



Ricerca di Sistema elettrico

Punti di forza e criticità nell'uso del software SEAS per diagnosi energetiche di edifici scolastici e confronto tra i risultati di casi studio effettuati nelle zone climatiche B, D ed E

D. Testi, E. Schito, P. Conti, F. D'Ettore, L. Urbanucci,

P. Signoretti, L. Terrinoni

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI PUBBLICI ESISTENTI: DIREZIONE NZEB – PUNTI DI FORZA E CRITICITÀ NELL’UTILIZZO DEL SOFTWARE SEAS PER DIAGNOSI ENERGETICHE DI EDIFICI SCOLASTICI E CONFRONTO TRA I RISULTATI DI CASI STUDIO EFFETTUATI NELLE ZONE CLIMATICHE B, D ED E

D. Testi, E. Schito, P. Conti, F. D’Ettore, L. Urbanucci (DESTEC, Università di Pisa)

P. Signoretti, L. Terrinoni (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.2 – Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Valutazione del software SEAS per diagnosi energetiche di edifici scolastici e confronto tra i risultati di casi studio nelle zone climatiche B, D ed E

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 – Punti di forza e criticità nell’utilizzo del software SEAS per diagnosi energetiche di edifici scolastici e confronto tra i risultati di casi studio effettuati nelle zone climatiche B, D ed E”

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Paolo Signoretti

Responsabile scientifico Università di Pisa: Prof. Ing. Daniele Testi

Indice

SOMMARIO.....	4
1 PREMESSA.....	5
2 DIAGNOSI ATTRAVERSO SEAS DI UNA SCUOLA IN ZONA CLIMATICA B (CATANIA).....	6
2.1 INTRODUZIONE.....	6
2.2 ZONE TERMICHE.....	8
2.3 FATTURAZIONI ENERGETICHE E DATI CLIMATICI: DESTAGIONALIZZAZIONE DEI CONSUMI.....	23
2.4 CONSUMI ENERGETICI STANDARD.....	26
2.5 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE.....	31
3 DIAGNOSI ATTRAVERSO SEAS DI UNA SCUOLA IN ZONA CLIMATICA E (TORINO).....	47
3.1 INTRODUZIONE.....	47
3.2 ZONE TERMICHE.....	49
3.3 FATTURAZIONI ENERGETICHE E DATI CLIMATICI: DESTAGIONALIZZAZIONE DEI CONSUMI.....	73
3.4 CONSUMI ENERGETICI STANDARD.....	77
3.5 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE.....	83
4 ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI E CONFRONTO TRA I 3 CASI STUDIO.....	91
4.1 RISULTATI DELL'ANALISI ECONOMICA PER LA SCUOLA DI CATANIA.....	92
4.2 RISULTATI DELL'ANALISI ECONOMICA PER LA SCUOLA DI TORINO.....	93
4.3 RISULTATI DELL'ANALISI ECONOMICA PER LA SCUOLA DI PISA.....	95
4.4 CONFRONTO TRA I 3 CASI STUDIO PER LA FATTIBILITÀ DI RIQUALIFICAZIONE NZEB.....	96
5 PUNTI DI FORZA E CRITICITÀ DI SEAS EVIDENZIATI NELL'ATTIVITÀ E CONCLUSIONI.....	98
5.1 PROCEDURA COMUNE PER L'ANALISI DI FATTIBILITÀ DI RIQUALIFICAZIONE NZEB.....	98
5.2 CRITERI DI ARMONIZZAZIONE TRA LE DIAGNOSI SVOLTE IN DIVERSI CONTESTI CLIMATICI.....	98
5.3 VALUTAZIONE DEL SOFTWARE SEAS PER LA DIAGNOSI DI EDIFICI SCOLASTICI E RETROFIT NZEB.....	99
5.4 COMMENTI CONCLUSIVI E SVILUPPI FUTURI.....	99
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	101
BREVE CURRICULUM SCIENTIFICO DEI MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO.....	103

Sommario

La presente ricerca si colloca all'interno del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale, sul tema degli edifici ad energia quasi zero (nZEB). Nell'ambito del PAR 2015 sono state svolte 3 diagnosi energetiche di edifici scolastici rappresentative delle zone climatiche B (Sud Italia), D (Centro Italia) ed E (Nord Italia), con finalità di riqualificazione nZEB. Al fine di garantire un confronto tra i risultati e trarre conclusioni di carattere generale per il territorio italiano, si è utilizzato uno strumento comune: il software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), primo software nazionale per la diagnosi energetica degli edifici, nato nel precedente Accordo di Programma da una collaborazione tra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa.

L'applicazione di SEAS agli edifici scolastici e alla loro trasformazione in nZEB presenta alcune criticità dal punto di vista modellistico e di simulazione, causate dai regimi di intermittenza degli impianti termici e dalla presenza di significativi apporti interni, concentrati in alcuni locali. Al tempo stesso, la flessibilità di SEAS nell'inserimento dei dati climatici e dei profili di utenza e la possibilità di eseguire analisi di sensibilità rispetto ai dati più incerti ha favorito notevolmente lo svolgimento di diagnosi energetiche omogenee e confrontabili, con i medesimi criteri di zonizzazione e di dettaglio di analisi.

L'armonizzazione delle 3 diagnosi svolte per mezzo di SEAS ha riguardato:

- la suddivisione in zone termiche coerenti dal punto di vista funzionale;
- l'analisi dello storico delle fatturazioni energetiche e dei dati climatici;
- il grado di dettaglio nell'analisi dei profili di utilizzo in termini di
 - o presenza nei locali,
 - o gestione dell'apertura di porte e finestre,
 - o gestione delle chiusure oscuranti,
 - o gestione degli elementi ombreggianti,
 - o gestione dell'accensione degli impianti;
- la ripartizione dei consumi energetici dal punto di consegna alla zona d'indagine;
- i parametri economici per l'analisi costi-benefici degli interventi di retrofit.

I punti di forza e le criticità di SEAS nella diagnosi energetica di edifici scolastici sono stati analizzati alla luce della variabilità climatica nel territorio italiano; si è inoltre considerata la problematica della simulazione di un nZEB, in cui le dispersioni termiche e gli apporti hanno valori molto ravvicinati.

I risultati finali riguardanti la fattibilità tecnico-economica di riqualificazione nZEB per i 3 casi studio sono stati confrontati e analizzati criticamente, permettendo una generalizzazione delle conclusioni.

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 2016, 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 "Valutazione del software SEAS per diagnosi energetiche di edifici scolastici e confronto tra i risultati di casi studio nelle zone climatiche B, D ed E". 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 l'armonizzazione e il confronto di diagnosi energetiche effettuate su scuole del Sud, Centro e Nord Italia e l'analisi dei punti di forza e delle criticità del software SEAS per lo svolgimento di queste attività.

Infatti, nell'ambito del PAR 2015 sono state svolte 3 diagnosi energetiche di edifici scolastici rappresentative delle zone climatiche B (Sud Italia), D (Centro Italia) ed E (Nord Italia), con finalità di riqualificazione nZEB. Al fine di garantire un confronto tra i risultati e trarre conclusioni di carattere generale per il territorio italiano, in questo studio si utilizza uno strumento comune: il software SEAS 3.0 (acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati), primo software nazionale per la diagnosi energetica degli edifici, nato nel precedente Accordo di Programma da una lunga collaborazione tra ENEA e DESTEC dell'Università di Pisa [1-5].

Per tutti i dettagli della diagnosi svolta attraverso SEAS per la scuola situata in zona climatica D (Pisa), si rimanda al Report RdS/PAR2015/121 [6]. Lo stesso approccio metodologico per quanto riguarda l'implementazione in SEAS e l'analisi dei dati è stato seguito per le altre 2 diagnosi. In particolare, nei successivi capitoli saranno mostrati, in modo confrontabile, i dati di ingresso e i principali risultati per le diagnosi delle scuole in zona climatica B ed E, rielaborando le informazioni contenute, rispettivamente, nel Report RdS/PAR2015/122 (Catania) [7] e nel Report RdS/PAR2015/120 (Torino) [8].

2 Diagnosi attraverso SEAS di una scuola in zona climatica B (Catania)

2.1 Introduzione

Il presente lavoro ha come oggetto l'analisi e la riqualificazione energetica di un edificio rappresentativo dell'edilizia scolastica nel Sud Italia.

L'edificio oggetto dell'analisi è l'Istituto Comprensivo "Livio Tempesta", sito a Catania (zona climatica B: $600 < GG \leq 900$) in Via Gramignani 97b.

La struttura è stata costruita nel 1968, prima dell'entrata in vigore della L. 373/76 e quindi risulta antecedente a qualsiasi legge sul risparmio energetico negli edifici.

Essa si sviluppa su due piani così articolati: al piano terra si trovano 9 aule didattiche e l'alloggio del custode, mentre al piano primo sono presenti 9 aule didattiche, un'aula informatica e gli uffici della Presidenza e delle segreterie.

La scuola ha inoltre una copertura a terrazza ampia e libera e, non essendo inserita in centro storico, è priva dei vincoli derivanti dalla Sovrintendenza ai BB.CC.AA di Catania.

Dati generali sul fabbricato (caratteristiche geometriche)

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Volume lordo riscaldato	V_l	m^3	6437
Superficie netta di pavimento	A_f	m^2	1346
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	3380
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	245
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0.52

L'impianto termico asservito al fabbricato adibito ad uso scolastico è costituito da un impianto di tipo centralizzato a vaso chiuso, con caldaia a gasolio e terminali a termoconvettori, unico per tutta la scuola, compreso l'alloggio del custode.

Inoltre, per la sola ala destinata alla Presidenza – segreterie si hanno anche split per il riscaldamento e il raffrescamento autonomo di questi locali, specialmente nel periodo estivo.

Si fa presente che l'impianto esistente, essendo anteriore all'emissione del DM 12/75 sulle Scuole, è sprovvisto di un impianto di ventilazione meccanica in grado di garantire i ricambi d'aria fisiologici (2.5 Vol/h) previsti per le scuole materne ed elementari.

Esiste un boiler da 2000 L per l'ACS ma non si ha la rete di distribuzione e nei bagni manca del tutto il rubinetto per l'ACS.

Tali caratteristiche, strutturali ed impiantistiche, fanno sì che detta scuola si presti perfettamente agli interventi di riqualificazione energetica imposti dalla verifica del DM 26/06/2015, volti a trasformare la struttura in un edificio ad energia quasi zero (nZEB).

Per maggiori informazioni sulle caratteristiche dell'involucro e sui componenti dell'impianto di riscaldamento si rimanda al Report RdS/PAR2015/122 [7].

2.2 Zone termiche

Un aspetto cruciale nella procedura di audit mediante il software SEAS è la zonizzazione dell'edificio.

Questo infatti deve essere suddiviso in differenti zone termiche in funzione delle caratteristiche dell'impianto e del sistema di regolazione (temperatura di set-point dei locali afferenti alla medesima zona, sistema di emissione, regolazione, distribuzione e generazione) e della destinazione d'uso dei locali.

Come già visto sopra, l'unico impianto presente è l'impianto di riscaldamento centralizzato, unico per tutta la scuola. Sono assenti invece gli impianti di raffrescamento, di ACS e di ventilazione meccanica.

I terminali di emissione dell'impianto sono del tipo a termoconvettori e la tipologia di regolazione è di zona più climatica. Fanno eccezione i locali destinati alla Presidenza ed alle segreterie, essendo dotati anche di 5 unità monosplit per il riscaldamento ed il raffrescamento estivo.

Sulla base della destinazione d'uso dei locali e quindi, dei profili di occupazione, della tipologia di attività svolte e di apparecchiature elettriche presenti è possibile individuare le 4 zone termiche di seguito riportate:

- Zona 1: Aule;
- Zona 2: Uffici (Presidenza + segreterie);
- Zona 3: Zone non occupate o di transito;
- Zona 4: Alloggio custode.

Risulta quindi naturale scegliere come criterio di zonizzazione quello basato sulla destinazione d'uso dei locali. Inoltre, nel caso in esame, tale criterio consente di considerare implicitamente anche le differenze impiantistiche presenti nella zona Presidenza-segreterie, rispetto al resto dell'edificio.

Le caratteristiche delle zone termiche così definite sono di seguito riportate.

Zona 1: Aule

Volume netto della zona	2553 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	680 m ²
Numero di occupanti di progetto	364

Zona 2: Uffici

Volume netto della zona	482 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	128 m ²
Numero di occupanti di progetto	10

Zona 3: Zone non occupate

Volume netto della zona	2600 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	693 m ²
Numero di occupanti di progetto	1

Zona 4: Custode

Volume netto della zona	236 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	64 m ²
Numero di occupanti di progetto	1

La zonizzazione è tuttavia solo il primo passo nella corretta esecuzione dell'audit. Infatti, una volta individuate le differenti zone termiche è necessario procedere alla relativa caratterizzazione in termini di profili di occupazione, profili di accensione degli impianti e temperature di set-point, profili di utilizzo delle chiusure oscuranti ed infine profili di apertura delle finestre.

Tali profili, basati su un modello biorario e differenziati fra giorni feriali e festivi, sono riportati di seguito per ciascuna zona termica sopra definita. Non si riportano i profili relativi all'utilizzo delle chiusure oscuranti, essendone l'edificio sprovvisto.

Inoltre si fa presente che i valori richiesti nella scheda "Profilo accensione riscaldamento", nella quale si richiede l'inserimento per ciascuna zona dei valori di: temperatura di set-point principale, numero di ore settimanali di riscaldamento a set-point principale, periodo settimanale (in ore) più corto e più lungo di spegnimento dell'impianto e lunghi periodi di spegnimento dell'impianto (legati a periodi di chiusura a seguito di festività), sono stati utilizzati come parametri di tuning nella fase di validazione del modello.

Nelle schede seguenti vengono riportati i valori ottenuti a seguito della procedura di tuning.

Zona 1: Profilo presenze

Definizione zona termica
Profilo presenze
Profilo accensione riscaldamento
Profilo chiusure oscuranti
Profilo apertura finestre

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	364		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	364		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	364		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	364		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	364		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	364		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	0		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	0		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	0		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	0		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	0		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	0		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali
Numero persone medio 182 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)
Numero persone medio 0 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	130
Febbraio	130
Marzo	130
Aprile	130
Maggio	130
Giugno	130
Luglio	37,14
Agosto	37,14
Settembre	130
Ottobre	130
Novembre	130
Dicembre	125,21
Valore medio	114,12

Zona 2: Profilo presenze

Definizione zona termica | **Profilo presenze** | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | Profilo apertura finestre

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	0		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	10		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	10		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	10		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	10		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	10		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	0		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	10		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	10		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	10		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	10		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	10		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali
Numero persone medio 4,167 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)
Numero persone medio 4,167 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	3,49 ▲
Febbraio	4,17
Marzo	4,17
Aprile	3,19
Maggio	4,17
Giugno	4,17
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	4,17
Ottobre	4,17
Novembre	4,17
Dicembre	2,82 ▼
Valore medio	3,22

Zona 3: Profilo presenze

Definizione zona termica | **Profilo presenze** | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | Profilo apertura finestre

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	0		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	1		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	1		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	1		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	1		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	1		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	0		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	0		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	0		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	0		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	0		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	0		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	0		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	0		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	0		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	0		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	0		<input type="checkbox"/>

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 0,417 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 0 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	0,3
Febbraio	0,3
Marzo	0,3
Aprile	0,3
Maggio	0,3
Giugno	0,3
Luglio	0,09
Agosto	0,09
Settembre	0,3
Ottobre	0,3
Novembre	0,3
Dicembre	0,29
Valore medio	0,26

Zona 4: Profilo presenze

Definizione zona termica | **Profilo presenze** | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | Profilo apertura finestre

Attività delle persone: Attività leggera in piedi

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	1		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	1		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	1		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	1		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	1		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	1		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	1		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	1		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	1		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	1		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	1		<input type="checkbox"/>
22.00-00.00	1		<input type="checkbox"/>

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00	1		<input type="checkbox"/>
02.00-04.00	1		<input type="checkbox"/>
04.00-06.00	1		<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	1		<input type="checkbox"/>
08.00-10.00	1		<input type="checkbox"/>
10.00-12.00	1		<input type="checkbox"/>
12.00-14.00	1		<input type="checkbox"/>
14.00-16.00	1		<input type="checkbox"/>
16.00-18.00	1		<input type="checkbox"/>
18.00-20.00	1		<input type="checkbox"/>
20.00-22.00	1		<input type="checkbox"/>

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali
Numero persone medio 1 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)
Numero persone medio 1 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	1
Febbraio	1
Marzo	1
Aprile	1
Maggio	1
Giugno	1
Luglio	1
Agosto	0
Settembre	1
Ottobre	1
Novembre	1
Dicembre	1
Valore medio	0,92

Zona 1: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	84		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	12		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	36		<input type="checkbox"/>
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale		<input type="checkbox"/>
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	5			
Febbraio	0			
Marzo	0			
Aprile	7			
Maggio	0			
Giugno	0			
Luglio	31			
Agosto	31			
Settembre	0			
Ottobre	0			
Novembre	0			
Dicembre	10			

Zona 2: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica Profilo presenze **Profilo accensione riscaldamento** Profilo chiusure oscuranti Profilo apertura finestre

Temperatura di set point principale [°C]

Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

Ore settimanali di riscaldamento a set point principale [h]

Periodo settimanale più corto di spegnimento [h]

Periodo settimanale più lungo di spegnimento [h]

Accensione dell'impianto di riscaldamento

Criterio accensione riscaldamento

Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza

Mese	Giorni	Fonte input
Gennaio	5	
Febbraio	0	
Marzo	0	
Aprile	7	
Maggio	0	
Giugno	0	
Luglio	31	
Agosto	31	
Settembre	0	
Ottobre	0	
Novembre	0	
Dicembre	10	

Zona 3: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h] 84		<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h] 12		<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h] 36		<input type="checkbox"/>	
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento	Accensione reale			
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	5			
Febbraio	0			
Marzo	0			
Aprile	7			
Maggio	0			
Giugno	0			
Luglio	31			
Agosto	31			
Settembre	0			
Ottobre	0			
Novembre	0			
Dicembre	10			

Zona 4: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica | Profilo presenze | **Profilo accensione riscaldamento** | Profilo chiusure oscuranti | Profilo apertura finestre

Temperatura di set point principale [°C]

Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

Ore settimanali di riscaldamento a set point principale [h]

Periodo settimanale più corto di spegnimento [h]

Periodo settimanale più lungo di spegnimento [h]

Accensione dell'impianto di riscaldamento

Criterio accensione riscaldamento

Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza

Mese	Giorni	Fonte input
Gennaio	0	
Febbraio	0	
Marzo	0	
Aprile	0	
Maggio	0	
Giugno	0	
Luglio	0	
Agosto	31	
Settembre	0	
Ottobre	0	
Novembre	0	
Dicembre	0	

Zona 1: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica | Profilo presenze | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | **Profilo apertura finestre**

Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)

Fonte input Dato incerto

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08.00-1...	0,09	0,1	0,11	0,26	0,3	0,21	0	0	0,18	0,34	0,1	0,08
10.00-1...	0,09	0,09	0,1	0,25	0,28	0,2	0	0	0,17	0,32	0,1	0,08
12.00-1...	0,07	0,07	0,08	0,19	0,22	0,15	0	0	0,13	0,24	0,07	0,06
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.00-2...	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,03	0	0	0,03	0,05	0,02	0,01
20.00-2...	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,03	0	0	0,02	0,05	0,01	0,01
22.00-0...	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0
Valore ...	0,023	0,023	0,027	0,066	0,075	0,053	0	0	0,045	0,085	0,025	0,02

Zona 2: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																																																																
Fonte input													Analisi del sito													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																						
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0,1	0,1	0,12	0,28	0,32	0,66	0,43	0	0,36	0,36	0,11	0,08																																																				
10.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
12.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0,028	0,03	0,033	0,078	0,092	0,188	0,122	0	0,102	0,103	0,031	0,023																																																				

Zona 3: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																																																																
Fonte input													Analisi del sito													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																						
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0,1	0,1	0,12	0,28	0,32	0,66	0,43	0	0,36	0,36	0,11	0,08																																																				
10.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
12.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0,028	0,03	0,033	0,078	0,092	0,188	0,122	0	0,102	0,103	0,031	0,023																																																				

Zona 4: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)													Fonte input <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	▲																																																			
02.00-0...	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25																																																				
08.00-1...	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25																																																				
10.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
12.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0,042	0,042	0,042	0,083	0,125	0,625	0,625	0,625	0,125	0,125	0,062	0,062	▼																																																			

Completato l’inserimento dei differenti profili di utilizzo (presenze, accensione impianto, chiusure oscuranti, apertura finestre), si procede all’inserimento dei dati relativi alla caratterizzazione dei componenti di involucro della zona analizzata.

Nella scheda SEAS “Dispersioni per trasmissione” sono presenti infatti tre sotto-schede nelle quali è possibile inserire le caratteristiche di pareti opache, superfici vetrate e ponti termici.

Le pareti opache, delimitanti la zona termica, sono caratterizzate in termini di: stratigrafia, esposizione, inclinazione, superficie totale, proprietà termiche, ambiente confinante e tipologia.

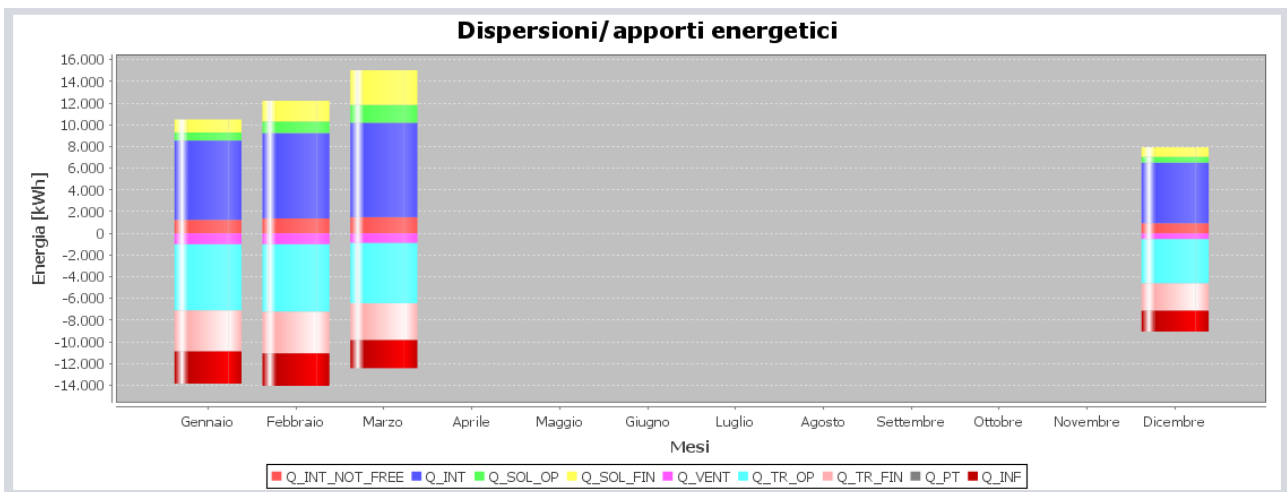
Successivamente si passa alla scheda “Ventilazioni e apporti interni”, nella quale per ciascuna zona termica vengono definiti: infiltrazioni e ventilazioni, fabbisogno acqua calda sanitaria, carichi termici non gratuiti, illuminazione, altri carichi elettrici.

Una volta completate tutte le schede necessarie alla caratterizzazione della zona termica, passando alla scheda “Risultati involucro” è possibile valutare per tale zona il fabbisogno energetico relativo al solo involucro, in termini sia mensili che annuali. Vengono riportate inoltre, suddivise per mese e per tipologia, le singole voci che contribuiscono al fabbisogno energetico della zona: carichi interni gratuiti e non gratuiti, apporti solari, perdite di trasmissione, per infiltrazioni e ponti termici.

Tali risultati sono riportati per ciascuna zona, relativamente all’anno climatico standard, nelle figure seguenti.

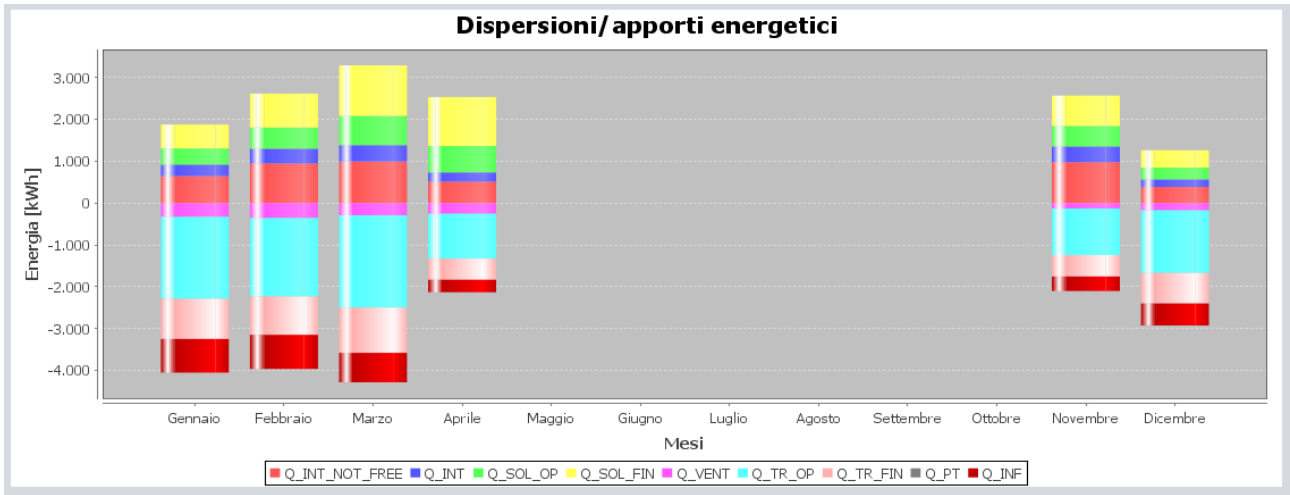
Zona 1: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccar)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	1.246,81	7.300,8	742,38	1.204,89	-1.007,27	-6.096,87	-3.775,05	0	-2.959,93	-2.785,57
Febbraio	1.378,35	7.862,4	1.072,7	1.902,53	-1.012,74	-6.214,2	-3.836,09	0	-2.995,59	-2.474,12
Marzo	1.486,58	8.704,8	1.646,52	3.195,33	-890,69	-5.556	-3.383,85	0	-2.593,71	-963,51
Aprile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dicembre	930,46	5.592,45	536,17	865,1	-545,74	-4.080,32	-2.498,73	0	-1.929,85	-1.575,75
Totale	5.042,19	29.460,45	3.997,77	7.167,86	-3.456,43	-21.947,4	-13.493,71	0	-10.479,08	-7.798,95



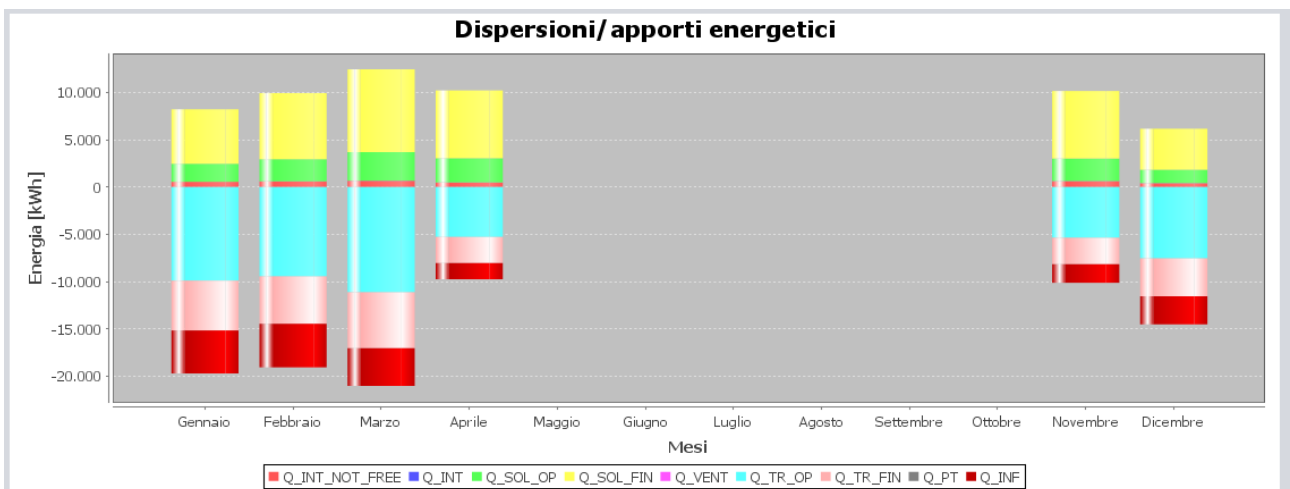
Zona 2: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccar)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	648,15	274,76	386,51	569,65	-327,29	-1.957	-962,5	0	-804	-1.207,32
Febbraio	950,03	352,8	506,48	811,23	-353,86	-1.878,4	-916,78	0	-813,68	-946,81
Marzo	995,9	390,6	699,99	1.210,32	-290,36	-2.206,51	-1.081,29	0	-704,52	-908,7
Aprile	515,3	222,18	631,58	1.169,78	-251,36	-1.072,2	-507,09	0	-299,92	-234,21
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	980,61	378	486,2	729,31	-127,71	-1.111,83	-511,77	0	-346,49	-190,98
Dicembre	389,08	179,25	284,27	412,85	-171,34	-1.494,73	-732,5	0	-524,2	-901,22
Totale	4.479,08	1.797,59	2.995,02	4.903,15	-1.521,92	-9.720,67	-4.711,93	0	-3.492,8	-4.389,24



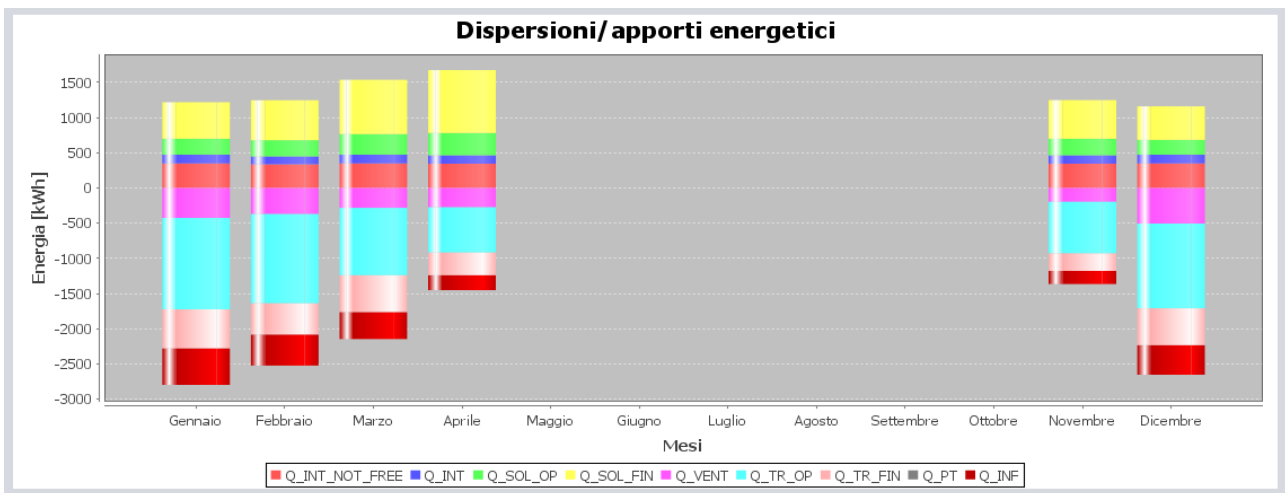
Zona 3: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccar)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	547,17	13,85	1.895,14	5.744,34	0	-9.885,58	-5.252,11	0	-4.545,78	-6.258,4
Febbraio	594,57	14,91	2.330,71	6.967,05	0	-9.436,37	-5.002,62	0	-4.600,55	-5.407,48
Marzo	652,39	16,51	3.008,66	8.756,75	0	-11.117,06	-5.900,35	0	-3.983,35	-5.525,04
Aprile	485,39	12,25	2.535,39	7.160,17	0	-5.266,51	-2.767,09	0	-1.695,71	-1.557,5
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	633,12	15,98	2.353,9	7.131,47	0	-5.356,44	-2.792,61	0	-1.959,02	-1.765,94
Dicembre	406,9	10,61	1.415,89	4.321,67	0	-7.530,91	-3.997,07	0	-2.963,81	-4.566,86
Totale	3.319,52	84,11	13.539,69	40.081,43	0	-48.592,88	-25.711,86	0	-19.748,23	-25.081,22



Zona 4: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	348,33	124,55	226,96	519,81	-424,91	-1.298,05	-557,45	0	-517,99	-1.148,17
Febbraio	336,02	112,49	230,94	566,68	-371,25	-1.267,69	-445,33	0	-439,68	-969,61
Marzo	348,33	124,55	293,7	771,14	-281,45	-958,16	-525,24	0	-380,69	-640,2
Aprile	344,22	120,53	317,94	893,83	-274,68	-643,63	-321,29	0	-211,38	-234,6
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	344,22	120,53	235,74	548,56	-195,37	-734,4	-248,6	0	-187,23	-335,91
Dicembre	348,33	124,55	210,68	476,71	-505,23	-1.204,29	-525,25	0	-418,14	-1.092,85
Totale	2.069,45	727,19	1.515,96	3.776,72	-2.052,89	-6.106,23	-2.623,16	0	-2.155,12	-4.421,34



2.3 Fatturazioni energetiche e dati climatici: destagionalizzazione dei consumi

A questo punto, prima di utilizzare il modello dell'edificio così sviluppato, per analizzare gli effetti dei possibili interventi strutturali ed impiantistici, volti a trasformare l'edificio in esame in un edificio ad energia quasi zero, è necessario procedere alla validazione e tuning del modello mediante una valutazione di esercizio, basata sui consumi energetici reali ricavati dalle fatturazioni fornite a tal fine dai gestori della struttura.

La valutazione d'esercizio è stata così svolta sulla base dei consumi annui di energia elettrica e gasolio, in due differenti stagioni di riscaldamento: 2012/2013 e 2013/2014.

Al fine di destagionalizzare i consumi effetti, la valutazione di esercizio è stata condotta considerando congiuntamente i dati climatici e le fatturazioni energetiche della stagione di riscaldamento considerata.

L'anno climatico standard è stato infine utilizzato per valutare i consumi energetici "standard" dell'edificio.

Dati climatici 2012/2013

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	9,5	7,3	5,7	3,3	9
Febbraio	8,6	7,9	7,7	4,2	11,9
Marzo	12,4	8,1	10,5	5,5	16
Aprile	14,9	8,7	14,1	6,6	20,7
Maggio	18,4	9,1	18,6	6,9	25,5
Giugno	21,7	9,4	21,6	6,6	28,2
Luglio	24,7	9,6	22,1	6,1	28,2
Agosto	26	9,2	19,8	5,6	25,4
Settembre	22,7	8,7	14,1	5,4	19,5
Ottobre	20,1	7,9	9,2	4,5	13,7
Novembre	14,1	7,4	6,6	3,4	10
Dicembre	10,3	7,1	5	3	8

Andamento Temperatura Esterna Zona B (sud)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembr	Ottobre	Novembr	Dicembr
00.00-...	7,68	6,27	9,85	11,72	15,03	18,32	21,44	23,29	20,39	18,05	12,32	8,56
02.00-...	7,13	5,76	9,16	10,99	14,17	17,47	20,62	22,69	19,79	17,61	11,55	8,21
04.00-...	6,73	5,4	8,71	10,77	14,03	17,19	20,28	22,14	19,31	17,22	11,58	7,89
06.00-...	6,62	5,4	9,08	11,86	15,53	18,41	20,76	22,23	19,22	17,14	11,55	7,74
08.00-...	8	7,49	11,87	14,94	18,63	21,7	24,08	25,17	21,57	18,88	12,62	8,7
10.00-...	10,49	10,46	15,07	18,03	21,54	24,9	27,96	28,99	25,09	21,8	14,95	11,01
12.00-...	12,93	12,43	16,41	19,08	22,63	26,07	29,36	30,74	27,18	24,29	17,87	13,85
14.00-...	13,7	12,91	16,57	19,16	22,77	26,26	29,55	30,78	27,44	24,68	18,47	14,56
16.00-...	12,71	11,92	15,6	18,34	21,9	25,41	28,73	29,4	26,01	23,26	17,1	13,39
18.00-...	10,52	9,86	13,78	16,64	20,27	23,72	26,76	27,2	23,53	20,61	14,66	11,01
20.00-...	9,14	8,24	12,04	14,51	18,13	21,51	24,46	25,4	21,92	19,19	13,36	9,66
22.00-...	8,37	7,1	10,66	12,81	16,17	19,44	22,49	24,02	20,92	18,48	12,77	9,02

Dati climatici 2013/2014

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	10,3	7,3	5,7	3,3	9
Febbraio	11,5	7,9	7,7	4,2	11,9
Marzo	10,9	8,1	10,5	5,5	16
Aprile	14,5	8,7	14,1	6,6	20,7
Maggio	17,4	9,1	18,6	6,9	25,5
Giugno	22,5	9,4	21,6	6,6	28,2
Luglio	24,4	9,6	22,1	6,1	28,2
Agosto	25,7	9,2	19,8	5,6	25,4
Settembre	23,4	8,7	14,1	5,4	19,5
Ottobre	19,2	7,9	9,2	4,5	13,7
Novembre	15,9	7,4	6,6	3,4	10
Dicembre	10,9	7,1	5	3	8

Andamento Temperatura Esterna Zona B (sud)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-...	8,48	9,17	8,35	11,32	14,03	19,12	21,14	22,99	21,09	17,15	14,12	9,16
02.00-...	7,93	8,66	7,66	10,58	13,17	18,27	20,32	22,39	20,49	16,71	13,35	8,81
04.00-...	7,53	8,3	7,21	10,37	13,03	17,99	19,98	21,84	20,01	16,32	13,38	8,49
06.00-...	7,42	8,3	7,58	11,46	14,53	19,21	20,46	21,93	19,92	16,24	13,35	8,34
08.00-...	8,8	10,39	10,37	14,54	17,63	22,5	23,78	24,87	22,27	17,98	14,42	9,3
10.00-...	11,29	13,36	13,57	17,63	20,54	25,7	27,66	28,69	25,79	20,9	16,75	11,61
12.00-...	13,73	15,33	14,91	18,68	21,63	26,87	29,06	30,44	27,88	23,39	19,67	14,45
14.00-...	14,5	15,81	15,07	18,76	21,77	27,06	29,25	30,48	28,14	23,78	20,27	15,16
16.00-...	13,51	14,82	14,1	17,94	20,9	26,21	28,43	29,1	26,71	22,36	18,9	13,99
18.00-...	11,32	12,76	12,28	16,24	19,27	24,52	26,46	26,9	24,23	19,71	16,46	11,61
20.00-...	9,94	11,14	10,54	14,11	17,13	22,31	24,16	25,1	22,62	18,29	15,16	10,26
22.00-...	9,17	10	9,16	12,41	15,17	20,24	22,19	23,72	21,62	17,58	14,57	9,62

Come già anticipato, il tuning del modello sviluppato in SEAS è stato svolto sulla base dei valori relativi alla temperatura di set-point principale, al numero di ore settimanali di riscaldamento a set-point principale, ai periodi settimanali più corti e più lunghi di spegnimento dell'impianto.

I risultati così ottenuti, in termini di consumi energetici sia termici che elettrici per ciascuna stagione di riscaldamento, ed i relativi errori percentuali rispetto a quelli realmente misurati, sono riportati nella seguente tabella.

Stagione	Consumo stimato energia elettrica	Consumo stimato energia termica	Consumo reale energia elettrica	Consumo reale energia termica	Errore percentuale stima consumi elettrici	Errore percentuale stima consumi termici
2013/2014	40379 kWh	51903 kWh	42789 kWh	45670 kWh	-5.6 %	+13.6 %
2014/2015	40439 kWh	48153 kWh	43657 kWh	51580 kWh	-7.4 %	-6.6 %

Il modello quindi, opportunamente tarato sui parametri di tuning, è in grado di predire accuratamente i consumi energetici dell'edificio analizzato, e può quindi essere utilizzato per valutare i possibili interventi di riqualificazione energetica.

2.4 Consumi energetici standard

Effettuata la validazione del modello dell'edificio, sviluppato in SEAS, è possibile passare alla valutazione dei consumi energetici della struttura, in relazione all'anno climatico standard.

Dati climatici standard

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	10,7	7,3	5,7	3,3	9
Febbraio	11,2	7,9	7,7	4,2	11,9
Marzo	12,9	8,1	10,5	5,5	16
Aprile	15,5	8,7	14,1	6,6	20,7
Maggio	19,1	9,1	18,6	6,9	25,5
Giugno	23,5	9,4	21,6	6,6	28,2
Luglio	26,5	9,6	22,1	6,1	28,2
Agosto	26,5	9,2	19,8	5,6	25,4
Settembre	24,1	8,7	14,1	5,4	19,5
Ottobre	19,9	7,9	9,2	4,5	13,7
Novembre	15,9	7,4	6,6	3,4	10
Dicembre	12,3	7,1	5	3	8

Andamento Temperatura Esterna Zona B (sud)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembr	Ottobre	Novembr	Dicembr
00.00-...	8,88	8,87	10,35	12,32	15,73	20,12	23,24	23,79	21,79	17,85	14,12	10,56
02.00-...	8,33	8,36	9,66	11,58	14,87	19,27	22,42	23,19	21,19	17,41	13,35	10,21
04.00-...	7,93	8	9,21	11,37	14,73	18,99	22,08	22,64	20,71	17,02	13,38	9,89
06.00-...	7,82	8	9,58	12,46	16,23	20,21	22,56	22,73	20,62	16,94	13,35	9,74
08.00-...	9,2	10,09	12,37	15,54	19,33	23,5	25,88	25,67	22,97	18,68	14,42	10,7
10.00-...	11,69	13,06	15,57	18,63	22,24	26,7	29,76	29,49	26,49	21,6	16,75	13,01
12.00-...	14,13	15,03	16,91	19,68	23,33	27,87	31,16	31,24	28,58	24,09	19,67	15,85
14.00-...	14,9	15,51	17,07	19,76	23,47	28,06	31,35	31,28	28,84	24,48	20,27	16,56
16.00-...	13,91	14,52	16,1	18,94	22,6	27,21	30,53	29,9	27,41	23,06	18,9	15,39
18.00-...	11,72	12,46	14,28	17,24	20,97	25,52	28,56	27,7	24,93	20,41	16,46	13,01
20.00-...	10,33	10,84	12,54	15,11	18,83	23,31	26,26	25,9	23,32	18,99	15,16	11,66
22.00-...	9,57	9,7	11,16	13,41	16,87	21,24	24,29	24,52	22,32	18,28	14,57	11,02

Per completare la diagnosi, si procede con il completamento delle schede relative alla caratterizzazione dell'impianto. Il primo step, riguarda l'inserimento dei valori millesimali di energia per gli usi di riscaldamento, produzione ACS, aria primaria, cottura ed elettricità. Nel caso in esame, essendo la struttura asservita da un impianto centralizzato ed avendo adottato un approccio multi-zona, i millesimi di energia, valutati come rapporto tra l'energia richiesta in ingresso al sottosistema di regolazione della zona considerata ed il valore dei consumi totali, fatto uguale a 1000, saranno per ciascuna zona inferiori a 1000 mentre saranno nulli per i servizi di produzione ACS, aria primaria e cottura essendo questi ultimi assenti.

Nella figura seguente si riportano i valori millesimali di energia inseriti per la zona 1 (zona Aule).

E' presente un generatore combinato ACS+RISC? ▼

Millesimi

Servizio ACS	<input type="text" value="0"/>
Servizio Riscaldamento	<input type="text" value="265"/>
Servizio Elettrico	<input type="text" value="551"/>
Servizio Cottura	<input type="text" value="0"/>
Servizio Aria Primaria	<input type="text"/>

Carichi elettrici esterni alla zona [kWh/anno]

Si passa quindi alla caratterizzazione dei sistemi di emissione, regolazione, distribuzione e generazione.

Nelle figure seguenti si riportano i dati relativi a tali voci per la zona termica aule.

Emissione

Potenza installata nella zona		Temperatura media acqua nei terminali	
Radiatori	[kW] <input type="text" value="0"/>	[°C] <input type="text" value=""/>	(70)
Termoconvettori	[kW] <input type="text" value="69,4"/>	[°C] <input type="text" value="70"/>	(70)
Aerotermi e Ventilconvettori	[kW] <input type="text" value="0"/>	[°C] <input type="text" value=""/>	(50)
Pannelli Radianti	[kW] <input type="text" value="0"/>	[°C] <input type="text" value=""/>	(32,5)

Tipo inserimento

Tipologia terminali

Rendimento di emissione	
Mese	%
Gennaio	93
Febbraio	93
Marzo	94
Aprile	94
Maggio	94
Giugno	94
Luglio	94
Agosto	94
Settembre	94
Ottobre	94
Novembre	94
Dicembre	94

Regolazione

Tipo di regolazione	Per singolo ambiente + climatica
Tipo di terminali	Radiatori, convettori
Caratteristiche della regolazione	P banda prop. 1 °C

Mese	Rendimento di regolazione
Gennaio	98
Febbraio	98
Marzo	98
Aprile	98
Maggio	98
Giugno	98
Luglio	98
Agosto	98
Settembre	98
Ottobre	98
Novembre	98
Dicembre	98

Distribuzione

Calcolo Analitico Ausiliari Output

Mese	%
Gennaio	97,7
Febbraio	97,92
Marzo	93,47
Aprile	0
Maggio	0
Giugno	0
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	0
Ottobre	0
Novembre	100
Dicembre	97,4

Generazione

Tipologia di generazione	Caldaia	Pompa di calore a co
Potenza nominale a pieno carico [kW]	180,3	
Rendimento a pieno carico [%]	90	
Potenza elettrica ausiliari a pieno carico [W_{el}]	460	
Tipo di generatore	Modulante	
Fattore di carico parziale in modulazione [0-1]	0,5	
Rendimento a carico parziale [%]	90	
Potenza elettrica a carico parziale [W_{el}]	460	

Completato l’inserimento di tutti i dati necessari alla caratterizzazione dell’impianto, si può infine passare alla valutazione dei consumi elettrici e termici, in relazione all’anno climatico standard. I risultati della diagnosi sono riportati nella tabella seguente.

Consumo elettrico	Consumo termico
40390 kWh	46200 kWh

2.5 Interventi di riqualificazione

Nel presente paragrafo vengono descritti gli interventi di riqualificazione energetica proposti e simulati mediante SEAS, per rendere l’edificio scolastico “Livio Tempesta” di Catania un edificio ad energia quasi zero, conforme al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi.

Gli interventi esaminati sono di seguito riassunti:

- Interventi sull'involucro edilizio con l'isolamento delle pareti, del soffitto e del pavimento e con la sostituzione degli infissi esistenti con nuovi infissi con telai in alluminio a taglio termico e vetro camera 4-6-4 con caratteristiche basso emissive ($\epsilon=0.05$);
- Interventi sugli impianti con scelta di nuove tipologie impiantistiche ad alta efficienza energetica;
- Utilizzo di Fonti Energetiche Rinnovabili (FER) secondo quanto specificato dal D.Lgs. 28/2011 in modo da rispettare sia la Quota Rinnovabile (QR) che la potenza elettrica autoprodotta.

In particolare, le opere di riqualificazione degli impianti, dettate dalla riduzione dei carichi termici per effetto degli interventi sull'involucro edilizio, dalla necessità di utilizzare pompe di calore per ottenere una parte di energia rinnovabile e dalla necessità di adeguamento al DM 12/75 sulle scuole, per adeguare la portata di ventilazione ai 2.5 Vol/h richiesti, comprendono: lo smontaggio dell'attuale centrale termica e l'installazione di una pompa di calore da 95 kW a servizio di un impianto misto ad aria primaria e fan coil asservito alla sola zona Aule; l'installazione dei componenti di impianto delle due centrali UTA; l'installazione di collettori solari termici e pannelli fotovoltaici; operazione di relamping sia interna che esterna.

Si fa presente che per le zone Uffici ed Alloggio Custode sono stati mantenuti gli attuali impianti, al fine di limitare i costi degli interventi di riqualificazione e che nella simulazione in SEAS, non è stato simulato l'intervento relativo all'installazione dei collettori solari per la produzione di ACS, essendo tale servizio non presente prima dell'intervento di riqualificazione.

Ricapitolando quindi, per ciascuna zona sono stati simulati i seguenti interventi sugli impianti:

- | | |
|---------------------------------|--|
| ▪ Zona AULE: | Rifacimento della Centrale termica e degli impianti; |
| ▪ Zona UFFICI: | Mantenimento degli attuali impianti; |
| ▪ Zona PRESIDENZA – SEGRETERIE: | Mantenimento degli attuali impianti; |
| ▪ Zona ALLOGGIO CUSTODE: | Mantenimento degli attuali impianti. |

Per maggiori dettagli sugli interventi di riqualificazione esaminati si rimanda di nuovo al Report RdS/PAR2015/122 [7].

Per ciascuna delle misure di efficienza energetica precedentemente descritte, sono di seguito elencate e caratterizzate le relative tecnologie considerate per la realizzazione delle misure stesse e i costi associati.

No.	Misura di Efficienza Energetica	Tecnologia considerate	Parametro	Valore
1	Isolamento delle pareti esterne	inserimento di uno strato di isolante (schiuma ureica o poliuretano iniettabile).	U_p [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0.135 63.15 1351 85316
2	Isolamento del pavimento	Inserimento di una lastra di polistirene espanso, a celle chiuse, con spessore di 5 cm, seguita da uno strato di 5 cm di calcestruzzo di vermiculite.	U_r [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0.277 154.23 633 97629
3	Isolamento della copertura a terrazzo	Pannelli in polistirene espanso più poliuretano espanso	U_f [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0.305 75.34 651 49046

No.	Misura di Efficienza Energetica	Tecnologia considerate	Parametro	Valore
4	Isolamento involucro trasparente	infissi in alluminio con taglio termico e con vetri camera 4-6-4 (o similare) a bassa emissività (0.05) e krypton.	U_w [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	1,12 210.35 428.59 90154
5	Impianto di riscaldamento	pompa di calore aria-acqua + altri componenti di impianto	COP [-] $W_{termici}$ [kW] C [€]	3.44 104 48641
6	Pannelli fotovoltaici	pannelli in silicio multi-cristallino	W_p [kW] C [€]	15 47315
7	Impianto di ventilazione meccanica	UTA	C [€]	66045
8	Impianto di illuminazione	Lampade LED + sensori di presenza	C [€]	11679

In definitiva, tutti i costi relativi agli interventi di riqualificazione energetica possono essere riassunti nella seguente tabella:

Riepilogo dei costi	Parziale	Totale
Opere di demolizione e preparazione	-	€ 27248
Opere di ristrutturazione	-	€ 322145
Pareti esterne	€ 85316.28	
Copertura a Terrazza	€ 49046.34	
Pavimento	€ 97628.86	
Infissi e superfici vetrate	€ 90153.91	
Opere di riqualificazione impianti	-	€ 205127
Impianto di riscaldamento	€ 48641.06	
Impianto Aria Primaria	€ 66045.05	
Impianto Fotovoltaico	€ 47315.28	
Impianto Illuminazione	€ 11679.20	
Totale Lavori	-	€ 554520
Lavori vari – Imprevisti – Costi amministrativi	-	€ 211459
Totale intervento di riqualificazione	-	€ 734533

Vediamo adesso come gli interventi di riqualificazione sopra esaminati sono stati implementati in SEAS.

Per prima cosa sono state apportate le modifiche sull'involucro, inserendo negli appositi campi delle schede relative alla sezione "Dispersioni e infiltrazioni", i valori delle trasmittanze e capacità termiche areiche delle nuove pareti opache, la nuova tipologia di vetri con la relativa trasmittanza e classe di permeabilità dei nuovi serramenti. I ponti termici sono stati considerati maggiorando del 5 % la trasmittanza termica dei componenti dell'involucro.

Pareti Opache	Superfici Vetrate	Ponti Termici Strutture Opache
Sigla del componente	NE	
Descrizione	Parete esterna esposta a NE	
Area netta del componente [m ²]	448,88	
Ambiente adiacente	Ambiente esterno	
Capacità termica areica [kJ/m ² K]	52	<input type="checkbox"/>
Trasmittanza termica [W/m ² K]	0,13	<input type="checkbox"/>
Angolo di inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale [°]	90	
Orientamento rispetto al Sud (>0 verso Ovest [-180°, 180°]) [°]	-144	
Fattore di assorbimento solare	0,6	
Angolo caratteristico di ostruzione esterna [0°, 90°]	0	
Angolo caratteristico di aggetto verticale [0°, 90°]	0	
Angolo caratteristico di aggetto orizzontale [0°, 90°]	0	

Pareti Opache	Superfici Vetrare	Ponti Termici Strutture Opache
Numero serramenti identici		28
Angolo di inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale [°]		90
Orientamento rispetto al Sud (>0 verso Ovest [-180°, 180°])	[°]	-144
Area totale del singolo serramento	[m²]	3,6
Area vetrata del serramento	[m²]	2,59
Area apribile del serramento	[m²]	1,8
Altezza dell'area apribile del serramento	[m]	2
Classe di permeabilità del serramento (1 se non nota)		4
Tipologia di vetro		Doppio vetro con una lastra con trattamento superficiale
Chiusure oscuranti presenti?		No o ad alta ventilazione (persiane o veneziane non regolabili)
La trasmittanza dell'intera finestra è nota? <input type="button" value="Si"/>		
Trasmittanza termica dell'intera finestra [W/m²K] <input type="text" value="1,12"/> <input type="button" value=""/>		

Per mezzo della routine esterna "Aria Primaria", è stato inserito nella scheda "Infiltrazioni e ventilazioni" il sistema di ventilazione meccanica controllata.

Aria Primaria

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
 Routine per il calcolo del fabbisogno energetico per il servizio di aria primaria

D. Testi, D. Della Vista, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, G. Diodato, S. Moncelli, W. Grassi - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 G. Fasano, P. Signoretti - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Dati geografici

CT
 7 Altitudine provincia (m)
 Catania
 7.0 Altitudine zona (m)
 Visualizza dati climatici

Caratterizzazione zona

T setpoint zona (°C) 19
 Portata di infiltrazione (m³/h) 190.501
 Volume zona (m³) 2553

Caratterizzazione sottozona

ID SOTTOZONA	TIPO	SUPERFICIE (m²)	VOLUME (m³)	PORTATA (m³/h)	TASSO RICAMBIO (Vol/h)
-	SCUOLE: aul...	680	2553	7869.37	3.0824

Aggiungi Sottozona

Portata di ventilazione da apertura finestre (m³/h)

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem...	Ottobre	Novem...	Dicembre
583.4491	579.6340	588.7694	1.2113e...	0	0	0	0	0	0	496.3756	484.8404

Ventilatore

Caratteristiche del ventilatore

Regolazione potenza: Potenza nominale (W) 136000, Potenza fissa
 Regolazione portata: ON/OFF, Fattore di recupero termico all'aria 0.6

Visualizza schema impiantistico

Profilo di utilizzo del ventilatore (compreso tra 0 e 1)

n° giorni festivi settimanali	0:00 - 2:00	2:00 - 4:00	4:00 - 6:00	6:00 - 8:00	8:00 - 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00	18:00 - 20:00	20:00 - 22:00	22:00 - 24:00
2	Lavorativo	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

UTA

BATTERIA DI RISCALDAMENTO: Presente, Non presente
 T immissione nella zona (°C) 19

UMIDIFICATORE: Presente, Non presente
 Umidità relativa della zona (%) 50

Recuperatore: Presente

CALCOLA
 CHIUDI TUTTO E SALVA
 Help

SchedaSottozona

ID sottozona: -
 Chiudi e salva

Caratterizzazione sottozona

Superficie netta (m²) 680, Volume netto (m³) 2553, Tipo di sottozona: SCUOLE: aule scuole medie inferiori, T di setpoint zona (°C) 19

Produzione di calore sensibile e latente, per persona, secondo VDI2078

Carichi

	Carichi
Totale, per persona (W)	122.50
Sensibile, per persona (W)	97.50
Latente, per persona (W)	25.00
Latente, per persona (g/h)	35.00

Determinazione persone sottozona

È noto il numero delle persone di progetto della sottozona?
 Valore noto

n° persone di progetto: 364

Portata di aria esterna secondo UNI10339

6 Portata di aria esterna di progetto (l/s per persona)
 7.0 Altitudine di riferimento (m)
 3.0824 Tasso di ricambio aria di progetto (Vol/h)
 7869.37 Portata di progetto (m³/h)

Modalità di controllo della portata:
 Nessuna, Presenza persone
 Umidità (%) 50, C O₂

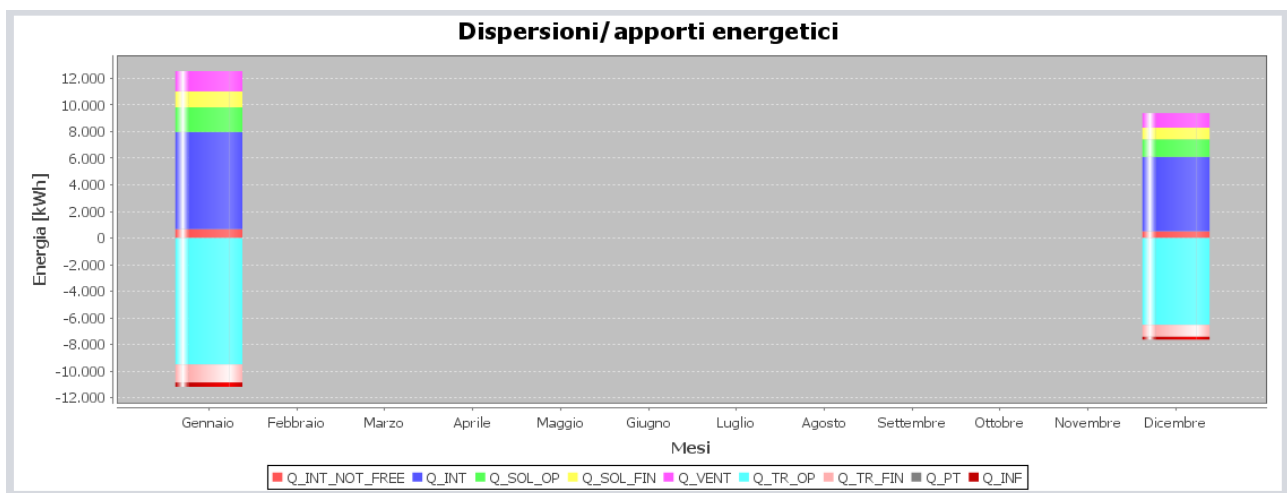
Profilo di occupazione (numero di persone)

	00 - 2:00	2:00 - 4:00	4:00 - 6:00	6:00 - 8:00	8:00 - 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00	18:00 - 20:00	20:00 - 22:00	22:00 - 24:00
Lavorativo	0	0	0	364	364	364	364	364	364	0	0	0
Festivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fatto ciò è stato poi possibile calcolare il fabbisogno energetico dell'involucro, a seguito degli interventi di riqualificazione strutturali, sempre in reazione all'anno climatico standard. I risultati sono riportati nelle figure seguenti.

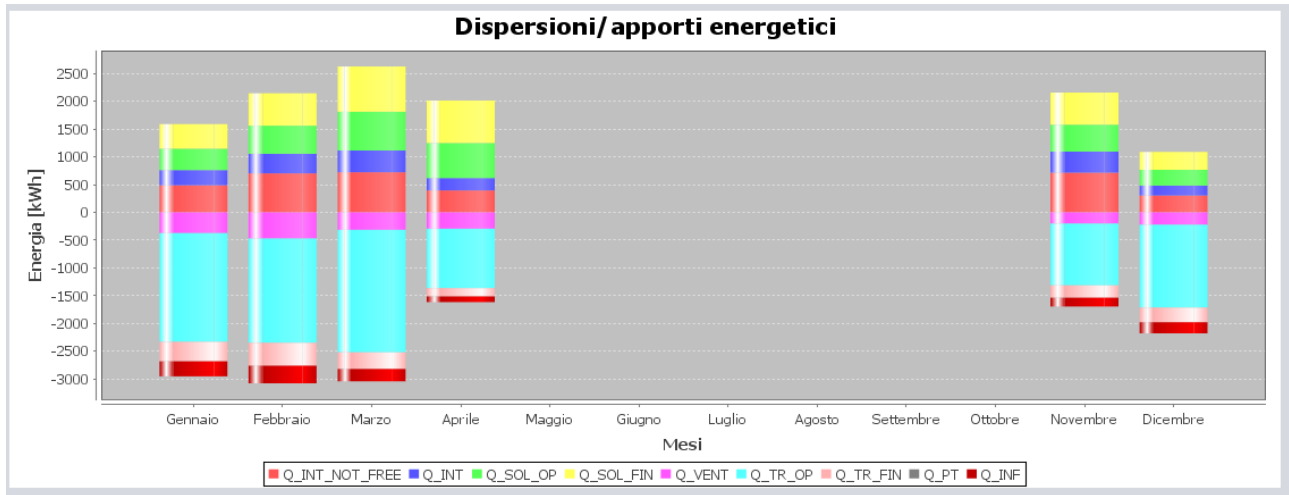
Zona 1: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccar)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	675,81	7.300,8	1.840,13	1.204,89	1.522,19	-9.498,25	-1.349,77	0	-328,88	-883,9
Febbraio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aprile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dicembre	509,2	5.592,45	1.321,46	865,1	1.099,57	-6.520,13	-887,92	0	-214,43	-285,73
Totale	1.185,01	12.893,25	3.161,59	2.069,99	2.621,76	-16.018,38	-2.237,69	0	-543,31	-1.169,64



Zona 2: Fabbisogno energetico totale

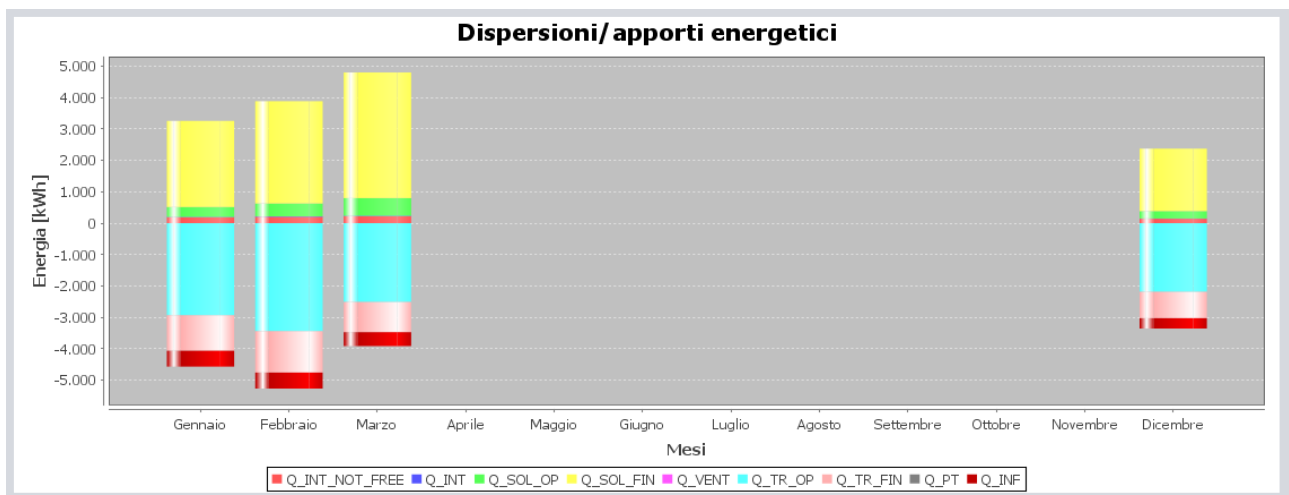
Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccar)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	486,76	274,76	386,51	442,15	-374,61	-1.957	-351,72	0	-269,55	-795,18
Febbraio	702,94	352,8	506,48	582,63	-471,81	-1.878,4	-412,17	0	-317,79	-689,94
Marzo	722,34	390,6	699,99	815,85	-314,16	-2.206,51	-300,18	0	-223,28	-562,82
Aprile	396	222,18	631,58	764,63	-294,45	-1.072,2	-146,46	0	-102,91	-137,74
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	715,87	378	486,2	577,51	-201,87	-1.111,83	-222,9	0	-160,42	-111,49
Dicembre	304,04	179,25	284,27	320,49	-222,48	-1.494,73	-261,81	0	-199,38	-612,85
Totale	3.327,95	1.797,59	2.995,02	3.503,26	-1.879,38	-9.720,67	-1.695,25	0	-1.273,33	-2.910,02



Zona 3: Fabbisogno energetico totale

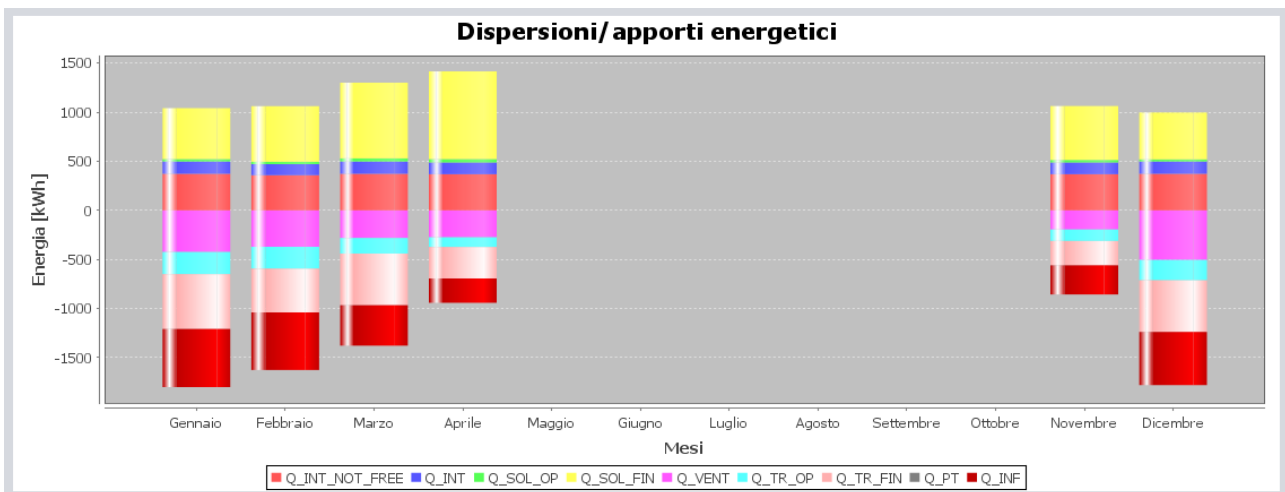
Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]

Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	183,58	13,85	317,01	2.742,08	0	-2.935,14	-1.125,31	0	-505,09	-920,87
Febbraio	203,01	14,91	411,63	3.251,81	0	-3.438,01	-1.318,71	0	-511,17	-1.028,31
Marzo	218,88	16,51	562,91	4.001,85	0	-2.510,89	-960,41	0	-442,59	-210,6
Aprile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dicembre	138,65	10,61	233,58	1.989,45	0	-2.185,95	-837,66	0	-329,31	-681,73
Totale	744,12	55,88	1.525,12	11.985,19	0	-11.069,99	-4.242,08	0	-1.788,17	-2.841,51



Zona 4: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	373,04	124,55	24,54	519,81	-424,91	-226,12	-557,45	0	-592,88	-638,05
Febbraio	357,85	112,49	24,97	566,68	-371,25	-222,95	-445,33	0	-586,24	-536,55
Marzo	373,04	124,55	31,76	771,14	-281,45	-159,38	-525,24	0	-411,9	-332,38
Aprile	367,98	120,53	34,38	893,83	-274,68	-98,55	-321,29	0	-247,62	-24,48
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novembre	367,98	120,53	25,49	548,56	-195,37	-116,37	-248,6	0	-295,94	-120,75
Dicembre	373,04	124,55	22,78	476,71	-505,23	-207,71	-525,25	0	-542,96	-654,34
Totale	2.212,94	727,19	163,93	3.776,72	-2.052,89	-1.031,08	-2.623,16	0	-2.677,54	-2.306,54



Apportate le modifiche sull'involucro si è potuto passare alle modifiche sull'impianto.

Come precedentemente specificato, tali interventi riguardano principalmente la zona termica Aule, avendo mantenuto per le altre zone gli impianti attualmente esistenti.

In tale zona, oltre all'aggiunta dell'impianto di ventilazione meccanica sopra descritto ed alla sostituzione del generatore del sistema di riscaldamento, da una caldaia a gasolio ad una pompa di calore elettrica aria-acqua, è stato aggiunto un impianto fotovoltaico da 15 kW_p.

La producibilità di tale impianto è stata valutata mediante l'apposita routine esterna dedicata. Le caratteristiche dell'impianto (tipologia di moduli, esposizione, inclinazione, parametri prestazionali, ecc.) e la stima della sua producibilità sono riportate nelle figure seguenti.

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Modulo per il calcolo della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico

W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Dati geografici

CT **Latitudine del Comune**

	Irr. orizz. totale medio giornaliero (MJ/m2)	Irr. orizz. diretto medio giornaliero (MJ/m2)	Irr. orizz. diffuso medio giornaliero (MJ/m2)	Temperatura esterna (°C)	Escursione termica media (°C)	Velocità vento (m/s)
Gennaio	9.00	5.70	3.30	10.70	7.30	4.40
Febbraio	11.90	7.70	4.20	11.20	7.90	4.40
Marzo	16.00	10.50	5.50	12.90	8.10	4.40
Aprile	20.70	14.10	6.60	15.50	8.70	4.40
Maggio	25.50	18.60	6.90	19.10	9.10	4.40
Giugno	28.20	21.60	6.60	23.50	9.40	4.40
Luglio	28.20	22.10	6.10	26.50	9.60	4.40

Caratteristiche del singolo modulo

Tipologia di pannello: Silicio multi cris.
 Area modulo (m²): 1.67
 Area netta del modulo (m²): 1.58
 Potenza nominale di picco del pannello (kW): Valore noto 0.27
 Coef. di temperatura (%/K): Valore noto -0.3
 Coef. di potenza (-): Valore noto -0.4
 NOCT (°C): Valore noto 45
 Grado di ventilazione: Moduli moderat... f_pv 0.75
 B.O.S.: 0.9

Calcola / Aggiorna Salva Config. Carica Config. **Help**

Caratterizzazione dell'impianto FV

Inclinazione:
 Orientamento (>0 verso ovest):
 N° moduli:
 Tipologia terreno circostante: Asfalto invecchiato Albedo:

OutputFV

Calcolo della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico - Risultati

	Irr. tot. sup. captante (MJ/m ²)	En. elettrica prodotta metodo UNI 11300 - 4 (kWh)	En. elettrica prodotta metodo di Evans (kWh)
Gennaio	13.50	1412.19	2385
Febbraio	15.78	1491.31	2504
Marzo	18.63	1949.56	3272
Aprile	21.41	2167.55	3665
Maggio	24.10	2521.37	4331
Giugno	25.47	2578.89	4505
Luglio	25.98	2717.77	4773
Agosto	25.45	2662.76	4634
Settembre	21.93	2220.40	3828
Ottobre	17.52	1833.04	3142
Novembre	14.68	1486.28	2538
Dicembre	12.44	1301.58	2214

Ore equivalenti (UNI TS 11300-4)

Ore equivalenti (Metodo di Evans)

Nell'anno standard di riferimento l'impianto fotovoltaico lavora per un totale di 1503 ore equivalenti, producendo 24342 kWh.

Infine, si procede per ciascuna zona al ricalcolo dei millesimi dei consumi energetici. Questa volta i millesimi relativi al servizio di riscaldamento ed al servizio elettrico saranno pari a 1000 sia per la Zona 2 (Uffici) che per la Zona 4 (Alloggio custode), essendo queste servite da impianti autonomi. La Zona 1 (Aule) e la Zona 3 (zone non occupate) invece, essendo servite dal medesimo impianto (ad eccezione dell'impianto di aria primaria che è presente nella sola zona 1), presenteranno millesimi di energia per i servizi di riscaldamento ed elettrici inferiori a 1000. Saranno pari a 1000 invece, quelli relativi al servizio di Aria Primaria per la zona Aule.

I consumi mensili e annuali, sia elettrici che termici, a seguito degli interventi di riqualificazione energetica, in relazione all'anno climatico standard sono infine riportati, nelle seguenti tabelle. Vengono anche riportati i consumi totali, sempre relativi all'anno standard, per l'edificio non riqualificato.

Zona 1 + Zona 3	
Mese	Elettrico [kWh]
gennaio	3836.5
febbraio	494.8
marzo	266.8
aprile	-304.8
maggio	-535.7
giugno	-595.3
luglio	-1689.1
agosto	-1650.3
settembre	-342.1
ottobre	-49.4
novembre	562.2
dicembre	2606.2
Totale	2599.7

Zona 2	
Mese	Elettrico [kWh]
gennaio	649.9
febbraio	781.9
marzo	806.8
aprile	578.2
maggio	760.3
giugno	753.5
luglio	10.7
agosto	10.7
settembre	753.5
ottobre	760.3
novembre	798.5
dicembre	503.9
Totale	7168.6

Zona 4		
Mese	Elettrico [kWh]	Gas Naturale [kWh]
gennaio	413.9	0
febbraio	394.6	609.3
marzo	404.1	394
aprile	394.5	29.8
maggio	392.7	0
giugno	387.3	0
luglio	392.7	0
agosto	0	0
settembre	387.3	0
ottobre	392.7	0
novembre	394.5	147
dicembre	414.4	0
Totale	4369	1180.1

	Consumo elettrico	Consumo termico
Prima degli interventi	40390 kWh	46200 kWh
Dopo gli interventi	14137 kWh	1180 kWh

3 Diagnosi attraverso SEAS di una scuola in zona climatica E (Torino)

3.1 Introduzione

L'edificio oggetto del presente studio si colloca a Torino, in zona climatica E ($2100 < GG \leq 3000$).

L'edificio ospita l'I.T.I.S. Peano e l'I.P.I.A. Zerboni, è sito in corso Venezia n. 29, e risale al secondo dopoguerra.

L'istituto nasce nell'attuale sede nell'anno scolastico 1961/1962 e nel 1966 viene intitolato al matematico piemontese Giuseppe Peano. Nel 1968 è introdotta la specializzazione in Informatica Industriale e nel 1995 il Liceo Scientifico Tecnologico.

Nell'anno scolastico 2015/2016 risultano iscritti 764 studenti.

Sono presenti 88 docenti e 27 componenti del personale ATA.

Il complesso è costituito da due volumi: il primo, leggermente a U, ospita la scuola, mentre il secondo, a pianta rettangolare, la palestra sul cortile interno.

La struttura è stata realizzata negli anni Quaranta del Novecento, ad eccezione della palestra nel cortile interno, costruita in tempi più recenti.

La scuola è composta da quattro piani fuori terra e un piano seminterrato non riscaldato. La palestra è su un unico piano parzialmente interrato.

Dati generali sul fabbricato (caratteristiche geometriche)

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Volume lordo riscaldato	V_l	m^3	47223
Superficie netta di pavimento	A_f	m^2	8935
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	11549
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	1399
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0,24

Gli impianti termici a servizio dell'edificio sono i seguenti: impianto di riscaldamento, presente nell'intero complesso scolastico, e impianto di ventilazione meccanica, presente solamente nei locali palestra esterna e aula magna. Non risulta installato un impianto di raffrescamento; l'impianto di produzione di acqua calda sanitaria è in disuso.

Non essendo stato oggetto di interventi di riqualificazione energetica recenti (ad eccezione della sostituzione parziale degli infissi con nuovi serramenti a più elevate prestazioni energetiche), il caso studio scelto si presta ad interventi di retrofit da proporre, nel rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi, come ristrutturazione importante di I livello volta a trasformare la struttura in un edificio ad energia quasi zero.

Per informazioni di dettaglio sul fabbricato (componenti di involucro opaco e trasparente), sugli impianti, sulla rappresentatività rispetto all'edilizia scolastica nella zona climatica di riferimento, sul contesto esterno dell'edificio in oggetto si faccia riferimento al Report RdS/PAR2015/120 [8].

3.2 Zone termiche

Un aspetto assolutamente dirimente nell'applicazione di SEAS è la zonizzazione dell'edificio, ovvero la suddivisione in zone termiche coerenti dal punto di vista impiantistico, sia relativamente alle proprietà che alla gestione degli impianti termici (temperatura interna di set-point, terminali di emissione, modalità di regolazione, sistema di distribuzione e generazione), della categoria d'uso dei locali (e dunque dei profili d'utenza), delle caratteristiche del fabbricato.

In funzione della destinazione d'uso degli ambienti e quindi della presenza oraria, delle attività svolte e del tipo di apparecchiature elettriche, i locali dell'edificio sono stati raggruppati nelle seguenti categorie:

- Aule;
- Laboratori;
- Uffici;
- Palestre;
- Zone non occupate o di transito.

Dal punto di vista impiantistico, per la suddivisione in zone termiche, è fondamentale considerare la modalità di gestione dell'impianto di riscaldamento. Ricordiamo che l'edificio non è dotato né di impianto per il raffrescamento, né di impianto per la produzione di ACS. L'impianto di ventilazione meccanica è presente solo nella palestra esterna.

L'impianto di riscaldamento consta di due generatori, collegati ad un unico collettore di distribuzione, dal quale si sviluppano sei sottocircuiti diversi. La tipologia di regolazione è di zona + climatica per ogni sottocircuito; dunque ogni sottocircuito è gestito in maniera indipendente in funzione della presenza di occupanti nelle zone servite. Per tale ragione è possibile considerare come criterio di zonizzazione, dal punto di vista impiantistico, la destinazione d'uso degli ambienti, dalla quale dipende la presenza degli occupanti. Inoltre, la temperatura di set-point invernale, che sarà successivamente oggetto di tuning nella validazione della diagnosi SEAS, è fissata identicamente per tutti i locali riscaldati dell'edificio e, conseguentemente, risulta ininfluente ai fini della definizione delle zone termiche.

Dal punto di vista dei terminali di emissione, l'impianto di riscaldamento consta di tre distinte tipologie di terminali: diffusori, radiatori e termoconvettori. Tali differenze impiantistiche non condizionano la suddivisione in zone termiche, in quanto SEAS permette di considerare più tipologie diverse di terminali

emissivi all'interno della singola zona. Inoltre, l'edificio risulta alquanto omogeneo per quanto concerne gli aspetti legati all'involucro.

Per queste ragioni, risulta chiaro come la scelta del criterio di zonizzazione debba ricadere sulla destinazione d'uso dei locali. Tale scelta, infatti, per il caso studio in oggetto, garantisce una corretta ed efficace considerazione delle peculiarità termiche delle zone (legate alle caratteristiche del fabbricato, al sistema impiantistico e alla sua gestione, al profilo di utilizzo dei locali). Inoltre, in tal modo, si evita la definizione di un numero eccessivo di zone, che comporterebbe un superfluo dispendio di tempo e un'ingiustificata complessità nello svolgimento della diagnosi, a fronte di un trascurabile beneficio in termini di accuratezza nella modellazione.

Pertanto, si riportano di seguito i principali attributi delle zone termiche definite.

Zona 1: Palestre

Volume netto della zona	6090 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	677.9 m ²
Numero di occupanti di progetto	135

Zona 2: Aule

Volume netto della zona	8610 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	2237.1 m ²
Numero di occupanti di progetto	1220

Zona 3: Zone non occupate

Volume netto della zona	13934 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	3892.9 m ²
Numero di occupanti di progetto	1

Zona 4: Laboratori

Volume netto della zona	5914 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	2184.9 m ²
Numero di occupanti di progetto	512

Zona 5: Uffici

Volume netto della zona	2980 m ³
Superficie calpestabile dell'area riscaldata	634.5 m ²
Numero di occupanti di progetto	72

A valle della definizione delle zone termiche, si rende necessaria la caratterizzazione delle stesse. Al fine di ottenere una diagnosi accurata, è necessario garantire un grado di dettaglio omogeneo per tutte le zone termiche.

Il primo aspetto che deve essere espletato è quello relativo ai profili di presenza, basati su un modello biorario, distinguendo fra giorni feriali e festivi. Si riportano di seguito i profili di presenza, relativamente alle cinque zone termiche considerate.

Zona 1: Profilo presenze

Definizione zona termica **Profilo presenze** Profilo accensione riscaldamento Profilo chiusure oscuranti Profilo ap

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	46	
10.00-12.00	45	
12.00-14.00	47	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	26	
10.00-12.00	27	
12.00-14.00	0	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 11,5 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 4,417 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	6,73 ▲
Febbraio	7,11
Marzo	7,95
Aprile	7,27
Maggio	7,95
Giugno	4,74
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	4,74
Ottobre	8,86
Novembre	7,58
Dicembre	5,81
Valore medio	5,73 ▼

Zona 2: Profilo presenze

Definizione zona termica **Profilo presenze** Profilo accensione riscaldamento Profilo chiusure oscuranti Profilo aperto

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	624	
10.00-12.00	609	
12.00-14.00	461	
14.00-16.00	8	
16.00-18.00	8	
18.00-20.00	4	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	312	
08.00-10.00	311	
10.00-12.00	82	
12.00-14.00	0	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 142,833 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 58,75 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	84,32
Febbraio	89,11
Marzo	99,65
Aprile	91,09
Maggio	99,65
Giugno	59,4
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	59,4
Ottobre	111,14
Novembre	95,05
Dicembre	72,82
Valore medio	71,8

Zona 3: Profilo presenze

Definizione zona termica Profilo presenze Profilo accensione riscaldamento Profilo chiusure oscuranti Profilo apertu

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	1	
10.00-12.00	1	
12.00-14.00	1	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	0,5	
10.00-12.00	0,5	
12.00-14.00	0,5	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 0,25 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 0,125 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	0,15
Febbraio	0,16
Marzo	0,18
Aprile	0,16
Maggio	0,18
Giugno	0,11
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	0,11
Ottobre	0,2
Novembre	0,17
Dicembre	0,13
Valore medio	0,13

Zona 4: Profilo presenze

Definizione zona termica | **Profilo presenze** | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | Profilo ape

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	153	
10.00-12.00	181	
12.00-14.00	100	
14.00-16.00	26	
16.00-18.00	11	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	0	
08.00-10.00	78	
10.00-12.00	64	
12.00-14.00	20	
14.00-16.00	0	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 39,25 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 13,5 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	22,63
Febbraio	23,92
Marzo	26,75
Aprile	24,45
Maggio	26,75
Giugno	15,95
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	15,95
Ottobre	29,84
Novembre	25,51
Dicembre	19,55
Valore medio	19,27

Zona 5: Profilo presenze

Definizione zona termica | **Profilo presenze** | Profilo accensione riscaldamento | Profilo chiusure oscuranti | Profilo a

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	3	
08.00-10.00	19	
10.00-12.00	22	
12.00-14.00	19	
14.00-16.00	5	
16.00-18.00	3	
18.00-20.00	1	
20.00-22.00	1	
22.00-00.00	1	

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte
00.00-02.00	0	
02.00-04.00	0	
04.00-06.00	0	
06.00-08.00	2	
08.00-10.00	10	
10.00-12.00	15	
12.00-14.00	11	
14.00-16.00	2	
16.00-18.00	0	
18.00-20.00	0	
20.00-22.00	0	
22.00-00.00	0	

Schedule settimanale presenze

Giorni feriali

Numero persone medio 6,167 [-]

Giorni festivi (sabato incluso)

Numero persone medio 3,333 [-]

Presenza media degli utenti

Mese	Persone
Gennaio	3,8
Febbraio	4,02
Marzo	4,49
Aprile	4,11
Maggio	4,49
Giugno	2,68
Luglio	0
Agosto	0
Settembre	2,68
Ottobre	5,01
Novembre	4,29
Dicembre	3,28
Valore medio	3,24

Altro aspetto determinante è quello relativo alla caratterizzazione dei profili di accensione di riscaldamento, che richiede di definire, per ciascuna zona termica, la temperatura di set-point principale, il numero di ore settimanali di riscaldamento a set-point principale, il periodo settimanale (in ore) più corto e più lungo di spegnimento dell'impianto. Vanno inoltre segnalati eventuali lunghi periodi di spegnimento dell'impianto, non compresi nell'intermittenza, nel corso dell'anno; nel caso studio in oggetto tali intervalli sono legati a periodi di festività e conseguente chiusure della struttura scolastica.

Come già accennato, la temperatura di set-point principale sarà inizialmente contrassegnata come dato incerto, e quindi successivamente oggetto di tuning. Tale scelta è motivata dalle caratteristiche del sistema di regolazione che prevede una banda di regolazione proporzionale a 1 °C, ragion per cui la temperatura non si mantiene costante ma presenta delle fluttuazioni temporali.

Per quanto concerne le ore di accensione e spegnimento che caratterizzano il regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento, nonostante la regolazione sia del tipo climatica + zona (e pertanto legata ai profili di utilizzo dei locali), non si è riscontrata una assoluta uniformità nei valori, in quanto sottozone diverse di una stessa zona termica sono servite da differenti circuiti di distribuzione. Pertanto, anche tali parametri saranno oggetto di tuning. In prima battuta si è proceduto considerando un numero di ore calcolato come media pesata sulla potenza totale dei terminali di emissione di ogni singola sottozona e, in seguito al tuning, si è verificato che il valore ottenuto fosse ragionevolmente compreso all'interno degli estremi dei valori delle varie sottozone.

Si riportano di seguito le schede SEAS relative a tali aspetti, per tutte le zone termiche considerate, con i valori ottenuti a valle del procedimento di tuning.

Zona 1: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19,5	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza ▼		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	36	▼	<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	17,5	▼	<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	44	▼	<input type="checkbox"/>
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale	▼	▼
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	6			
Febbraio	4			
Marzo	0			
Aprile	6			
Maggio				
Giugno				
Luglio				
Agosto				
Settembre				
Ottobre	0			
Novembre	1			
Dicembre	9			

Zona 2: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19,5	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	39,75	<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	16,5	<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	42	<input type="checkbox"/>	
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale		
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	6			
Febbraio	4			
Marzo	0			
Aprile	6			
Maggio				
Giugno				
Luglio				
Agosto				
Settembre				
Ottobre	0			
Novembre	1			
Dicembre	9			

Zona 3: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19,5	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	40		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	16		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	42		<input type="checkbox"/>
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale		
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	6			
Febbraio	4			
Marzo	0			
Aprile	6			
Maggio				
Giugno				
Luglio				
Agosto				
Settembre				
Ottobre	0			
Novembre	1			
Dicembre	9			

Zona 4: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19,5	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	37,5	<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	17	<input type="checkbox"/>	
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	42	<input type="checkbox"/>	
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale		
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	6			
Febbraio	4			
Marzo	0			
Aprile	6			
Maggio				
Giugno				
Luglio				
Agosto				
Settembre				
Ottobre	0			
Novembre	1			
Dicembre	9			

Zona 5: Profilo di accensione riscaldamento

Definizione zona termica	Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Temperatura di set point principale		[°C]	19,5	
Regime di funzionamento dell'impianto di riscaldamento		Regime di intermittenza		
Ore settimanali di riscaldamento a set point principale	[h]	40		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più corto di spegnimento	[h]	15		<input type="checkbox"/>
Periodo settimanale più lungo di spegnimento	[h]	42		<input type="checkbox"/>
Accensione dell'impianto di riscaldamento				
Criterio accensione riscaldamento		Accensione reale		
Lunghi periodi di spegnimento impianti termici (riscaldamento e/o ACS), non compresi nell'intermittenza				
Mese	Giorni	Fonte input		
Gennaio	6			
Febbraio	4			
Marzo	0			
Aprile	6			
Maggio				
Giugno				
Luglio				
Agosto				
Settembre				
Ottobre	0			
Novembre	1			
Dicembre	9			

Un'ulteriore analisi necessaria allo svolgimento della diagnosi in SEAS, è la definizione dei profili di chiusura dei sistemi oscuranti per gli infissi. Si riportano di seguito tali profili.

Zona 1: Profilo chiusure oscuranti

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule chiusure oscuranti (0 se la chiusura oscurante è aperta)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
10.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
12.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				

Zona 2: Profilo chiusure oscuranti

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule chiusure oscuranti (0 se la chiusura oscurante è aperta)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
02.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
04.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
06.00-0...	0,25	0,26	0,29	0,23	0,27	0,13	0,04	0,7	0,16	0,3	0,28	0,21																																																				
08.00-1...	0,24	0,25	0,28	0,27	0,32	0,22	0,03	0,7	0,19	0,36	0,27	0,21																																																				
10.00-1...	0,24	0,25	0,28	0,27	0,32	0,22	0,03	0,7	0,19	0,36	0,27	0,21																																																				
12.00-1...	0,35	0,37	0,41	0,36	0,41	0,22	0,04	0,7	0,25	0,46	0,39	0,3																																																				
14.00-1...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
16.00-1...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
18.00-2...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
20.00-2...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
22.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
Valore ...	0,382	0,392	0,417	0,46	0,49	0,413	0,32	0,7	0,406	0,516	0,407	0,355																																																				

Zona 3: Profilo chiusure oscuranti

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule chiusure oscuranti (0 se la chiusura oscurante è aperta)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
10.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
12.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				

Zona 4: Profilo chiusure oscuranti

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule chiusure oscuranti (0 se la chiusura oscurante è aperta)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
02.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
04.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
06.00-0...	0,25	0,26	0,29	0,21	0,27	0,21	0,8	0,8	0,16	0,33	0,33	0																																																				
08.00-1...	0,47	0,47	0,55	0,47	0,52	0,21	0,8	0,8	0,33	0,61	0,52	0																																																				
10.00-1...	0,47	0,47	0,55	0,47	0,52	0,21	0,8	0,8	0,33	0,61	0,52	0																																																				
12.00-1...	0,48	0,52	0,57	0,47	0,52	0,21	0,8	0,8	0,33	0,61	0,52	0																																																				
14.00-1...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
16.00-1...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
18.00-2...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
20.00-2...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
22.00-0...	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7																																																				
Valore ...	0,53	0,54	0,593	0,562	0,592	0,463	0,8	0,8	0,478	0,646	0,565	0,7																																																				

Zona 2: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																
Fonte input <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Dato incerto																
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
08.00-1...	0,09	0,09	0,1	0,24	0,28	0,05	0,05	0	0,17	0,32	0,1	0,07				
10.00-1...	0,09	0,09	0,1	0,24	0,28	0,05	0,05	0	0,17	0,32	0,1	0,07				
12.00-1...	0,05	0,05	0,06	0,14	0,16	0,03	0,03	0	0,09	0,18	0,05	0,04				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Valore ...	0,019	0,019	0,022	0,052	0,06	0,011	0,011	0	0,036	0,068	0,021	0,015				

Zona 3: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze	Profilo accensione riscaldamento	Profilo chiusure oscuranti	Profilo apertura finestre
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																
Fonte input <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Dato incerto																
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
08.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Valore ...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Zona 4: Profilo apertura finestre

Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0,05	0,06	0,06	0,15	0,17	0,12	0	0	0,1	0,19	0,06	0,05																																																				
10.00-1...	0,06	0,07	0,08	0,18	0,21	0,15	0	0	0,13	0,24	0,07	0,06																																																				
12.00-1...	0,04	0,04	0,04	0,1	0,12	0,08	0	0	0,07	0,14	0,04	0,03																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0,012	0,014	0,015	0,036	0,042	0,029	0	0	0,025	0,048	0,014	0,012																																																				

Zona 5: Profilo apertura finestre

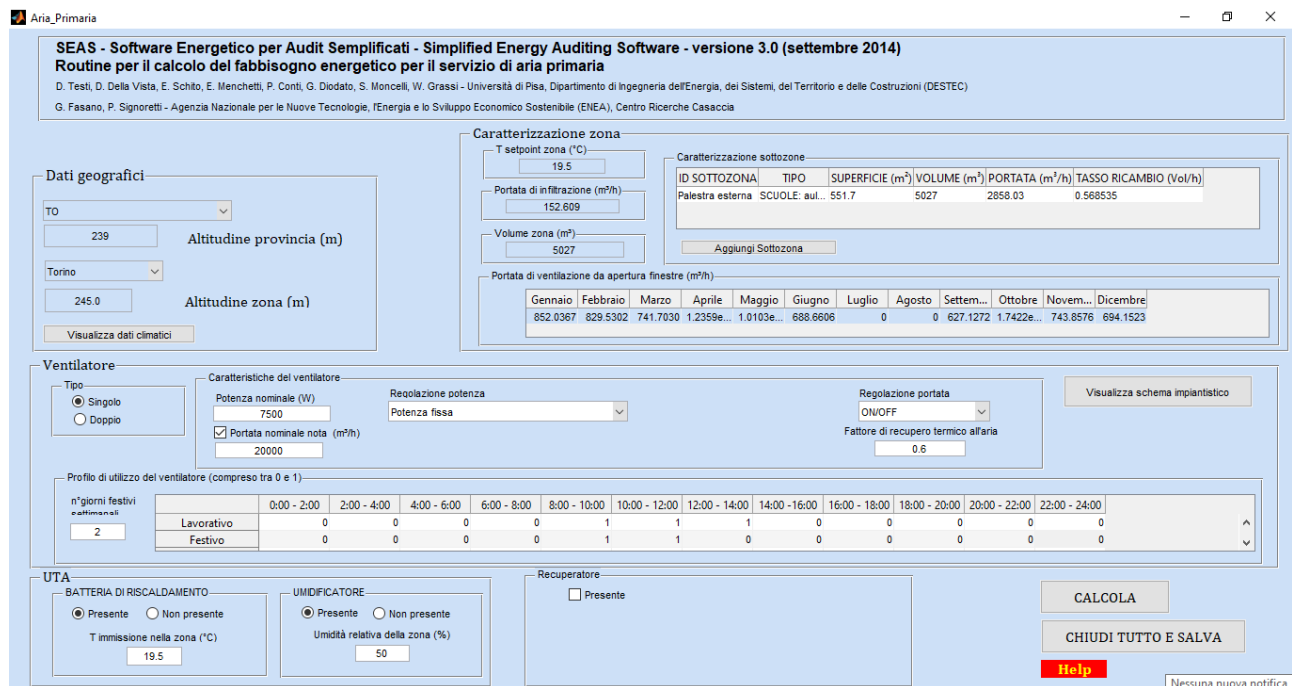
Definizione zona termica													Profilo presenze													Profilo accensione riscaldamento													Profilo chiusure oscuranti													Profilo apertura finestre												
Schedule apertura infissi per ventilazione (1 se gli infissi sono aperti)																																																																
Fonte input <input type="text"/>													<input type="checkbox"/> Dato incerto																																																			
Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre																																																				
00.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
02.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
04.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
06.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
08.00-1...	0,1	0,1	0,12	0,28	0,32	0,66	0,43	0	0,36	0,36	0,11	0,08																																																				
10.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
12.00-1...	0,12	0,13	0,14	0,33	0,39	0,8	0,52	0	0,43	0,44	0,13	0,1																																																				
14.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
16.00-1...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
18.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
20.00-2...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
22.00-0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																				
Valore ...	0,028	0,03	0,033	0,078	0,092	0,188	0,122	0	0,102	0,103	0,031	0,023																																																				

Successivamente si procede con l'inserimento dei dati necessari al calcolo delle dispersioni per trasmissione e degli apporti solari. Tale calcolo richiede l'inserimento di tutte i componenti opachi che costituiscono ciascuna zona, da effettuare mediante la creazione di pareti opache equivalenti (dal punto di vista della superficie totale) per ogni tipologia di componente opaco presente (es. parete adiacente a ambiente esterno, pavimento, copertura, divisorio interno, etc.), esposizione (angolo di inclinazione della superficie

rispetto al piano orizzontale, orientamento rispetto al Sud) e caratteristiche termiche (capacità termica areica, trasmittanza termica, etc.). Analogamente, la scheda “Superfici vetrate” richiede la creazione di tutti i componenti che hanno una parte vetrata o comunque trasparente alla radiazione solare (finestre, portefinestre, lucernari, etc.). Infine, è necessario l’inserimento di tutti i ponti termici presenti nella struttura, lineari e puntuali. Per una descrizione dettagliata ed esaustiva delle caratteristiche dei componenti di involucro del caso studio in esame si rimanda di nuovo al Report RdS/PAR2015/120 [8].

La scheda SEAS successiva riguarda invece il calcolo delle ventilazioni e degli apporti interni. Tale scheda consta di 5 sottoschede: infiltrazioni e ventilazioni, fabbisogno acqua calda sanitaria, carichi termici non gratuiti, illuminazione, altri carichi elettrici. Relativamente ai dati che concernono questa sezione, si fa ancora riferimento al Report RdS/PAR2015/120 [8].

Segnaliamo l’assenza di un impianto per la produzione di acqua calda sanitaria e la presenza di un’unità di trattamento aria, per quanto riguarda la zona termica 1 (Palestre), volta a servire esclusivamente la palestra esterna. Il calcolo del fabbisogno energetico legato alla UTA viene effettuata per mezzo di una routine esterna, le cui schermate sono illustrate nelle figure seguenti.



SchedaSottozona

ID sottozona: Palestra esterna

Chiudi e salva

Caratterizzazione sottozona

Superficie netta (m²): 551.7 | Volume netto (m³): 5027 | Tipo di sottozona: SCUOLE: aule scuole medie superiori | T di setpoint zona (°C): 19.5

Produzione di calore sensibile e latente, per persona, secondo VDI 2078

Tipo di attività: Leggera Moderata Pesante

Carichi

Totale, per persona (W)	190
Sensibile, per persona (W)	117.5000
Latente, per persona (W)	72.5000
Latente, per persona (g/h)	106.2500

Determinazione persone sottozona

È noto il numero delle persone di progetto della sottozona? Valore noto

n° persone di progetto: 110

Portata di aria esterna secondo UNI10339

Portata di aria esterna di progetto (Vs per persona): 7 | 245.0 | 0.568535 | 2858.03

Altitudine di riferimento (m): 0.568535

Tasso di ricambio aria di progetto (Vol/h): 2858.03

Portata di progetto (m³/h): 2858.03

Modalità di controllo della portata:

Nessuna Presenza persone

Umidità (%) 100 CO₂

Profilo di occupazione (numero di persone)

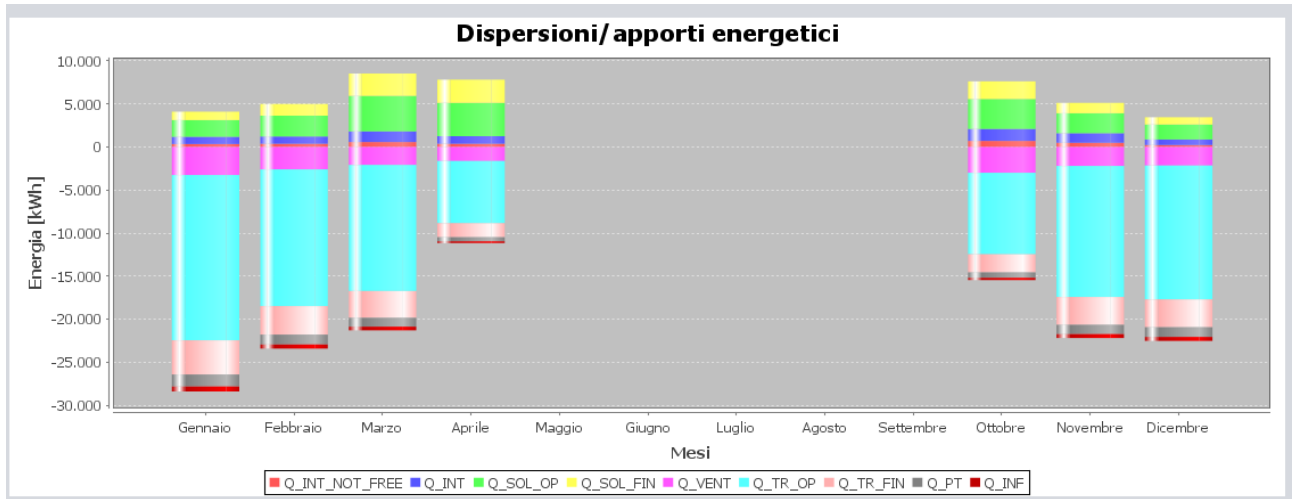
	0:00 - 2:00	2:00 - 4:00	4:00 - 6:00	6:00 - 8:00	8:00 - 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00	18:00 - 20:00	20:00 - 22:00	22:00 - 24:00
Lavorativo	0	0	0	0	23	20	24	0	0	0	0	0
Festivo	0	0	0	0	14	15	0	0	0	0	0	0

A questo punto è possibile valutare i risultati relativi al fabbisogno energetico totale per ciascuna zona termica definita, suddiviso per mese dell'anno e per tipologia di carico/apporto/perdita. Le figure seguenti mostrano appunto i risultati ottenuti, per ciascuna zona, relativamente all'anno climatico standard.

Zona 1: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]

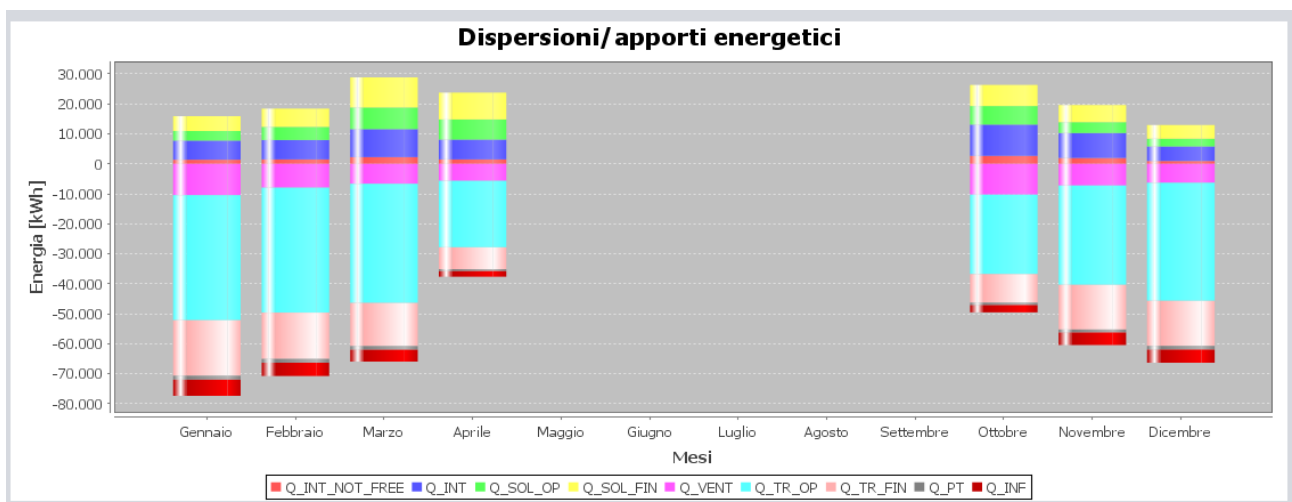
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	352,12	842,51	1.934,64	979,96	-3.260,11	-19.186,03	-3.972,03	-1.392,73	-583,92	-15.584,88
Febbraio	377,13	854,77	2.404,6	1.363,24	-2.601,07	-15.874,54	-3.313,46	-1.141,33	-478,52	-8.742,78
Marzo	588,55	1.234,66	4.116,51	2.606,06	-2.084,3	-14.632,63	-3.125,81	-1.022,87	-428,85	-2.927,62
Aprile	388,95	873,76	3.864,12	2.702,02	-1.621,05	-7.233,63	-1.614,6	-477,41	-200,16	-1.110,45
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	719,11	1.377,13	3.487,03	2.044,15	-2.994,7	-9.461,03	-2.108,82	-625,68	-262,33	-1.939,36
Novembre	507,13	1.101,7	2.314,63	1.215,62	-2.197,09	-15.227,16	-3.226,77	-1.075,11	-450,75	-7.466,74
Dicembre	240,79	640,31	1.743,58	839,16	-2.141,81	-15.551,25	-3.233,94	-1.123,1	-470,87	-11.980,84
Totale	3.173,77	6.924,84	19.865,11	11.750,22	-16.900,13	-97.166,27	-20.595,43	-6.858,23	-2.875,41	-49.752,66



Zona 2: Fabbisogno energetico totale

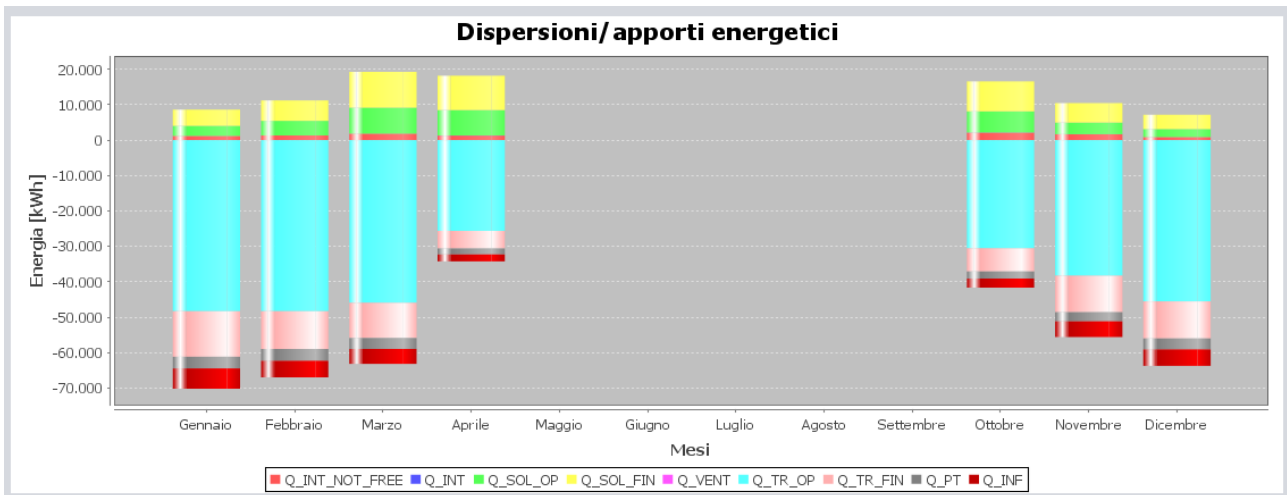
Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]

Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	1.392,55	6.374,32	3.214,93	4.925,71	-10.442,35	-41.718,15	-18.508,59	-1.308,03	-5.404,88	-40.238,24
Febbraio	1.508,72	6.467,04	4.355,36	6.092,07	-7.926,14	-41.715,24	-15.383,23	-1.310,65	-4.429,28	-29.776,31
Marzo	2.231,89	9.341,28	7.218,52	10.076,89	-6.650,66	-39.739,1	-14.359	-1.226,61	-3.969,56	-10.697,9
Aprile	1.512,03	6.610,75	6.699,92	8.922,65	-5.640,38	-22.192,1	-7.292,8	-667,1	-1.852,74	-4.233,72
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	2.670,74	10.419,12	6.198,82	7.020,04	-10.264,7	-26.510,88	-9.509,82	-790,71	-2.428,15	-6.345,36
Novembre	1.954,63	8.335,3	3.622,95	5.691,83	-7.210,27	-33.147,03	-14.876,16	-1.014,71	-4.172,27	-19.102,09
Dicembre	980,4	4.844,49	2.543,36	4.608,89	-6.322,91	-39.329,59	-15.059,38	-1.237,4	-4.358,51	-36.350,14
Totale	12.250,96	52.392,3	33.853,87	47.338,08	-54.457,4	-244.352,09	-94.988,99	-7.555,21	-26.615,4	-146.743,76



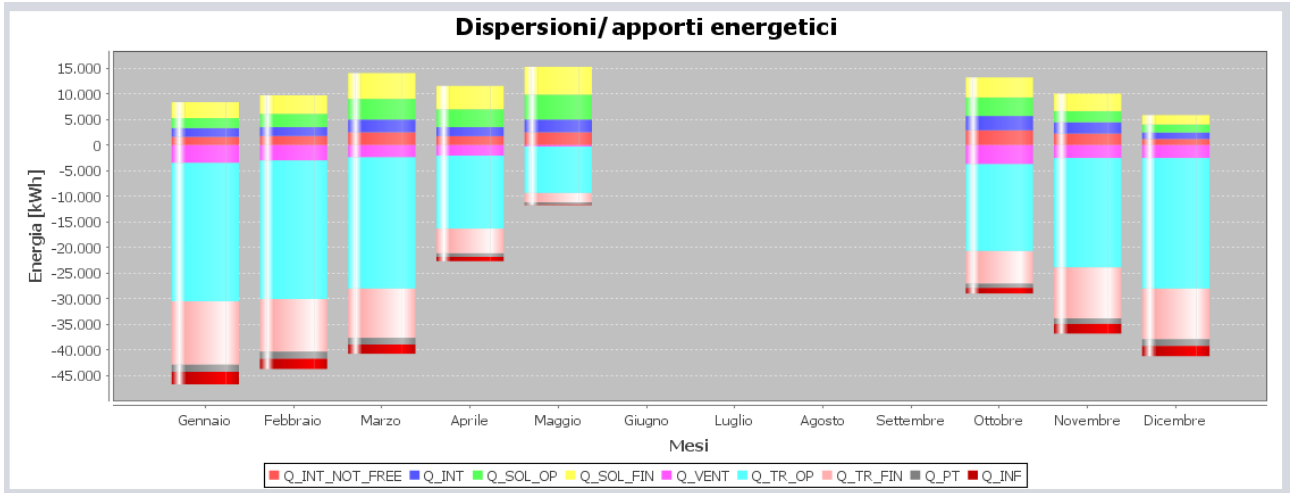
Zona 3: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	1.206,06	15,27	2.852,06	4.536,24	0	-48.307,02	-12.869,22	-3.285,44	-5.755,16	-54.805,54
Febbraio	1.314,08	15,5	4.117,12	5.795,93	0	-48.312,39	-10.679,56	-3.292,01	-4.716,34	-47.342,76
Marzo	1.845,11	22,38	7.314,92	10.122,39	0	-45.952,82	-9.927,71	-3.080,92	-4.226,82	-31.951,85
Aprile	1.297,14	15,84	7.206,51	9.704,22	0	-25.604,32	-4.988,87	-1.675,58	-1.972,81	-8.843,11
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	2.134,31	24,97	5.999,53	8.442,61	0	-30.567,07	-6.521,79	-1.986,05	-2.585,52	-16.313,32
Novembre	1.653,4	19,97	3.298,08	5.491,79	0	-38.302,78	-10.300,79	-2.548,68	-4.442,66	-37.498,27
Dicembre	894,42	11,61	2.211,88	4.048,04	0	-45.554,96	-10.448,27	-3.108,03	-4.640,98	-50.858,4
Totale	10.344,52	125,54	33.000,1	48.141,21	0	-282.601,36	-65.736,21	-18.976,72	-28.340,29	-247.613,26



Zona 4: Fabbisogno energetico totale

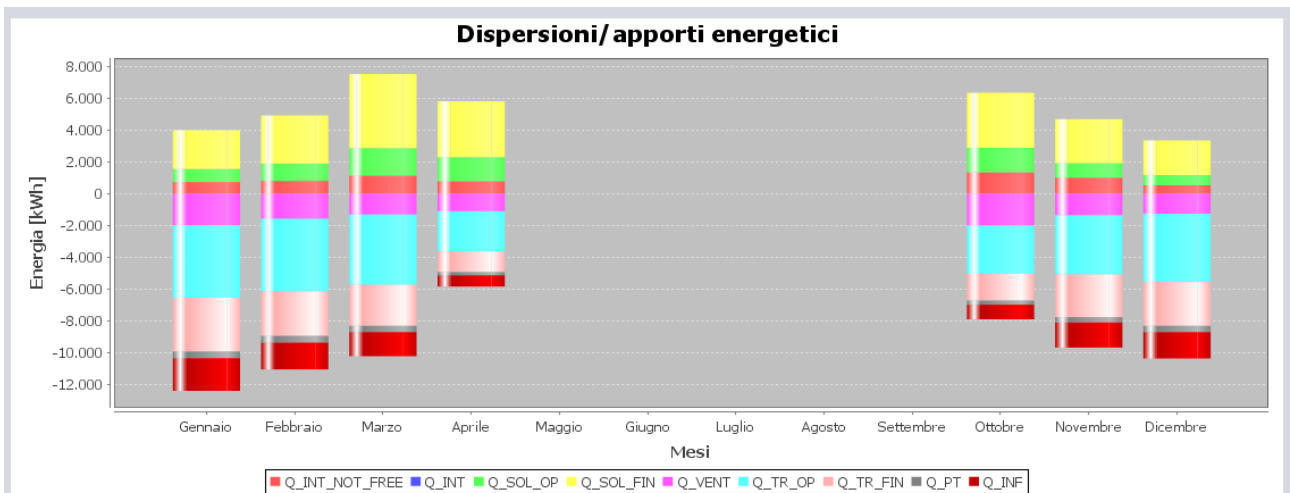
Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]										
Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	1.625,73	1.711,1	1.954,06	3.113,04	-3.466,69	-27.022,12	-12.389,91	-1.373,86	-2.458,03	-29.457,68
Febbraio	1.788,32	1.735,99	2.585,64	3.620,6	-2.995,74	-27.033,96	-10.292,73	-1.376,61	-2.014,35	-24.264,15
Marzo	2.504,16	2.507,54	4.034,09	5.010,85	-2.373,74	-25.641,99	-9.610,77	-1.288,34	-1.805,27	-15.101,03
Aprile	1.759,12	1.774,57	3.482,84	4.556,78	-2.054,02	-14.228,89	-4.832,55	-700,67	-842,59	-3.698,08
Maggio	2.504,16	2.507,54	4.854,82	5.427,49	-266,48	-9.094,89	-1.784,25	-415,25	-116,93	-486,39
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	2.901,28	2.796,88	3.618,53	3.918,81	-3.715,82	-16.966,45	-6.350,34	-830,5	-1.104,27	-5.850,38
Novembre	2.246,07	2.237,5	2.173,04	3.403,95	-2.516,42	-21.345,67	-9.961,45	-1.065,77	-1.897,46	-17.456,33
Dicembre	1.192,71	1.300,44	1.552,53	1.821,62	-2.517,7	-25.496,56	-9.892,76	-1.299,67	-1.982,16	-28.917,83
Totale	16.521,56	16.571,57	24.255,57	30.873,14	-19.906,6	-166.830,52	-65.114,76	-8.350,66	-12.221,05	-125.231,87



Zona 5: Fabbisogno energetico totale

Fabbisogno energetico totale della zona [kWh]

Mese	Carichi interni non gratuiti	Carichi interni persone	Apporti solari pareti opache	Apporti solari finestre	Perdite di ventilazione (naturale+meccanica)	Perdite di trasmissione pareti opache	Perdite di trasmissione finestre	Perdite ponti termici	Perdite per infiltrazioni	Fabbisogno netto di riscaldamento
Gennaio	720,84	0	926,51	2.439,9	-1.981,04	-5.378,13	-3.373,91	-418,83	-2.053,66	-7.609
Febbraio	787,52	0	1.113,04	3.022,66	-1.589,23	-4.467,22	-2.794,44	-419,67	-1.682,97	-4.612,62
Marzo	1.130,77	0	1.801,42	4.654,28	-1.320,02	-4.163,7	-2.582,05	-392,76	-1.508,29	-1.733,34
Aprile	775,56	0	1.584,58	3.511,37	-1.114,57	-2.102,83	-1.293,4	-213,6	-703,97	-201,01
Maggio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giugno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ottobre	1.339,04	0	1.588,71	3.452,65	-2.013,27	-2.748,34	-1.684,29	-253,18	-922,61	-908,61
Novembre	998,81	0	1.098,24	2.759,97	-1.374,47	-4.316,05	-2.686,96	-324,91	-1.585,31	-4.116,18
Dicembre	512,67	0	846,77	2.175,74	-1.264,41	-4.368,35	-2.751,14	-396,21	-1.656,08	-5.694,9
Totale	6.265,2	0	8.959,27	22.016,58	-10.657	-27.544,61	-17.166,19	-2.419,16	-10.112,88	-24.875,67



3.3 Fatturazioni energetiche e dati climatici: destagionalizzazione dei consumi

Per effettuare il tuning del modello sviluppato per la diagnosi energetica dell'edificio in esame, è necessario procedere con la valutazione d'esercizio, basata su consumi energetici realmente misurati.

Nel caso in esame, la valutazione d'esercizio è stata svolta sulla base del consumo di gas naturale, in termini di energia erogata annualmente per il riscaldamento del complesso scolastico, in tre distinte stagioni di riscaldamento: 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015. Non è stato tuttavia possibile reperire informazioni relativamente ai consumi elettrici.

La valutazione di esercizio si traduce pertanto nel considerare congiuntamente le fatturazioni energetiche e i dati climatici delle relative stagioni, al fine di destagionalizzare i consumi effettivi. Infine, l'anno climatico standard verrà utilizzato per valutare i consumi energetici "standard" dell'edificio.

Si riportano di seguito i dati climatici relativi alle stagioni di cui si hanno a disposizione le fatturazioni energetiche di gas naturale.

Dati climatici 2012/2013

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	3,1	5,6	2,01	2,29	4,3
Febbraio	2	6,8	3,39	3,41	6,8
Marzo	7,4	7,7	5,03	4,87	9,9
Aprile	11,3	8,3	5,95	6,35	12,3
Maggio	15,6	8,8	10,78	7,72	18,5
Giugno	21	9,2	12,98	8,12	21,1
Luglio	24,8	9,4	13,79	7,71	21,5
Agosto	23,4	8,9	13,83	6,47	20,3
Settembre	18,8	8,3	6,21	5,49	11,7
Ottobre	11,7	6,9	3,95	3,85	7,8
Novembre	8,6	5,5	1,87	2,43	4,3
Dicembre	2	5,1	1,4	1,9	3,3

Andamento Temperatura Esterna Zona A (nord)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-...	1,73	0,3	5,13	8,69	12,39	17,6	21,42	20,37	16,35	9,87	7,17	0,78
02.00-...	1,45	-0,21	4,63	7,98	11,64	16,72	20,57	19,62	15,81	9,39	6,87	0,24
04.00-...	1,2	-0,58	4,28	7,52	11,42	16,58	20,29	19,31	15,31	9,01	6,59	0,27
06.00-...	1,08	-0,69	4,28	7,9	12,52	18,1	21,51	19,75	15,4	8,94	6,54	0,24
08.00-...	1,84	0,61	6,32	10,76	15,64	21,23	24,8	22,82	18,05	10,8	7,75	0,98
10.00-...	3,66	2,92	9,21	14,04	18,77	24,17	28	26,43	21,5	13,6	9,78	2,59
12.00-...	5,9	5,2	11,13	15,41	19,82	25,28	29,17	27,72	23,07	15,25	11,52	4,6
14.00-...	6,46	5,91	11,6	15,57	19,91	25,42	29,36	27,89	23,12	15,46	11,79	5,01
16.00-...	5,54	4,99	10,63	14,58	19,08	24,54	28,51	27,14	21,87	14,32	10,8	4,07
18.00-...	3,66	2,95	8,63	12,71	17,36	22,89	26,82	25,31	19,88	12,36	8,96	2,38
20.00-...	2,6	1,66	7,05	10,93	15,2	20,72	24,61	23,18	18,26	11,08	7,97	1,49
22.00-...	2,09	0,95	5,94	9,52	13,49	18,75	22,54	21,35	17,02	10,29	7,47	1,08

Dati climatici 2013/2014

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m ²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m ²]	Irraggiamento globale [MJ/m ²]
Gennaio	4,5	5,6	1,34	2,06	3,4
Febbraio	6,1	6,8	2,88	3,32	6,2
Marzo	11	7,7	7,96	4,84	12,8
Aprile	15,3	8,3	8,66	6,54	15,2
Maggio	16,8	8,8	11,1	7,7	18,8
Giugno	21,7	9,2	12	8,2	20,2
Luglio	21,8	9,4	10,11	7,99	18,1
Agosto	21,4	8,9	9,51	6,99	16,5
Settembre	19,1	8,3	8,23	5,47	13,7
Ottobre	13,9	6,9	2,36	3,44	5,8
Novembre	7,2	5,5	1,58	2,32	3,9
Dicembre	2,9	5,1	1,19	1,81	3

Andamento Temperatura Esterna Zona A (nord)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-...	3,13	4,4	8,73	12,69	13,59	18,3	18,42	18,37	16,65	12,07	5,77	1,68
02.00-...	2,85	3,89	8,23	11,98	12,84	17,42	17,57	17,62	16,11	11,59	5,47	1,14
04.00-...	2,6	3,52	7,88	11,52	12,62	17,28	17,29	17,31	15,61	11,21	5,19	1,17
06.00-...	2,48	3,41	7,88	11,9	13,72	18,8	18,51	17,75	15,7	11,14	5,14	1,14
08.00-...	3,24	4,71	9,92	14,76	16,84	21,93	21,8	20,82	18,35	13	6,35	1,88
10.00-...	5,06	7,02	12,81	18,04	19,97	24,87	25	24,43	21,8	15,8	8,38	3,49
12.00-...	7,3	9,3	14,73	19,41	21,02	25,98	26,17	25,72	23,37	17,45	10,12	5,5
14.00-...	7,86	10,01	15,2	19,57	21,11	26,12	26,36	25,89	23,42	17,66	10,39	5,91
16.00-...	6,94	9,09	14,23	18,58	20,28	25,24	25,51	25,14	22,17	16,52	9,4	4,97
18.00-...	5,06	7,05	12,23	16,71	18,56	23,59	23,82	23,31	20,18	14,56	7,56	3,28
20.00-...	4	5,76	10,65	14,93	16,4	21,42	21,61	21,18	18,56	13,28	6,57	2,39
22.00-...	3,49	5,05	9,54	13,52	14,69	19,45	19,54	19,35	17,32	12,49	6,07	1,98

Dati climatici 2014/2015

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	3,9	5,6	2,18	2,32	4,5
Febbraio	4,1	6,8	3,05	3,35	6,4
Marzo	9,9	7,7	7,08	4,92	12
Aprile	15,2	8,3	11,86	6,24	18,1
Maggio	18,5	8,8	10,89	7,71	18,6
Giugno	22,6	9,2	13,09	8,11	21,2
Luglio	27,9	9,4	14,73	7,57	22,3
Agosto	23,5	8,9	11,57	6,83	18,4
Settembre	18,7	8,3	7,6	5,5	13,1
Ottobre	13,4	6,9	3,52	3,78	7,3
Novembre	9,5	5,5	1,02	1,98	3
Dicembre	6,3	5,1	1,06	1,74	2,8

Andamento Temperatura Esterna Zona A (nord)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-...	2,53	2,4	7,63	12,59	15,29	19,2	24,52	20,47	16,25	11,57	8,07	5,08
02.00-...	2,25	1,89	7,13	11,88	14,54	18,32	23,67	19,72	15,71	11,09	7,77	4,54
04.00-...	2	1,52	6,78	11,42	14,32	18,18	23,39	19,41	15,21	10,71	7,49	4,57
06.00-...	1,88	1,41	6,78	11,8	15,42	19,7	24,61	19,85	15,3	10,64	7,44	4,54
08.00-...	2,64	2,71	8,82	14,66	18,54	22,83	27,9	22,92	17,95	12,5	8,65	5,28
10.00-...	4,46	5,02	11,71	17,94	21,67	25,77	31,1	26,53	21,4	15,3	10,68	6,89
12.00-...	6,7	7,3	13,63	19,31	22,72	26,88	32,27	27,82	22,97	16,95	12,41	8,9
14.00-...	7,26	8,01	14,1	19,47	22,81	27,02	32,46	27,99	23,02	17,16	12,69	9,31
16.00-...	6,34	7,09	13,13	18,48	21,98	26,14	31,61	27,24	21,77	16,02	11,7	8,37
18.00-...	4,46	5,05	11,13	16,61	20,26	24,49	29,92	25,41	19,78	14,06	9,86	6,68
20.00-...	3,4	3,76	9,55	14,83	18,1	22,32	27,71	23,28	18,16	12,78	8,87	5,79
22.00-...	2,89	3,05	8,44	13,42	16,39	20,35	25,64	21,45	16,92	11,99	8,37	5,38

Come già spiegato, il tuning del modello di edificio sviluppato in SEAS è stato svolto sulla base dei valori relativi alla temperatura di set-point principale, al numero di ore settimanali di riscaldamento a set-point principale, ai periodi settimanali più corti e più lunghi di spegnimento dell'impianto.

La tabella seguente mostra i risultati ottenuti, con i relativi errori percentuali rispetto ai consumi energetici realmente misurati.

Stagione	Consumo stimato energia elettrica	Consumo stimato energia termica	Consumo reale energia termica	Errore percentuale stima consumi termici
2013/2014	73650 kWh	775553 kWh	824700 kWh	-6.3 %
2014/2015	73650 kWh	745448 kWh	688400 kWh	+7.6 %
2015/2016	73650 kWh	666452 kWh	652400 kWh	+2.1 %

Si osservi come, nonostante il contenuto numero di zone termiche definite, il modello di edificio sviluppato, opportunamente calibrato, sia in grado di stimare efficacemente e con sufficiente accuratezza i consumi energetici complessivi.

3.4 Consumi energetici standard

A questo punto è possibile stimare i consumi energetici dell'edificio, relativamente all'anno climatico standard, i cui dati sono di seguito riportati. Viene inoltre mostrata la procedura seguita al fine di caratterizzare i sistemi impiantistici a servizio dell'edificio.

Dati climatici standard

Mese	Temperatura esterna [°C]	Escursione termica giornaliera [K]	Irraggiamento diretto su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento diffuso su piano orizzontale [MJ/m²]	Irraggiamento globale [MJ/m²]
Gennaio	0,37	5,6	2,54	2,5	5,04
Febbraio	3,17	6,8	4,32	3,5	7,82
Marzo	8,17	7,7	7,14	5,02	12,16
Aprile	12,67	8,3	10,24	6,62	16,86
Maggio	16,67	8,8	11,5	7,9	19,4
Giugno	21,07	9,2	13	8,32	21,32
Luglio	23,27	9,4	15,66	7,64	23,3
Agosto	22,57	8,9	11,34	7,02	18,36
Settembre	18,77	8,3	7,82	5,6	13,42
Ottobre	12,57	6,9	5,26	4	9,26
Novembre	6,77	5,5	2,82	2,7	5,52
Dicembre	1,97	5,1	2,62	2,1	4,72

Andamento Temperatura Esterna Zona A (nord)

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
00.00-...	-1	1,47	5,9	10,05	13,46	17,66	19,88	19,54	16,32	10,74	5,34	0,74
02.00-...	-1,28	0,96	5,4	9,35	12,71	16,79	19,04	18,79	15,78	10,26	5,04	0,21
04.00-...	-1,54	0,58	5,05	8,89	12,49	16,65	18,76	18,47	15,28	9,88	4,76	0,23
06.00-...	-1,65	0,48	5,05	9,27	13,59	18,17	19,98	18,92	15,37	9,81	4,71	0,21
08.00-...	-0,89	1,77	7,09	12,13	16,71	21,3	23,27	21,99	18,02	11,67	5,92	0,95
10.00-...	0,93	4,09	9,98	15,41	19,84	24,24	26,46	25,59	21,47	14,47	7,95	2,56
12.00-...	3,17	6,36	11,9	16,78	20,89	25,35	27,64	26,89	23,04	16,12	9,68	4,57
14.00-...	3,73	7,08	12,37	16,94	20,98	25,48	27,83	27,06	23,08	16,33	9,96	4,98
16.00-...	2,8	6,16	11,4	15,95	20,14	24,61	26,98	26,31	21,84	15,19	8,97	4,03
18.00-...	0,93	4,12	9,4	14,08	18,43	22,95	25,29	24,48	19,85	13,22	7,13	2,35
20.00-...	-0,14	2,83	7,82	12,3	16,27	20,79	23,08	22,35	18,23	11,95	6,14	1,46
22.00-...	-0,64	2,11	6,71	10,88	14,56	18,81	21,01	20,52	16,98	11,15	5,64	1,05

Avendo effettuato una diagnosi con approccio multi-zona e essendo presente un unico impianto centralizzato a servizio di tutte le zone simulate, si rende necessario calcolare i valori millesimali di energia consumata da attribuire a ciascuna zona, per ogni tipologia di servizio. Per il calcolo dei millesimi si è proceduto utilizzando i risultati parziali dell'audit. In altri termini, i millesimi per ciascuna tipologia di consumo da attribuire a ciascuna zona sono stati valutati come rapporto fra i consumi calcolati per la zona stessa e il valore dei consumi totali, fatto uguale a 1000. La figura seguente mostra tali valori millesimali relativamente alla zona termica 1 (Palestre). Si noti che i millesimi per il Servizio Aria Primaria sono pari a mille, essendo questa l'unica zona servita da tale unità.

E' presente un generatore combinato ACS+RISC? ▼

E' presente un generatore esclusivamente dedicato all'Aria Primaria? ▼

Temperatura media acqua nelle batterie della UTA [°C] (50)

Millesimi

Servizio ACS	<input type="text" value="0"/>
Servizio Riscaldamento	<input type="text" value="80"/>
Servizio Elettrico	<input type="text" value="68"/>
Servizio Cottura	<input type="text" value="0"/>
Servizio Aria Primaria	<input type="text" value="1000"/>

Carichi elettrici esterni alla zona [kWh/anno]

Successivamente è necessario inserire i dati relativi alle potenze dei terminali di emissione installati nella zona e della temperatura dell'acqua nei terminali, come mostrato nella figura seguente.

Emissione

Potenza installata nella zona		Temperatura media acqua nei terminali	
Radiatori	[kW] <input type="text" value="6075"/>	[°C] <input type="text" value="70"/>	(70)
Termoconvettori	[kW] <input type="text" value="0"/>	[°C] <input type="text" value="70"/>	(70)
Aerotermi e Ventilconvettori	[kW] <input type="text" value="201998"/>	[°C] <input type="text" value="50"/>	(50)
Pannelli Radianti	[kW] <input type="text" value="0"/>	[°C] <input type="text" value="32,5"/>	(32,5)

Tipo inserimento

Rendimento di emissione

Mese	%
Gennaio	95,6
Febbraio	95,6
Marzo	95,6
Aprile	95,6
Maggio	95,6
Giugno	95,6
Luglio	95,6
Agosto	95,6
Settembre	95,6
Ottobre	95,6
Novembre	95,6
Dicembre	95,6

Un ulteriore passaggio è rappresentato dalla descrizione del sistema di regolazione per l'impianto di riscaldamento.

Regolazione

Tipo di regolazione	Zona + climatica
Tipo di terminali	Radiatori, convettori
Caratteristiche della regolazione	P banda prop. 1 °C

Mese	Rendimento di regolazione
Gennaio	97
Febbraio	97
Marzo	97
Aprile	97
Maggio	97
Giugno	97
Luglio	97
Agosto	97
Settembre	97
Ottobre	97
Novembre	97
Dicembre	97

Si procede quindi con il completamento della scheda relativa al sottosistema di distribuzione, suddivisa in tre sezioni principali. La prima sezione riguarda il calcolo analitico delle perdite di tale sottosistema, dove è necessario specificare i tratti di tubazione che presentano caratteristiche simili in termini di isolamento, e conseguentemente le relative informazioni riguardanti la lunghezza, il diametro, l'isolamento e il posizionamento delle tubazioni. La scheda "Ausiliari" è invece dedicata alla valutazione dei consumi di energia elettrica per gli ausiliari di circolazione. La figura seguente mostra gli output relativi a tale sezione, con i rendimenti mensili del sottosistema di distribuzione.

Distribuzione

o		
Calcolo Analitico		
Ausiliari		
Output		
Rendimento di distribuzione		
Mese		%
Gennaio		99,71
Febbraio		99,49
Marzo		98,26
Aprile		96,78
Maggio		0
Giugno		0
Luglio		0
Agosto		0
Settembre		0
Ottobre		97,64
Novembre		99,37
Dicembre		99,66

Non essendo presenti né accumuli, né sistemi impiantistici per la produzione di acqua calda sanitaria, né impianti per il solare termico, l'ultimo passaggio consiste nella definizione del sistema di generazione. Nel caso in esame, si tratta di una caldaia le cui caratteristiche principali sono illustrate nella figura seguente.

Generazione

Tipologia di generazione	Caldaia	Pompa di calore a compressione
Potenza nominale a pieno carico [kW]	1860	
Rendimento a pieno carico [%]	90	
Potenza elettrica ausiliari a pieno carico [W _{el}]	100	
Tipo di generatore	Modulante ▼	
Fattore di carico parziale in modulazione [0-1]	0,5	
Rendimento a carico parziale [%]	90	
Potenza elettrica a carico parziale [W _{el}]	100	

A questo punto la diagnosi SEAS è completa e il risultato principale ottenuto sono i consumi elettrico e termico dell'edificio in esame, relativamente all'anno climatico standard, mostrati nella tabella seguente.

Consumo elettrico	Consumo termico
73650 kWh	779561 kWh

3.5 Interventi di riqualificazione

Gli interventi di riqualificazione simulati rappresentano misure di efficienza energetica concernenti sia l'involucro edilizio che gli impianti tecnici. Il pacchetto di soluzioni di efficientamento esaminato, conforme al D.M. 26 giugno 2015 Requisiti Minimi, prevede, oltre a misure riguardanti l'involucro e gli impianti relativi al riscaldamento degli ambienti, l'installazione di pannelli solari fotovoltaici per la produzione di energia da fonti rinnovabili, l'installazione di un recuperatore di calore ad alta efficienza all'interno del

sistema di ventilazione meccanica controllata e l'installazione di un sotto-sistema di regolazione avanzato per il controllo della temperatura ambiente durante il periodo di riscaldamento.

No.	Misure di efficienza energetica	Parametri	Unità di misura
1	Isolamento termico di pareti verso l'esterno	U_p	$[W/m^2K]$
2	Isolamento termico della copertura o dell'ultimo solaio verso locale non riscaldato	U_r	$[W/m^2K]$
3	Isolamento termico del primo solaio o del solaio contro terra	U_f	$[W/m^2K]$
4	Sostituzione delle finestre	U_w	$[W/m^2K]$
5	Generatore di calore per riscaldamento	$\eta_{gn,Pn,H}$ o COP	[-]
6	Pannelli fotovoltaici	W_p	[kW]
7	Sistema di ventilazione con recupero di calore	η_{ve}	[-]
8	Sistema avanzato di regolazione del riscaldamento	η_{ctr}	[-]

Per ognuna delle misure di efficienza energetica riportate nella tabella precedente, sono di seguito elencate e caratterizzate le relative tecnologie considerate per la realizzazione delle misure stesse e i costi associati.

No.	Misura di Efficienza Energetica	Tecnologia considerate	Parametro	Valore
1	Isolamento involucro opaco verticale	0,16 m lana di roccia	U_p [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0,20 74,85 4420 330856
2	Isolamento del tetto/ultimo solaio	0,16 m lana di roccia	U_r [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0,20 44,01 4717 2075778
3	Isolamento del pavimento/primo solaio	0,10 m lana di roccia	U_f [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	0,20 33,01 1140 37641
4	Isolamento involucro trasparente	triplo vetro low-e 4-12-4-12-5 aria PVC	U_w [W/m ² K] $C/A_{f,n}$ [€/m ²] $A_{f,n}$ [m ²] C [€]	1,16 150,50 1451 180262

No.	Misura di Efficienza Energetica	Tecnologia considerate	Parametro	Valore
5	Generatore per riscaldamento	pompa di calore aria-acqua	COP [-]	4,3
			W_{termici} [kW]	480
			C [€]	110000
6	Pannelli fotovoltaici	pannelli in silicio monocristallino	W_p [kW]	80
			C [€]	151140
7	Recuperatore di calore	UTA	η_{ve} [-]	0,9
			C [€]	35511
8	Controllo della temperatura ambiente	Controllo della temperatura climatica ambiente (Valvole termostatiche)	η_{ctr} [-]	0,995
			C [€]	43726

Il costo totale ad affrontare per l'insieme delle misure di efficienza energetica è pari a 1 096 714 €.

Per le soluzioni relative all'isolamento degli involucri, si è proceduto modificando opportunamente i valori delle trasmittanze termiche precedentemente inserite, come mostrato nelle figure seguenti.

Pareti Opache		Superfici Vetrare		Ponti Termici Strutture Opache	
Sigla del componente	Pareti1				
Descrizione					
Area netta del componente [m ²]	205,75				
Ambiente adiacente	Ambiente esterno				
Capacità termica areica [kJ/m ² K]	55,4				
Trasmittanza termica [W/m ² K]	0,2				
Angolo di inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale [°]	90				
Orientamento rispetto al Sud (>0 verso Ovest [-180°, 180°]) [°]	-150				
Fattore di assorbimento solare	0,6				

Pareti Opache	Superfici Vetrate	Ponti Termici Strutture Opache
Numero serramenti identici		2
Angolo di inclinazione della superficie rispetto al piano orizzontale [°]		0
Orientamento rispetto al Sud (>0 verso Ovest [-180°, 180°]) [°]		-150
Area totale del singolo serramento [m²]		4
Area vetrata del serramento [m²]		2,36
Area apribile del serramento [m²]		1,06
Altezza dell'area apribile del serramento [m]		1
Classe di permeabilità del serramento (1 se non nota)		4
Tipologia di vetro		Triplo vetro normale
Chiusure oscuranti presenti?		Sì
La trasmittanza del serramento con chiusura oscurante è nota?	Sì	
Trasmittanza intero serramento (con chiusura oscurante) [W/m²K]	2,82	<input type="checkbox"/>
La trasmittanza dell'intera finestra è nota?	Sì	
Trasmittanza termica dell'intera finestra [W/m²K]	1,4	<input type="checkbox"/>

La pompa di calore aria-acqua è stata dimensionata in modo da coprire la potenza di picco del fabbisogno di riscaldamento invernale. Ciò è stato effettuato mediante la scheda "Generazione RISC" di SEAS, controllando il fattore di carico in output per ogni mese dell'anno.

Per il calcolo della producibilità da fotovoltaico, invece, è a disposizione la routine esterna dedicata, le cui schermate sono mostrate nelle figure seguenti.

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Modulo per il calcolo della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico

W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Dati geografici

TO **Latitudine del Comune**

	Irr. orizz. totale medio giornaliero (MJ/m ²)	Irr. orizz. diretto medio giornaliero (MJ/m ²)	Irr. orizz. diffuso medio giornaliero (MJ/m ²)	Temperatura esterna (°C)	Escursione termica media (°C)	Velocità vento (m/s)
Gennaio	5	2.5000	2.5000	0.4000	5.6000	0.8000
Febbraio	7.8000	4.3000	3.5000	3.2000	6.8000	0.8000
Marzo	12.2000	7.2000	5	8.2000	7.7000	0.8000
Aprile	17	10.4000	6.6000	12.7000	8.3000	0.8000
Maggio	19.6000	11.7000	7.9000	16.7000	8.8000	0.8000
Giugno	21.5000	13.2000	8.3000	21.1000	9.2000	0.8000
Luglio	23.5000	15.9000	7.6000	23.3000	9.4000	0.8000

Caratteristiche del singolo modulo

Tipologia di pannello: Silicio monocristallino
 Area modulo (m²): 1.66
 Area netta del modulo (m²): 1.46
 Potenza nominale di picco del pannello (kW): Valore noto 0.24
 Coef. di temperatura (%/K): Valore non noto 0.4
 Coef. di potenza (-): Valore non noto 0.04
 NOCT (°C): Valore non noto 45
 Grado di ventilazione: Moduli moderatamente ventilati, f_{pv} 0.75
 B.O.S.: 15

Caratterizzazione dell'impianto FV

Inclinazione: 30
 Orientamento (>0 verso ovest): 20
 N° moduli: 333
 Tipologia terreno circostante: Superfici scure di edifici...
 Albedo: 0.27

Calcola / Aggiorna Salva Config. Carica Config. **Help**

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Modulo per il calcolo della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico

W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Output FV

Calcolo della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico - Risultati

	Irr. tot. sup. captante (MJ/m ²)	En. elettrica prodotta metodo UNI 11300-4 (kWh)	En. elettrica prodotta metodo di Evans (kWh)
Gennaio	8.03	4145.84	73532
Febbraio	11.05	5153.55	89388
Marzo	15.06	7772.21	129638
Aprile	18.41	9197.65	148702
Maggio	19.32	9971.32	158952
Giugno	20.39	10183.48	157789
Luglio	22.71	11720.55	174254
Agosto	19.25	9935.09	152357
Settembre	15.72	7851.51	124745
Ottobre	12.60	6501.85	106880
Novembre	8.50	4248.04	73332
Dirembre	8.34	4303.83	74981

Ore equivalenti (UNI TS 11300-4): 1138.45
 Ore equivalenti (Metodo di Evans): 18324.75

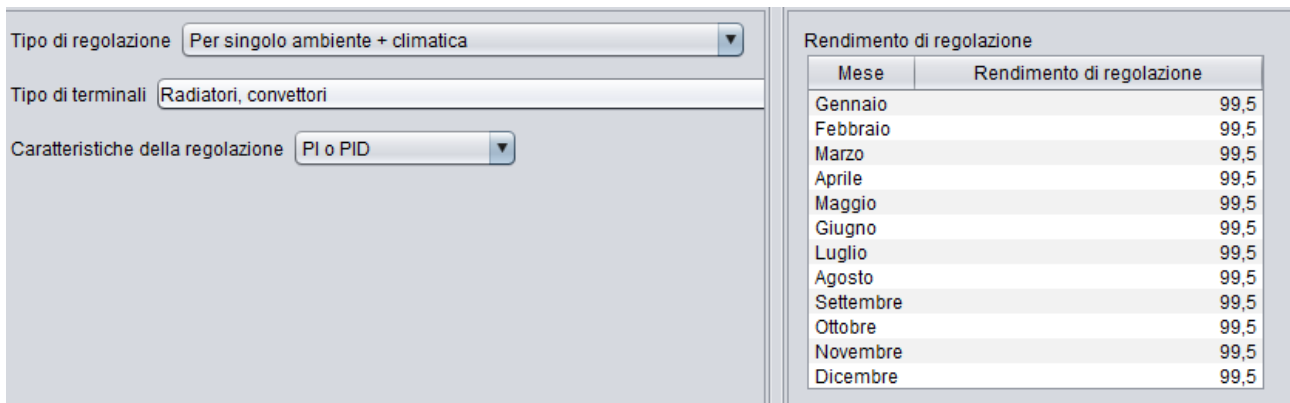
Graph: Energia Elettrica prodotta (UNI/TS 11300 - 4) vs Energia Elettrica prodotta (Metodo di Evans) in kWh x 10⁷ vs Mesi.

Calcola / Aggiorna Salva Config. Carica Config. **Help**

La produzione di energia elettrica da fotovoltaico, relativamente all'anno climatico standard, è pari 90985 kWh, per un totale di circa 1235 ore equivalenti.

L'intervento relativo all'installazione del recuperatore di calore ad alta efficienza all'interno del sistema di ventilazione meccanica controllata viene inserito in SEAS per mezzo della routine esterna "Aria Primaria".

Per l'implementazione del nuovo sistema di regolazione, si fa invece riferimento alla scheda "Regolazione", come illustrato nella figura seguente.



Infine, è necessario procedere al ricalcolo dei millesimi dei consumi energetici per ogni zona, in quanto le misure di efficienza non impatteranno in misura eguale su ciascuna delle zone termiche considerate. A valle di tale procedimento, si ottengono infine i consumi elettrico e termico, relativi all'anno climatico standard, per l'edificio energeticamente riqualificato.

	Consumo elettrico	Consumo termico
Prima degli interventi	73650 kWh	779561 kWh
Dopo gli interventi	23852 kWh	0 kWh

4 Analisi economica degli interventi e confronto tra i 3 casi studio

Sulla base dei costi riportati nel Capitolo 2 per la scuola di Catania, nel Capitolo 3 per la scuola di Torino e nel Report [6] per la scuola di Pisa, è stata svolta l'analisi economica degli interventi di retrofit energetico con finalità nZEB. Essa comprende il calcolo dei seguenti indicatori:

- tempo di ritorno semplice (**TRS**) [anni]: il tempo stimato in cui i ricavi non attualizzati dovuti all'intervento eguagliano i costi non attualizzati;
- tempo di ritorno attualizzato (**TR**) [anni]: il tempo stimato in cui i ricavi attualizzati dovuti all'intervento eguagliano i costi attualizzati;
- indice di profitto (**IP**) [-]: il valore attuale netto dell'investimento al termine della vita utile diviso l'investimento iniziale;
- indice energetico globale (**IEG**) [kWh/€]: il rapporto tra i kWh risparmiati a seguito dell'intervento e il costo complessivo dell'intervento;
- valore netto semplice (**VN**) [k€]: la differenza della cumulata dei flussi di cassa, a fine della vita utile, tra lo scenario con intervento e lo scenario base, ipotizzando il tasso di interesse, il tasso di inflazione e i tassi di aumento dei TEE e dei prezzi dell'energia nulli;
- valore attuale netto (**VAN**) [k€]: la sommatoria dei flussi di cassa attualizzati, calcolata al termine della vita utile;
- tasso interno di rendimento (**TIR**) [%]: il tasso interno del rendimento che rende nullo il VAN.

Gli interventi finalizzati all'obiettivo nZEB sono stati valutati dal punto di vista economico, utilizzando la routine esterna di SEAS 3.0 denominata "Analisi Economica". In tutti e 3 i casi, per ragioni di confrontabilità, sono stati utilizzati gli stessi input, e in particolare:

- tempo di valutazione degli indicatori economici: 20 anni dalla riqualificazione (gli interventi con vita utile più breve si intendono ripetuti);
- tasso di interesse pari a 4%;
- tasso di inflazione pari a 1%;
- prezzo dell'energia elettrica: 0.162 €/kWh;

- prezzo del gas naturale: 0.0715 €/kWh;
- tasso annuo di aumento del prezzo dell'energia elettrica: 2%;
- tasso annuo di aumento del prezzo del gas naturale: 2%.

Per tutti e 3 i casi studio, si è considerato di accedere agli incentivi previsti per la Pubblica Amministrazione dal Decreto Interministeriale 16 febbraio 2016 (Nuovo Conto Termico). In particolare, per la riqualificazione nZEB, è possibile ottenere un incentivo del 65% su tutta la spesa, erogato in 5 anni.

4.1 Risultati dell'analisi economica per la scuola di Catania

Nelle seguenti due figure, relative alla scuola di Catania, sono mostrati i dati di input inseriti nel modulo "Analisi Economica" di SEAS e gli output, ossia gli indicatori economici degli interventi con obiettivo nZEB.

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficiamento Energetico
 W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Usi energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di aum... prezzo energia (%)
En. elettrica	40390	14137	0.1620	2
Gas naturale	46200	1180	0.0715	2
Cippato	0	0	0	0
Gasolio	0	0	0	0
Teleriscaldamento	0	0	0	0
Olio combustibile	0	0	0	0
GPL	0	0	0	0
Pellet	0	0	0	0
Legname	0	0	0	0
Altro combustibile	0	0	0	0

En.elettrica da fotovoltaico prodotta pre-intervento [kWh/anno] En.elettrica da fotovoltaico prodotta post-intervento [kWh/anno]

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente [€]

Vita residua [anni]

Vita utile [anni]

Prezzo manutenzione [€/anno]

Tassi annui

Tasso d'interesse [%]

Tasso d'inflazione [%]

Tasso di aumento del TEE [%]

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile [anni]

Prezzi stimati per la manutenzione [€/anno]

Investimento

Quota per l'investimento immediatamente stanziata, lorda (senza sottrarre incentivi e/o sovvenzioni) [€]

Importo annuo da corrispondere per il finanziamento dell'intervento [€/anno]

Durata di un eventuale finanziamento [anni]

TEE (Certificati Bianchi)

Risparmio annuo di energia termica valorizzabile in TEE [kWh/anno]

Risparmio annuo di energia elettrica valorizzabile in TEE [kWh/anno]

N° anni di concessione dei TEE

Valore dei TEE per l'intervento [€/TEP]

Conto Energia (Fotovoltaico)

N° anni di concessione del conto energia

Valore della tariffa incentivante [€/kWh]

Altri incentivi

Una Tantum [€]

Inc. rateizzati [€]

Durata Inc. rateizzati [Anni]

Fattore di conversione en. elettrica - en. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo

Massima disponibilità iniziale per l'investimento [€]

Massima disponibilità annuale per investimenti rateizzati [€/anno]

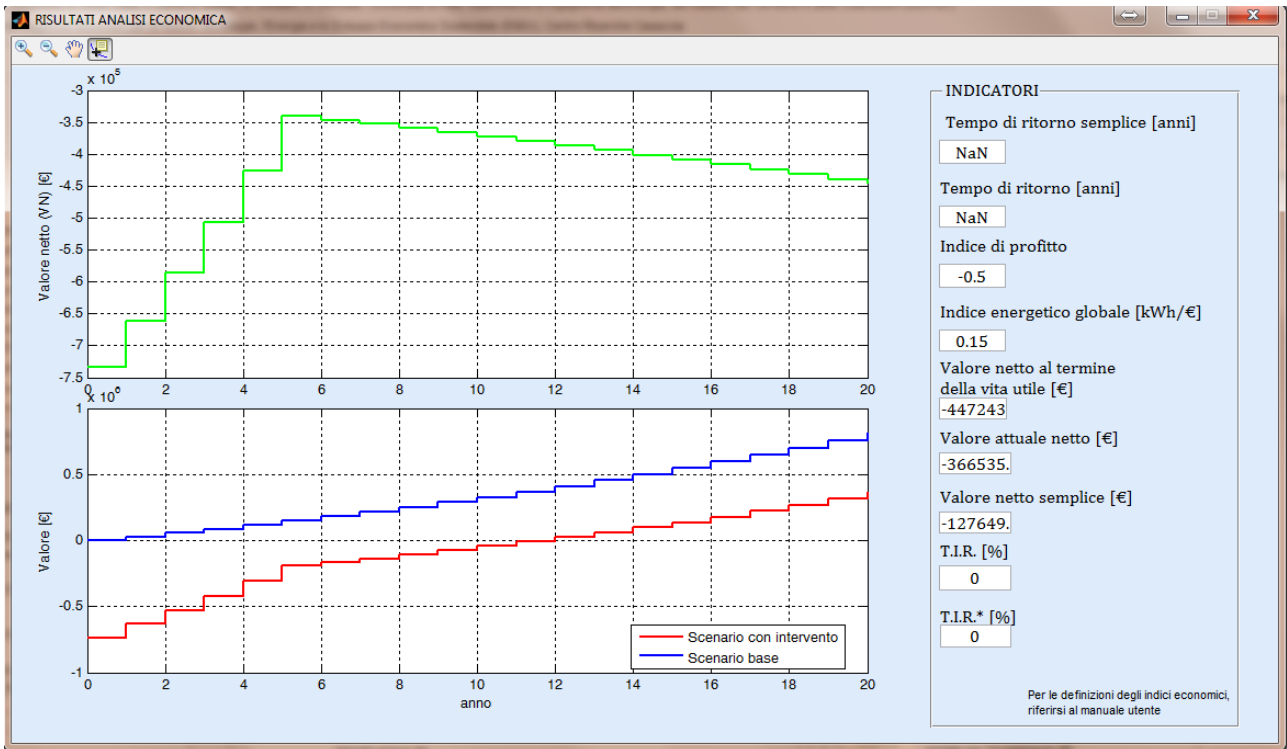
Durata investimento [anni]

Carica dati

Salva dati

Help

Calcola



Si noti come la riqualificazione nZEB, nonostante i consistenti incentivi, non è economicamente conveniente: VAN e IP infatti sono negativi. Non si rientra dell'elevato investimento necessario per rispettare i requisiti minimi nZEB, a causa dei limitati usi energetici per il riscaldamento in zona climatica B. I carichi termici estivi in questa zona climatica sarebbero invece elevati, ma si verificano nel periodo di chiusura della scuola.

4.2 Risultati dell'analisi economica per la scuola di Torino

Nelle seguenti due figure, relative alla scuola di Torino, sono mostrati i dati di input inseriti nel modulo "Analisi Economica" di SEAS e gli output, ossia gli indicatori economici degli interventi con obiettivo nZEB.

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diiodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Usi energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di aumento prezzo energia (%)
En. elettrica	73650	23852	0.1620	2
Gas naturale	779561	0	0.0715	2
Cippato	0	0	0	0
Gasolio	0	0	0	0
Tele riscaldamento	0	0	0	0
Olio combustibile	0	0	0	0
GPL	0	0	0	0
Pellet	0	0	0	0
Legname	0	0	0	0
Altro combustibile	0	0	0	0

En.elettrica da fotovoltaico prodotta pre-intervento [kWh/anno] En.elettrica da fotovoltaico prodotta post-intervento [kWh/anno]

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente [€]

Vita residua [anni]

Vita utile [anni]

Prezzo manutenzione [€/anno]

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile [anni]

Prezzi stimati per la manutenzione [€/anno]

Investimento

Quota per l'investimento immediatamente stanziata, lorda (senza sottrarre incentivi e/o sovvenzioni) [€]

Importo annuo da corrispondere per il finanziamento dell'intervento [€/anno]

Durata di un eventuale finanziamento [anni]

TEE (Certificati Bianchi)

Risparmio annuo di energia termica valorizzabile in TEE [kWh/anno]

Risparmio annuo di energia elettrica valorizzabile in TEE [kWh/anno]

N° anni di concessione del TEE

Valore dei TEE per l'intervento [€/TEP]

Conto Energia (Fotovoltaico)

N° anni di concessione del conto energia

Valore della tariffa incentivante [€/kWh]

Altri incentivi

Una Tantum [€]

Inc. rateizzati [€]

Durata Inc. rateizzati [Anni]

Fattore di conversione en. elettrica - en. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo

Massima disponibilità iniziale per l'investimento [€]

Massima disponibilità annuale per investimenti rateizzati [€/anno]

Durata investimento [anni]

Carica dati **Salva dati** **Help** **Calcola**

RISULTATI ANALISI ECONOMICA

INDICATORI

Tempo di ritorno semplice [anni]

Tempo di ritorno [anni]

Indice di profitto

Indice energetico globale [kWh/€]

Valore netto al termine della vita utile [€]

Valore attuale netto [€]

Valore netto semplice [€]

T.I.R. [%]

T.I.R.* [%]

Per le definizioni degli indici economici, riferirsi al manuale utente

Si noti come la riqualificazione nZEB, anche grazie ai consistenti incentivi, è molto conveniente dal punto di vista economico: il tempo di ritorno è di soli 9 anni, l'IP è quasi 1, il VAN è quasi un milione di euro e il TIR è dell'11%. Questi risultati così positivi sono dovuti agli elevati usi energetici per il riscaldamento dell'edificio, che si trova in zona climatica E e, allo stato di fatto, ha un involucro disperdente e impianti non particolarmente efficienti. I carichi termici estivi in questa zona climatica sarebbero invece limitati, ma si verificano nel periodo di chiusura della scuola.

4.3 Risultati dell'analisi economica per la scuola di Pisa

Nelle seguenti due figure, relative alla scuola di Pisa, sono mostrati i dati di input inseriti nel modulo "Analisi Economica" di SEAS e gli output, ossia gli indicatori economici degli interventi con obiettivo nZEB.

SEAS - Analisi Economica

SEAS - Software Energetico per Audit Semplificati - Simplified Energy Auditing Software - versione 3.0 (settembre 2014)
Analisi Economica degli Interventi di Efficientamento Energetico

W. Grassi, D. Tesi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
P. Signoretti, G. Fasano - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Usi energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di aumento prezzo energia (%)
En. elettrica	75042	87711	0.1620	2
Gas naturale	243712	0	0.0715	2
Cippato	0	0	0	0
Gasolio	0	0	0	0
Teleriscaldamento	0	0	0	0
Olio combustibile	0	0	0	0
GPL	0	0	0	0
Pellet	0	0	0	0
Legname	0	0	0	0
Altro combustibile	0	0	0	0

En.elettrica da fotovoltaico prodotta pre-intervento [kWh/anno] En.elettrica da fotovoltaico prodotta post-intervento [kWh/anno]

Dati sistema esistente

15000 Prezzo sistema esistente [€]
7 Vita residua [anni]
15 Vita utile [anni]
1368 Prezzo manutenzione [€/anno]

Tassi annui

4 Tasso d'interesse [%]
1 Tasso d'inflazione [%]
0 Tasso di aumento dei TEE [%]

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

20 Vita utile [anni]
-11790 Prezzi stimati per la manutenzione [€/anno]

Investimento

Quota per l'investimento immediatamente stanziata, lorda (senza sottrarre incentivi e/o sovvenzioni) [€]

Importo annuo da corrispondere per il finanziamento dell'intervento [€/anno] Durata di un eventuale finanziamento [anni]

TEE (Certificati Bianchi)

0 Risparmio annuo di energia termica valorizzabile in TEE [kWh/anno]
0 Risparmio annuo di energia elettrica valorizzabile in TEE [kWh/anno]
0 N° anni di concessione del TEE
0 Valore dei TEE per l'intervento [€/TEP]

Conto Energia (Fotovoltaico)

0 N° anni di concessione del conto energia
0 Valore della tariffa incentivante [€/kWh]

Altri incentivi

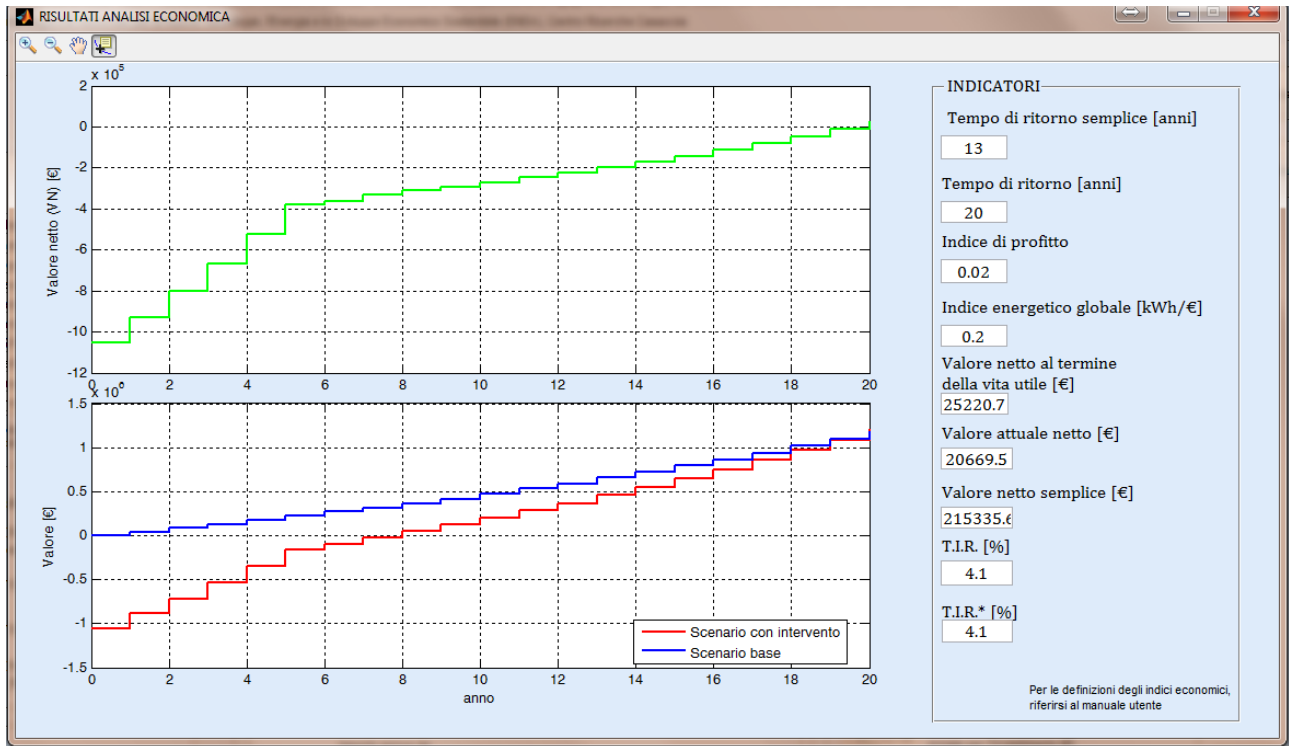
0 Una Tantum [€]
136791 Inc. rateizzati [€]
5 Durata Inc. rateizzati [Anni]

2.42 Fattore di conversione en. elettrica - eti. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Caso singolo
 Massima disponibilità iniziale per l'investimento [€]
 Massima disponibilità annuale per investimenti rateizzati [€/anno]
 Durata investimento [anni]

Carica dati
Salva dati
Help
Calcola



Si noti come la riqualificazione nZEB, nonostante i consistenti incentivi, è poco conveniente dal punto di vista economico: si ritorna dell'investimento soltanto al termine della vita utile, l'IP e il VAN sono di poco positivi e il TIR è solo del 4.1%. Questi risultati appena positivi sono dovuti ai limitati usi energetici per il riscaldamento dell'edificio, che si trova in zona climatica D e ha un numero di ore di utilizzo piuttosto basso. I carichi termici estivi in questa zona climatica non sarebbero trascurabili, ma si verificano nel periodo di chiusura della scuola.

4.4 Confronto tra i 3 casi studio per la fattibilità di riqualificazione nZEB

Sebbene la riqualificazione nZEB sia tecnicamente fattibile in tutte e 3 le scuole, l'analisi economica ha mostrato come soltanto in un clima rigido nel periodo invernale e con sistemi edificio-impianto preesistenti di scarsa efficienza si riesca a rientrare degli investimenti, nonostante i forti incentivi disponibili. Nelle scuole, infatti, gli usi energetici sono 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; il periodo estivo più critico in termini di carichi termici, inoltre, si sovrappone alla chiusura dell'edificio.

Per questi motivi, avendo considerato 3 casi studio con caratteristiche energetiche simili (tutte e 3 le scuole sono state costruite negli Anni Sessanta) e comportamento dell'utenza analogo, le grandi differenze mostrate sono evidentemente da imputare alle condizioni climatiche.

In particolare, a Catania (zona climatica B e gradi giorno invernali 833) la riqualificazione nZEB appare impraticabile dal punto di vista economico, senza rientro dell'investimento. In queste condizioni climatiche, la cosa più importante per una scuola non sembra la riduzione dei fabbisogni energetici, bensì il mantenimento di condizioni microclimatiche e di qualità dell'aria ottimali per partecipare ad attività di apprendimento.

A Pisa (zona climatica D e GG=1694), i gradi giorno sono doppi rispetto a Catania e si riesce appena a rientrare dell'investimento. In queste condizioni, è molto limitante il fatto che gli interventi necessari per raggiungere il livello nZEB non rappresentino l'ottimo dal punto di vista dell'analisi costi-benefici, come mostrato in [6]. D'altra parte, sebbene i parametri economici siano modesti, è comunque opportuno osservare i significativi benefici ambientali conseguenti alla riqualificazione, che, tra le altre cose, forniscono un contributo a perseguire gli obiettivi europei di efficienza energetica e riduzione di emissioni clima-alteranti. Inoltre, in un edificio della Pubblica Amministrazione, e in particolare in una scuola, questo tipo di risultati hanno una rilevanza sociale importante.

Infine, a Torino (zona climatica E e GG=2939), i gradi giorno sono quasi doppi rispetto a Pisa e i parametri economici sono ottimi. In queste condizioni climatiche, sfruttando anche l'incentivazione nazionale, la riqualificazione nZEB è molto conveniente, oltre che dal punto di vista ambientale, anche come investimento economico.

5 Punti di forza e criticità di SEAS evidenziati nell'attività e conclusioni

5.1 Procedura comune per l'analisi di fattibilità di riqualificazione nZEB

Uno dei principali obiettivi della presente ricerca è stato garantire una corretta confrontabilità tra i risultati delle 3 diagnosi energetiche di edifici scolastici con finalità di riqualificazione nZEB, svolte nell'ambito del PAR 2015, rappresentative delle zone climatiche B (Sud Italia, Catania), D (Centro Italia, Pisa) ed E (Nord Italia, Torino).

Al fine del confronto tra le diagnosi e per trarre conclusioni di carattere generale per il territorio italiano, si è impiegata una comune procedura per l'analisi di fattibilità di riqualificazione nZEB, consistente nei seguenti passi:

- 1) per lo stato di fatto, raccolta dati e inserimento nel software di diagnosi energetica SEAS 3;
- 2) in SEAS (simulazione con metodologia A3, Tailored Rating), calibrazione e validazione del modello energetico dell'edificio attraverso lo storico delle fatturazioni energetiche o misure di monitoraggio ad hoc;
- 3) inserimento del modello di edificio validato in un software certificato dal CTI per la verifica dei requisiti minimi e la certificazione energetica;
- 4) nel software certificato (simulazione con metodologia A2, Asset Rating), individuazione e implementazione degli interventi necessari al raggiungimento del livello nZEB;
- 5) in SEAS, implementazione degli interventi individuati e calcolo dei risparmi energetici ottenibili rispetto allo stato di fatto;
- 6) valutazione economica dell'investimento per la riqualificazione dell'edificio in chiave nZEB attraverso il modulo "Analisi Economica" di SEAS.

5.2 Criteri di armonizzazione tra le diagnosi svolte in diversi contesti climatici

Per le diagnosi energetiche delle 3 scuole, svolte in diversi contesti climatici, si è seguito lo stesso approccio metodologico per quanto riguarda l'implementazione in SEAS e l'analisi dei dati. In particolare, l'armonizzazione delle 3 diagnosi ha riguardato:

- la suddivisione in zone termiche coerenti dal punto di vista funzionale;
- l'analisi dello storico delle fatturazioni energetiche e dei dati climatici;
- il grado di dettaglio nell'analisi dei profili di utilizzo in termini di
 - o presenza nei locali,
 - o gestione dell'apertura di porte e finestre,
 - o gestione delle chiusure oscuranti,
 - o gestione degli elementi ombreggianti,

- o gestione dell'accensione degli impianti;
- la ripartizione dei consumi energetici dal punto di consegna alla zona d'indagine;
- i parametri economici per l'analisi costi-benefici degli interventi di retrofit.

5.3 Valutazione del software SEAS per la diagnosi di edifici scolastici e retrofit nZEB

In merito all'utilizzo dell'applicativo SEAS 3 per la diagnosi energetica di edifici scolastici e per la valutazione energetica degli interventi di riqualificazione nZEB, si sottolineano i seguenti punti di forza e criticità, dal punto di vista modellistico e di simulazione, emersi o confermati nell'ambito della presente attività:

- [punto di forza] flessibilità nell'inserimento personalizzabile dei dati climatici e dei profili di utenza (profili biorari e mensili, con differenziazione tra giorni lavorativi e festivi);
- [punto di forza] possibilità di segnalare i dati più incerti con apposito flag ed eseguire analisi di sensibilità rispetto ad essi, ai fini della validazione del modello energetico;
- [punto di forza] possibilità di gestire sistemi multi-zona con alcuni servizi centralizzati e altri autonomi;
- [criticità] difficoltà di simulare accuratamente edifici ad alta inerzia termica e, contemporaneamente, con intermittenza degli impianti termici [9];
- [criticità] difficoltà di simulare accuratamente edifici caratterizzati da significativi apporti interni, concentrati in alcuni locali;
- [criticità] difficoltà di simulare accuratamente generatori a pompa di calore o sistemi di generazione ibridi con logiche di regolazione avanzate [10];
- [criticità] assenza di predisposizione al calcolo del fabbisogno energetico per il condizionamento estivo (necessità dell'uso di un codice di simulazione dinamica).

Tra le 3 diagnosi effettuate, la più critica è quella relativa alla scuola in zona climatica B (Catania), poiché il carico termico principale è quello di raffrescamento estivo e, anche nel periodo di riscaldamento, gli apporti gratuiti sono particolarmente significativi rispetto alle dispersioni. Quest'ultimo problema si presenta, di fatto, in tutte le configurazioni nZEB, che richiederebbero quindi un'ulteriore validazione attraverso codici dinamici.

5.4 Commenti conclusivi e sviluppi futuri

Alla luce delle attività descritte in questo lavoro, si possono trarre le seguenti conclusioni principali:

- l'attuale definizione di nZEB penalizza particolarmente la riqualificazione energetica di scuole situate in zone climatiche caratterizzate da bassi gradi giorno invernali, non consentendo un rientro economico dell'investimento;

- anche in presenza di gradi giorno invernali più elevati, le azioni di riqualificazione necessarie per raggiungere gli attuali requisiti nZEB non rappresentano il pacchetto ottimo dal punto di vista costi-benefici e l'incentivazione statale è fondamentale per rendere economicamente fattibili e convenienti gli interventi;
- il software SEAS presenta punti di forza specifici per le attività di diagnosi, soprattutto grazie alla flessibilità di adattare all'utenza il modello energetico del sistema edificio-impianto; tuttavia, per edifici ad uso intermittente come le scuole, per la simulazione dei carichi estivi e per condizioni, tipiche degli nZEB, in cui apporti energetici gratuiti e dispersioni hanno la stessa entità, al fine di migliorare l'accuratezza dei risultati di simulazione energetica, appare necessario integrare SEAS, completando lo sviluppo e la validazione del modello dinamico semplificato denominato "SEAS Light" [5].

Riferimenti bibliografici

- [1] 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 di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/2011/143), 2011.
- [2] 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 di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/2012/110), 2012.
- [3] 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 di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/2013/143), 2013.
- [4] 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 di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/PAR2013/113), 2014.
- [5] 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 di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/PAR2014/068), 2015.
- [6] D. Testi, W. Grassi, D. Della Vista, E. Menchetti, S. Comelato, M. Rocca, A. Taverni, V. Vannucci, P. Signoretti, L. Terrinoni, Riquilificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB – Studio dell'edificio scolastico di riferimento nella zona climatica Centro Italia (zona D: $1.400 < GG \leq 2.100$), Report di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/PAR2015/121), 2016.
- [7] G. Cammarata, M. Cammarata, M. Caponnetto, G. Centi, Riquilificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB – Studio dell'edificio scolastico di riferimento nel Sud Italia (zona B: $600 < GG \leq 900$), Report di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/PAR2015/122), 2016.
- [8] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, L. Tulipano, P. Signoretti, Riquilificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione NZEB – Studio dell'edificio scolastico di riferimento nel Nord Italia (zona climatica E: $2.100 < GG \leq 3.000$), Report di Ricerca di Sistema Elettrico (RdS/PAR2015/120), 2016.

[9] E. Schito, D. Testi, P. Conti, W. Grassi, Validation of SEAS, a quasi-steady-state tool for building energy audits, *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 3192-3197, 2016.

[10] D. Testi, E. Schito, E. Menchetti, W. Grassi, Energy retrofit of an office building by substitution of the generation system: performance evaluation via dynamic simulation versus current technical standards, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 547, n. 012018, 9 pp., 2014.

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 e di Risparmio Energetico in Edilizia. Attualmente è Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e titolare dei corsi di Fisica Tecnica, Laurea in Ingegneria dell'Energia, 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, ha ottenuto il premio europeo "EUROTHERM Young Scientist Award", conferito con cadenza quadriennale. Autore di circa 90 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. Dal 2014 è responsabile scientifico dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.

Eva Schito, nata a Pisa nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l'Università di Pisa (luglio 2013), discutendo la tesi dal titolo "Modellizzazione dinamica di un sistema pompa di calore – edificio". Ha ottenuto l'Attestato di Merito previsto per gli studenti del Percorso di Eccellenza. Nel 2017 ha ottenuto il Dottorato di Ricerca in Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni presso l'Università di Pisa, con una tesi intitolata "Methods and tools for a rational and efficient use of energy in museum environments". I suoi principali campi di interesse sono: modellizzazione cycle-based delle pompe di calore e progettazione ottimizzata, simulazione dinamica e riqualificazione energetica degli edifici, anche di valore storico, ed ambienti museali. Esperto Junior CasaClima e Socia FTI e AiCARR. Ha collaborato come Borsista 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. Ha svolto supporto alla didattica per il corso di Termoenergetica dell'Edificio (Laurea in Ingegneria dell'Energia), Risparmio energetico in Edilizia (Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica) e Energia e Sistemi Energetici (Laurea in Ingegneria Gestionale); ha inoltre svolto docenza in seminari sulla certificazione e diagnosi energetica presso ordini territoriali degli ingegneri e per software-house private. Attualmente è Assegnista di Ricerca, sempre presso il DESTEC, con un'attività dal titolo "Sperimentazione e simulazione di impianti di generazione ibridi per la climatizzazione efficiente degli edifici".

Paolo Conti, nato a Jesi (AN) nel 1987, ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria “Leonardo da Vinci” Energetica Elettrica e Termica presso l’Università di Pisa, discutendo la tesi “Sustainable design of ground-source heat pump systems: optimization of operative life performances”. Dal 2015 al 2017 è stato Assegnista di Ricerca e Borsista presso il DESTEC, Università di Pisa. Da aprile 2017 è Ricercatore a Tempo Determinato, sempre presso il DESTEC. La sua attività riguarda la progettazione e la gestione ottimizzata degli impianti geotermici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici. I suoi settori principali d’interesse professionale sono: gli impianti di climatizzazione ad acqua e ad aria, lo sviluppo di modelli al computer per la simulazione e la valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi edificio – impianto, lo studio e sviluppo di metodologie per la diagnosi energetica negli edifici, l’individuazione di buone pratiche di progettazione e gestione dei sistemi edifici-impianto. Socio AiCARR, FTI e dell’American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Membro del Consiglio UGI e nominato Segretario esecutivo per il triennio 2015-2017. Membro dell’International Geothermal Association (IGA) Resources & Reserves Committee e del gruppo di lavoro IGA-UNECE (International Geothermal Association, United Nations Economic Commission for Europe) per la stesura delle specifiche riguardanti l’applicazione del protocollo UNFC-2009 alle applicazioni geotermiche (pompe di calore incluse). Dal 2011 supporta il Gestore Servizi Energetici (GSE) nella rilevazione dati e nel monitoraggio dello sviluppo in Italia delle applicazioni geotermiche per usi termici. I risultati di questo lavoro sono stati adottati dal Ministero dello Sviluppo Economico e compaiono nei dati Eurostat.

Francesco D’Ettorre, nato a Taranto nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l’Università di Pisa (giugno 2016), discutendo la tesi dal titolo “Incremento dello scambio termico in un condotto tramite schiere di getti ionici: analisi dei risultati di una campagna sperimentale in microgravità”. Nel 2016 è stato titolare di una Borsa di Studio dal titolo “Incremento dello scambio termico monofase e bifase tramite getti ionici”. Svolge supporto alla didattica per il corso di Energia e Sistemi Energetici, Laurea in Ingegneria Gestionale. Attualmente è dottorando, presso il DESTEC, in Ingegneria dell’Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni e si occupa di modellazione, simulazione e ottimizzazione di sistemi ibridi di generazione per la climatizzazione degli edifici e la produzione di acqua calda sanitaria.

Luca Urbanucci, nato ad Atri (TE) nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l’Università di Pisa (giugno 2016), discutendo la tesi dal titolo “Modellazione e analisi sperimentale dell’effetto di getti elettroidrodinamici su ebollizione nucleata e flusso termico critico”, per la quale ha vinto il premio dell’Unione Italiana Termofluidodinamica (UIT). Nel 2016 è stato titolare di una Borsa di Studio dal titolo “Incremento dello scambio termico monofase e bifase tramite getti ionici”. Svolge supporto alla didattica per il corso di Trasmissione del Calore e Termofluidodinamica, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Attualmente è dottorando, presso il DESTEC, in Ingegneria dell’Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni e si occupa di simulazione, ottimizzazione e analisi di incertezza di sistemi energetici poligenerativi.