



Ricerca di Sistema elettrico

Caso studio di diagnosi energetica di un complesso edilizio scolastico del Sulcis attraverso il software SEAS 3.0

G.Centi, D. Iatauro, C. Romeo, P. Signoretti, L. Terrinoni

CASO STUDIO DI DIAGNOSI ENERGETICA DI UN COMPLESSO EDILIZIO SCOLASTICO DEL SULCIS ATTRAVERSO IL SOFTWARE SEAS 3.0

G. Centi, D. Iatauro, C. Romeo, P. Signoretti, L. Terrinoni (ENEA)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

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

Progetto: Edifici a energia quasi zero (nZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici.

Parte B: Attività Polo Tecnologico del Sulcis

B.2 Attività ENEA

Obiettivo a.1: Diagnosi energetica negli edifici pubblici del territorio del Sulcis

Responsabile del Progetto: ing. Luciano Terrinoni, ENEA

Responsabile scientifico: arch. Carlo Romeo, ing. Paolo Signoretti, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 LA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA.....	7
2.1 GENERALITÀ.....	7
2.2 LO STRUMENTO DI CALCOLO SEAS 3.0 PER L'ANALISI ENERGETICA.....	9
2.3 SEAS 3.0: LA STRUTTURA, IL PROCESSO DI CALCOLO E L'INSERIMENTO DATI.....	10
2.4 SEAS 3.0: LA VALUTAZIONE ECONOMICA.....	18
3 LA SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "SEBASTIANO SATTA".....	21
3.1 I DATI CLIMATICI DEL SITO IN ESAME.....	21
3.2 L'EDIFICIO SCOLASTICO OGGETTO DI STUDIO.....	25
4 L'ANALISI ENERGETICA DELL'EDIFICIO SCOLASTICO: LO STATO DI FATTO.....	27
4.1 RILIEVO E RACCOLTA DATI.....	27
4.1.1 <i>Profili di utilizzo</i>	29
4.1.2 <i>Caratteristiche dell'involucro edilizio</i>	30
4.1.3 <i>Ventilazione e apporti interni</i>	39
4.2 I RISULTATI SULLE PRESTAZIONI DELL'EDIFICIO.....	42
4.3 GLI IMPIANTI INSTALLATI.....	45
4.3.1 <i>Generazione per riscaldamento</i>	45
4.3.2 <i>Sottosistema di distribuzione</i>	46
4.3.3 <i>Ausiliari</i>	46
4.3.4 <i>Sottosistema di emissione</i>	46
4.3.5 <i>Sottosistema di regolazione</i>	46
4.4 I RISULTATI SULLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA EDIFICIO.....	48
4.5 I DATI DI CONSUMO REALI.....	49
4.6 CONFRONTO RISULTATI DA DIAGNOSI CON LE FATTURAZIONI ENERGETICHE.....	50
5 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO.....	51
5.1 1° SCENARIO DI INTERVENTO: SOSTITUZIONE DEI SERRAMENTI ESISTENTI.....	51
5.2 2° SCENARIO DI INTERVENTO: ISOLAMENTO DELLE STRUTTURE OPACHE DISPERDENTI.....	52
5.3 3° SCENARIO DI INTERVENTO: SOSTITUZIONE APPARECCHI ILLUMINANTI E INSTALLAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	53
5.4 4° SCENARIO DI INTERVENTO: IMPIANTO DI GENERAZIONE E SOTTOSISTEMA DI REGOLAZIONE.....	54
5.5 5° SCENARIO DI INTERVENTO: IMPIANTO DI GENERAZIONE E SOTTOSISTEMA DI REGOLAZIONE COMBINATO CON SOSTITUZIONE DEGLI APPARECCHI ILLUMINANTI E INSTALLAZIONE DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	55
5.6 6° SCENARIO DI INTERVENTO: INTERVENTO GLOBALE.....	56
6 VALUTAZIONI ECONOMICHE.....	57
7 CONCLUSIONI.....	58
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	61

Sommario

Questo rapporto si inserisce nell'ambito delle attività di collaborazione tra ENEA e il Polo tecnologico del Sulcis e rappresenta un caso studio di diagnosi energetica realizzato da ENEA con il software SEAS 3.0, e relativo al complesso scolastico "Sebastiano Satta" di Carbonia, scelto e trattato da SOTACARBO, utilizzando un software commerciale alternativo

Il software SEAS 3.0, è nato da una collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa nell'ambito delle annualità precedenti del programma della "Ricerca di sistema elettrico, con l'obiettivo di mettere a disposizione degli utenti del settore uno strumento flessibile e di semplice utilizzo, con interfaccia grafica, che risponda all'esigenza di diffondere la pratica degli audit energetici degli edifici e verificare le possibilità di contenimento degli usi energetici tramite opportuni interventi di riqualificazione.

Per lo sviluppo del presente caso studio si è partiti dalla definizione di una serie di dati di input necessari alla costruzione del modello energetico dell'edificio (termico ed elettrico), in grado di riassumere la tipologia di utenza, le potenze installate, i profili di utilizzazione e le ore di funzionamento degli impianti.

Attraverso il software SEAS 3.0 è stato poi possibile ricostruire l'andamento dei flussi energetici caratteristici, il che ha consentito di valutare in maniera puntuale i consumi specifici, le criticità presentate e gli specifici interventi da considerare per incrementare l'efficienza energetica dell'edificio

Il confronto tra i consumi previsti dal software e quelli reali di energia elettrica e gasolio, ha consentito di valutare l'affidabilità del modello energetico ipotizzato.

Gli interventi di riqualificazione individuati sono stati successivamente valutati dal punto di vista dell'analisi costi-benefici, con l'obiettivo di caratterizzare quelle azioni, finalizzate alla riqualificazione a nZEB dell'edificio, che possono avere un riscontro economico intrinsecamente positivo per la collettività nel suo complesso, prescindendo quindi da forme di incentivazione fiscale pur sempre possibili e prevedibili.

Basandosi su questo principio, le azioni in grado di realizzare tempi di ritorno accettabili hanno riguardano l'insieme degli impianti presenti.

"Ad impossibilia nemo tenetur" DIGESTO, Giustiniano (482 - 565)

1 Introduzione

Il tema dell'efficienza energetica è sempre più al centro dell'attenzione della politica comunitaria dall'emanazione della direttiva 31/2010/UE (Energy Performance Building Directive) e della normativa nazionale di recepimento (DM 26/06/2015), visto che gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia dell'Unione europea.

Anche la Direttiva 27/2012/UE ruota intorno al tema dell'efficienza energetica avendo come obiettivi una maggiore sicurezza energetica, il contrasto ai cambiamenti climatici in atto, la riduzione del costo della dipendenza da importazioni di energia ed il miglioramento qualitativo del patrimonio edilizio.

Recentemente ha assunto un rilievo specifico la riqualificazione energetica degli edifici pubblici che dovranno essere sottoposti ad interventi di ristrutturazione sotto il profilo energetico sia in seguito ad obbligo di legge, sia perché dovranno assumere un ruolo di promozione per il raggiungimento di obiettivi di prestazioni e risparmio energetico. Il settore pubblico dovrebbe in altri termini dare il "buon esempio" per quanto riguarda gli investimenti, la manutenzione e altre spese riguardanti attrezzature che consumano energia, i servizi energetici nonché altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica.

I piani nazionali dovrebbero fissare obiettivi ancor più ambiziosi per gli edifici occupati da enti pubblici. Con riferimento alle prescrizioni più precise la Direttiva prescrive che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia «quasi zero», termine che è anticipato al 31 dicembre 2018 per gli edifici di nuova costruzione di proprietà di enti pubblici.

La riqualificazione energetica è un'operazione complessa, nella quale non si interviene solamente per abbattere la dispersione termica ed energetica al fine di raggiungere una determinata classe energetica, ma si attiva un processo globale di riqualificazione dell'immobile che include interventi integrati sugli spazi, sull'involucro e sugli impianti.

Gli interventi vanno pianificati fissando un obiettivo di risparmio nei limiti di ciò che è tecnicamente possibile ed economicamente conveniente.

All'interno di questo quadro di riferimento il presente studio affronta il tema della riqualificazione energetica di un edificio pubblico a uso scolastico.

Il punto di partenza del processo consiste nella diagnosi energetica che parte da un'attenta lettura dello stato di fatto sul quale vanno ipotizzate le successive valutazioni in termini di azioni. È di primaria importanza la conoscenza degli usi finali dell'energia, l'individuazione e l'analisi di eventuali inefficienze e criticità energetiche del fabbricato e degli impianti presenti.

La diagnosi ha consentito di definire il bilancio energetico dell'immobile, di individuare possibili modalità per il recupero di energie disperse, valutare le condizioni di comfort che devono essere garantite, individuare specifiche tecnologie energy-saving, valutare le opportunità tecnico-economiche, ottimizzare le modalità di gestione del sistema edificio.

L'obiettivo del caso studio qui riportato è stato quello di caratterizzare un edificio scolastico di riferimento per l'area geografica del Sulcis e di analizzare possibili interventi di riqualificazione energetica.

A tale scopo si è partiti dalla conoscenza del reale comportamento e del consumo energetico del sistema costituito dall'insieme del fabbricato e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno.

La diagnosi energetica è stata eseguita secondo la metodologia prevista dalla principale normativa tecnica di riferimento che prevede la costruzione di modelli energetici i cui risultati devono convergere con le prestazioni derivanti dai dati di consumo effettivo.

Come strumento di analisi è stato utilizzato il software di simulazione SEAS 3.0, che ha consentito di valutare il comportamento energetico del complesso scolastico e di rappresentarlo sinteticamente mediante un fabbisogno di energia specifico.

Oltre all'esecuzione di una diagnosi energetica lo studio presenta una proposta di procedura che può essere presa come guida per successive analisi che intendano adottare SEAS come strumento di valutazione, dal

momento che tale software è stato predisposto e reso disponibile in forma gratuita con questa finalità specifica sempre all'interno della Ricerca di Sistema.

L'analisi dei risultati ottenuti, in forma disaggregata, ha reso, inoltre, possibile ricostruire il bilancio dei flussi energetici connessi all'edificio edilizio, evidenziando le diverse modalità di dispersione energetica e l'incidenza rispetto al fabbisogno totale.

Sono state, quindi, considerate le possibili riduzioni dei consumi energetici ottenibili attraverso un miglioramento delle caratteristiche termofisiche degli edifici presenti, quali ad esempio la sostituzione di alcuni componenti (es infissi e vetrate), l'isolamento dell'involucro edilizio (es isolamento della copertura e "cappotto"), quelle derivanti da una migliore regolazione degli impianti di climatizzazione, nonché la sostituzione del generatore di calore, degli apparecchi per l'illuminazione artificiale e l'installazione di un impianto fotovoltaico per la copertura dei carichi elettrici.

Nei diversi casi considerati, sono state evidenziate la riduzione della domanda di energia rispetto allo stato iniziale (stato di fatto) e l'analisi di fattibilità tecnico-economica degli interventi previsti.

2 La metodologia di diagnosi energetica

2.1 Generalità

Per diagnosi energetica di un edificio¹ si intende una procedura sistematica finalizzata alla conoscenza del consumo energetico e all'individuazione e all'analisi di eventuali inefficienze e criticità energetiche dell'edificio e degli impianti presenti.

La diagnosi energetica prevede una serie di operazioni consistenti nel rilievo e analisi di dati relativi all'edificio in condizioni di esercizio reale (dati *geometrico-dimensionali*, *caratteristiche termofisiche dei componenti l'involucro edilizio*, *dati prestazionali del sistema impiantistico*), nell'analisi e nelle valutazioni economiche dei consumi energetici dell'edificio.

La finalità di una diagnosi energetica è quella di individuare modalità con cui ridurre il fabbisogno energetico e valutare sotto il profilo costi-benefici i possibili interventi migliorativi, che vanno dalle azioni di retrofit a modelli di esercizio/gestione ottimizzati delle risorse energetiche.

Nel momento in cui viene "fotografato" energeticamente l'edificio, la diagnosi si pone l'obiettivo di capire in che modo l'energia viene utilizzata (ricostruzione di un bilancio in usi finali), individuare eventuali cause di sprechi e quali interventi possono essere posti in essere, al fine di valutare non solo la fattibilità tecnica, ma anche e soprattutto quella economica delle azioni proposte.

Gli obiettivi principali di una diagnosi energetica riguardano :

1. la definizione del bilancio energetico dell'edificio e l'individuazione dei possibili recuperi delle energie disperse;
2. l'individuazione di appropriate tecnologie "energy-saving" e valutazione delle opportunità tecnico-economiche per attuarle;
3. l'ottimizzazione delle modalità di gestione dell'edificio (contratti di fornitura di energia, modalità di conduzione, ecc.) ai fini di una riduzione dei costi di gestione.

In merito a quest'ultimo punto è importante sottolineare come, in caso di complessi edilizi particolarmente energivori, sia opportuno scegliere adeguatamente una serie di parametri contrattuali che definiscono le modalità della fornitura; una non corretta scelta di tali parametri può indurre rilevanti aggravii nei costi energetici annuali.

Gli obiettivi evidenziati sono perseguiti attraverso due distinte fasi.

La prima riguarda la caratterizzazione del sistema edificio, la stesura dei modelli energetici, la valutazione dei consumi specifici, l'elaborazione dei bilanci di energia e il confronto con tecnologie e dati di riferimento.

La seconda riguarda invece la valutazione della fattibilità tecnico-economica di eventuali interventi finalizzati a un incremento dell'efficienza energetica del sistema edificio.

¹ **Edificio:** sistema costituito dal fabbricato e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi ad un intero fabbricato e relativi impianti ovvero a parti di fabbricato e relativi impianti progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti.

Al fine di valutare la prestazione energetica occorre predisporre:

- Un **modello energetico** (termico ed elettrico) che riassume la tipologia di utenza, le potenze installate, i profili di utilizzazione e le ore di funzionamento degli impianti.
- Un **bilancio energetico** che descriva l'andamento dei flussi energetici caratteristici dell'edificio in modo da valutare in maniera puntuale i consumi specifici, le criticità e gli interventi da considerare.

L'esito della diagnosi energetica consente, in conclusione, di valutare il fabbisogno caratteristico dell'edificio e di individuare degli indicatori di consumo specifico rappresentativi della prestazione energetica.

Eventuali differenze emerse dal confronto di tali indicatori con quelli "reali" ricavati dalle bollette energetiche, consentono di valutare l'accuratezza delle ipotesi assunte.

L'approccio metodologico utilizzato è quello suggerito dalla principale normativa tecnica di riferimento (UNI CEI EN 16247 parte 1,2,3 e UNI CEI/TR 11428) che prevede la costruzione di modelli energetici i cui risultati devono convergere con le prestazioni derivanti dai dati di consumo effettivo, così come riportato nello schema proposto in Figura 1.

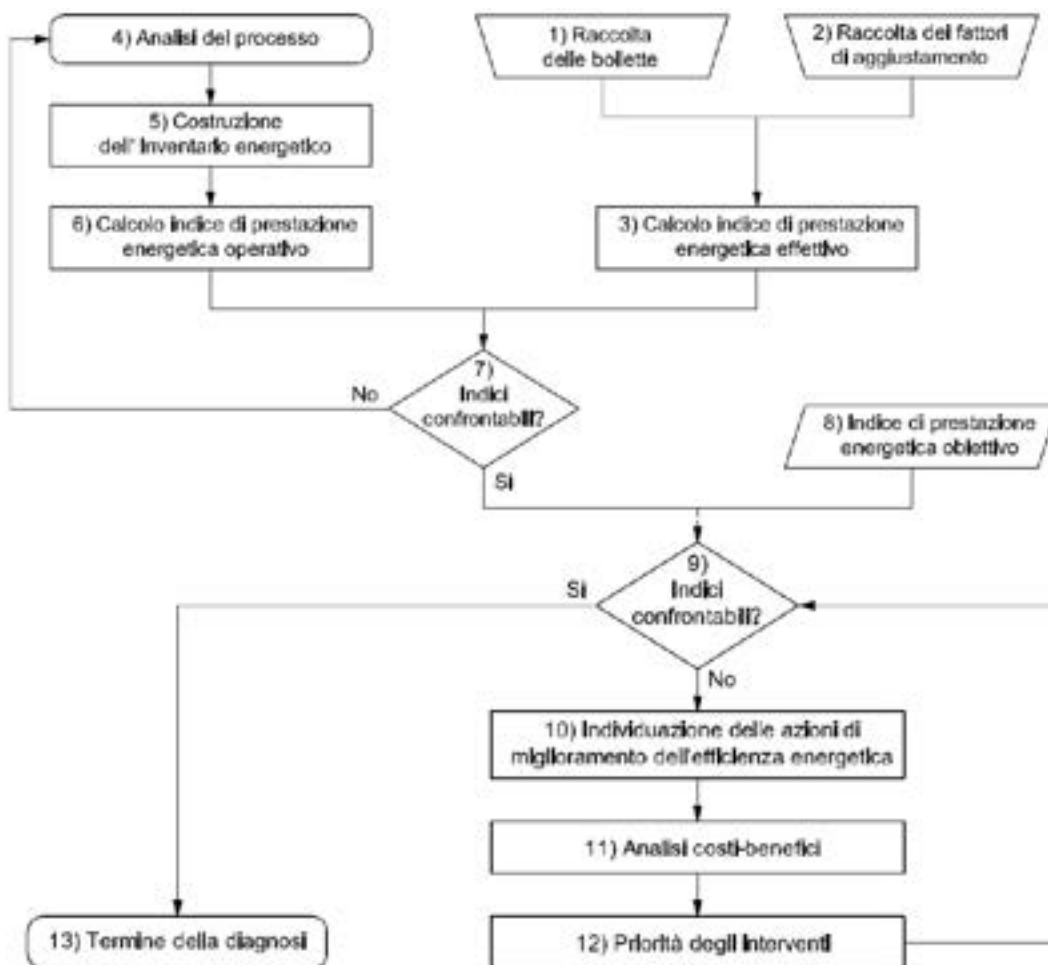


Figura 1 Flow chart del processo di diagnosi energetica (UNI CEI/TR 11428)

2.2 Lo strumento di calcolo SEAS 3.0 per l'analisi energetica

SEAS 3.0, acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati (o Simplified Energy Auditing Software), è un software per la diagnosi energetica degli edifici nato da una collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa.

Lo sviluppo di tale software è rientrato all'interno del programma della "Ricerca di sistema elettrico", le cui attività, obiettivi e stanziamenti economici sono definiti attraverso Piani triennali, approvati dal Ministero dello Sviluppo Economico e predisposti dal Comitato di Esperti di Ricerca per il Settore Elettrico, previa acquisizione del parere dell'AEEG, del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare e della Cassa Conguaglio per il Settore Elettrico (CCSE).

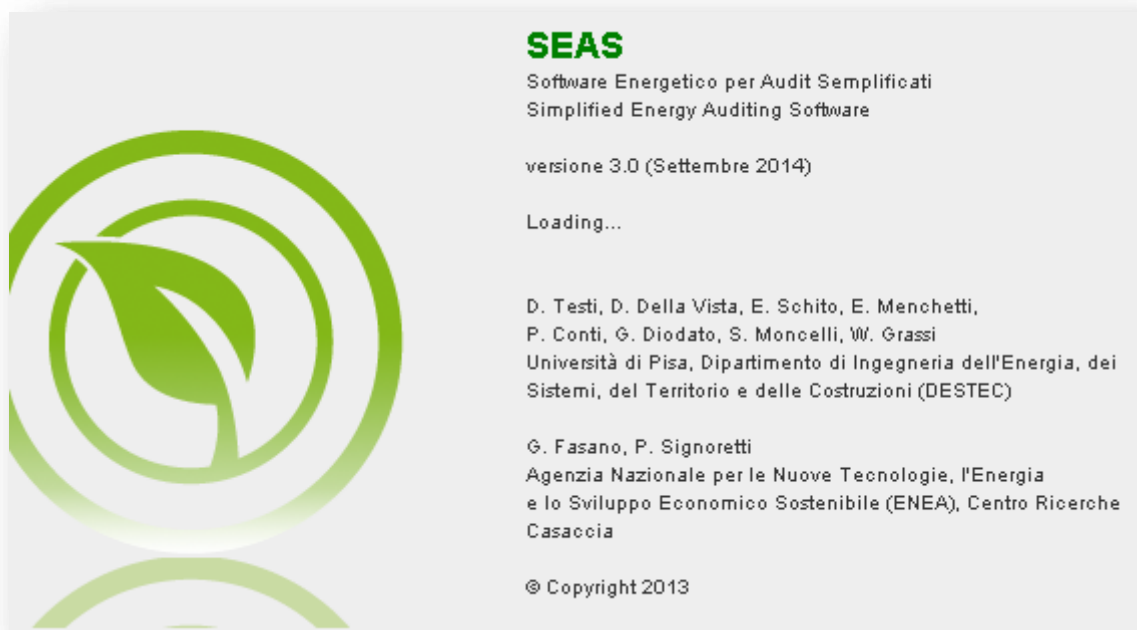


Figura 2 Immagine di avvio di SEAS 3.0

Il software è stato concepito con l'obiettivo di mettere a disposizione degli utenti del settore uno strumento flessibile e di semplice utilizzo, con interfaccia grafica, che risponda all'esigenza – sempre più strategica a livello territoriale e nazionale – di diffondere la pratica degli audit energetici degli edifici e verificare le possibilità di contenimento degli usi energetici tramite opportuni interventi di riqualificazione. A differenza della certificazione energetica, la procedura di diagnosi è infatti più accurata, in quanto tiene conto delle effettive condizioni di utilizzo dei locali e degli impianti, e i fabbisogni stimati dei vari vettori energetici sono confrontati con le reali fatturazioni energetiche a carico dell'utenza.

SEAS 3.0 è dedicato all'edilizia residenziale, agli uffici, alle scuole e agli ambienti non severi di edifici adibiti ad attività ospedaliera.

La realizzazione di un software per le diagnosi energetiche si inquadra perfettamente nell'attuale contesto normativo. In particolar modo si ricorda la Direttiva Europea 2012/27/EU del 25 Ottobre 2012, che prevede l'utilizzo della procedura di diagnosi energetica per riqualificare ogni anno il 3% della superficie climatizzata. Per gli edifici delle pubbliche amministrazioni, tale obbligo è in vigore a partire dal 1° Gennaio 2014, mentre per gli edifici proprietà di grandi imprese, tale obbligo è in vigore a partire dal 5 Dicembre 2015. In Italia, la Direttiva Europea è stata recepita con il Decreto Legislativo n.102 del 4 Luglio 2014, che

promuove l'uso efficiente dell'energia per raggiungere l'obiettivo nazionale di ridurre le richieste di energia primaria di 20 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio entro il 2020.

SEAS 3.0 ha un'interfaccia grafica in ambiente JAVA e svolge il calcolo dei fabbisogni dei vettori energetici per i servizi di riscaldamento (esclusi gli impianti aereali, con la sola eccezione di quelli misti aria-acqua noti comunemente come impianti ad aria primaria), per la produzione di acqua calda sanitaria e dell'energia elettrica per illuminazione ed per altre utenze.

Nel calcolo è incluso anche il contributo delle eventuali fonti rinnovabili impiegate, quali pannelli solari termici, moduli fotovoltaici, pompe di calore, generatori di calore a biomassa. Oltre ai generatori tradizionali e a quelli già citati, è disponibile il calcolo dell'efficienza delle sottostazioni di teleriscaldamento. È inoltre possibile effettuare calcoli multi-zona (esempio: diverse utenze e impianto centralizzato) e multi-generatore. Un'ulteriore routine permette di svolgere l'analisi costi-benefici dei possibili interventi di retrofit energetico proposti dall'auditor.

Tutte le routine realizzate fanno riferimento alle procedure di calcolo delle UNI/TS 11300; tuttavia, in alcuni casi si discostano dalla metodologia riportata in normativa a favore di metodi originali, più precisi o comunque più indicati per la procedura di diagnosi.

2.3 SEAS 3.0: la struttura, il processo di calcolo e l'inserimento dati

Il flusso di calcolo seguito da SEAS 3.0 percorre un processo sequenziale che richiede l'inserimento di dati assistito tramite l'interfaccia del software. La griglia degli input richiesti può costituire un'utile check list a supporto dell'auditor nella fase preliminare di richiesta/produzione documentazione che costituirà la base per poter svolgere la diagnosi energetica dell'oggetto di studio.

L'inserimento dati può essere schematizzato in 4 macro-sezioni.

1. Anagrafica e contesto geografico: oltre ai dati identificativi dell'edificio oggetto di studio vengono richiesti i dati geografici e climatici, al fine di definire le condizioni al contorno che influiscono sulle prestazioni dell'edificio e che innescano i flussi energetici in ingresso e in uscita tra esso e l'ambiente che lo circonda. Tra questi, la temperatura esterna e l'irraggiamento globale sul piano orizzontale sono di primaria rilevanza. Queste serie di dati con frequenza mensile sono attribuibili in maniera automatica se desunti dalla normativa tecnica che raccoglie i dati climatici del territorio nazionale. In alternativa è possibile inserire dati derivanti da campagne di monitoraggio nel caso che l'auditor abbia preventivamente predisposto idonea strumentazione di campo. Questa seconda modalità è sicuramente da auspicare in quanto i consumi reali desunti da fatturazioni, con i quali confrontare i consumi presunti derivanti dal modello, sono strettamente correlati all'andamento dei dati climatici corrispondenti.
2. Dati del sistema edificio per il calcolo del fabbisogno energetico totale:
 - a. Sono richiesti superfici e volumi delle zone termiche individuate, la descrizione puntuale dei profili reali di utilizzo (numero di presenze degli utenti secondo time step bi-orari), profili di accensione dell'impianto di riscaldamento (possibilità di scelta tra accensione continua, in regime di intermittenza o di attenuazione), profili di attivazione delle chiusure oscuranti (time step bi-orari per il calcolo del fattore di utilizzo degli apporti solari), profili di apertura dei serramenti (time step bi-orari per il calcolo delle portate d'aria dovute a ventilazione naturale).

SEAS (Software Energetico per Audit Semplificati) - SMS_Setta_Carbonia

File Edit Help

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

Attività della persona: Attività sedentaria (ufficio, casa, scuola, laboratorio) | Altro

Schede settimanale presenze

Giorni feriali

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00			<input type="checkbox"/>
02.00-04.00			<input checked="" type="checkbox"/>
04.00-06.00			<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	6 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
08.00-10.00	210 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
10.00-12.00	210 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
12.00-14.00	210 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
14.00-16.00	6 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
16.00-18.00	0		<input checked="" type="checkbox"/>
18.00-20.00	0		<input checked="" type="checkbox"/>
20.00-22.00			<input type="checkbox"/>
22.00-00.00			<input type="checkbox"/>

Giorni festivi (sabato incluso)

Ore	Persone	Fonte input	Dato incerto
00.00-02.00			<input type="checkbox"/>
02.00-04.00			<input type="checkbox"/>
04.00-06.00			<input type="checkbox"/>
06.00-08.00	3 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
08.00-10.00	105 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
10.00-12.00	105 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
12.00-14.00	105 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
14.00-16.00	3 Altro		<input checked="" type="checkbox"/>
16.00-18.00			<input type="checkbox"/>
18.00-20.00			<input type="checkbox"/>
20.00-22.00			<input type="checkbox"/>
22.00-00.00			<input type="checkbox"/>

Profilo di utilizzo mensile

Numero medio di giorni di assenza dalla zona (non utilizzo delle apparecchiature elettriche, assenza apporti gratuiti interni, etc.)

Mese	Giorni	Fonte input	Dato incerto
Gennaio	10	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Febbraio	4	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Marzo	9	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprile	1	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Maggio	5	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Giugno	23	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Luglio	23	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Agosto	23	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Settembre	10	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Ottobre	4	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Novembre	5	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>
Dicembre	9	Enti terzi	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 4 Inserimento profilo delle presenze

- b. Descrizione dell'involucro edilizio: caratteristiche geometriche e dimensionali delle superfici opache e trasparenti, suddivise per esposizione, confinanti con l'ambiente esterno (descrizione di eventuale presenza di elementi schermanti) o con altri ambienti non climatizzati, per il calcolo delle dispersioni per trasmissione e degli apporti solari; individuazione e caratterizzazione dei ponti termici presenti nella struttura.

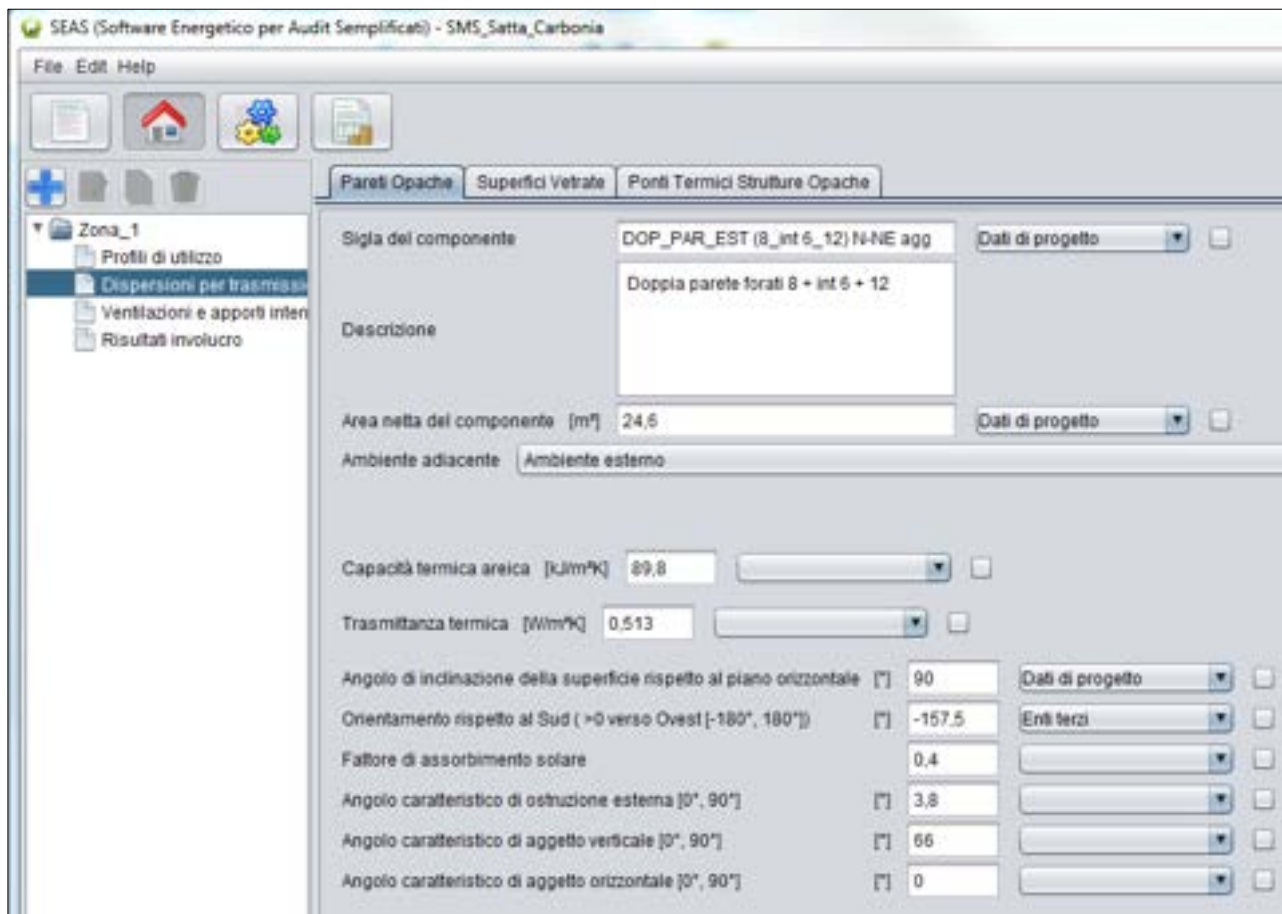


Figura 5 Descrizione superfici opache disperdenti

- c. Descrizione del sistema di ventilazione per la stima del contributo di ventilazione e infiltrazione nel bilancio termico dell'edificio, che può essere effettuato attraverso la norma UNI 10339 o attraverso un calcolo realistico; dati per il calcolo del fabbisogno di acqua calda per usi igienico sanitari; descrizione dei sistemi di illuminazione artificiale per la determinazione dei carichi interni elettrici.

I dati sull'involucro afferenti a questa sezione consentono il calcolo del fabbisogno netto per la climatizzazione invernale, suddiviso nelle singole componenti, determinato attraverso il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti ed il fattore correttivo per tener conto del regime di attenuazione o intermittenza:

- carichi interni non gratuiti;
- carichi interni dovuti alla presenza di persone;
- apporti solari attraverso le pareti opache;
- apporti solari attraverso le pareti trasparenti;
- perdite per ventilazione;
- perdite per trasmissione attraverso pareti opache;

- perdite per trasmissione attraverso pareti trasparenti;
- perdite attraverso ponti termici;
- perdite per infiltrazioni;

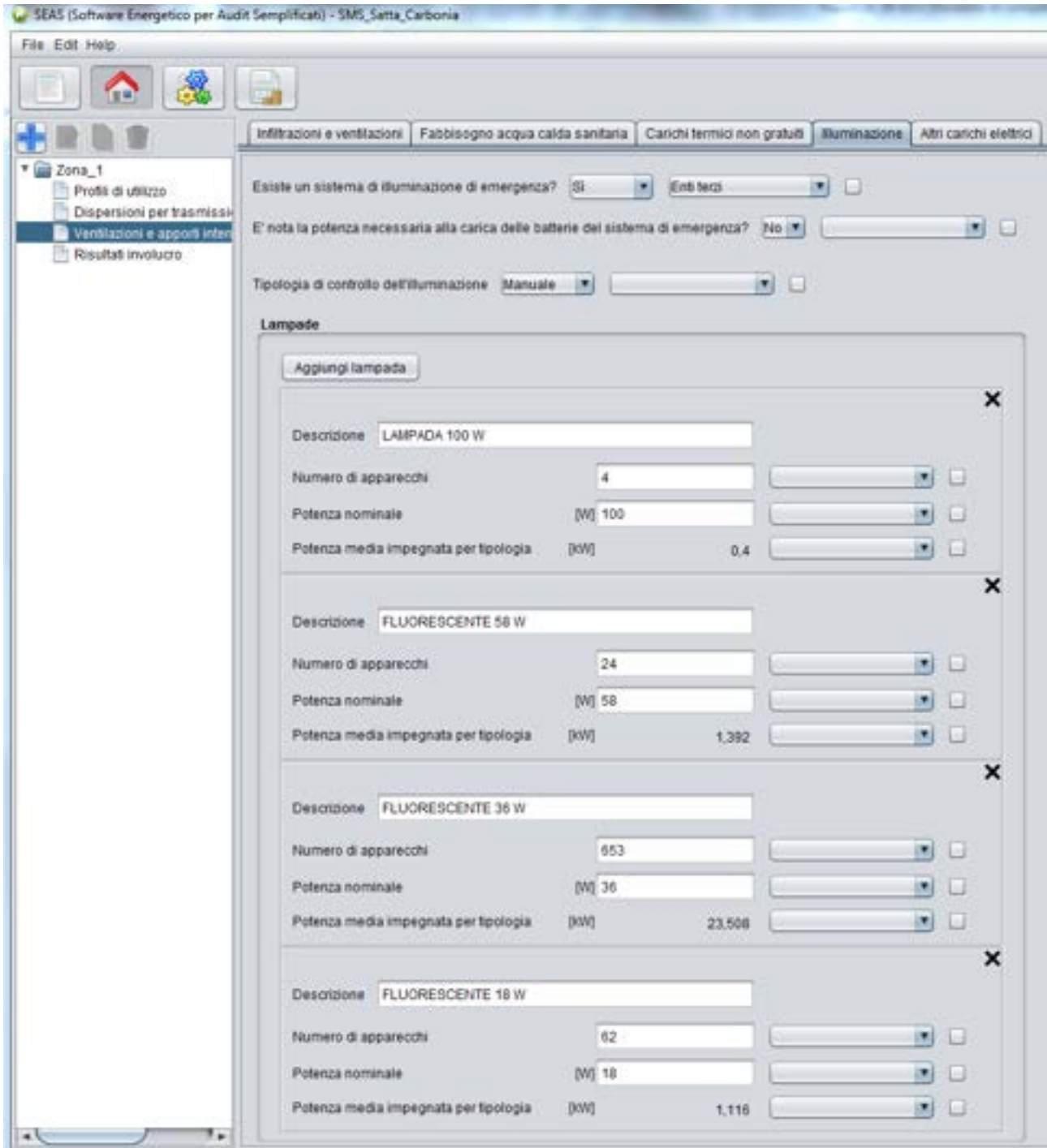


Figura 6 Descrizione dell'impianto di illuminazione artificiale

3. Dati sul sistema impiantistico per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, con l'eventuale contributo da fonti rinnovabili, quali impianti fotovoltaici o solari termici, per il calcolo dei consumi energetici suddivisi per vettore energetico utilizzato:
 - a. Descrizione del sottosistema di emissione (determinazione del rendimento di emissione e dell'energia in ingresso al sottosistema);
 - b. Descrizione del sottosistema di regolazione (determinazione del rendimento di emissione e dell'energia in ingresso al sottosistema);
 - c. Descrizione del sottosistema di distribuzione (riscaldamento e/o acqua calda sanitaria), con possibilità di descrizione analitica delle reti (individuazione delle perdite attraverso le tubazioni e determinazione del rendimento di distribuzione e dell'energia in ingresso al sottosistema) e degli ausiliari (valutazione dei consumi di energia elettrica per gli ausiliari di circolazione);
 - d. Descrizione del sistema di accumulo (determinazione del rendimento e delle perdite termiche di accumulo);
 - e. Descrizione dell'impianto solare termico per produzione di acqua calda sanitaria e/o riscaldamento (determinazione della producibilità di energia da solare termico);
 - f. Descrizione del sistema di generazione per l'impianto di climatizzazione invernale (determinazione dell'efficienza del sistema di generazione, dell'energia in ingresso al generatore e dell'energia elettrica per gli ausiliari di generazione);
 - g. Descrizione del sistema di generazione per l'impianto di produzione di acqua calda sanitaria (determinazione dell'efficienza del sistema di generazione, dell'energia in ingresso al generatore e dell'energia elettrica per gli ausiliari di generazione);
 - h. Descrizione dell'impianto fotovoltaico, per la determinazione della producibilità di energia elettrica.

Potenza nominale a pieno carico [kW] 345

Rendimento a pieno carico [%] 91.3

Potenza elettrica ausiliari a pieno carico [W] 700

Tipo di generatore: On/Off

Fattore di carico		Energia in entrata al generatore	
Mese		Mese	kWh
Gennaio	0.85	Gennaio	46 832.8
Febbraio	0.81	Febbraio	50 348.45
Marzo	0.27	Marzo	16 871.6
Aprile	0	Aprile	0
Maggio	0	Maggio	0
Giugno	0	Giugno	0
Luglio	0	Luglio	0
Agosto	0	Agosto	0
Settembre	0	Settembre	0
Ottobre	0	Ottobre	0
Novembre	0.14	Novembre	4 546.97
Dicembre	0.58	Dicembre	38 755.9

Efficienza del sistema di generazione		Energia elettrica ausiliari di generazione	
Mese		Mese	kWh
Gennaio	0.91	Gennaio	86.76
Febbraio	0.91	Febbraio	93.27
Marzo	0.91	Marzo	28.85
Aprile	0	Aprile	0
Maggio	0	Maggio	0
Giugno	0	Giugno	0
Luglio	0	Luglio	0
Agosto	0	Agosto	0
Settembre	0	Settembre	0
Ottobre	0	Ottobre	0
Novembre	0.91	Novembre	8.42
Dicembre	0.91	Dicembre	71.79

Figura 7 Descrizione dell'impianto di generazione e output calcolati

I dati relativi al sistema impiantistico afferenti a questa sezione consentono il calcolo dei consumi energetici per i diversi usi energetici:

- Consumi energetici per riscaldamento suddivisi per vettore energetico;
- Consumi energetici per acqua calda sanitaria suddivisi per vettore energetico;
- Consumi energetici per altri usi termici suddivisi per vettore energetico;
- Consumi energetici per impianti elettrici (illuminazione, energia da fotovoltaico e altri carichi elettrici);

Questi dati consentono infine di determinare i consumi energetici totali suddivisi per vettore energetico.

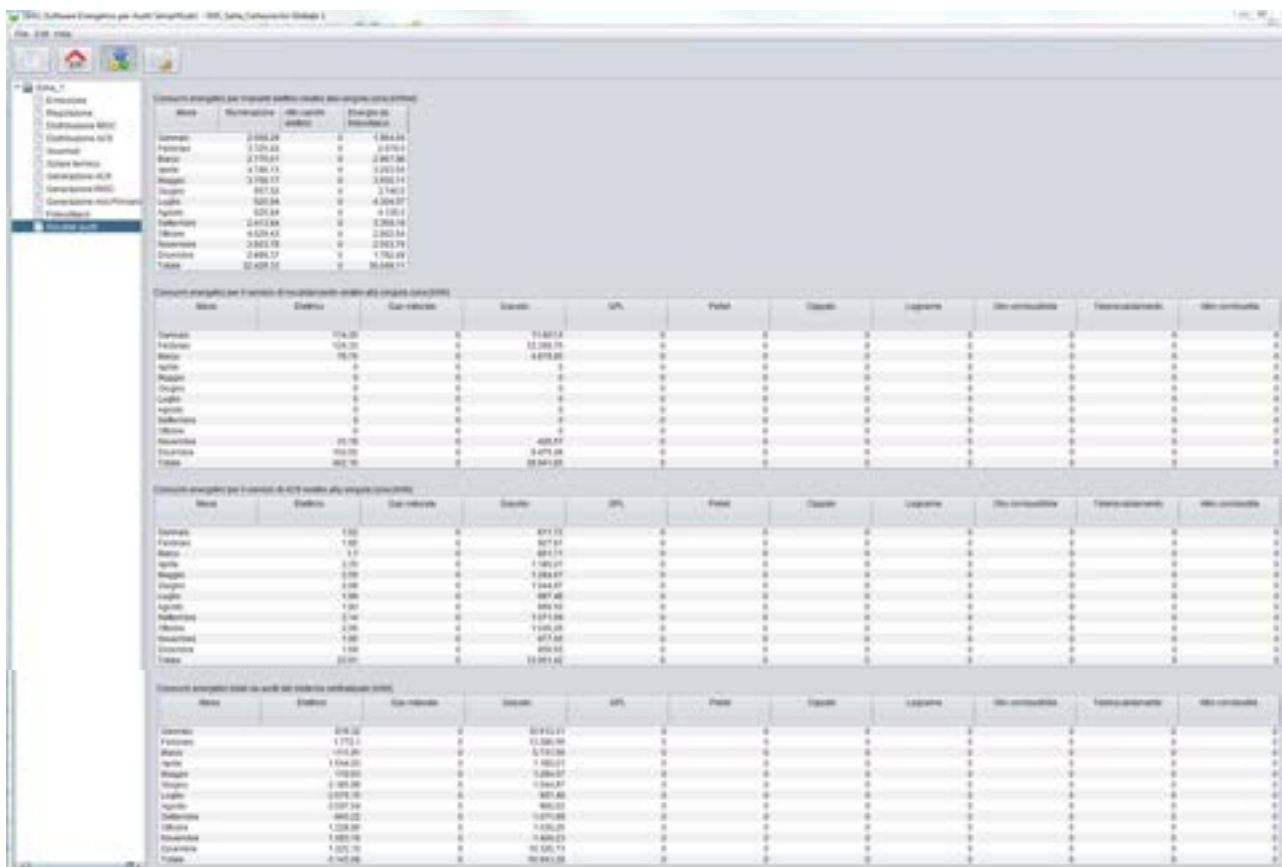


Figura 8 Consumi energetici suddivisi per vettore energetico

4. Dati relativi alle fatturazioni energetiche suddivise per vettore, riferite a periodi in cui è stata effettuata la simulazione delle prestazioni energetiche, e per i quali sono stati inseriti i dati climatici corrispondenti. Tale rilevazione consente di effettuare il confronto tra dati reali di consumo, cui si riferiscono le bollette energetiche, e i dati desunti dal calcolo effettuato con SEAS. Questo confronto è riportato in un’apposita sezione del programma.

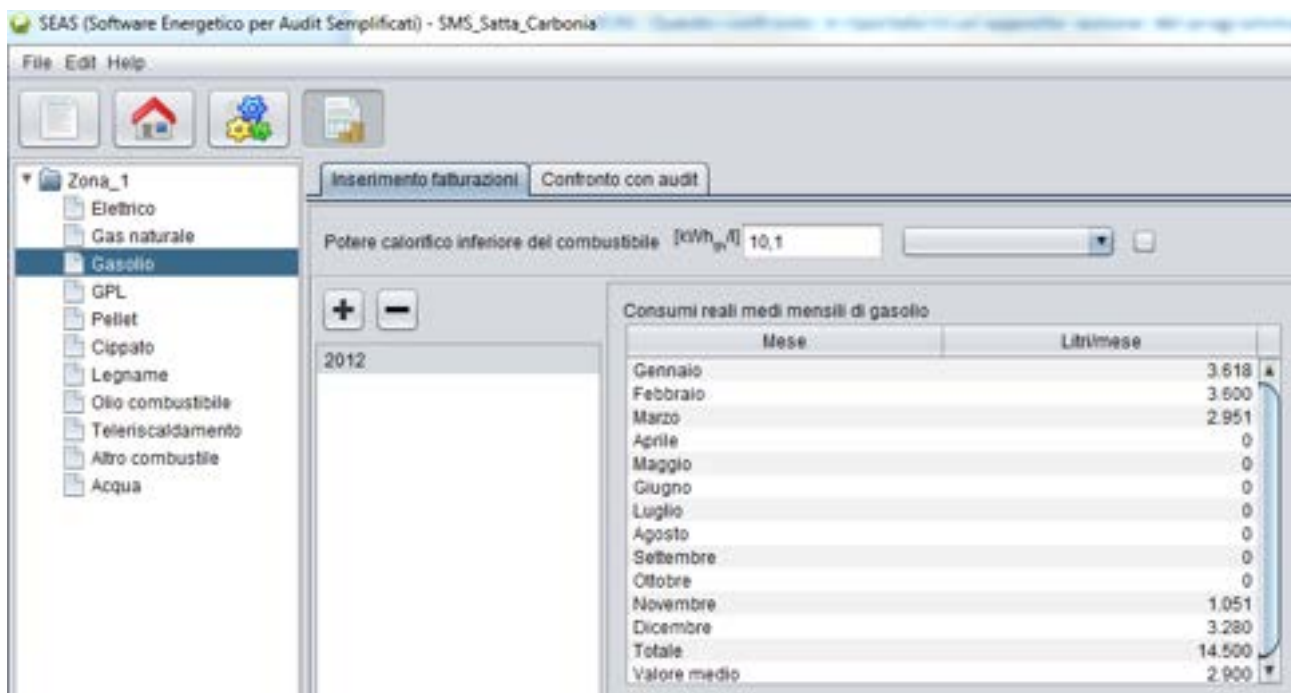


Figura 9 Fatturazione dei consumi energetici

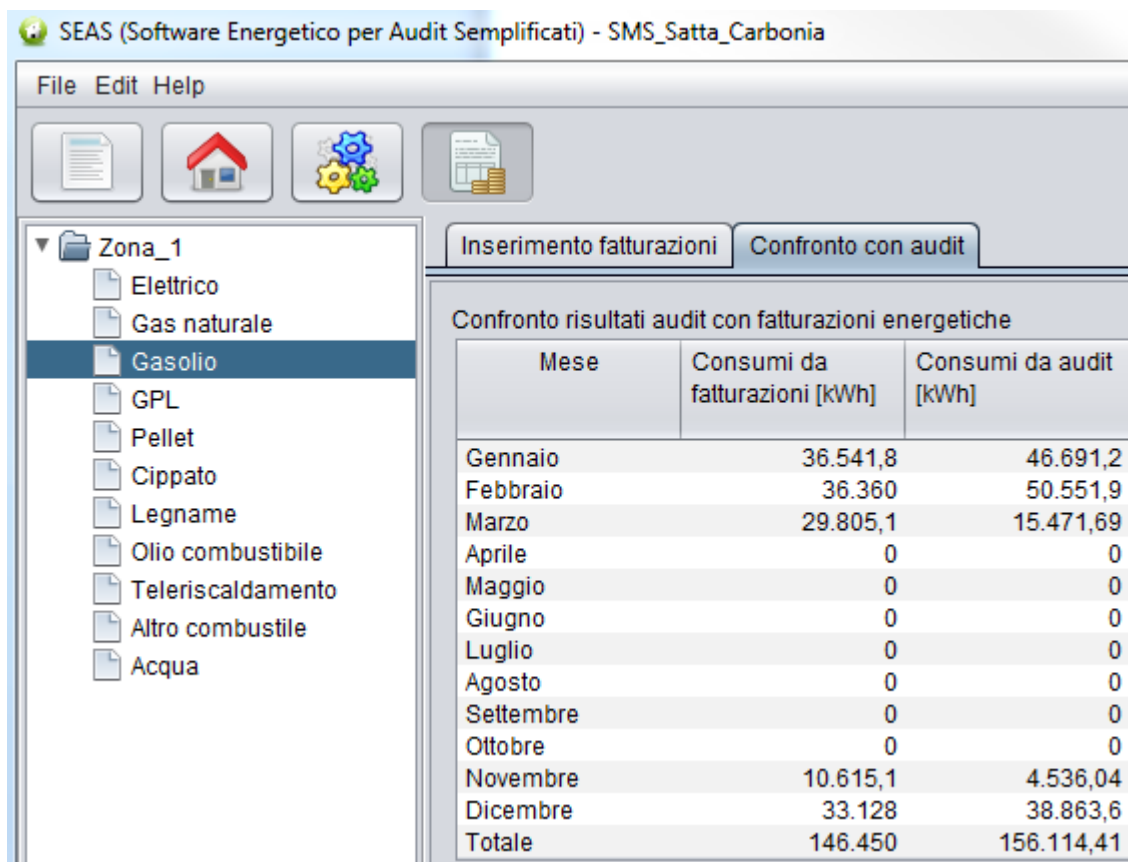


Figura 10 Confronto tra dati fatturati e dati stimati

2.4 SEAS 3.0: la valutazione economica

A valle del processo di calcolo e verifica finora descritto, SEAS offre la possibilità di effettuare un'analisi economica per valutare la convenienza dal punto di vista economico degli interventi di riqualificazione energetica, ipotizzati e simulati attraverso il processo di calcolo.

Esiste una routine dedicata che consente di verificare i risparmi raggiungibili, in seguito alla realizzazione dei singoli interventi di incremento dell'efficienza energetica proposti dall'auditor.

I dati richiesti dalla routine riguardano:

1. Usi energetici:
 - a. Consumi ante (edificio esistente) e post intervento suddivisi per vettore energetico;
 - b. Prezzo dell'energia;
 - c. Tasso annuo di aumento del prezzo;
 - d. Energia elettrica prodotta da fotovoltaico: pre e post intervento.
2. Dati sul sistema esistente
 - a. Prezzo del componente esistente, oggetto dell'intervento, allo stato attuale (come se ne dovesse comprare uno di analoghe caratteristiche tecniche);
 - b. Vita residua del componente esistente oggetto dell'intervento;
 - c. La vita utile del componente esistente oggetto dell'intervento ipotizzando di comprarne uno con caratteristiche tecniche analoghe a quello presente;
 - d. Costo annuale della manutenzione del componente esistente oggetto dell'intervento.
3. Tassi annui
 - a. Tasso di interesse col quale verrebbe remunerato l'investimento;
 - b. Tasso di inflazione;
 - c. Tasso di aumento dei Titoli di Efficienza Energetica, se presenti.
4. Dati Nuovo Sistema
 - a. La vita utile del componente oggetto dell'intervento;
 - b. Prezzo stimato per i costi di manutenzione annuale del componente oggetto dell'intervento.
5. Investimento: dati relativi alle risorse economiche destinate agli interventi di risparmio energetico per l'intervento in oggetto.
 - a. Quota economica immediatamente stanziata;
 - b. Quota che si intende eventualmente chiedere in prestito, in forma rateizzata, con il numero di anni del finanziamento richiesto;
 - c. Durata dell'eventuale finanziamento richiesto.
6. Sezioni dedicate ad eventuali incentivi cui si vuole accedere:
 - a. Titoli di Efficienza Energetica;
 - b. Conto Energia;
 - c. Altri incentivi.

I risultati dell'analisi economica vengono visualizzati in una schermata dedicata che riporta i seguenti indicatori:

1. Tempo di ritorno semplice;
2. Indice di profitto;
3. Indice energetico globale;
4. Valore netto al termine della vita utile;

5. Valore Attuale Netto, inteso come valore netto al termine della vita utile attualizzato;
6. Tasso Interno di rendimento.

SEAS - Analisi Economica

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

W. Grassi, D. Testi, E. Marchetti, D. Della Vasta, P. Conti, E. Schiò, G. Dodato, S. Mancini - Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC)
 P. Sgrovetti, G. Passeri - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Centro Ricerche Casaccia

Uti energetici

	Consumi pre-intervento (kWh/anno)	Consumi post-intervento (kWh/anno)	Prezzo dell'energia (€/kWh)	Tasso annuo di aumento prezzo energia (%)
En. elettrica	10128	2006	0.1910	
Gas naturale	1449	0	0.0720	
Cappello	0	4421	0.0400	
Gasolio	0	0	0	
Teleriscaldamento	0	0	0	
Olio combustibile	0	0	0	
GPL	0	0	0	
Pellet	0	0	0	
Legname	0	0	0	
Altri combustibili	0	0	0	

Esclusione da fotovoltaico prodotta pre-intervento (kWh/anno) Esclusione da fotovoltaico prodotta post-intervento (kWh/anno)

Dati sistema esistente

Prezzo sistema esistente (€)

Vita residua (anni)

Vita utile (anni)

Prezzo manutenzione (€/anno)

Tassi annuali

Tasso d'interesse (%)

Tasso d'inflazione (%)

Tasso di aumento dei TEE (%)

Dati nuovo sistema

Vita utile e manutenzione

Vita utile (anni)

Prezzo stimato 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)

Riparso annuo di energia termica valorizzabile in TEE (kWh/anno)

Riparso annuo di energia elettrica valorizzabile in TEE (kWh/anno)

N° anni di concessione dei TEE

Valore dei TEE per l'intervento (€/TEP)

Costo Energia (Fotovoltaico)

N° anni di concessione del costo energia

Valore della tariffa incentivante (€/kWh)

Altri incentivi

Una Tantum (€)

Inc. rateizzati (€)

Durata inc. rateizzati (Anni)

Fattore di conversione es. elettrica - es. primaria

Parametri per confronto tra interventi diversi

Casi singoli

Massima disponibilità iniziale per l'investimento (€)

Massima disponibilità annuale per investimenti rateizzati (€/anno)

Durata investimento (anni)

Carica dati

Salva dati

Help

Calcola

Figura 11 Routine per l'analisi economica degli interventi

Nella schermata che riporta gli indicatori economici calcolati da SEAS sono evidenziati due grafici; il primo rappresenta il valore del flusso di cassa relativo allo scenario base e allo scenario dell'investimento in tutti gli anni della vita utile; il secondo grafico mostra il valore netto anno per anno in tutti gli anni di vita utile.

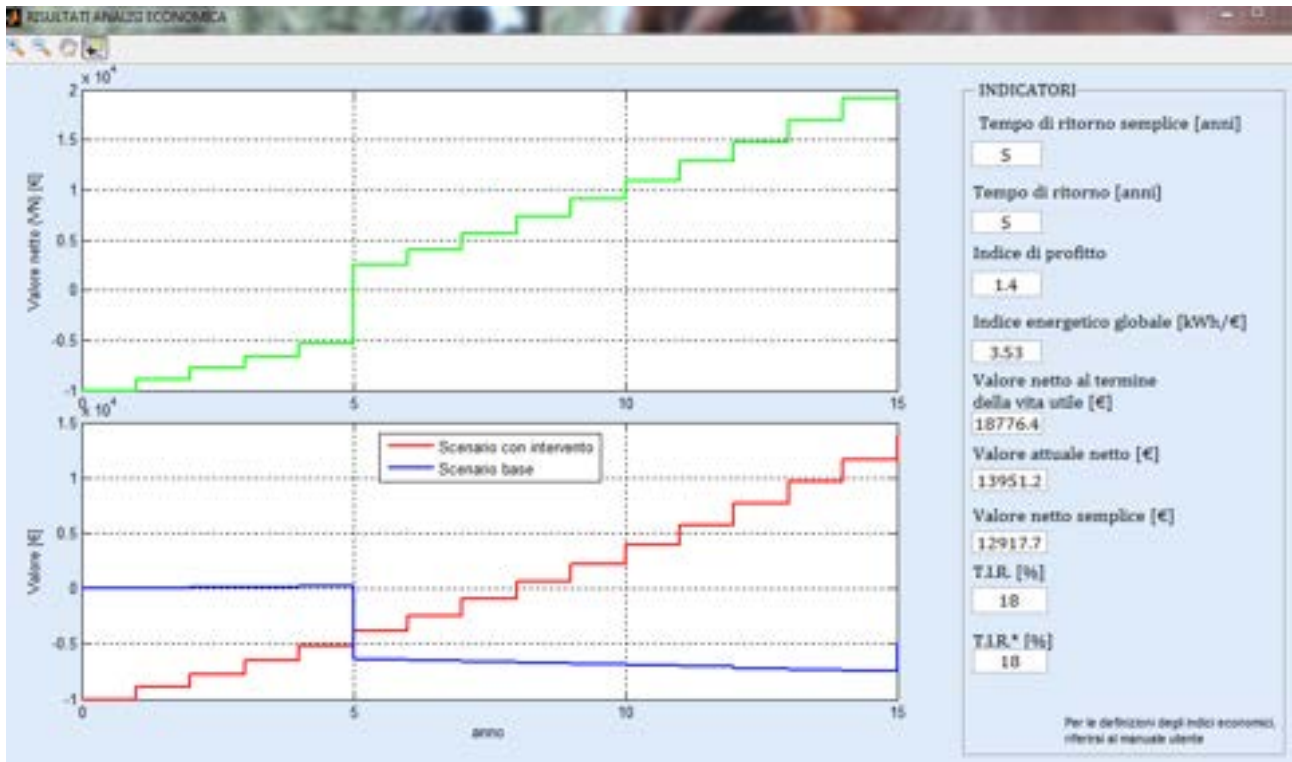


Figura 12 Indicatori economici

3 La scuola secondaria di primo grado "Sebastiano Satta"

Per effettuare una valutazione delle prestazioni energetiche della Scuola Sebastiano Satta e per proporre alcuni interventi mirati al miglioramento dell'efficienza complessiva del sistema edificio, con particolare attenzione sia agli aspetti strettamente tecnici che a quelli che giustificano la convenienza economica degli investimenti da porre in atto, è stato necessario reperire, raccogliere ed elaborare una notevole mole di dati.

La conoscenza del software SEAS 3.0 è stata utilizzata anche come guida per la predisposizione di una check list dei dati necessari per l'analisi dello stato di fatto e per l'individuazione delle opportunità di risparmio energetico, che risultassero tecnicamente ed economicamente convenienti.

Seguendo quindi la descrizione dei parametri di input precedentemente elencati, riportiamo di seguito i dati fondamentali, suddivisi per aree tematiche, necessari a realizzare la diagnosi energetica dell'edificio oggetto di studio.

3.1 I dati climatici del sito in esame

Coordinate geografiche

Comune: Carbonia (CI)

Gradi Giorno: 922

Zona climatica: C

Altitudine: 111 m s.l.m.

Latitudine: 39°10'

Longitudine: 8°32'

Dati climatici di riferimento

I dati geografici e climatici specifici di Carbonia, trattandosi di una località non compresa tra le stazioni di rilevazione dei parametri climatici di riferimento previste dalla Norma 10349-1 2016 " *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata*", sono stati calcolati secondo i criteri forniti dalla stessa Norma, prendendo a riferimento la stazione di rilevazione più vicina in linea d'aria (Iglesias n.24).

E' quindi stato possibile ricavare i seguenti dati:

- Temperatura dell'aria esterna, valori medi mensili;
- Valori medi mensili della pressione di vapore media giornaliera dell'aria esterna e i corrispondenti valori di umidità relativa;
- Radiazione solare giornaliera media mensile diffusa (H_{dh}), diretta (H_{bh}) e globale (H_h) su piano orizzontale.

Mese	Tmed [°C]	Pv [Pa]	UR [%]	H _{dh} [MJ/m ²]	H _{bh} [MJ/m ²]	H _h [MJ/m ²]
Gennaio	9,8	945	78%	3,3	3,2	6,5
Febbraio	10,0	951	77%	4,1	4,7	8,8
Marzo	11,3	943	71%	5,9	7,9	13,8
Aprile	13,4	1053	69%	7,9	9,4	17,3
Maggio	18,5	1404	66%	9,6	10,1	19,7
Giugno	22,0	1339	51%	10,7	12,5	23,2
Luglio	24,3	1581	52%	10,8	11,7	22,5
Agosto	25,1	1652	52%	9,1	11,7	20,8
Settembre	21,7	1514	58%	7,5	8,6	16,1
Ottobre	18,6	1669	78%	5,2	4,3	9,5
Novembre	12,7	1153	79%	3,1	2,1	5,2
Dicembre	9,8	944	78%	2,8	2,6	5,4
Media annuale	16,5	1265	68%	6,7	7,4	14,1

Tabella 1. Prospetto dati climatici Norma 10349-1

Accanto ai dati climatici di Carbonia, ricavati a partire dalla suddetta Norma, sono stati considerati anche quelli misurati nel periodo 2012-2014 e relativi alle medie mensili della temperatura, dell'umidità relativa e della radiazione solare globale al suolo su piano orizzontale. Il periodo prescelto corrisponde a quello di cui si ha la disponibilità dei consumi energetici annuali fatturati, in modo che sia possibile correlare i consumi reali da bolletta con le variabili climatiche che contribuiscono a determinarli.

Mese	Tmed [°C]	UR [%]	H _h [MJ/m ²]
Gennaio	9,9	81%	6,5
Febbraio	8,6	79%	9,4
Marzo	12,1	78%	13,6
Aprile	14,9	75%	19,2
Maggio	18,0	70%	23,4
Giugno	23,8	62%	27,0
Luglio	26,2	64%	25,5
Agosto	27,1	64%	23,5
Settembre	23,1	68%	18,0
Ottobre	20,8	74%	12,8
Novembre	15,2	79%	7,7
Dicembre	11,0	80%	6,2
Media annuale	17,6	73%	16,1

Tabella 2. Prospetto dati climatici medi misurati nel periodo 2012-2014

Nei diagrammi che seguono si è voluto evidenziare lo scostamento tra valori desunti dalla normativa citata e valori misurati.

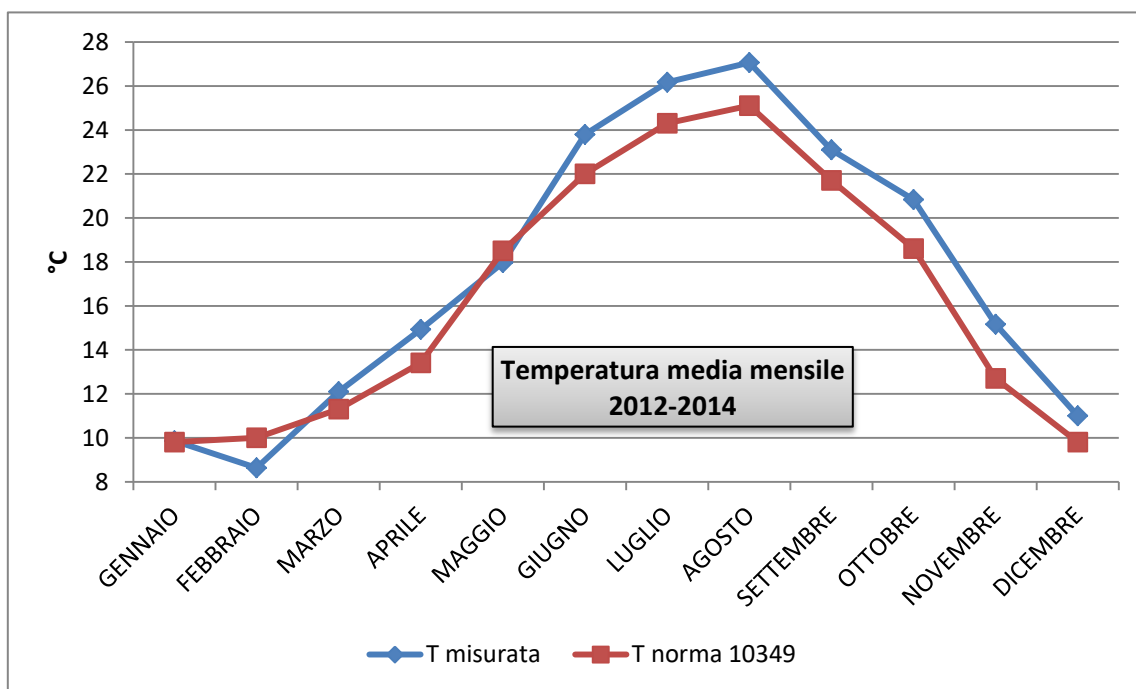


Figura 13 Temperatura media mensile - Confronto tra valori misurati e valori normati

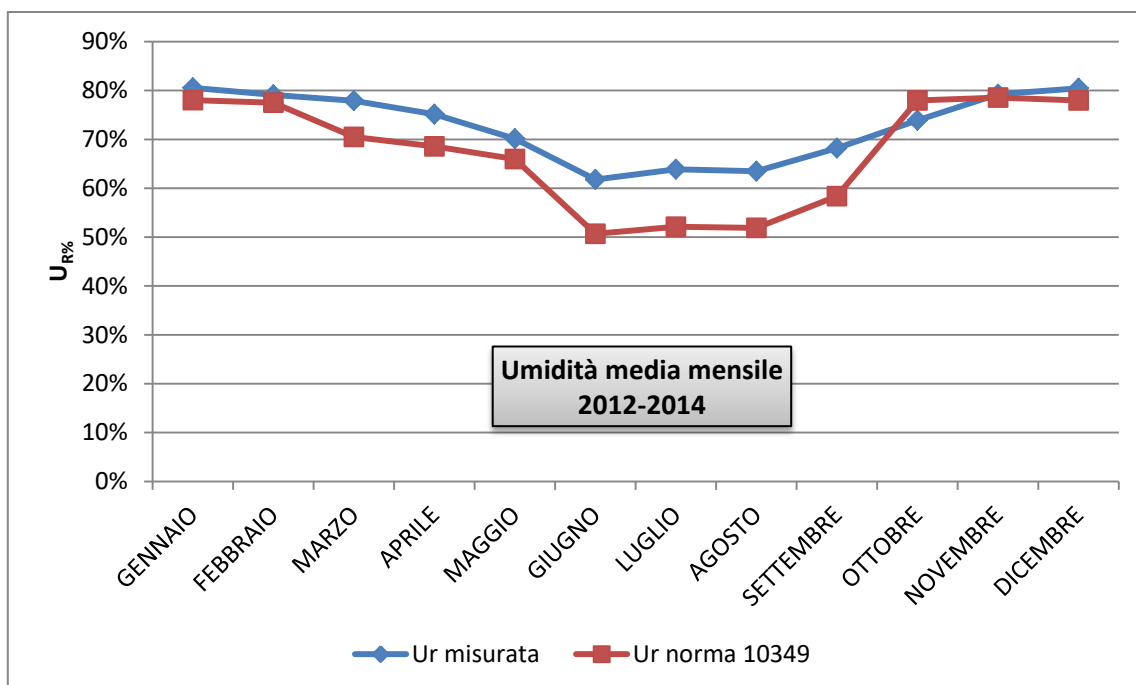


Figura 14 Umidità relativa percentuale - Confronto tra valori misurati e valori normati

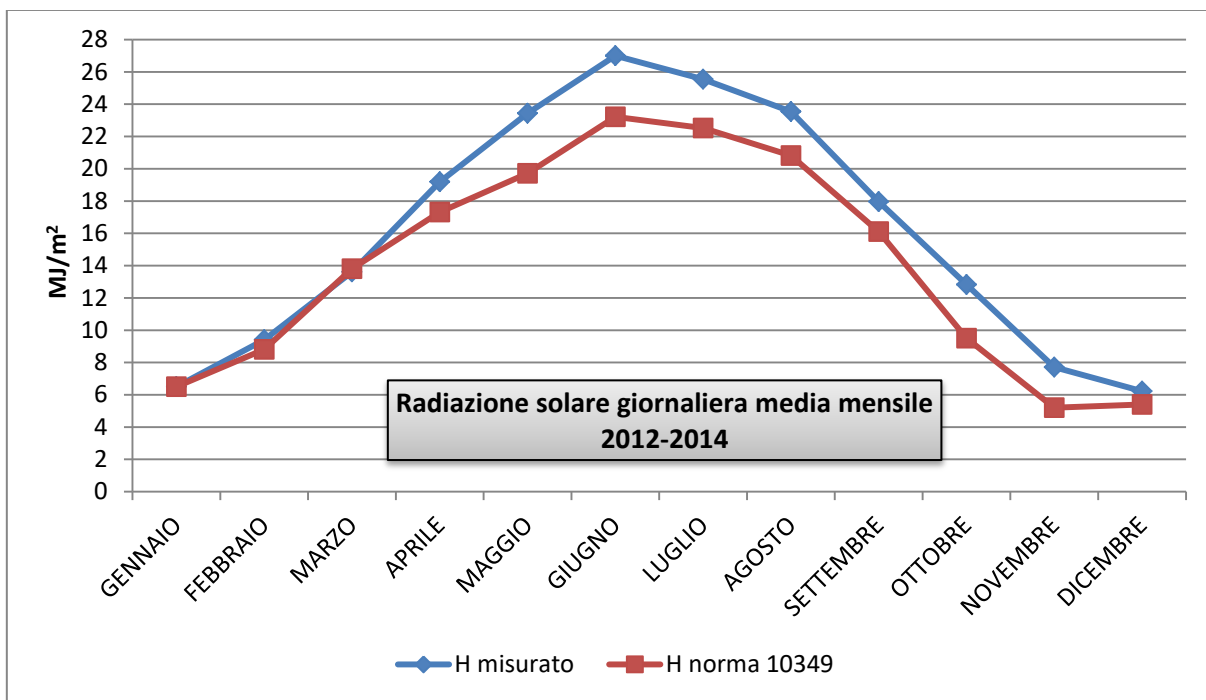


Figura 15. Radiazione solare globale al suolo - Confronto tra valori misurati e valori normati

Le differenze che si riscontrano negli andamenti della temperatura media mensile, dell'umidità relativa media mensile e della radiazione solare giornaliera media mensile tra i valori misurati e quelli ricavati dalla Norma 10349-1, sono legati alla definizione di anno tipo che presuppone, tra l'altro, per ciascun mese dell'anno, un valore della specifica grandezza climatica ricavato dall'analisi dei valori misurati dalle stazioni meteorologiche di riferimento nello stesso mese per un arco temporale di almeno 10 anni.

Questo valore rappresenta quindi una media della caratteristica climatica e può perciò discostarsi, anche in maniera considerevole, rispetto a quello misurato nell'ambito di uno specifico anno o, come nel caso che stiamo trattando, rispetto a quello del valore medio di un numero di anni per periodi più brevi e temporalmente differenti di quelli utilizzati per la definizione di anno meteorologico tipo.

3.2 L'edificio scolastico oggetto di studio

La struttura che ospita la scuola secondaria di primo grado Sebastiano Satta, sorge nella zona meridionale dell'abitato di Carbonia, ed è un edificio pubblico di proprietà del Comune, situato in via della Vittoria, articolato su tre livelli, di cui due fuori terra e uno seminterrato.

È caratterizzato da una distribuzione planivolumetrica a forma di "C" ed ha un orientamento Nord-Est/Sud-Ovest nella parte parallela alla via Della Vittoria, (vedi Figura 17), mentre le due sue estensioni (ali della C- vedi Figura 18) seguono l'andamento "Est-Sud/Ovest- Nord".



Figura 16. Foto aerea della scuola Sebastiano Satta di Carbonia

L'originario edificio con distribuzione a forma di L, realizzato secondo il razionalismo tipico dell'architettura del ventennio fascista (1938-39), ha subito nel corso degli anni degli importanti interventi edificatori che hanno portato alla conformazione planimetrica attuale, e hanno riguardato la realizzazione di un'ala aggiuntiva e dei nuovi ambienti al piano primo.

Attualmente l'edificio risulta composto da un corpo centrale, adiacente alla via Della Vittoria, che si sviluppa su due piani fuori terra e su un piano seminterrato e due corpi secondari posizionati agli estremi del corpo principale, che si sviluppano verso il cortile posteriore, anch'essi composti da due livelli.

La volumetria attuale lorda è circa pari a 20.525 m³.



Figura 17. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Vista Corpo centrale (via della Vittoria)



Figura 18. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Vista cortile interno

4 L'analisi energetica dell'edificio scolastico: lo stato di fatto

4.1 Rilievo e raccolta dati

Il calcolo del Fabbisogno energetico rende necessaria la conoscenza della geometria dell'edificio in esame in termini di superfici e volumi, nonché la caratterizzazione termo-fisica di tutti i componenti che costituiscono l'involucro edilizio.

In Tabella 3 si riportano i dati riepilogativi riguardo la geometria (vedi planimetria di Figura 19) ed, in seguito, gli abachi delle strutture opache e dei serramenti, in cui vengono descritte le dimensioni e le caratteristiche termo-fisiche dei componenti opachi e trasparenti.

Superficie Lorda Disperdente [m ²]	Superficie utile Totale [m ²]	Volume interno netto [m ³]	Volume Lordo [m ³]	Rapporto S/V [m ⁻¹]
6.325	3.582	13.467	17.759	0,36

Tabella 3. Dati dimensionali dell'edificio

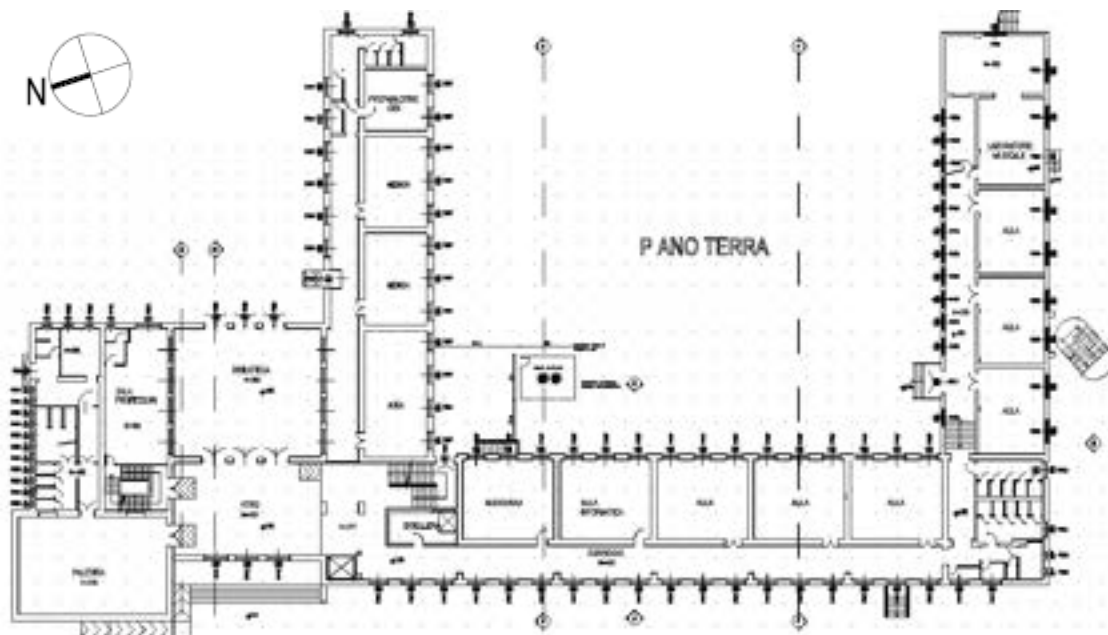


Figura 19 Planimetria dell'edificio scolastico

A seguire, si riportano i prospetti principali dell'edificio scolastico relativi agli orientamenti O-NO, S-SO, E-SE e N-NE.



Figura 20. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Prospetto O-NO



Figura 21. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Prospetto S-SO



Figura 22. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Prospetto E-SE

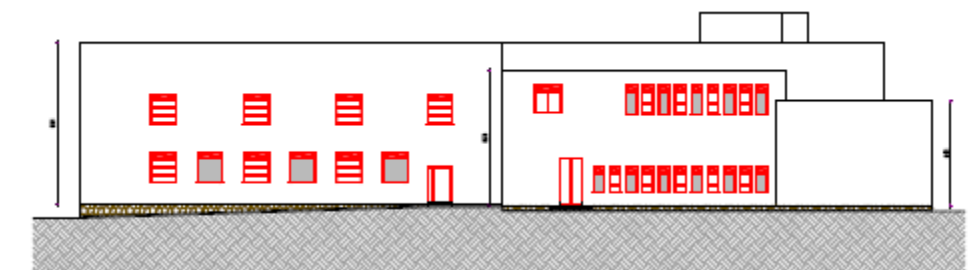


Figura 23. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Prospetto N-NE

4.1.1 Profili di utilizzo

Profilo presenze

Il profilo occupazionale dell'edificio è caratterizzato dal fatto che l'istituto scolastico ospita circa 4 classi per ognuno dei tre anni di corso, con un numero di studenti variabile in funzione delle iscrizioni (170-220 unità); il numero di medio di personale docente e non docente presente è invece poco superiore alle 30 unità.

Il numero di ore settimanali di lezione è pari a 30, ripartite su sei giorni settimanali (lunedì-sabato).

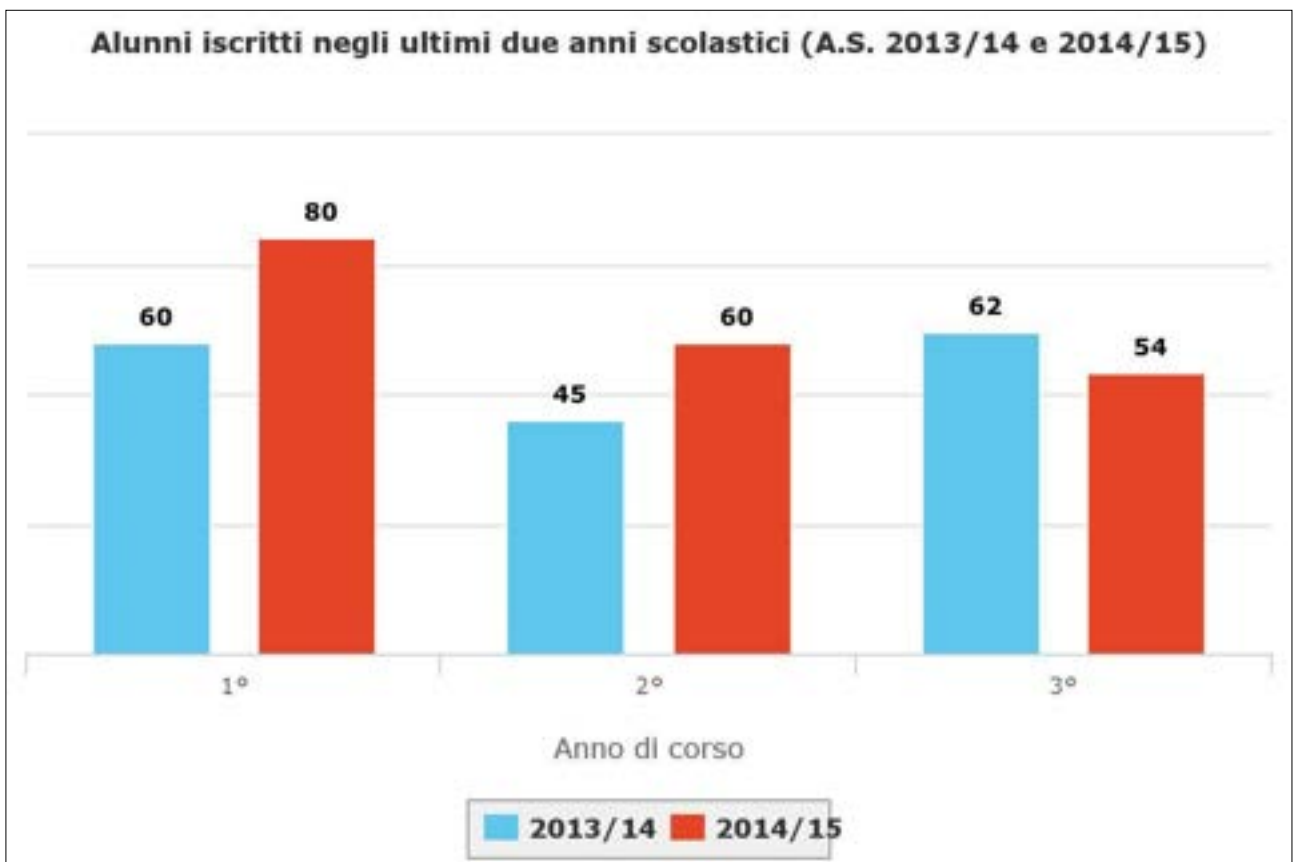


Figura 24. Scuola Sebastiano Satta di Carbonia - Numero di studenti per anno di corso

Si è ricostruito un profilo di presenze con dati biorari riferiti ai giorni feriali e festivi, e quello di utilizzo mensile sulla base dei dati del calendario scolastico ufficiale della Regione Sardegna.

Profilo di accensione dell'impianto di riscaldamento

Oltre ai periodi di spegnimento degli impianti termici non compresi nell'intermittenza, desunti dai precedenti dati sui profili di occupazione reale dell'edificio, si è ipotizzato un'accensione dell'impianto di riscaldamento secondo la normativa attuale (DPR n 412 del 26/8/93 s.m.i.), che prevede per la zona climatica C, un periodo di accensione che va dal 15 novembre al 31 marzo, per 10 ore al giorno (temperatura interna di 20°C come setpoint principale).

Profilo di attivazione delle chiusure oscuranti

Si ipotizza una chiusura totale delle chiusure solo al di fuori dell'orario di occupazione.

Profilo di apertura dei serramenti

Si è prevista una chiusura dei serramenti al di fuori dell'orario di occupazione. Nell'orario scolastico è stata presa in considerazione un'apertura (con ripartizione bi-oraria mensile) che varia in funzione del periodo dell'anno, andando dal 2% (gennaio, febbraio e dicembre), al 3,1% (marzo, aprile, ottobre e novembre) e fino al 6,2% (maggio, e settembre).

4.1.2 Caratteristiche dell'involucro edilizio

Superfici opache

Dall'analisi delle strutture opache e trasparenti e dei diversi materiali impiegati, è possibile ottenere un quadro d'insieme delle superfici disperdenti che racchiudono lo spazio interno riscaldato; ciò consente di calcolare la potenza termica che l'edificio scambia con l'ambiente esterno e, quindi, l'energia necessaria per mantenere al suo interno condizioni climatiche di comfort.

L'edificio è costituito da un corpo originario in muratura portante in pietra (spessore pari a circa 55 cm). Il tamponamento delle volumetrie aggiunte risulta costituito da muratura a cassetta in laterizio con interposto strato isolante.

Tutti i solai di copertura sono di tipo piano in latero-cemento e non risultano isolati.

Come appare evidente dai prospetti e dall'articolazione planimetrica dell'edificio, la superficie disperdente opaca è rilevante e la percentuale di superficie trasparente sul totale di quella disperdente è superiore al 10%, il che fa ipotizzare considerevoli dispersioni termiche.

Negli abachi riportati nelle tabelle seguenti, per quanto riguarda l'orientamento dei componenti viene riportato anche il valore numerico riferito rispetto al Sud (>0 in senso orario verso Ovest, <0 in senso antiorario verso Est).

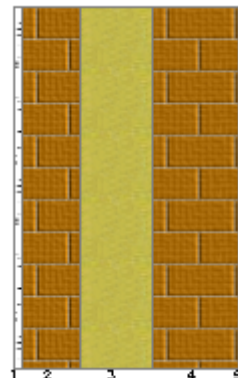
Codice	Tipologia	Orientamento		Area m ²	Trasmittanza W/m ² K
M1	Doppia parete forato 8 cm con strato isolante intermedio 10 cm + forato 12 cm	E-SE	-67,5°	79,0	0,36
		N-NE	-157,5°	290,5	
		S-SO	22,5°	261,9	
M2	Doppia parete forato 8 cm con strato isolante intermedio 6 cm + forato 12 cm	E-SE	-67,5°	45,9	0,51
		N-NE	-157,5°	34,7	
		O-NO	112,5°	19,8	
		S-SO	22,5°	30,2	
M3	Muratura pietra 50 cm_int	E-SE	-67,5°	2,0	1,90
		N-NE	-157,5°	6,2	
		O-NO	112,5°	6,8	
M4	Muratura pietra 55 cm_est	E-SE	-67,5°	341,4	1,96
		N-NE	-157,5°	279,7	
		O-NO	112,5°	486,6	
		S-SO	22,5°	275,6	
SB	Cassonetto non isolato	E-SE	-67,5°	19,8	6,00
		N-NE	-157,5°	21,2	
		O-NO	112,5°	19,9	
		S-SO	22,5°	24,6	
R1	Soffitto interpiano	Orizzontale	0°	0,8	1,55
		Orizzontale	0°	1,7	
R2	Soffitto esterno	Orizzontale	0°	1652,4	1,59
F1	Pavimento su terreno	Orizzontale	0°	14,7	1,02
F2	Pavimento su ambienti non riscaldati	Orizzontale	0°	615,9	1,55
F3	Pavimento su terreno	Orizzontale	0°	1115,2	0,31

Tabella 4. Abaco delle strutture opache

A seguire si riportano le caratteristiche termiche e igrometriche delle strutture opache disperdenti verticali (identificate con i codici: M1, M2, M3, e M4)

Descrizione della struttura M1: Doppia parete con isolante 10 cm

Trasmittanza termica	0,360	W/m ² K
Spessore	320	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	26,247	10 ⁻² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	431	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	403	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,105	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,292	-
Sfasamento onda termica	-9,5	h

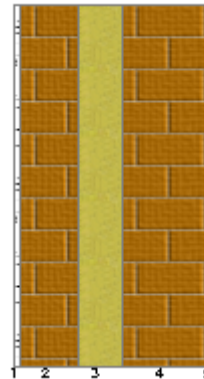


<i>n</i>	<i>Descrizione strato</i>	<i>s</i>	<i>Cond.</i>	<i>R</i>	<i>M.V.</i>	<i>C.T.</i>	<i>R.V.</i>
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	0,84	11
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,900	0,089	2000	0,84	7
3	Polistirene espanso sint. in lastre da blocchi	100,00	0,042	2,381	25	1,25	60
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	120,00	0,990	0,121	2000	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	0,84	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 5 . Stratigrafia della struttura M1

Descrizione della struttura M2: Doppia parete con isolante 8 cm

Trasmittanza termica	0,510	W/m ² K
Spessore	280	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	11,614	10 ⁻² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	430	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	402	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,156	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,304	-
Sfasamento onda termica	-9,3	h

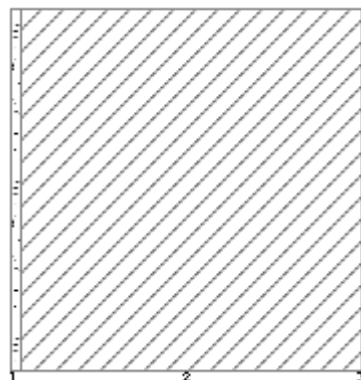


<i>n</i>	<i>Descrizione strato</i>	<i>s</i>	<i>Cond.</i>	<i>R</i>	<i>M.V.</i>	<i>C.T.</i>	<i>R.V.</i>
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	80,00	0,900	0,089	2000	0,84	7
3	P.V.C. espanso rigido in lastre	60,00	0,039	1,538	30	1,30	260
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	120,00	0,990	0,121	2000	0,84	7
5	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	0,84	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 6. Stratigrafia della struttura M2

Descrizione della struttura M3: Muratura in pietra 50 cm

Trasmittanza termica	1,900	W/m ² K
Spessore	500	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	8,393	10 ⁻² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	982	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	940	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,266	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,140	-
Sfasamento onda termica	-12,3	h

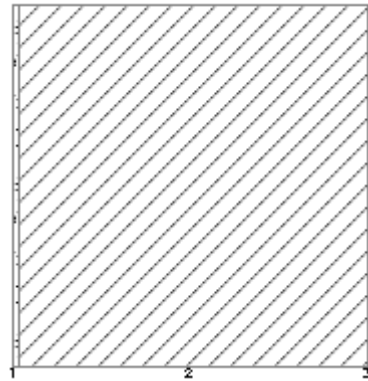


<i>n</i>	<i>Descrizione strato</i>	<i>s</i>	<i>Cond.</i>	<i>R</i>	<i>M.V.</i>	<i>C.T.</i>	<i>R.V.</i>
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	15,00	0,700	0,021	1400	1,00	11
2	Muratura in pietra naturale	470,00	1,500	0,313	2000	0,84	50
3	Intonaco di calce e gesso	15,00	0,700	0,021	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 7. Stratigrafia della struttura M3

Descrizione della struttura M4: Muratura in pietra 55 cm

Trasmittanza termica	1,960	W/m ² K
Spessore	550	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	1,883	10 ⁻² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	1194	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	1166	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,152	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,078	-
Sfasamento onda termica	-14,7	h



<i>n</i>	<i>Descrizione strato</i>	<i>s</i>	<i>Cond.</i>	<i>R</i>	<i>M.V.</i>	<i>C.T.</i>	<i>R.V.</i>
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
2	Muratura in pietra naturale	530,00	1,700	0,312	2200	1,00	200
3	Intonaco di calce e gesso	10,00	0,700	0,014	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 8. Stratigrafia della struttura M4

Legenda simboli

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

Superfici trasparenti

I serramenti esistenti sono realizzati con profili in alluminio privi di taglio termico, vetro singolo e cassonetti non isolati e avvolgibili in PVC. Non sono presenti dispositivi oscuranti.

Le caratteristiche degli infissi sono riportate in Tabella 9.

Codice	Tipologia	Orientamento	Area		n	Area totale	u
			m ²	m ²			
W1	Infisso in alluminio senza taglio termico e con vetro singolo	S-SO	22,5	3,70	37	134,6	6,54
		E-SE	-67,5	3,70	30	110,4	
		N-NE	-157,5	3,04	10	36,8	
W2		O-NO	112,5	2,88	40	115,2	6,30
		N-NE	-157,5	2,88	13	37,44	
W3		S-SO	22,5	2,36	14	32,93	6,46
		E-SE	-67,5	4,71	3	10,61	
		O-NO	112,5	4,71	2	8,1	
		N-NE	-157,5	2,36	1	2,36	
W4	N-NE	-157,5	1,05	20	24,4	6,50	
	E-SE	-67,5	1,10	11	12,07		
	S-SO	22,5	1,05	2	2,1		
W5	O-NO	112,5	0,87	13	2,18	6,37	
W6	N-NE	-157,5	3,53	13	37,44	6,35	
W7	E-SE	-67,5	1,23	3	4,32	6,31	
W8	S-SO	22,5	4,08	2	8,16	6,24	
W9	E-SE	-67,5	2,10	2	7,98	6,49	
FW1	Porta Finestra in alluminio senza taglio termico e con vetro singolo	E-SE	-67,5	6,20	3	20,64	6,48
		O-NO	112,5	6,88	3	20,64	
		N-NE	-157,5	6,00	1	6	
FW2		S-SO	22,5	4,60	3	13,97	6,32
	N-NE	-157,5	4,60	1	4,6		
FW3	N-NE	-157,5	4,86	3	14,08	6,45	
FW4	E-SE	-67,5	4,50	2	9	6,35	

Tabella 9. Abaco degli infissi



Figura 25. Profilo di un serramento tipo

Aggetti e ostruzioni esterne

Per quanto riguarda l'ombreggiatura sulle superfici opache e trasparenti, sono stati calcolati i fattori per le ostruzioni esterne e per gli aggetti dovuti alle ombre portate dall'articolazione dell'edificio scolastico su se stesso (distribuzione planivolumetrica a forma di "C").

Per ognuno dei lati principali dell'edificio (1-10, vedi Figura 26) sono stati valutati i parametri angolari relativi agli elementi ombreggianti.

Per semplicità a ciascun lato è stata associata una sola coppia di valori angolari (vedi Tabella 10), calcolati per il punto medio della superficie dello specifico lato. Per il lato 6 i valori ottenuti tengono conto della presenza di un doppio aggetto verticale (calcolo per il punto medio della semi area).

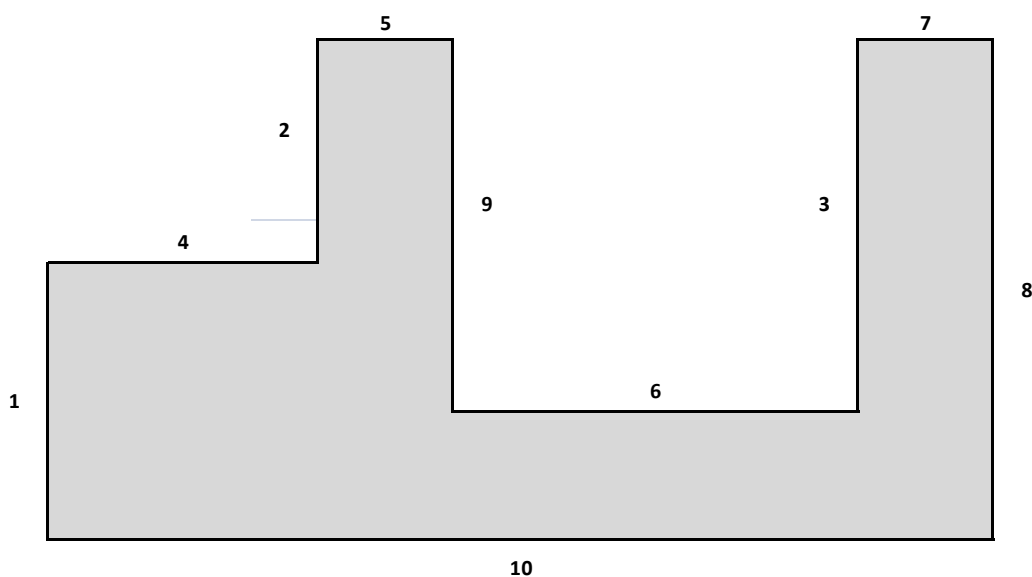


Figura 26. Riferimenti planimetrici per il calcolo dei parametri angolari

Lato	Esposizione	Aggetti verticali	Ostacoli
1	N-NE	0°	0°
2	N-NE	63,43°	0°
3	N-NE	67,45°	6,4°
4	E-SE	63,43	0°
5	E-SE	0°	0°
6	E-SE	73°	0°
7	E-SE	0°	0°
8	S-SO	0°	0°
9	S-SO	67,45°	6,4°
10	N-NO	0°	0°

Tabella 10. Angoli relativi agli aggetti e alle ostruzioni considerate

Ponti termici

Per quanto riguarda il calcolo delle dispersioni attraverso discontinuità geometriche e/o costruttive si sono presi in considerazione le seguenti tipologie di ponti termici:

- 2 pareti esterne (spigolo esterno, isolante uniformemente distribuito);
- 2 pareti esterne (spigolo interno, uniformemente distribuito);
- pavimento su terreno con isolamento - parete non isolata;
- Solaio interno - parete esterna (isolante uniformemente distribuito);
- Parete interna (isolante uniformemente distribuito) - Parete esterna (isolante uniformemente distribuito);
- Parete interna - Soffitto esterno (isolante esterno);
- Parete interna - Soffitto esterno (isolante esterno);
- Solaio esterno (isolante esterno) - Parete esterna (isolante uniformemente distribuito).

In funzione della tipologia di ponte termico individuato è stata misurata la lunghezza del suddetto elemento e attribuita la corrispondente trasmittanza termica lineica, in modo da valutare la dispersione per trasmissione attraverso i ponti termici (Tabella 11).

<i>n</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Caratteristica</i>	ψ (W/mK)	<i>Lunghezza</i> (m)
1	C4	Angolo tra pareti (sporgente)	0,05	216
2	C8	Angolo tra pareti (rientrante)	-0,05	111
3	GF03	Parete - Solaio controterra	0,35	243
4	IF4	Parete - Solaio interpiano	0,4	696
5	C2	Parete - Parete	0,1	538
6	R14	Parete - Copertura	0,05	729
7	RO4	Parete - Copertura	0,3	392
8	WO8	Infissi giunto parete - telaio	0,2	1681

Tabella 11. Abaco dei ponti termici

4.1.3 Ventilazione e apporti interni

Infiltrazione e ventilazione

Per il calcolo delle dispersioni termiche dovute alla ventilazione sono state valutate le portate d'aria di ricambio, secondo la procedura realistica in funzione della destinazione d'uso dell'edificio, del volume d'aria netto degli ambienti interni e del numero medio di utenti.

E' stato così possibile calcolare il tasso di ricambio d'aria per ventilazione dovuto all'apertura dei serramenti, la portata d'aria totale giornaliera media per infiltrazione e ventilazione naturale e quindi il tasso di ricambio corrispondente.

Fabbisogno di acqua calda sanitaria

Il software è in grado di calcolare il fabbisogno per la produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari in funzione della destinazione d'uso dell'edificio, facendo riferimento alla normativa tecnica (UNI TS 11300 - 2). Nello stato di fatto non risulta essere previsto alcun impianto per la produzione di acqua calda sanitaria.

Impianto di illuminazione

L'attuale impianto di illuminazione risulta costituito da circa 450 corpi illuminanti con un numero complessivo di lampade poco superiore a 740; le lampade installate sono, nella quasi totalità dei casi, tubi fluorescenti tradizionali del tipo T8 con una potenza media di circa 58 W. Tali apparecchi illuminanti risultano incassati nel controsoffitto, applicati direttamente al soffitto o pendenti.

I consumi elettrici della scuola sono legati essenzialmente all'utilizzo dell'impianto d'illuminazione artificiale e al funzionamento dei servizi ausiliari dell'impianto termico.



Figura 27. Apparecchio illuminante tipo

La potenza complessiva delle lampade installate è pari a circa 26,4 kW, di cui circa 1,2 kW nel piano seminterrato e circa 12,6 kW in ognuno dei piani fuori terra.

Numero corpi illuminanti	Numero lampade	Potenza lampada [W]	Potenza media corpo illuminante [W]
20	62	18	55,8
405	653	36	58,0
24	24	58	58,0
4	4	100	100,0

Tabella 12. Dati sintetici dei corpi illuminanti

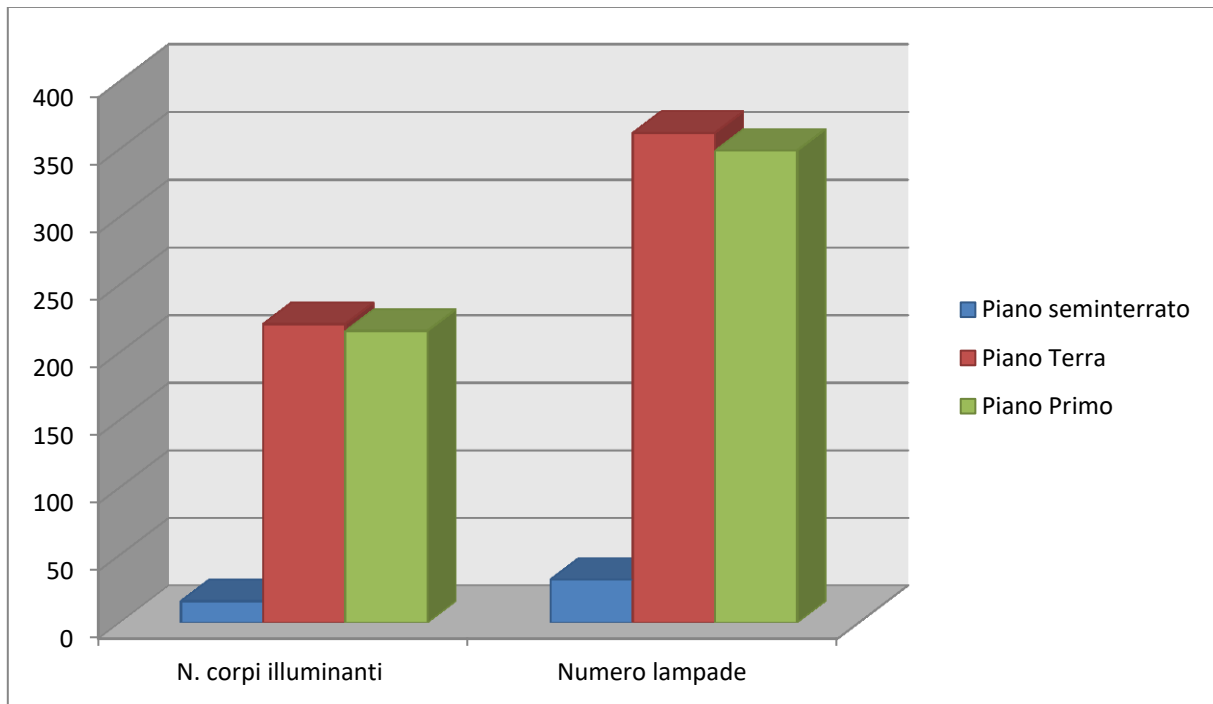


Figura 28. Numero di corpi illuminanti/lampade per piano



Figura 29. Particolare del sistema di illuminazione artificiale e di quella di emergenza

4.2 I risultati sulle prestazioni dell'edificio

A valle dei dati fino a qui elencati SEAS 3.0 è in grado di calcolare il fabbisogno ideale di energia termica (fabbisogno energetico totale netto) per la climatizzazione invernale che si articola nelle seguenti componenti:

- Carichi interni non gratuiti;
- Carichi interni dovuti alla presenza di persone;
- Apporti solari attraverso alla superfici opache;
- Apporti solari attraverso alla superfici trasparenti;
- Perdite per ventilazione;
- Perdite per trasmissione attraverso le superfici opache;
- Perdite per trasmissione attraverso le superfici trasparenti;
- Perdite per trasmissione attraverso i ponti termici,
- Perdite per trasmissione per infiltrazione.

Nella tabella che segue sono proposti i valori mensili del fabbisogno netto di energia termica e delle sue componenti, per il periodo relativo alla stagione di riscaldamento (15 novembre - 31 marzo).

Mese	Carichi interni (kWh)		Apporti solari (kWh)		Perdite (kWh)					Fabbisogno netto (kWh)
	non gratuiti	persone	opaco	finestre	ventilazione	trasmissione opaco	trasmissione finestre	ponti termici	infiltrazioni	
gen	2.020	1.973	3.156	8.530	-1.049	-39.227	-27.304	-2.935	-2.296	-34.236
feb	3.588	2.853	5.075	12.415	-1.348	-49.816	-35.017	-3.786	-2.961	-36.045
mar	2.203	2.165	6.508	13.911	-3.878	-33.359	-22.686	-2.405	-1.881	-11.904
apr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
giu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ott	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nov	1.687	1.445	2.213	5.898	-1.071	-12.756	-8.151	-830	-649	-3.892
dic	2.303	2.165	3.202	9.116	-896	-37.228	-25.645	-2.740	-2.143	-28.356
TOT	11.802	10.600	20.155	49.870	-8.242	-172.385	-118.803	-12.696	-9.931	-114.434

Tabella 13. Risultati sulle prestazioni dell'edificio

In Figura 30 è stata evidenziata la diversa incidenza delle dispersioni termiche dovute alla trasmissione attraverso l'involucro edilizio (opaco, trasparente e i relativi ponti termici).

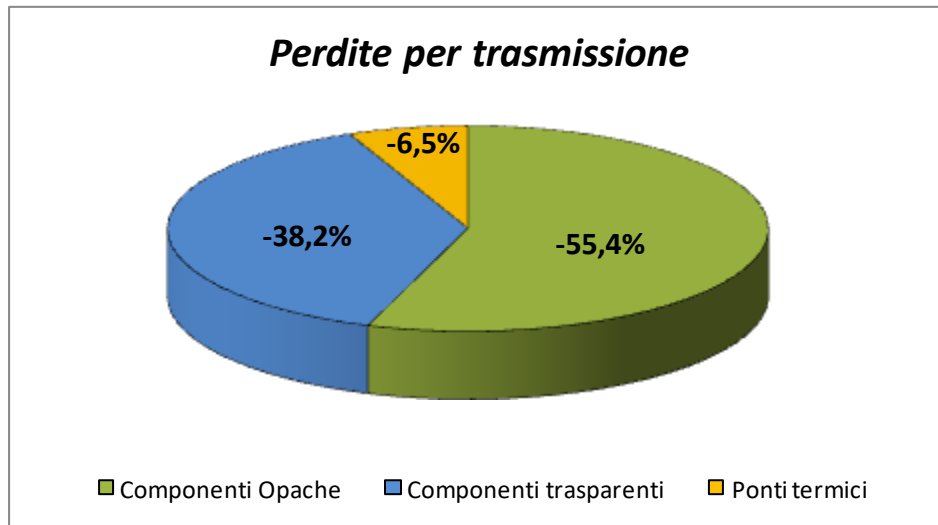


Figura 30. Ripartizione percentuale delle perdite per trasmissione

Oltre alle dispersioni per trasmissione sono stati anche considerati gli apporti termici gratuiti suddivisi in:

- Componente relativa alla radiazione solare incidente sull'involucro;
- Componente relativa ai carichi interni.

Nel diagramma riportato in Figura 31, si evidenzia come gli apporti termici solari risultano predominanti, rispetto a quelli interni (che sono funzione dell'indice di presenza e del carico delle apparecchiature elettriche presenti).

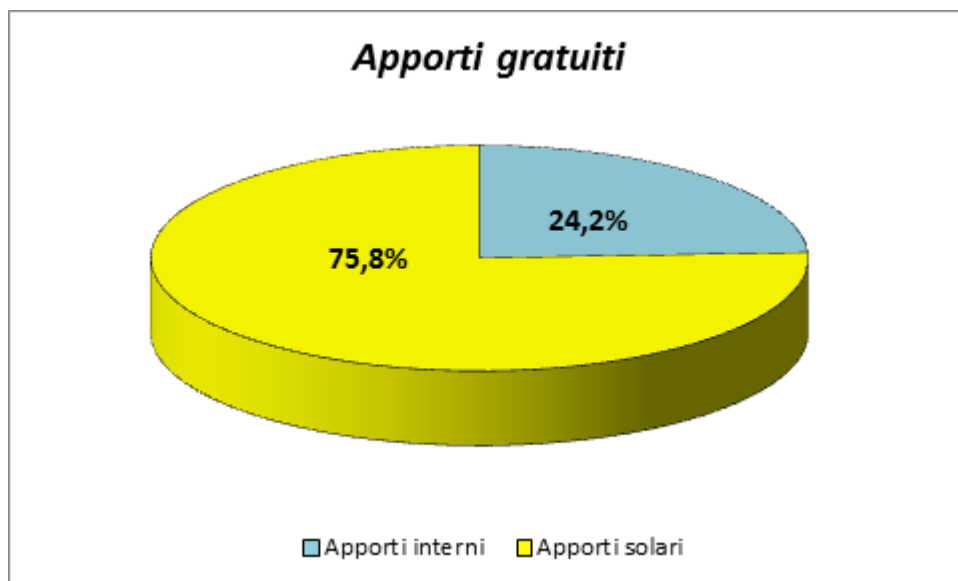


Figura 31. . Ripartizione percentuale degli apporti gratuiti

Nel grafico proposto in Figura 32 è rappresentata la composizione del fabbisogno termico, in termini percentuali.

Ai fini del calcolo del fabbisogno complessivo, alle dispersioni termiche vanno sottratti i contributi relativi agli apporti solari ed interni, ovvero la quota parte di apporti che contribuisce effettivamente alla riduzione del fabbisogno. In termini quantitativi tale riduzione rappresenta circa il 28% del totale delle dispersioni.

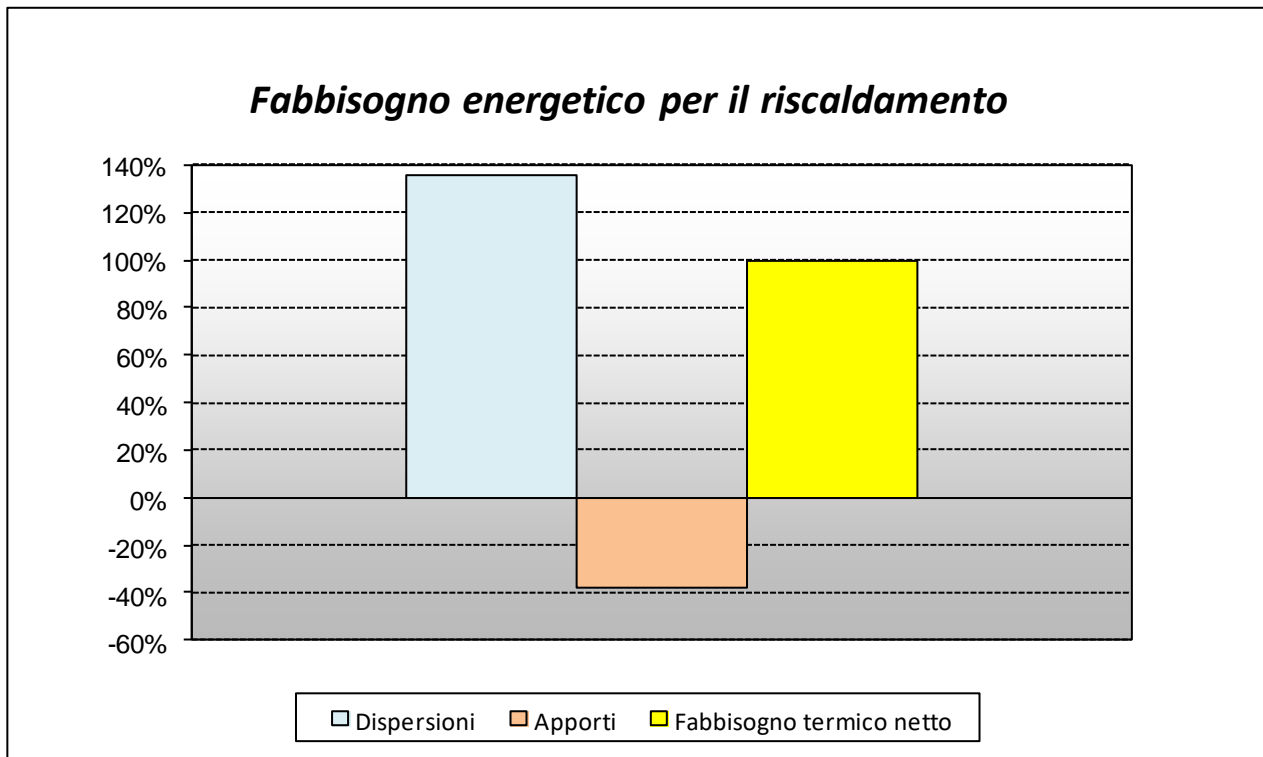


Figura 32. Contributi percentuali degli apporti e delle perdite al fabbisogno energetico

4.3 Gli impianti installati

Il principale impianto tecnologico presente nella scuola Sebastiano Satta è quello di climatizzazione invernale.

Il gasolio è il vettore energetico utilizzato per il riscaldamento dei locali, non essendo presente in Sardegna una rete di distribuzione del gas naturale. Non è presente impianto di climatizzazione estiva né di produzione di acqua calda per usi igienico sanitari.

Si è scelto di non descrivere dettagliatamente le singole componenti di impianto, ma di fornire un quadro di insieme del sistema, utile alla definizione dei principali parametri necessari al codice di calcolo SEAS per l'analisi energetica.

L'impianto di climatizzazione presente è costituito dai seguenti sottosistemi:

- Sistema di generazione per solo riscaldamento;
- Sottosistema di distribuzione del fluido termovettore;
- Sottosistema di emissione;
- Sottosistema di regolazione e controllo.

4.3.1 Generazione per riscaldamento

Il sistema prevede una generazione con modalità di attivazione on/off per la sola climatizzazione invernale in centrale, situata nel piano seminterrato, con una caldaia convenzionale. Non è previsto accumulo.



Figura 33. Generatore per produzione acqua calda per riscaldamento in centrale termica

CALDAIA	
Marca	RIELLO
Modello	3500 SAT 270
Potenza MAX (KW)	345
η utile a PMAX (%)	91,3

Tabella 14. Caratteristiche del generatore

4.3.2 Sottosistema di distribuzione

Il sistema di distribuzione presenta tubazioni a vista non isolate (Figura 34) ed è caratterizzato da due circuiti principali indipendenti, alimentati da una valvola a 4 vie (non funzionante), ciascuno dei quali con una pompa di circolazione gemellare del tipo a rotore bagnato.

L'alimentazione di ciascuno dei corpi scaldanti presenti (radiatori in alluminio), avviene attraverso tubazioni che si staccano in parallelo dalle dorsali principali, secondo una configurazione orizzontale tipo bitubo.

La rete di distribuzione è stata descritta analiticamente indicando la posizione delle tubazioni correnti in aria in ambienti climatizzati, la loro lunghezza e il diametro: l'isolamento non è presente. Il rendimento di distribuzione previsto è superiore al 100%.

4.3.3 Ausiliari

Sono presenti due pompe di circolazione (una per circuito) della potenza elettrica complessiva di 3 kW a velocità fissa e sempre in funzione.

4.3.4 Sottosistema di emissione

I terminali di emissione sono costituiti da radiatori in alluminio di cui è stata valutata la potenza complessiva pari a 300 kW.

4.3.5 Sottosistema di regolazione

Il sistema di regolazione prevede il controllo climatico in caldaia con sonde di temperatura esterna (non funzionante), e non è implementato alcun tipo di controllo, di ambiente o di zona.

Questo sistema evidenzia molte criticità in quanto non è possibile una regolazione della temperatura di mandata del fluido termovettore al variare delle condizioni climatiche esterne. Inoltre, è assente anche un controllo di zona per la regolazione della temperatura ambiente in funzione della variabilità dei carichi interni ed esterni.

Ai fini dell'analisi energetica, ai componenti d'impianto sopra elencati sono associati quattro parametri rappresentativi:

- I. *rendimento del sistema di generazione η_p ;*
- II. *rendimento del sistema di distribuzione η_d ;*
- III. *rendimento del sistema di emissione η_e ;*
- IV. *rendimento del sistema di regolazione η_c .*

Il rendimento globale η_g dell'impianto di climatizzazione è dato dalla relazione

$$\eta_g = \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_e \cdot \eta_c$$



Figura 34. La dorsale di distribuzione del fluido termovettore



Figura 35. Terminale di scambio termico privo di regolazione locale

4.4 I risultati sulle prestazioni del sistema edificio

Nella tabella a seguire sono riportati i valori mensili dei consumi energetici termici ed elettrici forniti dal software SEAS 3.0, sulla base del modello di calcolo sviluppato.

Mese	Consumi energetici totali (kWh)	
	elettrico	termico
gen	3.658	46.691
feb	4.994	50.552
mar	3.749	15.472
apr	5.630	0
mag	4.446	0
giu	609	0
lug	691	0
ago	691	0
set	2.834	0
ott	4.771	0
nov	4.526	4.536
dic	3.941	38.864
TOT	40.541	156.114

Tabella 15. Consumi energetici da audit

Per i confronti successivi, i valori di riferimento sono quelli annuali, non avendo a disposizione i valori mensili reali.

Per il consumo termico espresso in litri di gasolio, è stato considerato un potere calorifico pari a 10,1 kWh/l.

Consumi energetici totali	
Energia elettrica	40.541 kWh
Gasolio	15.457 l

Tabella 16. Consumi di energia elettrica e gasolio (da audit)

Volendo descrivere l'esito della diagnosi energetica in termini di indicatori di consumo specifico, rappresentativi della prestazione energetica dell'edificio, è possibile considerare quelli previsti dalla normativa nazionale, riferiti alla superficie utile (pari a 3582 m²).

Consumi energetici totali (kWh/m ²)		
	Energia primaria totale	Energia primaria non rinnovabile
Elektrici	27,4	22,1
Termici	46,6	46,6
totale	74,0	68,7

Tabella 17. Indicatori di consumo specifico (da audit)

4.5 I dati di consumo reali

Sono stati reperiti i dati di consumo del combustibile utilizzato per il riscaldamento, e dell'energia elettrica utilizzata dai carichi presenti (principalmente illuminazione ed ausiliari di sistema) misurati nel triennio 2012-2014, periodo che, come già accennato, corrisponde a quello in cui sono stati rilevati i dati climatici esterni.

La potenza elettrica impegnata da contratto è pari a 30 kW.

I consumi di energia termica ed elettrica, sono stati ricondotti ad un consumo medio annuo (Tabella 21)

Fatturazioni energetiche 2012-2014	
Energia elettrica	40.800 kWh
Gasolio	14.500 l

Tabella 18. Consumi energetici da fatturazione

È possibile esprimere tali consumi attraverso degli indicatori specifici che, nel caso di edifici scolastici, sono riferiti al numero medio di alunni (vedi Tabella 19).

Consumi energetici totali (kWh/alunno)		
		valori di riferimento
Numero alunni medio	200	
Energia elettrica	204	164-194
Energia termica	784	526-840

Tabella 19. Confronto con indicatori di consumo per le scuole

I valori di confronto si riferiscono, per i consumi elettrici, a scuole con un numero di alunni compreso tra 100-200, mentre per i consumi termici, a scuole in zone climatiche C.

4.6 Confronto risultati da diagnosi con le fatturazioni energetiche

Una volta definito il modello energetico del sistema edificio oggetto di diagnosi e raccolti i dati reali sui consumi dei vettori energetici, è possibile metterli a confronto per avere un riscontro sull'affidabilità del modello ipotizzato.

In Tabella 21 si può verificare che gli scostamenti tra i due valori rientrano in un ordine di grandezza ritenuto accettabile.

I risultati di calcolo in termini di consumi possono quindi essere utilizzati sia per confrontare il modello base con le ipotesi di interventi di riqualificazione, sia per poter poi effettuare le successive valutazioni di convenienza economica dei suddetti interventi.

Confronto consumi energetici			
	<i>Consumi reali</i>	<i>Consumi da audit</i>	<i>Scarto</i>
<i>Energia elettrica</i>	40.800 kWh	40.541 kWh	-0,64%
<i>Gasolio</i>	14.500 l	15.457 l	6,60%

Tabella 20. Confronto risultati diagnosi con fatturazioni energetiche

5 Identificazione degli scenari di intervento

Una volta costruito e validato il modello energetico del sistema edifico è possibile valutare il potenziale risparmio conseguibile attraverso le misure di riqualificazione energetica proposte.

Il processo segue l'analisi di singole misure di miglioramento delle prestazioni energetiche, analizzando i benefici sia in termini di riduzione dei consumi sia di convenienza economica.

Lo studio si concluderà con due ipotesi multi-intervento.

L'applicazione di ogni singola misura di riqualificazione deve comportare un risparmio energetico. Attraverso il modello e il software utilizzato è possibile valutare il risparmio che ogni scenario è in grado di garantire.

La corretta analisi degli scenari energetici risulta determinante per elaborare i dati di input delle successive valutazioni di carattere economico, realizzate con l'obiettivo di quantificare eventuali benefici, riferendosi ad una situazione più attinente possibile alla realtà dello stato di fatto.

5.1 1° scenario di intervento: Sostituzione dei serramenti esistenti

Vista l'incidenza delle superfici trasparenti sulla superficie totale disperdente, si è valutata la possibilità di sostituzione dei serramenti (telaio e superficie vetrata) data anche la vetustà degli stessi, oltre al fatto che le dispersioni energetiche attraverso l'involucro trasparente raggiungono oltre il 38 % del totale.

L'obiettivo prefissato consiste nel raggiungimento dei limiti di trasmittanza termica previsti dalla normativa vigente, prendendo in considerazione i valori più restrittivi al 2021, in quanto, qualora si intenda intervenire sull'involucro, il rispetto di tali valori rappresenta un obbligo inderogabile.

L'intervento ipotizzato consiste nella sostituzione dei serramenti esistenti (telaio in alluminio senza taglio termico, vetro singolo, cassonetto non isolato) con serramenti in PVC, doppio vetro con intercapedine riempita di argon, e trattamento basso-emissivo in faccia 3 (superficie verso intercapedine della lastra interna) al fine di ridurre le dispersioni termiche nell'infrarosso.

E' stato anche previsto l'isolamento del cassonetto che consente di passare da un valore di trasmittanza di $6,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Il valore di trasmittanza assunto per l'intero serramento, secondo i requisiti minimi da normativa, è pari a $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

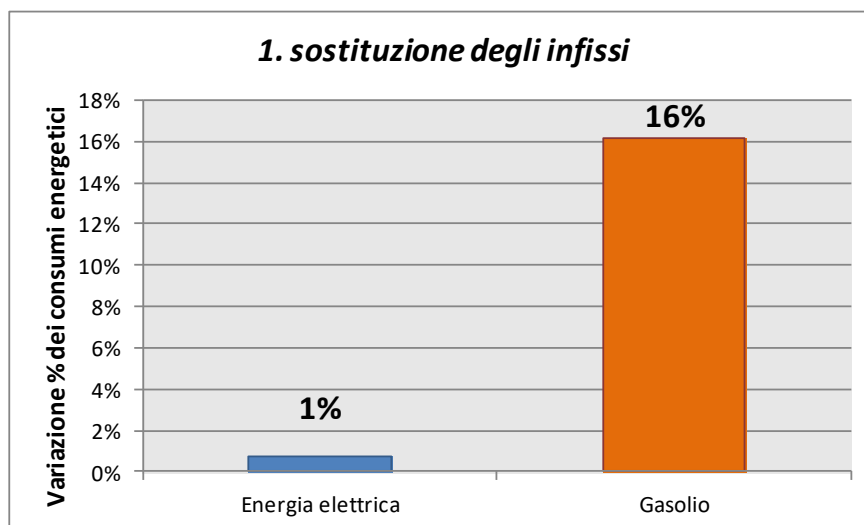


Figura 36. Intervento 1: riduzione percentuale dei consumi energetici

5.2 2° scenario di intervento: Isolamento delle strutture opache disperdenti

Una volta constatato che le dispersioni energetiche attraverso l’involucro opaco raggiungono il 55,5 % del totale, la seconda ipotesi di intervento riguarda l’isolamento di tali strutture.

L’obiettivo prefissato consiste nel raggiungimento dei limiti di trasmittanza termica previsti dalla normativa vigente, prendendo in considerazione i valori più restrittivi al 2021 ,in quanto, qualora si intenda intervenire sull’involucro il rispetto di tali valori rappresenta un obbligo inderogabile.

In Tabella 21 sono riportate le strutture su cui si è ipotizzato l'intervento.

Confronto consumi energetici		
Strutture	U ante W/m ² K	U post (2021) W/m ² K
<i>Solaio interpiano vs esterno</i>	1,547	0,38
<i>Pavimento su terra vs esterno</i>	1,022	0,38
<i>Solaio copertura vs esterno</i>	1,587	0,32
<i>Parete esterna muratura</i>	1,956	0,36
<i>Doppia parete 8-6-12</i>	0,513	0,36
<i>Muratura in pietra</i>	1,897	0,36

Tabella 21. Isolamento involucro opaco

Oltre all’isolamento delle strutture opache si è ipotizzato di correggere i ponti termici presenti e descritti in precedenza.

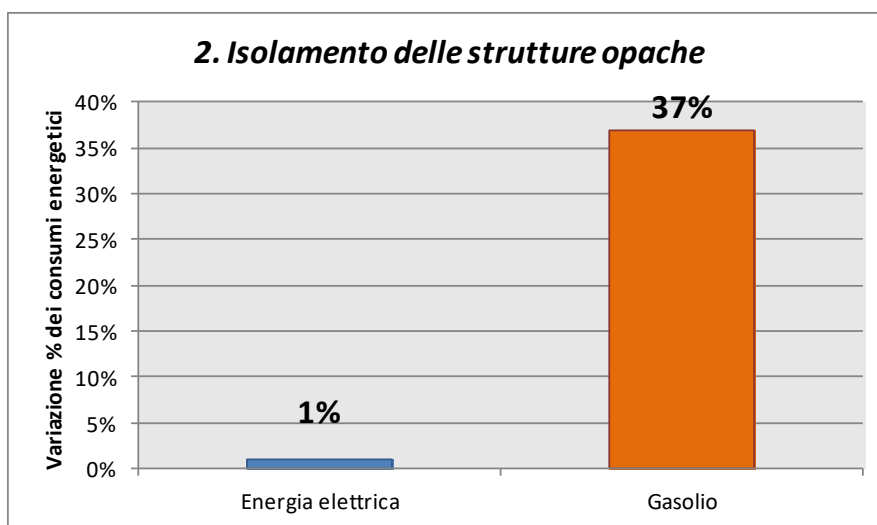


Figura 37. Intervento 2: riduzione percentuale dei consumi energetici

5.3 3° scenario di intervento: Sostituzione apparecchi illuminanti e installazione impianto fotovoltaico

Questo intervento prevede la sostituzione delle lampade fluorescenti presenti del tipo T8 con lampade di tipo T5 dotate di alimentatore elettronico, e l'installazione di un impianto fotovoltaico a copertura del carico elettrico.

L'intervento sull'impianto d'illuminazione prevede una riduzione complessiva della potenza elettrica installata di circa il 15%, con conseguente riduzione dei consumi elettrici e contenuto aumento dei consumi termici, per effetto della riduzione dei carichi interni gratuiti.

L'impianto fotovoltaico è previsto a copertura totale dei consumi elettrici, con una potenza (di picco) pari a circa 28 kW (inferiore alla potenza elettrica impegnata da contratto =30 kW); si ipotizza in connessione alla rete elettrica di distribuzione con il meccanismo di "scambio sul posto".²

Mese	Consumi kWh	Produzione FV kWh	Bilancio kWh
gennaio	3179	1965	1214
febbraio	4305	2079	2225
marzo	3253	2968	285
aprile	4746	3204	1543
maggio	3758	3650	108
giugno	558	3745	-3188
luglio	626	4304	-3678
agosto	626	4135	-3510
settembre	2414	3359	-945
ottobre	4029	2803	1227
novembre	3868	2054	1814
dicembre	3418	1782	1635
Annuale	34.780	36.049	-1.269

Tabella 22. Bilancio elettrico dell'intervento

Nel grafico di Figura 38 la riduzione percentuale negativa dei consumi di gasolio corrisponde ovviamente ad un uguale incremento dei consumi stessi.

² Questo comporta un sostanziale azzeramento della bolletta elettrica che non si traduce però, in un'effettiva riduzione dei consumi elettrici; si assume però in questa sede perfetta equivalenza tra energia ridotta per effetto dell'incremento di efficienza energetica (risparmio) ed energia prodotta da fonte rinnovabile.

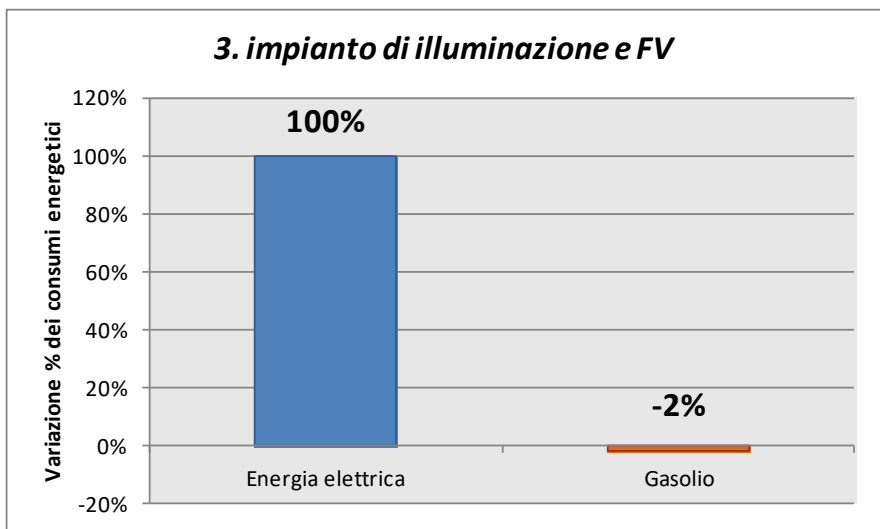


Figura 38. Intervento 3: riduzione percentuale dei consumi energetici

5.4 4° scenario di intervento: Impianto di generazione e sottosistema di regolazione

Questo intervento prevede la sostituzione del generatore per la climatizzazione invernale con un nuovo generatore del tipo a condensazione, sempre con alimentazione a gasolio (la rete del gas metano non è presente in Sardegna).

Il gruppo termico a condensazione è dotato di corpo in acciaio smaltato e post condensatore in acciaio inox, al fine di garantire la massima resistenza alle condense acide sviluppate dalla combustione di tutti i tipi di gasolio.

Il generatore modulante è dimensionato per la produzione combinata per riscaldamento e per coprire il fabbisogno di acqua calda per usi igienico sanitari. E' previsto un bollitore remoto con controllo della temperatura di mandata in modalità climatica.

In Tabella 23 sono riportate le caratteristiche del generatore.

Caratteristiche	
Potenza nominale a pieno carico	345 kW
Rendimento a pieno carico	98,2 %
Fattore di carico parziale in modulazione	0,5
Rendimento a carico parziale	104 %

Tabella 23. Caratteristiche generatore termico

Il serbatoio di accumulo combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria è isolato e posizionato in centrale.

Le reti di distribuzione per ACS sono previste isolate (sono state descritte con metodo analitico per il calcolo delle rispettive perdite).

Si è ipotizzata anche la sostituzione delle pompe di circolazione con altrettante di analoga potenza elettrica nominale ma a velocità variabile e funzionamento intermittente.

Il nuovo sottosistema di regolazione previsto è a controllo di zona, più una regolazione della portata in funzione della temperatura esterna con banda proporzionale pari a 0,5.

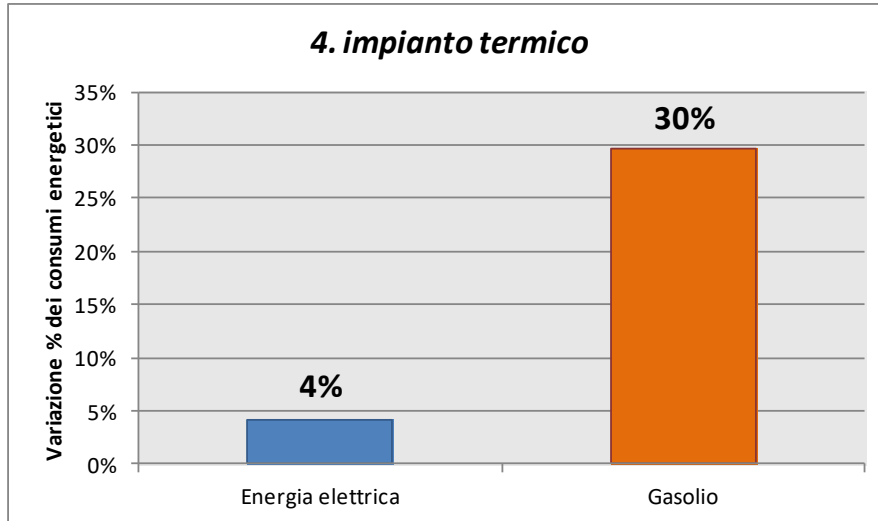


Figura 39. . Intervento 4: riduzione percentuale dei consumi energetici

5.5 5° scenario di intervento: Impianto di generazione e sottosistema di regolazione combinato con sostituzione degli apparecchi illuminanti e installazione di impianto fotovoltaico

Questo intervento prevede gli scenari combinati che non coinvolgono l'involucro edilizio, ma riguardano i soli sistemi impiantistici (scenario 3 e 4).

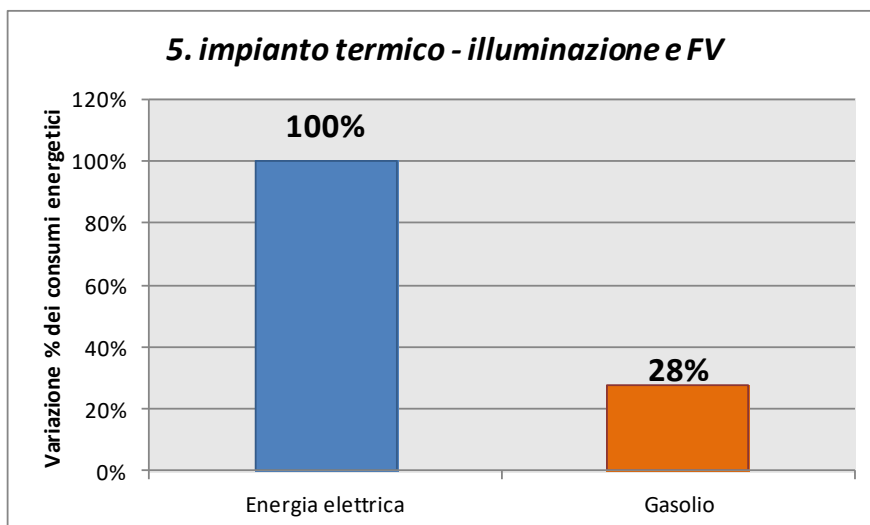


Figura 40. . Intervento 5: riduzione percentuale dei consumi energetici

5.6 6° scenario di intervento: Intervento globale

Questo intervento prevede gli tutti gli interventi precedentemente ipotizzati applicati in maniera combinata (scenari da 1 a 4).

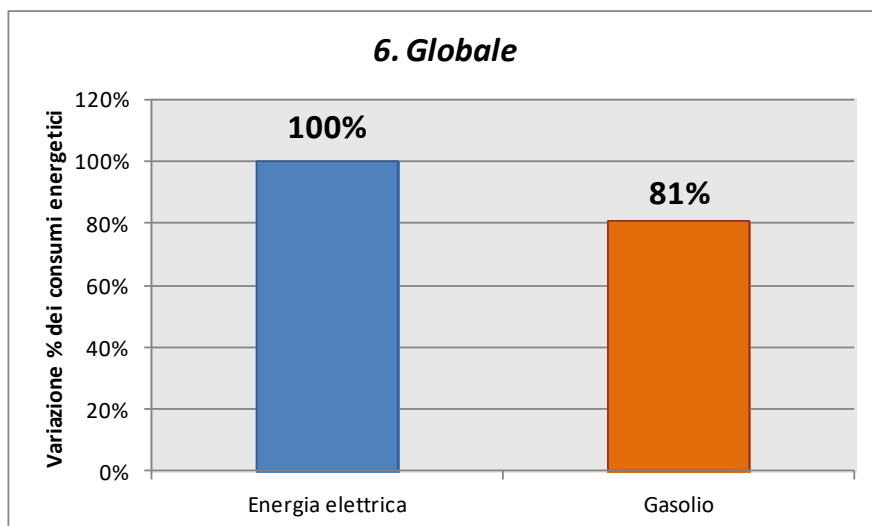


Figura 41. Intervento 6: riduzione percentuale dei consumi energetici

6 Valutazioni economiche

La valutazione degli interventi di riqualificazione, individuati dal punto di vista dell'analisi costi-benefici, ha come obiettivo quello di caratterizzare quelle azioni, finalizzate alla riqualificazione a nZEB dell'edificio, che possono avere un riscontro economico intrinsecamente positivo per la collettività nel suo complesso.

A tale scopo, è stata quindi esclusa la possibilità di accedere a forme di incentivazione fiscale, che sono pur sempre possibili e prevedibili.

Per semplificare l'analisi economica degli scenari ipotizzati, e anche in considerazione dell'attuale situazione del mercato finanziario, sono stati posti pari a zero i tassi annui (interesse e inflazione) e non sono state considerate forme di finanziamento da parte di terzi o prestiti bancari.

Per quanto riguarda i costi dell'energia sono stati considerati dei valori medi pari a 0,245 €/kWh elettrico e 0,135 €/kWh termico da gasolio.

In ciascuno dei sei scenari d'intervento previsti, oltre al costo, è stata definita la vita utile media della soluzione proposta.

Le ipotesi semplificative introdotte, hanno portato ad una riduzione del numero dei parametri significativi forniti dalla routine di SEAS 3.0 relativa all'analisi economica.

Nella tabella che segue è proposta una sintesi dei principali risultati ottenuti.

INDICATORE	Scenari di intervento					
	1	2	3	4	5	6
	infissi	opaco	ILL+FV	impianti	FV + ill+impianti	Globale
Consumi ex-post energia elettrica (kWh)	40.494	40.434	34.812	39.108	33.395	32.883
<i>Variazione rispetto allo stato di fatto</i>	-1%	-1%	-100%	-4%	-100%	-100%
Consumi ex-post gasolio (kWh)	130.950	98.462	159.135	109.701	112.543	29.783
<i>Variazione rispetto allo stato di fatto %</i>	-16%	-37%	+2%	-30%	-28%	-81%
Produzione FV (kWh)	-	-	36.049	-	36.049	36.049
Costo dell'intervento (€)	400.000	250.000	80.000	70.000	150.000	800.000
Tempo di ritorno (TR) (anni)	>30	>30	9	11	10	30
Indice di profitto (IP)	-0,74	-0,06	1,4	0,91	1,12	-0,32
Valore attualizzato netto (VAN) (€)	-295836	-13.820	111.763	63.606	16.7561	-258.986
Tasso interno di rendimento (TIR)	0%	0%	10,3%	7,2%	8,5%	0%

Tabella 24. Risultati analisi economica degli scenari di intervento

La valutazione economica degli scenari d'intervento ipotizzati, mostra come le soluzioni che coinvolgono l'involucro edilizio, pur comportando notevoli riduzioni dei consumi energetici (casi 2 e 6) non sono convenienti dal punto di vista economico, essendo a bassa redditività (TIR = 0%) e con tempi di ritorno uguali o superiori a 30 anni.

Gli interventi che riguardano esclusivamente gli impianti presenti, compresa l'installazione di sistemi di generazione fotovoltaica (casi 3, 4 e 5), oltre a ridurre notevolmente la bolletta energetica, hanno viceversa un'ottima redditività e tempi di ritorno molto inferiori alla vita media dei sistemi previsti.

7 Conclusioni

L'utilizzo nel presente caso studio del software SEAS 3.0 ha consentito di ricostruire adeguatamente l'andamento dei flussi energetici caratteristici, e quindi di valutare in maniera puntuale i consumi specifici, le criticità presentate e gli interventi da considerare per incrementare l'efficienza energetica dell'edificio scolastico esaminato.

I ridotti scarti percentuali tra i consumi reali da fatturazione e quelli derivanti dal modello energetico (in valore assoluto, 6,6% per il fabbisogno termico e 0,64% per quello elettrico), portano a sostenere la bontà del modello realizzato, e quindi a ritenere affidabili i risultati ottenuti per gli interventi di riqualificazione ipotizzati, sia in termini di risparmi che in termini di rapporto costi-benefici.

Nel grafico di Figura 42 è proposto un confronto tra il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile dello scenario di riferimento (espresso in MWh), valutata nel rispetto dei requisiti previsti dal DM 26 giugno 2015, e quelli necessari una volta effettuati gli interventi di riqualificazione energetica ipotizzati.

Nella stessa figura sono evidenziati i fabbisogni energetici percentuali raggiungibili, riferiti allo scenario base (stato di fatto).

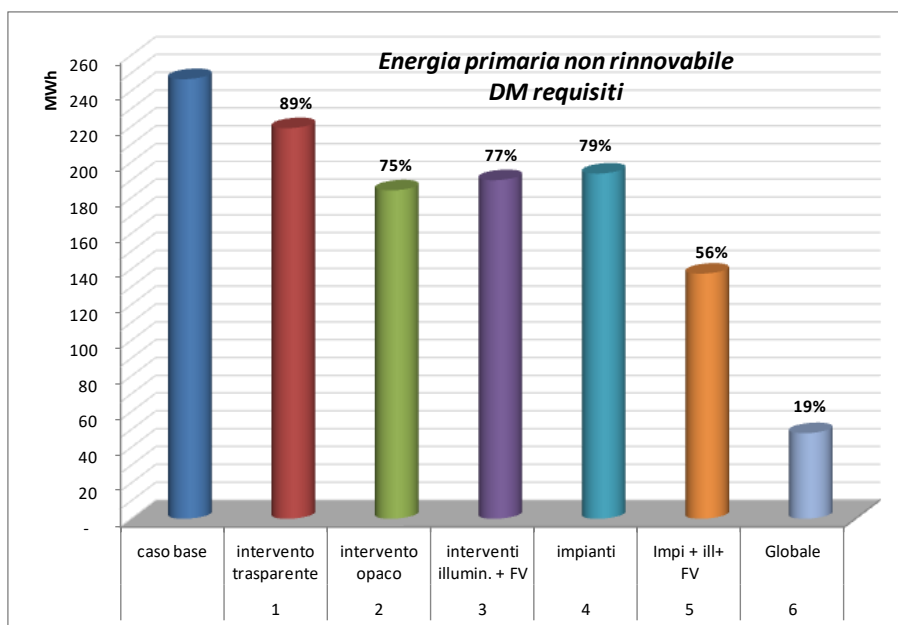


Figura 42. Fabbisogni di energia primaria non rinnovabile

Nel calcolo dell'energia primaria previsto dal DM 26 giugno 2015, il bilancio mensile tra consumi elettrici e la produzione da fotovoltaico non porta ad un azzeramento della bolletta elettrica (bilancio nullo o negativo, per effetto dello scambio sul posto), ma rimane un contributo prelevato dalla rete elettrica pari a circa il 20-25% del consumo elettrico previsto.

In Figura 43 è riportata la variazione di energia primaria non rinnovabile dovuta all'ipotesi di considerare nullo il bilancio di energia elettrica per effetto dello scambio sul posto negli scenari 3, 5 e 6.

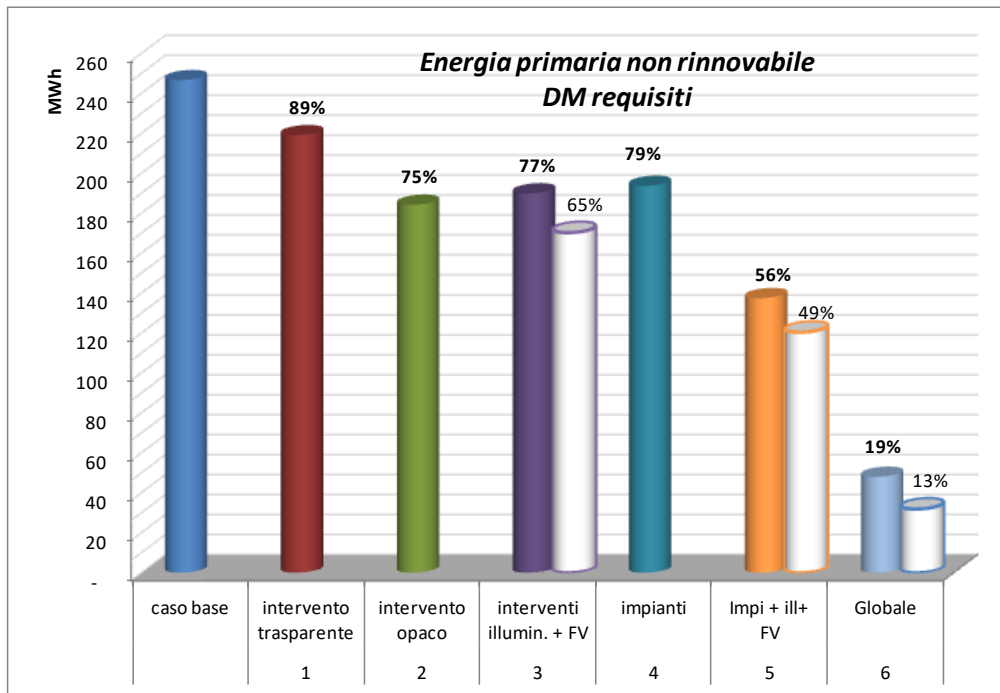


Figura 43. Fabbisogni di energia primaria non rinnovabile - Variazioni

L'obiettivo generale dello studio condotto è stato quello di caratterizzare quelle azioni, finalizzate alla riqualificazione a nZEB dell'edificio, con un riscontro economico intrinsecamente positivo per la collettività nel suo complesso, prescindendo quindi da forme di incentivazione fiscale pur sempre possibili e prevedibili.

Su questo principio, le azioni in grado di realizzare tempi di ritorno accettabili hanno riguardano l'insieme degli impianti presenti, in particolare:

- scenario d'intervento n. 3: sostituzione delle lampade fluorescenti presenti del tipo T8 con lampade di tipo T5 dotate di alimentatore elettronico, e l'installazione di un impianto fotovoltaico a copertura del carico elettrico;
- scenario d'intervento n. 4: sostituzione della caldaia presente con una a condensazione, ivi compreso impianto per la produzione di ACS, e installazione di un nuovo sottosistema di regolazione con controllo di zona più una regolazione della portata in funzione della temperatura esterna con banda proporzionale pari a 0,5;
- scenario d'intervento n. 5: insieme degli interventi combinati previsti per gli scenari 3 e 4.

I risultati dell'analisi economica sono stati centrati su quattro indicatori specifici, ovvero il tempo di ritorno (TR), l'Indice di profitto (IP), il Valore attualizzato netto (VAN) e il tasso interno di rendimento (TIR). Questi parametri hanno consentito di precisare come gli interventi a maggior redditività, che hanno quindi un riscontro intrinsecamente positivo, sono quelli che prevedono l'installazione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco prossima alla potenza elettrica impegnata.

Priorità interventi		Parametri economici				
		Costo dell'intervento (€)	TR (anni)	IP	VAN (€)	TIR
1	Scenario 3 (ill. + FV)	80.000	9	1,4	111.763	10,30%
2	Scenario 5 (Imp.+ ill.+ FV)	150.000	10	1,12	167.561	8,50%
3	Scenario 4 (impianti)	70.000	11	0,91	63.606	7,20%

Tabella 25. Priorità degli scenari d'intervento economicamente convenienti

Gli scenari con soluzioni che prevedono interventi sull'involucro edilizio, pur avendo una notevole valenza in termini energetici, non si auto-sostengono dal punto di vista economico (VAN < 0), senza delle forme di incentivazione fiscale.

8 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 RdS/2011/143, ENEA, 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 RdS/2012/110, ENEA, 2012.
1. B. Di Pietra, G. Fasano, D. Iatauro, C. Romeo, P. Signoretti, "Audit energetico di edifici storici- L'analisi per la riqualificazione energetica di Villa Lubin sede del CNEL", Report RT/2012/27ENEA, ENEA, 2012.
2. W. Grassi, D. Testi, E. Menchetti, D. Della Vista, P. Conti, E. Schito, G. Diodato, S. Moncelli, P. Signoretti, G. Fasano, "Realizzazione di un software con interfaccia grafica per l'audit energetico negli edifici ad uso residenziale, uffici e scuole", Report RdS/2013/143, ENEA, 2013.
3. D. Testi, D. Della Vista, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, W. Grassi, G. Fasano, P. Signoretti, "Sviluppo del Software SEAS per le diagnosi energetiche di ambienti ospedalieri dedicati alla degenza", Report RdS/PAR2013/113, ENEA, 2014.
4. S. Baldazzi, E. Beltrone, P. D'alessandris, A. Mostacci, A. Mura, D. Napoleoni, F. Pasquino, A. Santangelo, A. Stemperini, F. Toso, "Rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici", Report RdS/PAR2013/141, ENEA, 2014.
5. G. Fasano, C. Romeo, M. Zinzi, P. Signoretti, D. Iatauro, G. Centi, B. Di Pietra, E. Costanzo, "Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici", Report RT/2013/147ENEA, ENEA, 2014.
6. D. Testi, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista, G. Pellegrini, E. Tiberi, W. Grassi, P. Signoretti, G. Fasano, "Il software SEAS per le diagnosi energetiche: interventi di assistenza e formazione e sviluppo di un modello semplificato per gli edifici ad uso residenziale", Report RdS/PAR2014/068, ENEA, 2015.
7. DECRETO 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. (GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39).
8. UNI EN 15193: 2009 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione .
9. UNI 10349-1: 2016 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici .
10. UNI/TS 11300-1:2014 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
11. UNI/TS 11300-2:2014 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali.
12. UNI/TS 11300-4:2012 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
13. UNI CEI EN 16247-1:2012: Diagnosi energetiche: Requisiti generali.
14. UNI CEI EN 16247-2:2014 Diagnosi energetiche: Edifici.
15. UNI CEI EN 16247-3:2014: Diagnosi energetiche: Processi.
16. UNI CEI/TR 11428:2011: Gestione dell'energia - Diagnosi energetiche - Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica.
17. Comune di Carbonia. Documentazione predisposta per il Bando per il finanziamento di operazioni finalizzate al risparmio e all'efficienza energetica negli edifici degli Enti Pubblici della Sardegna (EE11).