dai dati raccolti dall'Osservatorio Scolastico Provinciale, si evidenzia che tra il 1960 ed il 1975 sono stati costruiti circa il 50% dei fabbricati scolastici costruiti dal dopoguerra ad oggi; è difatti rappresentativo di uno stile distributivo e costruttivo corrente negli anni sessanta per la specifica

tipologia, con calcestruzzo armato a vista ed ampie vetrate, ben adatte alle volumetrie e destinazioni d'uso interne;

- che ospita un Istituto scolastico superiore di dimensioni medie, con circa 750 alunni, a fronte di una variabilità in Provincia tra i 300 ed i 1100 studenti circa per sede;
- che, analogamente alla maggior parte dei fabbricati, è stato già oggetto di moderati interventi di ristrutturazione a seguito dei necessari adeguamenti alle normative in materia di sicurezza ed accessibilità intervenute;
- localizzato in Pisa centro, pertanto non distante dalla sede universitaria e di facile accesso, così da consentire agevolmente indagine e monitoraggio.

Inoltre, presso gli uffici della Provincia è stata resa disponibile tutta la documentazione esistente, a corredo sia del costruito che degli interventi eseguiti, ed il Dirigente scolastico ha garantito collaborazione e disponibilità all'effettuazione dei sopralluoghi e dei monitoraggi necessari.

3 Analisi dello stato di fatto

3.1 Caratterizzazione del caso di studio

Il fabbricato oggetto del caso di studio è l'edificio sede del Liceo Statale "G. Carducci" di Pisa (ex Istituto Magistrale "G. Carducci"). Tale plesso scolastico dispone attualmente di una ampia offerta formativa composta da quattro percorsi liceali in: Liceo delle scienze umane, Liceo Economico-Sociale (LES), Liceo Linguistico e Liceo Musicale e ospita ogni anno circa 750 studenti provenienti da tutto il territorio provinciale.

L'edificio è identificato dal MIUR con il codice PI260304 ed è censito al Catasto al Foglio 122, Particella 467, è situato a Pisa in Via San Zeno 3, all'interno delle mura storiche della città ed in vicinanza di alcuni luoghi significativi della città come Piazza dei Miracoli, Piazza S. Caterina e Borgo Stretto che rappresenta la principale via commerciale del centro storico (Figura 1).

Il lotto su cui è ubicato il Liceo "G. Carducci" ha un'estensione pari a 11530 m^2 , di cui 3452 m^2 sono coperti dall'edificio scolastico, mentre i restanti 8078 m^2 sono destinati ad area verde e parcheggi.

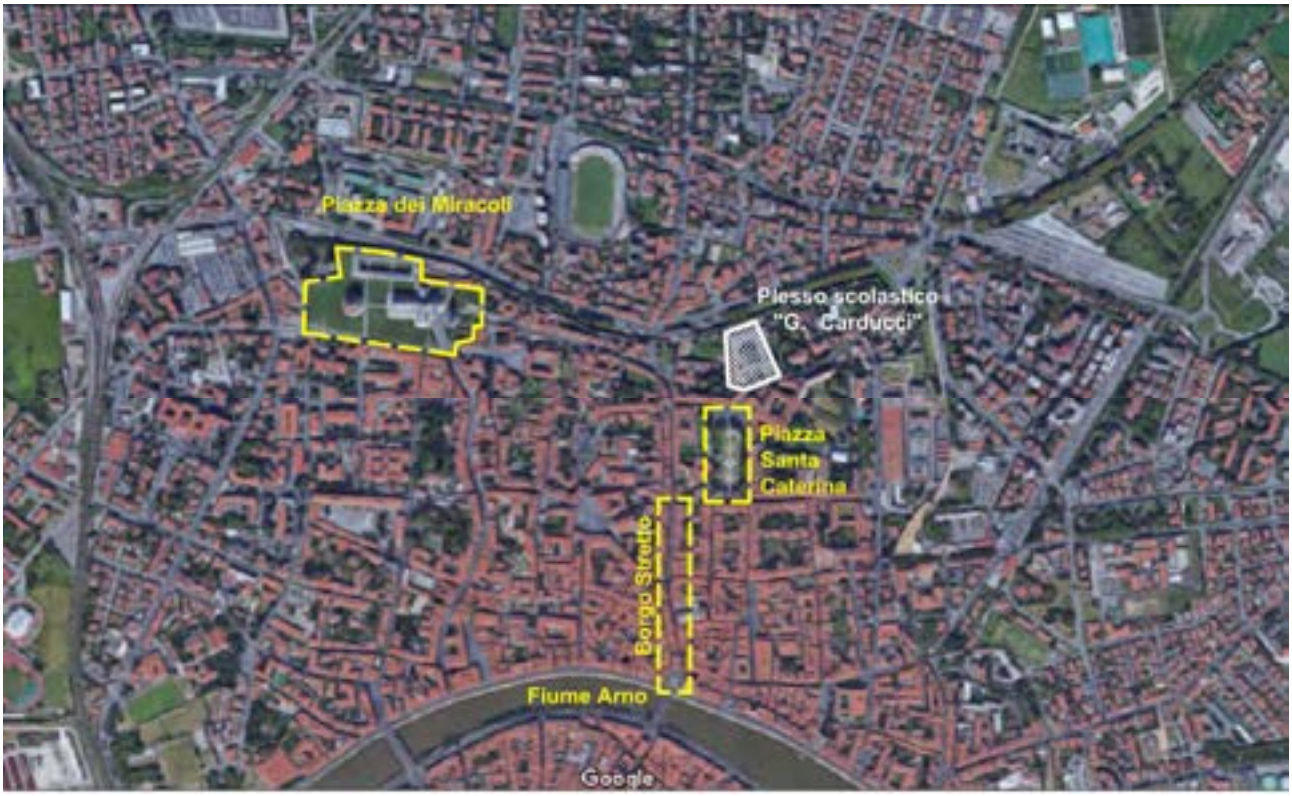


Figura 1. Mappa della città di Pisa con indicati il plesso scolastico "G. Carducci" e alcuni luoghi significativi della città (fonte: www.google.it/maps).

Il plesso scolastico è composto da un edificio principale in cui sono presenti tutte le aule didattiche, i laboratori e gli uffici amministrativi, e da due palestre, ad esso direttamente collegate, nelle quali vengono svolte le attività di educazione fisica (Figura 2). L'edifico principale si sviluppa su tre piani (piano terra, piano primo e piano secondo) ed ha pianta pressappoco ad L ed una superficie in pianta pari a circa 6000 m^2 complessivi sui tre livelli. Al piano terra, oltre all'ingresso (originariamente aperto sull'esterno e poi successivamente chiuso da due file di serramenti) sono presenti la portineria, la biblioteca, sei aule, due laboratori, i servizi igienici, oltre ai collegamenti orizzontali (corridoi) e verticali (scale e ascensore). Al piano terra è inoltre presente una Scuola Materna che però non costituisce parte del plesso scolastico "G.

Carducci" (quindi non sarà analizzato nel presente lavoro) in quanto indipendente sia dal punto di vista funzionale (gestione degli accessi) sia dal punto di vista energetico. Essa infatti è dotata di un sistema di riscaldamento invernale con relativo generatore di calore e centrale termica indipendente da quella del Liceo Statale "G. Carducci".
Al piano primo sono presenti dieci aule scolastiche, due laboratori, gli uffici e l'aula magna oltre che i servizi igienici, mentre al piano secondo sono presenti sedici aule scolastiche oltre i servizi igienici.
Le due palestre hanno superfici in pianta rispettivamente pari a 450 m^2 e 290 m^2 e vengono utilizzate nelle ore della mattina per le attività didattiche di educazione fisica, mentre nelle ore pomeridiane e serali vengono utilizzate per gli allenamenti da squadre di pallavolo locali (Figura 2). Energeticamente le due palestre sono indipendenti dal resto del complesso scolastico in quanto dotate da un sistema di generazione del calore e relativa centrale termica dedicati. Anche i contatori di energia elettrica e gas metano sono separati per i vari edifici.

Figura 2. Vista aerea del plesso scolastico "G. Carducci" con indicati il blocco aule e uffici, le palestre e le rispettivi locali delle centrali termiche (fonte: www.google.it/maps).

Per quanto riguarda l'area esterna, questa è caratterizzata dalla presenza di numerosi alberi ed estese zone verdi (aiuole). Nella parte centrale del lotto è presente un ampio giardino con alberi con altezza anche superiore ai 10 m, oltre che ad un parcheggio per le auto. Perimetralmente sono presenti aiuole con tappeti erbosi e nei lati Sud e Sud-Est sono presenti numerosi alberi con altezza della chioma compresa tra i 4 e i 12 metri che forniscono un significativa schermatura dalla radiazione solare diretta sia alle aree esterne sia all'edificio (Figura 3).

Figura 3. Vista aerea del plesso scolastico “G. Carducci” (fonte: www.google.it/maps)

Nelle Figure seguenti sono riportate le piante dell’edificio con indicata la destinazione d’utilizzo di ciascuno locale. Nella Figura 4 (Pianta Piano Terra) sono indicate un retino grigio le porzione di edificio che non sono state oggetto del presente studio, ovvero le due palestre e quelle aree che non fanno parte del plesso scolastico “G. Carducci”.

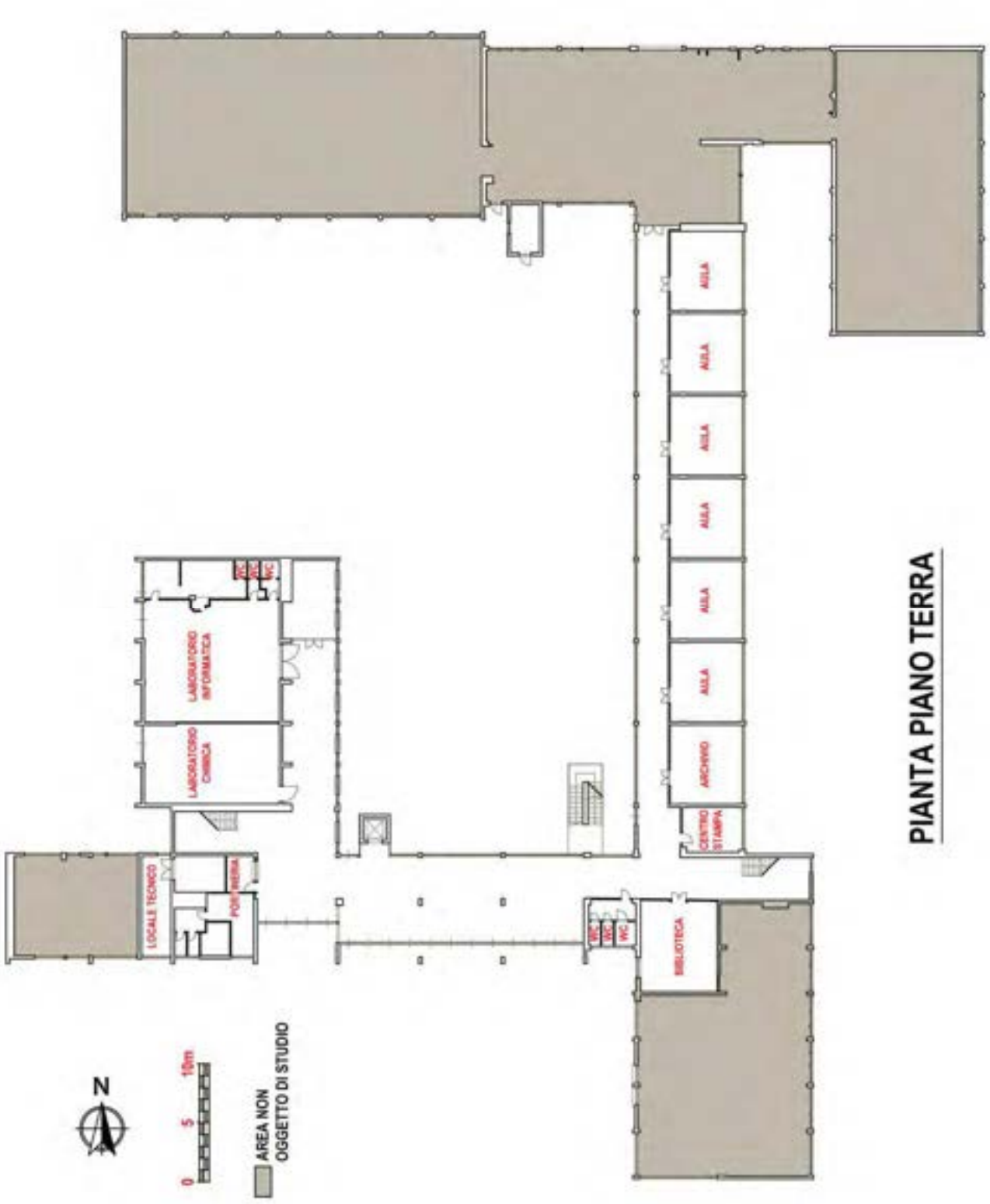


Figura 4. Pianta piano terra

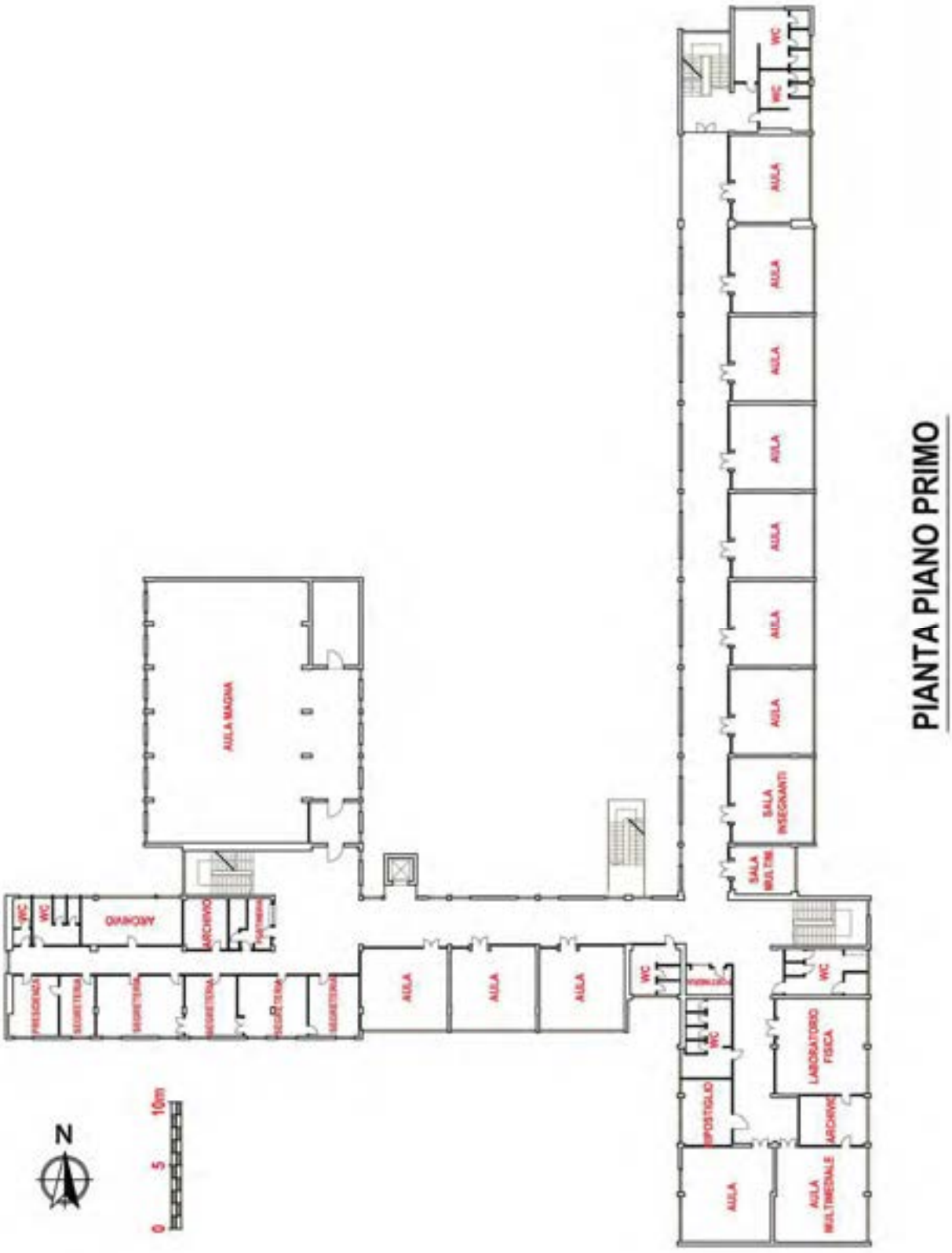


Figura 5. Pianta piano primo

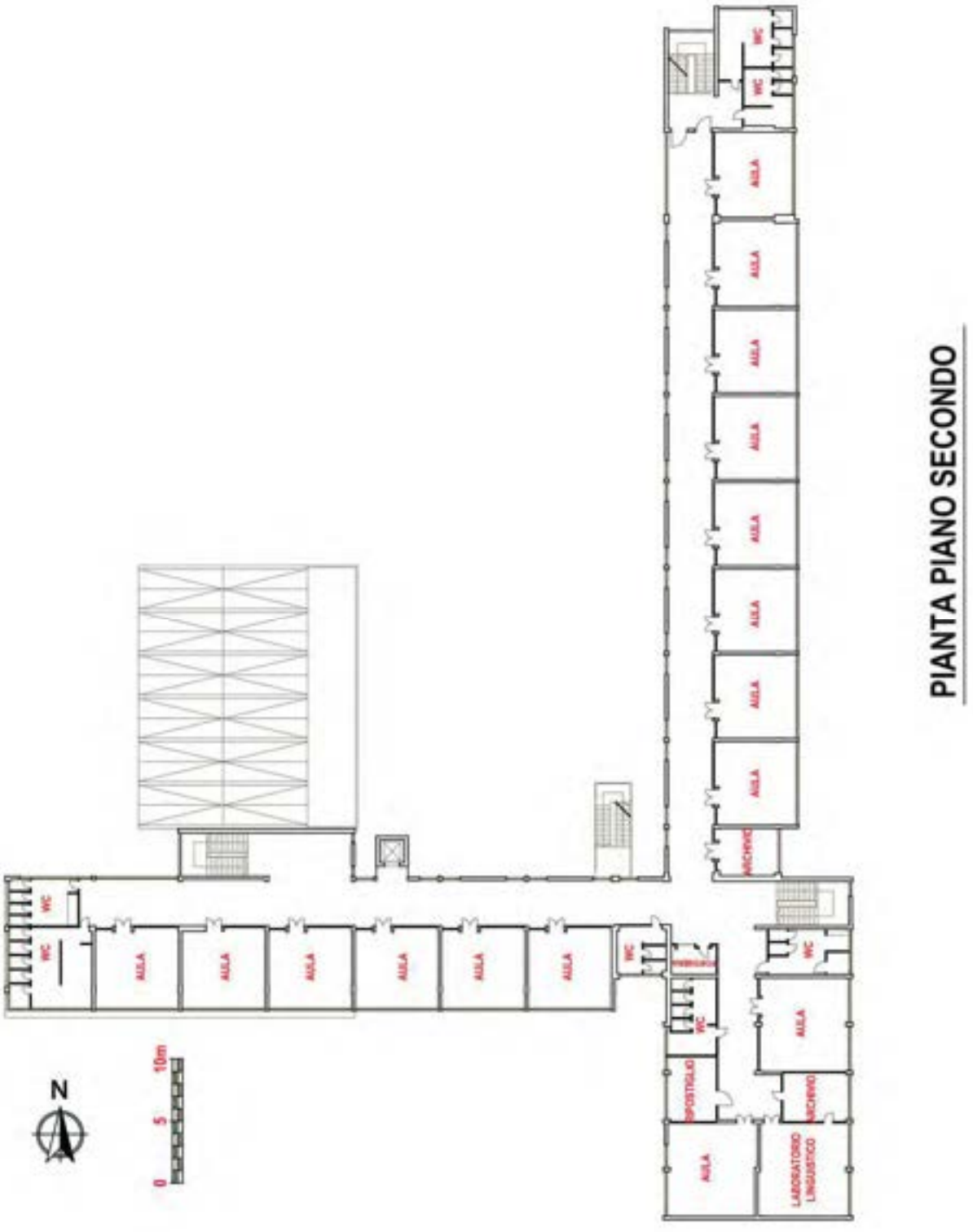


Figura 6. Pianta piano secondo

3.1.1 Descrizione della tipologia edilizia

L'edificio è caratterizzato da un involucro edilizio in muratura caratteristico del periodo storico in cui è stato costruito (seconda metà anni sessanta), che (per quanto a noi noto) non ha subito importanti ristrutturazioni, eccezion fatta per gli interventi di manutenzione straordinaria, comprensiva della posa di materiale isolante, della copertura avvenuta nel 2005, e la parziale sostituzione degli infissi esistenti con infissi con migliori prestazioni energetiche, avvenuta nel 2009. Tali modifiche non hanno alterato la geometria e l'aspetto dell'edificio, come si vede dalla documentazione fotografica di seguito.

a) b)

c) d)

e) f)

Figura 7. Foto dall'esterno del plesso scolastico "G. Carducci": a), b) viste del prospetto Sud del blocco aule e uffici; c) Vista prospetto Nord del blocco aule e uffici e delle palestre ; d) vista prospetto Est del blocco aule e uffici, e) vista prospetto Nord Ovest del blocco aule e uffici, f) vista prospetto Ovest dell'aula magna.

Figura 8. Foto della copertura.

Per quanto riguarda le superfici finestrate, particolarmente importanti perché coprono oltre il 40% della superficie disperdente laterale, esse possono essere suddivise in due categorie: quelle installate nel 2009, costituite da telai in alluminio a taglio termico e doppi vetri basso emissivi; e quelle invece mantenute dal progetto originale, costituite da telaio in alluminio non a taglio termico e vetro singolo. In alcuni casi (laboratori al piano terra) il vetro del serramento è stato sostituito da altro materiale verniciato, probabilmente per schermare completamente la radiazione solare entrante. Entrambi le tipologie di infisso presenti nell'edificio sono installate nella mezzeria dei muri esterni e i soli infissi presenti nelle aule didattiche, negli uffici e nei laboratori sono dotati di tende interne di tessuto pesante di colore verde (Figura 9).

a) b)

Figura 9. Foto dell'interno della scuola: a) corridoio, b) aula didattica.

Per il presente lavoro sono stati rilevati tutti gli infissi presenti nell'edificio individuando ben 66 tipi di superfici finestrate differenti per caratteristiche geometriche (vedi abaco degli infissi, Appendice A), tuttavia si possono identificare alcune analogie tra gli infissi presenti negli spazi di passaggio (corridoi), i quali si sviluppano tutti e presentano una parte centrale apribile a doppia anta, una parte inferiore fissa e

una luce soprastante apribile a vasistas. Inoltre la struttura al primo e al secondo piano è caratterizzata da un architrave continuo al di sopra gli infissi intervallato rispetto al solaio di interpiano da un nastro di serramenti composti da componenti vetrate fisse (Figura 10).
Per maggiori dettagli in merito alle stratigrafie di ogni componenti che compone l'involucro edilizio si veda l'Appendice A.

Figura 10. Foto di porzione del prospetto ovest del blocco aule e uffici.

3.1.2 Descrizione impiantistica

Per quanto riguarda l'impianto meccanico per il servizio di riscaldamento, l'edificio è servito da un unico impianto centralizzato ed è dotato di una centrale termica ubicata in un corpo edilizio staccato dal resto della Scuola e posizionato nel giardino scolastico (Figura 2).
All'interno della centrale termica sono presenti due generatori a gas metano che funzionano in cascata: il primo, prioritario (denominato generatore n°1) è stato installato nel 2008, è una caldaia in acciaio ad aria soffiata ad inversione di fiamma, con bruciatore modulante su due stadi, della potenza nominale di 448 kW; l'altro (denominato generatore n°2) antecedente al primo è stato installato nel 1986 ed è costituito da una caldaia tradizionale a gas metano ad aria soffiata non modulante della potenza nominale di 250 kW, che entra in funzione nei momenti di picco. Per entrambe le caldaie è presente un sistema di regolazione climatica con sonda di rilevamento della temperatura esterna posizionata sul lato Nord (in posizione schermata) del corpo edilizio che ospita la centrale termica. Il fluido vettore in uscita dalla centrale termica, passa attraverso un anello di distribuzione primaria isolato e interrato di circa 14 m, fino a raggiungere la centrale secondaria ubicata in un apposito locale tecnico adiacente alla portineria del piano terra. In questo locale sono presenti circolatori di rilancio del tipo tradizionale a velocità fissa su tre gradini a servizio delle differenti linee di alimentazione (quattro linee di alimentazione per l'intero edificio).

Figura 11. Foto dei generatori presenti nella centrale termica della Scuola.

La distribuzione è del tipo bitubo a distribuzione orizzontale e si sviluppa prevalentemente nelle pareti divisorie interne e nei solai. I terminali di emissione sono radiatori in ghisa, sprovvisti di valvola di regolazione di locale, e talvolta non regolabili neppure manualmente da parte dell'utenza.
Relativamente alla fornitura di acqua calda sanitaria, tale servizio è affidato ad accumuli con resistenza elettrica ubicati nei singoli bagni. I sistemi di illuminazione sono distinti in illuminazione esterna ed interna: il primo è composto da proiettori con lampade a ioduri metallici, mentre il secondo è costituito da apparecchi di illuminazione sospesi con lampade fluorescenti lineari ad eccezione delle scale in cui sono presenti apparecchi di illuminazione a plafone con lampade fluorescenti compatte. Per quanto riguarda il sistema di illuminazione esterna è presente una regolazione con sensore crepuscolare, mentre il sistema di illuminazione interna non è dotata di alcun tipo di controllo (regolazione manuale on/off).
All'interno dell'edificio non è presente alcun impianto di ventilazione, mentre l'impianto di raffrescamento è presente ma del tutto marginale in quanto serve soltanto alcuni uffici per il personale amministrativo. Per quanto riguarda i sistemi di trasporto di cose e persone, all'interno dell'edificio è presente un solo ascensore che però non è stato caratterizzato a livello energetico.
Nel presente lavoro non vengono trattate eventuali ulteriori tipologie impiantistiche a servizio della scuola.

3.1.3 Zonizzazione e profilo di utenza

Al fine di analizzare in modo corretto e sufficientemente dettagliato da poter effettuare considerazioni in merito sia al comportamento dell'utenza sia alle prestazioni del sistema edificio-impianto, sono state individuate sei zone termiche differenti tra loro esclusivamente per profilo di presenza e utilizzo delle apparecchiature. Si tenga in considerazione che sono state raggruppate a parte le aule dedicate a liceo musicale (sezione musicale) in quanto vengono utilizzate anche di pomeriggio. In particolare sono state individuate:

- Zona "aule": comprende tutte le aule (numero pari a 29) ad eccezione di quelle dedicate al liceo musicale, si sviluppa ai piani terra, primo e secondo, e presenta il maggior numero di utenti, con utilizzo esclusivamente mattutino. Le apparecchiature elettriche presenti sono minime (illuminazione e un computer portatile del docente).
- Zona "laboratori": comprende tutti i laboratori (numero 5) e si sviluppa ai piani terra (laboratorio di chimica e di informatica), primo (laboratori multimediale e di fisica) e secondo (laboratorio linguistico). Le apparecchiature elettriche presenti sono molte e le massime confrontate ai valori generali della scuola (presenza di computer, cappe aspiranti, sistemi audiovisivi). L'utilizzo anche in questo caso è esclusivamente mattutino.

- Zona “aula magna”: è una zona a doppio volume, a partire dal primo piano, che ha una elevata capienza (numero posti 190) ma viene utilizzata scarsamente (principalmente per le rappresentazioni teatrali e musicali tipicamente a fine anno scolastico e nelle vacanze natalizie).
- Zona “aree di transito”: essa comprende tutti i corridoi e i collegamenti verticali (scale) dell’intero edificio, nonché i bagni, in modo tale che tutte le aree comuni e ad uso saltuario siano raggruppate in una zona.
- Zona “uffici”: essa è ubicata al primo piano lato ovest e comprende 6 uffici e 2 archivi, oltre ai servizi igienici dedicati al personale amministrativo. È utilizzata anche di pomeriggio e presenta apparecchiature tipiche degli uffici. Rispetto alle aule ha chiaramente un numero di utenti molto inferiore.
- Zona “aule musica”: essa è composta dalle aule dedicate al liceo musicale (numero 3), ubicate nella zona nord del primo piano ed ha un utilizzo sia mattutino che pomeridiano.

Si riportano di seguito gli elaborati grafici relativi alle differenti zone termiche individuate nell’edificio.

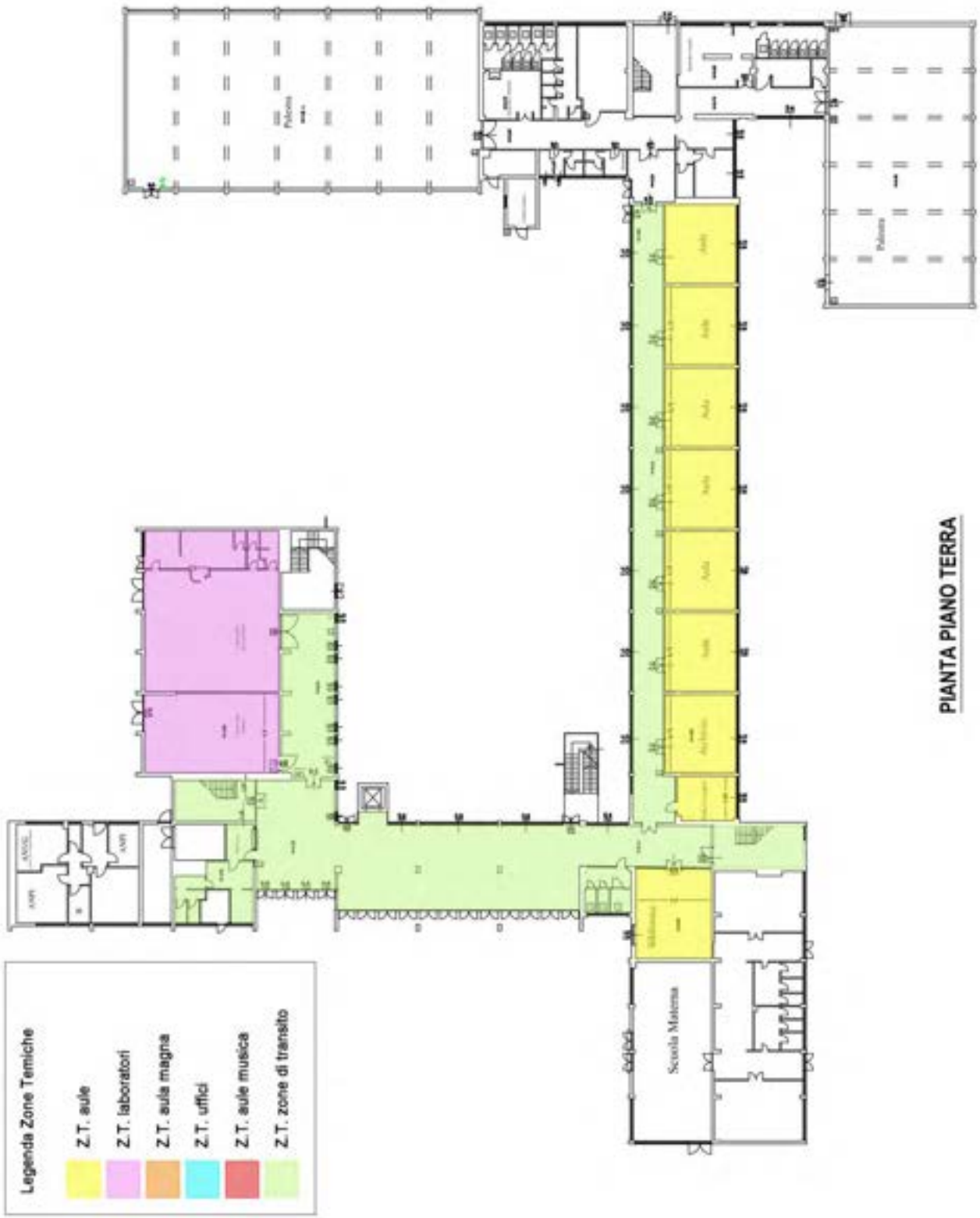


Figura 12. Pianta piano terra con indicate le differenti zone termiche assegnate.

Figura 13. Pianta piano primo con indicate le differenti zone termiche assegnate.

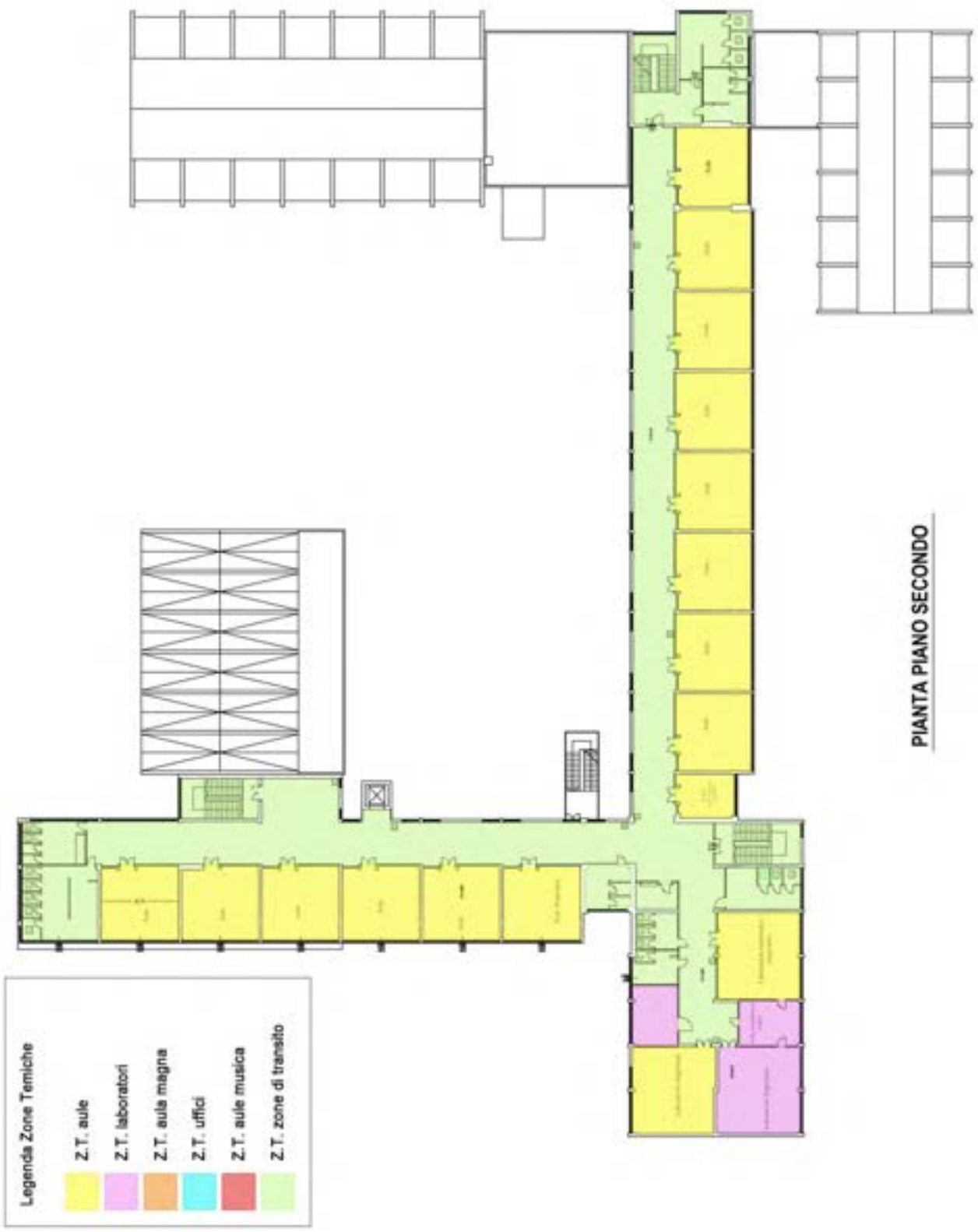


Figura 14. Pianta piano secondo con indicate le differenti zone termiche assegnate.

Si riportano di seguito due tabelle con alcuni dati sintetici geometrici e di occupazione delle zone termiche, nonché il profilo di utilizzo nei giorni feriali e festivi.

Tabella 10. Caratteristiche principali zone termiche.

ZONA	Superficie netta [m^2]	Volume netto [m^3]	N. di persone massime nominali [-]	Tset point [°C]
AULE	1561	5697	851	18
LABORATORI	482	1761	145	18
AULA MAGNA	574	1882	190	16
AREE DI TRANSITO	2104	7726	1	17
UFFICI	210	765	5	18
AULE MUSICA	135	493	87	18
TOTALE	**5066**	**18324**	-	-

Tabella 11. Profilo occupazione zone durante i giorni feriali.

ZONA	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
AULE	757	662	757	0	0	0
LABORATORI	130	130	130	0	0	0
AULA MAGNA	3,6	10,5	3,6	3,6	10,5	10,5
AREE DI TRANSITO	455	133	247,5	28	28	0
UFFICI	5	5	5	2	2	0
AULE MUSICA	30	30	30	30	30	0

Tabella 12. Profilo di occupazione zone durante i giorni festivi.

ZONA	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
AULE	378	331	378	0	0	0
LABORATORI	65	65	65	0	0	0
AULA MAGNA	0	0	0	0	0	0
AREE DI TRANSITO	228	66	124	0	0	0
UFFICI	2,5	2,5	1,25	0	0	0
AULE MUSICA	15	15	15	0	0	0

	Nov. 2015	Dic. 2015	Gen. 2016	Feb. 2016	Mar. 2016	Apr. 2016
Giorno 1	■		■			
2	■		■			
3			■			■
4			■			
5			■			
6		■	■		■	
7				■		
8	■	■				
9						
10			■			■
11						
12						
13		■			■	
14				■		
15	■					
16						
17			■			
18						
19						
20		■			■	
21				■		
22	■					
23						
24		■	■		■	
25		■			■	
26		■			■	
27		■			■	
28		■		■	■	
29	■	■			■	
30		■			■	
31		■	■		■	
TOTALE	6	12	10	4	9	2
TOTALE	24	29	21	25	22	13

■ Giorno scolastico

■ Giorno di vacanza

Figura 15. Profilo di utilizzo della Scuola durante la stagione di riscaldamento dell'Anno scolastico 2015-2016.

La ventilazione dell'edificio è affidata esclusivamente all'utenza, che provvede all'apertura/chiusura manuale dei serramenti apribili presenti (finestre e porte finestra). La stima della frequenza di apertura dei serramenti da parte dell'utenza è stata condotta a partire dall'intervista e quindi ha carattere qualitativo. Tuttavia, anche ai fini dell'inserimento dei dati di input nel software di diagnosi SEAS, si riporta una tabella riassuntiva ed esplicativa dei profili di apertura dei serramenti.

Tabella 13. Profilo di apertura delle finestre.

ZONE	08:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00	18:00-20:00	NOTE
AULE	10 minuti	10 minuti	10 minuti	10 minuti	10 minuti	0	* in Aprile sono state triplicate le aperture delle finestre, mantenendo la stessa frequenza.
LABORATORI	0	10 minuti	10 minuti	0	0	0	* nei locali accessori ai laboratori (20% della superficie) non vengono mai aperte le finestre. Nelle prime ore della mattina si suppone non necessario il ricambio aria.
AULA MAGNA	0	0	0	0	0	0	*essendo gli infissi molto permeabili all'aria è stato assunto che nessuno apra i serramenti. Inoltre in tale zona le persone non vi permangono in maniera stabile e prolungata.
AREE DI TRANSITO	0	0	0	0	0	0	*essendo gli infissi molto permeabili all'aria è stato assunto che nessuno apra i serramenti presenti. Inoltre in tale zona le persone non vi permangono in maniera stabile e prolungata.
UFFICI	servizi igienici 10 minuti	servizi igienici 10 minuti + 10 minuti per i 3/4 degli uffici	servizi igienici 10 minuti	0	0	0	
AULE MUSICA	10 minuti	10 minuti	10 minuti	10 minuti	10 minuti	10 minuti	* in Aprile sono state triplicate le aperture delle finestre, mantenendo la stessa frequenza.

Analogamente, per quanto riguarda le schermature presenti, esse sono in prevalenza tende interne di stoffa scura e a basso indice di trasmissione solare, e pellicole a controllo solare applicate sugli infissi non apribili. La gestione delle chiusure oscuranti è affidata all'utenza, senza obbligo di gestione da parte del portierato, per cui sono stati ipotizzati, secondo l'intervista condotta all'utenza, i seguenti profili di utilizzo e di gestione. Si riporta una tabella riassuntiva, suddivisa per zone e per orario del giorno, con le principali indicazioni relative alla presenza e gestione delle chiusure schermanti.

Tabella 14. Profilo di utilizzo delle schermature solari.

ZONA	08:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	16:00-18:00	18:00-20:00	20.00->8.00	NOTE
AULE	chiuse tende est e tende sud 1p	chiuse tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	tende sud 1p e tende lato sud e lato ovest 2p	* Lato Sud, Piano 1: tende sempre utilizzate (3 aule); Lato Est Piani T, 1 e 2: tende utilizzate dalle 8.00 alle 10.00 (20 aule); Lato Sud e Ovest Piano 2: tende utilizzate dalla 10.00 alle 14.00 (8 aule); le tende, già chiuse alle 14.00, vengono lasciate chiuse la notte.
LABORATORI	aperte solo nel blocco sud est	tutte chiuse	tutte chiuse	tutte chiuse	tutte chiuse	tutte chiuse	tutte chiuse	* le tende già chiuse alle 14.00 vengono lasciate chiuse la notte.
AULA MAGNA	chiuse solo quelle con pellicole	chiuse quelle con pellicole e chiusura totale pesata sui giorni di utilizzo	chiuse quelle con pellicole e chiusura totale pesata sui giorni di utilizzo	chiuse quelle con pellicole e chiusura totale pesata sui giorni di utilizzo	chiuse quelle con pellicole e chiusura totale pesata sui giorni di utilizzo	chiuse quelle con pellicole e chiusura totale pesata sui giorni di utilizzo	chiuse solo quelle con pellicole	*pellicole sui vetri, assimilate a schermature con utilizzo costante; infissi senza tende né pellicole, mai schermati; tende propriamente dette su porzione di infissi e quindi valore pesato sui giorni di utilizzo (8 giorni su 27, escluse domeniche).
AREE DI TRANSITO	0	0	0	0	0	0	0	*non sono presenti sistemi oscuranti
UFFICI	0	finestre sud	finestre sud	finestre sud	0	0	0	* per le finestre sud (peso 0,5), chiusure oscuranti usate nelle ore di luce; ad aprile schermature utilizzate anche dalle 14.00 alle 16.00. Si ipotizza, vista l'utenza, che le tende vengano lasciate chiuse la notte.
AULE MUSICA	tutte chiuse	0	0	0	0	0	0	* le tende lasciate aperte al pomeriggio vengono lasciate aperte anche tutta la notte.

3.1.4 Profilo di gestione impiantistica

Come specificato nel paragrafo 3.1.2, l'edificio ha soltanto i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. La manutenzione e la gestione dell'impianto di riscaldamento è centralizzata ed affidata ad una ditta esterna di concerto con la committenza (Provincia di Pisa), per cui l'utenza non può agire in modo diretto. I due generatori per riscaldamento funzionano in cascata, con priorità sul generatore n°1. L'orario di accensione del sistema di riscaldamento è impostato per i giorni feriali dalle 6.15 alle 10.45 e dalle 14.15 alle 15.45 per un totale di 4,5 ore la mattina e 1,5 il pomeriggio (6 ore di accensione giornaliera). Il sabato invece il sistema è impostato per le sole ore mattutine. Mentre rimane spento dal pomeriggio del sabato fino al lunedì mattina.

In questi due intervalli, nella prima ora (impianto in transitorio) entrano in funzione entrambi i generatori (generatore n°1 e n°2); mentre nel rimanente tempo (impianto a regime) rimane acceso solo il generatore n°1. La temperatura di mandata varia da un minimo di 45°C (minimo di sicurezza) ad un massimo di 70°C, in funzione della temperatura esterna (regolazione climatica).
I gruppi di pompaggio sono in funzione dalle 6.00 alle 11.30 e dalle 14.00 alle 16.15 nei giorni feriali e sabato invece il sistema è impostato per le sole ore mattutine. Mentre rimane spento dal pomeriggio del sabato fino al lunedì mattina. Si nota quindi che i due funzionamenti sono adeguatamente abbinati.
Diversamente per la produzione di acqua calda sanitaria, gli accumuli con resistenza elettrica sono ubicati all'interno dei servizi igienici e sono sempre accesi (nessuna gestione da parte dell'utenza). La regolazione avviene con termostato a bordo.
Per quanto riguarda il sistema di illuminazione, facendo riferimento al paragrafo 3.1.2, si precisa che, per quanto riguarda il sistema di illuminazione esterna è presente un controllo crepuscolare, mentre il sistema di illuminazione interna è privo di qualunque sistema di regolazione automatica e di dimmerazione, per cui la gestione dell'accensione/spegnimento si affida al personale utente e di portineria.

3.1.5 Consumi e firma energetica

Monitoraggio dei consumi termici

La contabilizzazione del consumo di gas naturale del plesso scolastico è attuata da due contatori: il primo a monte del locale caldaia che serve la palestra, il secondo a monte del locale caldaia a servizio dell'edificio scolastico; i rilievi riguardano quest'ultimo e sono stati realizzati nel periodo che va dal 16/2 al 23/3 2016.
La lettura del contatore è stata condotta a cadenza bisettimanale nel primo periodo di rilievo fino all'inizio dell'ultima settimana, periodo nel quale (dal 17/3 al 23/3) i rilievi sono avvenuti tutte le mattine al passo di mezz'ora. La raccolta dei dati durante l'arco della mattinata ha permesso di avere valori di consumo associati ad una buona variabilità della temperatura esterna, consentendo così di elaborare una "firma energetica" dell'edificio statisticamente significativa; la curva ottenuta è stata validata sulle letture bisettimanali del primo periodo di rilievo, mostrando un errore nella predizione dei consumi pari al 12%.
Nella seguente tabella vengono mostrati i risultati dei rilievi descritti in precedenza.

Tabella 15. Dati rilevati durante le attività di sopralluogo.

DATA	LETTURA m^3	ORA	NOTA
16/02/16	204887		
22/02/16	205353		
25/02/16	205626		
29/02/16	206040		
03/03/16	206418		
07/03/16	206806	8:20	
07/03/16	206866	10:20	
10/03/16	207259	8:35	$T_{esterna}$ 12 °C
10/03/16	207284	9:35	$T_{esterna}$ 12 °C
10/03/16	207296	10:35	$T_{esterna}$ 14 °C
14/03/16	207556	8:30	

14/03/16	207571	9:30	$T_{esterna}$ 12.2 °C
17/03/16	207926	7:35	
17/03/16	207929	8:00	$T_{esterna}$ 12.8 °C
17/03/16	207941	9:00	$T_{esterna}$ 13.8 °C
17/03/16	207948	9:30	$T_{esterna}$ 14.6 °C
17/03/16	207953	10:00	$T_{esterna}$ 15.4 °C
17/03/16	207960	10:30	$T_{esterna}$ 16.1 °C
17/03/16	207968	11:00	$T_{esterna}$ 16.5 °C
18/03/16	208054	7:50	$T_{esterna}$ 9 °C
18/03/16	208060	8:00	$T_{esterna}$ 9 °C
18/03/16	208074	8:30	$T_{esterna}$ 8.2 °C
18/03/16	208088	9:00	$T_{esterna}$ 10.5 °C
18/03/16	208098	9:30	$T_{esterna}$ 11.9 °C
18/03/16	208103	10:00	$T_{esterna}$ 12.9 °C
18/03/16	208106	10:30	$T_{esterna}$ 14.5 °C
18/03/16	208112	11:00	$T_{esterna}$ 15.75 °C
19/03/16	208137	8:15	$T_{esterna}$ 9.6 °C
19/03/16	208146	8:30	$T_{esterna}$ 10.7 °C
19/03/16	208157	9:00	$T_{esterna}$ 11.1 °C
19/03/16	208168	9:30	$T_{esterna}$ 12.5 °C
19/03/16	208173	10:00	$T_{esterna}$ 13.9 °C
19/03/16	208175	10:30	$T_{esterna}$ 14.4 °C
19/03/16	208182	11:00	$T_{esterna}$ 17.7 °C
21/03/16	208247	8:15	$T_{esterna}$ 12.2 °C
21/03/16	208254	8:30	$T_{esterna}$ 12.2 °C
21/03/16	208266	9:30	$T_{esterna}$ 13.7 °C
21/03/16	208272	10:00	$T_{esterna}$ 14 °C
21/03/16	208287	11:00	$T_{esterna}$ 15 °C
21/03/16	208297	11:15	$T_{esterna}$ 15 °C
22/03/16	208385	8:00	$T_{esterna}$ 12.4 °C
22/03/16	208392	8:30	$T_{esterna}$ 12.4 °C
22/03/16	208398	9:00	$T_{esterna}$ 14.4 °C
22/03/16	208402	9:30	$T_{esterna}$ 15.3 °C
22/03/16	208409	10:00	$T_{esterna}$ 17.8 °C
22/03/16	208415	11:00	$T_{esterna}$ 18.75 °C

22/03/16	208422	11:15	$T_{esterna}$ 19.9 °C
23/03/16	208506	8:00	$T_{esterna}$ 13 °C
23/03/16	208516	8:30	$T_{esterna}$ 13 °C
23/03/16	208521	9:00	$T_{esterna}$ 14.4 °C
23/03/16	208529	9:30	$T_{esterna}$ 14.8 °C
23/03/16	208536	10:00	$T_{esterna}$ 15 °C
23/03/16	208544	10:30	$T_{esterna}$ 16.9 °C
23/03/16	208550	10:55	$T_{esterna}$ 16.3 °C
24/03/16	208592	8:00	
04/04/16	208991	9:00	
05/04/16	209115	15:00	
06/04/16	209115	14:00	
09/04/16	209115	11:30	

I dati evidenziati dallo sfondo rosso sono quelli utilizzati per la costruzione della firma energetica dell'edificio; è da specificare che nella correlazione tra temperatura dell'aria esterna e consumi si è preferito utilizzare la temperatura rilevata da una centralina meteo situata a circa un chilometro di distanza dall'edificio (si tratta di quella installata nella zona del Centro Universitario Sportivo pisano, C.U.S.), anziché le misure fatte con un termometro portatile nel momento della lettura del contatore. I dati della centralina, infatti, si sarebbero resi necessari in ogni caso per validare la correlazione trovata con i consumi del primo periodo di monitoraggio, nei quali la temperatura era stata rilevata solo ad una particolare ora del giorno; così, per omogeneità di misura, sono stati utilizzati anche per la ricerca della curva che meglio approssima la firma energetica dell'edificio. La centralina rileva la temperatura ogni quarto d'ora, così anche il dato di consumo, rilevato ogni mezz'ora, è stato riportato al passo temporale più breve dividendolo per due.

Determinazione della firma energetica

I dati, rilevati e trattati come già descritto, sono sintetizzati dal seguente grafico, nel quale compare in viola la linea che meglio approssima l'andamento TEMPERATURA ESTERNA - CONSUMI (approssimazione condotta col metodo dei minimi quadrati).

Nel determinare la curva approssimante è stato fissato un valore di plafond, pari al massimo consumo istantaneo rilevato sul campo durante le letture e pari a 1 m^3 in 100'', mentre è stata lasciata alla procedura di ottimizzazione la determinazione del valore del minimo consumo (parte piana a destra della figura) e dei valori delle temperature di inizio e fine del tratto in pendenza. Queste ultime risultano, rispettivamente, 9.5 °C e 13.5 °C, la seconda delle quali coincide peraltro con la fine del tratto modulante della curva di regolazione climatica impostata alla caldaia; il calcolo ha inoltre fornito un valore di minimo consumo pari a 3 m^3 ogni quarto d'ora, che grossomodo coincide con la capacità di modulazione della caldaia (30%): è da notare come la mancanza di una regolazione di zona faccia sì che il consumo non tenda a zero, neanche per valori di temperatura esterna prossimi a quello che le norme e la pratica fissano come set-point per la temperatura nei locali riscaldati.

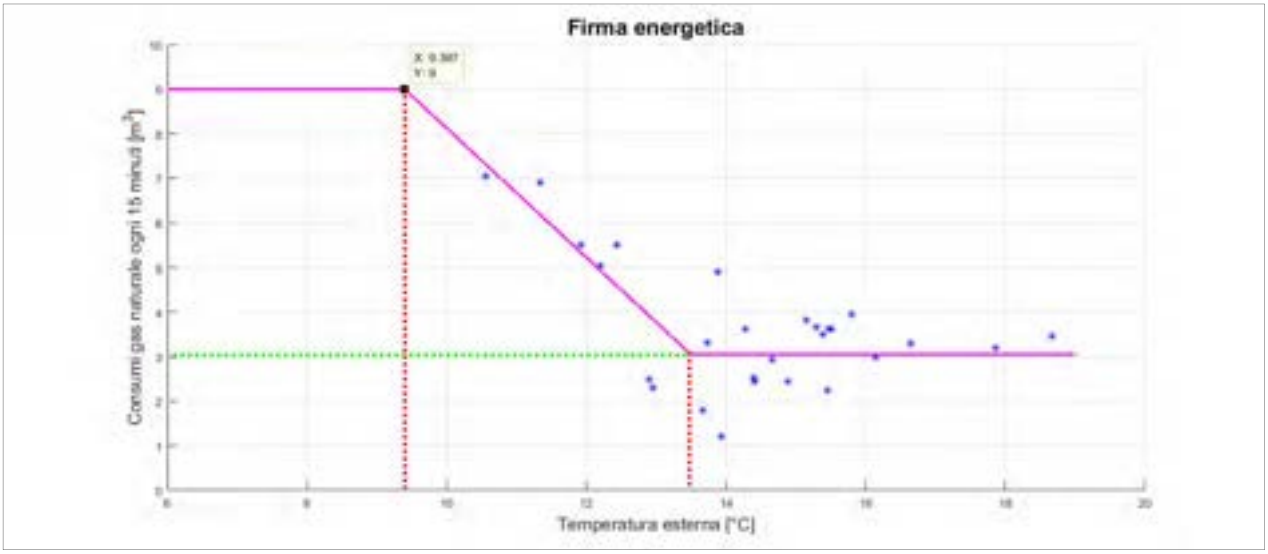


Figura 16. Firma energetica.

Validazione della firma energetica

Una volta acquisiti i dati di temperatura della centralina meteo, limitatamente agli orari di accensione della caldaia, la curva precedentemente calcolata consente di fare una stima dei consumi che può esser confrontata con i consumi effettivamente misurati.

Il periodo di validazione scelto è la settimana che va dal 22/2 al 29/2, nella quale è stato misurato un consumo di ***687 m³*** di gas naturale; i dati di temperatura e le relative richieste di gas, stimate ogni quarto d'ora tramite la "firma energetica", sono rappresentati nel grafico sottostante.

La sommatoria dei valori in ordinata è pari a ***774 Sm³***, dunque il valore stimato si discosta da quello monitorato del 12%, deviazione che consideriamo accettabile.

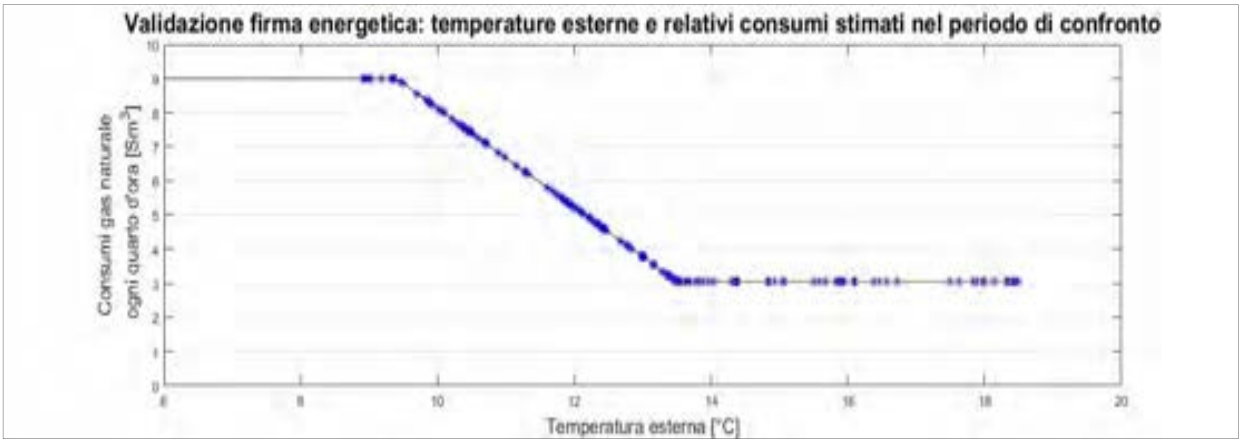


Figura 17. Firma energetica: relazione tra temperature esterne e relativi consumi stimati nel periodo di confronto.

Estrapolazione dei consumi annuali

Una volta validata la curva di correlazione tra temperatura esterna e consumi di gas naturale, è possibile estrapolare i consumi annuali di energia termica, utilizzando, come dato di input, l'andamento orario della temperatura esterna a Pisa, così come fornito dal CTI attraverso gli anni tipo climatici delle province italiane. Nelle due figure seguenti si riporta l'andamento orario della temperatura esterna a Pisa per l'anno

climatico standard (periodo di riscaldamento: 1 novembre – 15 aprile) e la distribuzione in frequenza della stessa temperatura (in bin di un grado di ampiezza).

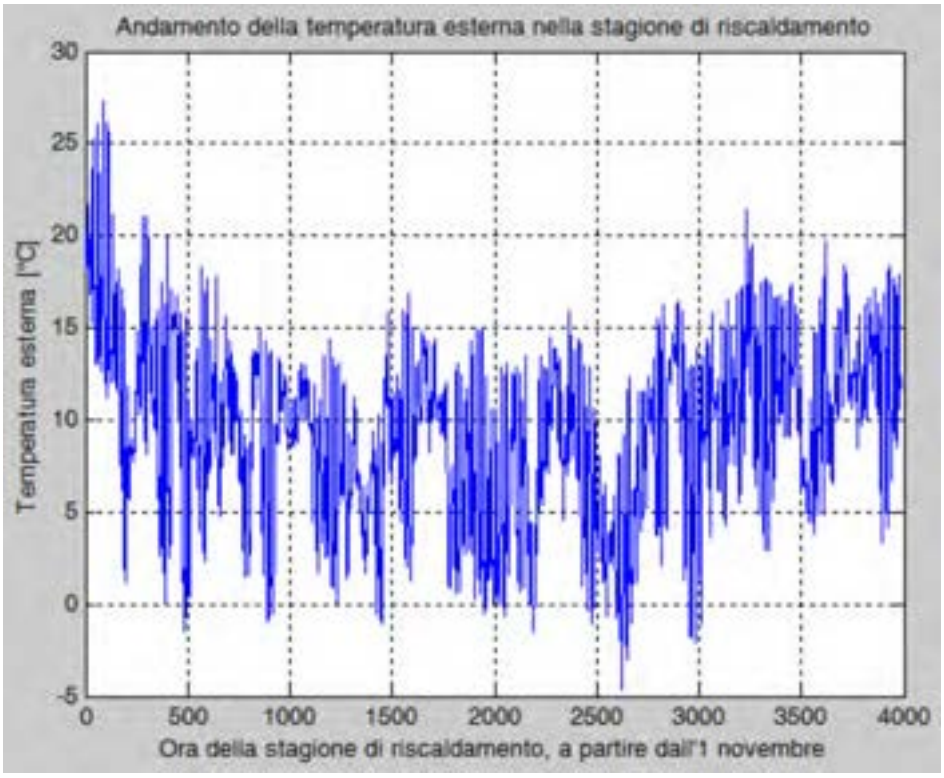


Figura 18. Andamento della temperatura esterna nella stagione di riscaldamento (1 novembre – 15 aprile), secondo l'anno climatico standard di Pisa (dati CTI).

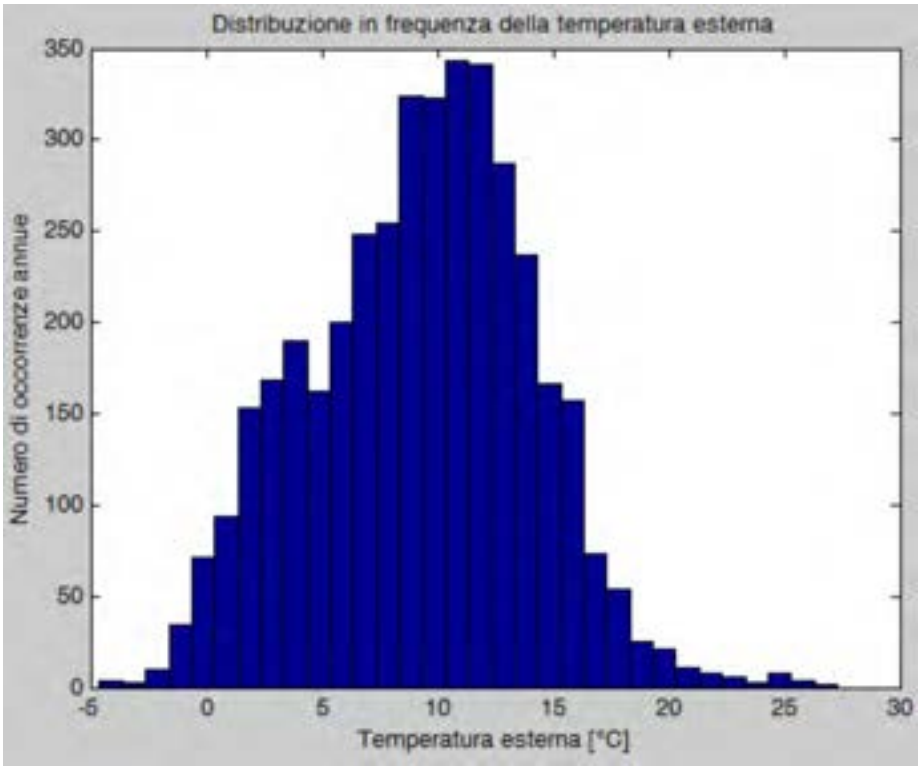


Figura 19. Distribuzione in frequenza della temperatura esterna per l'anno climatico standard di Pisa (stagione di riscaldamento).

Va evidenziato inoltre che tutte le mattine e tutti i pomeriggi, all'accensione dell'impianto di riscaldamento, la seconda caldaia rimane in funzione, in aggiunta a quella principale, per la durata di circa un'ora, come rilevato sul campo. Le stesse misure ci hanno permesso di verificare che, in questa fase di boost, i consumi aumentano del 50% circa. In conclusione, estrapolando i consumi termici tramite l'utilizzo della firma energetica nel periodo di riscaldamento che va dall'1 novembre al 15 aprile (tenendo conto anche delle festività) ed aggiungendo i consumi dovuti al boost dell'impianto, si ottiene una stima dell'impiego di energia termica di ***243.7 MWh/anno***.
Infine, per quanto riguarda i consumi elettrici, basandosi sulle letture effettive dei contatori, si stima un impiego di energia elettrica di ***75.0 MWh/anno***.

3.2 Simulazione dello stato di fatto

La simulazione energetica dell'edificio è stata eseguita attraverso due applicativi: il software commerciale EC700 (Edilclima) e quello ad accesso libero SEAS 3 (ENEA – Università di Pisa). Il primo, essendo certificato dal Comitato Termotecnica Italiano (CTI) come conforme alla serie di normative tecniche UNI/TS 11300, è ideale per valutare la classe energetica ed il rispetto dei requisiti NZEB. Peraltro, in un'utenza intermittente come quella scolastica e in assenza di controlli termostatici di zona o di locale, per ottenere una migliore stima dei fabbisogni termici (da far convergere con quelli effettivi, mostrati nel precedente paragrafo 3.1.5), è opportuno utilizzare modelli con profili orari, come quelli implementati in SEAS, il quale è specificamente rivolto alle diagnosi energetiche. Anche in termini di fabbisogni elettrici, SEAS presenta schede specifiche per considerare le apparecchiature da ufficio presenti nell'edificio scolastico. Di seguito saranno dunque utilizzate, a seconda degli scopi (raggiungimento dell'obiettivo NZEB oppure analisi economica degli interventi di riqualificazione), entrambe le simulazioni energetiche.

3.2.1 Simulazione secondo UNI/TS 11300 (software commerciale)

Come già descritto nei paragrafi precedenti, la simulazione energetica è stata condotta con un software commerciale validato, ai sensi dell'art. 7 del D.I. Requisiti Minimi, seppure con una validazione scaduta il 29 giugno scorso, a seguito dell'entrata in vigore di alcune norme nuove e/o revisionate da utilizzarsi per il calcolo energetico. Poiché il progetto ha avuto inizio prima del 29 giugno 2016 si è scelto di costruire il modello dell'edificio secondo le norme vigenti in antecedentemente a quella data, andando quindi a trascurare le variazioni di calcolo dovute ai nuovi dati climatici introdotti dalla revisione della UNI 10349 ed il contributo degli ascensori presenti all'interno del plesso scolastico.
All'interno dell'edificio scolastico vengono svolte tante attività didattiche anche molto diverse tra di loro; questo implica l'avere riscontrato, tenendo conto dei profili di utilizzo, la presenza di più zone termicamente omogenee (già evidenziate al paragrafo 3.1.3); questo ha anche portato alla scelta di escludere dalla presente analisi un'area intera dell'edificio, adibita a palestra e non esaminata, perché non omogenea con le altre zone, proprio per mantenere il più possibile omogenei i dati di output.
Poiché il software impiegato non riesce a gestire più zone termicamente omogenee all'interno di un'unica unità immobiliare, con dati di output totali, comprensivi di tutte le zone, dopo una prima analisi condotta suddividendo l'edificio in "zone", si è poi ritenuto opportuno procedere con un'unica zona, coincidente con l'intero edificio (fatta esclusione della palestra e di una porzione del piano terra, attualmente utilizzata come scuola materna).
Nel seguito vengono analizzati i singoli aspetti della modellazione.

Modellazione dei componenti trasparenti:

Gli infissi sono stati modellati fedelmente nel software con le loro specifiche caratteristiche, rilevate in loco, durante i sopralluoghi, per un totale di 83 diverse tipologie di infisso, tenendo conto anche delle possibili differenze tra infissi apparentemente identici (in termini di tipologia e dimensioni) ma eventualmente diversi in relazione alle chiusure oscuranti presenti o alla presenza o meno di tendaggi. Riportiamo l'elenco delle informazioni principali inserite nel software per ciascuna tipologia di serramento:

- dati dimensionali dettagliati dell'intero serramento, del telaio e dei vetri presenti;
- caratteristiche, rilevate, del telaio;
- caratteristiche dei vetri (singoli o doppi, con intercapedine d'aria);
- caratteristiche relative alla permeabilità dell'aria;
- caratteristiche relative alla presenza di tendaggi o schermature.

Si è poi chiaramente tenuto conto della eventuale presenza delle pareti sottofinestra e sono stati introdotti i ponti termici sul perimetro degli infissi.

In merito ai ponti termici degli infissi si rimanda al paragrafo dedicato; si riporta nella tabella sottostante l'elenco degli infissi inseriti, con il loro valore di trasmittanza globale U_w e di trasmittanza del solo vetro. Gli infissi che sono stati sostituiti nel 2009 presentano solo il valore di U_w, che si è assunto pari al valore previsto dall'elenco dei prezzi unitari dei lavori appaltati.

Tabella 16. Elenco dei componenti finestrati.

Cod.	Descrizione	Trasmittanza infisso U_W [W/m^{2}K]	Trasmittanza vetro U_g [W/m^{2}K]
W1	N1	2,400	-
W14	V5	5,775	5,297
W17	V7.1	5,902	5,297
W18	V7.2	5,867	5,297
W19	V8	5,686	5,297
W2	N2	2,400	-
W20	V9	5,551	5,297
W21	V10	5,713	5,297
W22	V11	5,512	5,297
W23	V12 Corridoi	5,635	5,297
W24	V12 Aule	5,635	5,297
W25	V13	5,933	5,297
W26	V14	5,730	5,297
W27	V15	5,713	5,297
W28	V16	5,685	5,297
W29	V17	5,726	5,297
W30	V18	5,632	5,297
W31	V18s	5,595	5,297
W32	V19	5,631	5,297
W34	V20	5,411	5,297
W35	V21	5,295	5,297
W36	V22	5,786	5,297

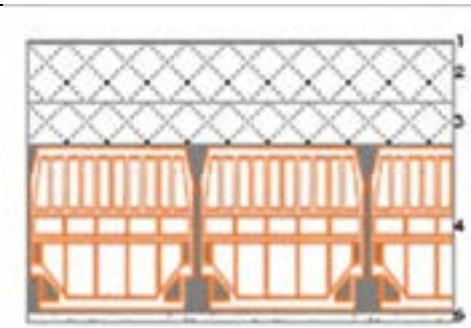
W37	V23	5,759	5,297
W38	V24	5,601	5,297
W39	V25	5,824	5,297
W40	V26	5,528	5,297
W46	V32	5,502	5,297
W5	N4	2,400	-
W50	V36	5,923	5,297
W51	V37	5,623	5,297
W52	V38	5,653	5,297
W53	V39	5,675	5,297
W54	V40	5,666	5,297
W56	V42	5,791	5,297
W57	V43	5,685	5,297
W58	V44	5,685	5,297
W59	V45	5,607	5,297
W6	N5	2,400	-
W60	V46	5,600	5,297
W62	V48	5,624	5,297
W63	V49sx	5,787	5,297
W64	V49dx	5,658	5,297
W65	V50	5,605	5,297
W66	V51sx	5,621	5,297
W67	V51c	5,789	5,297
W68	V51dx	5,575	5,297
W69	V52	5,581	5,297
W7	N6	2,400	-
W70	V53	5,646	5,297
W71	V54	5,711	5,297
W72	V55	5,291	4,883
W73	V56	5,247	4,883
W74	V57	5,289	4,883
W75	V58	6,080	5,297
W76	V59	5,682	5,297
W77	V60	5,645	5,297
W78	V61	5,634	5,297
W79	V62	5,656	5,297
W8	N7	2,400	-
W80	V63	5,588	5,297
W81	V64	5,672	5,297
W82	V65	5,643	5,297
W83	V66	5,437	5,297

Per i dettagli di ciascun infisso si rimanda all'abaco degli infissi, Appendice A. Si evidenzia soltanto che la superficie vetrata è predominante nei prospetti rispetto alla parte opaca (e la superficie vetrata è pari al 22,8% della superficie disperdente totale); per questo ha condizionato in modo consistente le scelte progettuali di riqualificazione energetica finalizzate al raggiungimento del NZEB.

Modellazione dei componenti opachi

L'edificio esaminato risulta dal punto di vista costruttivo piuttosto omogeneo, poiché i solai risultano tutti della stessa tipologia, cioè realizzati in latero-cemento, e le parti verticali analogamente sono identiche su ogni fronte, con elementi a vista in cemento armato (travi e colonne) di tipo lineare e porzioni di muratura con laterizio faccia-vista sul lato rivolto verso l'esterno. I dati geometrici raccolti sono stati utilizzati inoltre per calibrare correttamente gli spessori dei componenti opachi.

La modellazione dei solai è stata effettuata facendo riferimento ad una stratigrafia tipica per i solai in latero-cemento (come materiali presenti e spessori), priva di isolamento termico ed acustico, in particolare per i solai di interpiano e del piano terra, che non sono mai stati oggetto di modifiche nel corso degli anni, dalla data di costruzione dell'edificio.



N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Figura 20. Stratigrafia tipica adottata per il solaio in latero-cemento, per i solai dell'edificio esaminato.

In merito alla stratigrafia del solaio di copertura, partendo dalla stratigrafia tipica di un solaio in latero-cemento, con un massetto finale per le pendenze (la copertura è piana, quindi con una leggera pendenza, generalmente 2-3%), sono stati aggiunti gli strati di materiale previsti (da progetto) nella manutenzione straordinaria effettuata nel 2005 e che ha portato alla coibentazione del tetto.

In relazione invece al solaio del piano terra, ferma restando la stratigrafia tipica del solaio in latero-cemento, si è ipotizzato che il solaio fosse stato realizzato quasi a livello del terreno, ma non appoggiato su questo, bensì realizzato sopra uno spazio aerato ed interrato (ipotesi supportata dai rilievi eseguiti, dalle foto di dettaglio del marciapiede e dai riscontri fatti circa il passaggio delle tubazioni sotto l'edificio), il calcolo della trasmittanza termica è stato effettuato secondo la Norma UNI EN ISO 13370, considerando appunto di ricadere in questa casistica, di cui si riportano sotto i dati geometrici significativi.

La struttura del pavimento interrato è stata ipotizzata semplicemente in cemento armato, supponendo di avere una fondazione a piastra, di spessore almeno 30 cm e profonda almeno 1 metro rispetto al livello del

terreno. Analogamente per le pareti laterali del locale interrato è stato previsto un setto in c.a. di 25 cm di spessore.

Area del pavimento	3000,00	m²
Perimetro disperdente del pavimento	250,00	m
Spessore pareti perimetrali esterne	250	mm
Conduttività termica del terreno	1,50	W/mK

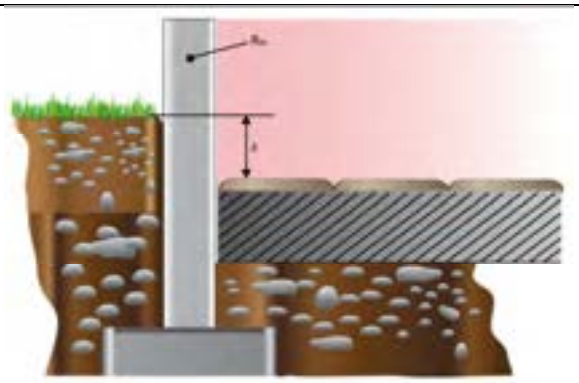


Figura 21. Particolare della stratigrafia adottata per il solaio contro-terra.

Si osserva che il software Edilclima prevede che lo stesso solaio di interpiano sia inserito sia come pavimento di un piano, sia come soffitto per il piano sottostante.
Si riporta sotto una tabella con indicati sinteticamente i diversi solai introdotti come componenti opachi rivolti verso l'esterno e verso locali non riscaldati ed il valore di trasmittanza calcolato e di trasmittanza termica media (comprensiva dunque del contributo del ponte termico).

Tabella 17. Dati trasmittanza dei solai rivolti verso l'esterno, il terreno o locali non riscaldati.

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m²K]	Trasmittanza media [W/m²K]
P1	Solaio PT	0,223	0,237
S1	Solaio Copertura	0,829	0,831

Per le pareti invece si sono definite due diverse tipologie di parete esterna, quella principale in laterizio, con mattoni faccia-vista sull'esterno, e una parete presente solo sul prospetto ovest, che è ancora in laterizio ma presenta una camera d'aria che serve da cavedio per gli impianti. È stata introdotta una terza tipologia di parete, in c.a. per delimitare il fabbricato del vano ascensore, aggettante rispetto al fronte dell'edificio. Sono inoltre stati introdotti i divisori interni, tra locali riscaldati, e un divisorio interno rivolto verso un locale non riscaldato (area non utilizzata al piano terra e quindi non riscaldata).
Si riporta di seguito una tabella in cui sinteticamente sono riportate le tipologie di parete presenti, con i valori calcolati di trasmittanza termica e di trasmittanza termica media (comprensiva dunque del contributo del ponte termico).

Tabella 18. Dati di trasmittanza delle pareti opache rivolte verso l'esterno o locali non riscaldati.

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m^{2}K]	Trasmittanza media [W/m^{2}K]
M1	Muro Esterno	1,728	2,221
M10	Muro esterno 40cm	0,987	1,443
M4	Muro Vano Ascensore	2,180	2,159
M5	Muro interno vs locale non climat 10cm	2,047	2,159

Per il dettaglio delle stratigrafie si rimanda all'Appendice A.

Modellazione dei ponti termici

L'edificio, per la sua forma geometrica, non compatta, e per la sua particolare tipologia edilizia, presenta molti ponti termici, sia di tipo geometrico, dovuti agli spigoli verticali, aggettanti e rientranti ed a quelli orizzontali, dovuti alla presenza di porzioni di edificio in aggetto e/o rientranti. A questi ponti termici di tipo geometrico, si aggiungono poi i ponti termici che derivano dalla presenza di elementi lineari (travi e pilastri) che interrompono la continuità di materiale delle pareti verticali.

Nella modellazione dell'edificio sono state pertanto definite i differenti tipi di ponte termico presenti nell'edificio e, utilizzando un modulo specifico del software Edilclima, sono stati calcolate le trasmittanze termiche lineiche corrispondenti, ai sensi delle Norme UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211.

Alcuni ponti termici simili e con valore di trasmittanza termica lineica con una differenza non significativa sono stati accorpati, in modo da poter snellire l'inserimento, uno ad uno dei ponti termici nel modello.

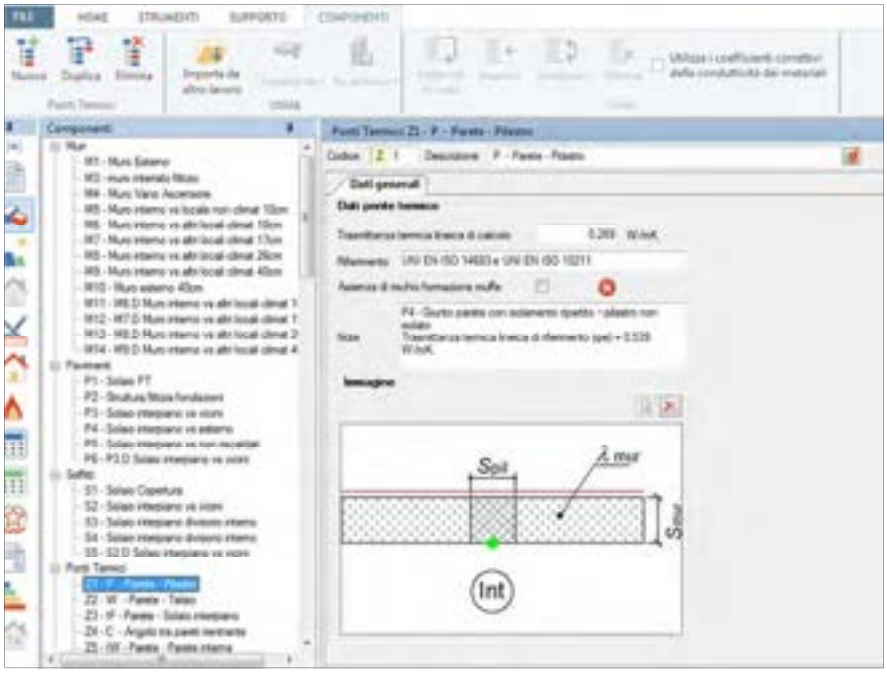


Figura 22. Screenshot Edilclima, schermata calcolo ponti termici.

Per gli infissi, poiché tutti i serramenti risultano posizionati nello stesso modo, è stata definita un'unica tipologia di ponte termico tra telaio dell'infisso e parete verticale.

Si riporta di seguito una tabella in cui sinteticamente sono riportate le tipologie di ponte termico presenti, con il valore di trasmittanza lineica calcolato e si rimanda all'Appendice A, per il dettaglio di ciascun ponte termico.

Si ricorda che nel calcolo dei componenti opachi e trasparenti, il contributo dei ponti termico è stato considerato secondo le specifiche precisate nell'Allegato A e nell'Allegato B, del D.I. Requisiti Minimi, anche in relazione alle verifiche da eseguire per il confronto con l'edificio NZEB di riferimento.

Tabella 19. Dati trasmittanza lineica dei ponti termici lineari considerati.

Cod.	Descrizione	Trasmittanza termica lineica [W/mK]
Z1	P - Parete - Pilastro	0,269
Z2	W - Parete - Telaio	0,111
Z3	IF - Parete - Solaio interpiano	0,311
Z4	C - Angolo tra pareti rientrante	0,271
Z6	GF - Parete - Solaio contro-terra	0,044
Z7	R - Parete - Copertura	0,004
Z8	C - Angolo tra pareti sporgente	-0,258
Z10	C - Angolo tra pareti sporgente senza pilastro	-0,344
Z11	C - Angolo tra pareti rientrante senza pilastro	0,135
Z12	IF - Parete - trave c.a.	0,311

Modellazione della ventilazione naturale

Il plesso scolastico non è dotato di un impianto di ventilazione meccanica per il ricambio d'aria nelle aule e negli ambienti comuni e il ricambio d'aria rimane ancora affidato all'apertura volontaria di docenti e studenti degli infissi all'interno dei locali.

L'edificio rientra nella categoria E.7 "edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili", ai sensi del D.P.R. n. 412/93 e s.m.i., per cui non essendo un edificio ad uso residenziale, non si è utilizzato un numero di ricambi/ora fisso per la ventilazione, come nel caso degli edifici ad uso residenziale, bensì, conformemente a quanto previsto per la ventilazione naturale dalla Norma UNI/TS 11300-1, si sono applicati i volumi/ora indicati, per ciascuna tipologia di ambiente, dalla Norma UNI 10339:1995.

Laddove non è stato possibile ricavare un ricambio d'aria dalla norma di riferimento, si sono scelti i parametri (portata di aria esterna ed indice di affollamento) associati ad un locale con destinazione d'uso simile.

Nelle aree di transito (corridoio, scale), vista l'assenza quasi continua di persone, si è scelto un compromesso. Si è scelto dunque, per quei locali dotati di infissi, di utilizzare un ricambio d'aria fisso, pari a 0,5 volumi/ora e, per i locali privi di infissi (ripostigli, archivi), una ventilazione naturale nulla, assumendo nullo l'indice di affollamento del locale.

Il dato di energia dispersa per ventilazione quindi è stato calcolato in condizioni standard, e non ha alcun legame con il reale numero di persone presenti nelle aule e negli ambienti comuni.

Modellazione degli ombreggiamenti

Un punto molto delicato della costruzione del modello è stata la modellazione degli ombreggiamenti. L'edificio in effetti risulta già a livello geometrico e tridimensionale molto articolato, con aggetti e rientranze, sia in verticale che in orizzontale. A questo si aggiunge il fatto che l'edificio è contornato di alberi, spesso anche molto alti, che generano schermature naturali sulle vetrate dei corridoi e delle aule.

Per questo, è stato effettuato un rilievo delle alberature più significative, con altezza stimata della pianta e distanza dal prospetto ombreggiato; queste schermature, modellate nel software come "ostacoli" ai sensi della norma UNI/TS 11300-1, sono state aggiunte agli ombreggiamenti dovuti alla geometria dell'edificio (con distanze e dimensioni rilevati dai disegni: piante e prospetti).

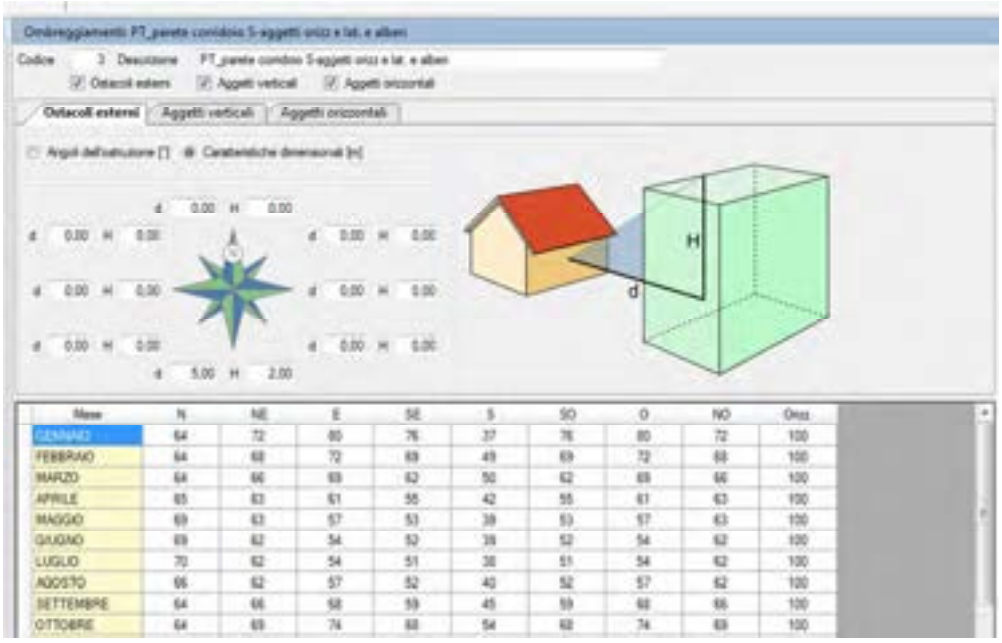


Figura 23. Screenshot Ediclima, calcolo degli ombreggiamenti da ostacoli esterni (p.e. alberature).

.

Complessivamente sono stati definiti 49 ombreggiamenti diversi. Si riportano di seguito alcune semplificazioni ed alcuni criteri che sono stati adottati per la definizione degli ombreggiamenti:

- sono stati trascurati gli ombreggiamenti sulle pareti e gli infissi rivolti a nord dovuti ad alberi e aggetti particolari;
- gli aggetti verticali, in linea generale, sono stati attribuiti alla parete interessata ed ai relativi infissi, senza entrare troppo nel dettaglio, per gli infissi, circa la loro distanza dall'aggetto, ma utilizzando una distanza media, ove possibile;
- gli aggetti orizzontali sono stati in linea generale attribuiti sia alla parete interessata, sia ai relativi infissi;
- Gli alberi sono stati considerati come "ostacoli" rispetto al prospetto che andavano ad ombreggiare e inseriti non in modo puntuale, ma assegnati a porzioni di parete dei prospetti ombreggiati (e relativi infissi), in questo modo:
    - Alberi sul prospetto Sud, corridoio principale: sono stati considerati alti 4 metri, ad una distanza di 5 m, ed applicati alle pareti del piano Terra e non agli altri piani;
    - Alberi sul fronte Sud, parete portineria: sono stati considerati alti 6 m, ad una distanza di 6 m, ed applicati alle pareti del piano Terra e non agli altri piani;
    - Alberi sul fronte Sud-Est in corrispondenza della parete materna: sono stati valutati alti 22 metri, ad una distanza inferiore a 3 m e sono stati considerati solo sui piani 1 e 2;
    - Alberi sul fronte Est corridoio aula magna: gli alberi sono diversi in altezza e distanza dalla parete per cui sono stati considerati in misura media di altezza 10 m e a distanza 5 m dal prospetto; è stato fatto un unico ombreggiamento sulla parete del corridoio dei laboratori chimica e informatica, lato Est, che tenesse conto degli alberi; questo ombreggiamento compensa sulla parte della parete meno interessata dagli alberi la minore incidenza considerata dell'ombreggiamento della parete adiacente (ombreggiamento verticale); questi alberi sono stati considerati anche sulla parete del piano 1(corridoio dell'Aula magna);

- Alberi alti di fronte al corridoio delle aule, fronte Ovest: si sono considerati alti 20 m e a distanza 10 m e si è considerato che essi facessero ombra in modo omogeneo sulle prime 5 campate e mezzo del corridoio, sia al piano Terra che ai piani 1 e 2, trascurando l'ombreggiamento dell'ostacolo costituito dalla parte di edificio che contiene l'aula magna;
- Sul corridoio delle aule, fronte ovest, dopo l'ombreggiamento dovuto agli alberi (sulle campate successive alle prime 5 e mezzo, si è scelto di trascurare l'ombreggiamento dovuto all' aggetto verticale presente sul lato nord per il piano Terra.

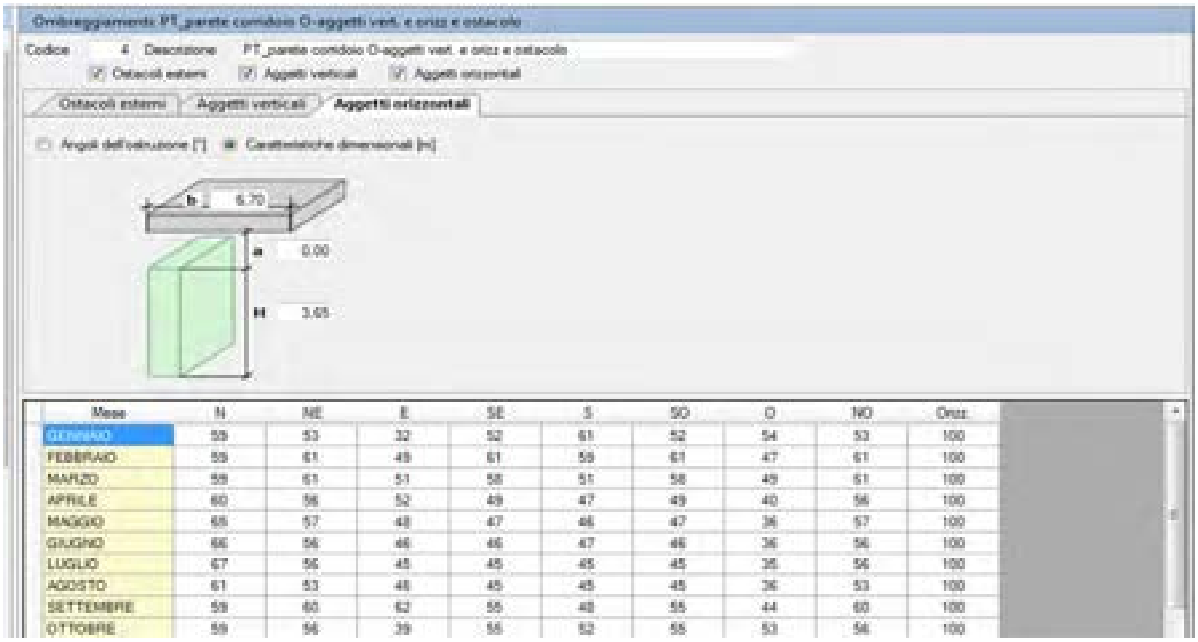


Figura 24. Screenshot Edilclima calcolo ombreggiamenti da aggetti verticali.

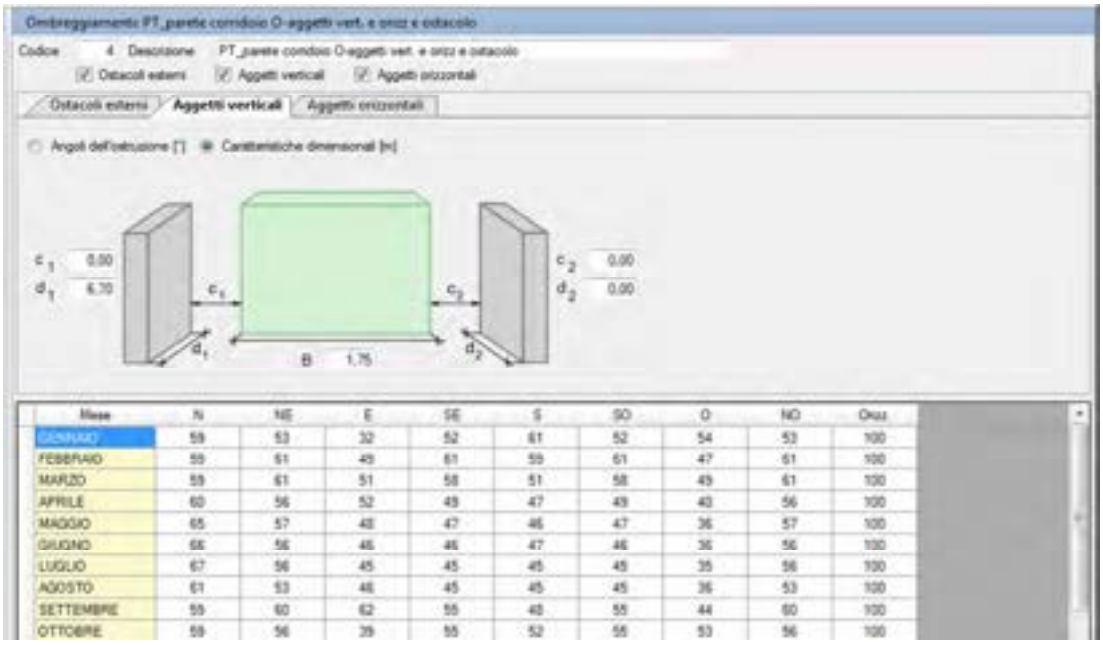


Figura 25. Screenshot Edilclima, calcolo ombreggiature da aggetti verticali.

Modellazione dell'involucro edilizio

Dopo avere completato la modellazione dei singoli componenti opachi e trasparenti, con il software Edilclima è stato ricostruito l'involucro dell'edificio, utilizzando l'input grafico del software medesimo. Partendo dalle piante di ciascun piano, è stato caratterizzato il volume di ciascun piano assegnando i solai inferiore ed superiore, le pareti delimitanti il volume verso l'esterno e verso i locali non riscaldati o riscaldati, ma utilizzati da "Vicini". Nel caso esaminato in effetti una porzione del piano terra risulta occupata da una scuola materna, che fa parte dello stesso plesso scolastico, per cui le superfici verticali e orizzontali rivolte verso questa struttura si sono considerate rivolte verso "locali riscaldati".

Sull'involucro opaco di ciascun piano sono stati quindi inseriti i componenti finestrati, i ponti termici e gli ombreggiamenti calcolati.

Il volume di ogni piano è stato suddiviso nei locali che realmente sono presenti al piano, utilizzando dei divisori interni, opportunamente introdotti e definiti nella sezione dei componenti opachi verticali (vedere Appendice A), questo sia per avere un maggior grado di dettaglio nel calcolo energetico ma soprattutto, per poter introdurre locale per locale, le specifiche caratteristiche di temperatura interna, ventilazione naturale (legate alla destinazione d'uso del locale, secondo UNI 10339:1995) e di illuminazione, inserendo la potenza elettrica installata e le caratteristiche di utilizzo e controllo dell'impianto di illuminazione rilevati (v. paragrafo specifico sull'illuminazione).

Tutti i dati dell'input grafico sono stati successivamente controllati, ed in alcuni casi modificati o integrati (per poter sopperire ad alcuni deficit del software nella modellazione tridimensionale dell'involucro da input grafico) , in modo che il modello costruito fosse affidabile e realistico.

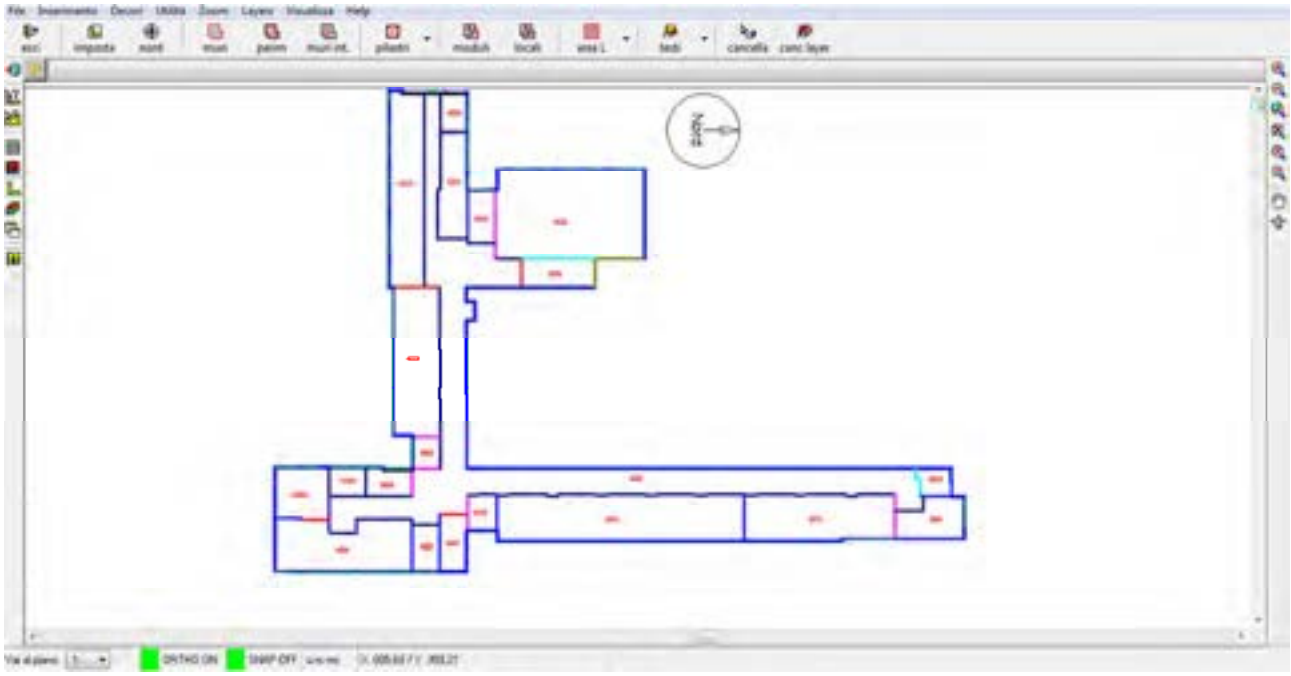


Figura 26. Screenshot Edilclima, input grafico dell'edificio in esame e definizione dei locali

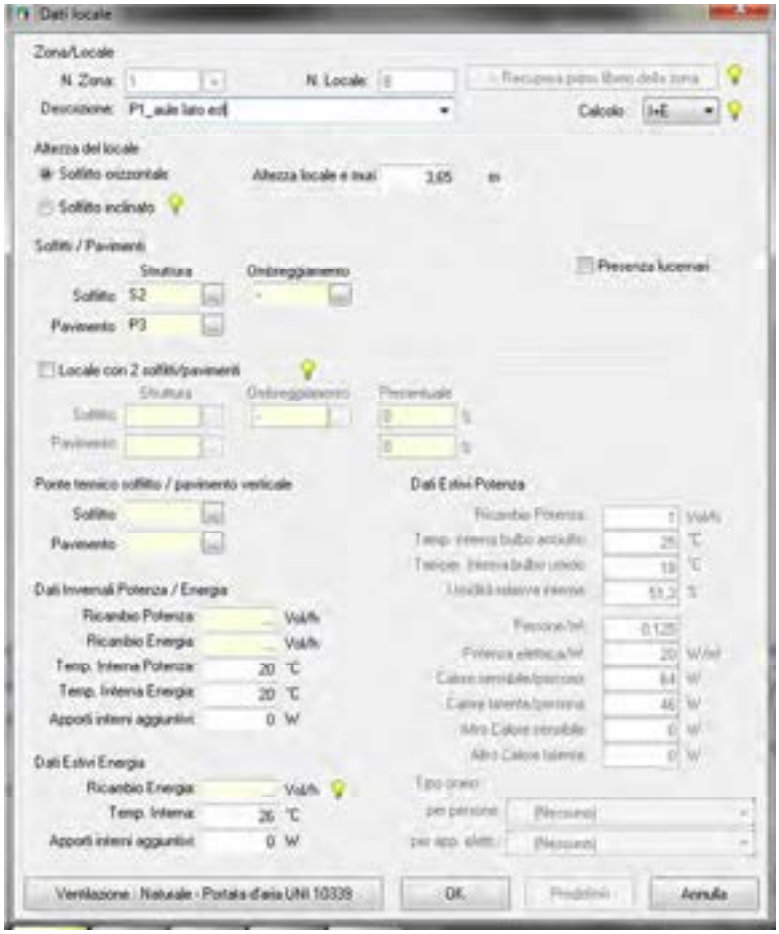


Figura 27. Screenshot Edilclima, attribuzione delle caratteristiche dei singoli locali.

Modellazione degli impianti esistenti (riscaldamento, ACS, illuminazione)

Completata la modellazione dell'involucro, sono stati modellati gli impianti esistenti, utilizzando i dati rilevati con i sopralluoghi effettuati; in particolare sono stati inseriti i servizi energetici di riscaldamento invernale, di produzione di ACS e di illuminazione.

Il servizio di trasporto di cose e persone, pur essendo presente (ascensore), come già anticipato, non è stato preso in esame, poiché il lavoro di modellazione è stato eseguito in data antecedente all'entrata in vigore della Norma UNI/TS 11300-6:2016, che definisce e fornisce le specifiche per questo servizio energetico, in vigore il 29 giugno 2016.

I servizi energetici inseriti sono stati pertanto i seguenti:

- illuminazione;
- riscaldamento;
- produzione di acqua calda sanitaria.

Di seguito di descrivono i dati di input inseriti per ciascun impianto.

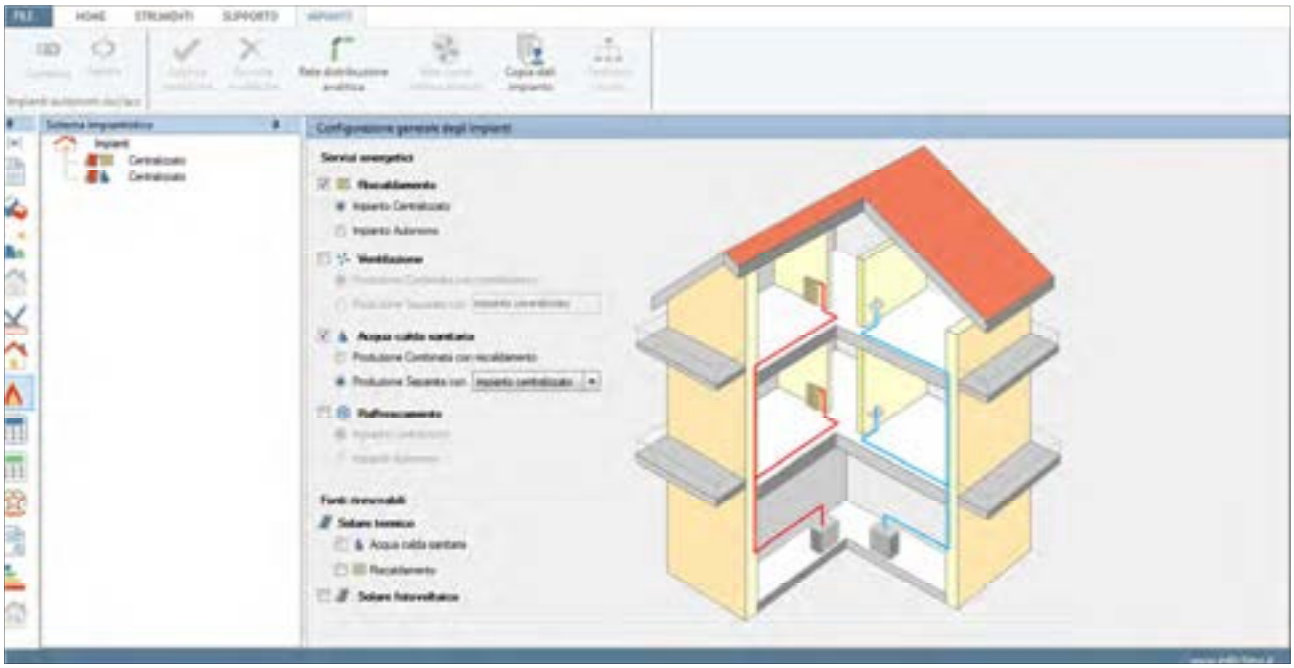


Figura 28. Screenshot Edilclima, inserimento dei servizi energetici presenti nell'edificio in esame.

Modellazione dell'impianto di illuminazione artificiale

Le caratteristiche rilevate dell'impianto di illuminazione sono state inserite locale per locale, compilando la specifica schermata prevista dal software Edilclima (Figura 30); fermo restando il dover fare riferimento alle condizioni standard, si sono introdotti alcuni input propri di ciascun locale, quali la potenza installata degli apparecchi luminosi, le informazioni relative alla presenza o meno di sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale ed il tipo di controllo, il fattore di manutenzione, il fattore di assenza medio. Anche il livello di illuminamento è stato scelto in base alla destinazione d'uso reale del locale. Si osserva comunque che il fattore di manutenzione è stato assunto pari a 0,80 in tutti i locali, mentre i coefficienti relativi al tipo di controllo dell'illuminazione sono stati assunti pari a 1, corrispondente all'assenza di controllo (accensione e spegnimento manuali), perché in effetti rappresentano la reale condizione del sistema di illuminazione in cui non sono presenti particolari sistemi per la regolazione automatica delle accensione, nè sistemi di regolazione del flusso luminoso (dimmerazione).

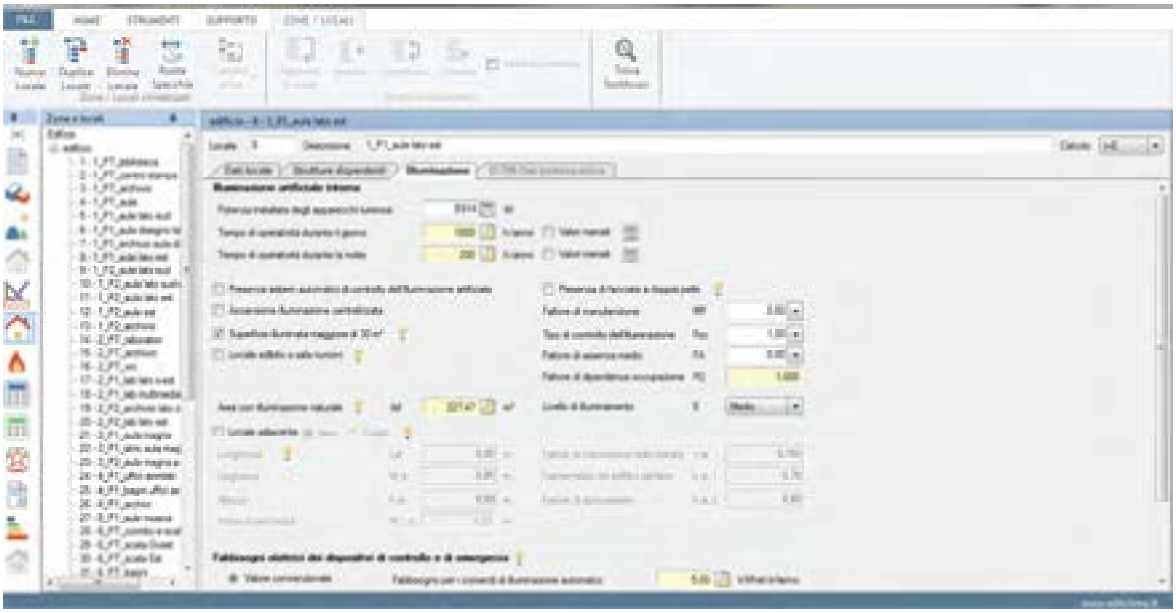


Figura 29. Screenshot Edilclima, inserimento dei dati relativi ai sistemi di illuminazione.

Per il tempo di operatività diurna e notturna invece si sono utilizzati i dati previsti dalla norma di riferimento, UNI/TS 11300-2 (prospetto D.1), così come per i fabbisogni elettrici dei dispositivi di controllo ed emergenza, si sono utilizzati valori convenzionali, tabellati nella Norma UNI/TS 11300-2.
Nelle due Tabelle successive sono riportati sinteticamente per ciascun tipo di ambiente in ogni piano, il numero di lampade installate, i tipi di lampada e le relative potenze. Si osservi che le potenze indicate nelle tabelle successive sono relative alle sole lampade e che nel calcolo dei consumi energetici dei sistemi di illuminazione si deve tenere conto dell'assorbimento degli ausiliari elettrici di alimentazione presenti negli apparecchi di illuminazione.

Tabella 20. Dati relativi alla potenza elettrica installata (sole lampade) per l'illuminazione artificiale degli ambienti interni.

Piano	Ambiente	Lampada	Potenza lampada (W)	N. Lampade	Potenza totale (W)
T	Aule	FL*	58	36	2088
T	Corridoi	FL*	58	36	2088
T	Corridoi	FC**	36	4	144
T	Laboratori	FL*	58	32	1856
1	Aule	FL*	58	75	4350
1	Corridoi	FL*	58	47	2726
1	Corridoi	FC**	36	6	216
1	Laboratori	FL*	58	36	2088
1	Uffici	FL*	58	20	1160
1	Aula Magna	FL*	58	22	1276
2	Aule	FL*	58	96	5568
2	Corridoi	FL*	58	50	2900
2	Corridoi	FC**	36	3	108
2	Laboratori	FL*	58	20	1160
				TOTALE	**27728**

* FL = Lampada Fluorescente lineare; ** FC = Lampada fluorescente compatta.

Tabella 21. Dati relativi alla potenza elettrica installata (sole lampade) per l'illuminazione esterna.

Ambiente	Lampada	Potenza lampada (W)	No. Lampade	Potenza totale (W)
Esterno	IM*	250	17	4250

*IM= Lampada a Ioduri metallici.

Si evidenzia che i dati inseriti per l'illuminazione si riferiscono esclusivamente all'illuminazione interna; l'illuminazione artificiale esterna non è stata presa in esame.

Modellazione dell'impianto di riscaldamento invernale

Partendo dai dati rilevati nei sopralluoghi, è stata compilata la sezione relativa all'impianto di riscaldamento, considerandolo (come in effetti risulta) un impianto centralizzato.

Si ricorda che, coerentemente con l'impostazione prevista dalle condizioni standard della Norma UNI/TS 11300-1, per l'impianto di riscaldamento è previsto un funzionamento in regime continuo, attivo quindi 24 ore su 24, senza attenuazione e/o interruzioni.

I dati raccolti nei sopralluoghi in centrale termica e all'interno dell'edificio hanno permesso di definire nel dettaglio i rendimenti di emissione, distribuzione, regolazione e generazione.

In particolare, per l'emissione, si sono considerati i terminali (radiatori in ghisa) tutti posti in corrispondenza di pareti interne, con una temperatura di mandata di 65° ed un salto termico di 10°C.

Per il rendimento di regolazione, si è tenuto conto della presenza della centralina climatica in centrale termica, funzionante.

Per il rendimento di distribuzione, essendo previsto obbligatoriamente il ricorso al metodo analitico per edificio ad uso non residenziale, è stata ricostruita una distribuzione primaria composta di n. 3 linee di distribuzione secondarie, una interrata e due correnti in aria, definendo per ciascuna il diametro medio della tubazione, la tipologia (interrata, in aria, ec..), l'ubicazione (terreno, locale non riscaldato, ecc.) e lo spessore dell'isolante.

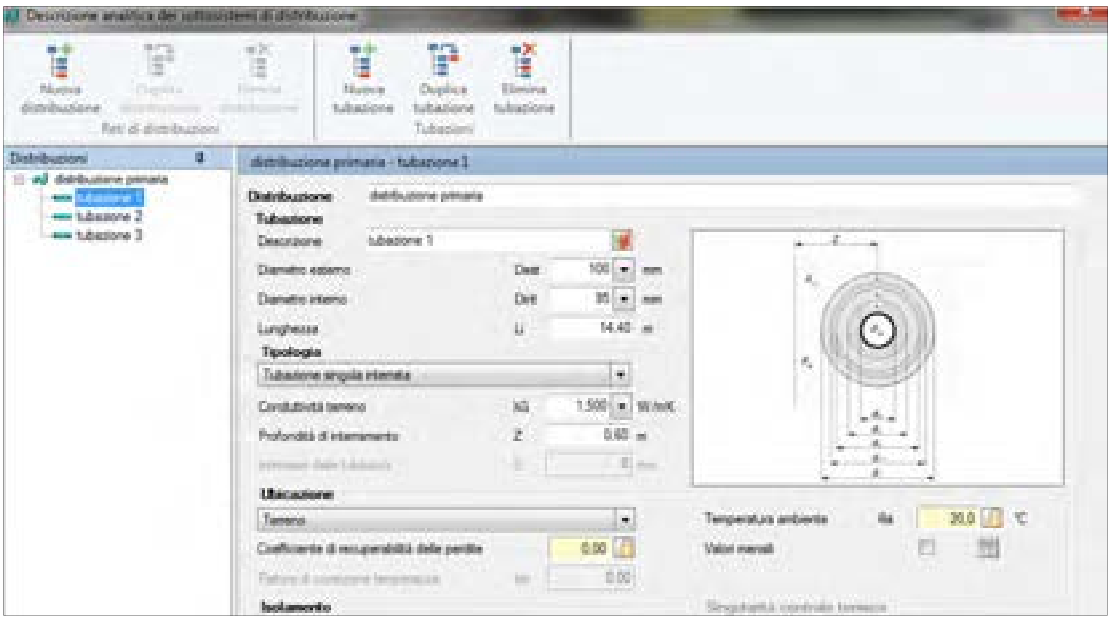


Figura 30. Screenshot Edilclima, inserimento dati relativi alle reti di distribuzione impiantistica.

Per il rendimento di generazione, invece si sono considerate funzionanti contemporaneamente le due caldaie presenti, inserendole appunto entrambe nella sezione dedicata ai generatori di calore. Sebbene infatti nella realtà una delle due caldaie sia attiva solo per un breve intervallo di tempo, l'utilizzo delle

condizioni standard per il calcolo energetico, impone un funzionamento continuato di tutti i generatori presenti. Poiché nell'edificio sono presenti due caldaie di tipo tradizionale, si è utilizzato il metodo di calcolo analitico previsto dalla Norma UNI/TS 11300-2, introducendo i dati di potenza termica al focolare delle caldaie, le perdite al mantello ed al camino, il luogo di installazione, il vettore energetico impiegato (gas metano), il tipo di bruciatore, la potenza elettrica degli ausiliari (bruciatore e pompe).
Tra i dati di input inseriti, si è anche riportato il fatto che una delle due caldaie è un generatore modulante, inserendo i dati richiesti dal software. Inoltre si è considerato che la temperatura in uscita dalle caldaie sia fissa, a 65°C (l'acqua è successivamente miscelata dalla valvola miscelatrice comandata dalla centralina climatica) e collegata direttamente all'impianto di riscaldamento, senza pompe anticondensa, né separatori idraulici.
Per i dati dei due generatori di calore, nel dettaglio, vedasi l'Appendice A.
Complessivamente i valori dei rendimenti stagionali per il riscaldamento invernale ricavati con i dati di input inseriti, sono risultati i seguenti (vedere tabella seguente):

Tabella 22. Rendimenti stagionali dell'impianto del servizio di riscaldamento esistente.

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	***92,0***	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	***86,5***	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	***96,7***	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	***99,7***	%
Rendimento di generazione	$\eta_{H,gn}$	***86,6***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	***65,4***	%

Per valutazioni di dettaglio si rimanda all'Appendice A.

Modellazione dell'impianto di produzione di acqua calda sanitaria

In merito invece all'impianto di produzione di acqua calda sanitaria, si ricorda quanto già descritto al par. 3.1.2, dunque il fatto che la produzione di acqua calda viene effettuata in corrispondenza di ciascun gruppo di servizi igienici, con il ricorso a singoli boiler elettrici con piccolo accumulo dedicato.
Per quanto attiene il calcolo del fabbisogno di energia per il servizio di acqua calda sanitaria, si è preso a riferimento il numero di tutti gli utenti presenti nella scuola, pari a 856 persone (tra studenti, docenti e personale amministrativo e/o di supporto), e si è adottato un fattore di occupazione pari al 100%, per tutto l'anno, fatta eccezione per i mesi di luglio ed agosto (fattore di occupazione uguale a 0%) e di giugno e settembre (50%), per tenere conto della chiusura estiva del complesso scolastico.
Si è quindi calcolato il fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria (litri/giorno), utilizzando il dato di fabbisogno giornaliero per posto (persona) previsto nel caso di edifici in categoria E.7 (pari a 0,2 litri/giorno per posto, ai sensi della norma UNI/TS 11300-2, prospetto 31), con una temperatura di erogazione di 40°C, come previsto dalla norma UNI/TS 11300-2 per le valutazioni standard (asset rating).

Tabella 23. Fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria (litri/giorno)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
171	171	171	171	171	86	0	0	86	171	171	171

Per la temperatura dell'acqua fredda sanitaria in ingresso al bollitore (proveniente dall'acquedotto) è stata utilizzata quella fornita dal software Edilclima, che risulta già conforme a quanto previsto dalla specifica

tecnica UNI/TS 11300-2 per valutazioni standard, vale a dire pari alla media annuale delle temperature medie mensili dell'aria esterna della località in cui è ubicato l'impianto di ACS.

Tabella 24. Temperatura di alimentazione ei boiler elettrici.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1

Per la modellazione di questi generatori di ACS, si è adottata l'ipotesi di avere un impianto indipendente dall'impianto di riscaldamento (per la generazione di calore) e centralizzato, considerando la presenza di un unico boiler elettrico di potenza pari alla somma delle potenze di tutti i boiler rilevati. Poiché siamo in condizioni standard, il funzionamento è previsto sia continuato, 24h su 24.
Si ritiene che questa semplificazione non abbia di fatto modificato i risultati finali, se non in modo trascurabile: il metodo di calcolo in effetti è lo stesso, cioè quello semplificato, sia nel caso in cui si consideri un unico generatore o più generatori singolarmente; inoltre la distribuzione all'utenza (di dimensioni ridottissime, visto che i boilers sono nei servizi igienici) è sempre la stessa per ogni apparecchio, per cui è stata considerata un'unica distribuzione, installata dopo l'entrata in vigore della Legge n. 373/76 (coibentazione delle linee) e corrente totalmente in ambiente climatizzato.
Complessivamente i valori dei rendimenti stagionali per la produzione di ACS ricavati con i dati di input inseriti, sono risultati i seguenti (vedere tabella sotto):

Tabella 25. Rendimenti stagionali dell'impianto del servizio di produzione ACS.

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	**100,0**	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	**92,6**	%
Rendimento di generazione	$\eta_{W,gn}$	**38,5**	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	**35,6**	%

3.2.2 Diagnosi energetica (software SEAS)

Il software utilizzato per la simulazione dell'edificio ai fini della diagnosi energetica dell'edificio è SEAS 3.0 (software realizzato nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC), in seno all'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2013). Tale software consiste in un modello semi-stazionario mensile e permette di effettuare diagnosi con approccio multi zona.
Di seguito al primo foglio di anagrafica, con relativa destinazione d'uso, l'edificio è stato caratterizzato nel suo contesto climatico attraverso la compilazione del foglio di input relativo ai dati meteo. Sono stati adottati i valori di velocità del vento e di irraggiamento dati dalla normativa (UNI 10349:1998), non disponendo di dati più precisi. È stato caratterizzato l'edificio come isolato e quindi esposto su più fronti.

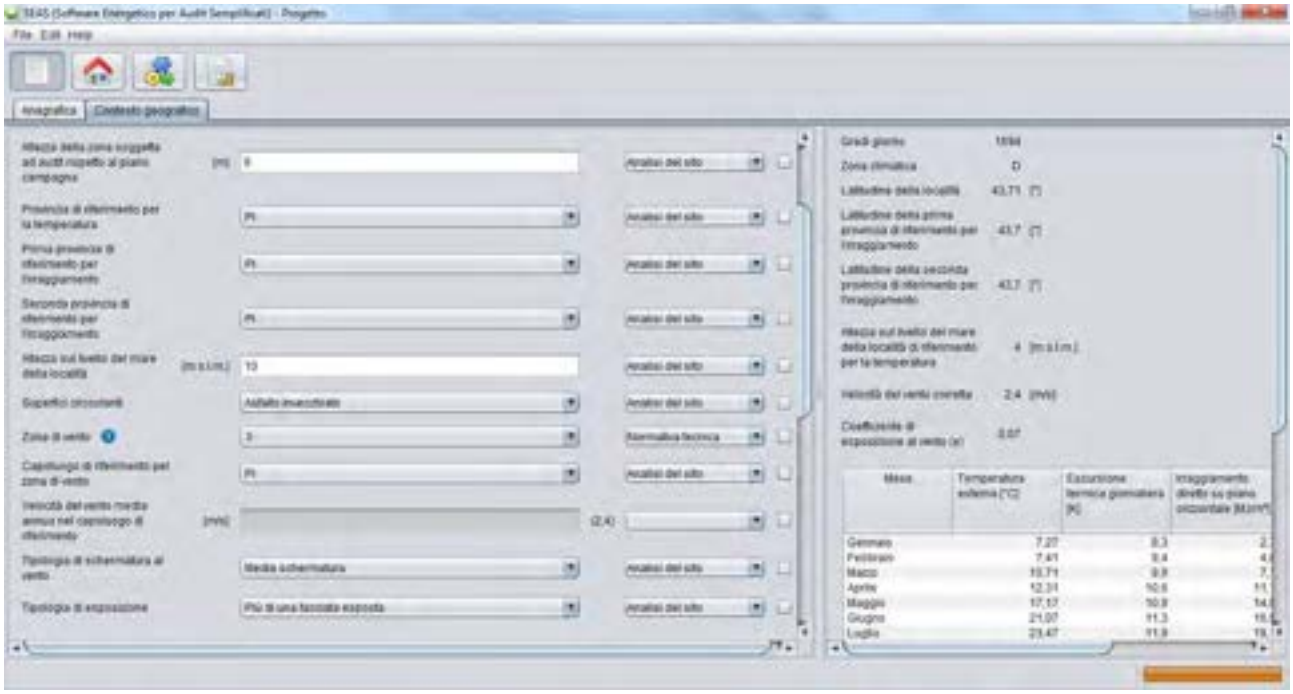


Figura 31. Screenshot SEAS, definizione del contesto geografico.

Per quanto riguarda i dati di temperatura dell'aria esterna, sono stati utilizzati i valori dell'anno tipo forniti dal CTI. Il software riporta nella colonna accanto anche quelli da normativa per cui si possono confrontare, notando una sostanziale coerenza con questi ultimi mediamente leggermente maggiori, eccezion fatta per il mese di gennaio. I risultati intermedi di tale foglio ci mostrano i dati meteo medi mensili e anche biorari all'interno del giorno medio mensile per la sola temperatura.

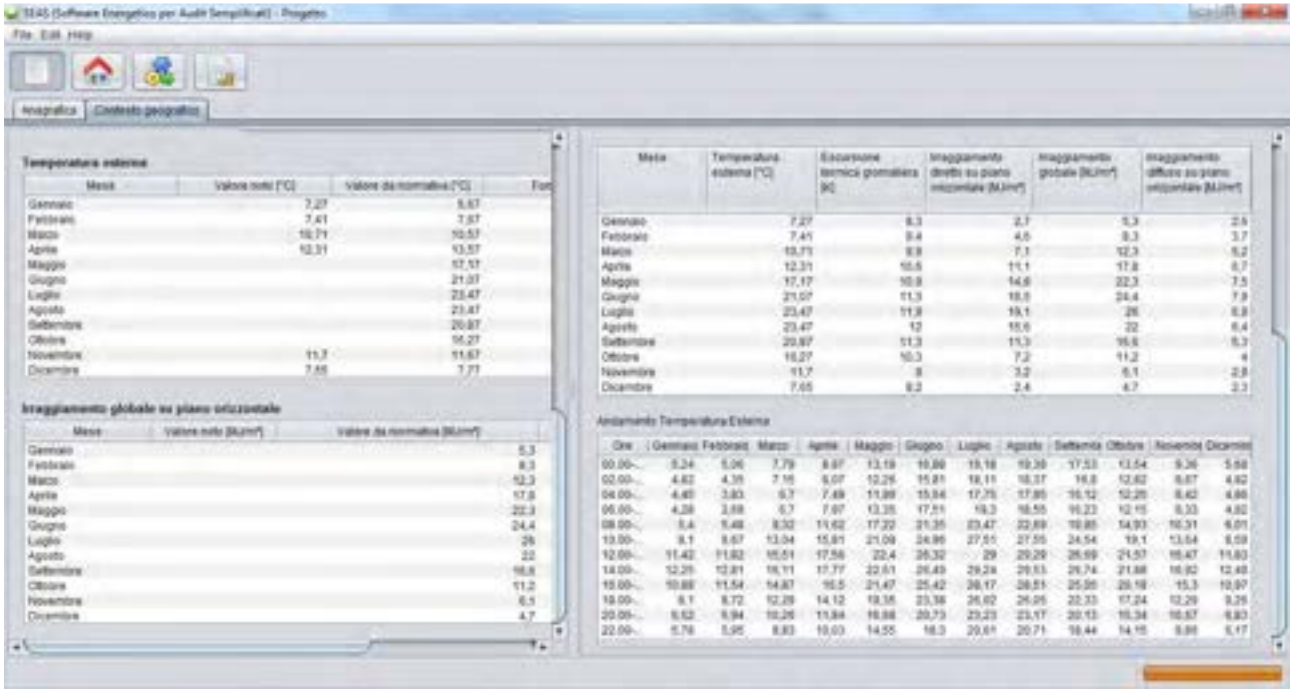


Figura 32. Screenshot SEAS, definizione delle temperature mensili.

Quindi si è proceduto alla caratterizzazione dell'edificio relativamente al suo involucro edilizio. Si ricorda che la porzione di edificio simulata termina ed ha il suo confine con la palestra a Nord. Nel nostro caso studio, l'edificio è stato suddiviso in sei zone termicamente e funzionalmente differenti (si veda il paragrafo 3.1.3). Si precisa che il lavoro di simulazione e inserimento grafico del caso studio nel software commerciale (di cui al paragrafo 3.2.1) è stato propedeutico e fondamentale per l'inserimento di ogni dato necessario in questa fase (l'esportazione dei dati dal software commerciale ci ha permesso di ottenere facilmente dati quali ad esempio l'area dei componenti, o la trasmittanza lineica, dati di input che sarebbe stato altrimenti molto lungo calcolare a mano uno per uno). Per ogni zona sono stati quindi definiti sia i dati geometrici dell'involucro sia i profili di gestione e presenza dell'utenza, in modo tale da poter calcolare il bilancio energetico della zona in assenza di impianto. I dati relativi all'involucro hanno previsto la definizione e la classificazione di ogni elemento disperdente (componenti opachi, trasparenti e ponti termici) in termini geometrici, termici e di condizioni al contorno. Come si vede, per ogni elemento disperdente opaco (un muro perimetrale o il solaio di copertura o il solaio di pavimento ad esempio), sono stati inseriti l'area del componente, la sua trasmittanza, la tipologia di spazio confinante, il valore di assorbimento della superficie, e tutti gli altri richiesti. Per quanto riguarda le stratigrafie e gli ambienti confinanti, si faccia riferimento a quanto specificato al paragrafo 3.2.1. I risultati intermedi riportano i valori mensili di dispersioni termiche per trasmissione e di apporti solari per ogni componente opaco.

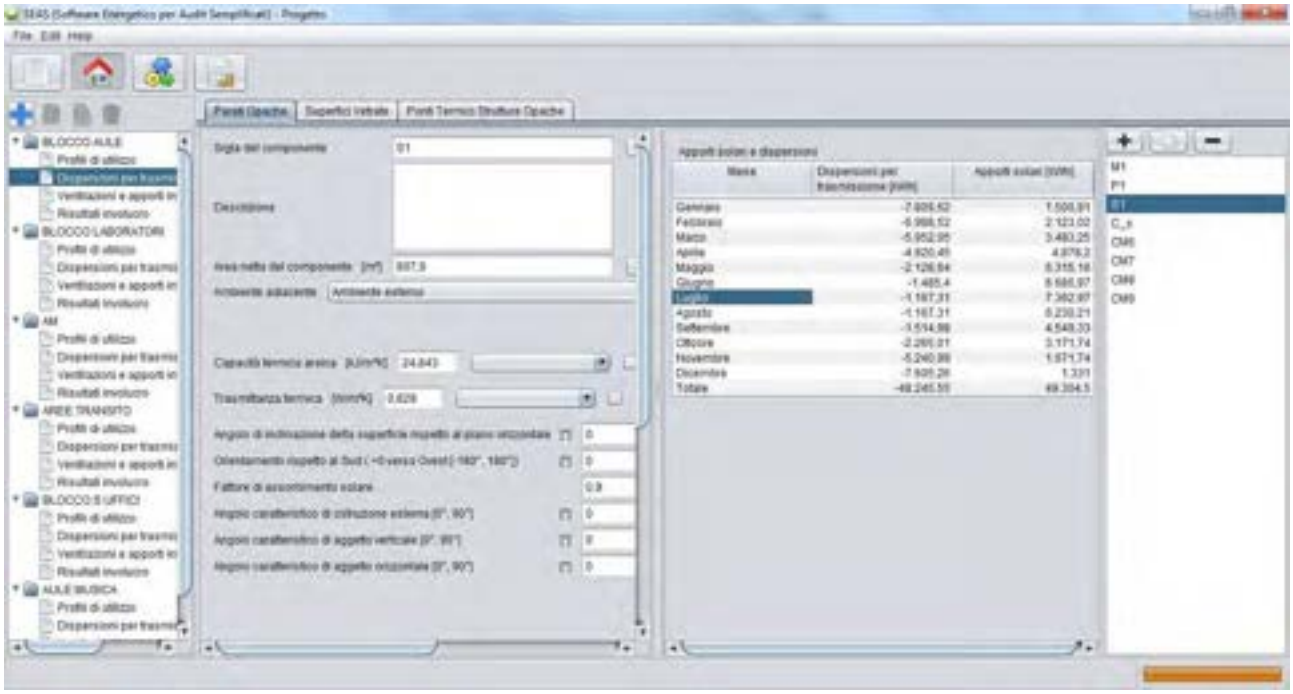


Figura 33. Screenshot SEAS, definizione delle pareti opache.

Analogamente per ogni ponte termico geometrico o materico sono stati inseriti i dati geometrici, termici e di condizioni al contorno derivanti dall'output della simulazione tramite software commerciale (Figura 34). I risultati intermedi riportano i valori mensili di dispersioni termiche associate al singolo ponte termico.

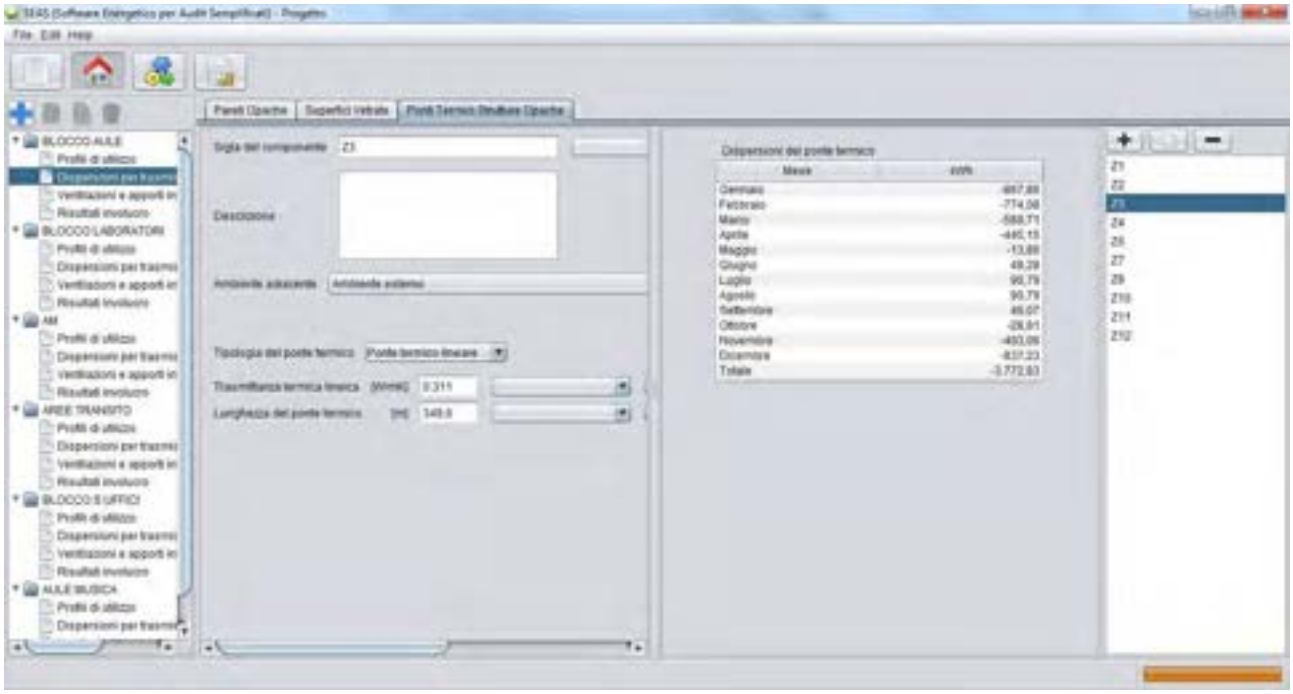


Figura 34. Screenshot SEAS, definizione dei ponti termici.

Per quanto riguarda infine i componenti trasparenti i dati di input da inserire sono in numero maggiore perché coinvolgono non solo i dati geometrici e termici, ma anche quelli legati all'infiltrazione e alla ventilazione tramite aperture delle finestre e quelli legati agli apporti solari e alla gestione delle schermature solari ad esso connesse. I risultati intermedi riportano i valori mensili dei fattori di ombreggiamento per le varie tipologie di ostruzioni, i valori di trasmittanza, e, nella tabella riassuntiva sottostante, le dispersioni per trasmissione e per ventilazione per apertura della finestra, oltre agli apporti solari.

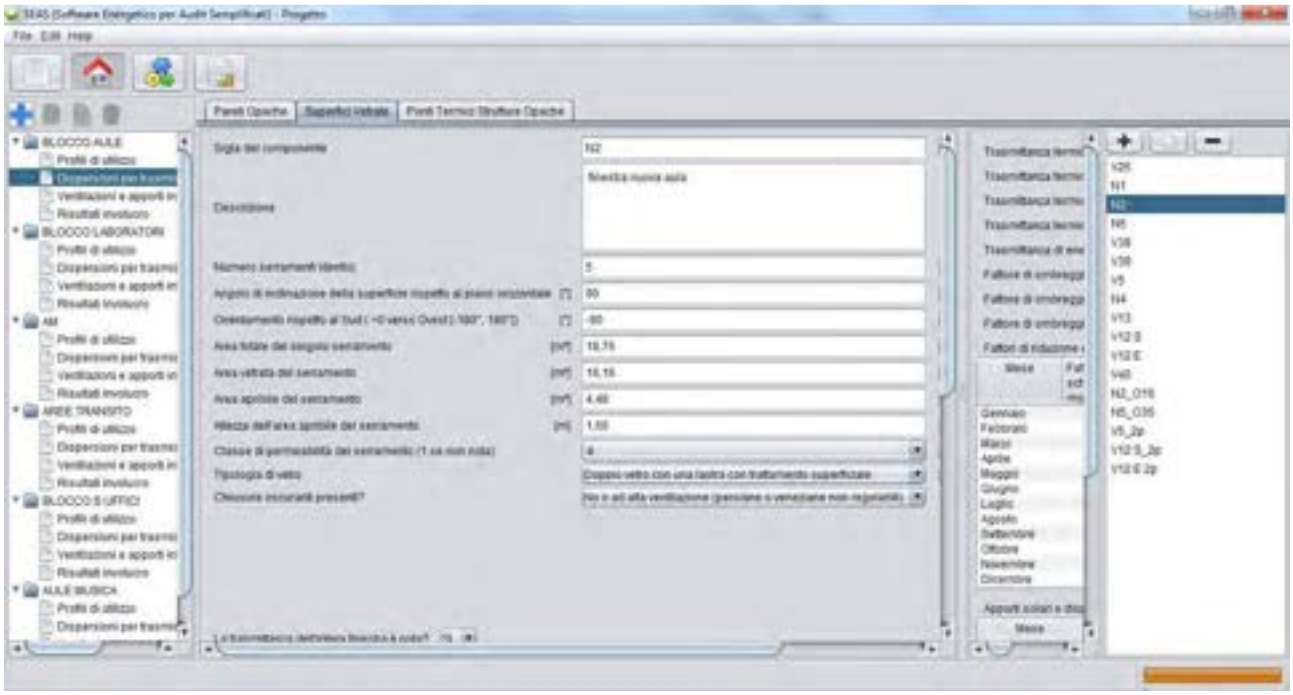


Figura 35. Screenshot SEAS, definizione delle superfici vetrate.

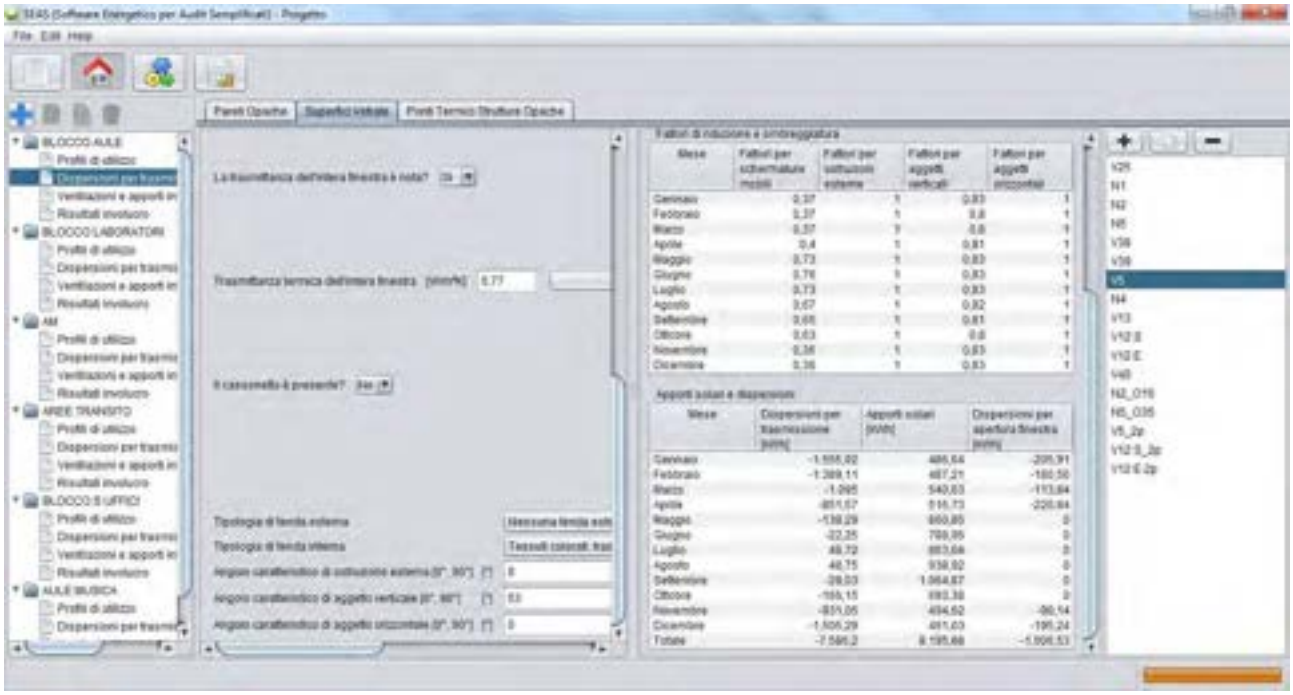


Figura 36. Screenshot SEAS, definizione dei fattori di riduzione ed ombreggiatura delle superfici vetrate.

Per ogni zona sono quindi stati inseriti poi i dati relativi alla gestione dell'impianto di riscaldamento ad esso collegato, ai profili di presenza dell'utenza, ai profili di gestione delle schermature solari, ai profili di apertura delle finestre. Seguendo la sequenza di inserimento, sono stati inseriti i profili di presenza nei giorni feriale e festivo, degli utenti della scuola, nonché i giorni aggiuntivi di totale assenza (giorni di vacanza scolare). Ogni dato di input di questi fogli segue quelli riportati nel paragrafo 3.1.3 e si riportano alcune schermate della zona termica "Blocco aule" a titolo esemplificativo.

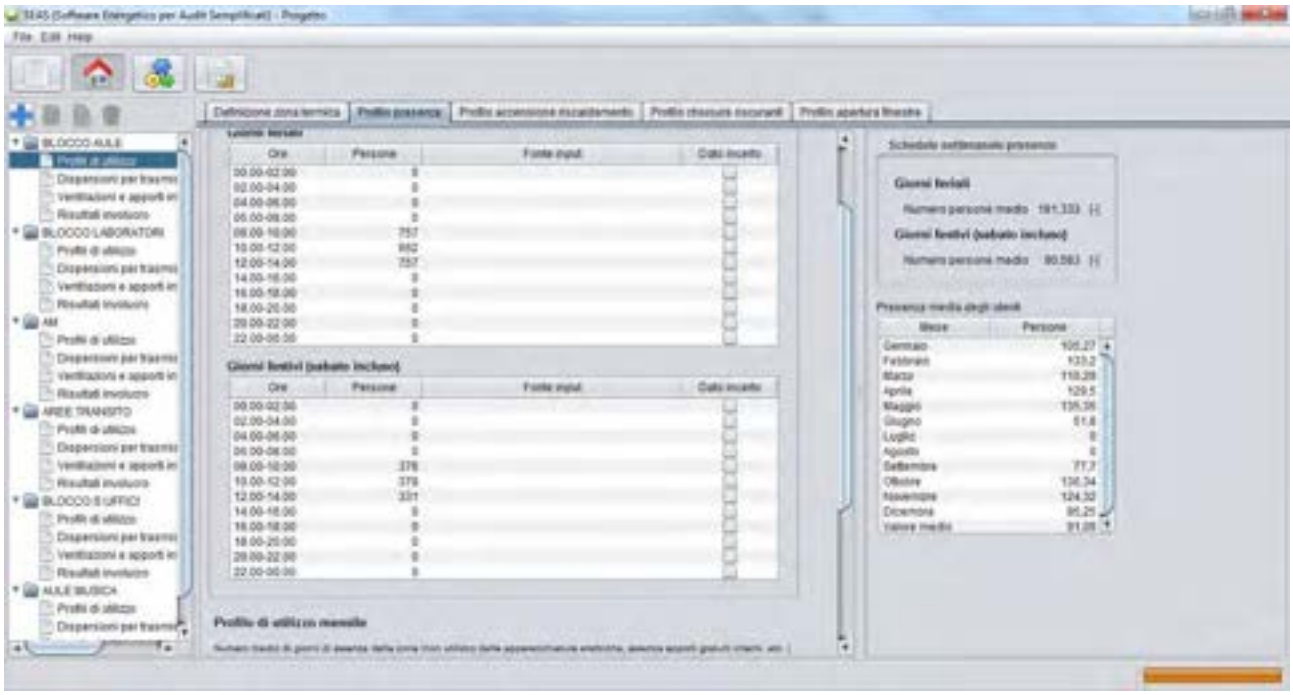


Figura 37. Screenshot SEAS, definizione del profilo di presenze all'interno delle zone termiche.

Nel foglio relativo alla gestione dell'impianto di riscaldamento vengono inseriti dei dati fondamentali che entrano poi in ogni singolo contributo del bilancio energetico: la temperatura di set point e periodi di accensione dell'impianto. Nel nostro caso si nota che le temperature di set point sono diverse per ogni zona (sono state ipotizzate differenti sulla base dei sopralluoghi ma senza una campagna di monitoraggio ad hoc), ma il profilo di riscaldamento è identico, essendo un impianto centralizzato. I dati di input di questi fogli sono quelli riportati nel paragrafo 3.1.3 e si riporta una schermata esemplificativa.

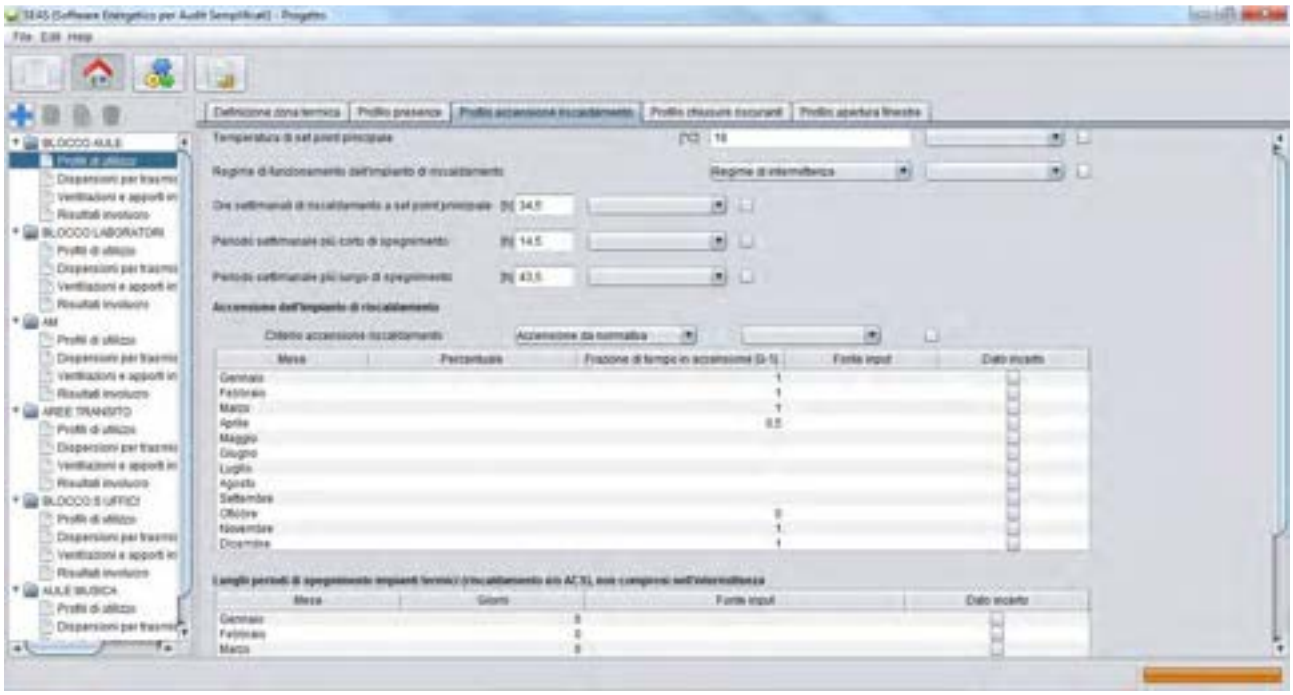


Figura 38. Screenshot SEAS, definizione del profillo di accensione del sistema di riscaldamento.

Per quanto riguarda la gestione delle chiusure oscuranti e l'apertura delle finestre per aerazione (unico modo di ventilazione e ricambio aria) sono stati inseriti i dati biorari desunti dalle interviste all'utenza e già specificati nel paragrafo 3.1.3. Come si vede nella Figura 41, la ventilazione delle zone e dei locali è affidata esclusivamente alle infiltrazioni (molto alte date dalla vetustà della maggioranza degli infissi) e all'apertura delle finestre, che da sole, comportano e garantiscono un tasso di ricambio di quasi un volume orario. Tali valori sono calcolati in base ai dati di gestione e geometrici inseriti nelle precedenti schermate di input.

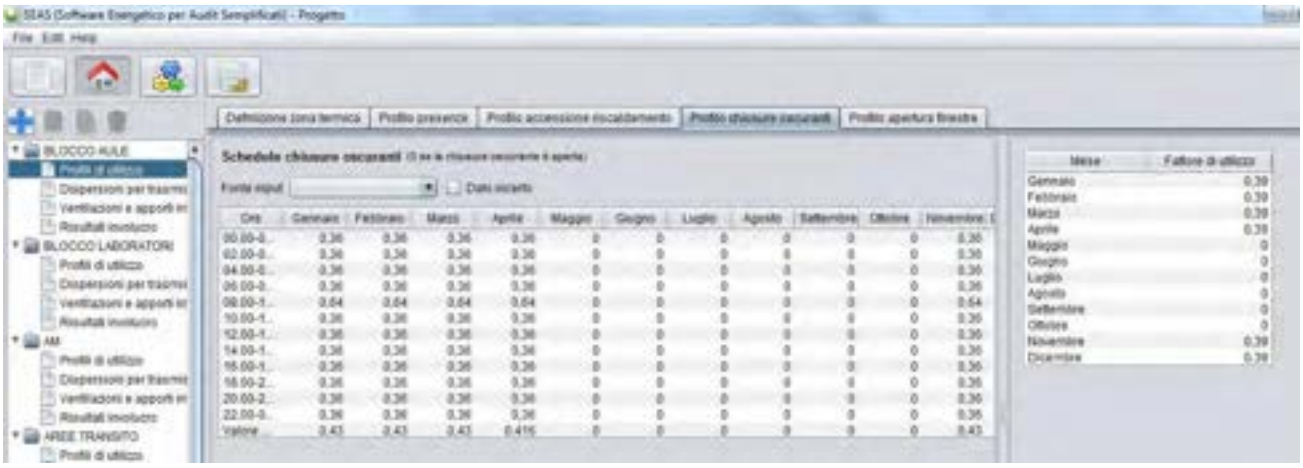


Figura 39. Screenshot SEAS, definizione profilo chiusure oscuranti.

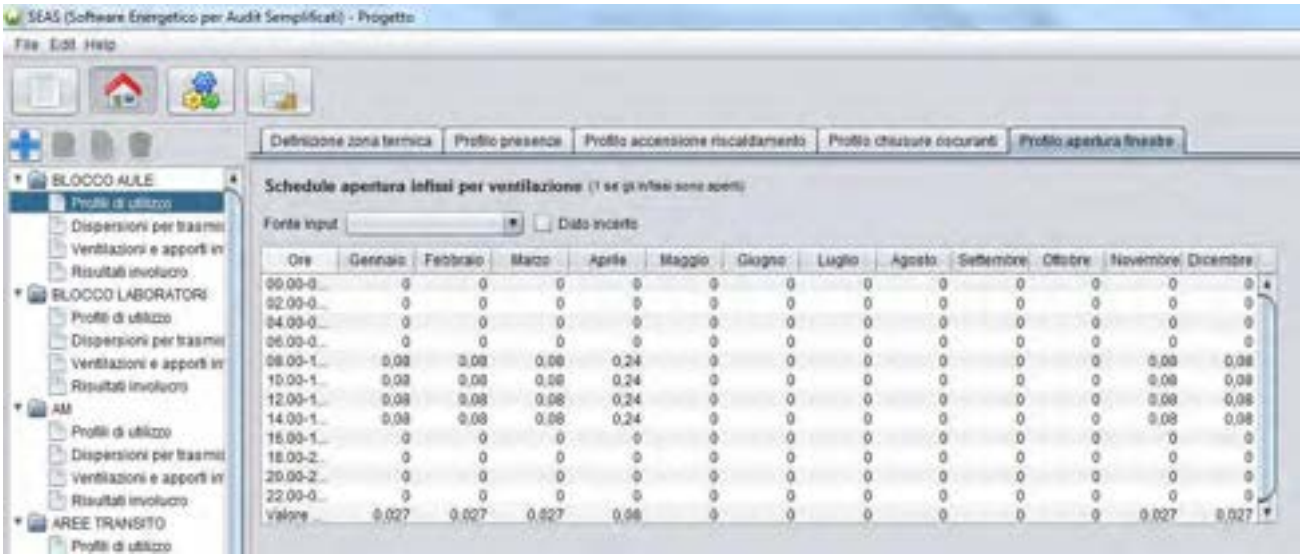


Figura 40. Screenshot SEAS, definizione profilo apertura finestre.

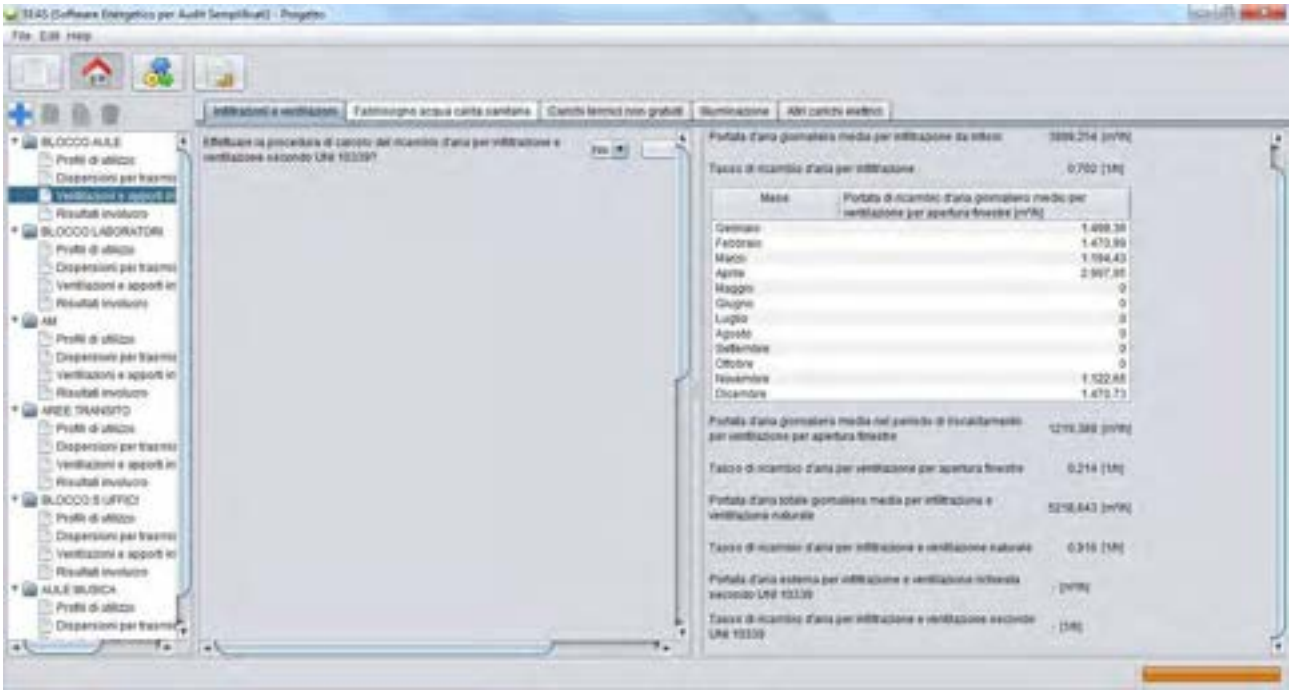


Figura 41 Screenshot SEAS, definizione infiltrazioni e ventilazioni.

Passando quindi alla simulazione dell'impianto di illuminazione, che determina una quota di apporto interno gratuito, essa prevede l'inserimento da parte dell'auditor del numero di apparecchi e della potenza degli stessi, oltre che di alcune informazioni sull'illuminazione di emergenza presente. Per l'analisi del caso studio è stato effettuato un rilievo sul campo (si veda Tabella 19). Il software SEAS, in base alla normativa UNI EN 15193 (tenendo conto della luce naturale presente e delle schermature solari e altri aggetti), determina quindi il numero di ore di funzionamento e quindi l'energia mensile, tenendo conto che non ci sono fattori diminutivi dei consumi poiché il sistema di controllo è manuale. Nel nostro caso studio abbiamo inserito un solo apparecchio per zona con potenza equivalente, sia perché gli apparecchi sono effettivamente analoghi e quindi sommabili, sia perché tale modifica ci ha permesso di tener conto dell'effettivo utilizzo degli apparecchi come riscontrato dai sopralluoghi (molto frequentemente l'illuminazione era accesa anche in presenza di luce naturale).

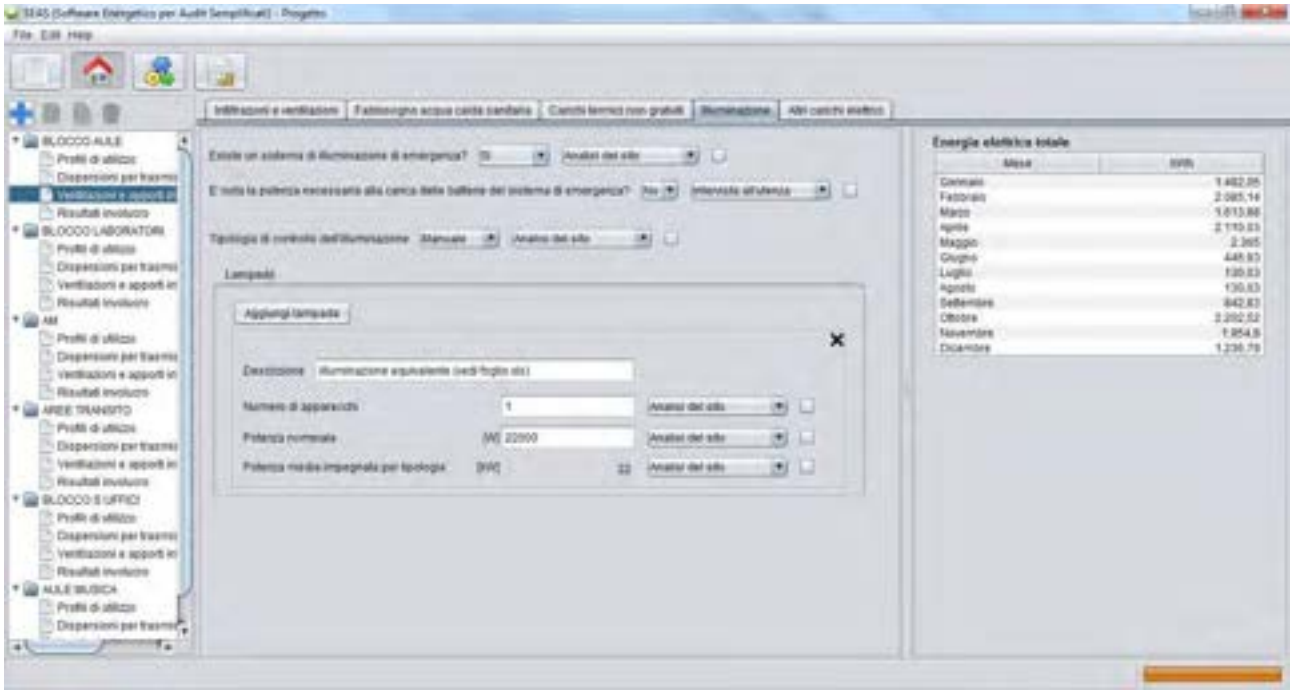


Figura 42. Screenshot SEAS, definizione dei sistemi di illuminazione.

All'involucro relativo ad una singola zona simulata nella prima parte del software è stato quindi associato l'impianto centralizzato che serve anche tutte le altre zone simulate nella diagnosi stessa. Tale associazione viene effettuata attraverso l'inserimento nel software dei dati di input relativo ai millesimi per ogni singolo servizio (millesimi di riscaldamento, millesimi elettrici, millesimi del servizio cottura, millesimi per la produzione di ACS): in particolare abbiamo scelto la prima zona ("aule") per tale inserimento dei millesimi. La logica di calcolo è stata la seguente: i millesimi di energia termica sono stati calcolati, alla fine della simulazione dell'involucro di ogni singola zona, in base al rapporto tra i fabbisogni dell'involucro di ogni singola zona; i millesimi per la produzione di ACS sono pari a 1000 perché ogni singola zona ha i propri generatori e rete di distribuzione per l'uso di acqua calda nei servizi igienici; i millesimi elettrici sono calcolati in funzione della potenza effettivamente installata sia per illuminazione che per uso dispositivi elettrici, pesata sulle ore di funzionamento (quindi di fatto sono millesimi energetici, considerati a funzionamento costante).

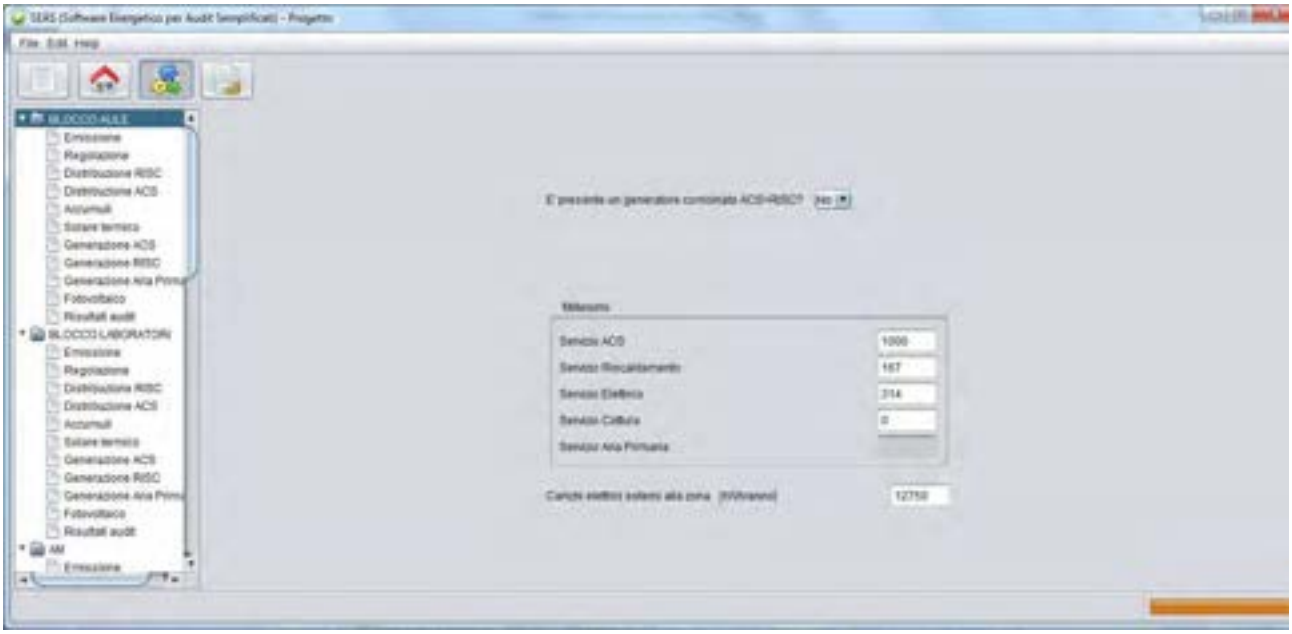


Figura 43. Screenshot SEAS, inserimento millesimi di energia termica.

La simulazione dell'impianto prevede la compilazione delle schede relative ai vari sottosistemi per una sola zona, quella prescelta (la zona "aule"). In particolare sono stati inseriti i dati relativi ai terminali di emissione per determinare il rendimento di emissione, i dati di regolazione (solo climatica), quelli di distribuzione con i vari tratti di tubazione interrata o corrente in aria, conformemente alla normativa tecnica UNI/TS 11300 parte 2. Come si vede, nella parte a destra vengono riportate le tabelle dei risultati intermedi (rendimenti di sottosistema e perdite di sottosistema). Anche per quanto riguarda i sistemi di generazione per i vari servizi, si sono inseriti i relativi dati di input, ricordando che per il servizio di ACS sono presenti singoli bollitori elettrici. Si riportano quindi le schermate dei risultati intermedi che ci mostrano l'efficienza del sistema d generazione, il fattore di carico e l'energia in ingresso e in uscita dal sottosistema di generazione per servizio di riscaldamento.

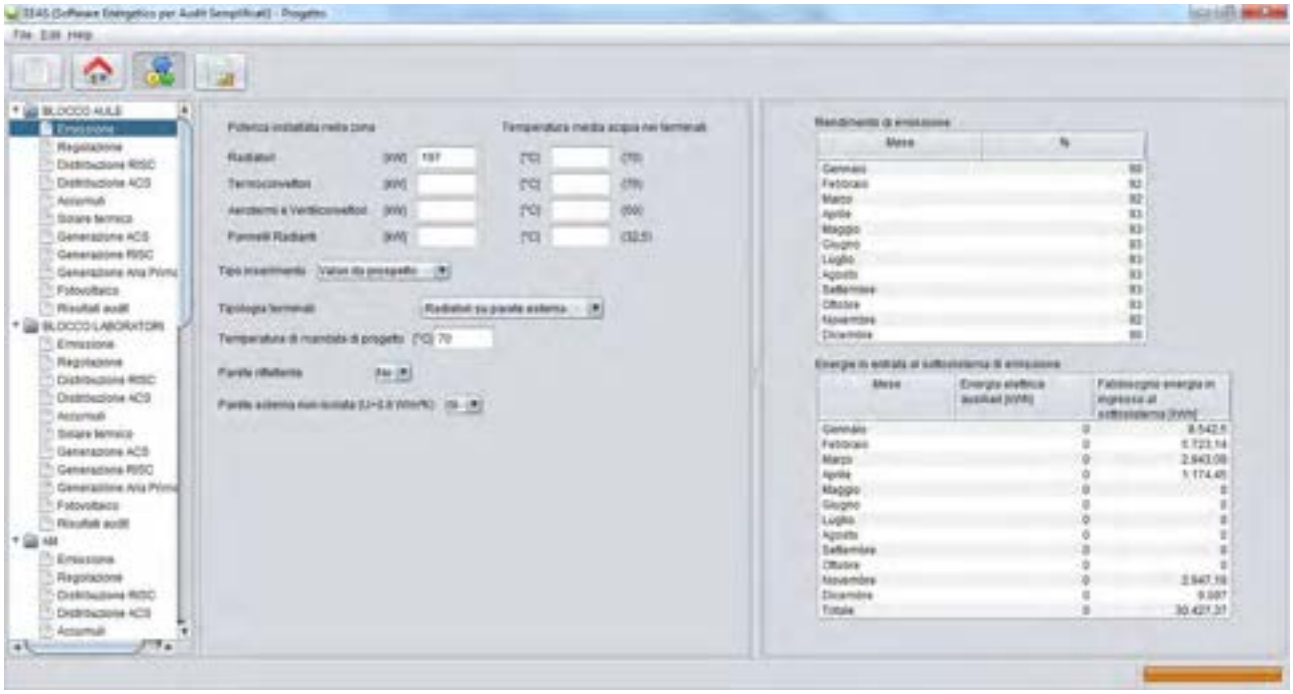


Figura 44. Screenshot SEAS, definizione sistema di emissione.

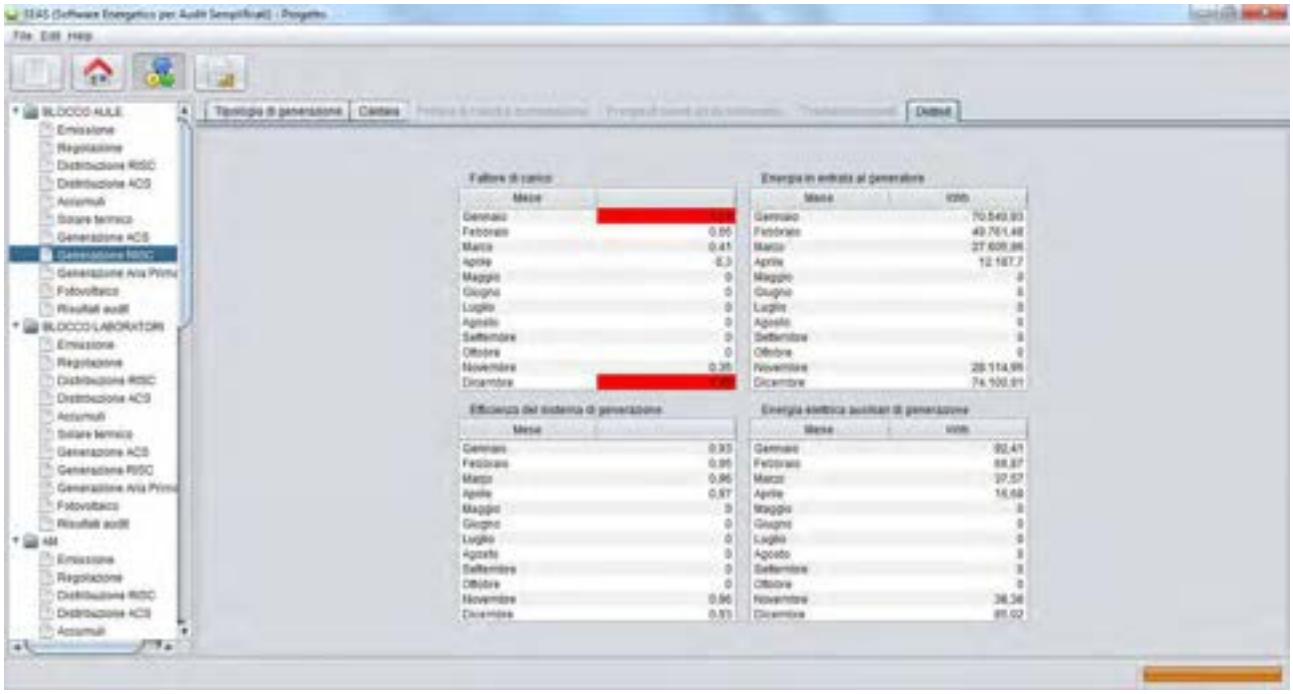


Figura 45. Screenshot SEAS, definizione efficienza del sistema di generazione riscaldamento.

3.3 Risultati delle simulazioni dello stato di fatto

3.3.1 Risultati ottenuti secondo UNI/TS 11300 (software commerciale)

Completato l'inserimento dei dati di input nel software Edilclima, si sono ricavati come output i dati di energia dispersa in regime di riscaldamento invernale ed in regime di raffrescamento estivo, così come i dati di energia primaria complessiva e di consumo annuale dei vettori energetici impiegati.
Questi dati, lo ricordiamo, sono stati calcolati in condizioni standard, dunque considerando i servizi energetici con un funzionamento continuato 24h su 24h.
Il software ha anche calcolato i dati geometrici caratterizzanti l'involucro edilizio e che sono stati riassunti nella tabella sotto.

Tabella 26. Dati geometrici complessivi dell'edificio in esame.

Categoria DPR 412/93	***E.7***	-	Superficie esterna	***7786,76***	m^2
Superficie utile	***5067,10***	m^2	Volume lordo	***6854,58***	m^3
Volume netto	***18325,43***	m^2	Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}

Dati di energia utile nel periodo invernale

Per la stagione invernale, si è fatto riferimento al periodo di riscaldamento previsto dall'art. 9, comma 2 del D.P.R. n. 412/93 e s.m.i., per la zona climatica "D", cioè al periodo compreso tra il 1 novembre ed il 15 aprile.
Nella tabella sottostante sono riportati i dati di energia dispersa per il periodo invernale.

Tabella 27. Energia dispersa per trasmissione e ventilazione.

Mese	**$Q_{H,trT}$ [kWh]**	**$Q_{H,trG}$ [kWh]**	**$Q_{H,trA}$ [kWh]**	**$Q_{H,trU}$ [kWh]**	**$Q_{H,trN}$ [kWh]**	**$Q_{H,rT}$ [kWh]**	**$Q_{H,ve}$ [kWh]**
Novembre	95035	1799	0	1457	0	8815	35811
Dicembre	144347	2732	0	2213	0	9530	54392
Gennaio	157361	2978	0	2412	0	10948	59296
Febbraio	131446	2488	0	2015	0	8601	49531
Marzo	111218	2105	0	1705	0	12037	41908
Aprile	40518	767	0	621	0	5247	15268
Totali	**679926**	**12868**	**0**	**10422**	**0**	**55178**	**256205**

con la seguente legenda:

- $Q_{HTr,T}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
- $Q_{HTr,G}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
- $Q_{HTr,A}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
- $Q_{HTr,U}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
- $Q_{HTr,N}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
- $Q_{H,rT}$ Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno
- $Q_{H,ve}$ Energia dispersa per ventilazione

I dati invece degli apporti gratuiti (apporti solari e apporti interni) sono i seguenti:

Tabella 28. Apporti gratuiti.

Mese	Qsol,k,c [kWh]	Qsol,k,w [kWh]	Qint,k [kWh]
Novembre	7758	24136	14593
Dicembre	6262	19636	15080
Gennaio	7012	22067	15080
Febbraio	9612	28872	13620
Marzo	15073	39915	15080
Aprile	10239	24656	7297
Totali	**55957**	**159281**	**80749**

con la seguente legenda:

$Q_{sol,k,c}$ Apporti solari diretti attraverso le strutture opache;

$Q_{sol,k,w}$ Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati;

$Q_{int,K}$ Apporti interni.

Si ricorda che, gli apporti solari attraverso le strutture opache, ai sensi della specifica tecnica UNI/TS 11300-1, rientrano nella quota delle dispersioni per trasmissione, a cui vengono sottratti; per cui si hanno:

- dispersioni per trasmissione: date dalla somma delle dispersioni attraverso i componenti opachi, i componenti trasparenti ed i ponti termici, rivolti verso l'esterno, verso il terreno, verso locali a temperatura fissa (nel caso studio pari a zero), verso i locali non riscaldati, delle dispersioni per extra flusso, al netto degli apporti solari attraverso le strutture opache;
- dispersioni per ventilazione;
- apporti solari attraverso i componenti trasparenti e apporti gratuiti interni.

Si riportano di seguito in una tabella i dati mensili delle dispersioni complessive per trasmissione e delle dispersioni per ventilazione, oltre al loro peso in percentuale rispetto al totale delle dispersioni, in cui si rileva che il 73,3% delle dispersioni sia dovuto alla trasmissione ed il rimanente 26,7% alla ventilazione.

Tabella 29. Dati mensili di energia dispersa per trasmissione e ventilazione.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,tr}$ [%]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [%]
Novembre	99348	73,5	35811	26,5
Dicembre	152560	73,7	54392	26,3
Gennaio	166687	73,8	59296	26,2
Febbraio	134938	73,1	49531	26,9
Marzo	111992	72,8	41908	27,2
Aprile	36914	70,8	15268	29,3
Totali	**702437**	**73,3**	**256205**	**26,7**

Si riportano invece nella tabella seguente gli apporti gratuiti, suddivisi in apporti solari sui componenti finestrati e apporti interni, in cui si rileva che il 66,4% degli apporti gratuiti è riconducibile agli apporti solari sui componenti finestrati ed il rimanente 33,6% è invece dovuto agli apporti interni.

Tabella 30. Dati mensili degli apporti gratuiti.

Mese	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [%]	$Q_{int,k}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [%]	Q_{gn} [kWh]
Novembre	24136	62,3	14596	37,7	38729
Dicembre	19636	56,6	15080	43,4	34716
Gennaio	22067	59,4	15080	40,6	37147
Febbraio	58872	67,9	13620	32,1	42292
Marzo	19915	72,6	15080	27,4	54995
Aprile	24656	77,2	7297	22,8	31952
Totali	**159281**	**66,4**	**80749**	**33,6**	**240031**

In sintesi, infine, il quadro riassuntivo, con i dati mensili di energia dispersa nel periodo invernale, $Q_{H,ht}$, gli apporti gratuiti, Q_{gn}, al lordo degli apporti solari sui componenti opachi, i valori della costante di tempo τ e del fattore di utilizzazione $\eta_{u,H}$ mensile degli apporti gratuiti, calcolati secondo la norma UNI/TS 11300-1, e le dispersioni globali mensili e stagionali.

Tabella 31. Fabbisogno di energia utile nel periodo invernale.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,H}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Novembre	99348	35811	135158	31894	14593	38729	12	0,922	99441
Dicembre	152560	54392	206951	25898	15080	34716	12	0,966	173410
Gennaio	166687	59296	225984	29079	15080	37147	12	0,967	190053
Febbraio	134938	49531	184468	38484	13620	42292	12	0,944	144350
Marzo	111992	41908	153900	54988	15080	54995	12	0,893	104792
Aprile	36914	15268	52182	34895	7297	31952	12	0,785	27100
Totali	**702437**	**256205**	**256205**	**215238**	**14596**	**240031**			**739145**

Riportiamo di seguito, per completezza, la legenda dei simboli riportati sopra:

- $Q_{H,tr}$ Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso;
- $Q_{H,ve}$ Energia dispersa per ventilazione;
- $Q_{H,ht}$ Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$;
- Q_{sol} Apporti solari;
- Q_{int} Apporti interni;
- Q_{gn} Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$;
- $Q_{H,nd}$ Energia utile;
- τ Costante di tempo;
- $\eta_{u,H}$ Fattore di utilizzazione degli apporti termici.

Sempre per completezza, riportiamo inoltre un diagramma in cui sono riportati i singoli contributi delle perdite e degli apporti gratuiti, oltre ad una tabella con i dati singoli: perdite per trasmissione dei componenti opachi,per trasmissione dei componenti trasparenti, per trasmissione dei ponti termici, perdite per ventilazione (secondo UNI 10339:1995), apporti solari sui componenti trasparenti e apporti gratuiti interni. È stata inoltre introdotta la quota indicata come "intermittenza", che tiene conto dell'incidenza del fattore di utilizzazione degli apporti termici sul risultato globale del fabbisogno di energia utile per il riscaldamento invernale (se il fattore di utilizzazione fosse pari a 1, l'intermittenza risulterebbe uguale a zero).

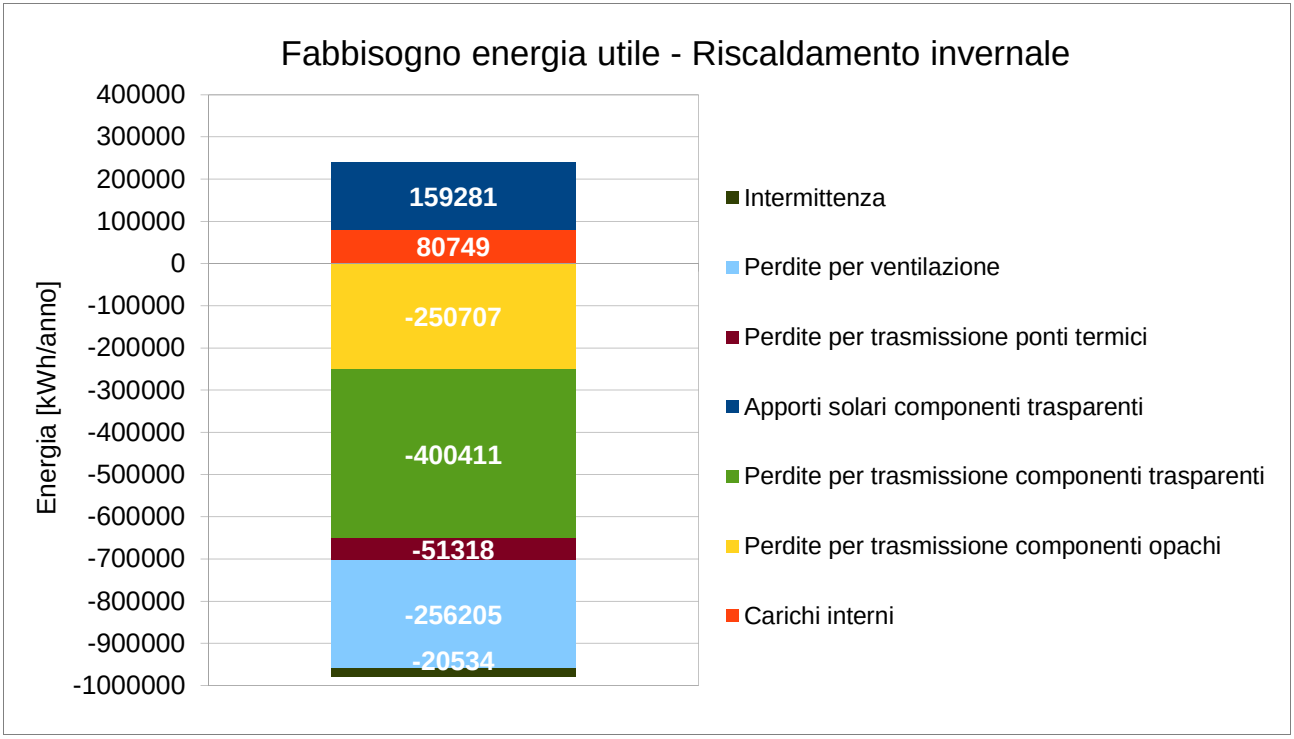


Figura 46. Fabbisogno di energia utile suddiviso nei singoli contributi calcolati.

Tabella 32. Fabbisogno energia utile nel periodo invernale, suddivisa nei singoli contributi.

Apporti solari componenti trasparenti [kWh]	Carichi interni [kWh]	Perdite trasmissione componenti opachi [kWh]	Perdite trasmissione componenti trasparenti [kWh]	Perdite trasmissione ponti termici [kWh]	Perdite per ventilazione [kWh]	Intermittenza	Fabbisogno energia utile invernale [kWh]
159281	80749	-250707	-400411	-51318	-256205	-20534	-739145

Nel grafico precedente, è riportato il valore di energia calcolato per ciascuna delle quote considerate e facenti parte del bilancio energetico. Si osservi, ad esempio, che le perdite per trasmissione dei componenti trasparenti rappresentano la quota più importante per le perdite di energia per il fabbisogno di riscaldamento invernale.

Dati di energia utile nel periodo estivo

Il bilancio energetico nel periodo estivo è riferito invece ad una "stagione di raffrescamento reale", così come definita nella specifica tecnica UNI/TS 11300-1.

Nel caso esaminato, applicando la norma succitata con il software Edilclima si è ottenuta una stagione di raffrescamento quasi coincidente con l'intero anno solare, ricavando che tale stagione risulta compresa tra il 30 gennaio ed il 4 dicembre, per un totale di 309 giorni in un anno.

Per questa stagione di raffrescamento, i dati mensili delle dispersioni (suddivise nei singoli contributi, analogamente al caso invernale), ottenuti con il software di calcolo sono quelli che riportiamo nella tabella sottostante.

Tabella 33. Energia dispersa per trasmissione e ventilazione nel periodo di raffrescamento estivo.

Mese	$Q_{C,trT}$ [kWh]	$Q_{C,trG}$ [kWh]	$Q_{C,trA}$ [kWh]	$Q_{C,trU}$ [kWh]	$Q_{C,trN}$ [kWh]	$Q_{C,rT}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]
Gennaio	14351	272	0	220	0	738	5408
Febbraio	195566	3701	0	2998	0	8601	73692
Marzo	182208	3449	0	2793	0	12037	68658
Aprile	141980	2687	0	2176	0	11171	53500
Maggio	104119	1971	0	1596	0	9998	39233
Giugno	56105	1062	0	860	0	13149	21141
Luglio	29579	560	0	453	0	13258	11146
Agosto	29579	560	0	453	0	12909	11146
Settembre	58395	1105	0	895	0	11988	22004
Ottobre	114767	2172	0	1759	0	9623	43246
Novembre	163735	3099	0	2510	0	8815	61698
Dicembre	25305	479	0	388	0	1436	9535
Totale	**1115690**	**21116**	**0**	**17102**	**0**	**113722**	**420407**

Nei quali, analogamente al periodo invernale, la legenda a cui fare riferimento è la seguente:

- $Q_{C,trT}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno;
- $Q_{C,trG}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno;
- $Q_{C,trA}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa;
- $Q_{C,trU}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati;
- $Q_{C,trN}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini;
- $Q_{C,rT}$ Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno;
- $Q_{C,ve}$ Energia dispersa per ventilazione.

Inoltre ricordiamo che le perdite complessive per trasmissione si ottengono dalla somma dei singoli scambi per trasmissione verso l'esterno (componenti opachi, trasparenti e ponti termici) verso l'esterno, verso il terreno, verso locali a temperatura fissa (nel caso studio pari a zero), verso i locali non raffrescati, in devono essere comprese le dispersioni per extra flusso, ma devono essere sottratti gli apporti solari sui componenti opachi, $Q_{sol,k,c}$.
Mentre i dati ricavati per gli apporti gratuiti (apporti solari e apporti interni) sono i seguenti:

Tabella 34. Apporti gratuiti.

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Gennaio	452	1424	973
Febbraio	9612	28872	13620
Marzo	15073	39915	15080
Aprile	20478	49311	14593
Maggio	26133	59366	15080
Giugno	27634	61264	14593
Luglio	30349	67041	15080
Agosto	25937	59789	15080
Settembre	19384	48830	14593
Ottobre	14140	40339	15080
Novembre	7758	24136	14593
Dicembre	808	2534	1946
Totale	**197759**	**482821**	**150310**

Dove:

$Q_{sol,k,c}$ Apporti solari diretti attraverso le strutture opache;

$Q_{sol,k,w}$ Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati;

$Q_{int,k}$ Apporti interni.

Analogamente al calcolo invernale, si è calcolata l'incidenza in percentuale delle dispersioni per trasmissione (comprendenti tutti i singoli contributi, al netto degli apporti solari sui componenti opachi) e per ventilazione, rilevando che mediamente le prime incidono nella misura del 71,8% rispetto al totale e le seconde dunque in misura del 28,2%.

Tabella 35. Dati mensili di energia dispersa per trasmissione e ventilazione.

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,tr}$ [%]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [%]
Gennaio	15127	73,7%	5408	26,3%
Febbraio	201254	73,2%	73692	26,8%
Marzo	185413	73,0%	68658	27,0%
Aprile	137537	72,0%	53500	28,0%
Maggio	91551	70,0%	39233	30,0%
Giugno	43542	67,3%	21141	32,7%
Luglio	13501	54,8%	11146	45,2%
Agosto	17565	61,2%	11146	38,8%
Settembre	53000	70,7%	22004	29,3%
Ottobre	114181	72,5%	43246	27,5%
Novembre	170401	73,4%	61698	26,6%
Dicembre	26799	73,8%	9535	26,2%
Totali	**1069871**	71,8%	**420407**	28,2%

Infine, riportiamo il quadro di sintesi, con i dati mensili di energia dispersa $Q_{c,nd}$ nel periodo di raffrescamento estivo e con il dettaglio delle dispersioni mensili per trasmissione (al netto degli apporti solari sui componenti opachi) e ventilazione, $Q_{C,ht,}$ degli apporti gratuiti (interni e solari verso i componenti vetrati) Q_{gn}, della costante di tempo τ ed del fattore di utilizzazione delle dispersioni, $\eta_{u,C}$.

Tabella 36. Fabbisogno di energia utile nella stagione di raffrescamento estivo.

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ $[kWh]_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,C}$ [-]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Gennaio	15127	5408	20535	1876	973	2397	12	0,117	0
Febbraio	201254	73692	274946	38484	13620	42492	12	0,155	2
Marzo	185413	68658	254072	54988	15080	54995	12	0,216	15
Aprile	137537	53500	191037	69789	14593	63904	12	0,334	143
Maggio	91551	39233	130784	85499	15080	74446	12	0,556	1762
Giugno	43542	21141	64683	88898	14593	75857	12	0,898	17795
Luglio	13501	11146	24647	97390	15080	82121	12	0,999	57507
Agosto	17565	11146	28710	85726	15080	74868	12	0,996	46279
Settembre	53000	22004	75004	68214	14593	63423	12	0,761	6326
Ottobre	114181	43246	157427	54479	15080	55419	12	0,351	157
Novembre	170401	61698	232098	31894	14593	38729	12	0,167	3
Dicembre	26799	9535	36334	3342	1946	4479	12	0,123	0
Totali	**1069871**	**420407**	**1490278**	**680580**	**150310**	**633131**			**129989**

Riportiamo di seguito, per completezza, la legenda dei simboli riportati sopra:

$Q_{C,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{C,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{C,tr}$ + $Q_{C,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
$Q_{C,nd}$	Energia utile
τ	Costante di tempo
$\eta_{u,C}$	Fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

Dati di energia primaria

Si ricorda che il caso studio non presenta un impianto di climatizzazione estiva, né un impianto di ventilazione meccanica, per cui, a differenza dei dati di energia utile, che sono stati calcolati sia per il periodo invernale sia per il periodo estivo, l'energia primaria è stata calcolata solo per i servizi energetici attivi nella struttura esaminata, quindi riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, oltre che illuminazione. Non si ha dunque un dato di energia primaria per il periodo estivo.

Per il riscaldamento invernale, l'inserimento delle informazioni raccolte sull'edificio esaminato ha condotto alla definizione dei rendimenti dei singoli sottosistemi di emissione, distribuzione e regolazione e generazione, da cui poi è derivato il rendimento globale medio stagionale. Riassumiamo nella tabella sotto i rendimenti ottenuti:

Tabella 37. Rendimenti stagionali dell'impianto di riscaldamento.

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	**92,0**	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	**86,5**	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	**96,7**	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	**99,7**	%
Rendimento di generazione	$\eta_{H,gn}$	**86,6**	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	**65,4**	%

I dati calcolati di energia primaria per il servizio di riscaldamento, mese per mese e complessivi sono invece riportati di seguito.

Tabella 38. Fabbisogno mensile di energia primaria per il servizio di riscaldamento invernale.

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Qp_H [kWh]
Gennaio	31	258787	3418	278393
Febbraio	28	203925	2786	219553
Marzo	31	158405	2396	170997
Aprile	15	46441	847	50415
Maggio	-	-	-	-
Giugno	-	-	-	-
Luglio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Settembre	-	-	-	-
Ottobre	-	-	-	-
Novembre	30	144317	2227	155875
Dicembre	31	236128	3189	254153
TOTALI	**166**	**1048002**	**14863**	**1129386**

in cui:

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Qp_H	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Ovviamente i mesi compresi tra maggio e ottobre non prevedono il ricorso al servizio di riscaldamento, per cui non ha fabbisogno di energia primaria.

Per i dati di dettaglio, si rimanda all'Appendice A.

Analogamente per la produzione di acqua calda sanitaria, definiti i sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione e generazione e quindi i relativi rendimenti, si è calcolato il fabbisogno di energia primaria necessario per questo servizio energetico.

Si riportano di seguito la tabella con i rendimenti e la tabella dei fabbisogni mensili di energia primaria (in questo caso relativi a quasi tutto l'anno solare).

Tabella 39. Rendimenti stagionali dell'impianto di produzione ACS.

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	**100,0**	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	**92,6**	%
Rendimento di generazione	$\eta_{W,gn}$	**38,5**	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	**35,6**	%

Tabella 40. Fabbisogno mensile di energia primaria per il servizio di produzione ACS.

Mese	GG	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Qp_W [kWh]
Gennaio	31	222	222	432
Febbraio	28	200	200	390
Marzo	31	222	222	432
Aprile	30	214	214	418
Maggio	31	222	222	432
Giugno	30	107	107	209
Luglio	31	0	0	0
Agosto	31	0	0	0
Settembre	30	107	107	209
Ottobre	31	222	222	432
Novembre	30	214	214	418
Dicembre	31	222	222	432
TOTALI	**365**	**1951**	**1951**	**3805**

dove:

GG	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria;
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria;
$Q_{W,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria;
Qp_W	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria.

Per i dati di dettaglio, si rimanda all'Appendice A.

In merito invece all'ultimo servizio energetico presente, quello relativo all'illuminazione artificiale interna, si riporta una sintesi dei dati elaborati dal software, nella tabella sottostante.

Tabella 41. Fabbisogno mensile di energia primaria per il servizio di illuminazione.

Mese	Giorni	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,u}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,est}$ [kWh_{el}]	Q_{ill} [kWh_{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
Gennaio	31	4707	2415	0	7122	0	7122	13889
Febbraio	28	4070	2181	0	6252	0	6252	12191
Marzo	31	4334	2415	0	6749	0	6749	13161
Aprile	30	4139	2337	0	6476	0	6476	12629
Maggio	31	4247	2415	0	6662	0	6662	12991
Giugno	30	4113	2337	0	6450	0	6450	12577
Luglio	31	4244	2415	0	6659	0	6659	12985
Agosto	31	4257	2415	0	6672	0	6672	13010
Settembre	30	4195	2337	0	6533	0	6533	12739
Ottobre	31	4454	2415	0	6869	0	6869	13395
Novembre	30	4500	2337	0	6837	0	6837	13333
Dicembre	31	4771	2415	0	7186	0	7186	14013
TOTALE		**52031**	**28437**	**0**	**80468**	**0**	**80468**	**156912**

Dove:

- $Q_{ill,int,a}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati;
- $Q_{ill,int,p}$ Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza;
- $Q_{ill,int,u}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati;
- $Q_{ill,int}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna;
- $Q_{ill,est}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna;
- Q_{ill} Fabbisogno di energia elettrica totale;
- $Q_{p,ill}$ Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione.

Per i dati di dettaglio, si rimanda all'Appendice A, evidenziando soltanto che il fabbisogno per l'illuminazione interna dei locali climatizzati rappresenta il 64,7%, mentre il rimanente 36,3% è dovuto ai dispositivi di controllo e di emergenza. Il software inoltre non consente di annullare o parzializzare i consumi in alcuni mesi dell'anno, come invece avviene per la produzione di ACS (perché non previsto dalla norma di riferimento), per cui in questa simulazione in condizioni standard è presente anche un fabbisogno di energia primaria nei mesi in cui la scuola è ufficialmente chiusa (luglio e agosto).
Complessivamente dunque il fabbisogno di energia primaria per i tre servizi energetici vede la seguente distribuzione, mese per mese, come riportato nella tabella seguente:

Tabella 42. Fabbisogno mensile di energia primaria per i singoli servizi energetici e complessivo.

Mese	gg	Qp_H [kWh]	Qp_H [%]	Qp_W [kWh]	Qp_W [%]	$Q_{p,ill}$ [kWh]	$Q_{p,ill}$ [%]	$Q_{p,tot}$ [kWh]	$Q_{p,tot}$ [%]
Gennaio	31	278393	95,1%	432	0,1%	13889	4,7%	292714	22,7%
Febbraio	28	219553	94,6%	390	0,2%	12191	5,3%	232134	18,0%
Marzo	31	170997	92,6%	432	0,2%	13161	7,1%	184590	14,3%
Aprile	30	50415	79,4%	418	0,7%	12629	19,9%	63462	4,9%
Maggio	31	-		432	3,2%	12991	96,8%	13423	1,0%
Giugno	30	-		209	1,6%	12577	98,4%	12786	1,0%
Luglio	31	-		-		12985	100,0%	12985	1,0%
Agosto	31	-		-		13010	100,0%	13010	1,0%
Settembre	30	-		209	1,6%	12739	98,4%	12948	1,0%
Ottobre	31	-		432	3,1%	13395	96,9%	13827	1,1%
Novembre	30	155875	91,9%	418	0,2%	13333	7,9%	169626	13,1%
Dicembre	31	254153	94,6%	432	0,2%	14013	5,2%	268598	20,8%
TOTALE	**365**	**1129386**	**87,5%**	**3805**	**0,3%**	**156912**	**12,2%**	**1290103**	**100,0%**

Si osserva che il fabbisogno di energia primaria è dovuto per l'87,5% al servizio di riscaldamento invernale ed al 12,2% all'illuminazione artificiale. L'incidenza invece del servizio di produzione di ACS è invece inferiore all'1%. Nella tabella sopra è inoltre possibile vedere come il fabbisogno di energia primaria complessivo si distribuisce nell'arco dell'anno (ultima colonna), seguendo chiaramente l'andamento del fabbisogno per il servizio di riscaldamento.

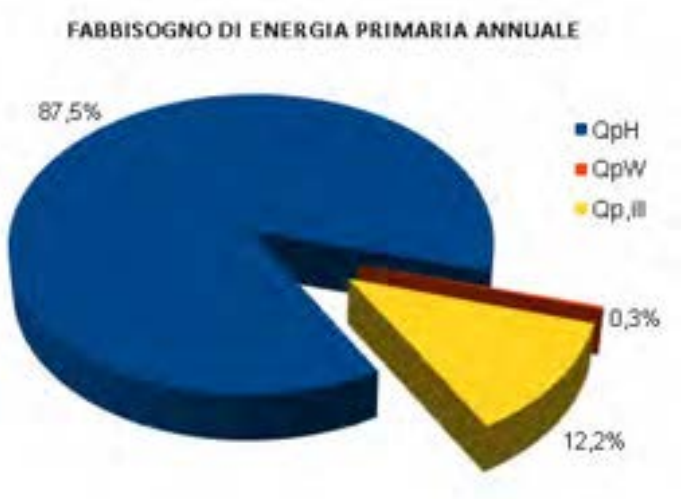


Figura 47. Fabbisogno di energia primaria annuale, distribuzione nei singoli servizi.

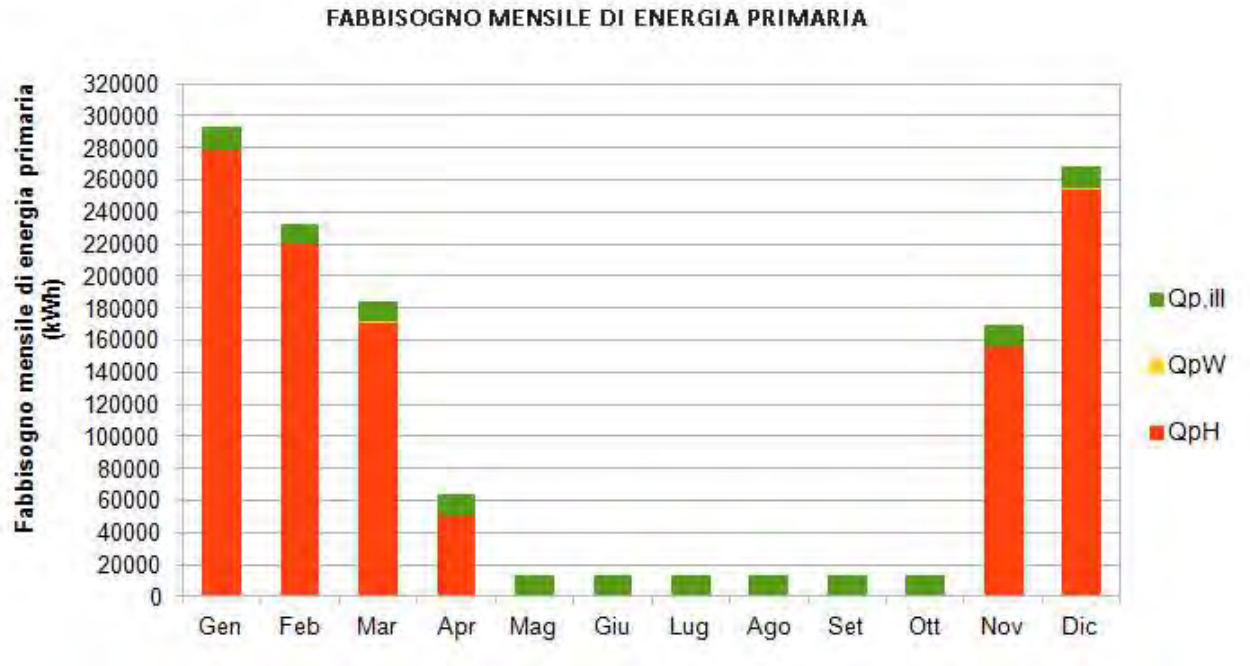


Figura 48. Fabbisogni mensili di energia primaria suddivisi nei singoli servizi energetici.

Complessivamente il fabbisogno di energia primaria richiesta per i servizi energetici attivi sul plesso scolastico e simulati con il software Edilclima portano ad un consumo di due vettori energetici distinti: gas metano ed energia elettrica, nella misura che riportiamo nella tabella sottostante. Si evidenzia il fatto che i consumi così stimati sono riferiti alle condizioni standard e quindi a servizi energetici (in particolare riscaldamento e produzione di ACS) funzionanti in modo continuo in tutto l'arco delle 24 ore, per cui i dati ottenuti risultano notevolmente superiori rispetto ai consumi reali rilevati dalle fatture.

Tabella 43. Consumi stimati di gas metano ed energia elettrica.

		Gas metano Nmc/anno	En. elettrica kWhel/anno
stato attuale – condizioni standard	**Riscaldamento**	105433	14863
	ACS	0	1951
	Illuminazione	0	80469
	Fotovoltaico	0	0
	TOTALE	105433	97283
	TOTALE (al netto del contributo del FV)	105433	97283

Si può osservare in particolare, per l'energia elettrica, che l'83% dei consumi di energia elettrica è dovuto all'illuminazione, e solo il 2% alla produzione di ACS (visto il ridotto fabbisogno di acqua calda sanitaria nella scuola). Il consumo di gas metano invece è solo imputabile al riscaldamento.

Non ci sono inoltre impianti che utilizzino fonti rinnovabili e che possano coprire una quota dei consumi stimati. Riportiamo sotto un grafico che illustra la ripartizione dei consumi di energia elettrica tra i diversi servizi energetici ed un diagramma da cui si rilevano, per ciascun servizio energetico, i consumi corrispondenti.

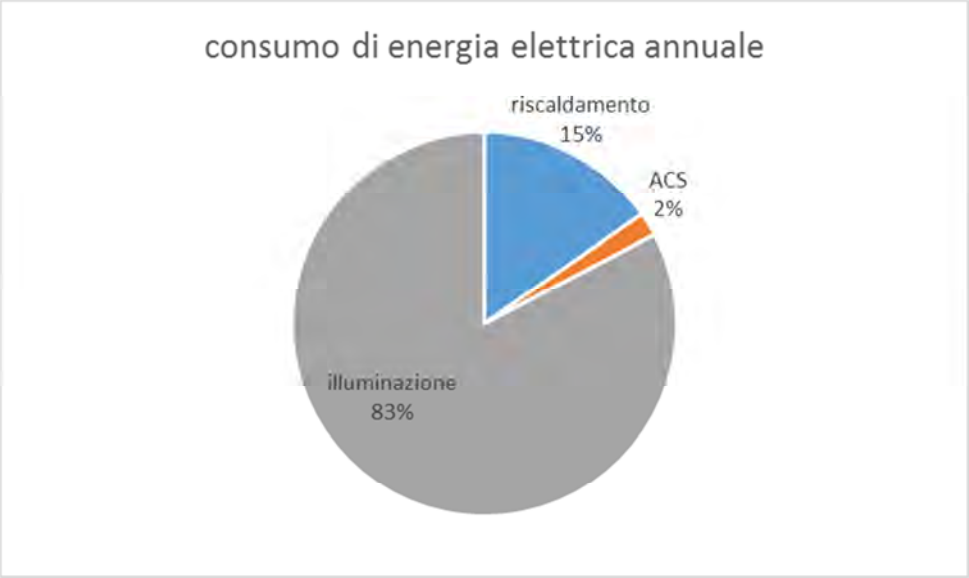


Figura 49. Ripartizione dei consumi annuali di energia elettrica in riferimento ai relativi servizi energetici.

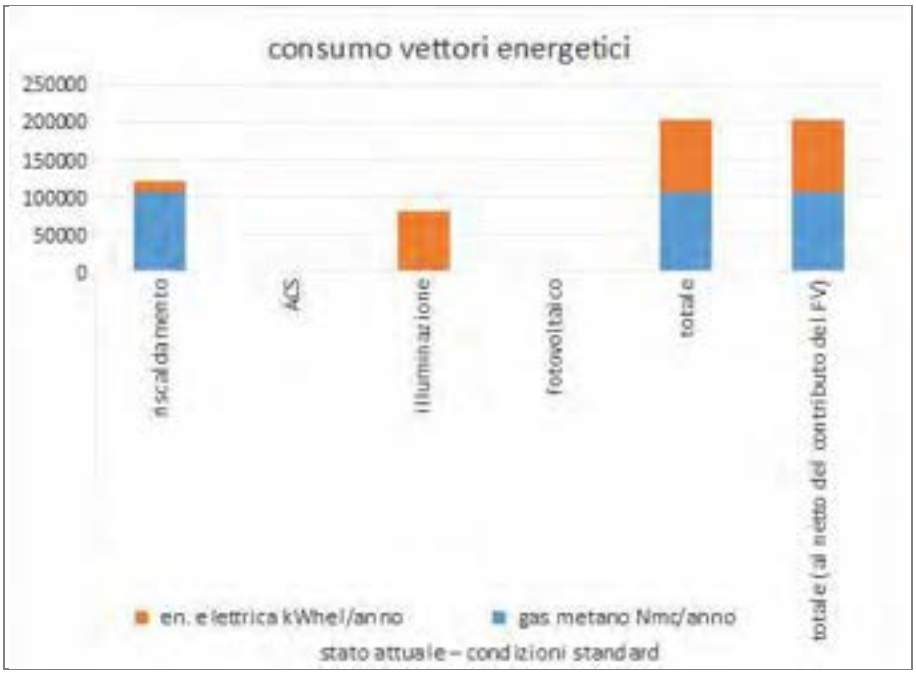


Figura 50. Ripartizione dei consumi annuali in relazione ai servizi energetici

3.3.2 Risultati ottenuti con SEAS

Il foglio dei risultati della simulazione dello stato attuale relativamente al solo involucro è denominato "output involucro", ed è relativo ad ogni zona. La scheda è suddivisa in due parti: nella parte superiore sono visualizzati i vari contributi al bilancio energetico di involucro di zona, comprensivi di segno per differenziare le dispersioni dagli apporti, ed il fabbisogno energetico complessivo della singola zona; nella parte inferiore invece i dati della tabella sono riportati in un istogramma. Nella tabella sono riportati, nell'ordine, i carichi energetici non gratuiti (ad esempio quelli elettrici e i carichi termici), i carichi interni gratuiti (dovuti, ad esempio alla presenza delle persone), gli apporti solari tramite i componenti opachi e finestrati, le dispersioni per ventilazione (nel nostro caso non è presente un impianto di ventilazione meccanica e quindi il valore è dato solo dalla ventilazione naturale), le dispersioni per trasmissione

attraverso i componenti opachi, i componenti finestrati e i ponti termici e le perdite per infiltrazione (se non si è scelta la procedura di calcolo della UNI 10339:1995, nel qual caso esse risulterebbero nulle); nell'ultima colonna, invece, è riportato il fabbisogno complessivo richiesto dall'involucro. Si ricorda, a tal proposito, che il fabbisogno energetico complessivo della zona non è dato dalla somma algebrica dei vari contributi al bilancio, ma vengono utilizzati anche il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti ed il fattore correttivo (per tenere conto del regime di intermittenza di accensione dell'impianto di riscaldamento scolastico).Si riportano i dati di tutte le sei zone dell'edificio e si riporta anche un grafico a torta del bilancio energetico dell'intero edificio, dato dalla somma delle singole zone.

Figura 51. Screenshot SEAS; fabbisogno energetico della zona "aule".

Tabella 44. Fabbisogno energetico della zona "aule".

MESE	APPORTI [kWh]				PERDITE [kWh]					TOTALE [kWh]
	ING	P	SP	SF	V	TP	TF	PT	I	
Gen	4244	14505	3200	7892	-4329	-47271	-44959	-7270	-41480	-53424
Feb	7021	20351	5612	12469	-4600	-52177	-49484	-7986	-45713	-34381
Mar	4560	15195	7425	13264	-2338	-32580	-30391	-4780	-27165	-12803
Apr	3516	10602	6447	9555	-2415	-15400	-14077	-2157	-12258	-4794
Mag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ott	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov	6599	20361	4419	10684	-2234	-33931	-31269	-4843	-27568	-14024
Dic	3366	12119	2610	6633	-3806	-42047	-39970	-6453	-36755	-52023
TOT	**29306**	**93133**	**29713**	**60496**	**-19723**	**-223406**	**-210150**	**-33489**	**-190940**	**-171450**

ING = Carichi interni non gratuiti; P= Persone; SP = Apporti solari pareti opache; SF = Apporti solari finestre; V = Perdite per ventilazione naturale e meccanica; TP = Perdite per trasmissione pareti opache; TF = Perdite per trasmissione finestre; PT = Perdite per ponti termici; I = Perdite per infiltrazione

Per quanto riguarda i risultati dell'intero audit (considerando quindi il bilancio dell'intero edificio con l'impianto centralizzato), si riportano di seguito i principali risultati in termini di consumi per singolo servizio e singolo vettore sia per la singola zona, che per l'intero edificio. Come si può notare, il consumo maggiore si ha per il servizio di riscaldamento e per il vettore gas metano, mentre ai fini della produzione di ACS la spesa in termini di energia elettrica, seppure si tratti di un sistema a bassa efficienza, risulta minore di un ordine di grandezza rispetto al consumo di energia elettrica per usi propri (illuminazione, dispositivi).
In termini assoluti, l'intero edificio soggetto ad audit ha un consumo di gas metano annuale medio di circa 25623 m^3 ed ha un consumo di energia elettrica annuale medio di circa 74 MWh.

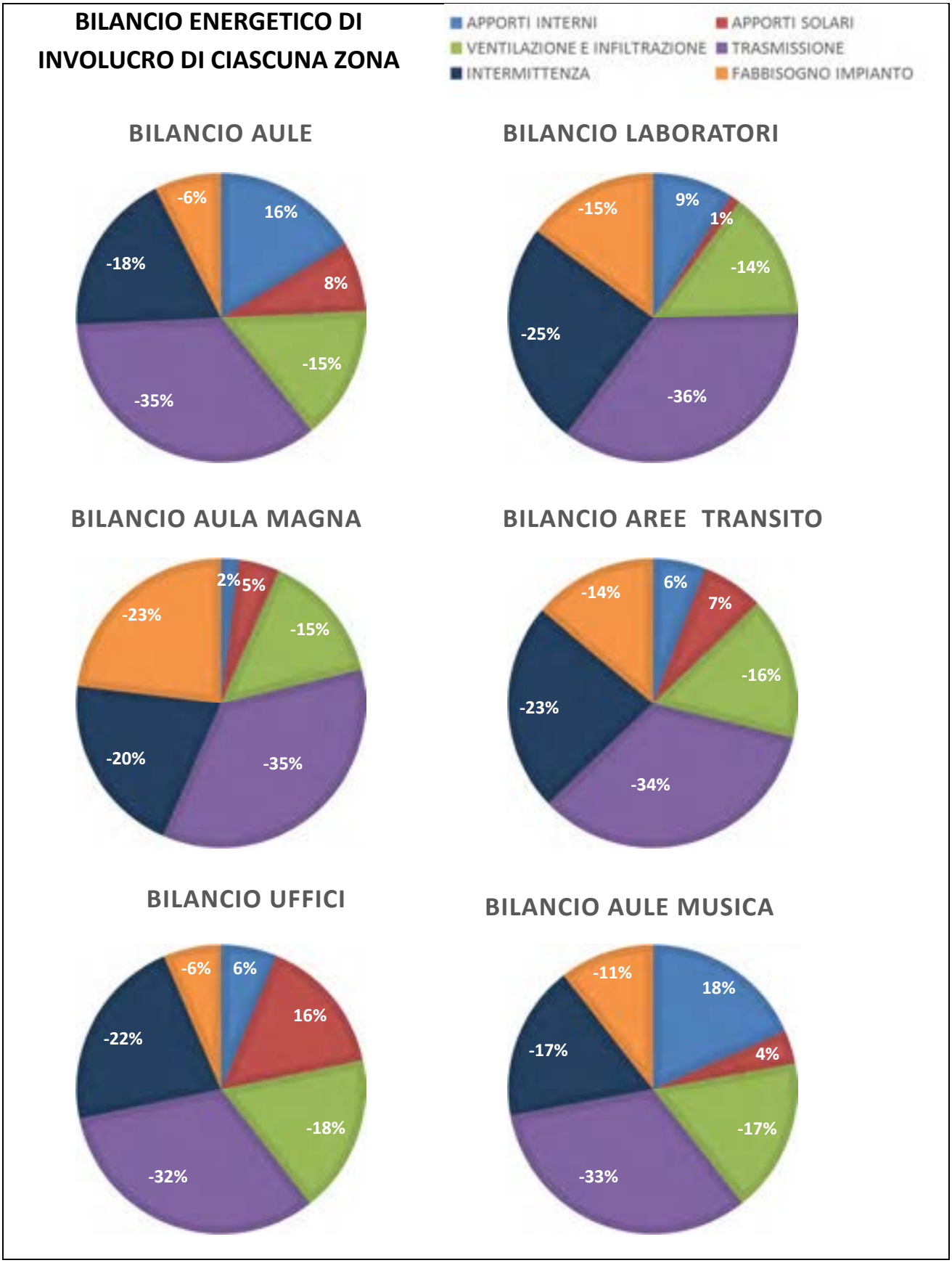


Figura 52. Bilancio energetico di involucro di ciascuna zona termica individuata.

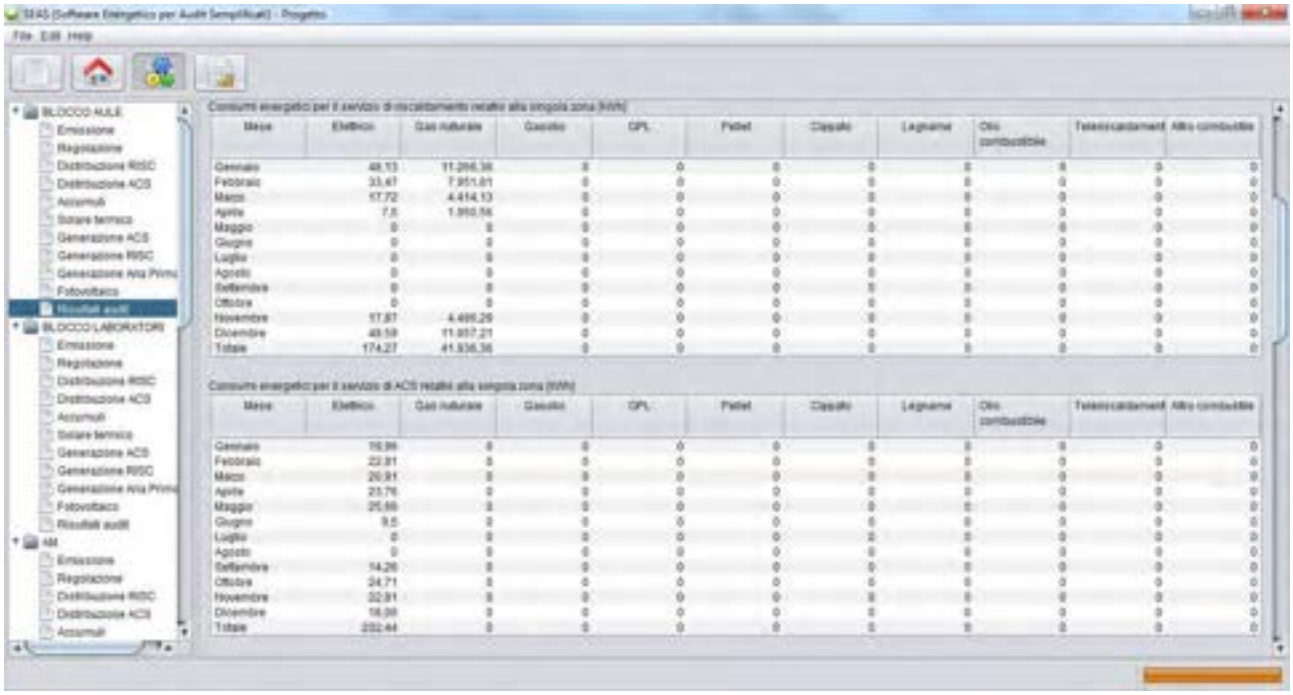


Figura 53. Screenshot SEAS, risultati consumi energetici per il servizio di riscaldamento della singola zona.

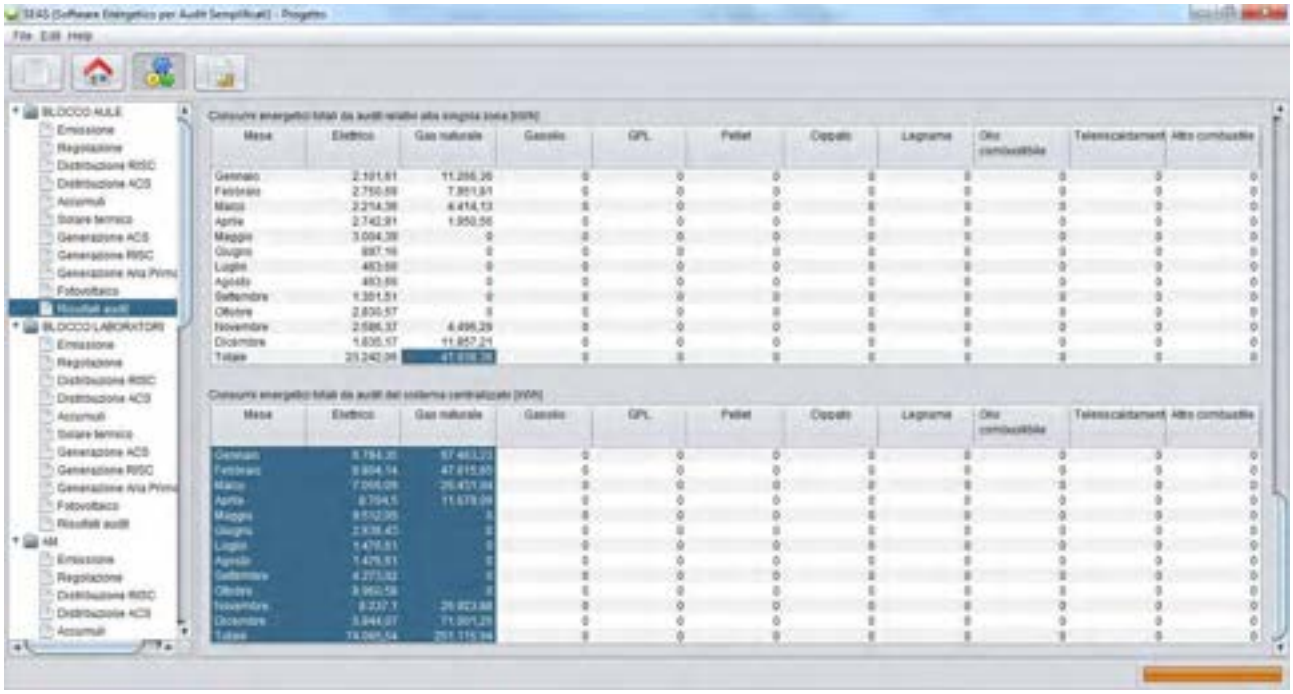


Figura 54. Screenshot SEAS, risultati consumi energetici totali delle singola zona.

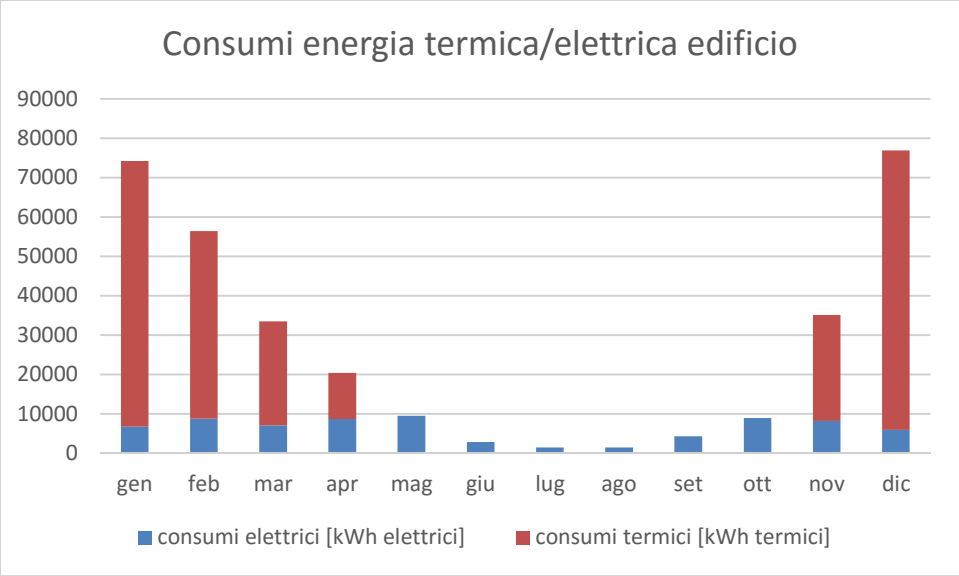


Figura 55. Consumi di energia elettrica e termica per ciascun mese dell'anno.

Al fine di validare la diagnosi energetica dell'edificio occorre verificare che il fabbisogno di energia termica (vettore gas metano) e elettrica ben si abbini al reale valore delle bollette dei rispettivi vettori. Si riporta nella tabella sotto il confronto tra i due valori, facendo riferimento per i valori reali a quelli normalizzati sui dati meteo specificati al paragrafo 3.1.5. Si nota che per l'energia termica lo scarto è inferiore al 5%, mentre per l'energia elettrica è ancora inferiore. Si precisa anche che la simulazione tramite software SEAS è stata calibrata per quanto riguarda alcuni dati particolarmente incerti (tempo di apertura delle finestre, utilizzo delle apparecchiature elettriche) per giungere ad un buon livello di abbinamento sia sulla parte termica che su quella elettrica.

Tabella 45. Confronto tra dati reali e da modello dei fabbisogni di energia termica ed elettrica.

ENERGIA TERMICA [kWh th]		**SCARTO**	**ENERGIA ELETTRICA [kWh el]**		**SCARTO**
FABBISOGNO DA SIMULAZIONE	FABBISOGNO REALE		FABBISOGNO DA SIMULAZIONE	FABBISOGNO REALE	
251116	243700	**+3%**	74065	75042	**-1.3%**

4 Analisi degli interventi di retrofit

4.1 Definizione degli interventi di retrofit

4.1.1 Interventi finalizzati all'NZEB

Modellato in modo esaustivo l'edificio oggetto di studio con il software di calcolo Edilclima, in condizioni standard, sono stati esaminati i dati energetici ottenuti in termini di energia utile, di fabbisogno di energia primaria e di consumo e, facendo riferimento all'edificio di riferimento costruito con il software, sono stati individuati i punti critici del modello.

Richiamando in particolare gli obblighi normativi imposti dal D.I. Requisiti Minimi si sono calcolati i parametri specifici, gli indici di prestazione, le efficienze medie stagionali previsti dal D.I. Requisiti Minimi e dal D.Lgs. n. 28/2011 per gli edifici NZEB, per poterli confrontare i valori ottenuti per l'edificio esaminato con i valori limite previsti per un edificio ad energia quasi zero; nella tabella sottostante sono riportati i valori calcolati.

Tabella 46. Parametri, indici di prestazione e rendimenti calcoli per il caso di studio in esame.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	u.m.	Valore calcolato
H'_T	W/m^2K	2,11
$A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile}$	-	0,46
$EP_{H,nd}$	kWh/m^2	145,87
η_H	-	65,0%
EP_H	kWh/m^2	-
$EP_{W,nd}$	kWh/m^2	-
η_W	-	28,70%
EP_W	kWh/m^2	-
EP_V	kWh/m^2	-
$EP_{C,nd}$	kWh/m^2	25,65
η_C	-	-
EP_C	kWh/m^2	-
EP_L	kWh/m^2	-
EP_T	kWh/m^2	-
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_L$	kWh/m^2	263,63

Tabella 47. Parametri calcolati per il caso di studio in relazione agli obblighi introdotti nel D. Lgs. 28/2011.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	u.m.	Valore calcolato	Valore limite da rispettare	Rif. normativo
Copertura del fabbisogno energetico con fonti rinnovabili (riscaldamento + condizionamento + ACS)	%	0	≥ 55	D. Lgs. n. 28/2011, Allegato 3, comma 1, lettera c) e comma 6
Potenza elettrica di impianti alimentati da fonti rinnovabili	kW_e	0	≥ 36,7	D. Lgs. n. 28/2011, Allegato 3, comma 3, lettera c)

Si è pertanto definita una soluzione composta, sommando più interventi di retrofit, che potesse portare l'edificio esaminato ad avere le prestazioni richieste, con le seguenti azioni:

1. drastica riduzione delle trasmittanze dei componenti opachi e dei componenti vetrati, nonché dei ponti termici, per ridurre in modo significativo il valore di H't e delle dispersioni di energia utile nel periodo invernale;
2. Aumento delle schermature presenti sui componenti finestrati, in particolare con inserimento di tendaggi o schermi ove non già presenti, per ridurre il parametro $A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile;}$
3. Aumento delle efficienze dei singoli sottosistemi per aumentare le efficienze medie stagionali degli impianti di riscaldamento e di produzione ACS, ma anche per ridurre l'energia primaria globale;
4. Inserimento di impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili, sia per coprire il 55% del fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione di ACS, sia la copertura della potenza minima prevista per il fotovoltaico.

Pertanto gli interventi che si sono ipotizzati e che permettessero di rispondere a queste esigenze sono stati:

1. Coibentazione esterna (soluzione a cappotto) di tutte le pareti opache verticali, da realizzarsi con pannello in lana di roccia, spessore 20 cm conducibilità λ pari a 0,037 W/mK e densità pari a 125 kg/m^3;

Tabella 48. Intervento di retrofit sulle pareti verticali verso l'esterno, con coibentazione a cappotto esterno – parete M1.

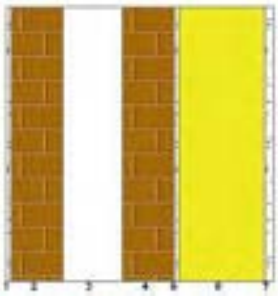
Parete verso l'esterno, M1 - Trasmittanza termica 0,165 W/m^{2}K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	S	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,0	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone semipieno	120,0	0,632	0,190	1508	0,84	9
3	Mattone semipieno	120,0	0,632	0,190	1508	0,84	9
4	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	200,0	0,037	5,405	125	1,03	1
5	Intonaco plastico per cappotto	20,0	0,300	0,067	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

Tabella 49. Intervento di retrofit sulle pareti verticali verso l'esterno, con coibentazione a capposto esterno - parete M10.

Parete verso l'esterno, M10 - Trasmittanza termica 0,154 W/m^2 K



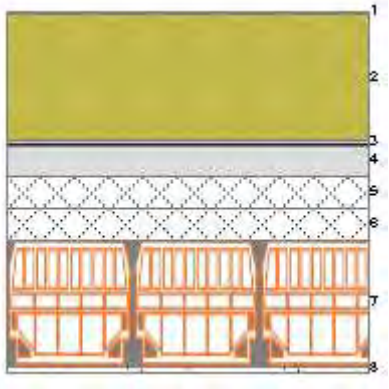
Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	140,00	0,778	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
6	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	200,00	0,037	5,405	125	1,03	1
7	Intonaco plastico per cappotto	20,00	0,300	0,067	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

2. Coibentazione della copertura piana, eseguita ponendo l'isolante sull'estradosso del solaio, tipo polistirene estruso sinterizzato, spessore 20 cm , conducibilità λ pari a 0,034 W/m K e densità pari a 30 kg/mc; compresa la realizzazione di nuova impermeabilizzazione con verniciatura superficiale esterna eseguita con prodotto di colore chiaro, ad elevata riflettanza solare (effetto "cool-roof");

Tabella 50. Intervento di retrofit sulle superfici orizzontali verso l'esterno, con coibentazione sull'estradosso della copertura piana.

Solaio copertura verso l'esterno – trasmittanza termica 0,141 W/m^{2}K



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	4,00	0,170	0,024	1390	0,90	50000
2	Polistirene espanso, estruso con pelle	200,00	0,034	5,882	30	1,45	60
3	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	8,00	0,170	0,047	1390	0,90	50000
4	Massetto perlite	50,00	0,084	0,595	250	1,00	14
5	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,700	0,071	1600	0,88	20
6	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
7	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
8	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

3. Sostituzione di tutti gli infissi, compresi anche quelli più recenti, con nuovi infissi con telaio in pvc e doppio vetro b.e., dotati di trasmittanza Uw = 1,1 W/m^{2}K, classe di permeabilità 4;
4. inserimento di veneziane, colore chiaro, interne, a tutti gli infissi privi di schermature;
5. Installazione di nuovo generatore di calore, in particolare pompa di calore acqua/acqua, capace di sfruttare mediante pozzi di emungimento e di re-immissione l'acqua presente a poca profondità nell'area pisana, per aumentare il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento;
6. installazione di impianti solari termici (n. 4 in tutto, uno per ciascun blocco di servizi igienici presenti in verticale nell'edificio), composti ciascuno da singolo pannello solare con accumulo in testa e a circolazione naturale, per aumentare il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di produzione di ACS e rispettare gli obblighi previsti dal D. Lgs. n. 28/2011;
7. installazione di impianto fotovoltaico sulla copertura piana, potenza di picco 37,4 kWp elettrici, con orientamento sud, inclinazione rispetto all'orizzonte di 35°, per rispettare gli obblighi previsti dal D.Lgs. n. 28/2011, capace di produrre 48.576 kWh elettrici/anno, coprendo così il 32,2% del fabbisogno elettrico annuale del plesso scolastico.

Tabella 51. Dati di producibilità mensile ed annuale dell'impianto fotovoltaico previsto negli interventi di retrofit.

Mese	$E_{el,pv,out}$ [kWh]
Gennaio	2112
Febbraio	2626
Marzo	3726
Aprile	4584
Maggio	5391
Giugno	5463
Luglio	6137
Agosto	5661
Settembre	4728
Ottobre	3893
Novembre	2284
Dicembre	1971
TOTALE	**48576**

Inserendo questi interventi sull'involucro edilizio della scuola si sono volutamente azzerati tutti i ponti termici, che risultano quindi nulli, a seguito della coibentazione esterna "a cappotto" su tutte le pareti verticali dell'edificio e sul solaio di copertura; l'unica eccezione è costituita dal ponte termico tra parete e infisso: supponendo di installare i nuovi infissi a filo con l'intradosso del cappotto esterno, si è calcolato un ponte termico non nullo, con una trasmittanza termica lineica pari a 0,141 W/ mK. Inoltre si sono trascurati gli interventi sull'illuminazione artificiale.

Quest'ultima scelta è stata adottata a fronte della verifica che gli unici interventi che avrebbero consentito di ottenere un miglioramento rispetto all'edificio di riferimento NZEB per l'impianto di illuminazione sono quelle che comportano l'introduzione di sistemi di automazione sulle lampade, ma in questo caso comunque la riduzione dell'energia primaria globale sarebbe stata poco significativa rispetto al totale. L'adozione di un impianto con lampade a led ad esempio, con accensione e spegnimento manuali, pur essendo un intervento di retrofit significativo sul piano del risparmio di energia elettrica consumata, non sarebbe stato utile, ai sensi della nuova normativa, ad un più rapido raggiungimento dell'obiettivo NZEB. L'edificio di riferimento avrebbe infatti acquisito le caratteristiche del nuovo impianto di illuminazione, solo caratterizzato da un'automazione più evoluta rispetto a quella manuale; quindi il valore limite dell'energia primaria da non superare dell'edificio di riferimento si sarebbe ridotto nella stessa misura di quello della scuola riqualificata e questo non avrebbe valorizzato l'intervento ai fini NZEB, nonostante il miglioramento sul fabbisogno primario e sui consumi dovuto al passaggio da lampade a scarica a lampade a LED.

Analogamente per la ventilazione meccanica. Si evidenzia il fatto che, sebbene il ricambio meccanico controllato in un edificio scolastico sia sempre auspicabile, per il benessere degli utenti innanzitutto, il costo di un impianto di ventilazione meccanica è notevolmente elevato e la nuova normativa non prevede di dover confrontare l'edificio esaminato con un edificio di riferimento che possiede un impianto di ventilazione meccanica controllata, bensì è previsto che sia utilizzata per l'edificio di riferimento la stessa tipologia di impianto di ventilazione esistente, sebbene con dei valori di efficienza prestabiliti.

Se l'edificio da esaminare è privo di impianto meccanico, come nel caso esaminato, anche l'edificio di riferimento viene considerato privo di tale impianto. Dunque, prevedere un impianto di ventilazione meccanica, anche se comporta un miglioramento del comfort ed anche un risparmio sul fabbisogno di energia primaria e sui consumi, di fatto non è utile a rendere più veloce il raggiungimento dell'obiettivo NZEB.
Si sottolinea anche che le scelte impiantistiche di efficientamento energetico, in particolare sulla generazione di calore per il riscaldamento, hanno determinato una variazione contemporanea dell'edificio di riferimento e quindi di alcuni indici limite da rispettare, quali l'EP_{gl} .
La scelta di installare una pompa di calore come nuovo generatore, anziché una caldaia a condensazione, è stata effettuata al fine di valorizzare l'autoconsumo di energia elettrica prodotta con il fotovoltaico e dunque con l'obiettivo di rispettare l'obbligo di copertura del 55% del fabbisogno di energia primaria previsto dal D. Lgs. n. 28/2011 con energia proveniente da fonti rinnovabili; ma questo ha reso necessario ricorrere ad una tipologia di pompa di calore di tipo acqua/acqua, proprio per riuscire a soddisfare anche le verifiche sull'EP_gl e sul rendimento globale medio stagionale del riscaldamento.

4.1.2 Interventi conseguenti alla diagnosi energetica tramite SEAS

Nell'ambito del miglioramento energetico dell'edificio, non strettamente volto alla realizzazione di un edificio ad energia quasi zero, gli interventi di efficienza energetica scelti seguono dei criteri di best practices, per cui non si richiede l'ottimo dal solo punto di vista energetico, ma si sceglie il miglior compromesso tra risparmio energetico, fattibilità tecnica ed economica, pur rispettando, negli interventi svolti, i requisiti normativi e legislativi richiesti. La nostra proposta consiste in un insieme di interventi di medio-grande rilievo, in modo da realizzare un miglioramento e un efficientamento su vari fronti, e non è stata simulata la bontà del singolo piccolo intervento, ma direttamente dell'insieme di interventi. Inoltre, al fine di allinearsi all'efficientamento che riconduce ad NZEB, non sono stati proposti piccoli interventi di modifica gestionale da parte dell'utenza, che pure possono essere realizzati e sarebbero probabilmente caratterizzati da bassissimo tempo di ritorno, nonostante la destinazione d'uso molto intermittente.
A questo fine sono stati individuati alcune macro problematiche: la prima riguarda l'assenza di regolazione di locale, per cui l'impianto fornisce energia sulla base di un orario impostato in centrale termica e variando la temperatura di mandata in funzione del clima esterno. Gli apporti gratuiti interni dati dalla presenza degli studenti e delle apparecchiature non viene sfruttata e, vista la destinazione d'uso, abbiamo ritenuto importante considerarla. Le temperature nei locali talvolta non sono in linea con quanto prescritto da normativa (20°C +/- 2°C), oscillando al di sotto e al di sopra in funzione della presenza degli utenti. Oltre a questo, in alcuni casi non è possibile la chiusura dei terminali, neanche manuale, per cui gli utenti sono costretti ad aprire le finestre per abbassare la temperatura, con grande spreco di energia. A questa problematica è legato anche il fatto che il ricambio dell'aria interna è affidato esclusivamente all'apertura delle finestre, senza alcun impianto di aria primaria, per cui, visto il numero di studenti, spesso vengono aperte le finestre, oltre che per il troppo caldo, anche per garantire il minimo ricambio igienico.
La seconda problematica è legata alla geometria dell'edificio: esso presenta una superficie vetrata davvero elevata (40% della superficie disperdente laterale), e tali componenti, per gran parte sono vetusti e molto disperdenti.
L'ultima problematica è legata alla destinazione pubblica dell'edificio stesso. Sia per obblighi legislativi (art.26 legge 10/91) sia per la sensibilizzazione al risparmio energetico verso gli studenti che giornalmente vivono l'edificio, è opportuno promuovere l'uso di impianti alimentati a fonti rinnovabili o assimilate e coprire parte del fabbisogno con questi.
In base a queste problematiche si sono scelti i seguenti interventi di retrofit:

1) Sostituzione di tutte le valvole manuali presenti nei terminali di emissione con valvole termostatiche per la regolazione di locale, con contestuale bilanciamento idraulico delle reti di distribuzione e sostituzione delle pompe di circolazione con analoghe a giri variabili. L'impostazione della regolazione termica di locale prevede i seguenti set point di temperatura dell'aria:

Tabella 52. Temperature di set point pre e post intervento per ciascuna zona termica.

ZONA	Tset point pre intervento [°C]	Tset point post intervento [°C]
AULE	18	19.5
LABORATORI	18	19.5
AULA MAGNA	16	18.5
AREE DI TRANSITO	17	19
UFFICI	18	19.5
AULE MUSICA	18	19.5

2) Sostituzione di tutti gli infissi originari (pari a circa l'80% della superficie finestrata) con nuovi infissi con trasmittanza di 2 W/m^2K, doppio vetro basso emissivo, classe di permeabilità 4, mantenendo invece inalterate le schermature presenti.
3) Sostituzione di tutti gli apparecchi di illuminazione interna (tubi fluorescenti tradizionali da 58 W, sia singoli che doppi) con analoghi a LED con potenza pari a 30 e a 60 W rispettivamente.
4) Installazione di un impianto fotovoltaico in copertura per una superficie di 100 mq, orizzontale in modo da minimizzare l'impatto paesaggistico, di potenza di picco di 24 kW.
5) Sostituzione dell'attuale sistema di generazione dotato di caldaie tradizionali con un sistema a pompa di calore a gas metano ad assorbimento con sonde di scambio con il terreno, di potenza pari alla richiesta dell'edificio riqualificato (320 kW).

4.2 Analisi dei costi degli interventi di retrofit

Per una verosimile stima della fattibilità economica, oltre che tecnica, degli interventi di retrofit proposti, abbiamo stimato, intervento per intervento, la spesa economica di massima associata. Si riportano le due tabelle con i prezzi unitari e con le quantità relativamente agli interventi rispettivamente decisi a seguito della simulazione di diagnosi e finalizzati all'NZEB. Si specifica che il valore indicato nelle tabelle sottostanti è relativo alla sola fornitura e posa in opera e che esso non comprende alcuna spesa professionale di progettazione o di sicurezza connessa. Analogamente esso non comprende alcun ribasso o sconto. Si tenga conto che tali valori sono esemplificativi, ma siamo consapevoli che possono essere suscettibili di variazioni, anche notevoli, a seconda del contesto dell'appalto in cui sono inseriti, a seconda del ribasso effettuato e della zona geografica di realizzazione.

I prezzi riportati sono desunti principalmente da analisi di mercato, dal preziario degli impianti tecnologici del genio civile DEI (versione 2016), da listino prezzi delle macchine scelte, e dal database del software Edilclima utilizzato per la simulazione dell'edificio secondo UNI/TS 11300, infine da analoghi lavori realizzati.

Si tenga conto che la differenza tra i due infissi è legata al fatto che le prestazioni termiche sono differenti (migliori per l'NZEB e comunque secondo standard nell'altro caso). Per quanto riguarda l'intervento di installazione della pompa di calore ad assorbimento a gas metano con sonde geotermiche, anch'esse sono incluse nel prezzo, tenendo conto di una resa standard di scambio termico delle sonde.

Tabella 53. Prezzi unitari e spese economiche per gli interventi di retrofit analizzati ottenute da preziari e indagini di mercato.

LAVORAZIONE (comprensive di manodopera, scavi, trasporti) INTERVENTI A SEGUITO DI DIAGNOSI	U.M.	Q.TA	Prezzo unitario	TOTALE	TOT + IVA
Sostituzione infissi originari	m^2	1396	300	418941	511108
Installazione valvole termostatiche per regolazione di locale	cad	200	150	30000	36600
Impianto fotovoltaico	kWp	24	1500	36000	43920
Sostituzione apparecchi attuali con LED	cad	434	70	30380	37064
Sostituzione generatore con pompa di calore assorbimento a gas	kWp	320	490	156800	191296
			TOTALE	**672121**	**819987**

Tabella 54. Prezzi unitari e spese economiche per gli interventi di retrofit analizzati ottenute da database Edilclima.

LAVORAZIONE (comprensive di manodopera) INTERVENTI FINALIZZATI ALL'NZEB	U.M.	Q.TA	Prezzo unitario	TOTALE	TOT + IVA
Sostituzione infissi originari	m^2	1776	350	621600	758352
Cappotto esterno	m^2	2393	67	160331	195603,82
Coibentazione copertura	m^2	2135,5	40	85420	104212,4
Installazione veneziane	n.	118	168,5	19888,9	24264
Impianto fotovoltaico	kWp	38	1500	57000	69540
Impianto solare termico	n.	4	3000	12000	14640
Sostituzione generatore con pompa di calore	a corpo	-	-	96000	117120
			TOTALE	**1052240**	**1283733**

4.3 Simulazione degli interventi di retrofit

4.3.1 Simulazione finalizza all'NZEB e risultati energetico-ambientali ottenuti

È stata eseguita con il software di riferimento una simulazione dell'edificio esaminato introducendo appunto gli interventi di retrofit illustrati al par. 4.1.1; in effetti, note le tipologie di intervento da prediligere, ai fini del conseguimento dell'obiettivo NZEB, si sono aggiunti gradualmente, uno dopo l'altro gli interventi, partendo dall'involucro edilizio e riaggiustando lo spessore delle coibentazioni e la trasmitttanza termica degli infissi fino a soddisfare le prime verifiche obbligatorie per l'involucro; successivamente si sono introdotti gli interventi sugli impianti e sui diversi servizi energetici, andando quindi a completare le verifiche obbligatorie.

Si riportano di seguito in forma tabellare, i dati di energia dispersa nel periodo invernale e nel periodo estivo che si sono calcolati per l'edificio NZEB definito con questa simulazione. Si sono inoltre confrontati dati ottenuti per l'edificio NZEB con quelli di partenza, sia per la parte delle dispersioni (trasmissione e

ventilazione) che per quello degli apporti gratuiti (in particolare apporti solari su componenti vetrati e apporti interni).

Tabella 55. Fabbisogno di energia utile nel periodo invernale.

Mese	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$	Q_{sol}	Q_{int}	Q_{gn}	τ	$\eta_{u,H}$	$Q_{H,nd}$
	[kWh]	[kWh]	$[kWh]_t$	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[h]	[-]	[kWh]
Nov	23722	35811	59532	19518	14593	33510	25,8	0,896	29497
Dic	35807	54392	90199	15549	15080	30142	25,8	0,966	61091
Gen	39116	59296	98412	17747	15080	32283	25,8	0,967	67190
Feb	32299	49531	81830	22654	13620	35536	25,8	0,939	48467
Mar	27613	41908	69521	30947	15080	44885	25,8	0,866	30652
Apr	9851	15268	25119	19621	7297	26148	25,8	0,716	6385
TOTALE	**168408**	**256205**	**424614**	**126036**	**80749**	**202504**			**243282**

Sempre per completezza, come effettuato per l'edifico esistente, si riportano in tabella i seguenti dati: perdite per trasmissione dei componenti opachi, per trasmissione dei componenti trasparenti, per trasmissione dei ponti termici, perdite per ventilazione (secondo UNI 10339:1995), apporti solari sui componenti trasparenti e apporti gratuiti. È stata inoltre introdotta la quota già indicata come "intermittenza", che tiene conto dell'incidenza del fattore di utilizzazione degli apporti termici sul risultato globale del fabbisogno di energia utile per il riscaldamento invernale (se il fattore di utilizzazione fosse pari a 1, l'intermittenza risulterebbe uguale a zero). I dati di energia nella tabella sono in questo caso riportati con il segno (meno o più), per evidenziare l'incidenza di ciascun contributo nel bilancio energetico complessivo.

Tabella 56. Fabbisogno di energia utile nel periodo invernale suddivisa nei singoli contributi.

Apporti solari componenti trasparenti [kWh]	Carichi interni [kWh]	Perdite trasmissione componenti opachi [kWh]	Perdite trasmissione componenti trasparenti [kWh]	Perdite trasmissione ponti termici [kWh]	Perdite per ventilazione [kWh]	Intermittenza	Fabbisogno energia utile invernale [kWh]
121755	80749	-54448	-89904	-24057	-256205	-21172	-243282

Si riporta inoltre il corrispondente diagramma a bare, analogamente a quanto riportato per l'edificio esistente.

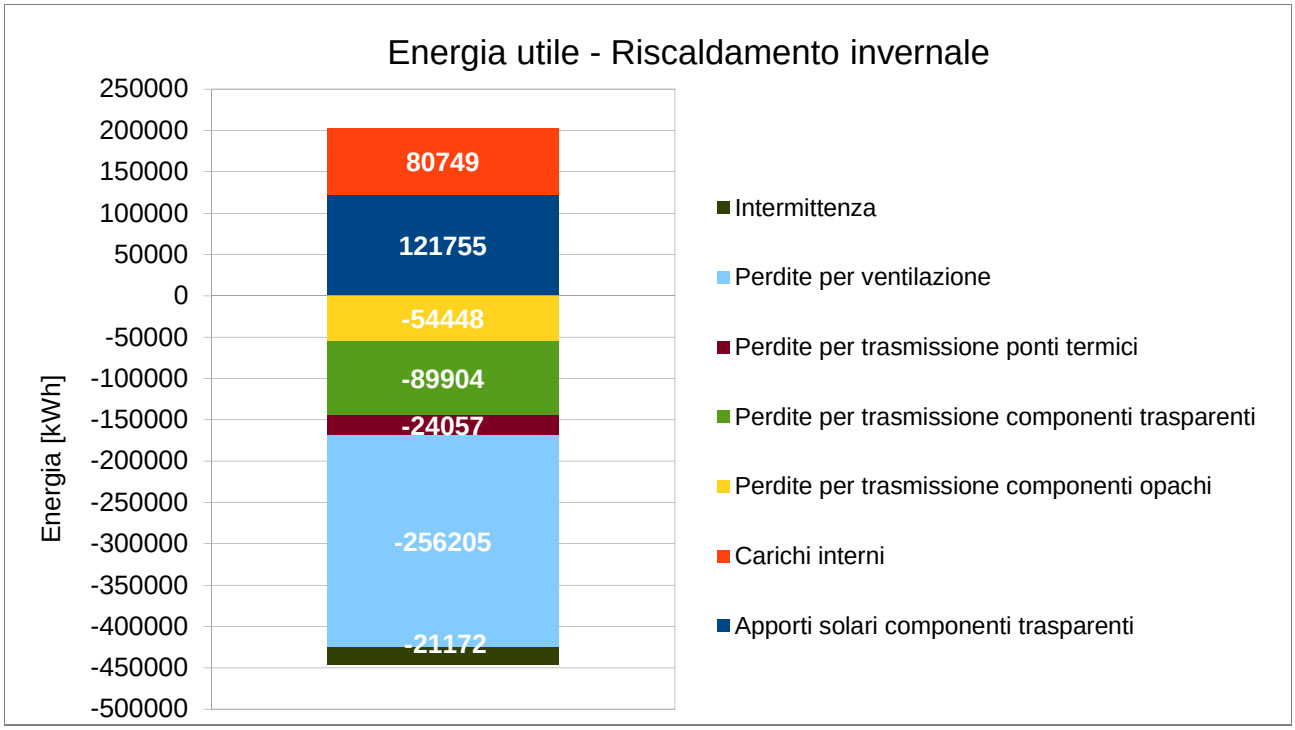


Figura 56. Fabbisogno di energia utile suddiviso nei singoli contributi calcolati.

Sono stati inoltre confrontati i dati ottenuti per l'edificio NZEB con quelli dell'edificio esistente, sia per la parte relativa alle dispersioni (trasmissione e ventilazione) che per quella relativa agli apporti gratuiti (in particolare apporti solari su componenti vetrate e apporti interni).

Tabella 57. Fabbisogno di energia utile nel periodo invernale: confronto tra stato di fatto e stato di progetto NZEB.

	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Esistente	702438	256205	159281	80749	739145
NZEB	168408	256205	121755	80749	243282

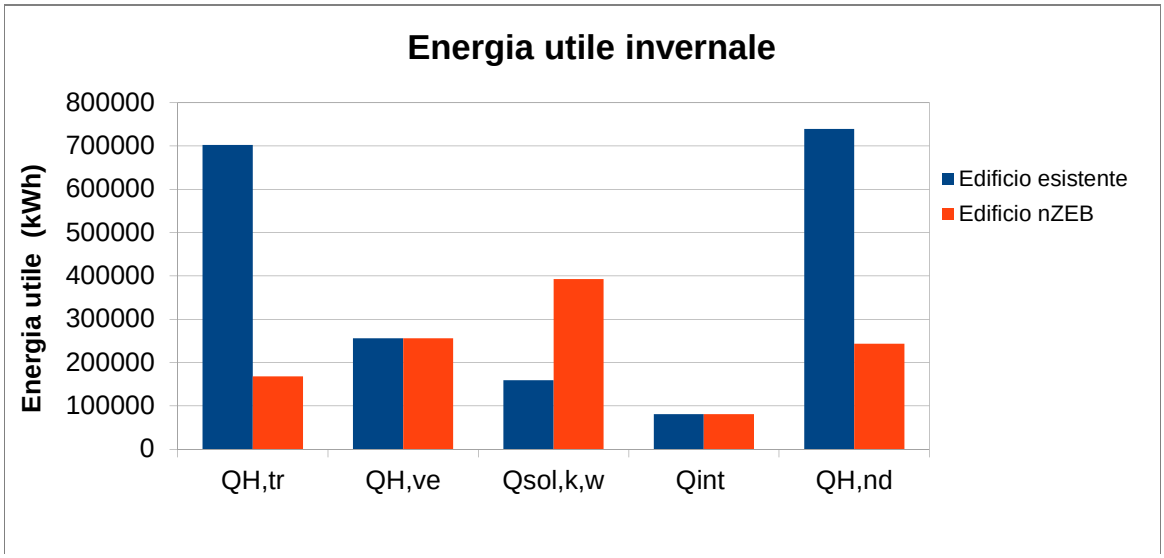


Figura 57. Confronto tra i dati di energia utile nel periodo invernale dell'edificio esistente con l'edificio NZEB.

In Figura 58 è illustrata la drastica riduzione di perdite per trasmissione e l'assenza di variazione per le perdite per ventilazione e per gli apporti interni (in condizioni standard non sono variati, dall'esistente all'NZEB). Si osserva inoltre una diminuzione degli apporti solari sui componenti vetrati ($Q_{sol,k,v}$).
Nella stagione estiva, i dati invece sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 58. Fabbisogno di energia utile nel periodo estivo.

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ $[kWh]_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,C}$ [-]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Gennaio	56177	86046	1422223	17747	15080	32283	25,8	0,227	3
Febbraio	47708	73692	121400	22654	13620	35536	25,8	0,293	15
Marzo	44673	68658	113332	30947	1580	44885	25,8	0,395	103
Aprile	34462	53500	87962	39242	14593	52296	25,8	0,584	952
Maggio	24734	39233	63968	47941	15080	61050	25,8	0,837	7524
Giugno	13601	21141	34743	49036	14593	61533	25,8	0,858	31740
Luglio	7053	11146	18199	52353	15050	65146	25,8	0,858	49539
Agosto	7341	11146	18487	45913	15080	59052	25,8	0,858	43199
Settembre	14601	22004	36605	37181	14593	50324	25,8	0,858	18934
Ottobre	28126	43246	71372	30436	15080	44441	25,8	0,609	1004
Novembre	40232	61698	101929	19518	14593	33510	25,8	0,328	28
Dicembre	52868	81142	134009	15549	15080	30142	25,8	0,225	3
Totali	**371578**	**572652**	**944230**	**408517**	**177551**	**570198**			**153044**

Si riportano anche a confronto i dati dell'edificio esistente con i dati dell'edificio NZEB ottenuto con gli interventi di retrofit ipotizzati.

Tabella 59. Fabbisogno di energia utile nel periodo estivo: confronto tra edifico esistente e stato di progetto NZEB.

	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Edificio esistente	1069871	420407	482821	150310	129989
Edificio NZEB	371578	572652	392647	177551	153044

Si osservi che i dati delle perdite per ventilazione e degli apporti interni sono cambiati nell'NZEB rispetto all'edificio esistente, contrariamente a quanto riscontrato per il periodo invernale; questo però è dovuto al fatto che il software ha calcolato anche per l'edificio NZEB la stagione di raffrescamento estivo (come previsto dalla specifica tecnica UNI/TS 11300-1, par. 10.2 per l'asset rating) ed essa risulta più lunga di quella dell'edificio esistente e di fatto pari all'intero arco dell'anno (365 giorni/anno). Questo indica che per tutti i mesi dell'anno i valori degli apporti termici gratuiti (solari ed interni) sono tali da superare sempre nel bilancio energetico le dispersioni.
Dunque le perdite per ventilazione e gli apporti gratuiti sono calcolati su un numero di giorni maggiore rispetto all'edificio esistente e quindi risultano aumentati rispetto alla situazione di partenza.

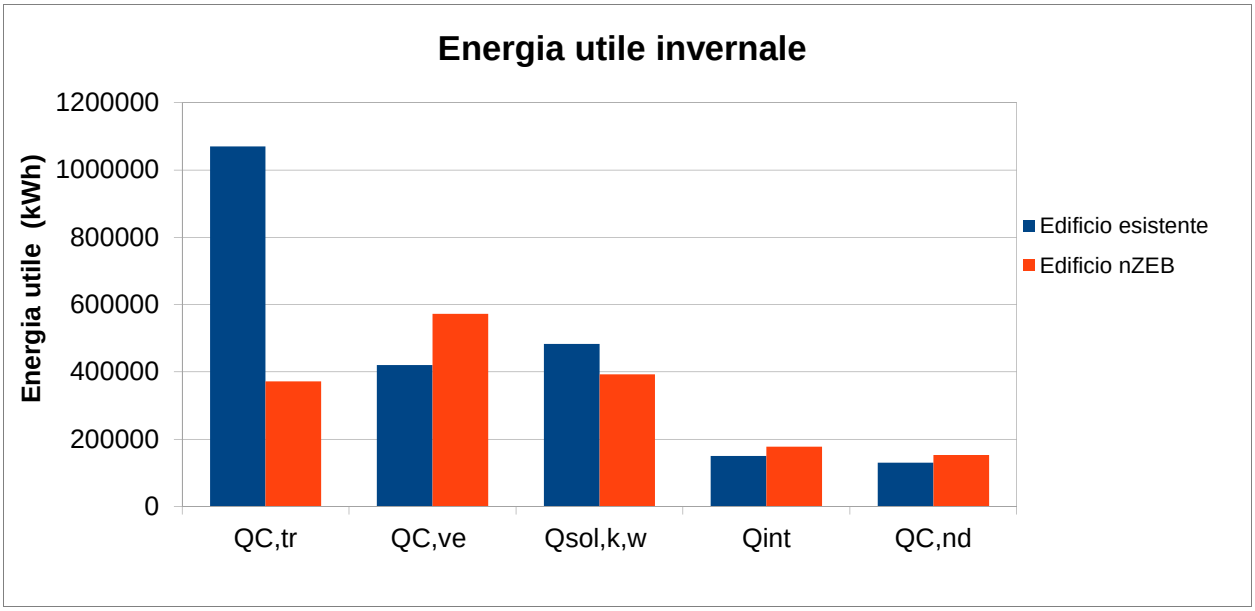


Figura 58. Confronto tra i dati di energia utile nel periodo estivo o dell'edificio esistente con l'edificio NZEB.

Anche per il periodo estivo, si rileva ovviamente una drastica riduzione di perdite per trasmissione dallo stato esistente all'NZEB, visti gli interventi significativi simulati sull'involucro edilizio (componenti opachi, componenti trasparenti).

Esaminando invece i dati di fabbisogno di energia primaria nell'edificio NZEB, emerge che essi risultano decisamente ridotti, non soltanto grazie agli interventi simulati sull'involucro ma chiaramente anche grazie al contributo delle fonti energetiche rinnovabili. Il fabbisogno di acqua calda sanitaria risulta ad esempio completamente soddisfatto dagli impianti solari termici.

Si riportano di seguito, per ciascun servizio energetico presente nella soluzione NZEB (e quindi quelli presenti nell'edificio esistente), i dati mensili calcolati di fabbisogno di energia primaria.

Tabella 60. Fabbisogno di energia primaria per il servizio di riscaldamento invernale per l'edificio NZEB.

Mese	**gg**	**$Q_{H,gn,ln}$ [kWh]**	**$Q_{H,aux}$ [kWh]**	**Q_{pH} [kWh]**
Gennaio	31	17893	18898	36851
Febbraio	28	12940	13665	26646
Marzo	31	8817	9276	18087
Aprile	15	2494	2590	5050
Maggio	-	-	-	-
Giugno	-	-	-	-
Luglio	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-
Settembre	-	-	-	-
Ottobre	-	-	-	-
Novembre	30	8490	8931	17416
Dicembre	31	16251	17164	33470
TOTALE	**166**	**66887**	**70523**	**137520**

Il fabbisogno di energia primaria per il servizio di riscaldamento riportato nella tabella sopra è ancora privo del contributo dell'impianto fotovoltaico, che il software Edilclima inserisce in un passaggio successivo, per

cui il dato annuale riportato sopra risulta essere superiore rispetto al dato finale di fabbisogno riportato nelle tabelle successive.

Tabella 61. Fabbisogno di energia primaria per il servizio di produzione ACS per l'edificio NZEB.

Mese	gg	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Qp_W [kWh]
Gennaio	31	0	0	0
Febbraio	28	0	0	0
Marzo	31	0	0	0
Aprile	30	0	0	0
Maggio	31	0	0	0
Giugno	30	0	0	0
Luglio	31	0	0	0
Agosto	31	0	0	0
Settembre	30	0	0	0
Ottobre	31	0	0	0
Novembre	30	0	0	0
Dicembre	31	0	0	0
TOTALE	**365**	**0**	**0**	**0**

Contrariamente a quanto avviene per il solare fotovoltaico, si osservi che il software per tabellare i risultati ottenuti per la produzione di ACS, riporta i dati di energia primaria al netto del contributo del solare termico, che risulta peraltro superiore al fabbisogno effettivo per la produzione di ACS, come illustrato dalla tabella sottostante, che riporta i dati relativi al solare termico.

Tabella 62. Dati relativi all'impianto solare termico a servizio della produzione di ACS nell'edificio NZEB.

Mese	$Q_{W,solare}$ [kWh]	Qp_W con solare [kWh]	Qp_W senza solare [kWh]	$\%_{cop,W}$ [%]
Gennaio	166	0	432	100
Febbraio	150	0	390	100
Marzo	166	0	432	100
Aprile	161	0	418	100
Maggio	166	0	432	100
Giugno	80	0	209	100
Luglio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Settembre	80	0	209	100
Ottobre	166	0	432	100
Novembre	161	0	418	100
Dicembre	166	0	432	100
TOTALI	**1463**	**0**	**3805**	**100**

La copertura del fabbisogno dovuto alla produzione di ACS con il solare termico è, come si rileva, pari al 100% per ogni mese dell'anno.

Tabella 63. Fabbisogno di energia primaria per il servizio di illuminazione artificiale interna per l'edificio NZEB.

Mese	Giorni	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,u}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,est}$ [kWh_{el}]	Q_{ill} [kWh_{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
Gennaio	31	4707	2415	0	7123	0	7123	13889
Febbraio	28	4070	2181	0	6252	0	6252	12191
Marzo	31	4334	2415	0	6749	0	6749	13161
Aprile	30	4139	2337	0	6477	0	6477	12629
Maggio	31	4247	2415	0	6662	0	6662	12991
Giugno	30	4113	2337	0	6450	0	6450	12577
Luglio	31	4244	2415	0	6659	0	6659	12985
Agosto	31	4257	2415	0	6672	0	6672	13010
Settembre	30	4196	2337	0	6533	0	6533	12739
Ottobre	31	4454	2415	0	6869	0	6869	13395
Novembre	30	4500	2337	0	6837	0	6837	13333
Dicembre	31	4771	2415	0	7186	0	7186	14013
TOTALI		**52032**	**28437**	**0**	**80470**	**0**	**80470**	**156916**

Anche per l'illuminazione artificiale, l'energia primaria calcolata per il fabbisogno annuale è ancora priva del contributo del solare fotovoltaico.

Infine, sono riportati nella figura seguente i dati complessivi di fabbisogno di energia primaria, suddivisi in quota non rinnovabile e quota rinnovabile, come previsto dalla normativa cogente. Nella quota rinnovabile sono compresi sia il contributo del solare termico, sia il contributo del solare fotovoltaico, sia inoltre il contributo (per il servizio di riscaldamento) riconducibile all'utilizzo di una pompa di calore acqua/acqua.

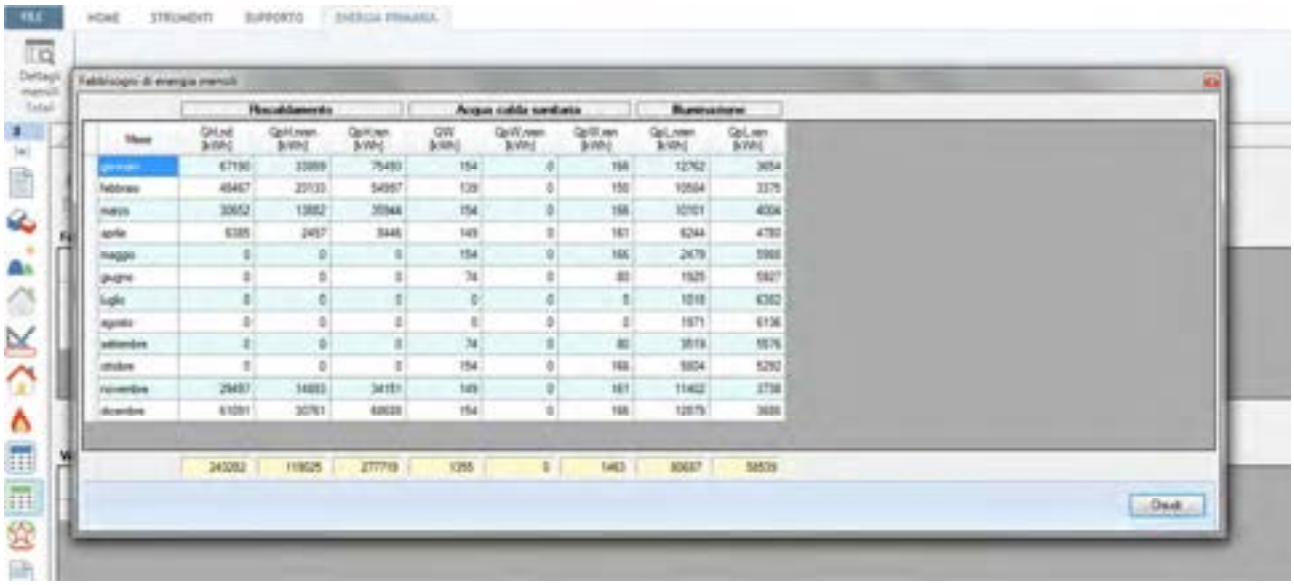


Figura 59. Screenshot Edilclima, ripartizione del fabbisogno di energia primaria (e relative quote di innovabile e non rinnovabile) nei servizi energetici presenti.

Per evidenziare la significativa riduzione del fabbisogno energetico (e quindi dei relativi consumi) si sono confrontati i dati di energia primaria calcolati per l'edificio esistente e per l'edificio NZEB ottenuto con gli interventi di retrofit simulati, mettendo in evidenza la quota rinnovabile e la quota non rinnovabile calcolate per ciascun servizio energetico, ottenendo i risultati riportati nella tabella sotto.

Tabella 64. Fabbisogno di energia primaria per l'edificio esistente e l'edificio NZEB.

	$Qp_{H,nren}$ [kWh]	$Qp_{H,ren}$ [kWh]	$Qp_{W,nren}$ [kWh]	$Qp_{W,nren}$ [kWh]	$Q_{p,ill,nren}$ [kWh]	$Q_{p,ill,ren}$ [kWh]
Edificio esistente	1 129 386	6 986	3 805	917	156 912	37 820
Edificio NZEB	119 025	277 719	0	1 463	80 687	58 539

Dai grafici riportati di seguito viene evidenziato sia la riduzione della quota non rinnovabile di energia primaria richiesta per ciascun servizio energetico, sia il contemporaneo incremento della quota rinnovabile per ciascun servizio energetico, dovuta l'introduzione degli interventi di retrofit che hanno portato l'edificio esistente al raggiungimento dello standard NZEB.

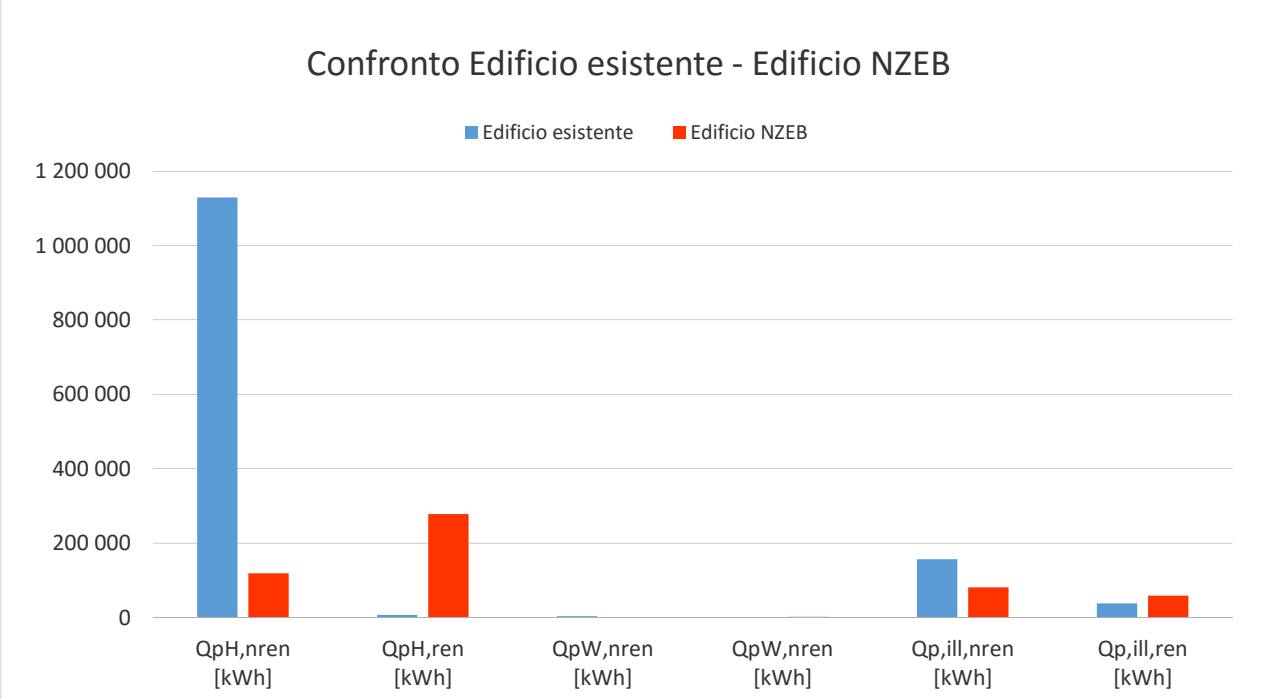


Figura 60. Confronto del fabbisogno di energia primaria, suddivisa in quota non rinnovabile e quota rinnovabile, dei servizi energetici presenti nell'edificio esistente e nell'edificio NZEB.

Si sono anche confrontate le energie primarie globali, nella quota non rinnovabile, tra le due situazioni messe a confronto, rilevando che l'edificio NZEB ha portato ad una riduzione di oltre il 75% del fabbisogno di energia primaria globale (non rinnovabile) dell'edificio esistente.

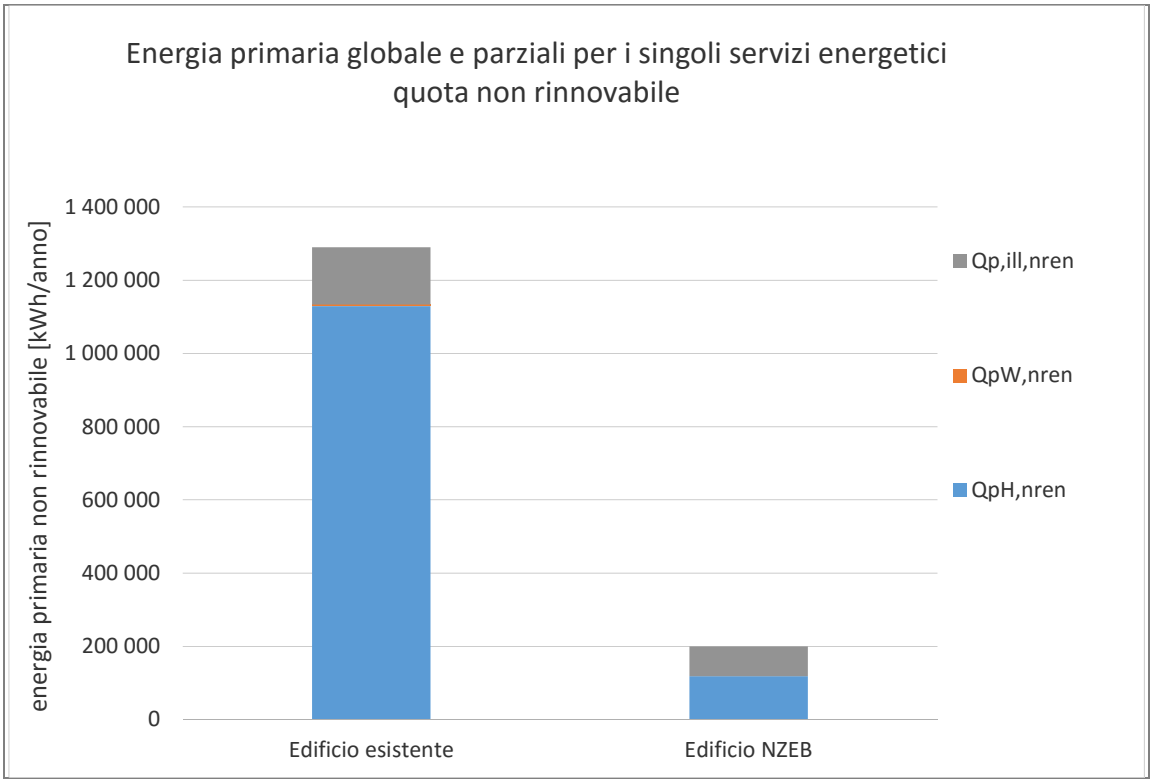


Figura 61. Confronto del fabbisogno non rinnovabile di energia primaria, suddivisa nei diversi servizi energetici presenti sia per l'edificio esistente sia per l'NZEB.

Sono stati inoltre confrontati i risultati ottenuti per l'edificio esistente e per l'edificio sottoposto agli interventi di retrofit, con riferimento ai parametri da rispettare, ai sensi di quanto previsto nel D.I. Requisiti Minimi, per poter effettivamente considerare l'edificio ristrutturato coi requisiti previsti per l'edificio NZEB. Nella tabella sotto sono riportati, per i singoli parametri ed indici, sia i dati ricavati per l'edificio esistente, sia per l'edificio ristrutturato, sia infine il valore limite di riferimento (corrispondente all'edificio di riferimento simulato parallelamente all'edificio ristrutturato con gli interventi di retrofit previsti).

Tabella 65. Confronto dei risultati tra edificio esistente ed edificio NZEB rispetto ai requisiti fissati dalla normativa.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	u.m.	Edificio esistente Valore calcolato	Edificio NZEB Valore calcolato	Edificio riferimento Valore limite
H'_T	W/m^2K	2,11	**0,49**	**≤ 0,53**
$A_{sol,est}$ / $A_{sup\ utile}$	-	0,46	**0,25**	**≤ 0,40**
$EP_{H,nd}$	kWh/m^2	145,87	**48,01**	**≤ 56,22**
η_H	-	65,00 %	**61,30 %**	**≥ 56,70 %**
EP_H	kWh/m^2	-	**-**	**-**
$EP_{W,nd}$	kWh/m^2	-	**-**	**-**
η_W	-	28,70 %	**92,60 %**	**≥ 69,20 %**
EP_W	kWh/m^2	-	**-**	**-**
EP_V	kWh/m^2	-	**-**	**-**
$EP_{C,nd}$	kWh/m^2	25,65	**30,20**	**≤ 30,68**

Tabella 66. Confronto dei risultati per le rinnovabili tra l'edificio esistente e l'edificio NZEB rispetto ai requisiti fissati dalla normativa.

Efficienza, parametro, indice di prestazione	u.m.	Edificio esistente Valore calcolato	Edificio NZEB Valore calcolato	Edificio riferim. Valore limite
Copertura del fabbisogno energetico con fonti rinnovabili (riscaldamento + condizionamento + ACS)	%	0	**70,11**	**≥ 55**
Copertura del fabbisogno energetico con fonti rinnovabili (ACS)	%	0	**100,00**	**≥ 55**
Potenza elettrica di impianti alimentati da fonti rinnovabili	kW_e	0	**37,40**	**≥ 36,7**

A fronte di questi dati di fabbisogno di energia primaria e considerando anche che la quota coperta dalla presenza di impianti alimentati da fonti rinnovabili, è stato simulato con il Software Edilclima il consumo dell'unico vettore energetico utilizzato nell'edificio NZEB, cioè l'energia elettrica, nella misura che riportiamo nella tabella sottostante.
Si ricorda che anche in questo caso, come per l'edificio esistente, i consumi stimati sono riferiti alle condizioni standard e quindi a servizi energetici (in particolare riscaldamento e produzione d ACS) funzionanti in modo continuo in tutto l'arco delle 24 ore.
Si precisa inoltre che il dato di produzione dell'impianto fotovoltaico viene riportato in Tabella 67 con il segno negativo proprio perché si tratta di una produzione, e non di un consumo, di energia elettriche, che va sottratta dunque al fabbisogno complessivo di energia elettrica stimata.

Tabella 67. Consumi stimati di gas metano ed energia elettrica.

		Gas metano Nmc/anno	En. elettrica kWhel/anno
stato attuale – condizioni standard	**Riscaldamento**	0	70524
	ACS	0	0
	Illuminazione	0	80469
	Fotovoltaico	0	-48579
	TOTALE	0	150993
	TOTALE (al netto del contributo del FV)	0	102417

Riportiamo di seguito un grafico che illustra la ripartizione dei consumi di energia elettrica tra i diversi servizi energetici ed un diagramma da cui si rilevano, per ciascun servizio energetico, i consumi corrispondenti.

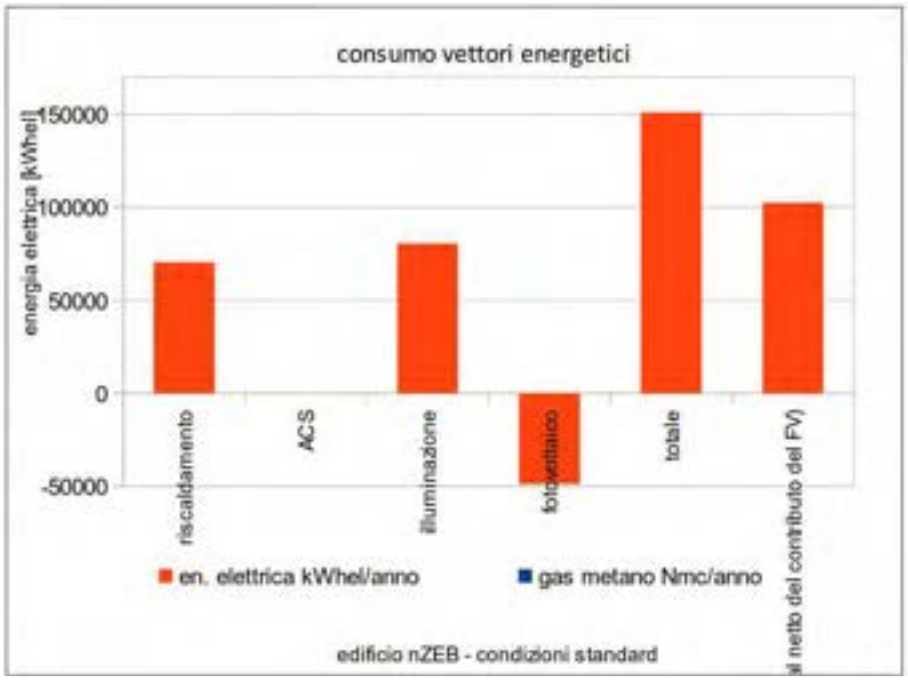


Figura 62. Consumi annuali di energia elettrica in riferimento ai relativi servivi servizi igienici.

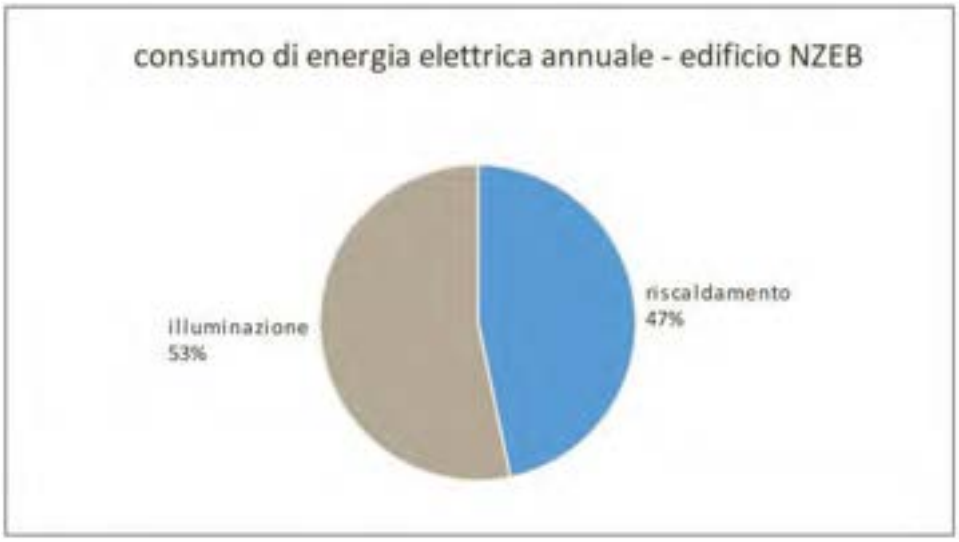


Figura 63. Incidenza percentuale dei consumi annuali di energia elettrica in riferimento ai relativi servizi energetici.

Si può osservare, in particolare, che il 53% dei consumi è dovuto all'illuminazione, e solo il restante 47% al riscaldamento. L'energia necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria risulta invece completamente coperta dall'energia termica prodotta con il sistema solare termico.

Infine, allo scopo di valutare gli interventi di retrofit in termini di riduzione dell'impatto ambientale, sono state determinate le emissioni equivalenti di diossido di carbonio (CO_2eq) dall'edificio esistente (pre-intervento) e dall'edificio NZEB (Tabella 68). Il calcolo della produzione di CO_2eq è stato effettuato in accordo con quanto indicato nella Norma UNI EN 15603, nella quale è indicato è un fattore di produzione di CO_2eq pari a 0,77 kg/kWh in caso di gas naturale e di 0,617 kg/kWh elettrico secondo il mix definito dall'UCPTE (Union for the Coordination of Production and Transmission of Electricity). Dai risultati ottenuti si osserva che gli interventi di retrofit che consentono all'edifico di essere classificato come NZEB, producono una riduzione annua di 283 t di CO_2eq emessa nell'ambiente.

Tabella 68. Energia e CO_2eq prodotta annualmente dall'edificio e esistente e dall'edificio NZEB.

	Edificio esistente (pre intervento)		Edificio NZEB (post intervento)	
	Energia	**CO_2eq emessa**	**Energia**	**CO_2eq emessa**
Gas metano	1033243,4 kWh_{th}	286208,4 [kg/anno]	0	0 [kg/anno]
En. elettrica	97283 kWh_{el}	60023,6 [kg/anno]	102417 kWh_{el}	63191,3 [kg/anno]
	Totale	**346232,0 [kg/anno]**	**Totale**	**63191,3 [kg/anno]**

CO_2eq evitata	**283040,7 [kg/anno]**

4.3.2 Simulazione degli interventi di retrofit su SEAS e risultati energetico-ambientali ottenuti

La simulazione degli interventi di miglioramento energetico proposti ha comportato alcune modifiche sull'involucro, ma soprattutto sulla parte del software dedicata all'impianto. Nella logica del multi zona, le modifiche impiantistiche hanno previsto il cambiamento di un solo parametro nella zona presa in esame come principale a cui sono associati i millesimi. Invece gli interventi legati all'involucro hanno previsto l'azione su tutti i componenti in tutte le zone.

In particolare per la simulazione della sostituzione delle finestre originarie abbiamo cancellato le vecchie finestre presenti in ogni zona e abbiamo inserito le nuove, dotate di caratteristiche geometriche e di schermature analoghe, ma con caratteristiche termiche riqualificate. Se ne dà un esempio nelle figure sottostanti, in cui si vede, dall'elenco a destra, che le finestre originarie (quelle nominate con la lettera iniziale "V") sono state riqualificate aggiungendo la lettera "N" alla fine del nome.

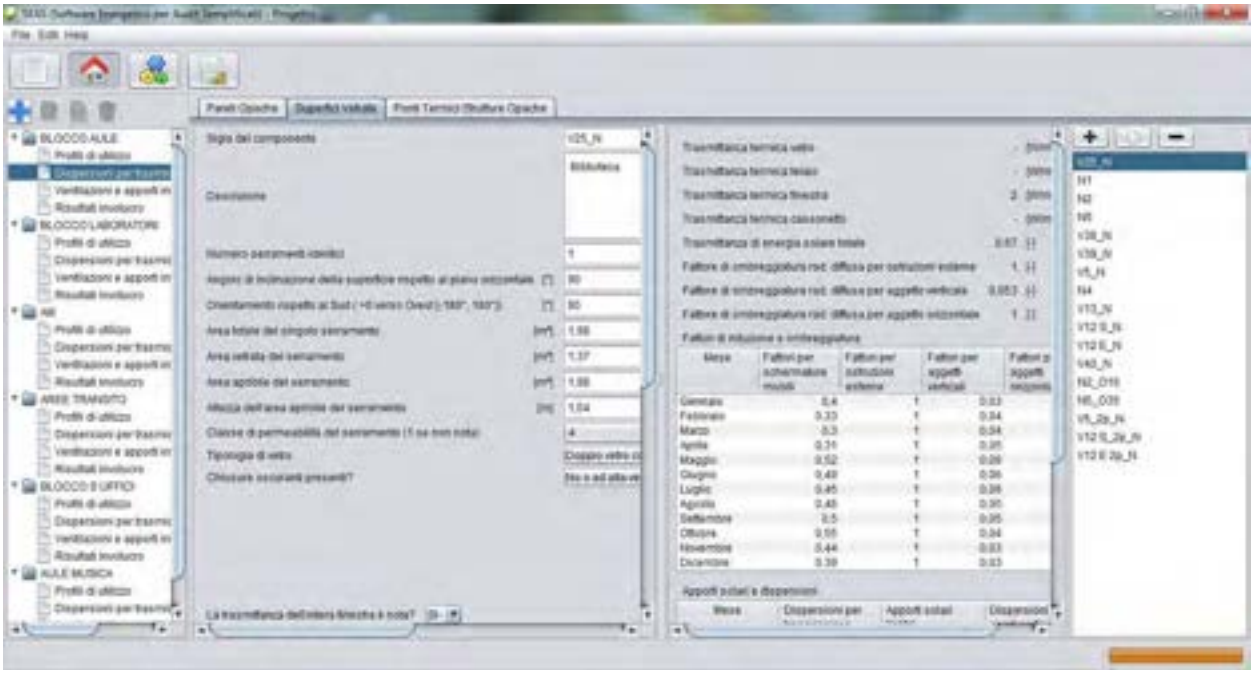


Figura 64. Screenshot SEAS, definizione nuove superfici vetrate.

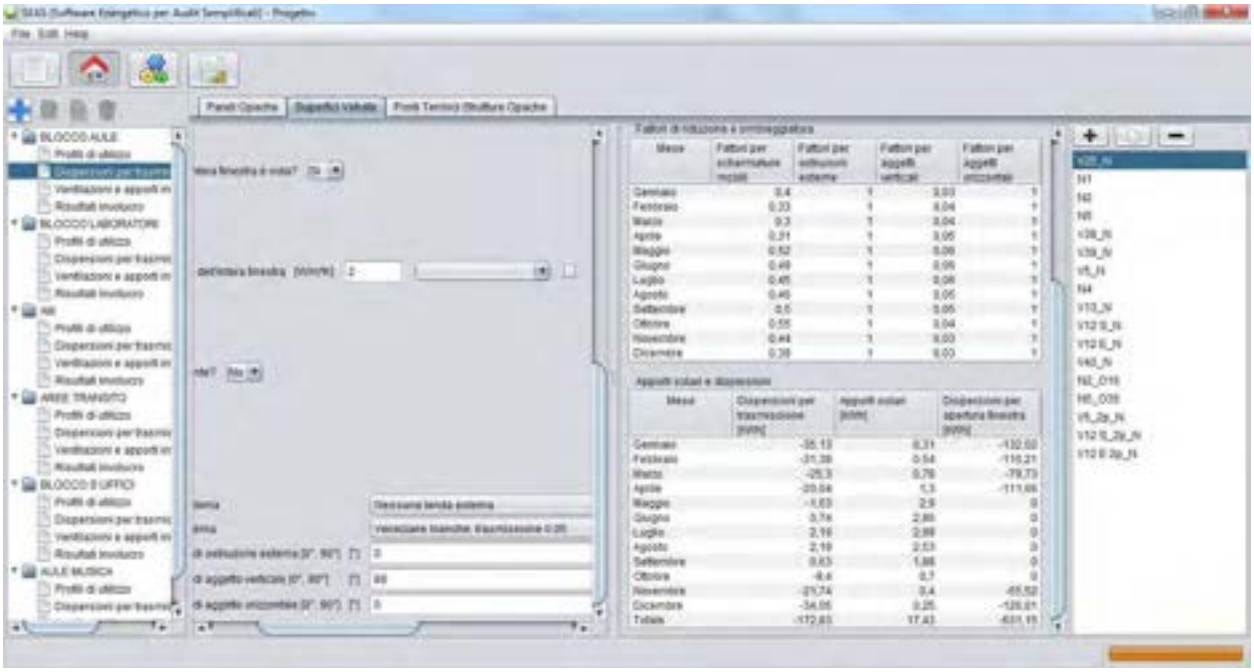


Figura 65. Screenshot SEAS, definizione ombreggiamenti nuove superfici vetrate.

Per la simulazione del cambiamento del sistema di illuminazione interna abbiamo agito, zona per zona, sul foglio "illuminazione" e abbiamo variato la potenza degli apparecchi, mantenendo inalterato sia il tipo di gestione (manuale), il numero di apparecchi (n°434), sia il profilo di utilizzo (numero di ore di utilizzo mensile). Si nota quindi, rispetto alla potenza inserita nello stato attuale di 31 kW che la potenza allo stato riqualificato è di circa 16 kW. Si ricordi che, poiché il software SEAS effettua il calcolo del fabbisogno per illuminazione secondo UNI EN 15193 (tenendo conto della luce naturale presente e delle schermature solari e altri aggetti), e poiché invece nella realtà dell'utilizzo da parte degli utenti si è notato che l'illuminazione è accesa a prescindere dall'illuminazione naturale, è stato necessario introdurre un valore di potenza fittizia per ottenere dei consumi elettrici realistici.

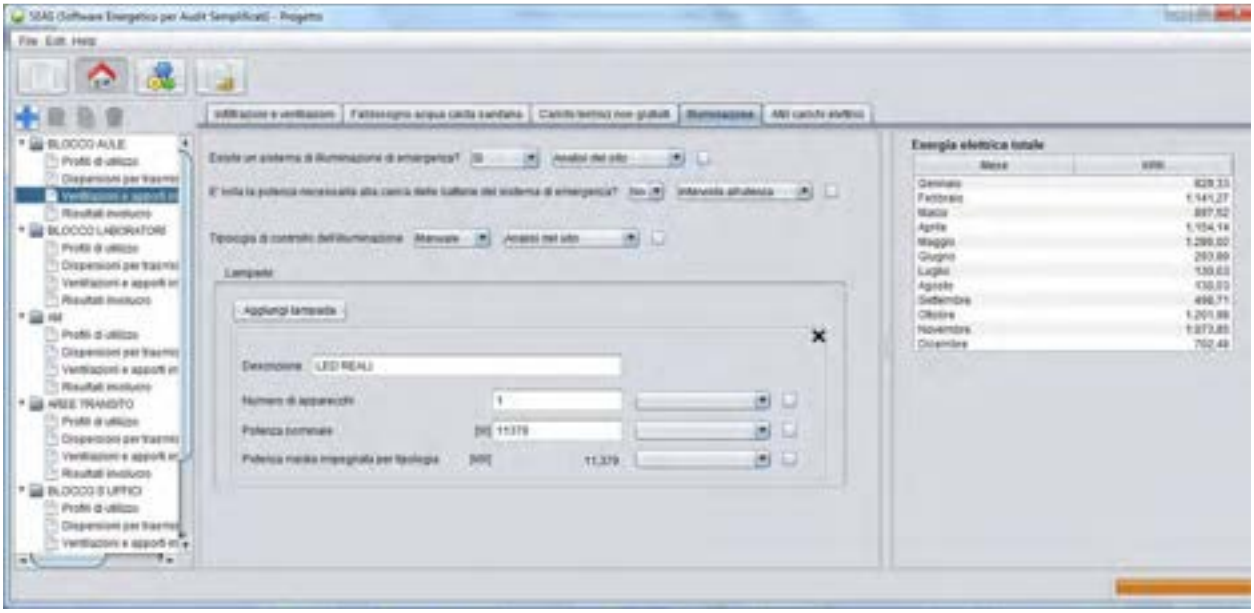


Figura 66. Screenshot SEAS, definizione nuovo sistema di illuminazione.

Per la simulazione del cambiamento dei sistemi di regolazione e di generazione, dopo aver inserito tutte le modifiche nell'involucro, abbiamo proceduto a ricalcolare i millesimi di riscaldamento e di energia elettrica che sono variati rispetto al modello iniziale passando i rispettivamente a 153/1000 e a 347/1000.
Per la simulazione della regolazione termica di locale si è variato la schermata del sottosistema di regolazione scegliendo dal menu a tendina (proporzionale con banda morta di 1°C). Allo stesso tempo, poiché nella simulazione dello stato attuale avevamo inserito dei valori di temperatura di set point abbastanza bassi, a fronte dell'intervento si sono variati anche quelli zona per zona, tenendo anche conto della distribuzione dell'aria (e quindi penalizzando l'aula magna che è un doppio volume).

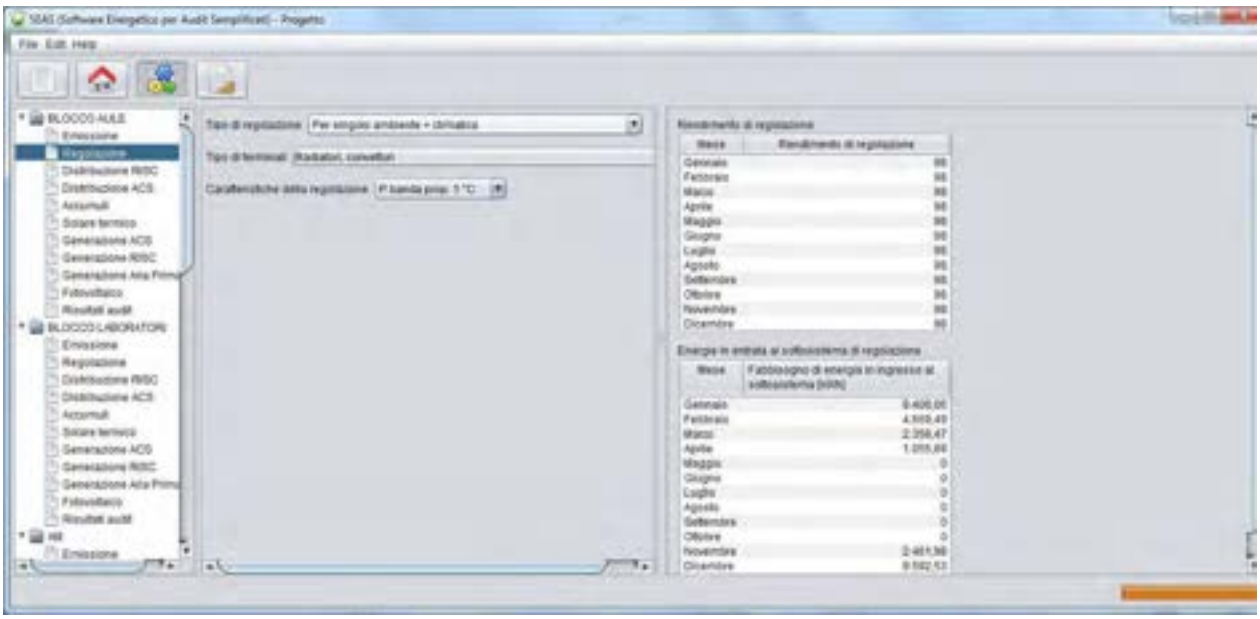


Figura 67. Screenshot SEAS, definizione terminali di emissione.

Per la simulazione della pompa di calore a gas metano ad assorbimento, si sono tolti i dati delle vecchie caldaie e si è inserita una nuova macchina di potenza nominale 320 kW (derivata dalla somma delle otto macchine da circa 40 kW i cui dati sono stati ricavati dal parco macchine commerciale) con le caratteristiche tecniche specificate nella figura sottostante. Questo sistema di generazione

Figura 68. Screenshot SEAS, inserimento potenze pompa di calore ad assorbimento.

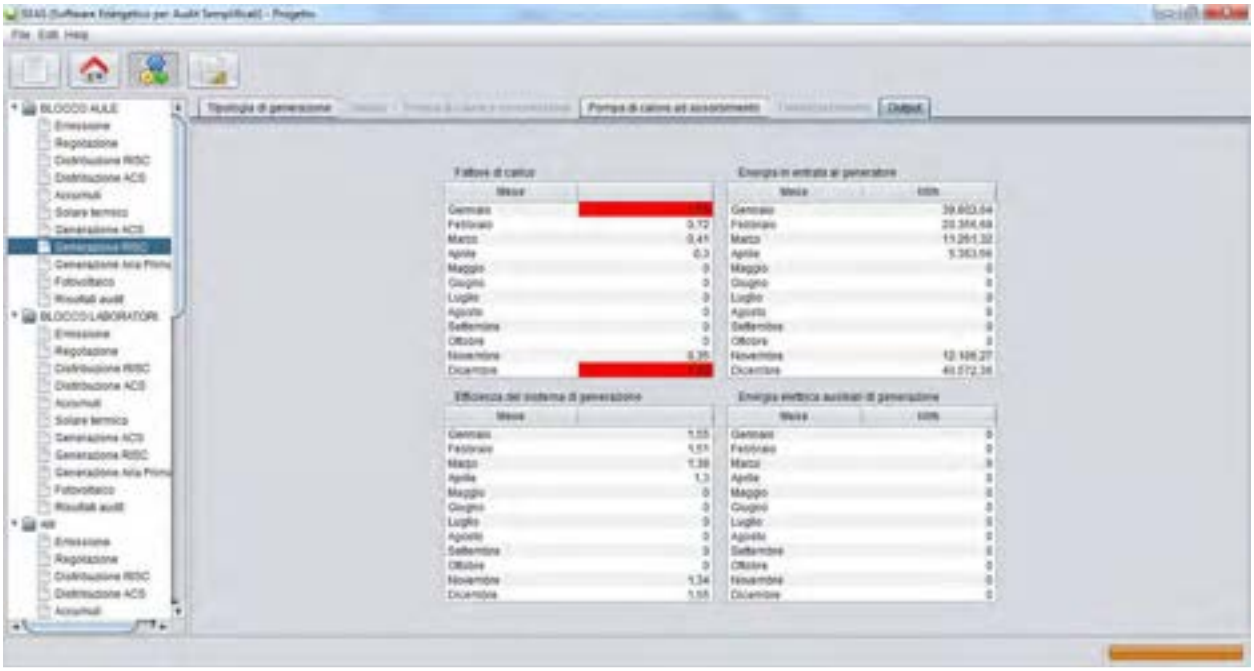


Figura 69. Screenshot SEAS, fattori di carico del sistema di generazione.

Infine per la simulazione dell'installazione in copertura dell'impianto fotovoltaico si è utilizzata la routine stand alone del software SEAS espressamente dedicata. Essa prevede l'inserimento dei dati climatici e di contestualizzazione ambientale, nonché dell'angolo di inclinazione e l'orientamento, che poiché nel nostro caso si tratta di un impianto orizzontale abbiamo impostato a 0. Per quanto riguarda la tipologia di impianto, abbiamo scelto un impianto policristallino, aderente alla falda di copertura piana (per motivi di integrazione paesaggistica) e con un rendimento del sistema tradizionale (80%). Secondo tale configurazione i risultati in termini di producibilità dell'impianto sono quelli riportati in Figura 67, che prevedono, nel modello cautelativo di Evans, una producibilità annua di 24391 kWh, con un numero di ore

equivalenti annue di 1039. Tali valori sono stati quindi copiati manualmente nel file SEAS di simulazione degli interventi, nel foglio dedicato.

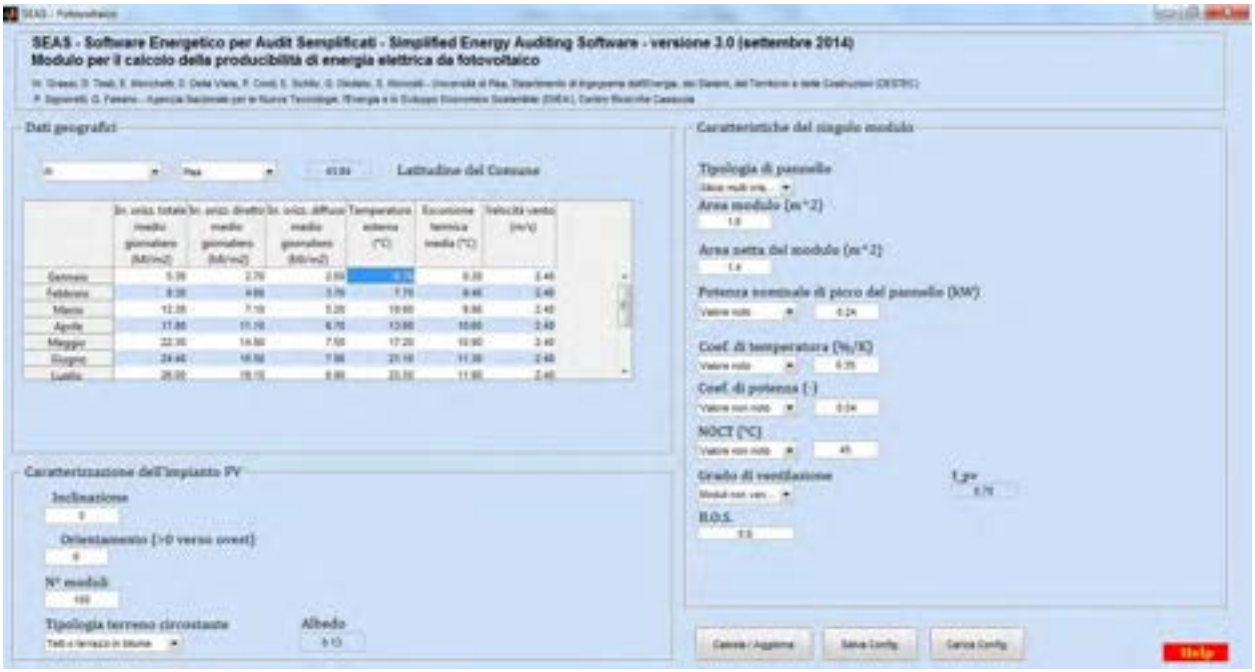


Figura 70. Screenshot SEAS, modulo per il calcolo della producibilità e di energia elettrica da fotovoltaico.

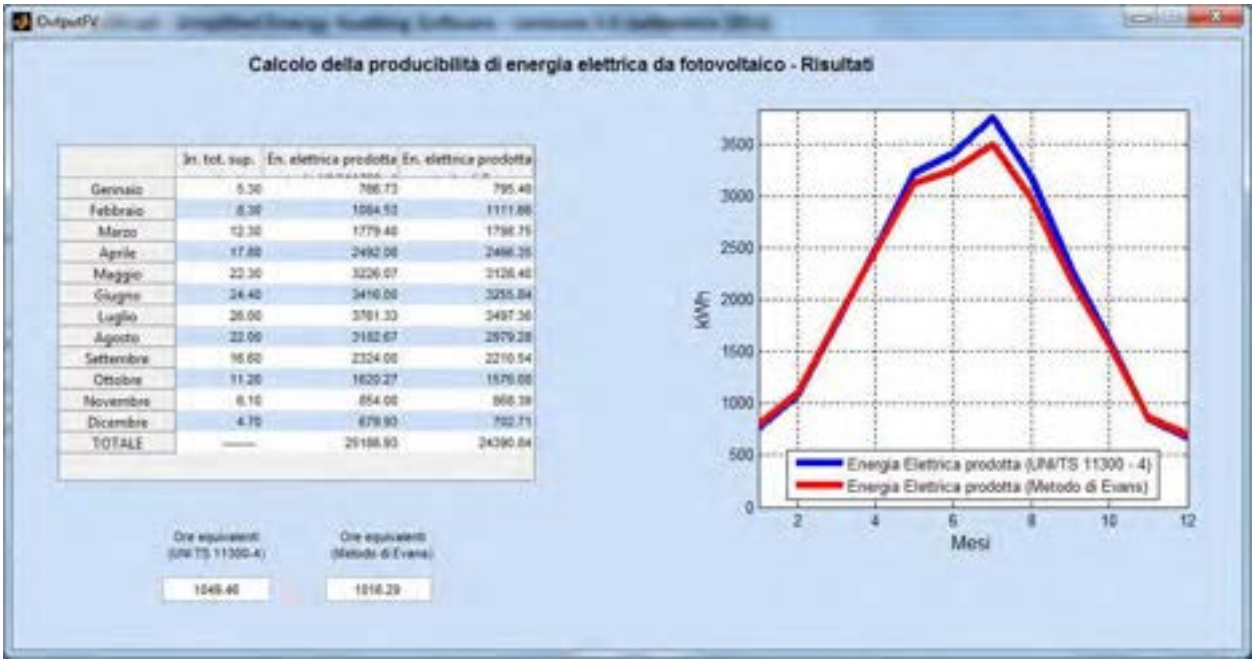


Figura 71. Screenshot SEAS, risultati producibilità di energia elettrica da fotovoltaico.

La simulazione dello stato riqualificato con il software SEAS permette di verificare la bontà degli interventi considerati e realizzati nel loro insieme.

Si riportano infatti nelle tabelle sottostanti i risultati in termini di energia termica ed elettrica dell'edificio sia nello stato attuale che in quello riqualificato, notando che il risparmio di energia termica dello stato riqualificato rispetto a quello attuale si attesta a quasi il 50%, mentre quello di energia elettrica è del 70%.

Tabella 69. Fabbisogni di energia elettrica e termica post-intervento e risparmi di energia ottenuta.

Mese	Fabbisogno energia elettrica [kWh el]	Fabbisogno energia termica [kWh th]	Risparmio energia elettrica	Risparmio energia termica
Gen	3433,71	39803,64	49%	41%
Feb	4122,37	20356,68	53%	57%
Mar	2561,91	11261,32	64%	57%
Apr	2733,23	5353,56	69%	54%
Mag	2473,06	0	74%	0%
Giu	-1027,97	0	136%	0%
Lug	-2060,13	0	240%	0%
Ago	-1542,05	0	204%	0%
Set	766,81	0	82%	0%
Ott	3752,34	0	58%	0%
Nov	4087,49	12106,27	50%	55%
Dic	3101,72	40572,36	48%	43%
Tot	**22402,48**	**129453,8**	**70%**	**48%**

Dal grafico successivo si nota poi che il risparmi odi energia termica è tanto maggiore nei mesi di mezza stagione (aprile e novembre), e che nei mesi estivi, grazie alla produzione dell'impianto fotovoltaico, il bilancio elettrico è positivo per l'edificio.

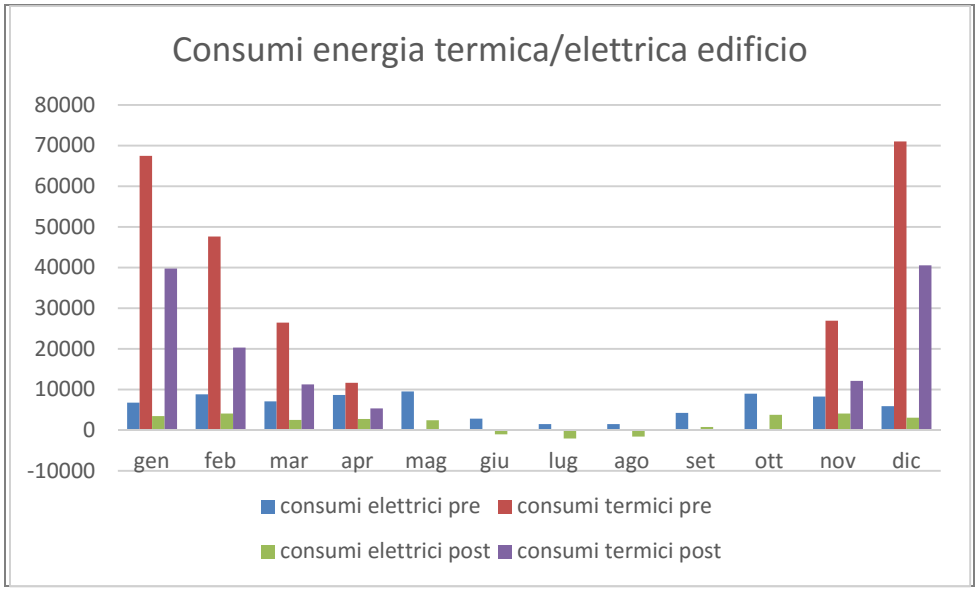


Figura 72. Consumi elettrici e termici pre e post intervento.

Infine, allo scopo di valutare gli interventi di retrofit in termini di riduzione dell'impatto ambientale, sono state determinate le emissioni equivalenti di diossido di carbonio dall'edificio pre e post intervento (Tabella 70). Il calcolo della produzione di CO_2eq è stato effettuato in accordo con quanto indicato nella Norma UNI EN 15603, nella quale è indicato è un fattore di produzione di CO_2eq pari a 0,77 kg/kWh in caso di gas metano e di 0,617 kg/kWh elettrico secondo il mix definito dall'UCPTE. Dai risultati ottenuti si osserva che

gli interventi di retrofit, individuati dalla diagnosi energetica, producono una riduzione annua di circa 66 t di CO_2eq emessa nell'ambiente.

Tabella 70. Energia e CO_2eq prodotta annualmente dall'edificio e esistente e dall'edificio NZEB.

	Edificio esistente (pre intervento)		Edificio NZEB (post intervento)	
	Energia	**CO_2eq emessa**	**Energia**	**CO_2eq emessa**
Gas metano	251116 kWh_{th}	69559,1 [kg/anno]	129453,8 kWh_{th}	35858,7 [kg/anno]
En. elettrica	74065 kWh_{el}	45698,1 [kg/anno]	22402,5 kWh_{el}	13822,3 [kg/anno]
	Totale	**115257,2 [kg/anno]**	**Totale**	**49681,0 [kg/anno]**

CO_2eq evitata	**65576,2 [kg/anno]**

4.4 Analisi economica e di sensibilità

Sulla base dei costi riportati nel precedente paragrafo 4.2, è stata svolta l'analisi economica degli interventi di retrofit energetico, simulati nel paragrafo 4.3. Essa comprende il calcolo dei seguenti indicatori:

- tempo di ritorno semplice (TRS) [anni];
- tempo di ritorno attualizzato (TR) [anni];
- indice di profitto (IP);
- indice energetico globale (IEG) [kWh/€];
- valore netto semplice (VN) [k€];
- valore attuale netto (VAN) [k€];
- costo totale semplice (CT) [k€];
- tasso interno di rendimento (TIR) [%].

Sia per gli interventi finalizzati all'NZEB, sia per quelli di diagnosi energetica, è stata poi eseguita un'analisi di sensibilità ai parametri economici più incerti: tasso di inflazione del prezzo dell'energia elettrica, tasso di inflazione del prezzo del gas naturale e tasso di interesse per l'attualizzazione.

4.4.1 Analisi economica e di sensibilità sugli interventi finalizzati all'NZEB

Per prima cosa, i fabbisogni energetici pre- e post-intervento calcolati con software certificato CTI e metodologia A2 (asset rating) sono stati normalizzati rispetto ai consumi effettivi, basati sull'estrapolazione della firma energetica, così come spiegato nel paragrafo 3.1.5, e sulle letture reali dei contatori.

I dati di input nominali per l'analisi economica sono riportati nella figura sottostante. Essi includono: prezzo, vita utile e costo di manutenzione del sistema esistente e del nuovo sistema (tenendo conto anche degli ammortamenti), i tassi di inflazione e di interesse e gli incentivi a cui si prevede di accedere (si è ipotizzato di sfruttare il Conto Termico 2.0, con il 65% di incentivo, ripartito in 5 rate annuali, per tutti gli interventi finalizzati al raggiungimento della classe NZEB).

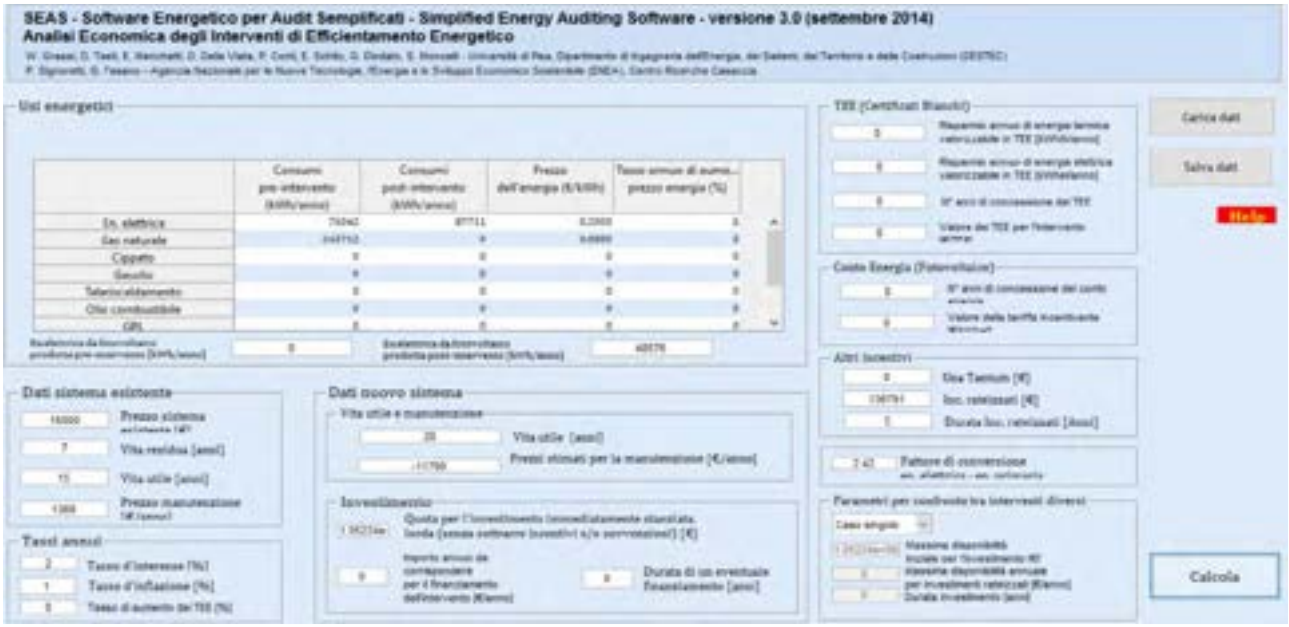


Figura 73. Dati di input analisi economica degli interventi finalizzati all'NZEB.

I risultati dopo 20 anni di vita del sistema NZEB, ottenuti tramite il software SEAS 3.0 – Routine Analisi Economica, sono mostrati nella figura sottostante. Il costo totale semplice dopo 20 anni, non riportato in figura, è di 483 k€.

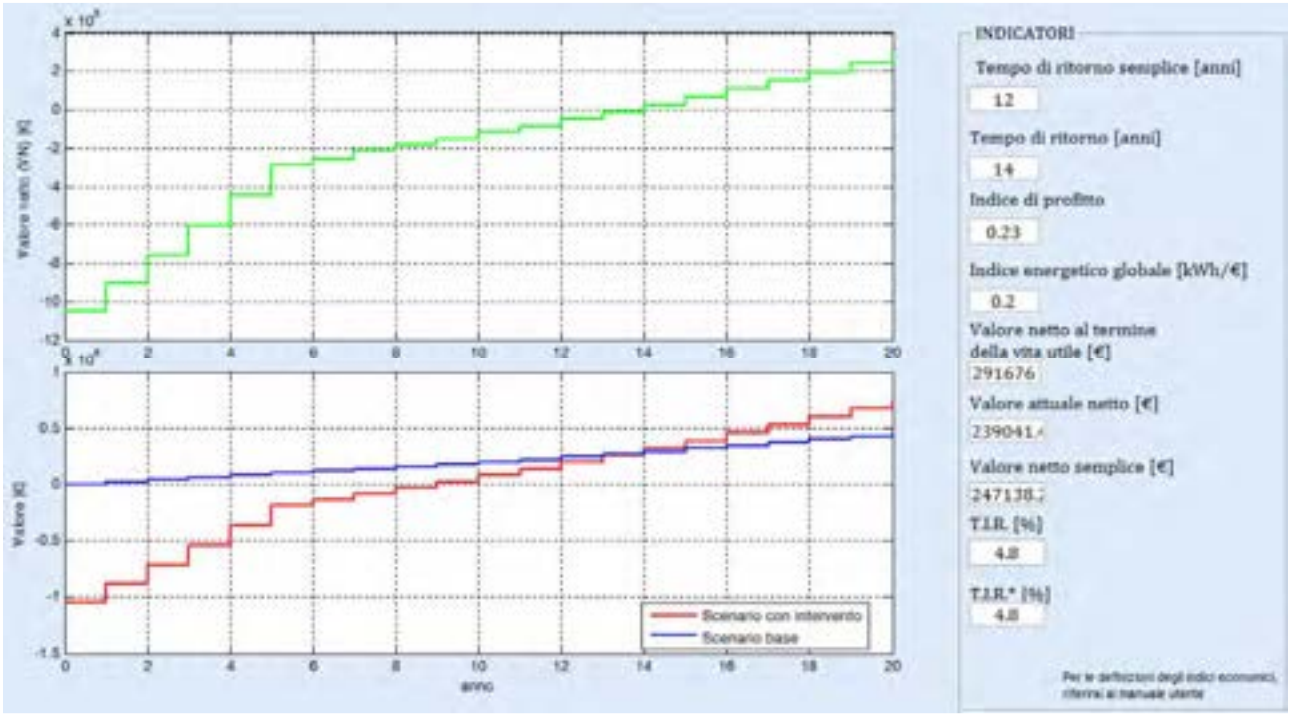


Figura 74. Screenshot SEAS, analisi economica degli interventi finalizzati all'NZEB.

Nella seguente tabella è infine riportata la sensibilità dei valori di TR, IP, VAN e TIR, variando, una alla volta, i suddetti tassi economici.

Tabella 71. Sensibilità dei parametri economici al variare dei tassi economici per gli interventi finalizzati all'NZEB.

Parametro di sensibilità	TR [anni]	IP	VAN [k€]	TIR [%]
Tasso di inflazione dell'energia elettrica				
5% (valore nominale)	14	0.23	239	4.8
1%	14	0.25	265	5.1
9%	14	0.19	198	4.4
Tasso di inflazione del gas naturale				
3% (valore nominale)	14	0.23	239	4.8
1%	15	**0.14**	**152**	**3.9**
5%	13	**0.33**	**349**	**5.8**
Tasso di interesse				
2% (valore nominale)	14	0.23	239	4.8
1%	**12**	0.27	282	4.8
3%	**16**	0.17	179	4.8

Come si può osservare, i risultati economici (e in particolare il tempo di ritorno e il TIR) appaiono piuttosto robusti e, in ogni caso, sempre positivi.

4.4.2 Analisi economica e di sensibilità sugli interventi di diagnosi energetica

A differenza del caso precedente, non è stato necessario normalizzare i fabbisogni energetici pre- e post-intervento calcolati col software SEAS, avendo impiegato la metodologia A3 (tailored rating) ed avendo già ottenuto una convergenza tra fabbisogni reali e fabbisogni simulati.

I dati di input nominali per l'analisi economica sono riportati nella figura sottostante. Anche in questo caso si è previsto di accedere al Conto Termico 2.0, ottenendo il 65% di incentivo (ripartito in 5 rate annuali) per l'installazione della pompa di calore e il 40% di incentivo per la sostituzione degli infissi e delle lampade.

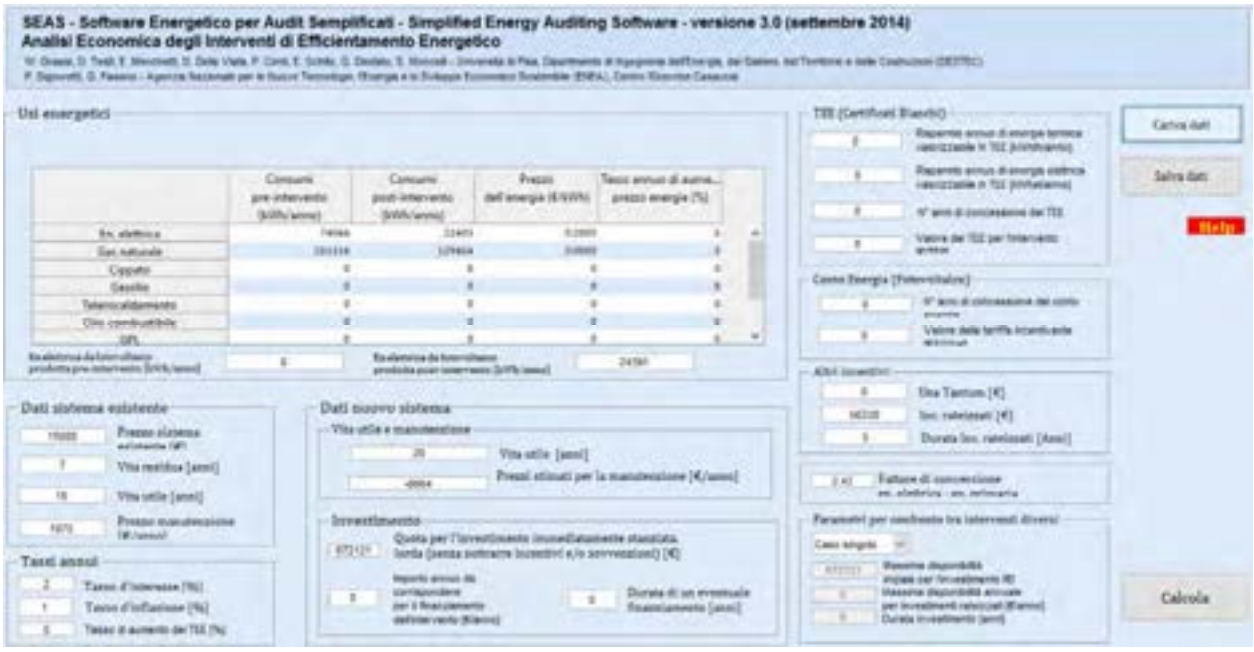


Figura 75. Dati di input per l'analisi economica degli interventi di diagnosi energetica.

I risultati dopo 20 anni di vita del sistema riqualificato, ottenuti tramite il software SEAS 3.0 – Routine Analisi Economica, sono mostrati nella figura sottostante. Il costo totale semplice dopo 20 anni, non riportato in figura, è di 554 k€.

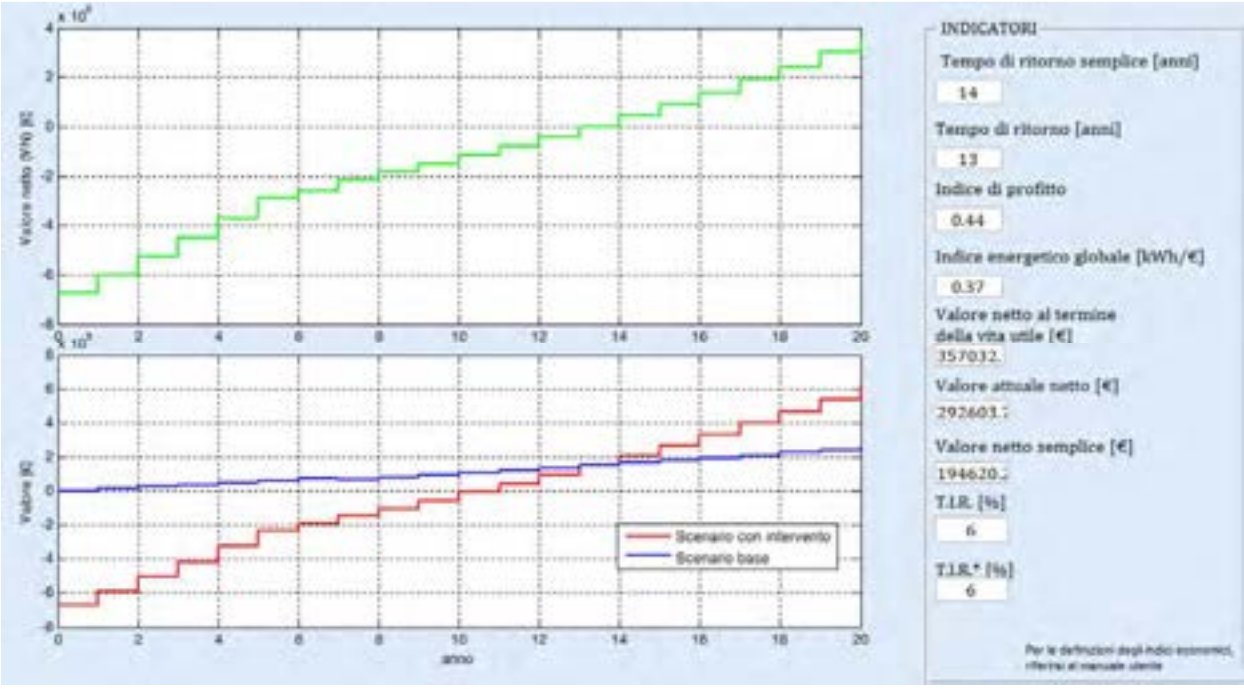


Figura 76. Screenshot SEAS, analisi economica degli interventi finalizzati alla diagnosi energetica.

Nella seguente tabella è infine riportata la sensibilità dei valori di TR, IP, VAN e TIR, variando, una alla volta, i tassi economici.

Tabella 72. Sensibilità dei parametri economici al variare dei tassi economici per gli interventi finalizzati alla diagnosi energetica.

Parametro di sensibilità	TR [anni]	IP	VAN [k€]	TIR [%]
Tasso di inflazione dell'energia elettrica				
5% (valore nominale)	13	0.44	293	6.0
1%	**15**	**0.28**	**188**	**4.8**
9%	**12**	**0.69**	**461**	**7.6**
Tasso di inflazione del gas naturale				
3% (valore nominale)	13	0.44	293	6.0
1%	14	0.37	249	5.6
5%	13	0.52	348	6.6
Tasso di interesse				
2% (valore nominale)	13	0.44	293	6.0
1%	**12**	0.48	322	6.0
3%	**15**	0.37	250	6.0

Come si può osservare, anche in questo caso i risultati economici (e in particolare il tempo di ritorno e il TIR) appaiono piuttosto robusti e, in ogni caso, sempre positivi. Rispetto alla riqualificazione NZEB gli indici

economici sono migliori, ma tale differenza, grazie soprattutto all'utilizzo del 65% di incentivazione dedicata agli NZEB nel Conto Termico, è limitata. Avendo a che fare con una ristrutturazione importante del sistema edificio-impianto, i tempi di ritorno sono da considerare accettabili. L'analisi di interventi semplici e non strutturali, con tempi di ritorno più brevi (ma ovviamente anche con risparmi energetici molto più limitati), non rientra tra gli obiettivi della presente ricerca.

5 Conclusioni

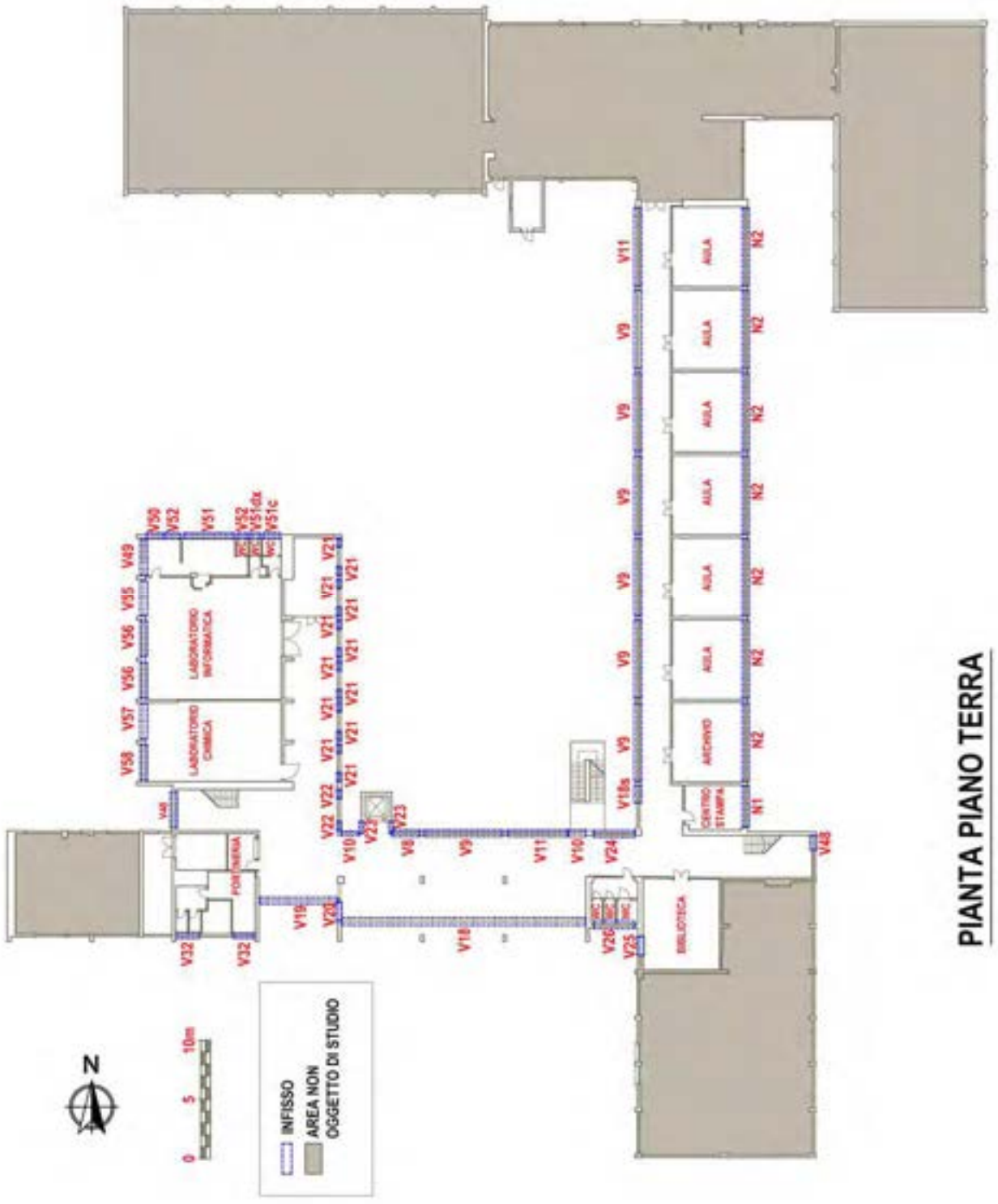
In termini sintetici, nell'ambito della presente ricerca si è valutata la possibilità di riqualificare in NZEB un edificio scolastico di riferimento per la Provincia di Pisa e, più in generale, rappresentativo della zona climatica Centro Italia (zona D). Parallelamente all'obiettivo esemplare di NZEB, si è effettuata anche una diagnosi energetica della scuola, individuando le migliori misure di retrofit, dal punto di vista dei costi-benefici. Mentre per la simulazione finalizzata all'NZEB non si ha validazione del modello col caso reale, al contrario il modello di diagnosi è stato validato attraverso i consumi effettivi, rilevati tramite monitoraggio dei contatori, determinazione della "firma energetica" dell'edificio ed opportune estrapolazioni. Sono stati così presentati due pacchetti di interventi di efficientamento energetico e installazione di sistemi a fonti rinnovabili, entrambi tecnicamente fattibili; per ciascuno, si è eseguita un'analisi economica e di sensibilità, ottenendo risultati positivi in termini di recupero dell'investimento iniziale, anche grazie alle forme di incentivazione attualmente disponibili. Seppure gli indici economici risultino abbastanza in linea tra i due modelli proposti, si nota che il fabbisogno energetico risultante dalla simulazione finalizzata all'NZEB è molto maggiore di quello effettivo, rendendo quindi poco affidabili i valori di risparmio ottenuti, nonostante la normalizzazione eseguita.

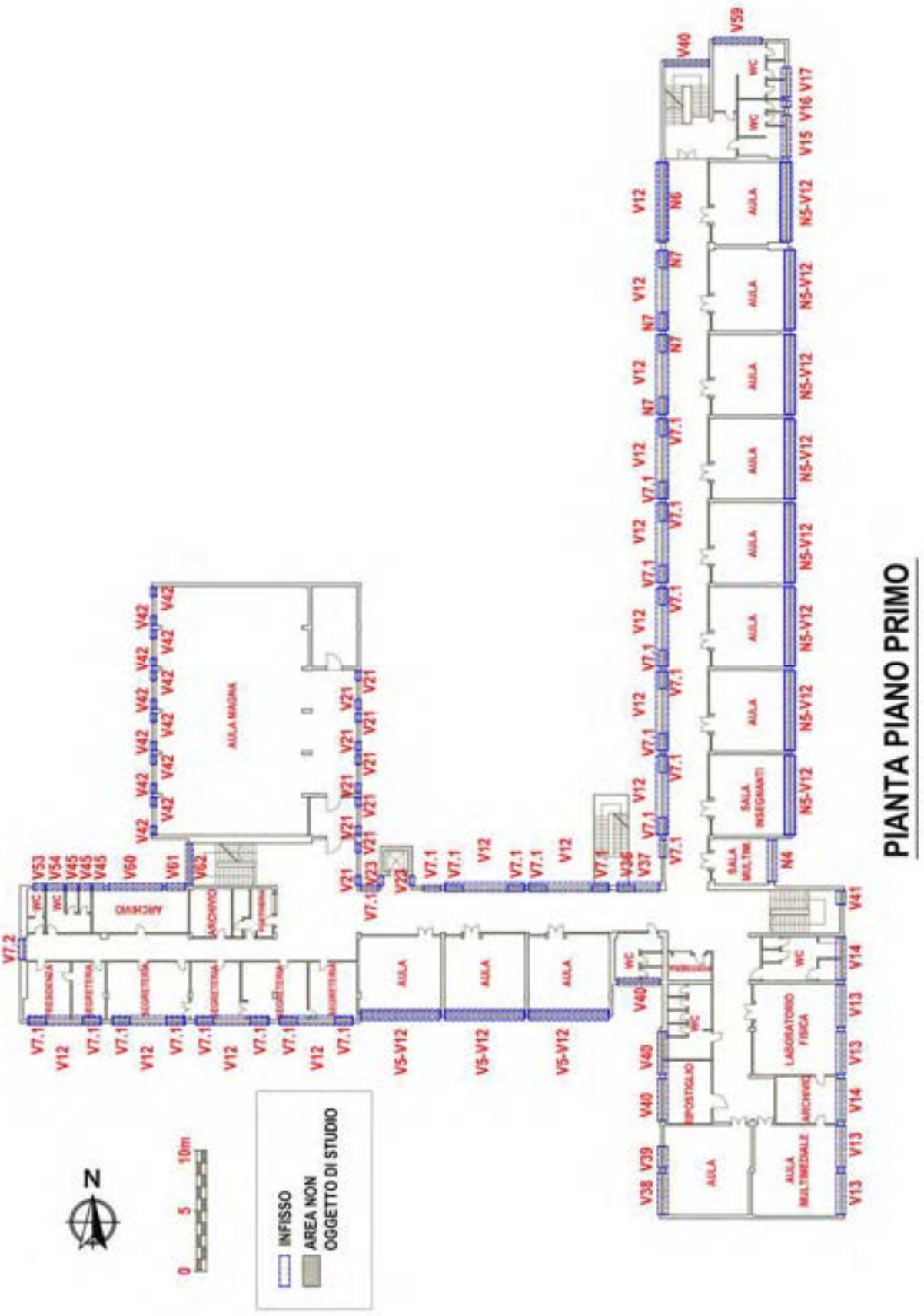
Inoltre, vale la pena di sottolineare che per edifici esistenti e con profili di utilizzo così discontinui come quelli scolastici, la modellazione A2 (asset rating), volta alla realizzazione di un NZEB, può portare a sovrastimare i reali usi energetici, come nel nostro caso studio. I conseguenti interventi di retrofit energetico obbligatori per raggiungere il livello di fabbisogno quasi zero comportano performance talmente alte che sono spesso scorrelati da un effettivo ritorno dell'investimento, risultando economicamente fattibili solo a fronte di forti incentivi. È invece da evidenziare positivamente come l'obiettivo NZEB comporti, nel suo approccio globale di sistema edificio-impianto, la realizzazione di una serie di interventi che, nel loro insieme e nella loro sovrapposizione, determinano miglioramenti maggiori che non se fossero effettuati singolarmente.

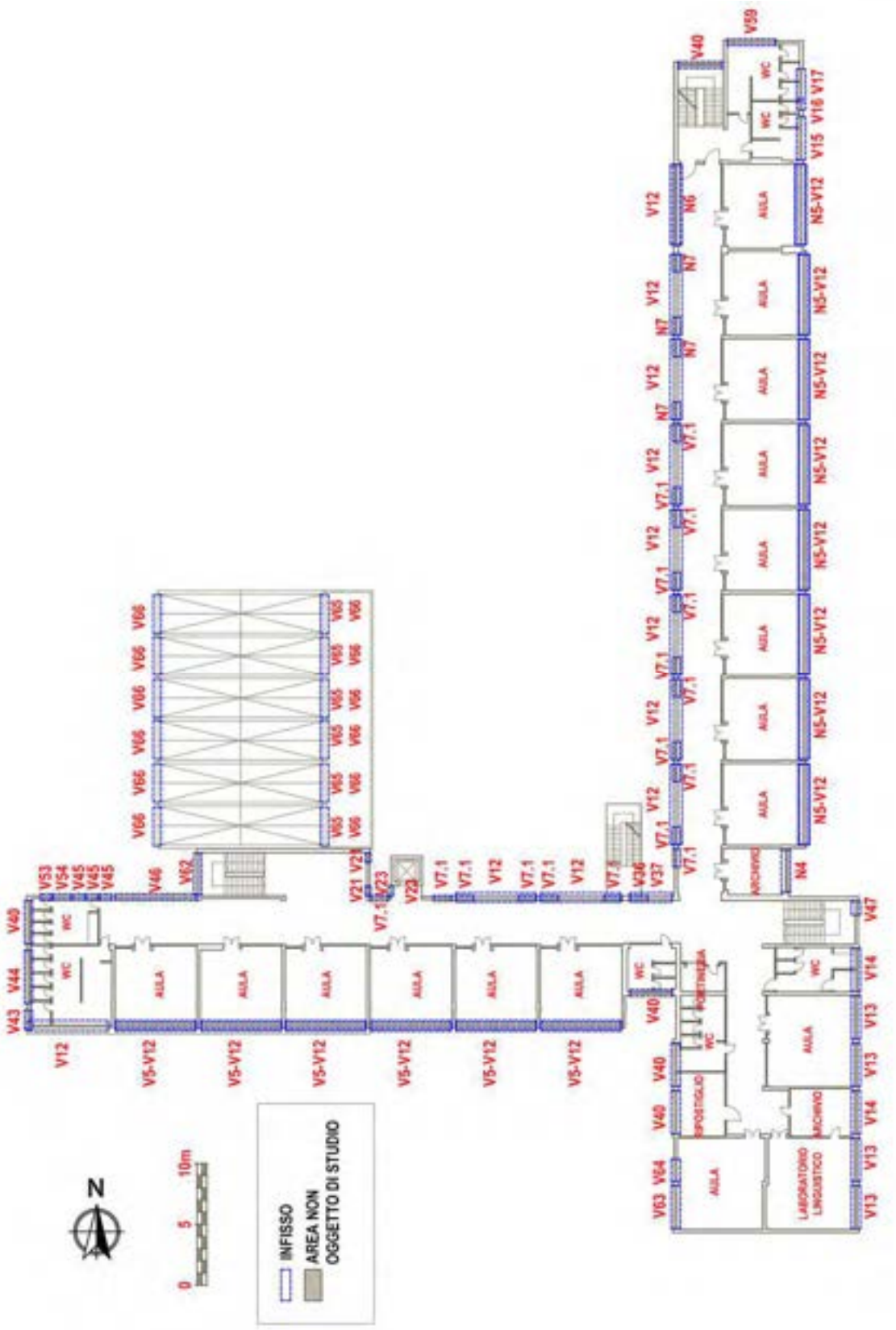
È necessario infine rimarcare che la realizzazione di un edificio NZEB abbandona la logica di realizzazione progressiva nel tempo di piccoli interventi. Da questo punto di vista, interventi di retrofit di modesta entità in termini di investimento economico, come quelli che coinvolgono gli aspetti di regolazione, manutenzione e gestione degli impianti termici ed elettrici, potrebbero comunque portare a discreti benefici energetico-ambientali e tempi di ritorno contenuti. Pur non essendo contemplate, tra gli obiettivi del presente lavoro, l'individuazione e l'analisi di simili misure, si ritiene opportuno che quest'ultime siano eseguite in via preliminare rispetto alle azioni strutturali di riqualificazione energetica, soprattutto per una destinazione d'uso come quella scolastica, caratterizzata da consumi relativamente bassi, per effetto di: (i) limitate ore di utilizzo dei locali e di accensione degli impianti, (ii) chiusure per le vacanze natalizie e pasquali e per la pausa estiva, (iii) ampia presenza di aree a set-point ridotto, come palestre e corridoi, (iv) elevati carichi termici interni nelle aule e nei laboratori, (v) limitato uso di condizionatori per il raffrescamento dei locali.

APPENDICE A . ABACO DELLE STRUTTURE E RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON SOFTWARE DI CALCOLO

A.1 ABACO DEGLI INFISSI



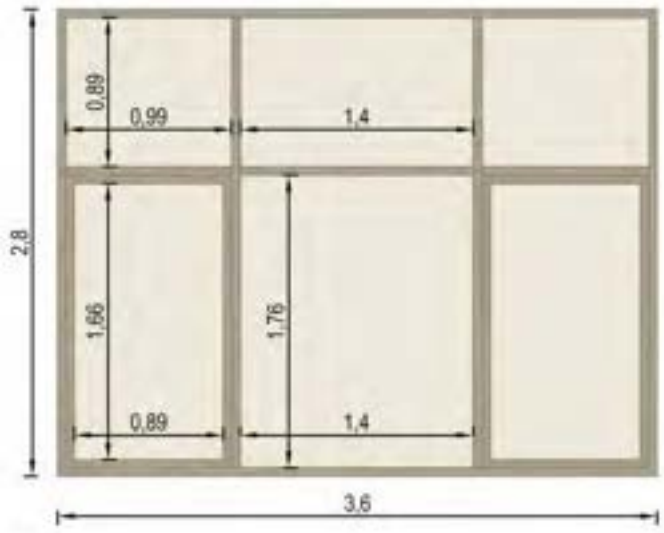

PIANTA PIANO PRIMO
N
0
5
10m
INFISSO
AREA NON OGGETTO DI STUDIO
AULA MAGNA
AULA
SALA INSEGNANTI
SALA MULTIM.
LABORATORIO FISICA
AULA MULTIMEDIALE
ARCHIVIO
WC


PIANTA PIANO SECONDO
N
0
5
10m
INFISSO
AREA NON OGGETTO DI STUDIO
AULA
WC
ARCHIVIO
PORTINERIA
DEPOSITO
LABORATORIO LINGUISTICO

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N1



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	280
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**8,45**
Area telaio (m^2)	**1,63**
Area totale (m^2)	**10,08**
Perimetro vetro (m)	**28,66**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Tre ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N2

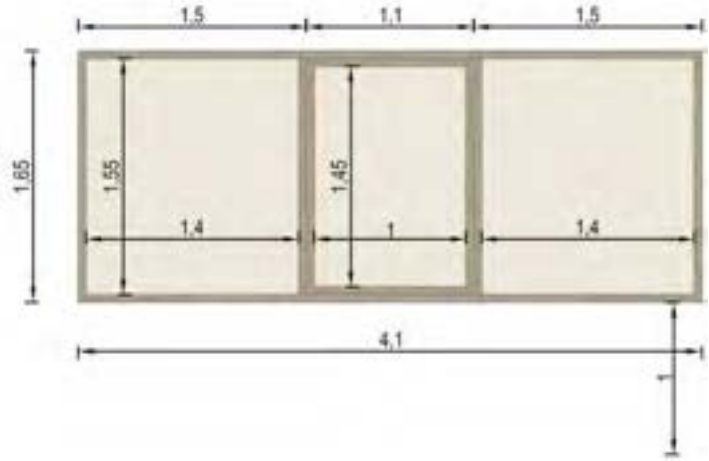
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	280
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**16,13**
Area telaio (m^2)	**2,63**
Area totale (m^2)	**18.76**
Perimetro vetro (m)	**50,86**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Una anta a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N3sx



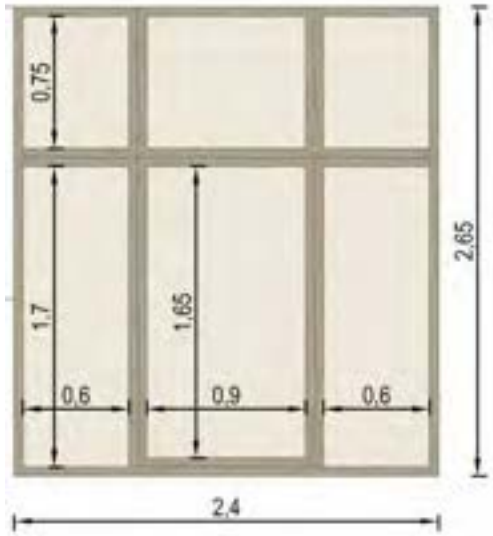
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	165
Larghezza (cm)	410
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,79**
Area telaio (m^2)	**1,03**
Area totale (m^2)	**6,82**
Perimetro vetro (m)	**16,7**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Porta-Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Una anta a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N3dx



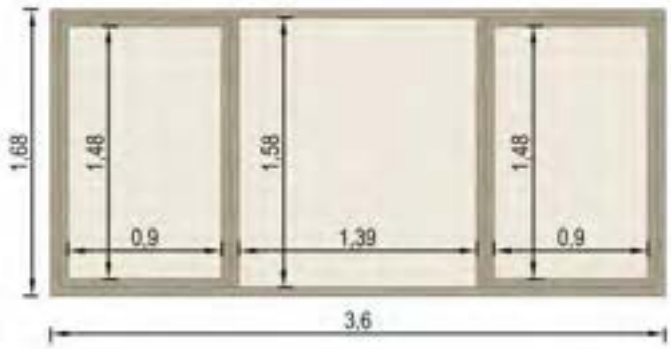
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	265
Larghezza (cm)	240
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,10**
Area telaio (m^2)	**1,525**
Area totale (m^2)	**6,625**
Perimetro vetro (m)	**23,0**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N4



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	168
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,10**
Area telaio (m^2)	**0,95**
Area totale (m^2)	**6,05**
Perimetro vetro (m)	**23,0**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Tre ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

N5

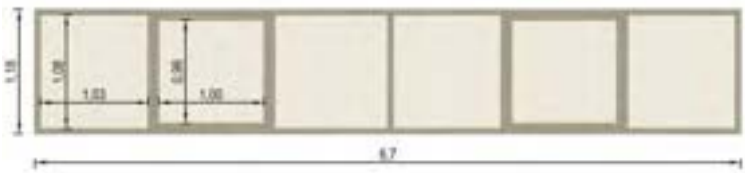
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	168
Larghezza (cm)	662
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**9,23**
Area telaio (m^2)	**1,89**
Area totale (m^2)	**11,12**
Perimetro vetro (m)	**27,24**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

N6



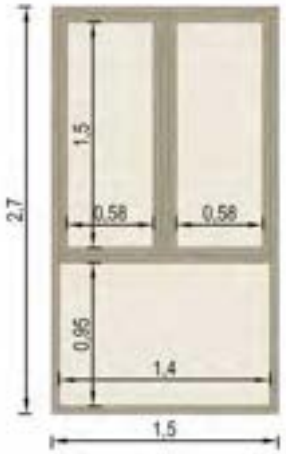
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	118
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**6,4**
Area telaio (m^2)	**1,5**
Area totale (m^2)	**7,9**
Perimetro vetro (m)	**24,8**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio con profilati estrusi
Tipo di vetro	Vetrocamera basso emissivo 10-12-6
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

N7



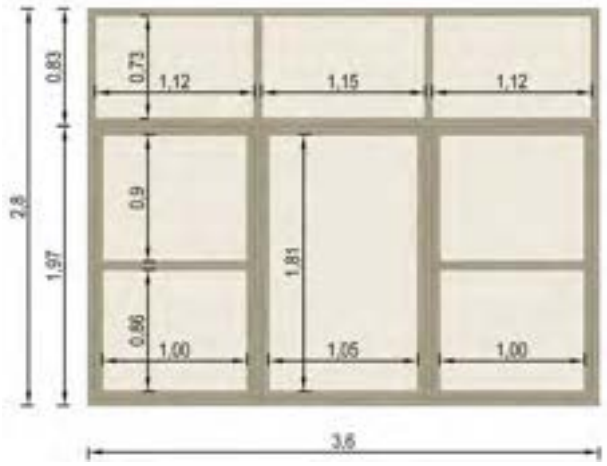
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	270
Larghezza (cm)	150
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,06**
Area telaio (m^2)	**0,99**
Area totale (m^2)	**4,05**
Perimetro vetro (m)	**13,0**
Classe di permeabilità	**4**
Emissività	**0,10**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,67**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**2,4**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V1



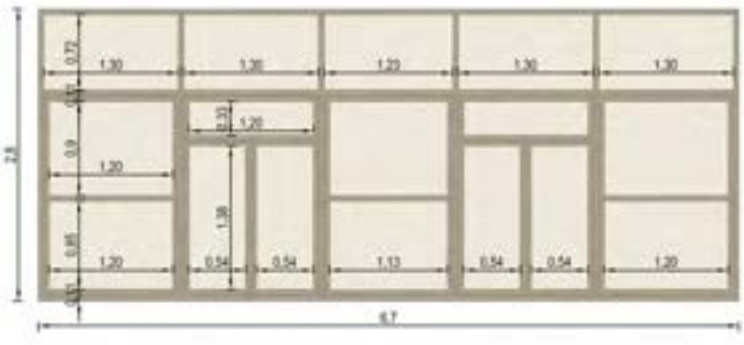
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	360
Larghezza (cm)	280
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**7,96**
Area telaio (m^2)	**2,12**
Area totale (m^2)	**10,08**
Perimetro vetro (m)	**32,06**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,65**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Sei ante scorrevoli, Quattro a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V2



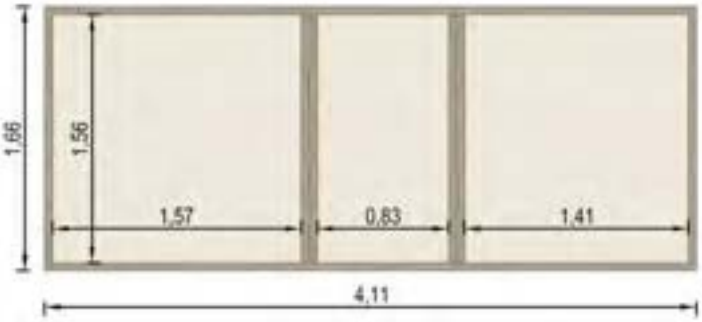
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	280
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**14,70**
Area telaio (m^2)	**4,06**
Area totale (m^2)	**18,76**
Perimetro vetro (m)	**66,40**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,66**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V3sx



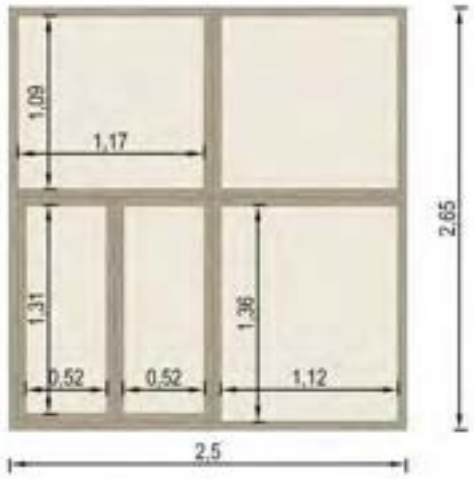
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	166
Larghezza (cm)	411
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,94**
Area telaio (m^2)	**0,88**
Area totale (m^2)	**6,82**
Perimetro vetro (m)	**16,97**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,52**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V3dx



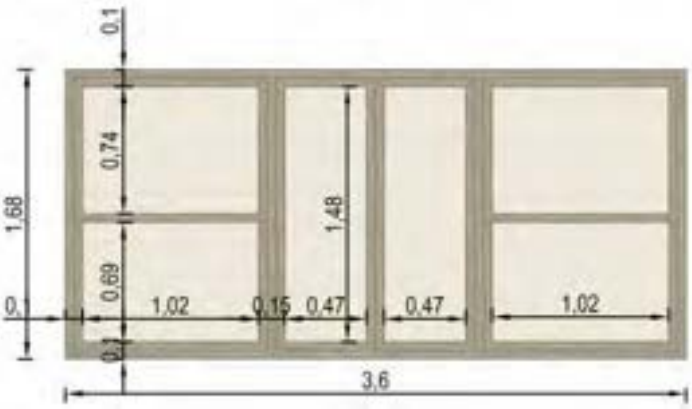
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	265
Larghezza (cm)	250
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,38**
Area telaio (m^2)	**1,24**
Area totale (m^2)	**6,62**
Perimetro vetro (m)	**21,22**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,62**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli, Due a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V4



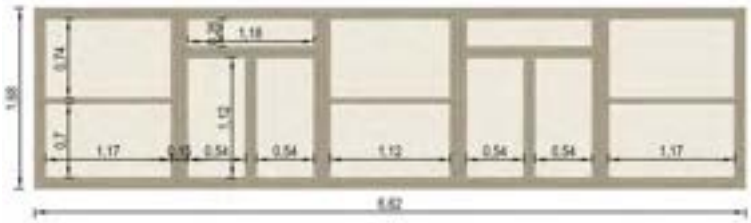
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	168
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,30**
Area telaio (m^2)	**1,74**
Area totale (m^2)	**6,04**
Perimetro vetro (m)	**21,71**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Sei ante scorrevoli, Quattro a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V5



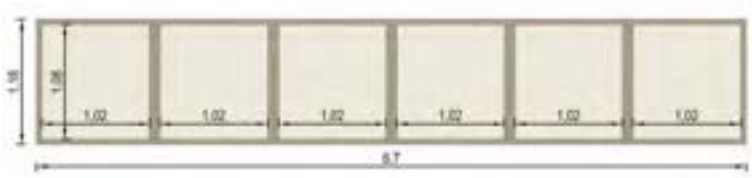
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	168
Larghezza (cm)	662
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**8,00**
Area telaio (m^2)	**3,12**
Area totale (m^2)	**11,12**
Perimetro vetro (m)	**41,51**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,77**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Sei ante fisse
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V6



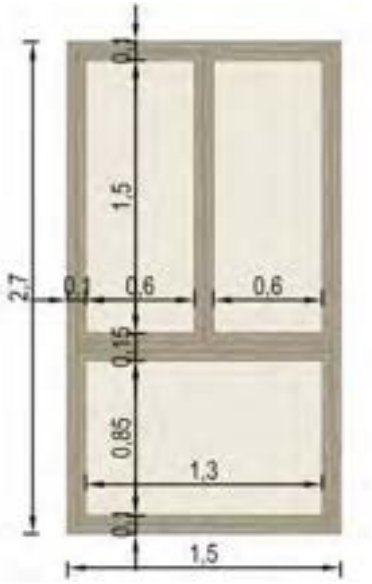
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	118
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,49**
Area telaio (m^2)	**2,42**
Area totale (m^2)	**7,91**
Perimetro vetro (m)	**20,95**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,82**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V7

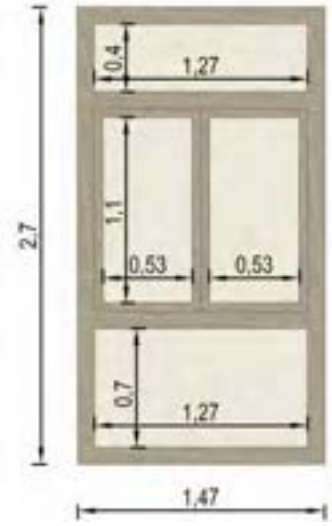


DIMENSIONI	
Altezza (cm)	270
Larghezza (cm)	150
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,91**
Area telaio (m^2)	**1,14**
Area totale (m^2)	**4,05**
Perimetro vetro (m)	**12,70**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,78**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente, 1 a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



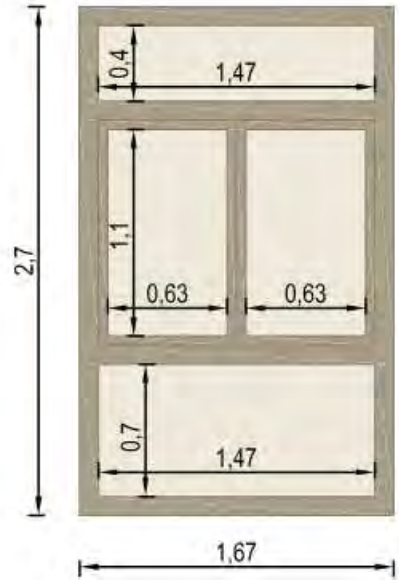
V7.1

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	270
Larghezza (cm)	147
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,56**
Area telaio (m^2)	**1,41**
Area totale (m^2)	**3,97**
Perimetro vetro (m)	**13,80**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,90**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente, 1 a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



V7.2

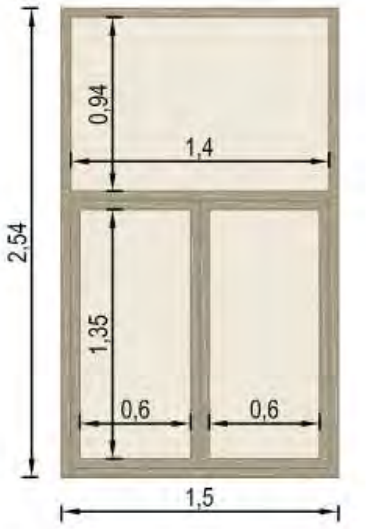
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	270
Larghezza (cm)	167
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,00**
Area telaio (m^2)	**1,51**
Area totale (m^2)	**4,51**
Perimetro vetro (m)	**15,0**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,87**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V8



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	254
Larghezza (cm)	150
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,94**
Area telaio (m^2)	**0,87**
Area totale (m^2)	**3,81**
Perimetro vetro (m)	**12,48**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,69**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V9

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	254
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**14,48**
Area telaio (m^2)	**2,54**
Area totale (m^2)	**17,02**
Perimetro vetro (m)	**57,70**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,51**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V10

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	365
Larghezza (cm)	150
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,14**
Area telaio (m^2)	**1,33**
Area totale (m^2)	**5,47**
Perimetro vetro (m)	**19,0**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,71**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V11

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	254
Larghezza (cm)	525
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**11,54**
Area telaio (m^2)	**1,67**
Area totale (m^2)	**13,21**
Perimetro vetro (m)	**41,22**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,51**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuno - Vetrate fisse
Sistemi oscuramento	Nessuno

V12corridoi

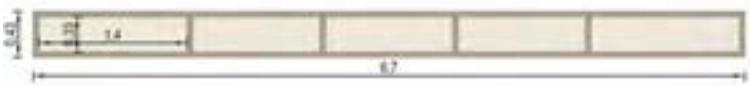
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	43
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	285

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,31**
Area telaio (m^2)	**0,57**
Area totale (m^2)	**2,88**
Perimetro vetro (m)	**17,30**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,63**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuno - Vetrate fisse
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V12aule



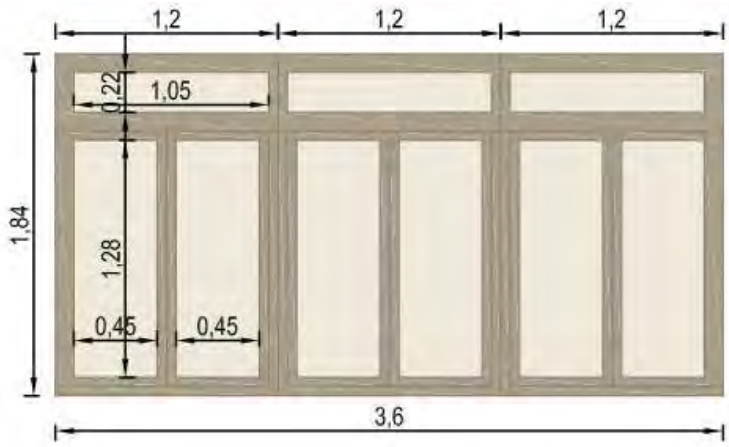
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	43
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	285

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,31**
Area telaio (m^2)	**0,57**
Area totale (m^2)	**2,88**
Perimetro vetro (m)	**17,30**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,63**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Sei ante a battente, tre a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V13



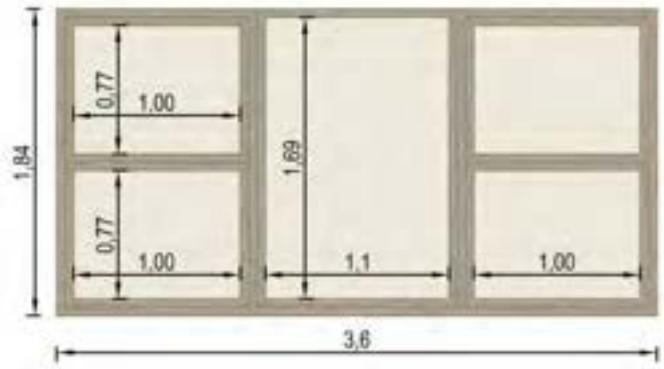
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	184
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,15**
Area telaio (m^2)	**2,47**
Area totale (m^2)	**6,62**
Perimetro vetro (m)	**28,38**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,93**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V14



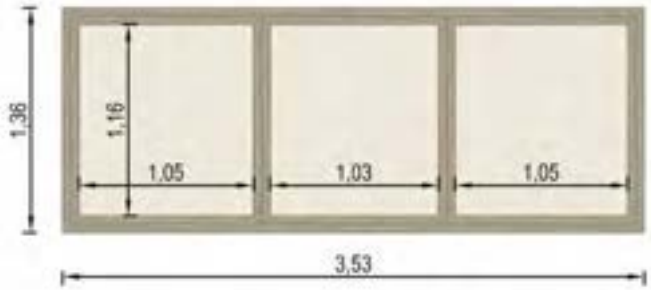
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	184
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,94**
Area telaio (m^2)	**1,68**
Area totale (m^2)	**6,62**
Perimetro vetro (m)	**19,74**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,73**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V15



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	136
Larghezza (cm)	353
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,63**
Area telaio (m^2)	**1,17**
Area totale (m^2)	**4,80**
Perimetro vetro (m)	**13,22**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,72**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuno
Sistemi oscuramento	Nessuno

V16

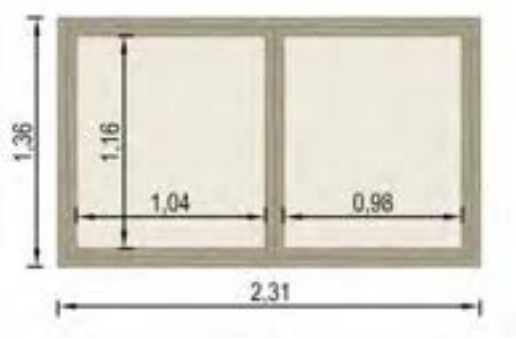
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	136
Larghezza (cm)	60
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**0,63**
Area telaio (m^2)	**0,19**
Area totale (m^2)	**0,82**
Perimetro vetro (m)	**3,52**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,68**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V17



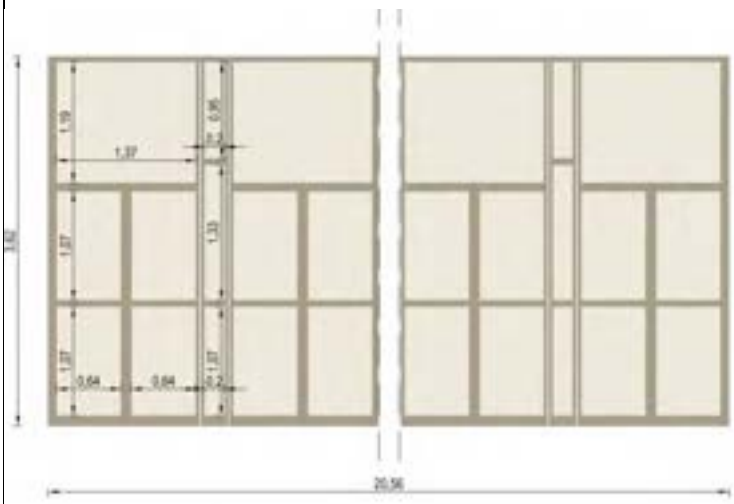
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	136
Larghezza (cm)	231
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,34**
Area telaio (m^2)	**0,79**
Area totale (m^2)	**3,13**
Perimetro vetro (m)	**8,68**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,73**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V18



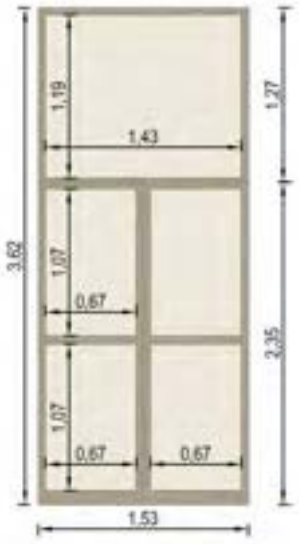
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	362
Larghezza (cm)	2056
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**59,80**
Area telaio (m^2)	**14,63**
Area totale (m^2)	**74,43**
Perimetro vetro (m)	**312,5**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,63**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V18s



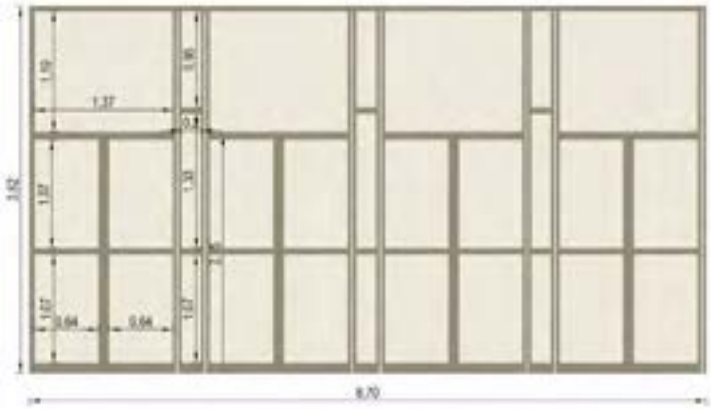
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	362
Larghezza (cm)	153
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,57**
Area telaio (m^2)	**0,97**
Area totale (m^2)	**5,54**
Perimetro vetro (m)	**19,16**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,59**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V19

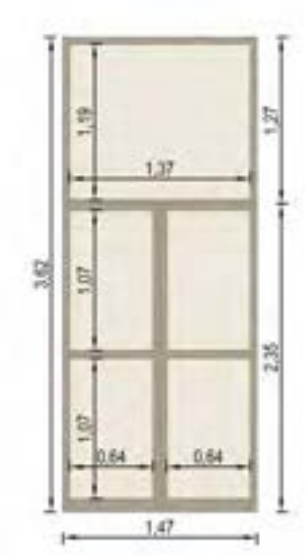


DIMENSIONI	
Altezza (cm)	362
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**19,50**
Area telaio (m^2)	**4,75**
Area totale (m^2)	**24,25**
Perimetro vetro (m)	**99,0**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,63**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno



V19s

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	362
Larghezza (cm)	147
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4.37**
Area telaio (m^2)	**0,95**
Area totale (m^2)	**5,32**
Perimetro vetro (m)	**19,04**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,60**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuna - Vetrata fissa
Sistemi oscuramento	Nessuno

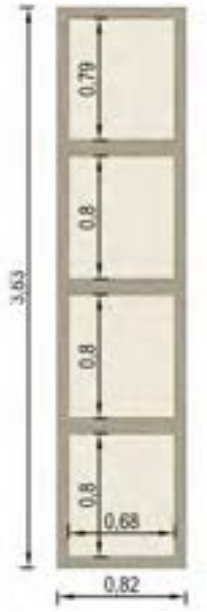
V20

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	213
Larghezza (cm)	162
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,22**
Area telaio (m^2)	**0,23**
Area totale (m^2)	**3,45**
Perimetro vetro (m)	**7,24**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,41**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



V21

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	363
Larghezza (cm)	82
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,98**
Area telaio (m^2)	**0,75**
Area totale (m^2)	**3,73**
Perimetro vetro (m)	**11,84**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,29**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

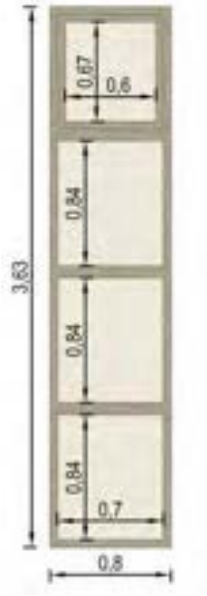
V22

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	313
Larghezza (cm)	82
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,83**
Area telaio (m^2)	**0,74**
Area totale (m^2)	**2,57**
Perimetro vetro (m)	**10,82**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



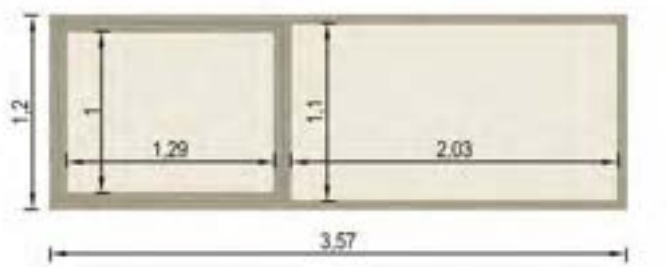
V23

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	363
Larghezza (cm)	80
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,17**
Area telaio (m^2)	**0,81**
Area totale (m^2)	**2,98**
Perimetro vetro (m)	**11,78**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,76**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



V24

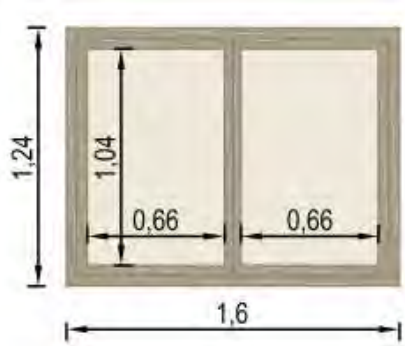
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	120
Larghezza (cm)	357
Altezza sottofinestra (cm)	243

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,52**
Area telaio (m^2)	**0,76**
Area totale (m^2)	**4,28**
Perimetro vetro (m)	**10,84**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,60**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V25



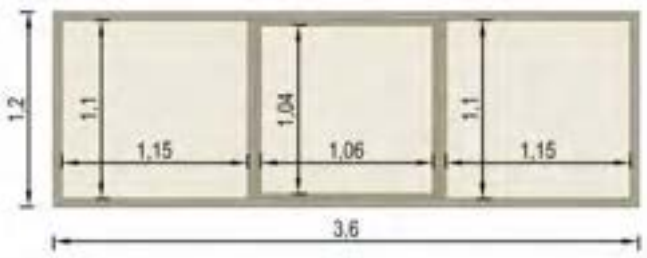
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	124
Larghezza (cm)	160
Altezza sottofinestra (cm)	138

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,37**
Area telaio (m^2)	**0,61**
Area totale (m^2)	**1,98**
Perimetro vetro (m)	**6,80**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,82**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V26



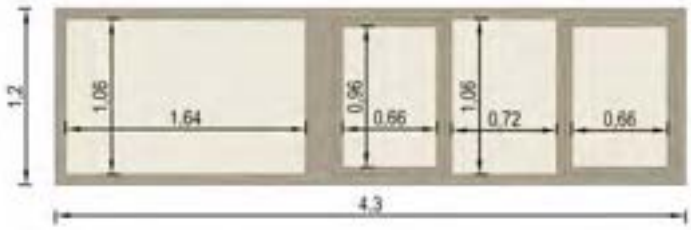
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	120
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	254

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,63**
Area telaio (m^2)	**0,57**
Area totale (m^2)	**4,20**
Perimetro vetro (m)	**13,2**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,53**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V27



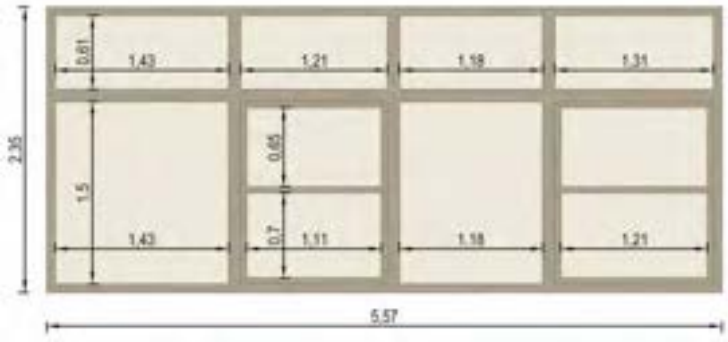
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	120
Larghezza (cm)	430
Altezza sottofinestra (cm)	214

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,16**
Area telaio (m^2)	**1,00**
Area totale (m^2)	**6,16**
Perimetro vetro (m)	**15,44**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,30**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Nessuno

V30



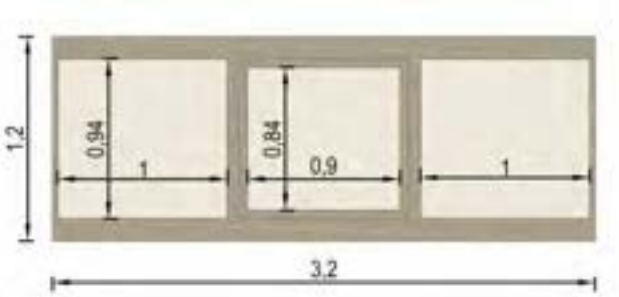
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	235
Larghezza (cm)	557
Altezza sottofinestra (cm)	100

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**10,18**
Area telaio (m^2)	**2,91**
Area totale (m^2)	**13,09**
Perimetro vetro (m)	**41,05**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,68**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Nessuno

V31



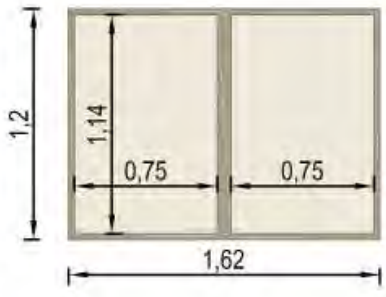
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	120
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	218

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,64**
Area telaio (m^2)	**1,20**
Area totale (m^2)	**3,84**
Perimetro vetro (m)	**11,24**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,83**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Nessuno

V32



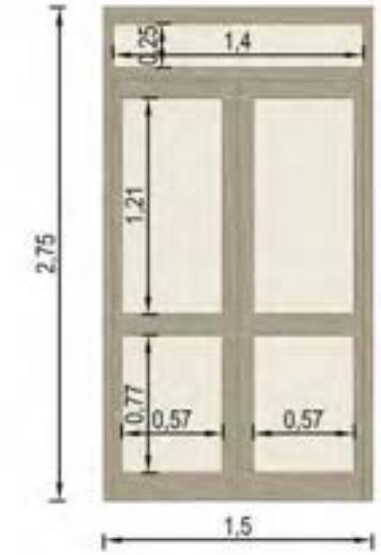
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	120
Larghezza (cm)	162
Altezza sottofinestra (cm)	238

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,71**
Area telaio (m^2)	**0,23**
Area totale (m^2)	**1,94**
Perimetro vetro (m)	**7,56**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,50**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente, una a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V36



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	275
Larghezza (cm)	150
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,61**
Area telaio (m^2)	**1,51**
Area totale (m^2)	**4,12**
Perimetro vetro (m)	**15,78**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,92**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V37

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	356
Altezza sottofinestra (cm)	270

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,88**
Area telaio (m^2)	**0,68**
Area totale (m^2)	**3,56**
Perimetro vetro (m)	**10,14**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,62**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V38

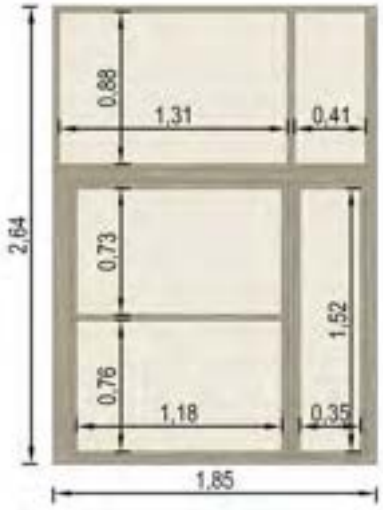
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	264
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	110

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**7,52**
Area telaio (m^2)	**1,98**
Area totale (m^2)	**9,50**
Perimetro vetro (m)	**31,68**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,65**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V39



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	264
Larghezza (cm)	185
Altezza sottofinestra (cm)	110

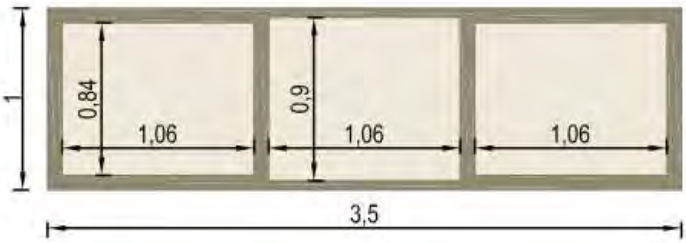
CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,80**
Area telaio (m^2)	**1,08**
Area totale (m^2)	**4,88**
Perimetro vetro (m)	**18,36**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,67**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V40

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	350
Altezza sottofinestra (cm)	220



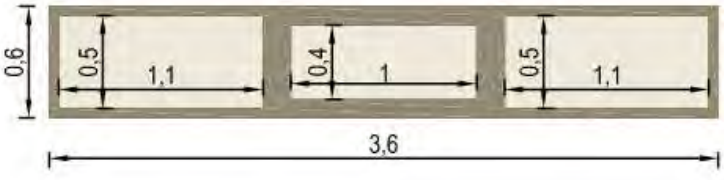
CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,82**
Area telaio (m^2)	**0,780**
Area totale (m^2)	**3,60**
Perimetro vetro (m)	**11,72**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,67**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V41

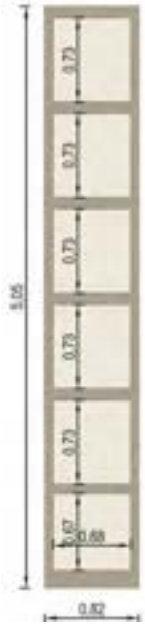
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	60
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	500



CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,50**
Area telaio (m^2)	**0,66**
Area totale (m^2)	**2,16**
Perimetro vetro (m)	**18,0**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,82**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate pesanti



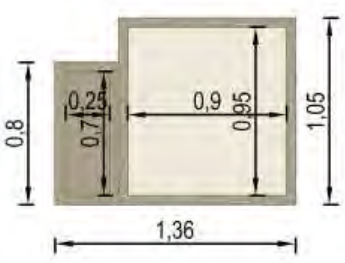
V42

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	505
Larghezza (cm)	82
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,94**
Area telaio (m^2)	**1,20**
Area totale (m^2)	**4,14**
Perimetro vetro (m)	**16,80**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,42**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,42**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate



V43

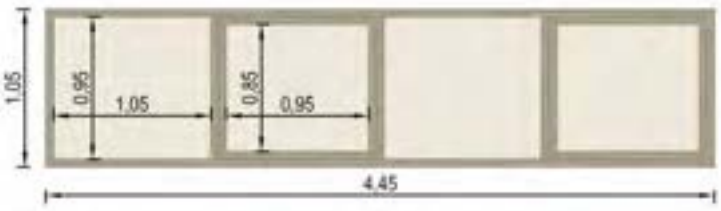
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	105
Larghezza (cm)	136
Altezza sottofinestra (cm)	215

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,03**
Area telaio (m^2)	**0,30**
Area totale (m^2)	**1,33**
Perimetro vetro (m)	**5,60**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V44



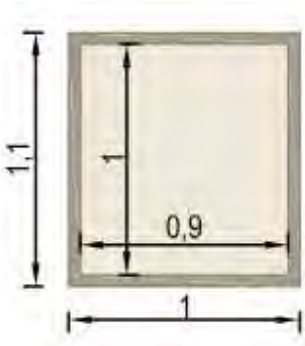
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	105
Larghezza (cm)	445
Altezza sottofinestra (cm)	215

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,61**
Area telaio (m^2)	**1,06**
Area totale (m^2)	**4,67**
Perimetro vetro (m)	**11,60**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,68**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuna - Vetrata fissa
Sistemi oscuramento	Nessuno

V45



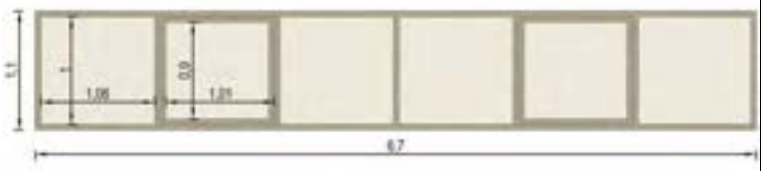
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	110
Larghezza (cm)	100
Altezza sottofinestra (cm)	215

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**0,90**
Area telaio (m^2)	**0,20**
Area totale (m^2)	**1,10**
Perimetro vetro (m)	**3,80**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,61**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V46



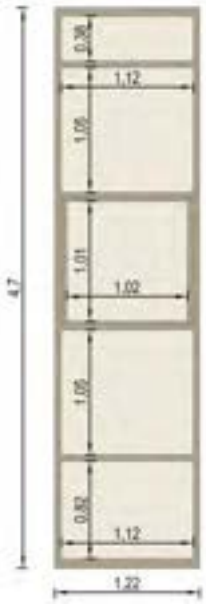
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	110
Larghezza (cm)	670
Altezza sottofinestra (cm)	215

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**6,06**
Area telaio (m^2)	**1,31**
Area totale (m^2)	**7,37**
Perimetro vetro (m)	**24,12**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,60**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno

V47

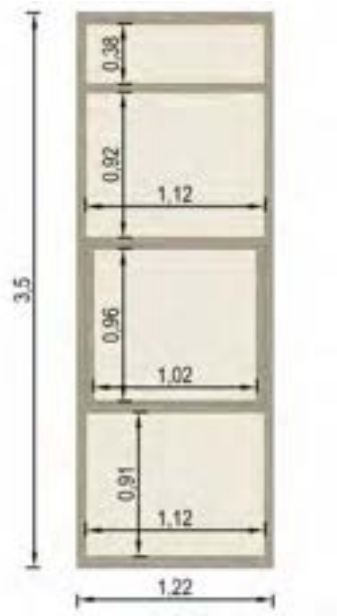


DIMENSIONI	
Altezza (cm)	470
Larghezza (cm)	122
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,73**
Area telaio (m^2)	**1,00**
Area totale (m^2)	**5,73**
Perimetro vetro (m)	**19,62**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,60**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuno



V48

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	350
Larghezza (cm)	122
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,45**
Area telaio (m^2)	**0,82**
Area totale (m^2)	**4,27**
Perimetro vetro (m)	**15,1**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,0**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,0**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,62**

INFISSO

Descrizione	Porta - Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tendaggi colorati

V49sx

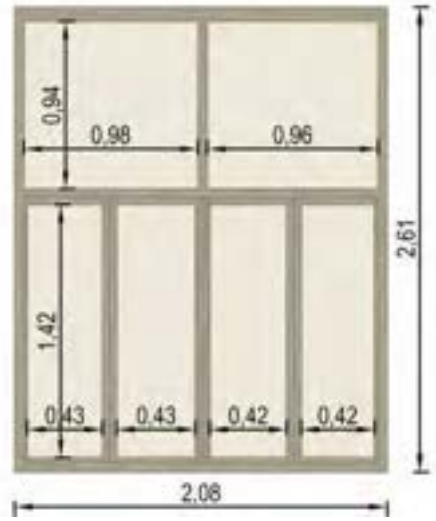
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	365
Larghezza (cm)	110
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,86**
Area telaio (m^2)	**1,15**
Area totale (m^2)	**4,01**
Perimetro vetro (m)	**16,56**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante a battente
Sistemi oscuramento	Tendaggi colorati

V49dx



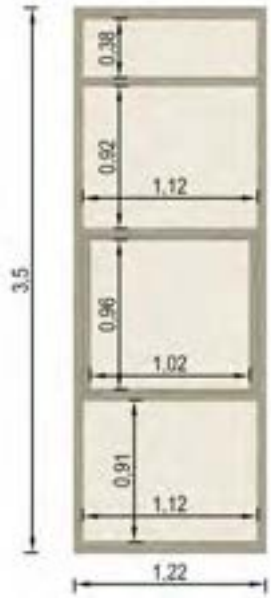
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	261
Larghezza (cm)	208
Altezza sottofinestra (cm)	104

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**4,28**
Area telaio (m^2)	**1,15**
Area totale (m^2)	**5,43**
Perimetro vetro (m)	**22,48**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,68**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tendaggi colorati

V50



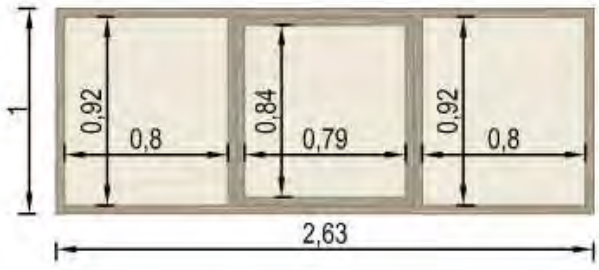
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	350
Larghezza (cm)	122
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,36**
Area telaio (m^2)	**0,74**
Area totale (m^2)	**4,10**
Perimetro vetro (m)	**16,78**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,60**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V51sx



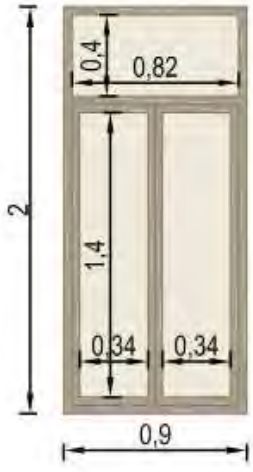
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	263
Altezza sottofinestra (cm)	204

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,13**
Area telaio (m^2)	**0,50**
Area totale (m^2)	**2,63**
Perimetro vetro (m)	**10,14**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,62**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V51c



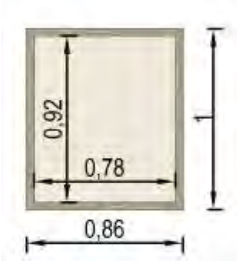
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	200
Larghezza (cm)	90
Altezza sottofinestra (cm)	104

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,28**
Area telaio (m^2)	**0,52**
Area totale (m^2)	**1,80**
Perimetro vetro (m)	**9,40**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,79**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuno - Vetro fisso
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V51dx



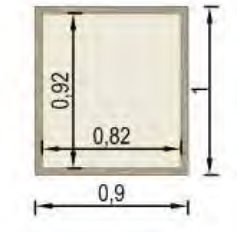
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	86
Altezza sottofinestra (cm)	204

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**0,72**
Area telaio (m^2)	**0,14**
Area totale (m^2)	**0,86**
Perimetro vetro (m)	**3,40**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,3**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,3**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,57**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V52



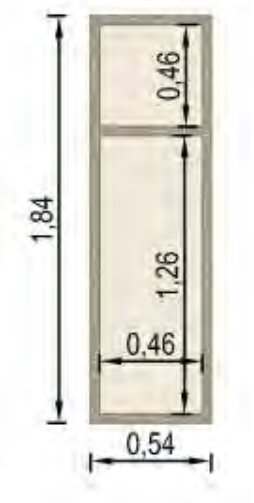
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	90
Altezza sottofinestra (cm)	204

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**0,75**
Area telaio (m^2)	**0,15**
Area totale (m^2)	**0,90**
Perimetro vetro (m)	**3,48**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,58**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V53



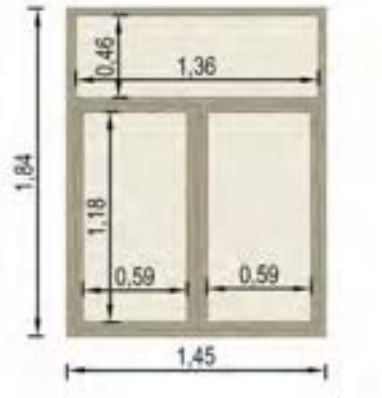
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	184
Larghezza (cm)	54
Altezza sottofinestra (cm)	140

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**0,79**
Area telaio (m^2)	**0,20**
Area totale (m^2)	**0,99**
Perimetro vetro (m)	**5,28**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,65**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V54

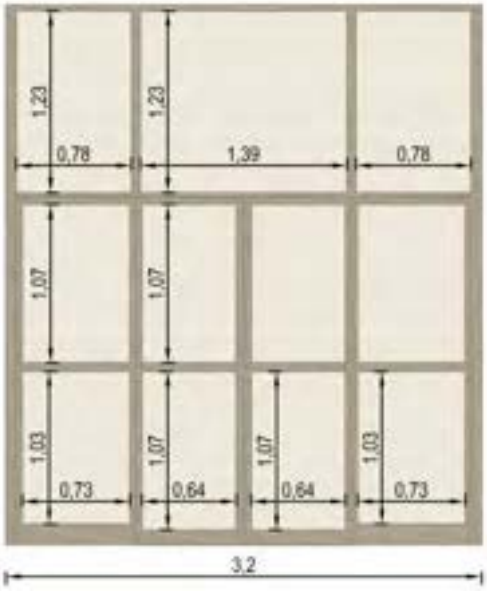


DIMENSIONI	
Altezza (cm)	184
Larghezza (cm)	145
Altezza sottofinestra (cm)	140

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,02**
Area telaio (m^2)	**0,65**
Area totale (m^2)	**2,67**
Perimetro vetro (m)	**10,72**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,65**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Pannelli scuri non trasparenti
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	-



V55

DIMENSIONI

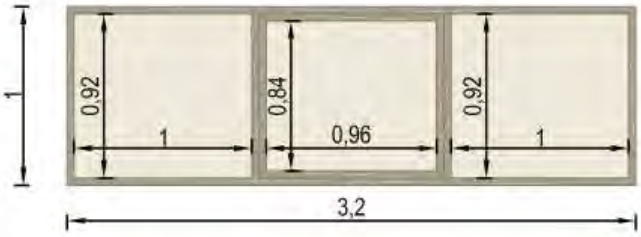
Altezza (cm)	365
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE

Area vetrata (m^2)	**9,43**
Area telaio (m^2)	**2,25**
Area totale (m^2)	**11,68**
Perimetro vetro (m)	**41,20**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,29**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Pannelli scuri non trasparenti
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	-



V56

DIMENSIONI

Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	204

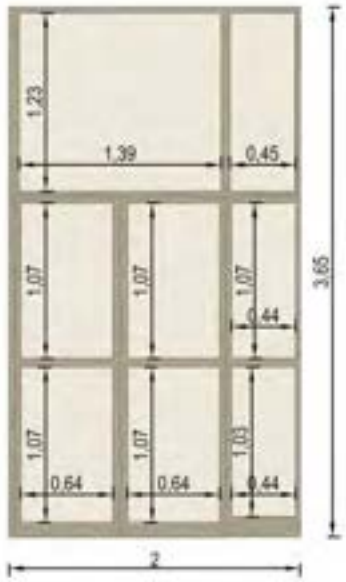
CARATTERISTICHE

Area vetrata (m^2)	**2,65**
Area telaio (m^2)	**0,55**
Area totale (m^2)	**3,20**
Perimetro vetro (m)	**11,30**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,25**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Pannelli scuri non trasparenti
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	-

V57



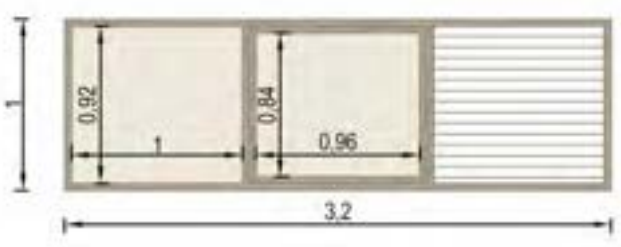
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	365
Larghezza (cm)	200
Altezza sottofinestra (cm)	-

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**5,90**
Area telaio (m^2)	**1,40**
Area totale (m^2)	**7,30**
Perimetro vetro (m)	**33,48**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,29**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuna

V58



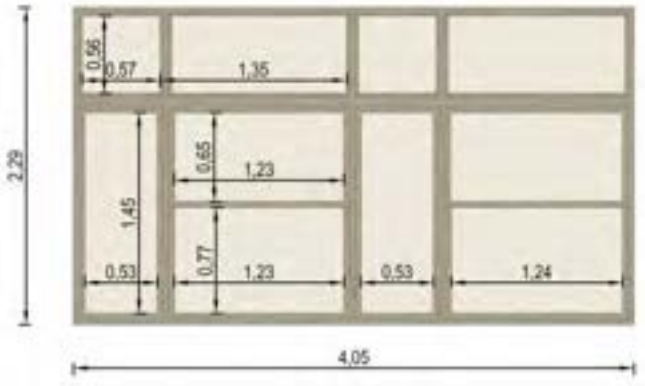
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	204

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**1,73**
Area telaio (m^2)	**1,47**
Area totale (m^2)	**3,20**
Perimetro vetro (m)	**7,44**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**6,08**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Quattro ante scorrevoli
Sistemi oscuramento	Nessuna

V59



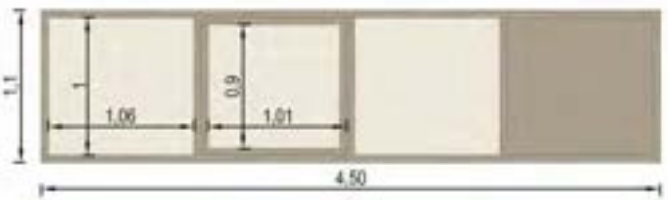
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	229
Larghezza (cm)	405
Altezza sottofinestra (cm)	104

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**7,18**
Area telaio (m^2)	**2,09**
Area totale (m^2)	**9,27**
Perimetro vetro (m)	**35,60**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,68**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a battente
Sistemi oscuramento	Nessuna

V60

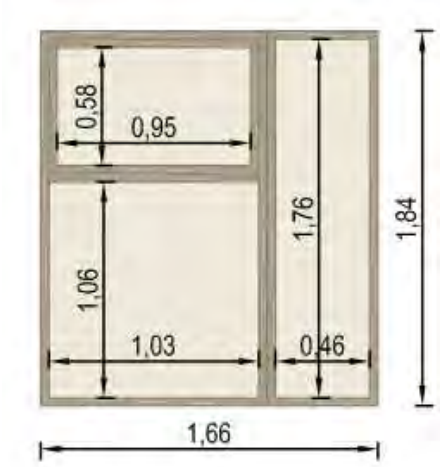


DIMENSIONI	
Altezza (cm)	110
Larghezza (cm)	450
Altezza sottofinestra (cm)	215

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,94**
Area telaio (m^2)	**1,01**
Area totale (m^2)	**4,95**
Perimetro vetro (m)	**15,88**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,64**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Una anta a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuna



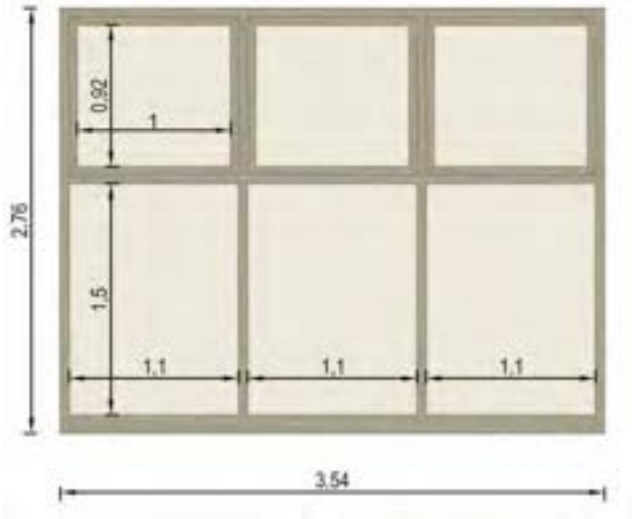
V61

DIMENSIONI	
Altezza (cm)	184
Larghezza (cm)	166
Altezza sottofinestra (cm)	140

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,45**
Area telaio (m^2)	**0,60**
Area totale (m^2)	**3,05**
Perimetro vetro (m)	**11,68**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,63**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Tre ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Nessuna



V62

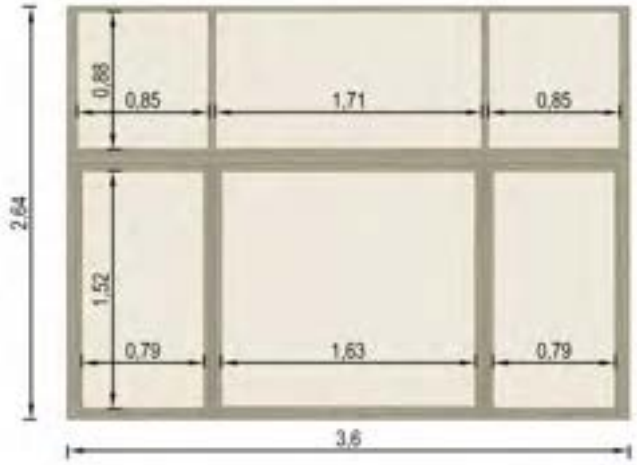
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	276
Larghezza (cm)	354
Altezza sottofinestra (cm)	246

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**7,71**
Area telaio (m^2)	**2,06**
Area totale (m^2)	**9,77**
Perimetro vetro (m)	**27,12**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**1,00**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**1,00**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,66**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V63



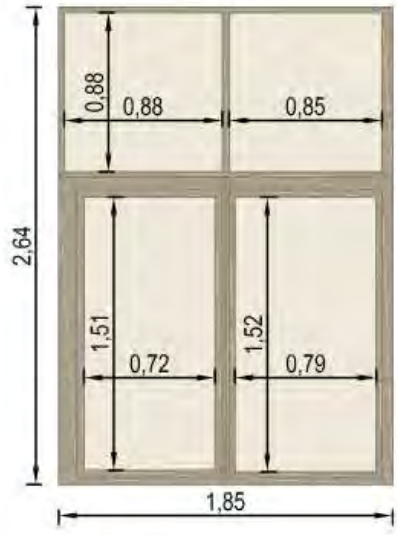
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	264
Larghezza (cm)	360
Altezza sottofinestra (cm)	110

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**7,88**
Area telaio (m^2)	**1,62**
Area totale (m^2)	**9,50**
Perimetro vetro (m)	**27,64**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,59**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a battente
Sistemi oscuramento	Tende colorate

V64



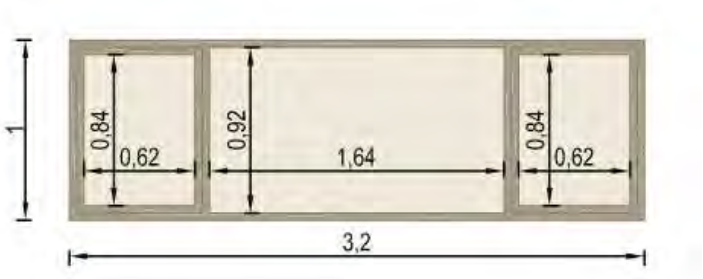
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	264
Larghezza (cm)	185
Altezza sottofinestra (cm)	110

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,81**
Area telaio (m^2)	**1,07**
Area totale (m^2)	**4,88**
Perimetro vetro (m)	**16,06**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,57**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,57**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,67**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Due ante a vasistas
Sistemi oscuramento	Pellicole colorate

V65



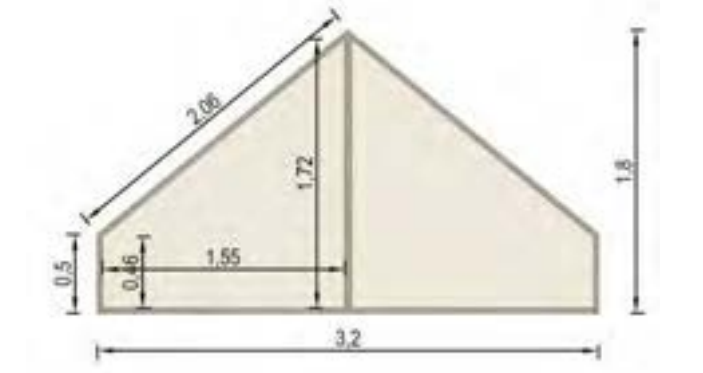
DIMENSIONI	
Altezza (cm)	100
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	400

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**2,55**
Area telaio (m^2)	**0,65**
Area totale (m^2)	**3,20**
Perimetro vetro (m)	**10,96**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,42**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,42**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,64**

INFISSO

Descrizione	Finestra in alluminio
Tipo di telaio	Telaio in alluminio (no taglio termico)
Tipo di vetro	Vetro singolo
Sistema apertura	Nessuno - Vetri fissi
Sistemi oscuramento	Pellicole colorate

V66



DIMENSIONI	
Altezza (cm)	180
Larghezza (cm)	320
Altezza sottofinestra (cm)	500

CARATTERISTICHE	
Area vetrata (m^2)	**3,38**
Area telaio (m^2)	**0,30**
Area totale (m^2)	**3,68**
Perimetro vetro (m)	**11,56**
Classe di permeabilità	**2**
Emissività	**0,837**
Fattore tendaggi invernale ($f_{c\ inv}$)	**0,42**
Fattore tendaggi estivo ($f_{c\ est}$)	**0,42**
Fattore di trasmittanza solare ($g_{gl,n}$)	**0,85**
Trasmittanza infisso (U_W, W/m^2K)	**5,44**

A.2 ABACO DELLE STRUTTURE OPACHE

Descrizione della struttura: ***Muro Esterno*** **Codice:** ***M1***

Trasmittanza termica	***1,728***	W/m^{2}K
Spessore	***250***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***88,106***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***376***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***362***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,743***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,430***	-
Sfasamento onda termica	***-7,5***	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone semipieno	120,00	0,632	0,190	1508	0,84	9
3	Mattone semipieno	120,00	0,632	0,190	1508	0,84	9
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

Descrizione della struttura: ***muro interrato fittizio*** **Codice:** ***M3***

Trasmittanza termica	***1,819***	W/m^{2}K
Trasmittanza controterra	***0,922***	W/m^{2}K
Spessore	***240***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***92,593***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***362***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***362***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,869***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,943***	-
Sfasamento onda termica	***-7,0***	h

Stratigrafia:

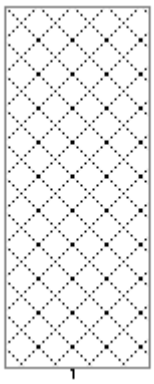
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Mattone semipieno	120,00	0,632	0,190	1508	0,84	9
2	Mattone semipieno	120,00	0,632	0,190	1508	0,84	9
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Muro Vano Ascensore* — Codice: *M4*

Trasmittanza termica	***2,180***	W/m^{2}K
Spessore	***200***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***10,000***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***320***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***320***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***1,091***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,500***	-
Sfasamento onda termica	***-6,4***	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	C.l.s. in genere	200,00	0,730	0,274	1600	1,00	100
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

Descrizione della struttura: *Muro interno vs locale non climat 10cm* — Codice: *M5*

Trasmittanza termica	***2,047***	W/m^{2}K
Spessore	***100***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***8,0***	°C
Permeanza	***212,766***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***90***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***62***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***1,854***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,906***	-
Sfasamento onda termica	***-2,3***	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	80,00	0,400	0,200	775	0,84	9
3	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: ***Muro interno vs altri locali climat 10cm*** **Codice:** ***M6***

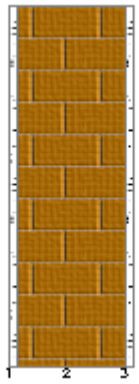
Trasmittanza termica	***2,047***	W/m^{2}K
Spessore	***100***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***212,766***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***90***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***62***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***1,854***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,906***	-
Sfasamento onda termica	***-2,3***	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	80,00	0,400	0,200	775	0,84	9
3	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Descrizione della struttura: ***Muro interno vs altri locali climat 17cm*** **Codice:** ***M7***

Trasmittanza termica	***1,353***	W/m^{2}K
Spessore	***170***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***127,389***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***142***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***114***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,990***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,731***	-
Sfasamento onda termica	***-4,6***	h



Stratigrafia:

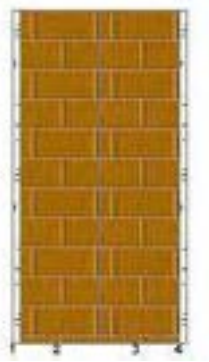
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	150,00	0,333	0,450	760	0,84	9
3	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: ***Muro interno vs altri locali climat 26cm*** **Codice:** ***M8***

Trasmittanza termica	***1,100***	W/m^{2}K
Spessore	***260***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***84,034***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***200***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***172***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,584***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,531***	-
Sfasamento onda termica	***-6,8***	h

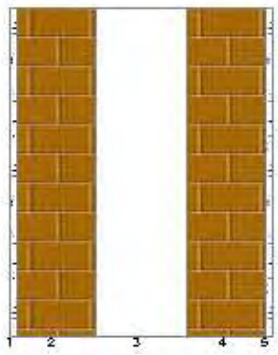


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
3	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
4	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Descrizione della struttura: ***Muro interno vs altri locali climat 40cm*** **Codice:** ***M9***

Trasmittanza termica	***0,919***	W/m^{2}K
Spessore	***400***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***83,682***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***200***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***172***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,461***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,502***	-
Sfasamento onda termica	***-7,4***	h



Stratigrafia:

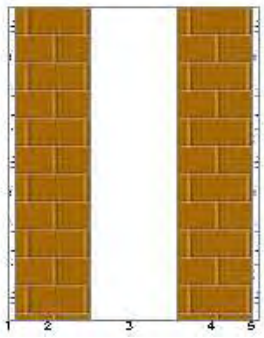
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	140,00	0,778	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Muro esterno 40cm* — Codice: *M10*

Trasmittanza termica	***0,987***	W/m^{2}K
Spessore	***400***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***83,682***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***200***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***172***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,568***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,575***	-
Sfasamento onda termica	***-6,7***	h

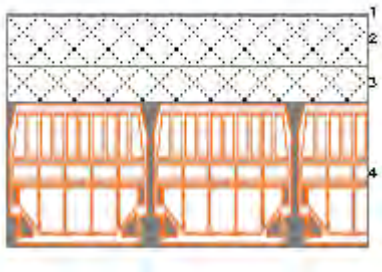


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm²/m	140,00	0,778	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

Descrizione della struttura: *Solaio PT* — Codice: *P1*

Trasmittanza termica	***1,551***	W/m^{2}K
Trasmittanza controterra	***0,223***	W/m^{2}K
Spessore	***322***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***17,699***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***454***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,424***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***1,899***	-
Sfasamento onda termica	***-8,7***	h



Stratigrafia:

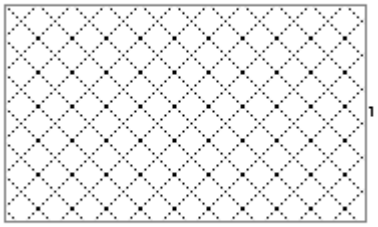
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Struttura fittizia fondazioni* Codice: *P2*

Trasmittanza termica	***2,937***	W/m^2K
Trasmittanza controterra	***0,161***	W/m^2K
Spessore	***300***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***5,128***	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	***690***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***690***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,951***	W/m^2K
Fattore attenuazione	***5,915***	-
Sfasamento onda termica	***-7,6***	h

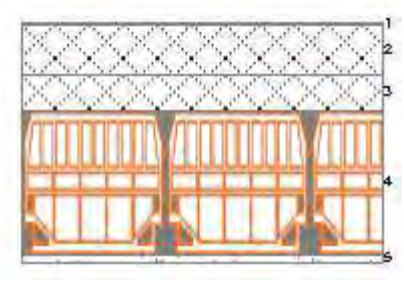


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	C.l.s. armato (1% acciaio)	300,00	2,300	0,130	2300	1,00	130
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano vs vicini* Codice: *P3*

Trasmittanza termica	***1,267***	W/m^2K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***17,528***	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	***468***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,241***	W/m^2K
Fattore attenuazione	***0,190***	-
Sfasamento onda termica	***-10,1***	h



Stratigrafia:

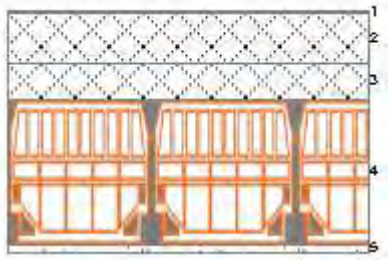
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano vs esterno* — Codice: *P4*

Trasmittanza termica	***1,491***	W/m^{2}K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***17,346***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***472***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,374***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,251***	-
Sfasamento onda termica	***-9,2***	h

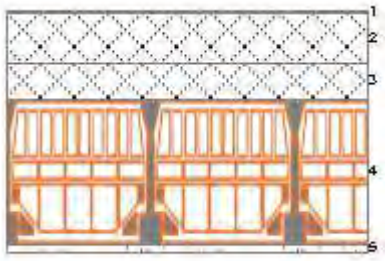


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano vs non riscaldati* — Codice: *P5*

Trasmittanza termica	***1,267***	W/m^{2}K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***17,528***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***468***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,241***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,190***	-
Sfasamento onda termica	***-10,1***	h



Stratigrafia:

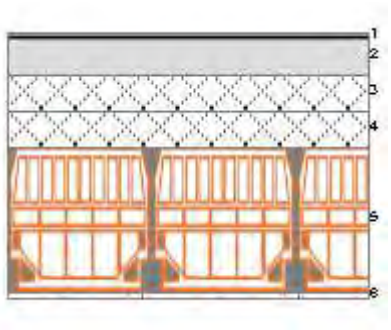
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Solaio Copertura* — Codice: *S1*

Trasmittanza termica	***0,829***	W/m^2K
Spessore	***368***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***0,0***	°C
Permeanza	***0,488***	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	***458***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***444***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,120***	W/m^2K
Fattore attenuazione	***0,145***	-
Sfasamento onda termica	***-10,3***	h

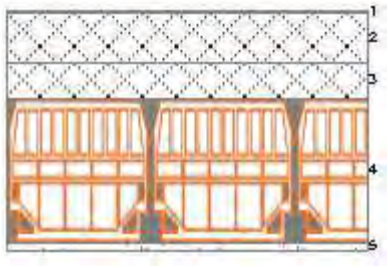


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,055	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	8,00	0,170	0,047	1390	0,90	50000
2	Massetto perlite	50,00	0,084	0,595	250	1,00	14
3	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,700	0,071	1600	0,88	20
4	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
5	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano vs vicini* — Codice: *S2*

Trasmittanza termica	***1,541***	W/m^2K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***17,528***	$10^{-12}kg/sm^2Pa$
Massa superficiale (con intonaci)	***468***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,412***	W/m^2K
Fattore attenuazione	***0,267***	-
Sfasamento onda termica	***-9,3***	h



Stratigrafia:

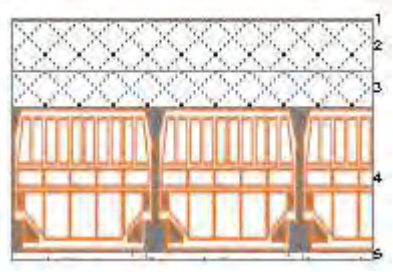
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano divisorio interno* — Codice: *S3*

Trasmittanza termica	***1,541***	W/m^{2}K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***17,528***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***468***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,412***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,267***	-
Sfasamento onda termica	***-9,3***	h

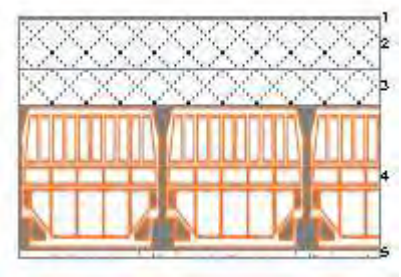


Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *Solaio interpiano divisorio interno* — Codice: *S4*

Trasmittanza termica	***1,541***	W/m^{2}K
Spessore	***332***	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	***20,0***	°C
Permeanza	***17,528***	10^{-12}kg/sm^{2}Pa
Massa superficiale (con intonaci)	***468***	kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	***454***	kg/m^2
Trasmittanza periodica	***0,412***	W/m^{2}K
Fattore attenuazione	***0,267***	-
Sfasamento onda termica	***-9,3***	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Linoleum	2,00	0,170	0,012	1200	1,40	1000
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,700	0,100	1600	0,88	20
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

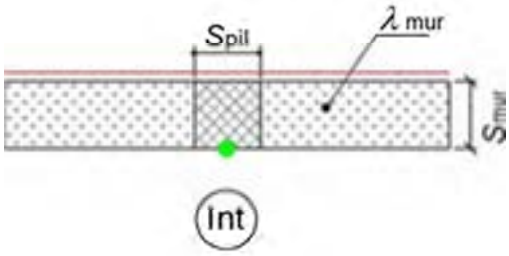
Legenda simboli

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

A.3 ABACO DEI PONTI TERMICI

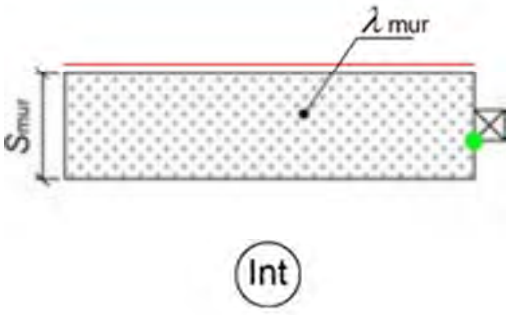
Descrizione del ponte termico: *P - Parete - Pilastro*	**Codice: *Z1***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,269*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***P4 - Giunto parete con isolamento ripartito – pilastro non isolato*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,539 W/mK.***



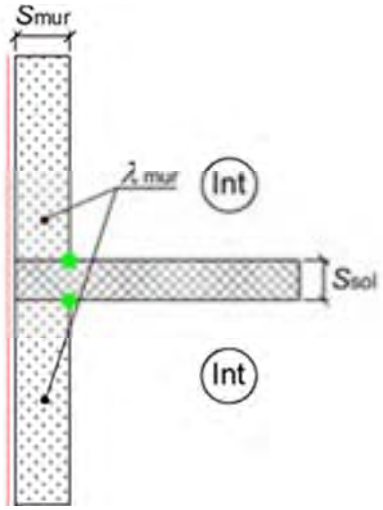
Descrizione del ponte termico: *W - Parete - Telaio*	**Codice: *Z2***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,111*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***W10 - Giunto parete con isolamento ripartito – telaio posto in mezzeria*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,111 W/mK.***



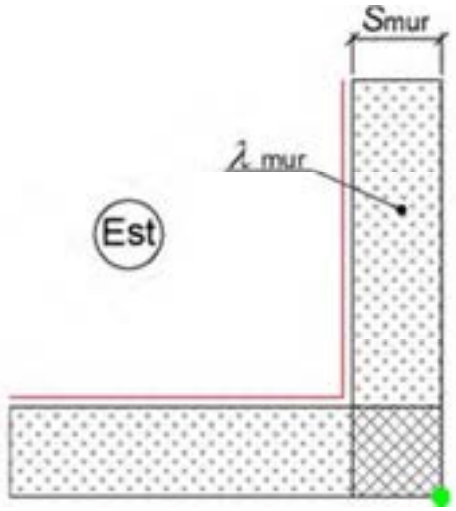
Descrizione del ponte termico: ***IF - Parete - Solaio interpiano*** **Codice:** ***Z3***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,311*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***IF4 - Giunto parete con isolamento ripartito – solaio interpiano*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,623 W/mK.***



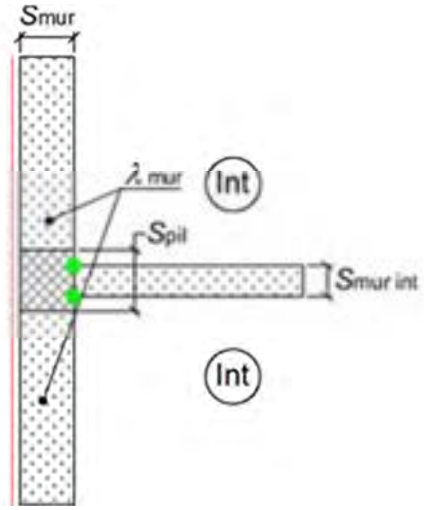
Descrizione del ponte termico: ***C - Angolo tra pareti rientrante*** **Codice:** ***Z4***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,271*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***C23 - Giunto tra due pareti con isolamento ripartito con pilastro non isolato (rientrante)*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,541 W/mK.***



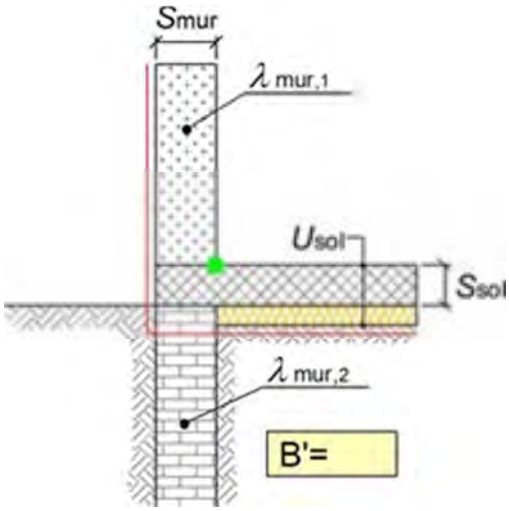
Descrizione del ponte termico: ***IW - Parete - Parete interna*** **Codice:** ***Z5***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,281*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***IW9 - Giunto parete con isolamento ripartito – parete interna con pilastro*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,562 W/mK.***



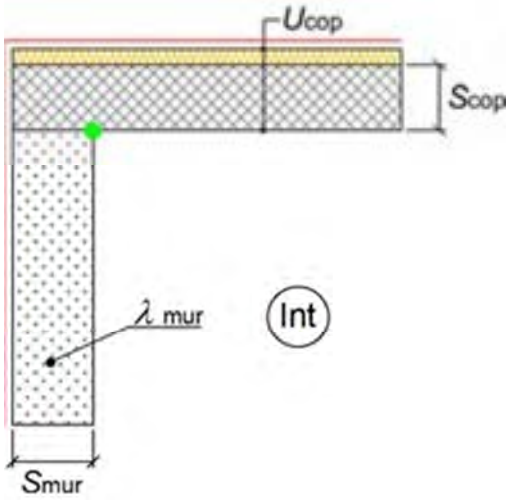
Descrizione del ponte termico: ***GF - Parete - Solaio controterra*** **Codice:** ***Z6***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,044*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***GF4 - Giunto parete con isolamento ripartito – solaio controterra con isolamento all'intradosso*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,087 W/mK.***



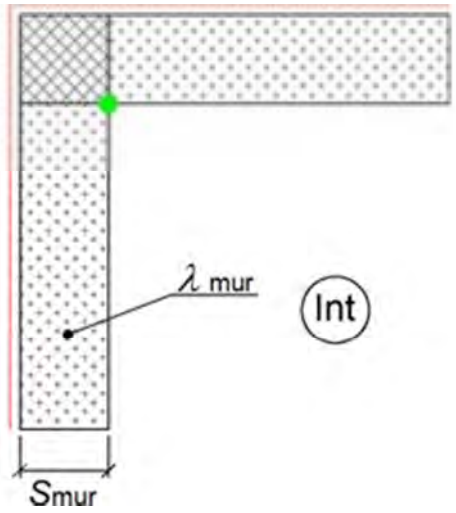
Descrizione del ponte termico: ***R - Parete - Copertura*** **Codice:** ***Z7***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,004*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***R4 - Giunto parete con isolamento ripartito – copertura*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,007 W/mK.***



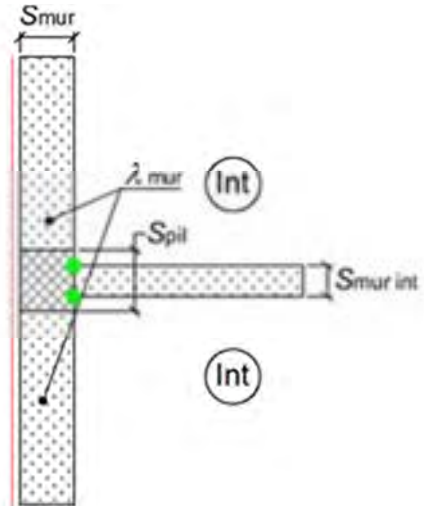
Descrizione del ponte termico: ***C - Angolo tra pareti sporgente*** **Codice:** ***Z8***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***-0,258*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***C15 - Giunto tra due pareti con isolamento ripartito con pilastro non isolato (sporgente)*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = -0,515 W/mK.***



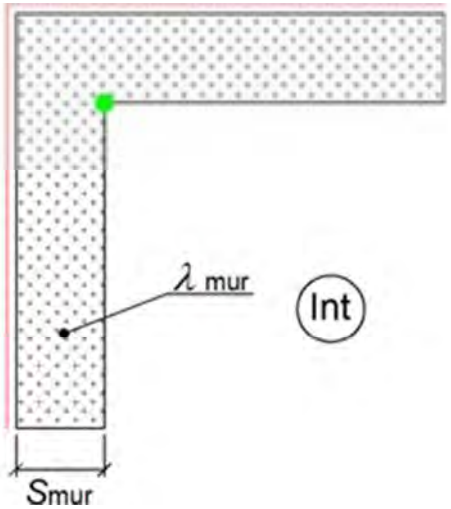
Descrizione del ponte termico: ***IW - Parete - Parete interna*** **Codice:** ***Z9***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,281*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***IW9 - Giunto parete con isolamento ripartito – parete interna con pilastro*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,562 W/mK.***



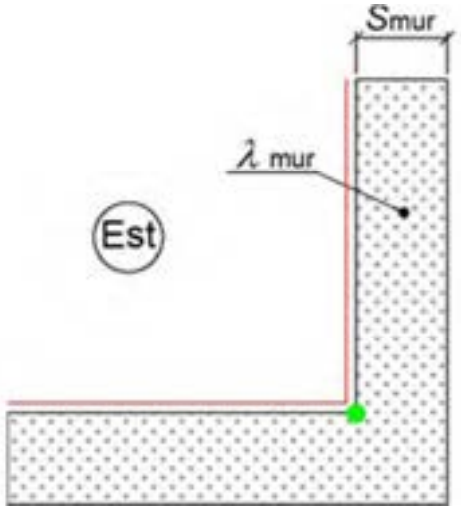
Descrizione del ponte termico: ***Angolo tra pareti sporgente senza pilastro*** **Codice:** ***Z10***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***-0,344*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***C4 - Giunto tre due pareti con isolamento ripartito (sporgente)*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = -0,688 W/mK.***



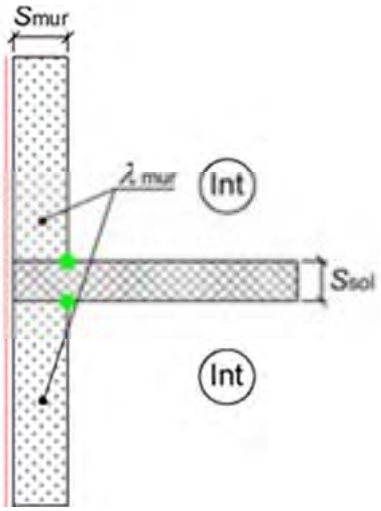
Descrizione del ponte termico: ***Angolo tra pareti rientrante senza pilastro*** **Codice:** ***Z11***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,135*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***C8 - Giunto tre due pareti con isolamento ripartito (rientrante)*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,269 W/mK.***



Descrizione del ponte termico: ***IF - Parete - trave c.a.*** **Codice:** ***Z12***

Trasmittanza termica lineica di calcolo	***0,311*** W/mK
Riferimento	***UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211***
Note	***IF4 - Giunto parete con isolamento ripartito – solaio interpiano*** ***Trasmittanza termica lineica di riferimento (φe) = 0,623 W/mK.***



A.4 RISULTATI DI CALCOLO EDIFICIO ESISTENTE

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE
secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Dati climatici della località:

Località	***Pisa***		
Provincia	***Pisa***		
Altitudine s.l.m.		***4***	m
Gradi giorno		***1694***	
Zona climatica		***D***	
Temperatura esterna di progetto		***0,0***	°C

Irradiazione solare giornaliera media mensile:

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m²	*1,8*	*2,7*	*3,8*	*5,6*	*8,1*	*9,8*	*9,5*	*6,6*	*4,3*	*3,1*	*2,1*	*1,6*
Nord-Est	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Est	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Sud-Est	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Sud	MJ/m²	*9,2*	*11,1*	*11,6*	*11,4*	*10,5*	*10,1*	*11,0*	*12,3*	*13,9*	*14,3*	*9,9*	*8,5*
Sud-Ovest	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Ovest	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Nord-Ovest	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Orizzontale	MJ/m²	*5,3*	*8,3*	*12,3*	*17,8*	*22,3*	*24,4*	*26,0*	*22,0*	*16,6*	*11,2*	*6,1*	*4,7*

Zona 1 : edificio

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata:

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	*6,7*	*7,7*	*10,6*	*12,9*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*11,7*	*7,8*
N° giorni	-	*31*	*28*	*31*	*15*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*-*	*30*	*31*

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	***Vicini presenti***				
Stagione di calcolo	***Convenzionale***	dal	***01 novembre***	al	***15 aprile***
Durata della stagione		***166***	giorni		

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	***5067,10***	m^2
Superficie esterna lorda	***7786,76***	m^2
Volume netto	***18325,43***	m^3
Volume lordo	***6854,58***	m^3
Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}

ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE
Dettaglio perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione:

Mese	$Q_{H,trT}$ [kWh]	$Q_{H,trG}$ [kWh]	$Q_{H,trA}$ [kWh]	$Q_{H,trU}$ [kWh]	$Q_{H,trN}$ [kWh]	$Q_{H,rT}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]
Novembre	*95035*	*1799*	*0*	*1457*	*0*	*8815*	*35811*
Dicembre	*144347*	*2732*	*0*	*2213*	*0*	*9530*	*54392*
Gennaio	*157361*	*2978*	*0*	*2412*	*0*	*10948*	*59296*
Febbraio	*131446*	*2488*	*0*	*2015*	*0*	*8601*	*49531*
Marzo	*111218*	*2105*	*0*	*1705*	*0*	*12037*	*41908*
Aprile	*40518*	*767*	*0*	*621*	*0*	*5247*	*15268*
Totali	***679926***	***12868***	***0***	***10422***	***0***	***55178***	***256205***

Apporti termici solari e interni:

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Novembre	*7758*	*24136*	*14593*
Dicembre	*6262*	*19636*	*15080*
Gennaio	*7012*	*22067*	*15080*
Febbraio	*9612*	*28872*	*13620*
Marzo	*15073*	*39915*	*15080*
Aprile	*10239*	*24656*	*7297*
Totali	***55957***	***159281***	***80749***

Legenda simboli

$Q_{H,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{H,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{H,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{H,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{H,rT}$	Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{int,k}$	Apporti interni

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE
Sommario perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Categoria DPR 412/93	***E.7***	-	Superficie esterna	***7786,76***	m^2
Superficie utile	***5067,10***	m^2	Volume lordo	***6854,58***	m^3
Volume netto	***18325,43***	m^3	Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}
Temperatura interna	***20,0***	°C	Capacità termica specifica	***165***	kJ/m^2K
Apporti interni	***4,00***	W/m^2	Superficie totale	***6101,62***	m^2

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]$_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,H}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Novembre	*99347*	*35811*	*135158*	*31894*	*14593*	*38729*	*12,0*	*0,922*	*99441*
Dicembre	*152559*	*54392*	*206951*	*25898*	*15080*	*34715*	*12,0*	*0,966*	*173410*
Gennaio	*166688*	*59296*	*225984*	*29079*	*15080*	*37147*	*12,0*	*0,967*	*190053*
Febbraio	*134938*	*49531*	*184468*	*38484*	*13620*	*42492*	*12,0*	*0,944*	*144350*
Marzo	*111991*	*41908*	*153900*	*54988*	*15080*	*54995*	*12,0*	*0,893*	*104792*
Aprile	*36914*	*15268*	*52182*	*34895*	*7297*	*31952*	*12,0*	*0,785*	*27100*
Totali	***702438***	***256205***	***958643***	***215238***	***80749***	***240031***			***739145***

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr}$ + $Q_{H,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
$Q_{H,nd}$	Energia utile
τ	Costante di tempo
$\eta_{u,H}$	Fattore di utilizzazione degli apporti termici

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA
secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Dati climatici della località:

Località	***Pisa***		
Provincia	***Pisa***		
Altitudine s.l.m.		***4***	m
Gradi giorno		***1694***	
Zona climatica		***D***	
Temperatura esterna di progetto		***0,0***	°C

Irradiazione solare giornaliera media mensile:

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m²	*1,8*	*2,7*	*3,8*	*5,6*	*8,1*	*9,8*	*9,5*	*6,6*	*4,3*	*3,1*	*2,1*	*1,6*
Nord-Est	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Est	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Sud-Est	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Sud	MJ/m²	*9,2*	*11,1*	*11,6*	*11,4*	*10,5*	*10,1*	*11,0*	*12,3*	*13,9*	*14,3*	*9,9*	*8,5*
Sud-Ovest	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Ovest	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Nord-Ovest	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Orizzontale	MJ/m²	*5,3*	*8,3*	*12,3*	*17,8*	*22,3*	*24,4*	*26,0*	*22,0*	*16,6*	*11,2*	*6,1*	*4,7*

Zona 1 : edificio

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata:

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	*7,2*	*7,7*	*10,6*	*13,6*	*17,2*	*21,1*	*23,5*	*23,5*	*20,9*	*16,3*	*11,7*	*9,4*
N° giorni	-	*2*	*28*	*31*	*30*	*31*	*30*	*31*	*31*	*30*	*31*	*30*	*4*

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	***Vicini presenti***				
Stagione di calcolo	***Reale***	dal	***30 gennaio***	al	***04 dicembre***
Durata della stagione		***309***	giorni		

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	***5067,10***	m^2
Superficie esterna lorda	***7786,76***	m^2
Volume netto	***18325,43***	m^3
Volume lordo	***6854,58***	m^3
Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}

ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA
Dettaglio perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione:

Mese	$Q_{C,trT}$ [kWh]	$Q_{C,trG}$ [kWh]	$Q_{C,trA}$ [kWh]	$Q_{C,trU}$ [kWh]	$Q_{C,trN}$ [kWh]	$Q_{C,rT}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]
Gennaio	*14351*	*272*	*0*	*220*	*0*	*738*	*5408*
Febbraio	*195566*	*3701*	*0*	*2998*	*0*	*8601*	*73692*
Marzo	*182208*	*3449*	*0*	*2793*	*0*	*12037*	*68658*
Aprile	*141980*	*2687*	*0*	*2176*	*0*	*11171*	*53500*
Maggio	*104119*	*1971*	*0*	*1596*	*0*	*9998*	*39233*
Giugno	*56105*	*1062*	*0*	*860*	*0*	*13149*	*21141*
Luglio	*29579*	*560*	*0*	*453*	*0*	*13258*	*11146*
Agosto	*29579*	*560*	*0*	*453*	*0*	*12909*	*11146*
Settembre	*58395*	*1105*	*0*	*895*	*0*	*11988*	*22004*
Ottobre	*114767*	*2172*	*0*	*1759*	*0*	*9623*	*43246*
Novembre	*163735*	*3099*	*0*	*2510*	*0*	*8815*	*61698*
Dicembre	*25305*	*479*	*0*	*388*	*0*	*1436*	*9535*
Totali	***111569 0***	***21116***	***0***	***17102***	***0***	***113722***	***420407***

Apporti termici solari e interni:

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Gennaio	*452*	*1424*	*973*
Febbraio	*9612*	*28872*	*13620*
Marzo	*15073*	*39915*	*15080*
Aprile	*20478*	*49311*	*14593*
Maggio	*26133*	*59366*	*15080*
Giugno	*27634*	*61264*	*14593*
Luglio	*30349*	*67041*	*15080*
Agosto	*25937*	*59789*	*15080*
Settembre	*19384*	*48830*	*14593*
Ottobre	*14140*	*40339*	*15080*
Novembre	*7758*	*24136*	*14593*
Dicembre	*808*	*2534*	*1946*
Totali	***197759***	***482821***	***150310***

Legenda simboli

$Q_{C,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{C,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{C,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{C,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{C,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{C,rT}$	Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{int,k}$	Apporti interni

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA
Sommario perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Categoria DPR 412/93	***E.7***	-	Superficie esterna	***7786,76***	m^2
Superficie utile	***5067,10***	m^2	Volume lordo	***6854,58***	m^3
Volume netto	***18325,43***	m^3	Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}
Temperatura interna	***26,0***	°C	Capacità termica specifica	***165***	kJ/m^2K
Apporti interni	***4,00***	W/m^2	Superficie totale	***6101,62***	m^2

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ $[kWh]_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,C}$ [-]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Gennaio	*15127*	*5408*	*20535*	*1876*	*973*	*2397*	*12,0*	*0,117*	*0*
Febbraio	*201254*	*73692*	*274946*	*38484*	*13620*	*42492*	*12,0*	*0,155*	*2*
Marzo	*185413*	*68658*	*254072*	*54988*	*15080*	*54995*	*12,0*	*0,216*	*15*
Aprile	*137537*	*53500*	*191037*	*69789*	*14593*	*63904*	*12,0*	*0,334*	*143*
Maggio	*91551*	*39233*	*130784*	*85499*	*15080*	*74446*	*12,0*	*0,556*	*1762*
Giugno	*43542*	*21141*	*64683*	*88898*	*14593*	*75857*	*12,0*	*0,898*	*17795*
Luglio	*13501*	*11146*	*24647*	*97390*	*15080*	*82121*	*12,0*	*0,999*	*57507*
Agosto	*17565*	*11146*	*28710*	*85726*	*15080*	*74868*	*12,0*	*0,996*	*46279*
Settembre	*53000*	*22004*	*75004*	*68214*	*14593*	*63423*	*12,0*	*0,761*	*6326*
Ottobre	*114181*	*43246*	*157427*	*54479*	*15080*	*55419*	*12,0*	*0,351*	*157*
Novembre	*170401*	*61698*	*232098*	*31894*	*14593*	*38729*	*12,0*	*0,167*	*3*
Dicembre	*26799*	*9535*	*36334*	*3342*	*1946*	*4479*	*12,0*	*0,123*	*0*
Totali	***1069871***	***420407***	***1490278***	***680580***	***150310***	***633131***			***129989***

Legenda simboli

$Q_{C,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{C,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{C,tr}$ + $Q_{C,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
$Q_{C,nd}$	Energia utile
τ	Costante di tempo
$\eta_{u,C}$	Fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA
secondo UNI/TS 11300-2 e UNI/TS 11300-4

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Modalità di funzionamento

Circuito Riscaldamento

Modalità di funzionamento dell'impianto:

Continuato

SERVIZIO RISCALDAMENTO (impianto idronico)

Rendimenti stagionali dell'impianto:

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	***92,0***	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	***86,5***	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	***96,7***	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	***99,7***	%
Rendimento di generazione	$\eta_{H,gn}$	***86,6***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	***65,4***	%

Dati per circuito

Circuito Riscaldamento

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione	***Radiatori su parete interna***	
Potenza nominale dei corpi scaldanti	***520213***	W
Fabbisogni elettrici	***0***	W
Rendimento di emissione	***95,0***	%

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo	***Solo climatica (compensazione con sonda esterna)***	
Caratteristiche	***--***	
Rendimento di regolazione	***100,0***	%

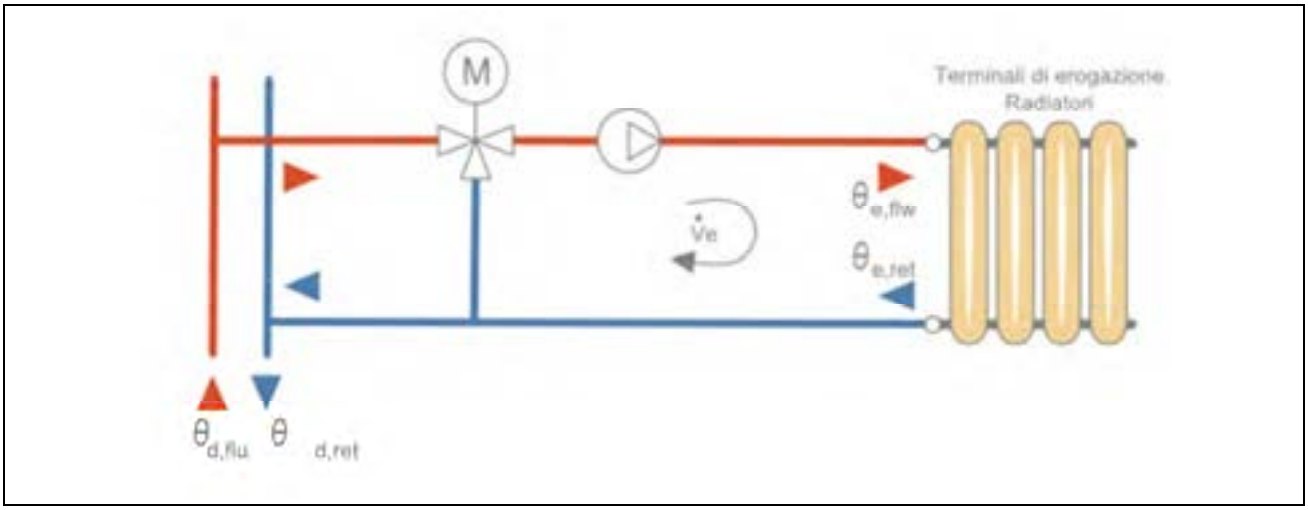
Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo	***Semplificato***
Tipo di impianto	***Centralizzato con montanti non isolati correnti in traccia nelle pareti interne o in pareti esterne con cappotto***
Posizione impianto	***-***
Posizione tubazioni	***-***

Isolamento tubazioni	***Isolamento gravemente deteriorato o inesistente***	
Numero di piani	***3***	
Fattore di correzione	***0,89***	
Rendimento di distribuzione utenza	***96,7***	%
Fabbisogni elettrici	***0***	W

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito ***A portata costante***



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	***0,0***	%
ΔT nominale lato aria	***40,0***	°C
Esponente n del corpo scaldante	***1,30***	-
ΔT di progetto lato acqua	***10,0***	°C
Portata nominale	***44768,76***	kg/h
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	***5,0***	°C

		EMETTITORI		
Mese	**giorni**	**θe,avg [°C]**	**θe,flw [°C]**	**θe,ret [°C]**
novembre	*30*	*37,6*	*39,3*	*35,8*
dicembre	*31*	*44,9*	*47,6*	*42,2*
gennaio	*31*	*46,7*	*49,6*	*43,7*
febbraio	*28*	*44,1*	*46,6*	*41,5*
marzo	*31*	*38,4*	*40,2*	*36,6*
aprile	*15*	*32,5*	*33,6*	*31,4*

Legenda simboli

$\theta_{e,avg}$	Temperatura media degli emettitori del circuito
$\theta_{e,flw}$	Temperatura di mandata degli emettitori del circuito
$\theta_{e,ret}$	Temperatura di ritorno degli emettitori del circuito

Dati comuni

Caratteristiche sottosistema di distribuzione primaria:

Metodo di calcolo ***Analitico***
Descrizione rete ***distribuzione primaria***
Coefficiente di recupero ***0,80***

Fabbisogni elettrici ***5100*** W
Fattore di recupero termico ***0,85***

Temperatura dell'acqua:

		DISTRIBUZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{d,avg}$ [°C]**	**$\theta_{d,flw}$ [°C]**	**$\theta_{d,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*50,4*	*65,0*	*35,8*
dicembre	*31*	*53,6*	*65,0*	*42,2*
gennaio	*31*	*54,4*	*65,0*	*43,7*
febbraio	*28*	*53,2*	*65,0*	*41,5*
marzo	*31*	*50,8*	*65,0*	*36,6*
aprile	*15*	*48,2*	*65,0*	*31,4*

Legenda simboli

$\theta_{d,avg}$ Temperatura media della rete di distribuzione
$\theta_{d,flw}$ Temperatura di mandata della rete di distribuzione
$\theta_{d,ret}$ Temperatura di ritorno della rete di distribuzione

CENTRALE TERMICA

Elenco sistemi di generazione in centrale termica:

Priorità	Tipo di generatore	Metodo di calcolo
1	***Caldaia tradizionale***	***Analitico***
2	***Caldaia tradizionale***	***Analitico***

Modalità di funzionamento ***Contemporaneo***

SOTTOSISTEMA DI GENERAZIONE

Generatore 1 - Caldaia tradizionale

Dati generali:
Servizio ***Riscaldamento***
Tipo di generatore ***Caldaia tradizionale***
Metodo di calcolo ***Analitico***

Marca/Serie/Modello ***Riello RTQ 448 3s***
Potenza nominale al focolare Φ_{cn} ***448,00*** kW

Caratteristiche:
Perdita al camino a bruciatore acceso $P'_{ch,on}$ ***10,00*** %
Caldaia a gas con bruciatore ad aria soffiata

Perdita al camino a bruciatore spento $P'_{ch,off}$ ***0,20*** %

Bruciatore aria soffiata,combustibile liquido/gassoso con chiusura dell'aria all'arresto

Perdita al mantello $P'_{gn,env}$ ***1,12*** %

Generatore ben isolato e mantenuto

Rendimento utile a potenza nominale $\eta_{gn,Pn}$ ***95,40*** %

Rendimento utile a potenza intermedia $\eta_{gn,Pint}$ ***96,70*** %

Fabbisogni elettrici:

Potenza elettrica bruciatore W_{br} ***750*** W

Fattore di recupero elettrico k_{br} ***0,80*** -

Potenza elettrica pompe circolazione W_{af} ***1000*** W

Fattore di recupero elettrico k_{af} ***0,80*** -

Dati per generatori modulanti (riferiti alla potenza minima):

Potenza minima al focolare $\Phi_{cn,min}$ ***128,00*** kW

Perdita al camino a bruciatore acceso $P'_{ch,on,min}$ ***8,00*** %

Potenza elettrica bruciatore $W_{br,min}$ ***225*** W

Ambiente di installazione:

Ambiente di installazione ***Centrale termica***

Fattore di riduzione delle perdite $k_{gn,env}$ ***0,30*** -

Temperatura ambiente installazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
11,7	***12,7***	***15,6***	***18,6***	***22,2***	***26,1***	***28,5***	***28,5***	***25,9***	***21,3***	***16,7***	***12,8***

Temperatura dell'acqua del generatore di calore:

Generatore a temperatura di mandata fissa ***65,0*** °C

Tipo di circuito ***Collegamento diretto***

		GENERAZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{gn,avg}$ [°C]**	**$\theta_{gn,flw}$ [°C]**	**$\theta_{gn,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*50,4*	*65,0*	*35,8*
dicembre	*31*	*53,6*	*65,0*	*42,2*
gennaio	*31*	*54,4*	*65,0*	*43,7*
febbraio	*28*	*53,2*	*65,0*	*41,5*
marzo	*31*	*50,8*	*65,0*	*36,6*
aprile	*15*	*48,2*	*65,0*	*31,4*

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$ Temperatura media del generatore di calore

$\theta_{gn,flw}$ Temperatura di mandata del generatore di calore

$\theta_{gn,ret}$ Temperatura di ritorno del generatore di calore

Vettore energetico:

Tipo ***Metano***

Potere calorifico inferiore H_i ***9,940*** kWh/Nm³

Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,000***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,050***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***1,050***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,1998***	kg_{CO2}/kWh

Generatore 2 - Caldaia tradizionale

Dati generali:

Servizio ***Riscaldamento***

Tipo di generatore ***Caldaia tradizionale***

Metodo di calcolo ***Analitico***

Marca/Serie/Modello ***Seveso***

Potenza nominale al focolare Φ_{cn} ***305,70*** kW

Caratteristiche:

Perdita al camino a bruciatore acceso $P'_{ch,on}$ ***10,00*** %

Caldaia a gas con bruciatore ad aria soffiata

Perdita al camino a bruciatore spento $P'_{ch,off}$ ***1,00*** %

Bruciatore aria soffiata,combustibile liquido/gassoso senza chiusura aria all'arresto,camino<10m

Perdita al mantello $P'_{gn,env}$ ***2,89*** %

Generatore vecchio, isolamento scadente

Rendimento utile a potenza nominale $\eta_{gn,Pn}$ ***0,00*** %

Rendimento utile a potenza intermedia $\eta_{gn,Pint}$ ***0,00*** %

Fabbisogni elettrici:

Potenza elettrica bruciatore W_{br} ***702*** W

Fattore di recupero elettrico k_{br} ***0,80*** -

Potenza elettrica pompe circolazione W_{af} ***0*** W

Fattore di recupero elettrico k_{af} ***0,80*** -

Ambiente di installazione:

Ambiente di installazione ***Centrale termica***

Fattore di riduzione delle perdite $k_{gn,env}$ ***0,30*** -

Temperatura ambiente installazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
11,7	***12,7***	***15,6***	***18,6***	***22,2***	***26,1***	***28,5***	***28,5***	***25,9***	***21,3***	***16,7***	***12,8***

Temperatura dell'acqua del generatore di calore:

Generatore a temperatura di mandata fissa ***65,0*** °C

Tipo di circuito ***Collegamento diretto***

		GENERAZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{gn,avg}$ [°C]**	**$\theta_{gn,flw}$ [°C]**	**$\theta_{gn,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*0,0*	*0,0*	*0,0*

dicembre	31	0,0	0,0	0,0
gennaio	31	0,0	0,0	0,0
febbraio	28	0,0	0,0	0,0
marzo	31	0,0	0,0	0,0
aprile	15	0,0	0,0	0,0

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$	Temperatura media del generatore di calore
$\theta_{gn,flw}$	Temperatura di mandata del generatore di calore
$\theta_{gn,ret}$	Temperatura di ritorno del generatore di calore

Vettore energetico:

Tipo		***Metano***	
Potere calorifico inferiore	H_i	***9,940***	kWh/Nm³
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,000***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,050***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***1,050***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,1998***	kg_{CO2}/kWh

RISULTATI DI CALCOLO MENSILI

Risultati mensili servizio riscaldamento – impianto idronico

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Dettagli generatore: ***1 - Caldaia tradizionale***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [Nm³]
gennaio	31	236342	258787	86,2	26035
febbraio	28	186908	203925	86,5	20516
marzo	31	146288	158405	86,9	15936
aprile	15	43211	46441	87,1	4672
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	133435	144317	87,0	14519
dicembre	31	216189	236128	86,4	23755

Mese	gg	FC_{nom} [-]	FC_{min} [-]	$P_{ch,on}$ [%]	$P_{ch,off}$ [%]	$P_{gn,env}$ [%]
gennaio	31	0,776	2,677	8,67	0,17	0,29
febbraio	28	0,677	2,340	8,34	0,16	0,27
marzo	31	0,475	1,649	7,67	0,14	0,24
aprile	15	0,288	1,002	7,03	0,12	0,20
maggio	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-

luglio	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-	-
novembre	30	0,447	1,553	7,57	0,13	0,23
dicembre	31	0,708	2,446	8,45	0,16	0,27

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC_{nom}	Fattore di carico a potenza nominale
FC_{min}	Fattore di carico a potenza minima
$P_{ch,on}$	Perdite al camino a bruciatore acceso
$P_{ch,off}$	Perdite al camino a bruciatore spento
$P_{gn,env}$	Perdite al mantello

Dettagli generatore: ***2 - Caldaia tradizionale***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [Nm³]
gennaio	31	0	0	0,0	0
febbraio	28	0	0	0,0	0
marzo	31	0	0	0,0	0
aprile	15	0	0	0,0	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	0	0	0,0	0
dicembre	31	0	0	0,0	0

Mese	gg	FC_{nom} [-]	$P_{ch,on}$ [%]	$P_{ch,off}$ [%]	$P_{gn,env}$ [%]
gennaio	31	0,000	0,00	0,00	0,00
febbraio	28	0,000	0,00	0,00	0,00
marzo	31	0,000	0,00	0,00	0,00
aprile	15	0,000	0,00	0,00	0,00
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	0,000	0,00	0,00	0,00
dicembre	31	0,000	0,00	0,00	0,00

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento

$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC_{nom}	Fattore di carico a potenza nominale
$P_{ch,on}$	Perdite al camino a bruciatore acceso
$P_{ch,off}$	Perdite al camino a bruciatore spento
$P_{gn,env}$	Perdite al mantello

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Qp_H [kWh]
gennaio	*31*	*258787*	*3418*	*278393*
febbraio	*28*	*203925*	*2786*	*219553*
marzo	*31*	*158405*	*2396*	*170997*
aprile	*15*	*46441*	*847*	*50415*
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	*30*	*144317*	*2227*	*155875*
dicembre	*31*	*236128*	*3189*	*254153*
TOTALI	***166***	***1048002***	***14863***	***1129386***

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Qp_H	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Modalità di funzionamento

SERVIZIO ACQUA CALDA SANITARIA

Rendimenti stagionali dell'impianto:

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	***100,0***	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	***92,6***	%
Rendimento di generazione	$\eta_{W,gn}$	***38,5***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	***35,6***	%

Dati per zona

Zona: ***edificio***

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
171	*171*	*171*	*171*	*171*	*86*	*0*	*0*	*86*	*171*	*171*	*171*

Categoria DPR 412/93 ***E.7***

Temperatura di erogazione ***40,0*** °C

Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
15,1	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*

Fabbisogno giornaliero per posto ***0,2*** l/g posto

Numero di posti ***856***

Fattore di occupazione [%]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
100	*100*	*100*	*100*	*100*	*50*	*0*	*0*	*50*	*100*	*100*	*100*

Caratteristiche sottosistema di erogazione:

Rendimento di erogazione ***100,0*** %

Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo ***Semplificato***

Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76, rete corrente totalmente in ambiente climatizzato

SOTTOSISTEMA DI GENERAZIONE

Modalità di funzionamento del generatore:

Continuato ***24*** ore giornaliere

Dati generali:

Servizio	***Acqua calda sanitaria***
Tipo di generatore	***Bollitore elettrico ad accumulo***
Metodo di calcolo	***-***

Tipologia		***Bollitore elettrico ad accumulo***	
Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$	***12,00***	kW
Rendimento di generazione stagionale	η_{gn}	***75,00***	%

Vettore energetico:

Tipo		***Energia elettrica***	
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,470***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,950***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***2,420***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,4332***	kg_{CO2}/kWh

RISULTATI DI CALCOLO MENSILI

Risultati mensili servizio acqua calda sanitaria

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Dettagli generatore: ***1 - Bollitore elettrico ad accumulo***

Mese	gg	$Q_{W,gn,out}$ [kWh]	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{W,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	*31*	*166*	*222*	*38,5*	*0*
febbraio	*28*	*150*	*200*	*38,5*	*0*
marzo	*31*	*166*	*222*	*38,5*	*0*
aprile	*30*	*161*	*214*	*38,5*	*0*
maggio	*31*	*166*	*222*	*38,5*	*0*
giugno	*30*	*80*	*107*	*38,5*	*0*
luglio	*31*	*0*	*0*	*0,0*	*0*
agosto	*31*	*0*	*0*	*0,0*	*0*
settembre	*30*	*80*	*107*	*38,5*	*0*
ottobre	*31*	*166*	*222*	*38,5*	*0*
novembre	*30*	*161*	*214*	*38,5*	*0*
dicembre	*31*	*166*	*222*	*38,5*	*0*

Mese	gg	FC [-]
gennaio	*31*	*0,019*
febbraio	*28*	*0,019*
marzo	*31*	*0,019*
aprile	*30*	*0,019*
maggio	*31*	*0,019*
giugno	*30*	*0,009*
luglio	*31*	*0,000*

agosto	31	0,000
settembre	30	0,009
ottobre	31	0,019
novembre	30	0,019
dicembre	31	0,019

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per acqua sanitaria
$\eta_{W,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Qp_W [kWh]
gennaio	31	222	222	432
febbraio	28	200	200	390
marzo	31	222	222	432
aprile	30	214	214	418
maggio	31	222	222	432
giugno	30	107	107	209
luglio	31	0	0	0
agosto	31	0	0	0
settembre	30	107	107	209
ottobre	31	222	222	432
novembre	30	214	214	418
dicembre	31	222	222	432
TOTALI	**365**	**1951**	**1951**	**3805**

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria
$Q_{W,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria
Qp_W	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA ILLUMINAZIONE

secondo UNI/TS 11300-2

Fabbisogni per il servizio illuminazione di ogni zona

Zona	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,u}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,est}$ [kWh_{el}]	Q_{ill} [kWh_{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
1 - edificio	*52031*	*28437*	*0*	*80468*	*0*	*80468*	*156912*
TOTALI	***52031***	***28437***	***0***	***80468***	***0***	***80468***	***156912***

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
$Q_{ill,est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

RISULTATI DI CALCOLO STAGIONALI

Servizio riscaldamento

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Impianto idronico

Fabbisogno di energia primaria annuale	Qp_H	***1129386***	kWh/anno
Rendimento di generazione medio annuale	$\eta_{H,gn}$	***86,6***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	***65,4***	%
Consumo annuo di Metano		***105433***	Nm^3
Consumo annuo di Energia elettrica		***14863***	kWhe

Servizio acqua calda sanitaria

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Fabbisogno di energia primaria annuale	Qp_W	***3805***	kWh/anno
Rendimento di generazione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	***38,46***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	***35,61***	%
Consumo annuo di Energia elettrica		***1951***	kWhe

RETE DI DISTRIBUZIONE ANALITICA
calcolo secondo UNI/TS 11300-2

Descrizione rete: ***distribuzione primaria***

Descrizione tubazione	D [mm]	L [m]	U [W/mK]	Tipologia
tubazione 1	*100*	*14,40*	*0,331*	*Tubazione singola interrata*
tubazione 2	*80*	*30,00*	*0,358*	*Tubazione corrente in aria*
tubazione 3	*80*	*23,10*	*2,222*	*Tubazione corrente in aria*

Legenda

D	Diametro esterno della tubazione
L	Lunghezza della tubazione
U	Trasmittanza lineica della tubazione

Dettagli tubazioni

Descrizione tubazione ***tubazione 1***

Trasmittanza lineica della tubazione	***0,331***	W/mK
Diametro esterno	***100***	mm
Lunghezza	***14,40***	m

Tipologia ***Tubazione singola interrata***

Conduttività terreno	***1,500***	W/mK
Profondità di interramento	***0,60***	m

Isolamento

Isolante 1	Spessore	***50***	mm	Conduttività	***0,040***	W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione	***Terreno***	
Coefficiente di recuperabilità delle perdite	***0,00***	-
Temperatura ambiente installazione	***20,0***	°C

Descrizione tubazione ***tubazione 2***

Trasmittanza lineica della tubazione	***0,358***	W/mK
Diametro esterno	***80***	mm
Lunghezza	***30,00***	m

Tipologia ***Tubazione corrente in aria***

Isolamento

Isolante 1	Spessore	***30***	mm	Conduttività	***0,040***	W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione ***Locale non riscaldato***

Coefficiente di recuperabilità delle perdite ***0,60*** -

Temperatura ambiente installazione ***12,0*** °C

Descrizione tubazione ***tubazione 3***

Trasmittanza lineica della tubazione ***2,222*** W/mK

Diametro esterno ***80*** mm

Lunghezza ***23,10*** m

Tipologia ***Tubazione corrente in aria***

Isolamento

Isolante 1 Spessore ***30*** mm Conduttività ***0,400*** W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione ***Esterno***

Coefficiente di recuperabilità delle perdite ***0,00*** -

Temperatura ambiente installazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
6,7	*7,7*	*10,6*	*13,6*	*17,2*	*21,1*	*23,5*	*23,5*	*20,9*	*16,3*	*11,7*	*7,8*

PERDITE RETI DI DISTRIBUZIONE
calcolo secondo UNI/TS 11300-2

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Servizio riscaldamento (impianto idronico)

Distribuzione primaria

Dettaglio perdite della rete: ***distribuzione primaria***

Mese	giorni	Ql [kWh]	Qlrh [kWh]	Ql' [kWh]
gennaio	*31*	*2280*	*162*	*215*
febbraio	*28*	*1975*	*143*	*328*
marzo	*31*	*1953*	*149*	*631*
aprile	*15*	*828*	*67*	*416*
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	*30*	*1832*	*143*	*620*
dicembre	*31*	*2200*	*159*	*301*
TOTALI	***166***	***11068***	***823***	***2510***

Legenda simboli

Ql	Perdite della rete di distribuzione del sottosistema
Qlrh	Perdite recuperate della rete di distribuzione del sottosistema
Ql'	Perdite della rete di distribuzione del sottosistema, al netto di tutti i recuperi (termici ed elettrici)

Servizio acqua calda sanitaria ***Zona 1 : edificio***

Nota: nessuna rete di distribuzione associata per il servizio.

A.5 RISULTATI DI CALCOLO EDIFICIO NZEB

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE
secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Dati climatici della località:

Località	***Pisa***		
Provincia	***Pisa***		
Altitudine s.l.m.		***4***	m
Gradi giorno		***1694***	
Zona climatica		***D***	
Temperatura esterna di progetto		***0,0***	°C

Irradiazione solare giornaliera media mensile:

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m²	*1,8*	*2,7*	*3,8*	*5,6*	*8,1*	*9,8*	*9,5*	*6,6*	*4,3*	*3,1*	*2,1*	*1,6*
Nord-Est	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Est	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Sud-Est	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Sud	MJ/m²	*9,2*	*11,1*	*11,6*	*11,4*	*10,5*	*10,1*	*11,0*	*12,3*	*13,9*	*14,3*	*9,9*	*8,5*
Sud-Ovest	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Ovest	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Nord-Ovest	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Orizzontale	MJ/m²	*5,3*	*8,3*	*12,3*	*17,8*	*22,3*	*24,4*	*26,0*	*22,0*	*16,6*	*11,2*	*6,1*	*4,7*

Zona 1 : edificio

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata:

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	*6,7*	*7,7*	*10,6*	*12,9*	-	-	-	-	-	-	*11,7*	*7,8*
N° giorni	-	*31*	*28*	*31*	*15*	-	-	-	-	-	-	*30*	*31*

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	***Vicini presenti***				
Stagione di calcolo	***Convenzionale***	dal	***01 novembre***	al	***15 aprile***
Durata della stagione	***166***	giorni			

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	***5067,10***	m^2
Superficie esterna lorda	***7786,76***	m^2
Volume netto	***18325,43***	m^3
Volume lordo	***6854,58***	m^3
Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}

ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE
Dettaglio perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione:

Mese	$Q_{H,trT}$ [kWh]	$Q_{H,trG}$ [kWh]	$Q_{H,trA}$ [kWh]	$Q_{H,trU}$ [kWh]	$Q_{H,trN}$ [kWh]	$Q_{H,rT}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]
Novembre	*19765*	*1693*	*0*	*1381*	*0*	*1484*	*35811*
Dicembre	*30020*	*2572*	*0*	*2097*	*0*	*1604*	*54392*
Gennaio	*32727*	*2804*	*0*	*2286*	*0*	*1843*	*59296*
Febbraio	*27337*	*2342*	*0*	*1910*	*0*	*1448*	*49531*
Marzo	*23130*	*1982*	*0*	*1616*	*0*	*2026*	*41908*
Aprile	*8427*	*722*	*0*	*589*	*0*	*883*	*15268*
Totali	***141405***	***12116***	***0***	***9879***	***0***	***9290***	***256205***

Apporti termici solari e interni:

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Novembre	*601*	*18917*	*14593*
Dicembre	*487*	*15062*	*15080*
Gennaio	*544*	*17203*	*15080*
Febbraio	*738*	*21916*	*13620*
Marzo	*1141*	*29805*	*15080*
Aprile	*770*	*18852*	*7297*
Totali	***4281***	***121755***	***80749***

Legenda simboli

$Q_{H,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{H,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{H,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{H,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{H,rT}$	Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{int,k}$	Apporti interni

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE
Sommario perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Categoria DPR 412/93	***E.7***	-	Superficie esterna	***7786,76***	m^2
Superficie utile	***5067,10***	m^2	Volume lordo	***6854,58***	m^3
Volume netto	***18325,43***	m^3	Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}
Temperatura interna	***20,0***	°C	Capacità termica specifica	***165***	kJ/m^2K
Apporti interni	***4,00***	W/m^2	Superficie totale	***6101,62***	m^2

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ $[kWh]_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,H}$ [-]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Novembre	*23722*	*35811*	*59532*	*19518*	*14593*	*33510*	*25,8*	*0,896*	*29497*
Dicembre	*35807*	*54392*	*90199*	*15549*	*15080*	*30142*	*25,8*	*0,966*	*61091*
Gennaio	*39116*	*59296*	*98412*	*17747*	*15080*	*32283*	*25,8*	*0,967*	*67190*
Febbraio	*32299*	*49531*	*81830*	*22654*	*13620*	*35536*	*25,8*	*0,939*	*48467*
Marzo	*27613*	*41908*	*69521*	*30947*	*15080*	*44885*	*25,8*	*0,866*	*30652*
Aprile	*9851*	*15268*	*25119*	*19621*	*7297*	*26148*	*25,8*	*0,716*	*6385*
Totali	***168408***	***256205***	***424614***	***126036***	***80749***	***202504***			***243282***

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr}$ + $Q_{H,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
$Q_{H,nd}$	Energia utile
τ	Costante di tempo
$\eta_{u,H}$	Fattore di utilizzazione degli apporti termici

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA
secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1

Dati climatici della località:

Località	***Pisa***		
Provincia	***Pisa***		
Altitudine s.l.m.		***4***	m
Gradi giorno		***1694***	
Zona climatica		***D***	
Temperatura esterna di progetto		***0,0***	°C

Irradiazione solare giornaliera media mensile:

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m²	*1,8*	*2,7*	*3,8*	*5,6*	*8,1*	*9,8*	*9,5*	*6,6*	*4,3*	*3,1*	*2,1*	*1,6*
Nord-Est	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Est	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Sud-Est	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Sud	MJ/m²	*9,2*	*11,1*	*11,6*	*11,4*	*10,5*	*10,1*	*11,0*	*12,3*	*13,9*	*14,3*	*9,9*	*8,5*
Sud-Ovest	MJ/m²	*7,2*	*9,3*	*11,0*	*12,8*	*13,4*	*13,4*	*14,8*	*14,8*	*14,1*	*12,3*	*7,9*	*6,7*
Ovest	MJ/m²	*4,2*	*6,3*	*8,9*	*12,2*	*14,7*	*15,7*	*17,0*	*15,0*	*12,0*	*8,6*	*4,8*	*3,8*
Nord-Ovest	MJ/m²	*2,0*	*3,4*	*5,5*	*8,7*	*11,7*	*13,2*	*13,7*	*10,9*	*7,4*	*4,4*	*2,4*	*1,8*
Orizzontale	MJ/m²	*5,3*	*8,3*	*12,3*	*17,8*	*22,3*	*24,4*	*26,0*	*22,0*	*16,6*	*11,2*	*6,1*	*4,7*

Zona 1 : edificio

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata:

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	*6,7*	*7,7*	*10,6*	*13,6*	*17,2*	*21,1*	*23,5*	*23,5*	*20,9*	*16,3*	*11,7*	*7,8*
N° giorni	-	*31*	*28*	*31*	*30*	*31*	*30*	*31*	*31*	*30*	*31*	*30*	*31*

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	***Vicini presenti***				
Stagione di calcolo	***Reale***	dal	***01 gennaio***	al	***31 dicembre***
Durata della stagione		***365***	giorni		

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	***5067,10***	m^2
Superficie esterna lorda	***7786,76***	m^2
Volume netto	***18325,43***	m^3
Volume lordo	***6854,58***	m^3
Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}

ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA
Dettaglio perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione:

Mese	$Q_{C,trT}$ [kWh]	$Q_{C,trG}$ [kWh]	$Q_{C,trA}$ [kWh]	$Q_{C,trU}$ [kWh]	$Q_{C,trN}$ [kWh]	$Q_{C,rT}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]
Gennaio	*47491*	*4069*	*0*	*3318*	*0*	*1843*	*86046*
Febbraio	*40672*	*3485*	*0*	*2841*	*0*	*1448*	*73692*
Marzo	*37894*	*3247*	*0*	*2647*	*0*	*2026*	*68658*
Aprile	*29528*	*2530*	*0*	*2063*	*0*	*1881*	*53500*
Maggio	*21654*	*1855*	*0*	*1513*	*0*	*1683*	*39233*
Giugno	*11668*	*1000*	*0*	*815*	*0*	*2214*	*21141*
Luglio	*6152*	*527*	*0*	*430*	*0*	*2232*	*11146*
Agosto	*6152*	*527*	*0*	*430*	*0*	*2173*	*11146*
Settembre	*12144*	*1041*	*0*	*848*	*0*	*2018*	*22004*
Ottobre	*23868*	*2045*	*0*	*1668*	*0*	*1620*	*43246*
Novembre	*34052*	*2918*	*0*	*2379*	*0*	*1484*	*61698*
Dicembre	*44784*	*3837*	*0*	*3129*	*0*	*1604*	*81142*
Totali	***316059***	***27081***	***0***	***22081***	***0***	***22228***	***572652***

Apporti termici solari e interni:

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]
Gennaio	*544*	*17203*	*15080*
Febbraio	*738*	*21916*	*13620*
Marzo	*1141*	*29805*	*15080*
Aprile	*1539*	*37703*	*14593*
Maggio	*1971*	*45970*	*15080*
Giugno	*2096*	*46940*	*14593*
Luglio	*2287*	*50066*	*15080*
Agosto	*1940*	*43972*	*15080*
Settembre	*1451*	*35730*	*14593*
Ottobre	*1075*	*29361*	*15080*
Novembre	*601*	*18917*	*14593*
Dicembre	*487*	*15062*	*15080*
Totali	***15870***	***392647***	***177551***

Legenda simboli

$Q_{C,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{C,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{C,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{C,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{C,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{C,rT}$	Energia dispersa per extraflusso da locale climatizzato verso esterno
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{int,k}$	Apporti interni

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA
Sommario perdite e apporti

Zona 1 : edificio

Categoria DPR 412/93	***E.7***	-	Superficie esterna	***7786,76***	m^2
Superficie utile	***5067,10***	m^2	Volume lordo	***6854,58***	m^3
Volume netto	***18325,43***	m^3	Rapporto S/V	***1,14***	m^{-1}
Temperatura interna	***26,0***	°C	Capacità termica specifica	***165***	kJ/m^2K
Apporti interni	***4,00***	W/m^2	Superficie totale	***6101,62***	m^2

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]$_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	τ [h]	$\eta_{u,C}$ [-]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Gennaio	*56177*	*86046*	*142223*	*17747*	*15080*	*32283*	*25,8*	*0,227*	*3*
Febbraio	*47708*	*73692*	*121400*	*22654*	*13620*	*35536*	*25,8*	*0,293*	*15*
Marzo	*44673*	*68658*	*113332*	*30947*	*15080*	*44885*	*25,8*	*0,395*	*103*
Aprile	*34462*	*53500*	*87962*	*39242*	*14593*	*52296*	*25,8*	*0,584*	*952*
Maggio	*24734*	*39233*	*63968*	*47941*	*15080*	*61050*	*25,8*	*0,837*	*7524*
Giugno	*13601*	*21141*	*34743*	*49036*	*14593*	*61533*	*25,8*	*0,858*	*31740*
Luglio	*7053*	*11146*	*18199*	*52353*	*15080*	*65146*	*25,8*	*0,858*	*49539*
Agosto	*7341*	*11146*	*18487*	*45913*	*15080*	*59052*	*25,8*	*0,858*	*43199*
Settembre	*14601*	*22004*	*36605*	*37181*	*14593*	*50324*	*25,8*	*0,858*	*18934*
Ottobre	*28126*	*43246*	*71372*	*30436*	*15080*	*44441*	*25,8*	*0,609*	*1004*
Novembre	*40232*	*61698*	*101929*	*19518*	*14593*	*33510*	*25,8*	*0,328*	*28*
Dicembre	*52868*	*81142*	*134009*	*15549*	*15080*	*30142*	*25,8*	*0,225*	*3*
Totali	***371578***	***572652***	***944230***	***408517***	***177551***	***570198***			***153044***

Legenda simboli

$Q_{C,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{C,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{C,tr}$ + $Q_{C,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = Q_{sol} + Q_{int}
$Q_{C,nd}$	Energia utile
τ	Costante di tempo
$\eta_{u,C}$	Fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA
secondo UNI/TS 11300-2 e UNI/TS 11300-4

Zona 1 : edificio

Modalità di funzionamento

Circuito Riscaldamento edificio

Modalità di funzionamento dell'impianto:
Continuato

SERVIZIO RISCALDAMENTO (impianto idronico)

Rendimenti stagionali dell'impianto:

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	***95,0***	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	***97,0***	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{H,du}$	***87,3***	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{H,dp}$	***98,7***	%
Rendimento di generazione	$\eta_{H,gn}$	***234,9***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	***176,9***	%

Dati per circuito

Circuito Riscaldamento edificio

Caratteristiche sottosistema di emissione:

Tipo di terminale di erogazione	***Radiatori su parete interna***	
Potenza nominale dei corpi scaldanti	***370149***	W
Fabbisogni elettrici	***0***	W
Rendimento di emissione	***95,0***	%

Caratteristiche sottosistema di regolazione:

Tipo	***Per singolo ambiente + climatica***	
Caratteristiche	***On off***	
Rendimento di regolazione	***97,0***	%

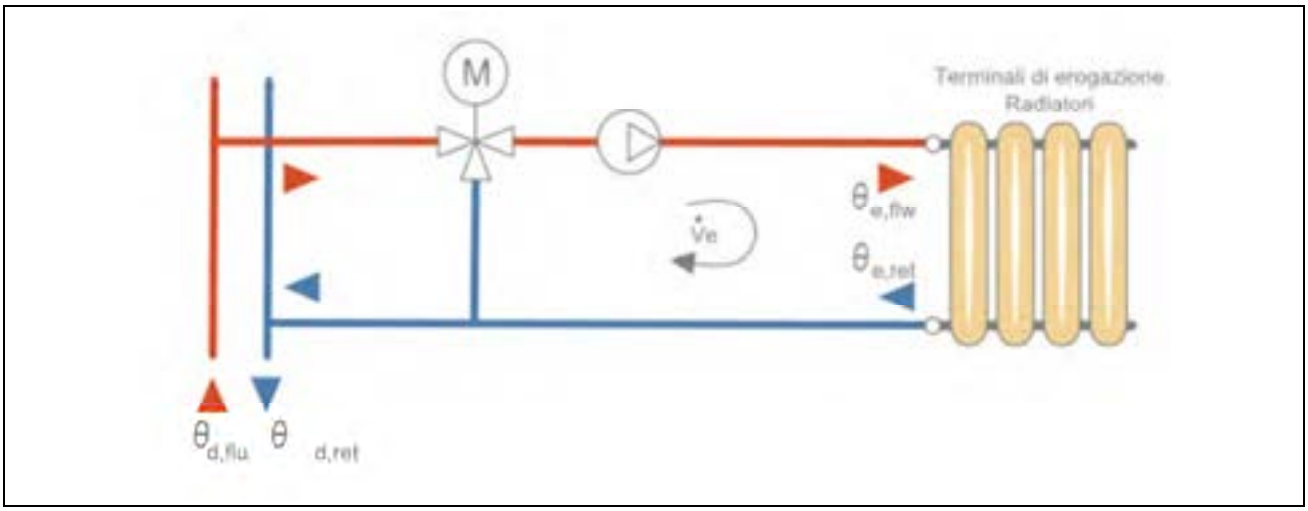
Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo	***Semplificato***
Tipo di impianto	***Autonomo, edificio singolo***
Posizione impianto	***-***
Posizione tubazioni	***Tubazioni correnti nel cantinato in vista***
Isolamento tubazioni	***Isolamento gravemente deteriorato o inesistente***
Numero di piani	***-***

Fattore di correzione	***1,00***	
Rendimento di distribuzione utenza	***87,3***	%
Fabbisogni elettrici	***0***	W

Temperatura dell'acqua - Riscaldamento

Tipo di circuito ***ON-OFF, valvola a due vie***



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	***10,0***	%
ΔT nominale lato aria	***30,0***	°C
Esponente n del corpo scaldante	***1,30***	-
ΔT di progetto lato acqua	***20,0***	°C
Portata nominale	***17519,96***	kg/h
Criterio di calcolo	***Temperatura di mandata variabile***	
Sovratemperatura di mandata	***10,0***	°C
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	***5,0***	°C

		EMETTITORI		
Mese	**giorni**	**$\theta_{e,avg}$ [°C]**	**$\theta_{e,flw}$ [°C]**	**$\theta_{e,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*32,2*	*35,5*	*28,9*
dicembre	*31*	*35,1*	*39,3*	*30,8*
gennaio	*31*	*35,6*	*40,0*	*31,2*
febbraio	*28*	*34,4*	*38,4*	*30,4*
marzo	*31*	*32,2*	*35,5*	*28,9*
aprile	*15*	*30,2*	*32,9*	*27,6*

Legenda simboli

$\theta_{e,avg}$	Temperatura media degli emettitori del circuito
$\theta_{e,flw}$	Temperatura di mandata degli emettitori del circuito
$\theta_{e,ret}$	Temperatura di ritorno degli emettitori del circuito

Dati comuni

Caratteristiche sottosistema di distribuzione primaria:

Metodo di calcolo ***Analitico***

Descrizione rete ***distribuzione primaria***

Coefficiente di recupero ***0,80***

Fabbisogni elettrici ***5100*** W

Fattore di recupero termico ***0,85***

Temperatura dell'acqua:

		DISTRIBUZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{d,avg}$ [°C]**	**$\theta_{d,flw}$ [°C]**	**$\theta_{d,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*38,5*	*40,5*	*36,6*
dicembre	*31*	*40,8*	*44,3*	*37,4*
gennaio	*31*	*41,3*	*45,0*	*37,5*
febbraio	*28*	*40,3*	*43,4*	*37,2*
marzo	*31*	*38,5*	*40,5*	*36,6*
aprile	*15*	*36,9*	*37,9*	*36,0*

Legenda simboli

$\theta_{d,avg}$ Temperatura media della rete di distribuzione

$\theta_{d,flw}$ Temperatura di mandata della rete di distribuzione

$\theta_{d,ret}$ Temperatura di ritorno della rete di distribuzione

CENTRALE TERMICA

Elenco sistemi di generazione in centrale termica:

Priorità	Tipo di generatore	Metodo di calcolo
1	***Pompa di calore***	***secondo UNI/TS 11300-4***
2	***Pompa di calore***	***secondo UNI/TS 11300-4***

Modalità di funzionamento ***Contemporaneo***

SOTTOSISTEMA DI GENERAZIONE

Generatore 1 - Pompa di calore

Dati generali:

Servizio ***Riscaldamento***

Tipo di generatore ***Pompa di calore***

Metodo di calcolo ***secondo UNI/TS 11300-4***

Marca/Serie/Modello ***RIELLO/RAA-EF SERIE 2C H/RAA-EF 0552H***

Tipo di pompa di calore ***Elettrica***

Temperatura di disattivazione $\theta_{H,off}$ ***20,0*** °C (per riscaldamento)

Sorgente fredda ***Acqua di falda, di mare, di lago o di fiume***

Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima	***-8,0***	°C
	massima	***23,0***	°C
Temperatura della sorgente fredda		***15,1***	°C

Sorgente calda ***Acqua di impianto***

Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima	***26,0***	°C
	massima	***52,0***	°C

Prestazioni dichiarate:

Coefficiente di prestazione	COPe	***4,1***	
Potenza utile	P_u	***190,00***	kW
Potenza elettrica assorbita	P_{ass}	***46,00***	kW
Temperatura della sorgente fredda	θ_f	***7***	°C
Temperatura della sorgente calda	θ_c	***45***	°C

Fattori correttivi della pompa di calore:

Fattore di correzione Cc ***0,10*** -

CR	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Fc	*0,00*	*0,53*	*0,71*	*0,81*	*0,87*	*0,91*	*0,94*	*0,96*	*0,98*	*0,99*	*1,00*

Legenda simboli

CR Fattore di carico macchina della pompa di calore
Fc Fattore correttivo della pompa di calore

Integrazione:

Rendimento di generazione		***100,0***	%
Tipo combustibile		***Energia elettrica***	
Potere calorifico inferiore	H_i	***1,000***	-
Fattore di conversione	f_p	***2,420***	-

Fabbisogni elettrici:

Potenza elettrica degli ausiliari indipendenti ***0*** W

Temperatura dell'acqua del generatore di calore:

Generatore di calore a temperatura scorrevole

Tipo di circuito ***Collegamento diretto***

		GENERAZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{gn,avg}$ [°C]**	**$\theta_{gn,flw}$ [°C]**	**$\theta_{gn,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*38,5*	*40,5*	*36,6*
dicembre	*31*	*40,8*	*44,3*	*37,4*
gennaio	*31*	*41,3*	*45,0*	*37,5*
febbraio	*28*	*40,3*	*43,4*	*37,2*
marzo	*31*	*38,5*	*40,5*	*36,6*
aprile	*15*	*36,9*	*37,9*	*36,0*

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$	Temperatura media del generatore di calore
$\theta_{gn,flw}$	Temperatura di mandata del generatore di calore
$\theta_{gn,ret}$	Temperatura di ritorno del generatore di calore

Vettore energetico:

Tipo		***Energia elettrica***	
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,470***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,950***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***2,420***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,4332***	kg_{CO2}/kWh

Generatore 2 - Pompa di calore

Dati generali:

Servizio	***Riscaldamento***
Tipo di generatore	***Pompa di calore***
Metodo di calcolo	***secondo UNI/TS 11300-4***

Marca/Serie/Modello	***RIELLO/RAA-EF SERIE 2C H/RAA-EF 0552H***
Tipo di pompa di calore	***Elettrica***

Temperatura di disattivazione	$\theta_{H,off}$	***20,0***	°C (per riscaldamento)

Sorgente fredda ***Acqua di falda, di mare, di lago o di fiume***

Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima	***-8,0***	°C
	massima	***23,0***	°C
Temperatura della sorgente fredda		***15,1***	°C

Sorgente calda ***Acqua di impianto***

Temperatura di funzionamento (cut-off)	minima	***26,0***	°C
	massima	***52,0***	°C

Prestazioni dichiarate:

Coefficiente di prestazione	COPe	***4,1***	
Potenza utile	P_u	***190,00***	kW
Potenza elettrica assorbita	P_{ass}	***46,00***	kW
Temperatura della sorgente fredda	θ_f	***7***	°C
Temperatura della sorgente calda	θ_c	***45***	°C

Fattori correttivi della pompa di calore:

Fattore di correzione Cc ***0,10*** -

CR	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
Fc	*0,00*	*0,53*	*0,71*	*0,81*	*0,87*	*0,91*	*0,94*	*0,96*	*0,98*	*0,99*	*1,00*

Legenda simboli

CR	Fattore di carico macchina della pompa di calore

Fc Fattore correttivo della pompa di calore

Integrazione:

Rendimento di generazione		***100,0***	%
Tipo combustibile	***Energia elettrica***		
Potere calorifico inferiore	H_i	***1,000***	-
Fattore di conversione	f_p	***2,420***	-

Fabbisogni elettrici:

Potenza elettrica degli ausiliari indipendenti	***0***	W

Temperatura dell'acqua del generatore di calore:

Generatore di calore a temperatura scorrevole

Tipo di circuito ***Collegamento diretto***

		GENERAZIONE		
Mese	**giorni**	**$\theta_{gn,avg}$ [°C]**	**$\theta_{gn,flw}$ [°C]**	**$\theta_{gn,ret}$ [°C]**
novembre	*30*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
dicembre	*31*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
gennaio	*31*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
febbraio	*28*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
marzo	*31*	*0,0*	*0,0*	*0,0*
aprile	*15*	*0,0*	*0,0*	*0,0*

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$	Temperatura media del generatore di calore
$\theta_{gn,flw}$	Temperatura di mandata del generatore di calore
$\theta_{gn,ret}$	Temperatura di ritorno del generatore di calore

Vettore energetico:

Tipo	***Energia elettrica***		
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,470***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,950***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***2,420***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,4332***	kg_{CO2}/kWh

RISULTATI DI CALCOLO MENSILI

Risultati mensili servizio riscaldamento – impianto idronico

Zona 1 : edificio

Dettagli generatore: ***1 - Pompa di calore***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	31	84171	17893	241,2	0
febbraio	28	60916	12940	241,4	0
marzo	31	38942	8817	226,5	0
aprile	15	8360	2494	171,9	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	37440	8490	226,1	0
dicembre	31	76605	16251	241,7	0

Mese	gg	CR [-]	COP [-]	Pu_m [kW]
gennaio	31	0,469	4,70	241,03
febbraio	28	0,372	4,71	243,91
marzo	31	0,209	4,42	250,18
aprile	15	0,090	3,35	257,08
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	30	0,208	4,41	250,24
dicembre	31	0,425	4,71	242,28

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
CR	Fattore di carico
COP	Coefficiente di effetto utile medio mensile
Pu_m	Potenza utile mensile

Dettagli generatore: ***1 - Integrazione***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	31	0	0	0,0	0
febbraio	28	0	0	0,0	0
marzo	31	0	0	0,0	0
aprile	15	0	0	0,0	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	0	0	0,0	0
dicembre	31	0	0	0,0	0

Mese	gg	FC [-]
gennaio	31	0,000
febbraio	28	0,000
marzo	31	0,000
aprile	15	0,000
maggio	-	-
giugno	-	-
luglio	-	-
agosto	-	-
settembre	-	-
ottobre	-	-
novembre	30	0,000
dicembre	31	0,000

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Dettagli generatore: ***2 - Pompa di calore***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	31	0	0	0,0	0
febbraio	28	0	0	0,0	0
marzo	31	0	0	0,0	0
aprile	15	0	0	0,0	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	0	0	0,0	0
dicembre	31	0	0	0,0	0

Mese	gg	CR [-]	COP [-]	Pu_m [kW]
gennaio	31	0,000	0,00	0,00
febbraio	28	0,000	0,00	0,00
marzo	31	0,000	0,00	0,00
aprile	15	0,000	0,00	0,00
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	30	0,000	0,00	0,00
dicembre	31	0,000	0,00	0,00

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
CR	Fattore di carico
COP	Coefficiente di effetto utile medio mensile
Pu_m	Potenza utile mensile

Dettagli generatore: ***1 - Integrazione***

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	31	0	0	0,0	0
febbraio	28	0	0	0,0	0
marzo	31	0	0	0,0	0
aprile	15	0	0	0,0	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-	-
novembre	30	0	0	0,0	0
dicembre	31	0	0	0,0	0

Mese	gg	FC [-]
gennaio	31	0,000
febbraio	28	0,000
marzo	31	0,000
aprile	15	0,000
maggio	-	-
giugno	-	-
luglio	-	-
agosto	-	-
settembre	-	-
ottobre	-	-
novembre	30	0,000
dicembre	31	0,000

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Qp_H [kWh]
gennaio	*31*	*17893*	*18898*	*36851*
febbraio	*28*	*12940*	*13665*	*26646*
marzo	*31*	*8817*	*9276*	*18087*
aprile	*15*	*2494*	*2590*	*5050*
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	*30*	*8490*	*8931*	*17416*
dicembre	*31*	*16251*	*17164*	*33470*
TOTALI	***166***	***66887***	***70523***	***137520***

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Qp_H	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Pannelli solari fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
2112	*2626*	*3726*	*4584*	*5391*	*5463*	*6137*	*5661*	*4728*	*3893*	*2284*	*1971*

Fabbisogno di energia primaria effettivo	$Q'p_H$	***119025***	kWh/anno
Rendimento globale medio stagionale effettivo	$\eta'_{H,g}$	***204,40***	%
Consumo di energia elettrica effettivo		***61039***	kWh/anno

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Modalità di funzionamento

SERVIZIO ACQUA CALDA SANITARIA

Rendimenti stagionali dell'impianto:

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	***100,0***	%
Rendimento di distribuzione utenza	$\eta_{W,du}$	***92,6***	%
Rendimento di generazione	$\eta_{W,gn}$	***0,0***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	***0,0***	%

Dati per zona

Zona: ***edificio***

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
171	*171*	*171*	*171*	*171*	*86*	*0*	*0*	*86*	*171*	*171*	*171*

Categoria DPR 412/93 ***E.7***

Temperatura di erogazione ***40,0*** °C

Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
15,1	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*	*15,1*

Fabbisogno giornaliero per posto ***0,2*** l/g posto

Numero di posti ***856***

Fattore di occupazione [%]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
100	*100*	*100*	*100*	*100*	*50*	*0*	*0*	*50*	*100*	*100*	*100*

Caratteristiche sottosistema di erogazione:

Rendimento di erogazione ***100,0*** %

Caratteristiche sottosistema di distribuzione utenza:

Metodo di calcolo ***Semplificato***

Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76, rete corrente totalmente in ambiente climatizzato

SOTTOSISTEMA DI GENERAZIONE

Modalità di funzionamento del generatore:

Continuato ***24*** ore giornaliere

Dati generali:

Servizio ***Acqua calda sanitaria***

Tipo di generatore ***Bollitore elettrico ad accumulo***

Metodo di calcolo ***-***

Tipologia		***Bollitore elettrico ad accumulo***	
Potenza utile nominale	$\Phi_{gn,Pn}$	***12,00***	kW
Rendimento di generazione stagionale	η_{gn}	***75,00***	%

Vettore energetico:

Tipo		***Energia elettrica***	
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)	$f_{p,ren}$	***0,470***	-
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)	$f_{p,nren}$	***1,950***	-
Fattore di conversione in energia primaria	f_p	***2,420***	-
Fattore di emissione di CO_2		***0,4332***	kg_{CO2}/kWh

RISULTATI DI CALCOLO MENSILI

Risultati mensili servizio acqua calda sanitaria

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Dettagli generatore: ***1 - Bollitore elettrico ad accumulo***

Mese	gg	$Q_{W,gn,out}$ [kWh]	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{W,gn}$ [%]	Combustibile [kWh]
gennaio	31	0	0	0,0	0
febbraio	28	0	0	0,0	0
marzo	31	0	0	0,0	0
aprile	30	0	0	0,0	0
maggio	31	0	0	0,0	0
giugno	30	0	0	0,0	0
luglio	31	0	0	0,0	0
agosto	31	0	0	0,0	0
settembre	30	0	0	0,0	0
ottobre	31	0	0	0,0	0
novembre	30	0	0	0,0	0
dicembre	31	0	0	0,0	0

Mese	gg	FC [-]
gennaio	31	0,000
febbraio	28	0,000
marzo	31	0,000
aprile	30	0,000
maggio	31	0,000
giugno	30	0,000
luglio	31	0,000

agosto	31	0,000
settembre	30	0,000
ottobre	31	0,000
novembre	30	0,000
dicembre	31	0,000

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per acqua sanitaria
$\eta_{W,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Qp_W [kWh]
gennaio	31	0	0	0
febbraio	28	0	0	0
marzo	31	0	0	0
aprile	30	0	0	0
maggio	31	0	0	0
giugno	30	0	0	0
luglio	31	0	0	0
agosto	31	0	0	0
settembre	30	0	0	0
ottobre	31	0	0	0
novembre	30	0	0	0
dicembre	31	0	0	0
TOTALI	**365**	**0**	**0**	**0**

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria
$Q_{W,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria
Qp_W	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria

Pannelli solari fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
2112	2626	3726	4584	5391	5463	6137	5661	4728	3893	2284	1971

Fabbisogno di energia primaria effettivo	$Q'p_W$	**0**	kWh/anno
Rendimento globale medio stagionale effettivo	$\eta'_{W,g}$	**0,00**	%
Consumo di energia elettrica effettivo		**0**	kWh/anno

FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA ILLUMINAZIONE

secondo UNI/TS 11300-2

Fabbisogni elettrici per illuminazione dei locali climatizzati

Zona	Locale	Descrizione	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]
1	1	1_PT_biblioteca	766	304	1070
1	2	1_PT_centro stampa	275	116	391
1	3	1_PT_archivio	766	243	1009
1	4	1_PT_aule	4594	1505	6099
1	15	2_PT_archivio	413	147	560
1	16	2_PT_wc	55	74	129
1	28	6_PT_corridoi e scale	2993	2892	5885
1	29	6_PT_scala Ovest	85	93	178
1	30	6_PT_scala Est	126	0	126
1	31	6_PT_bagni	67	93	160
1	33	6_PT_bagni	153	57	210
1	32	6_PT_portineria	267	135	402
1	5	1_P1_aule lato sud	1843	815	2657
1	6	1_P1_aula disegno lato s-ovest	615	325	940
1	7	1_P1_archivio aula disegno	206	122	328
1	8	1_P1_aule lato est	2669	1365	4034
1	17	2_P1_lab lato s-est	4594	786	5380
1	18	2_P1_lab multimediale	409	117	526
1	21	3_P1_aula magna	0	0	0
1	22	3_P1_atrio aula magna	0	0	0
1	24	4_P1_uffici ammistr. lato sud	1779	793	2572
1	25	4_P1_bagni uffici amm.	155	118	272
1	26	4_P1_archivi	886	348	1234
1	27	5_P1_aule musica	1595	810	2405
1	34	6_P1_corridoi	2328	3365	5692
1	35	6_P1_scala lato nord	85	104	190
1	37	6_P1_scala lato est	126	172	298
1	40	6_P1_scala lato ovest	98	161	258
1	36	6_P1_bagni nord	687	295	982
1	38	6_P1_bagni ovest	133	140	272
1	39	6_P1_bagni sud	103	92	195
1	41	6_P1_bagni est	153	141	294
1	9	1_P2_aule lato sud	3203	1619	4822
1	10	1_P2_aula lato sud-ovest	615	323	937
1	11	1_P2_aula lato est	615	328	943
1	12	1_P2_aule est	4269	2190	6459
1	13	1_P2_archivio	275	112	387
1	19	2_P2_archivio lato ovest	275	124	399
1	20	2_P2_lab lato est	2552	450	3002
1	42	6_P2_corridoio	1977	3289	5266

1	*43*	*6_P2_scala nord*	*43*	*112*	*155*
1	*45*	*6_P2_scala est*	*64*	*160*	*224*
1	*50*	*6_P2_scala ovest*	*64*	*144*	*208*
1	*44*	*6_P2_bagni nord*	*1032*	*298*	*1331*
1	*46*	*6_P2_bagni est*	*103*	*145*	*248*
1	*47*	*6_P2_bagni piccoli ovest*	*155*	*140*	*295*
1	*48*	*6_P2_bagni piccoli sud*	*103*	*92*	*195*
1	*49*	*6_P2_bagni ovest*	*1032*	*384*	*1416*
1	*23*	*3_P2_aula magna parte sopra*	*2546*	*1605*	*4151*
1	*14*	*2_PT_laboratori*	*4084*	*1197*	*5281*

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$ Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna

Fabbisogni mensili per illuminazione

Mese	Giorni	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,u}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,est}$ [kWh_{el}]	Q_{ill} [kWh_{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
Gennaio	*31*	*4707*	*2415*	*0*	*7123*	*0*	*7123*	*13889*
Febbraio	*28*	*4070*	*2181*	*0*	*6252*	*0*	*6252*	*12191*
Marzo	*31*	*4334*	*2415*	*0*	*6749*	*0*	*6749*	*13161*
Aprile	*30*	*4139*	*2337*	*0*	*6477*	*0*	*6477*	*12629*
Maggio	*31*	*4247*	*2415*	*0*	*6662*	*0*	*6662*	*12991*
Giugno	*30*	*4113*	*2337*	*0*	*6450*	*0*	*6450*	*12577*
Luglio	*31*	*4244*	*2415*	*0*	*6659*	*0*	*6659*	*12985*
Agosto	*31*	*4257*	*2415*	*0*	*6672*	*0*	*6672*	*13010*
Settembre	*30*	*4196*	*2337*	*0*	*6533*	*0*	*6533*	*12739*
Ottobre	*31*	*4454*	*2415*	*0*	*6869*	*0*	*6869*	*13395*
Novembre	*30*	*4500*	*2337*	*0*	*6837*	*0*	*6837*	*13333*
Dicembre	*31*	*4771*	*2415*	*0*	*7186*	*0*	*7186*	*14013*
TOTALI		***52032***	***28437***	***0***	***80470***	***0***	***80470***	***156916***

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$ Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$ Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati
$Q_{ill,int}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
$Q_{ill,est}$ Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna
Q_{ill} Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$ Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

FABBISOGNI ILLUMINAZIONE COMPLESSIVI

Fabbisogni per il servizio illuminazione di ogni zona

Zona	$Q_{ill,int,a}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,p}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int,u}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,int}$ [kWh_{el}]	$Q_{ill,est}$ [kWh_{el}]	Q_{ill} [kWh_{el}]	$Q_{p,ill}$ [kWh]
1 - edificio	*52032*	*28437*	*0*	*80470*	*0*	*80470*	*156916*
TOTALI	***52032***	***28437***	***0***	***80470***	***0***	***80470***	***156916***

Legenda simboli

$Q_{ill,int,a}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali climatizzati
$Q_{ill,int,p}$	Fabbisogno di energia elettrica per dispositivi di controllo e di emergenza
$Q_{ill,int,u}$	Fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale dei locali non climatizzati
$Q_{ill,int}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale interna
$Q_{ill,est}$	Fabbisogno di energia elettrica totale per l'illuminazione artificiale esterna
Q_{ill}	Fabbisogno di energia elettrica totale
$Q_{p,ill}$	Fabbisogno di energia primaria per il servizio illuminazione

RISULTATI DI CALCOLO STAGIONALI

Servizio riscaldamento

Zona 1 : edificio

Impianto idronico

Fabbisogno di energia primaria annuale	Qp_H	***137520***	kWh/anno
Rendimento di generazione medio annuale	$\eta_{H,gn}$	***234,9***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	***176,9***	%
Consumo annuo di Energia elettrica		***61039***	kWhe

Servizio acqua calda sanitaria

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Fabbisogno di energia primaria annuale	Qp_W	***0***	kWh/anno
Rendimento di generazione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	***0,00***	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	***0,00***	%
Consumo annuo di Energia elettrica		***0***	kWhe

Solare termico

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Producibilità dei pannelli solari (acqua sanitaria)	***1463***	kWh/anno
Percentuale di copertura (acqua sanitaria)	***100,0***	%

Solare fotovoltaico

Zona 1 : edificio

Energia elettrica da produzione fotovoltaica	***48576***	kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	***150993***	kWh/anno
Energia elettrica da rete	***102417***	kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	***0***	kWh/anno

PANNELLI SOLARI TERMICI

Edificio : Scuola Carducci Pisa

Percentuale di copertura per acqua sanitaria ***100,0*** %

Servizio acqua calda sanitaria

Mese	$Q_{W,solare}$ [kWh]	Qp_W con solare [kWh]	Qp_W senza solare [kWh]	$\%_{cop,W}$ [%]
Gennaio	*166*	*0*	*432*	*100,0*
Febbraio	*150*	*0*	*390*	*100,0*
Marzo	*166*	*0*	*432*	*100,0*
Aprile	*161*	*0*	*418*	*100,0*
Maggio	*166*	*0*	*432*	*100,0*
Giugno	*80*	*0*	*209*	*100,0*
Luglio	*0*	*0*	*0*	*0,0*
Agosto	*0*	*0*	*0*	*0,0*
Settembre	*80*	*0*	*209*	*100,0*
Ottobre	*166*	*0*	*432*	*100,0*
Novembre	*161*	*0*	*418*	*100,0*
Dicembre	*166*	*0*	*432*	*100,0*
TOTALI	***1463***	***0***	***3805***	***100,0***

Legenda simboli

$Q_{W,solare}$	Producibilità solare pannelli per acqua calda sanitaria
Qp_W con solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, con il contributo termico solare
Qp_W senza solare	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, senza il contributo termico solare
$\%_{cop,W}$	Percentuale di copertura del fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria

PANNELLI SOLARI FOTOVOLTAICI

Zona 1 : edificio

Energia elettrica da produzione fotovoltaica	***48576***	kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	***150993***	kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	***32,2***	%
Energia elettrica da rete	***102417***	kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	***0***	kWh/anno

Energia elettrica mensile dell'impianto fotovoltaico ($E_{el,pv,out}$)

Mese	$E_{el,pv,out}$ [kWh]
Gennaio	*2112*
Febbraio	*2626*
Marzo	*3726*
Aprile	*4584*
Maggio	*5391*
Giugno	*5463*
Luglio	*6137*
Agosto	*5661*
Settembre	*4728*
Ottobre	*3893*
Novembre	*2284*
Dicembre	*1971*
TOTALI	***48576***

RETE DI DISTRIBUZIONE ANALITICA
calcolo secondo UNI/TS 11300-2

Descrizione rete: ***distribuzione primaria***

Descrizione tubazione	D [mm]	L [m]	U [W/mK]	Tipologia
tubazione 1	*100*	*14,40*	*0,331*	*Tubazione singola interrata*
tubazione 2	*80*	*30,00*	*0,358*	*Tubazione corrente in aria*
tubazione 3	*80*	*23,10*	*2,222*	*Tubazione corrente in aria*

Legenda

D	Diametro esterno della tubazione
L	Lunghezza della tubazione
U	Trasmittanza lineica della tubazione

Dettagli tubazioni

Descrizione tubazione ***tubazione 1***

Trasmittanza lineica della tubazione	***0,331***	W/mK
Diametro esterno	***100***	mm
Lunghezza	***14,40***	m

Tipologia ***Tubazione singola interrata***

Conduttività terreno	***1,500***	W/mK
Profondità di interramento	***0,60***	m

Isolamento

Isolante 1	Spessore	***50***	mm	Conduttività	***0,040***	W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione	***Terreno***	
Coefficiente di recuperabilità delle perdite	***0,00***	-
Temperatura ambiente installazione	***20,0***	°C

Descrizione tubazione ***tubazione 2***

Trasmittanza lineica della tubazione	***0,358***	W/mK
Diametro esterno	***80***	mm
Lunghezza	***30,00***	m

Tipologia ***Tubazione corrente in aria***

Isolamento

Isolante 1	Spessore	***30***	mm	Conduttività	***0,040***	W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione ***Locale non riscaldato***

Coefficiente di recuperabilità delle perdite ***0,60*** -

Temperatura ambiente installazione ***12,0*** °C

Descrizione tubazione ***tubazione 3***

Trasmittanza lineica della tubazione ***2,222*** W/mK

Diametro esterno ***80*** mm

Lunghezza ***23,10*** m

Tipologia ***Tubazione corrente in aria***

Isolamento

Isolante 1 Spessore ***30*** mm Conduttività ***0,400*** W/mK

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione ***Esterno***

Coefficiente di recuperabilità delle perdite ***0,00*** -

Temperatura ambiente installazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
6,7	*7,7*	*10,6*	*13,6*	*17,2*	*21,1*	*23,5*	*23,5*	*20,9*	*16,3*	*11,7*	*7,8*

PERDITE RETI DI DISTRIBUZIONE
calcolo secondo UNI/TS 11300-2

Zona 1 : edificio

Servizio riscaldamento (impianto idronico)

Distribuzione primaria

Dettaglio perdite della rete: ***distribuzione primaria***

Mese	giorni	Ql [kWh]	Qlrh [kWh]	Ql' [kWh]
gennaio	*31*	*1629*	*112*	*663*
febbraio	*28*	*1394*	*98*	*681*
marzo	*31*	*1345*	*102*	*854*
aprile	*15*	*557*	*46*	*430*
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	-	-	-	-
novembre	*30*	*1260*	*98*	*787*
dicembre	*31*	*1566*	*111*	*679*
TOTALI	***166***	***7752***	***567***	***4094***

Legenda simboli

Ql	Perdite della rete di distribuzione del sottosistema
Qlrh	Perdite recuperate della rete di distribuzione del sottosistema
Ql'	Perdite della rete di distribuzione del sottosistema, al netto di tutti i recuperi (termici ed elettrici)

Servizio acqua calda sanitaria

Nota: nessuna rete di distribuzione associata per il servizio.

Riferimenti bibliografici

- Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".
- D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE".
- D.I. 11 aprile 2013 "Adozione delle linee guida contenenti indirizzi progettuali di riferimento per la costruzione di nuove scuole, anche in linea con l'innovazione introdotta nell'organizzazione della didattica con la diffusione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione".
- D.L. 4 giugno 2013, n. 63 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".
- D.I. 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".
- D.M. 16 febbraio 2016 (Ministero dello Sviluppo Economico) "Aggiornamento della disciplina per l'incentivazione di interventi di piccole dimensioni per l'incremento dell'efficienza energetica e per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili (Nuovo Conto Termico)".
- Norma UNI EN ISO 10211:2008 "Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Calcoli dettagliati".
- Norma UNI 10339:1995 "Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura."
- Norma UNI 10349:1994 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici".
- Norma UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata".
- Norma UNI/TR 10349-2:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 2: Dati di progetto".
- Norma UNI 10349-3:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici".
- Norma UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale".
- Norma UNI/TS 11300-2:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali".
- Norma UNI/TS 11300-4:2016 "Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".

- Norma UNI/TS 11300-5:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 5: Calcolo dell’energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”.
- Norma UNI/TS 11300-6:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili”.
- Norma UNI EN ISO 13370:2001 “Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo”.
- Norma UNI EN ISO 13790:2008 “Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”.
- Norma UNI EN ISO 14683:2001 “Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento”.
- Norma UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione”.
- Norma UNI EN 15232:2012 “Prestazione energetica degli edifici – Incidenza dell’automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici”.
- Norma UNI EN 15603:2008 “Prestazione energetica degli edifici – Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica”.
- “Anagrafe dell’Edilizia Scolastica”, MIUR, 2015.
- “Anni tipo climatici delle province italiane – Dati orari”, CTI (Comitato Termotecnico Italiano), 2015.
- “Preziario di impianti tecnologici”, DEI Tipografia del Genio Civile, 2015.
- P. Conti, D. Della Vista, F. Fantozzi, G. Fasano, W. Grassi, R. Manetti, E. Menchetti, E. Schito, P. Signoretti, D. Testi, “Definizione di una metodologia per l’audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario”, Report RdS/2011/143, ENEA (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile), 2011.
- W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista, E. Schito, G. Fasano, P. Signoretti, “Sviluppo di un software applicativo per l’audit energetico negli edifici ad uso residenziale e terziario”, Report RdS/2012/110, ENEA, 2012.
- W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli, P. Signoretti, G. Fasano, “Realizzazione di un software con interfaccia grafica per l’audit energetico negli edifici ad uso residenziale, uffici e scuole”, Report RdS/2013/143, ENEA, 2013.
- D. Testi, D. Della Vista, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, W. Grassi, G. Fasano, P. Signoretti, “Sviluppo del Software SEAS per le diagnosi energetiche di ambienti ospedalieri dedicati alla degenza”, Report RdS/PAR2013/113, ENEA, 2014.
- D. Testi, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista, G. Pellegrini, E. Tiberi, W. Grassi, P. Signoretti, G. Fasano, “Il software SEAS per le diagnosi energetiche: interventi di assistenza e formazione e sviluppo di un modello semplificato per gli edifici ad uso residenziale”, Report RdS/PAR2014/068, ENEA, 2015.

Breve curriculum scientifico dei membri del gruppo di lavoro

Daniele Testi, nato a Pietrasanta (LU) nel 1977, dal 2014 è Professore Associato di Fisica Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa. Laureato con lode in Ingegneria Aerospaziale (2002), Dottore di Ricerca in Energetica Elettrica e Termica (2006), Assegnista di Ricerca (2006-2009), Borsista di Ricerca (2010-2011) e Ricercatore Universitario a tempo indeterminato (2011-2014) presso l'Università di Pisa. Ha svolto supporto alla didattica per i corsi di Termodinamica Applicata, Fisica Tecnica e Termoenergetica dell'Edificio. È stato codocente dei corsi di Teoria dei Sistemi, Laurea in Ingegneria Energetica, e di Risparmio Energetico in Edilizia, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Attualmente è codocente del corso di Fisica Tecnica, Laurea in Ingegneria dell'Energia, e titolare dei corsi di Energia e Sistemi Energetici, Laurea in Ingegneria Gestionale, e Trasmissione del Calore e Termofluidodinamica, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Principali campi di studio: termofluidodinamica monofase e bifase, tecniche d'incremento dello scambio termico convettivo, tecniche di misura nella fisica tecnica, scambiatori e dissipatori di calore, microgravità, termofisica degli ambienti abitati, impianti di climatizzazione, efficienza energetica in edilizia, simulazione, integrazione e ottimizzazione di sistemi energetici, pianificazione energetica. Per la sua Tesi di Dottorato di Ricerca, ha ottenuto il premio europeo "EUROTHERM Young Scientist Award", conferito con cadenza quadriennale. Autore di oltre 70 pubblicazioni su riviste internazionali o in atti di congressi. Docente in numerosi corsi di formazione, master e seminari sulla gestione dell'energia, la diagnosi e la certificazione energetica degli edifici e gli impianti termotecnici. Titolare di consulenze o collaboratore per vari contratti di ricerca nell'ambito della diagnosi, dell'efficienza, della normativa, della pianificazione e della conversione energetica. Socio dell'Unione Italiana Termofluidodinamica (UIT), dell'Unione Geotermica Italiana (UGI) e dell'Associazione della Fisica Tecnica Italiana (FTI). Dal 2014 è responsabile scientifico dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.

Walter Grassi, nato a Napoli nel 1948, Ingegnere Elettrotecnico, dal 1999 è Professore Ordinario di Fisica Tecnica. Attualmente afferisce al DESTEC, Università di Pisa. Titolare dei corsi di Termoenergetica dell'Edificio e Fisica Tecnica, Laurea in Ingegneria dell'Energia, e di Risparmio Energetico in Edilizia, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Direttore del Dipartimento di Energetica dell'Università di Pisa dal 2006 al 2010. Nel 2013 ha ricevuto dall'Università di Pisa l'Ordine del Cherubino. Per molti anni è stato Energy Manager dell'Università di Pisa e membro del Comitato Tecnico per la Gestione dell'Energia della Giunta Regionale Toscana. È stato Presidente UGI e dell'Agenzia Energetica Regionale Toscana. Autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche, su riviste internazionali e in atti di congressi, su temi di scambio termico e di efficienza energetica negli edifici. Responsabile scientifico dal 2011 al 2014 dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.

Davide Delle Vista, nato a Cascina (PI) nel 1977, laureato con lode in Ingegneria Aerospaziale all'Università di Pisa (2004). Tecnico di laboratorio ed elaborazione dati dal 2004 presso il DESTEC, Università di Pisa, con esperienza nella realizzazione di programmi di acquisizione dati, nella messa a punto di apparecchiature sperimentali, nell'esecuzione di misure termofluidodinamiche e di monitoraggio energetico degli ambienti abitati e nella simulazione dinamica dei sistemi edificio – impianto. Ha collaborato alla stesura del Piano Energetico della Provincia di Pisa (2009) ed è autore di 5 pubblicazioni scientifiche su rivista internazionale.

Elena Menchetti, nata a Poggibonsi (SI) nel 1983, ha conseguito con lode la Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica presso l'Università di Pisa (marzo 2008). Ha lavorato per cinque anni presso il Servizio Energy Manager dell'Università di Pisa come tecnico nell'ambito dell'analisi e riqualificazione del parco edilizio universitario, della gestione e ripartizione delle spese energetiche, dell'integrazione di impianti rinnovabili, delle certificazioni e diagnosi energetiche degli edifici. Attualmente è in servizio presso il Settore Prevenzione Incendi e Ottimizzazione del Patrimonio Edilizio dell'Ufficio Tecnico dell'Università di Pisa. Dal gennaio 2014 è Energy Manager dell'Università di Pisa. Collabora dal 2008 col DESTEC, Università di Pisa, nell'ambito di contratti di ricerca e consulenza nel campo della diagnosi e simulazione energetica degli edifici e dei sistemi energetici.

Simona Comelato, nata a Livorno (LI) nel 1973, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Civile (orientamento Edile) presso l'Università di Pisa (Ottobre 2002). Ha collaborato per alcuni anni presso uno studio associato di ingegneria di Livorno e contemporaneamente, per sette anni, ha lavorato presso il Servizio Energy Manager dell'Università di Pisa (dal 2005 al 2012)., come tecnico nell'ambito della gestione e ripartizione delle spese energetiche, delle certificazioni energetiche e delle analisi di fattibilità di interventi di riqualificazione energetica riferiti agli edifici universitari. Dal 2008, in qualità di libera professionista, con contratto part-time al 50% presso l'Università di Pisa, ha ricoperto numerosi incarichi di progettazione e di direzione lavori sia sugli impianti termici sia sull'isolamento termico degli edifici, con particolare attenzione agli aspetti di bioclimatica, di biocompatibilità ed ecosostenibilità, tra le quali la realizzazione di quattro fabbricati costruiti in legno con 22 unità immobiliari nel comuni di Porto Azzurro (Elba, LI) e a costruzione di una villa bifamiliare in classe A+ nel comune di Capannori (PI). Dal 2002 al 2014 ha collaborato in modo continuativo come consulente sugli aspetti tecnico-amministrativi e normativi relativi al riconoscimento di titoli di efficienza energetica (certificati bianchi) per una E.S.Co. toscana; ha collaborato nel 2014 con Confindustria Toscana Servizi Soc. Consortile per la redazione di diverse diagnosi energetiche nel settore terziario ed industriale, nell'ambito del "Progetto Energia" PRO FSE 2007-2013. Dal 2015 è in servizio presso l'Università di Pisa, Settore Prevenzione Incendi e Ottimizzazione del Patrimonio Edilizio. Ha svolto, in qualità di docente, diversi seminari in ambito di certificazione energetiche e di calcolo energetico applicato agli edifici.

Michele Rocca, nato a La Spezia (SP) nel 1983, ha conseguito la Laurea Magistrale in Ingegneria Edile presso l'Università di Pisa (maggio 2013). Collabora dal Dicembre 2012 con Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa. Nel Dicembre 2012 è stato titolare di un contratto di collaborazione per supporto alla didattica per l'insegnamento di Illuminotecnica ed Acustica Applicata, per il Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura e per il Corso di Laurea in Ingegneria Edile. Nel periodo Settembre 2014-Aprile 2015, è stato titolare di una borsa di ricerca sulla misura delle radiazioni ottiche artificiali emesse da sorgenti tubolari LED. Nel maggio 2014 ha ricevuto l'incarico diretto per la docenza al Master Universitario di II livello "Soluzioni innovative per l'ingegneria edile" ed in particolare per il modulo "Soluzioni Illuminotecniche ed Acustiche". Nel Novembre 2015 è stato titolare di un contratto di collaborazione professionale di Lavoro Autonomo con il DESTEC per il "Supporto alla validazione di diagnosi energetiche svolte su edifici della Regione Valle d'Aosta". Attualmente è titolare di una Borsa di Ricerca presso il DESTEC. È autore 19 lavori tecnico-scientifici su riviste internazionali e nazionali e in atti di congressi in ambito energetico, illuminotecnico e acustico.

Alessandro Taverni, nato a Pisa nel 1970, laureato in Ingegneria Meccanica all'Università di Pisa (1996). Per oltre 10 anni ha affrontato (e risolto) problematiche impiantistiche negli edifici scolastici della Provincia di Pisa, si occupa di risparmio energetico e del microclima interno. In precedenza ha lavorato per una multinazionale di costruzione di macchinari. In passato ha collaborato con l'Università di Pisa (l'allora Dipartimento di Costruzioni Meccaniche e Nucleari) con sperimentazioni e ricerche in Sala prove per cui è autore di una pubblicazione scientifica.

Valentina Vannucci, nata a Pontedera (PI) nel 1971, ha conseguito con lode la Laurea in Ingegneria Civile indirizzo Edile presso l'Università di Pisa (luglio 1998). Oggetto della tesi il progetto di una nuova scuola di istruzione secondaria superiore con utilizzo di sistemi solari passivi. Dal novembre 2001 lavora come Funzionario Tecnico responsabile di Unità Operativa presso la Provincia di Pisa, occupandosi di appalti per la manutenzione, ristrutturazione e nuova costruzione degli immobili, scolastici ed istituzionali.