

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Ingegneria Energetica

TESI DI LAUREA

in
Impianti Tecnici

**Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione energetica in
un plesso scolastico**

CANDIDATO
Stefano Fisco

RELATORE:
Prof. Ing. Gian Luca Morini

CORRELATORI:
Ing. Stefania Falcioni
Ing. Matteo Dongellini

Anno Accademico 2015/2016

Sessione I

Sommario

Introduzione.....	5
CAPITOLO 1 - Introduzione al quadro normativo.....	7
Legge ordinaria del Parlamento n° 373/76.....	7
Legge 9 gennaio 1991, n. 10	8
D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412	8
Direttiva 2002/91/CE	10
Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192	11
D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59	12
Decreto Ministeriale 26/6/2009	12
Direttiva 2010/31/UE	13
Direttiva europea 2012/27/UE	13
Decreto ministeriale 26/06/2015	14
Deliberazione della giunta regionale (Emilia Romagna) 20/07/2015 n. 967.....	15
Deliberazione della giunta regionale 7/09/2015 n. 1275	16
CAPITOLO 2 - Caso studio: descrizione e analisi dei componenti	19
2.1 Presentazione dell'edificio	19
2.2 Dati climatici	23
2.3 Strutture opache	26
2.4 Strutture trasparenti	37
2.5 Impianto termico	39
CAPITOLO 3 - Analisi della situazione attuale	46
3.1 Dispersioni termiche	46
3.2 Prestazione energetica.....	51
3.3 Classificazione energetica.....	54
CAPITOLO 4 Strumenti per l'analisi economica.....	58
4.1 Bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio.....	59
4.2 VAN e Payback time.....	60
CAPITOLO 5 Interventi di riqualificazione e analisi degli interventi.....	63
5.1 Intervento di isolamento delle pareti esterne.....	64
5.2 Intervento di isolamento delle pareti del seminterrato	70

5.3 Intervento combinato di isolamento delle pareti verso l'esterno e di isolamento delle pareti del seminterrato	73
5.4 Intervento di isolamento del sottotetto	74
5.5 Intervento combinato di isolamento delle pareti verso l'esterno, delle pareti del seminterrato e del sottotetto.....	76
5.6 Sostituzione degli infissi	80
5.7 Interventi combinati (isolamento totale e sostituzione finestre)	82
5.8 Classificazione energetica post-interventi	85
Conclusioni	87
Bibliografia e sitografia.....	90
Ringraziamenti	91

Introduzione

L'obiettivo della presente tesi è quello di analizzare gli interventi di riqualificazione energetica di un plesso scolastico, sito nella Città di Castelfranco Emilia (MO).

Lo studio partirà da un'analisi del quadro normativo italiano ed europeo, posto come riferimento per la valutazione delle caratteristiche dell'edificio e fondamentale per la definizione degli interventi di riqualificazione che verranno proposti.

Si passerà alla presentazione del materiale a disposizione e dei dati rilevati da un sopralluogo effettuato, che hanno permesso di valutare le scelte da attuare tra diverse opzioni di calcolo possibili nel software, per arrivare ad un risultato organico e ragionevole.

Il software utilizzato per lo studio è EDILCLIMA EC700. Esso permette di creare il modello dell'edificio tramite la definizione delle tipologie di componenti (murarie e finestrate), delle dimensioni e delle geometrie. Sul modello creato sarà possibile definire inoltre le condizioni di utilizzazione e sarà infine possibile introdurre le caratteristiche degli impianti presenti all'interno.

In funzione del modello creato, Edilclima calcola le dispersioni termiche e i fabbisogni di energia primaria per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria e permette di ottenere i risultati utili per la definizione della classe energetica.

Sulla base di quanto ottenuto nella fase di analisi dello stato di fatto dell'edificio, verranno valutati gli eventuali interventi di riqualificazione, con lo scopo di ottenere un edificio più efficiente dal punto di vista delle prestazioni energetiche, e quindi un minore costo per il riscaldamento dell'edificio, facendo in modo che l'edificio rientri nei requisiti minimi previsti dalla legge.

La valutazione dei costi dell'investimento e dei relativi tempi di ritorno, sarà effettuata in due diverse condizioni di funzionamento degli impianti: accensione continua (24 ore su 24) e intermittente (accensione nelle sole 8 ore di occupazione dell'edificio).

CAPITOLO 1

Introduzione al quadro normativo

Quella della riduzione dei consumi, oggi più che mai, è percepita come un'esigenza fondamentale da parte di ogni nazione sviluppata.

Il settore civile, che è responsabile di una rilevante percentuale dei consumi energetici totali, risulta quindi uno dei principali settori a cui sono rivolte le misure di contenimento delle emissioni.

È a questo scopo che negli anni è stato creato un apparato normativo che regolamenti il settore edilizio. Tale apparato normativo è in continua evoluzione ed è volto ad una sempre minore dispersione termica degli edifici e ad una sempre maggiore efficienza degli impianti.

In questo capitolo verranno presentati alcuni dei principali decreti sui quali si fonda la struttura normativa per il contenimento dei consumi energetici e per la riduzione dell'impatto che gli edifici, e più in generale tutto il settore dell'edilizia civile, hanno sull'ambiente.

Legge ordinaria del Parlamento n° 373/76

“Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”.

È importante citare questa legge principalmente per la sua rilevanza storica. È infatti la prima legge italiana che si occupa delle norme per il contenimento dei consumi energetici ad uso termico negli edifici. Si applica ad edifici pubblici o privati, ad esclusione di quelli destinati ad attività industriali o artigianali e guida l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria. Impone l'obbligo del rispetto delle corrette caratteristiche d'isolamento termico, fissate dai successivi decreti, per edifici di nuova costruzione, o soggetti a ristrutturazione e nei quali sia presente un impianto termico. Il soddisfacimento di questo requisito costituisce un vincolo per l'ottenimento dell'autorizzazione ai lavori.

Legge 9 gennaio 1991, n. 10

“Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.”

Questa legge completa la precedente e la approfondisce. Definisce le linee guida per l'uso appropriato delle fonti energetiche convenzionali e rinnovabili.

Compare la definizione di energia rinnovabile e ne viene rimarcata l'importanza all'interno di una politica energetica volta alla salvaguardia dell'ambiente, attraverso l'introduzione di incentivi fiscali a sostegno del suo utilizzo. Gli incentivi non riguardano solo il settore dell'edilizia civile, ma anche quello industriale, agricolo e dell'illuminazione stradale.

Gli incentivi sono concessi anche per lavori di ristrutturazione di edifici o impianti preesistenti. In particolare per lavori di coibentazione delle pareti, installazione di nuovi generatori ad alto rendimento, di pompe di calore, di apparecchiature per la produzione combinata di energia elettrica e termica e di trasformazione di impianti centralizzati in impianti autonomi unifamiliari.

Viene stabilito l'obbligo da parte del proprietario dell'edificio, o di chi per esso, di depositare al Comune di appartenenza dell'edificio, un certificato energetico rilasciato dal progettista, che testimoni l'effettiva compatibilità del progetto con le linee guida della legge e dei decreti.

D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412

“Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10.”

Tra le novità introdotte da questo decreto attuativo, è importante segnalare la suddivisione di tutto il territorio nazionale in 6 zone climatiche, sulla base dei Gradi Giorno. La classificazione è la seguente:

- Zona A: comuni che presentano un numero di gradi - giorno non superiore a 600;
- Zona B: comuni che presentano un numero di gradi - giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;
- Zona C: comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;
- Zona D: comuni che presentano un numero di gradi - giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;
- Zona E: comuni che presentano un numero di gradi - giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
- Zona F: comuni che presentano un numero di gradi - giorno maggiore di 3.000.

Viene ipotizzata una classificazione degli edifici, in funzione alla destinazione d'uso. come segue:

- E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili:

E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi,

conventi, case di pena, caserme;

E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e

simili;

E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

- E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche

ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento

termico;

- E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura

di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di

altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici;

- E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:

E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi; E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi

di culto;

E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;

- E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al

minuto, supermercati, esposizioni;

- E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:

E.6 (1) piscine, saune e assimilabili;

E.6 (2) palestre e assimilabili;

E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive;

- E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

- E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

Il decreto, mediante le disposizioni presenti nell'Allegato E, fornisce le metodologie per il calcolo del minimo rendimento termico dei generatori di calore.

Direttiva 2002/91/CE del parlamento europeo e del consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia

Detta anche EPBD (Energy Performance of Building Directive).

Il contesto di riferimento in cui si colloca questa direttiva è quello dell'attuazione del protocollo di Kyoto, trattato internazionale sul tema del surriscaldamento globale. La sensibilizzazione ad una politica energetica sempre più "verde", diventa ancor di più il fulcro dell'evoluzione della struttura normativa del settore edilizio.

Vengono fornite metodologie di calcolo per il rendimento energetico degli edifici, vengono posti nuovi requisiti minimi di rendimento energetico, diversi per edifici di nuova costruzione e per edifici sottoposti a ristrutturazione. Inoltre viene imposto l'obbligo di ispezione e controllo periodico delle caldaie e dei sistemi di climatizzazione.

La novità più importante, tuttavia, è quella dell'introduzione del Certificato Energetico. La documentazione relativa alla certificazione energetica comprende i valori di rendimento dell'edificio, con relativi riferimenti a norma di legge, che possano consentire

una valutazione energetica globale delle condizioni energetiche dell'edificio; nonché gli eventuali suggerimenti per il miglioramento dei rendimenti. Il Certificato ha validità decennale e deve essere obbligatoriamente messo a disposizione dell'acquirente o del locatario di un immobile. Per edifici di metratura superiore ai 1000 m² occupati da enti pubblici, e per i quali è generalmente previsto un flusso molto alto di persone, il Certificato deve essere obbligatoriamente esposto e visibile.

Viene introdotta la definizione di edificio ad energia "quasi zero", ovvero di un edificio ad altissima efficienza energetica, il cui fabbisogno è coperto principalmente da fonti rinnovabili. Secondo il decreto, gli stati membri dovranno redigere piani destinati all'aumento di edifici ad energia "quasi zero", con la prospettiva che entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici ad energia "quasi zero".

Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192

"Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

In quanto decreto attuativo della precedente direttiva, riguarda l'applicazione di quest'ultima sul territorio nazionale. Fulcro intorno a cui ruota il decreto, anche in questo caso, è il miglioramento delle prestazioni energetiche con rilevante attenzione all'integrazione delle energie rinnovabili, delle tecniche e di materiali sostenibili, al fine di conseguire gli obiettivi posti in materia energetica e ambientale.

Nell'articolo 6 vengono precisate le specifiche riguardanti l'Attestato di Certificazione Energetica ACE (dopo il DL 63/2013 non si parlerà più di ACE ma di Attestato di Prestazione Energetica APE). L'obbligo di affissione viene esteso agli edifici con superficie utile maggior di 500 m² (successivamente tale obbligo verrà esteso ulteriormente a superfici di 250 m² per edifici aperti al pubblico). Oltre all'obbligatorietà da parte del proprietario di fornire il certificato in caso di compravendita dell'edificio, deve essere prevista un'apposita clausola all'interno del contratto, che testimoni la presa visione dell'attestato da parte dell'acquirente o del locatario. Nel DLgs. 311/2006 che rettifica e completa alcuni punti del 192/2005 verrà introdotto anche l'Attestato di Qualificazione Energetica (AQE), attestato facoltativo,

rilasciato per semplificare la compilazione dell'ACE e che contiene le proposte di intervento sull'edificio e sugli impianti per migliorare le prestazioni.

La relazione tecnica dei lavori deve contenere obbligatoriamente i calcoli e le verifiche richieste dal decreto, che testimonino la corrispondenza alle prescrizioni.

È compito delle regioni (e delle provincie autonome) provvedere all'attuazione del decreto.

In allegato al decreto sono presenti i valori limite dell'indice di Prestazione Energetica in funzione della zona climatica e del rapporto S/V dell'edificio (detto rapporto di forma, calcolato in funzione della superficie che delimita l'edificio verso l'esterno o verso ambienti non riscaldati e del volume lordo dell'edificio).

Sono definiti i valori limite di trasmittanza per strutture verticali, orizzontali, opache e trasparenti.

D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59

“Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.”

Individua come norme tecniche di riferimento per il calcolo delle prestazioni energetiche e dei requisiti minimi le seguenti norme:

- UNI/TS 11300 - Parte 1 Prestazioni energetiche degli edifici : Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300 - Parte 2 Prestazioni energetiche degli edifici : Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

In questo decreto, inoltre, viene fissato il limite di validità dei risultati ottenuti attraverso i software commerciali. In particolare, il calcolo dei requisiti minimi effettuato attraverso un software può discostarsi di più o meno 5% rispetto al valore dei requisiti minimi calcolati con l'applicazione delle norme di riferimento.

Decreto Ministeriale 26/6/2009

“Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.”

Il decreto definisce l'indice di prestazione globale dell'edificio EPgl. Viene riportato nel seguito il testo del decreto relativo a questa definizione:

$$EPgl = EPI + EPacs + EPe + EPill$$

dove:

- EPI: è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
- EPacs: l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;
- EPe: l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
- EPill: l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Nel caso di edifici residenziali tutti gli indici sono espressi in kWh/m² anno. Nel caso di altri edifici (residenze collettive, terziario, industria) tutti gli indici sono espressi in kWh/m³ anno.

Negli allegati del decreto sono specificate tutte le metodologie di calcolo per ciascuno degli EP sopra citati.

La classe energetica viene attribuita all'edificio sulla base dei soli indici EPI ed EPacs.

Direttiva 2010/31/UE del parlamento europeo e del consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia

Sulla stessa base della precedente direttiva europea, la integra e ne chiarisce alcuni punti, fornisce il quadro comune per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. La commissione fornisce, mediante questa direttiva, un quadro metodologico a cui riferirsi per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Agli stati membri è lasciato il compito di definire gli edifici di riferimento, e il rispettivo fabbisogno di energia primaria.

Direttiva europea 2012/27/UE

Pone nuove disposizioni per il raggiungimento degli obiettivi fissati nelle direttive precedenti, mediante la richiesta di maggiori investimenti per la ristrutturazione degli edifici, in particolare quelli pubblici, affinché si abbia un sempre maggiore adeguamento

ai parametri minimi. Ogni stato membro si impegnerà in tal senso a ristrutturare il 3% della superficie degli edifici della pubblica amministrazione, rendendolo energeticamente più efficiente e corrispondente ai parametri imposti.

Decreto ministeriale 26/06/2015 (a livello nazionale)

“Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”.

Si compone di tre decreti interministeriali riguardanti l'applicazione delle metodologie di calcolo per i requisiti minimi, le indicazioni per redigere correttamente il nuovo APE 2015 e definisce inoltre i riferimenti per la corretta compilazione della relazione tecnica di progetto.

DM - Linee Guida APE: stabilisce le linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica, specificando le modalità di cooperazione tra lo stato e le regioni e propone la realizzazione di un catasto nazionale in cui raccogliere tutti gli attestati (SIAPE: Sistema Informativo degli Attestati di Prestazione Energetica).

Sono riportati i punti che il decreto descrive come obbligatori per la corretta compilazione dell'APE:

- a) la prestazione energetica globale sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
- b) la classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria non rinnovabile;
- c) la qualità energetica del fabbricato ai fini del contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio;
- d) i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;
- e) le emissioni di anidride carbonica;
- f) l'energia esportata;
- g) le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti, distinguendo gli interventi di ristrutturazione importanti da quelli di riqualificazione energetica;

Ogni APE riporta, inoltre, le informazioni correlate al miglioramento della prestazione energetica, quali gli incentivi di carattere finanziario e l'opportunità di eseguire diagnosi energetiche.

Al fine di garantire la corretta compilazione degli attestati, le regioni sono tenute ad effettuare controlli su almeno il 2% degli attestati depositati nel territorio ogni anno.

DM – Relazione Tecnica: riporta negli allegati gli schemi di relazione tecnica di progetto, che devono contenere tutte le informazioni relative alla localizzazione dell'immobile, alla descrizione di tutti gli impianti, ai risultati e deve contenere inoltre la dichiarazione di rispondenza alle prescrizioni. In particolare sono riportati tre schemi, riguardanti le diverse tipologie di intervento tra cui: nuova costruzione, ristrutturazione importante, riqualificazione energetica.

A livello della regione Emilia Romagna, sulla base del DM 26/06/2015 vengono adeguate le normative regionali riguardante i requisiti minimi e l'attestazione delle prestazioni energetiche degli edifici, secondo le seguenti Delibere della Giunta Regionale.

Deliberazione della giunta regionale (Emilia Romagna) 20/07/2015 n. 967

“Approvazione dell'atto di coordinamento tecnico regionale per la definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici.”

Stabilisce i requisiti minimi relativi a:

- a) edifici di nuova costruzione e impianti in essi installati;
- b) nuovi impianti installati in edifici esistenti;
- c) interventi sugli edifici e sugli impianti esistenti.

La deliberazione si rifà alla direttiva 2010/31/UE e al DM 26/06/2015 , mettendoli in atto.

Dalle direttive imposte dalla deliberazione sono esclusi gli edifici di valore storico culturale tutelati dal codice dei beni culturali, edifici adibiti a luoghi di culto, edifici rurali senza impianto di climatizzazione, edifici industriali, artigianali e agricoli, edifici il cui utilizzo non prevede utilizzo di sistemi di climatizzazione.

Negli allegati vengono elencati i requisiti, le prescrizioni e le verifiche da seguire in base a quattro diverse tipologie di intervento:

- 1) Nuova costruzione e assimilabili (compreso anche l'intervento di demolizione e ricostruzione e di ampliamento di almeno 15% del volume climatizzato);

- 2) Ristrutturazione importante di primo livello (interessano almeno il 50% della superficie disperdente dell'involucro edilizio, con installazione o ristrutturazione dell'impianto termico);
- 3) Ristrutturazione importante di secondo livello (interessano almeno il 25% della superficie disperdente dell'involucro edilizio, oltre che ampliamenti del volume climatizzato che non rientrano nei parametri del punto 1));
- 4) Riqualficazione energetica (hanno impatto sulle prestazioni energetiche dell'edificio ma non rientrano in nessuna delle tre tipologie precedenti).

Viene introdotto il metodo dell' "edificio di riferimento" per la verifica dei requisiti di prestazione energetica dell'edificio. L'edificio di riferimento è definito come: *"Edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati"*

Rappresenta dunque l'edificio target a cui deve "tendere" l'edificio reale in termini di prestazioni.

La presentazione delle linee guida per la relazione tecnica e per la compilazione dell'Attestato di Qualificazione Energetica (AQE) compare negli allegati 4 e 5.

Deliberazione della giunta regionale 7/09/2015 n. 1275

"Approvazione delle disposizioni regionali in materia di attestazione della prestazione energetica degli edifici (certificazione energetica)."

La deliberazione stabilisce le funzioni dell'Organismo Regionale, le modalità da esso utilizzate per accreditare figure professionali a cui affidare le attività di attestazione della prestazione energetica degli edifici, stabilendo le procedure da rispettare per la corretta compilazione dell'APE e la relativa registrazione nei sistemi informativi. Gestisce inoltre i programmi annuali di verifica della conformità degli attestati di prestazione energetica.

L'obbligo alla compilazione dell'APE è previsto per edifici di nuova costruzione, edifici soggetti a ristrutturazioni importanti, edifici in vendita o in locazione e edifici della pubblica amministrazione con superficie maggiore di 250 m².

Nell'allegato A-5 sono presenti i fattori moltiplicativi per la costruzione della scala di classificazione energetica, per la quale è indispensabile il calcolo degli indici $EP_{gl,nr,Lst}$ (indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento) e $EP_{gl,nr}$ (indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio reale).

CAPITOLO 2

Caso studio: descrizione e analisi dei componenti

2.1 Presentazione dell'edificio

Oggetto di studio è l'edificio scolastico situato nella città di Castelfranco Emilia che accoglie gli studenti delle scuole elementari e medie dell'Istituto Comprensivo G. Marconi.

Essendo un edificio adibito ad attività scolastiche, rientra nella categoria E.7 secondo il DPR 412/93.

L'edificio è in una posizione piuttosto centrale della città, con ingresso principale sull'omonima via G. Marconi.

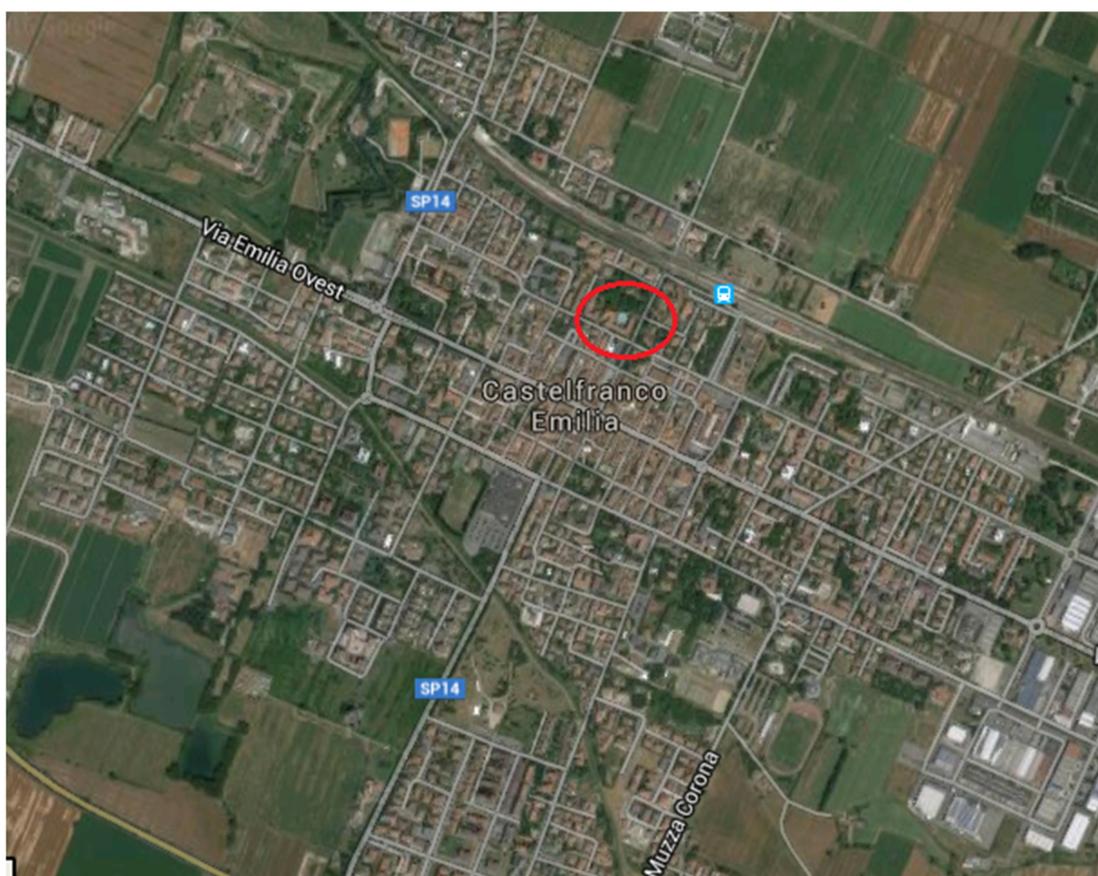


Figura 2.1- Collocazione dell'edificio rispetto alla città di Castelfranco Emilia.

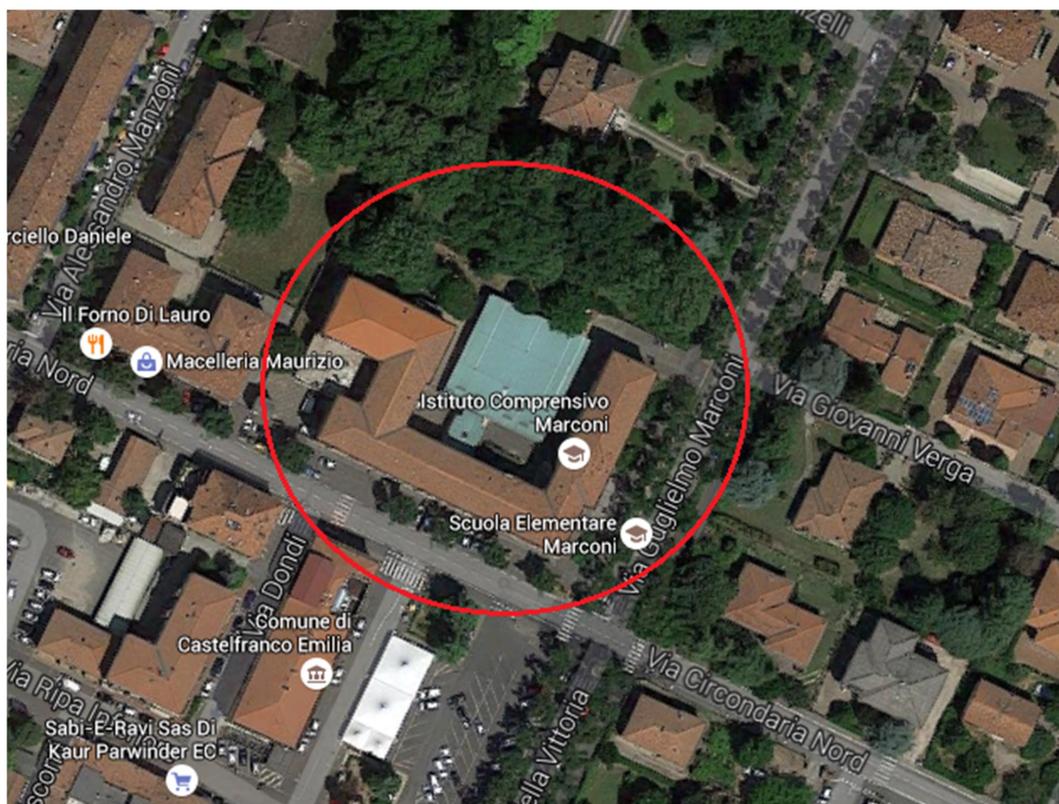


Figura 2.2 - Vista satellitare dell'edificio.

Il fabbricato è stato costruito tra gli anni 1950 e 1960 e si sviluppa complessivamente in quattro piani. I tre piani fuori terra ospitano aule, uffici, palestra, aule conferenza e aula magna. Il piano interrato, invece, ospita aule destinate alle attività di laboratorio creativo degli studenti e magazzini utilizzati principalmente dal personale della scuola.

Dal corpo principale dell'edificio si distacca un ramo, di nuova costruzione, che porta nella mensa scolastica. Nel seguito vedremo come questo ambiente presenti caratteristiche del tutto differenti rispetto al resto dell'edificio, risultando la zona più energeticamente efficiente.



Figura 2.3 - Vista facciata sud dell'edificio.



Figura 2.4 - Vista facciata nord dell'edificio.

Nel seguito sono riportate le piante dei vari piani dell'edificio.

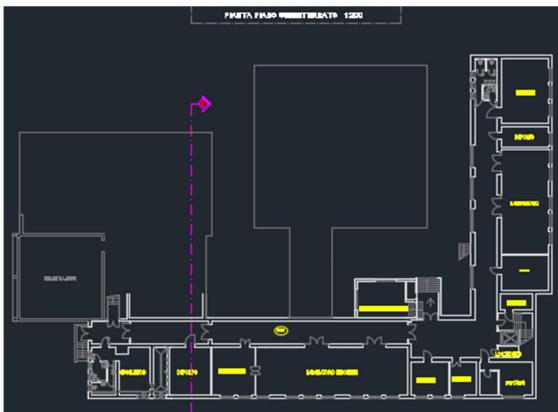


Figura 2.5 - Pianta piano seminterrato

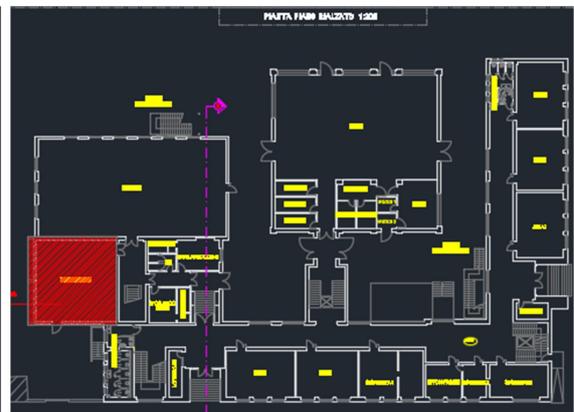


Figura 2.6 - Pianta piano rialzato



Figura 2.7 - Pianta primo piano

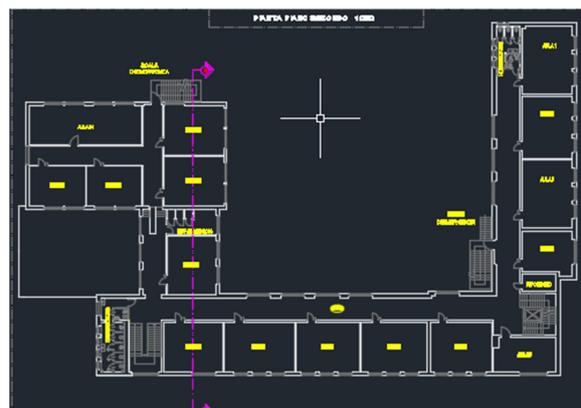


Figura 2.8 - Pianta secondo piano

*La zona rossa visibile nella pianta del piano rialzato ospita la palestra di judo, ambiente poco utilizzato che escludiamo pertanto da questa trattazione.

Le caratteristiche dimensionali dei vari piani e degli ambienti dell'edificio sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 2.1 - Caratteristiche dimensionali ambienti dell'edificio

AMBIENTE	Sup. netta [m ²]	Vol. netto [m ³]	Sup. lorda [m ²]	S/V [m ⁻¹]
Seminterrato	819.83	3135.54	1628.54	0.52
Mensa	449.9	2683.10	1130.58	0.42
Palestra	774.69	4306.87	985.72	0.23
Piano rialzato	436.82	3248.23	904.46	0.28
Primo piano	1208.73	6077.99	1266.13	0.21
Secondo piano	1205.38	6350.86	2678.11	0.42
Totale	4895.35	25802.59	8593.54	0.33

La superficie netta si riferisce alla superficie in pianta di ciascun ambiente. La superficie lorda è invece la superficie disperdente verso l'esterno/terreno/ambienti non riscaldati.

2.2 Dati climatici

I dati climatici sono il punto di partenza per una corretta determinazione dell'efficienza energetica dell'edificio. Essi influenzano in maniera determinante sia le dispersioni che gli apporti di calore, ma soprattutto da essi dipendono le normative e le leggi di riferimento. I dati necessari sono quelli riferiti alla città di Castelfranco Emilia, in zona climatica E.

Tutti i dati sono già raccolti all'interno dell'archivio di Edilclima.

The screenshot displays the Edilclima software interface with the following data:

- Location:** Comune: Castelfranco Emilia; Provincia: Modena; Gradi giorno: 2269 gg; Altitudine s.l.m.: 42 m; Latitudine Nord: 44° 35'; Longitudine Est: 11° 3'; Codice Catastale: C107; CAP: 41013; Codice ISTAT: 36006.
- Wind Data:** Distanza dal mare: > 40 km; Regione di vento: B; Direz. preval. vento: SO; Velocità vento media: 1,60 m/s; Velocità vento max: 3,20 m/s.
- Winter Data (Dati invernali):** Località di riferimento per Temperatura: Modena; Irraggiamento: Bologna; Ventosità: Modena; Temperatura esterna: Della località: -5,0 °C; Variazione: 0,0 °C; Adottata: -5,0 °C; Periodo convenzionale riscaldamento: Zona climatica: E; Durata: 183 giorni; Dal giorno: 15 ottobre; Al giorno: 15 aprile.
- Solar Radiation:** Irradianza solare massima sul piano orizzontale: 291,7 W/m².
- Summer Data (Dati estivi):** Località riferimento estiva: BOLOGNA BORGOPANIGALE; Temperatura bulbo secco: 33,0 °C; Temperatura bulbo umido: 22,9 °C; Umidità relativa: 43,0 %; Umidità assoluta: 14,0 g/kg.

Figura 2.9 - Dati generali forniti dal software Edilclima.

La determinazione della zona climatica, in funzione dei gradi giorno, determina univocamente il periodo di riscaldamento che, nel caso di classe climatica E come da oggetto, va dal 15 Ottobre al 15 Aprile. La zona climatica identifica le temperature medie mensili utilizzate dal software (qui di seguito espresse in °C) e tutti gli altri dati climatici mensili.

Tabella 2.2 - Temperature medie mensili della località

Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile
14°C	8,1°C	3,1°C	1,4°C	3,5°C	8,6°C	13,3°C

Il periodo di riscaldamento, come detto, è determinato dai gradi giorno secondo quanto riportato nel Dpr 412/93 Art.2 (come descritto nel Capitolo 1 della presente trattazione).

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;

Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;

Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;

Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;

Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;

Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

In questo Dpr viene anche fornita la definizione di Grado Giorno:

Per «gradi-giorno» di una località, si intende la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado-giorno (GG)

Il calcolo può essere effettuato analiticamente con la seguente formula:

$$GG = \int_1^2 (t_{ir} - t_{mg}) d\tau$$

Dove:

- t_{ir} : temperatura interna di riferimento;
- t_{mg} : temperatura media giornaliera;

I punti di intersezione tra la curva delle t_{mg} e della retta t_{ir} , proiettate sull'asse delle ascisse (in cui vengono riportati i giorni dell'anno), determinano la data di inizio e di fine del periodo di riscaldamento.

Le verifiche di legge effettuate dal software sono conformi al DGR 20.07.15 n. 967 (Regione Emilia Romagna), gli attestati energetici sono attribuiti in base al DGR 07.09.15 n. 1275 (Regione Emilia Romagna).

2.3 Strutture opache

La costruzione dell'edificio centrale, così come riportato nei dati catastali, è riconducibile ad un periodo tra gli anni '50 e '60. Tutte le strutture opache sono dunque prive di isolante.

Da una prima osservazione effettuata in loco è stato possibile ipotizzare la stratigrafia dei muri perimetrali esterni, costituiti per la maggior parte da laterizio, con diverso rivestimento esterno a seconda delle facciate. In particolare, le facciate esposte a sud e ad est, ospitanti gli ingressi principali all'edificio, hanno un rivestimento in mattoncini, tipico della zona di costruzione, mentre le altre facciate sono rivestite con un semplice intonaco (ipotizziamo malta con calce o di calce e cemento).

Per la determinazione dei ponti termici, benché non più consentito dalla legge dopo l'introduzione della UNI EN ISO 10211, è stato utilizzato il metodo di calcolo percentuale proposto da Edilclima. La varietà di tipologie di strutture presenti nell'edificio, infatti, rende difficile, se non impossibile, definire ponti termici che rispecchino condizioni verosimili. Il calcolo dei ponti termici potrà essere effettuato con precisione nel caso in cui si deciderà di intervenire con un isolamento delle pareti. In quest'ultimo caso infatti il flusso termico attraverso gli innesti potrà essere valutato in maniera più precisa in funzione della posizione dell'isolante nella stratigrafia del muro.

Nel seguito sono riportate in dettaglio solo alcune delle strutture tipiche dell'edificio, con informazioni relativamente a: stratigrafia, caratteristiche dimensionali, trasmittanza totale, caratteristiche termiche e dinamiche; la descrizione è accompagnata dalla rappresentazione grafica della struttura.

Pareti perimetrali

Sia dalle piante dell'edificio che dalle rilevazioni effettuate, si nota come sia presente una elevata quantità di tipologie di strutture che, seppur simili in quanto a stratigrafia, si differenziano principalmente per le dimensioni.

Muri - riepilogo						
Codice	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ue [W/m²K]	θe [°C]	Vti
M1	T	Muro perimetrale 0,5	500,00	1,353	-5,0	✓
M2	T	Muro perimetrale 0,5 piastrelle	510,00	1,347	-5,0	✓
M3	T	Muro perimetrale 0,4	400,00	1,609	-5,0	✓
M4	T	Muro perimetrale 0,4 rivestimento tessile	400,00	1,284	-5,0	✗
M5	T	Muro perimetrale 0,4 senza rivestimento esterno	430,00	1,529	-5,0	✓
M6	G	Muro perimetrale seminterrato	500,00	0,728	-5,0	✓
M7	T	Porta antincendio	40,00	1,800	-5,0	●
M8	T	Muro ingresso 0,88	880,00	0,558	-5,0	✓
M9	T	Muro ingresso 0,92	920,00	0,536	-5,0	✓
M10	N	Muro verso palestra judo 0,4	400,00	1,397	5,0	✓
M11	N	Muro verso palestra judo 0,28	280,00	1,741	5,0	✓
M12	T	Muro perimetrale seminterrato verso ct	500,00	1,336	-5,0	✓
M13	T	Muro perimetrale 0,4 piastrelle	400,00	1,609	-5,0	✓

Figura 2.10 - Riepilogo dei componenti murari dell'edificio.

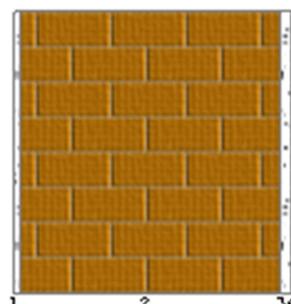
Per le resistenze termiche superficiali delle componenti opache verticali si fa riferimento alla UNI EN ISO 6942 e si utilizzano i seguenti valori:

Tabella 2.3 - Valori delle resistenze termiche superficiali secondo la UNI EN ISO 6942

	Resistenza interna (Rsi)	Resistenza esterna (Rse)
Potenza	0.13 m²K/W	0.04 m²K/W
Energia	0.13 m²K/W	0.04 m²K/W

- Muro perimetrale 0.5 m

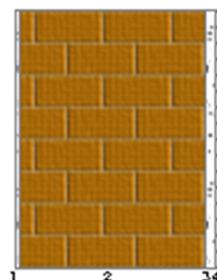
Trasmittanza U - Potenza	1,353	W/m²K
Trasmittanza U - Energia	1,353	W/m²K
Spessore totale	500	mm
Permeanza	49,751	10 ⁻¹² kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	904	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	846	kg/m²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,119	W/m²K
Fattore di attenuazione	0,093	
Sfasamento dell'onda termica	-15,217	h
Capacità termica areica	64,552	kJ/m²K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23
e1615	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	450,00	0,810	0,556	1800	0,84	7
e1024	Malta di cemento	20,00	1,400	0,014	2000	1,00	23
u103	Mattoncini	20,00	0,800	0,025	1800	0,84	9

- Muro perimetrale 0.4 m

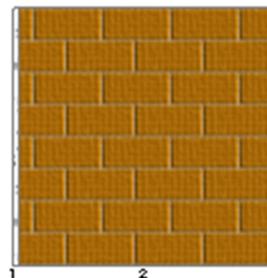
Trasmittanza U - Potenza	1,609	W/m²K
Trasmittanza U - Energia	1,609	W/m²K
Spessore totale	400	mm
Permeanza	60,241	10 ⁻¹² kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	724	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	666	kg/m²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,272	W/m²K
Fattore di attenuazione	0,178	
Sfasamento dell'onda termica	-12,071	h
Capacità termica areica	67,467	kJ/m²K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23
e1615	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	350,00	0,810	0,432	1800	0,84	7
e1024	Malta di cemento	20,00	1,400	0,014	2000	1,00	23
u103	Mattoncini	20,00	0,800	0,025	1800	0,84	9

- Muro perimetrale seminterrato

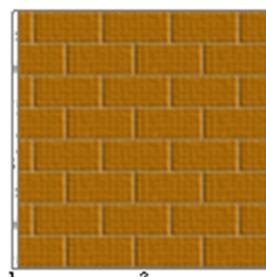
Trasmittanza U - Potenza (controterra)	0,728	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia (controterra)	0,728	W/m ² K
Spessore totale	500	mm
Pemeanza	54,645	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	900	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	882	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,115	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,166	
Sfasamento dell'onda termica	-15,225	h
Capacità termica areica	64,525	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m ² K/W]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23
e1615	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	490,00	0,810	0,605	1800	0,84	7

- Muro ingresso 0.88 m

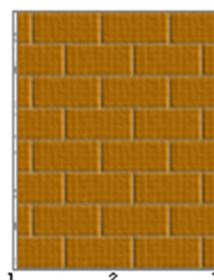
Trasmittanza U - Potenza	0,558	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia	0,558	W/m ² K
Spessore totale	880	mm
Pemeanza	32,051	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	1060	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	1032	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,004	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,008	
Sfasamento dell'onda termica	-2,711	h
Capacità termica areica	55,095	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m ² K/W]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1022	Intonaco di calce e gesso	20,00	0,700	0,029	1400	1,00	11
e1612	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	860,00	0,540	1,593	1200	0,84	7

- Muro verso palestra judo

Trasmittanza U - Potenza	1,397	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia	1,397	W/m ² K
Spessore totale	400	mm
Perneanza	64,103	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	720	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	684	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,165	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,124	
Sfasamento dell'onda termica	-12,983	h
Capacità termica areica	65,779	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m ² K/W]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23
e1615	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	380,00	0,810	0,469	1800	0,84	7
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23

Pavimenti e soffitti

Per le strutture orizzontali è opportuno distinguere i pavimenti dai soffitti. Le resistenze laminari, in questi due casi sono:

Tabella 2.4 - Resistenze laminari pavimenti

	Resistenza interna (Rsi) [m ² K/W]	Resistenza esterna (Rse) [m ² K/W]
Potenza	0.17	0.04
Energia	0.17	0.04

Tabella 2.5 - Resistenze laminari soffitti

	Resistenza interna (Rsi) [m ² K/W]	Resistenza esterna (Rse) [m ² K/W]
Potenza	0.1	0.04
Energia	0.1	0.04

Pavimenti - riepilogo					
Codice	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ue [W/m ² K]	θe [°C]
P1	D	Pavimento interpiano piastrelle	360,00	1,215	-
P2	G	Pavimento controterra piastrelle	360,00	0,293	-5,0
P3	G	Pavimento controterra linoleum	360,00	0,488	-5,0

Riepilogo pavimenti.

Soffitti - riepilogo					
Codice	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ue [W/m ² K]	θe [°C]
S1	T	Soffitto Mensa	66,00	0,806	-5,0
S2	T	Tetto	295,00	1,797	-5,0
S3	D	Soffitto piastrelle interpiano	360,00	1,464	-
S4	T	Soffitto corridoio Mensa	256,00	1,895	-5,0
S5	U	Soffitto verso sottotetto	310,00	1,526	0,0

Riepilogo soffitti.

- Pavimento interpiano con piastrelle

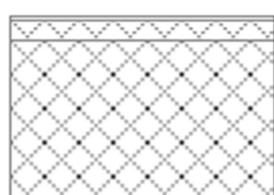
Trasmittanza U - Potenza	1,215	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia	1,215	W/m ² K
Spessore totale	360	mm
Pemeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	406	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	388	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,295	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,243	
Sfasamento dell'onda termica	-9,896	h
Capacità termica areica	58,314	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m ² K/W]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
e2401	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114	1600	0,88	20
e8711	Blocco da solaio	260,00	0,743	0,350	912	0,84	9
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23

- Pavimento contro terra con piastrelle

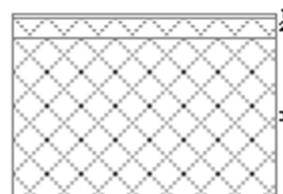
Trasmittanza U - Potenza (controterra)	0,293	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia (controterra)	0,293	W/m ² K
Spessore totale	360	mm
Pemeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	676	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	676	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,333	W/m ² K
Fattore di attenuazione	1,136	
Sfasamento dell'onda termica	-11,020	h
Capacità termica areica	58,993	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
e2401	Sottofondo di cemento magro	40,00	0,700	0,057	1600	0,88	20
e429	C.I.s. in genere	310,00	1,060	0,292	1900	1,00	100

- Pavimento contro terra con linoleum

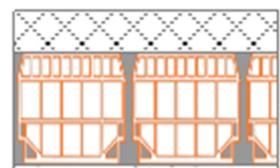
Trasmittanza U - Potenza (controterra)	0,488	W/m²K
Trasmittanza U - Energia (controterra)	0,488	W/m²K
Spessore totale	360	mm
Permeanza	4,785	10 ⁻¹² kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	665	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	665	kg/m²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,282	W/m²K
Fattore di attenuazione	0,578	
Sfasamento dell'onda termica	-11,182	h
Capacità termica areica	49,572	kJ/m²K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1720	Linoleum	10,00	0,170	0,059	1200	1,40	1000
e2401	Sottofondo di cemento magro	40,00	0,700	0,057	1600	0,88	20
e429	C.I.s. in genere	310,00	1,060	0,292	1900	1,00	100

- Soffitto verso sottotetto

Trasmittanza U - Potenza	1,526	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia	1,526	W/m ² K
Spessore totale	310	mm
Pemianza	52,493	10 ⁻¹ kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	413	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	395	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,524	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,343	
Sfasamento dell'onda termica	-8,841	h
Capacità termica areica	75,546	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m ² K/W]	M.V. [kg/m ³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e2401	Sottofondo di cemento magro	80,00	0,700	0,114	1600	0,88	20
e8702	Blocco da solaio	220,00	0,667	0,330	1214	0,84	9
e1023	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	0,011	1800	1,00	23

- Tetto

Trasmittanza U - Potenza	1,797	W/m ² K
Trasmittanza U - Energia	1,797	W/m ² K
Spessore totale	295	mm
Pemianza	0,788	10 ⁻¹ kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	403	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	403	kg/m ²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,842	W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,468	
Sfasamento dell'onda termica	-7,550	h
Capacità termica areica	114,404	kJ/m ² K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1325	Copertura in tegole di argilla	10,00	0,990	0,010	2000	0,84	1
e805	Impemeabilizzazione in cartone catramato	5,00	0,500	0,010	1600	1,00	50000
e2403	Sottofondo di cemento magro	60,00	0,900	0,067	1800	0,88	30
e8702	Blocco da solaio	220,00	0,667	0,330	1214	0,84	9

- Soffitto mensa

Trasmittanza U - Potenza	0,806	W/m²K
Trasmittanza U - Energia	0,806	W/m²K
Spessore totale	66	mm
Pemeanza	0,020	10 ⁻¹² kg/sm²Pa
Massa superficiale (con intonaci)	28	kg/m²
Massa superficiale (senza intonaci)	28	kg/m²
Caratteristiche termiche dinamiche		
Trasmittanza periodica	0,768	W/m²K
Fattore di attenuazione	0,953	
Sfasamento dell'onda termica	-1,929	h
Capacità termica areica	23,065	kJ/m²K



Codice	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]	R [m²K/W]	M.V. [kg/m³]	C.T. [kJ/kgK]	R.V.
e1501	Acciaio	1,00	52,000	0,000	7800	0,45	9999999
e807	Impemeabilizzazione con PVC in fogli	5,00	0,170	0,029	1390	0,90	50000
e9501	Fibra di legno per NATURKLIMA	60,00	0,056	1,071	225	2,10	5

Osservando i valori di trasmittanza di tutte le strutture che compongono l'edificio è possibile fare un primo confronto con quelli che sono i limiti di legge.

Apparentemente tali valori risultano piuttosto elevati e la totale assenza di strati di isolante ci permette di ipotizzare che i limiti non siano rispettati. Per averne conferma è necessario riferirci al BURERT (DGR n.237 del 10.09.2015). Nell'allegato A-5 sono specificati nel dettaglio i valori limiti di trasmittanza per tipologia di struttura.

È riportata nel seguito la tabella di riferimento, presa dal Bollettino Ufficiale.

Tabella presente nel BURERT per la determinazione dei limiti di trasmittanza delle strutture opache.

Zona climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra	Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non riscaldati	Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati o contro terra	Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non riscaldati	Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti
	U (W/m ² K)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K)	U (W/m ² K)
D	0,29	0,26	0,29	1,80	0,80
E	0,26	0,22	0,26	1,40	0,80
F	0,24	0,20	0,24	1,10	0,80

I riferimenti necessari sono quelli relativi alla zona climatica E.

Nel caso delle componenti opache verticali verso l'esterno, ad esempio, il valore limite di 0.26 W/m²K è ampiamente superato (arrivando ad un valore di 1.609 W/m²K nel caso del muro perimetrale da 0.4 m). Anche nel caso delle componenti opache orizzontali, nessuna di esse rispetta il limite di legge posto pari a 0.22 W/m²K .

Per determinare la tipologia di intervento, sarà dunque necessario effettuare un confronto tra i valori limite e i valori effettivi delle strutture oggetto di questa trattazione ricavati, come visto precedentemente, mediante l'aiuto del software Edilclima, che ci ha permesso di creare la stratigrafia delle strutture.

2.4 Strutture trasparenti

Anche nel caso delle strutture trasparenti (finestre e porte d'ingresso), da una misurazione fatta in loco si è potuto constatare quanto la tipologia di queste componenti fosse varia. Gli infissi variano molto in tutto l'edificio, sia per dimensioni che per tipologia. Le finestre di installazione più recente sono costituite da vetri doppi (di varie dimensioni) con telai in PVC. Nell'ala ovest dell'edificio vi sono finestre molto disperdenti, con telaio in legno e vetro singolo molto sottile, probabilmente installate all'epoca di costruzione dell'edificio. Le componenti finestrate meno disperdenti risultano essere quelle della mensa. Non è stato dunque possibile definire una tipologia tipica di componente finestrata da inserire nel software, ma sono stati creati dei modelli per ciascuna di esse.

Nel seguito sono riportati solo alcune delle componenti finestrate dell'edificio: quelle con caratteristiche particolari e quelle più comuni.

I valori significativi riportati si riferiscono a:

- Valori dimensionali (altezza, larghezza, superficie);
- Trasmittanza totale dell'infisso;
- Fattore di trasmittanza solare (indicato con $g_{gl,n}$) che indica quanta dell'energia solare agisce effettivamente sul modulo, determinando un apporto di calore.;
- Emissività, ovvero la frazione di energia irraggiata dal modulo. Per quest'ultima si è considerato un valore unico per tutti i componenti pari a 0.837.

Tabella 2.6 - Riepilogo componenti finestrate dell'edificio

COMPONENTE	TIPOL OGIA	H [cm]	L [cm]	Ue [W/m ² K]	ggl.n	A [m ²]
Seminterrato 0.86	6-6-6	80	86	3.29	0.75	0.688
Seminterrato 3.19	6-6-6	80	319	3.132	0.75	2.552
Mensa fin. nord	6-12-6	300	407	1.851	0.67	12.21
Mensa porta nord	6-12-6	280	230	1.947	0.67	9.43
Mensa porta corrid.	6-12-6	200	175	2.008	0.67	3.5
Mensa porte lato	6-12-6	220	250	1.92	0.62	5.5
Palestra fin. nord	10-8-6	400	160	2.973	0.75	6.4
Palestra fin. lato	10-8-6	96	160	3.565	0.75	1.536

Corridoi fin. 1.57	6-6-4	255	157	4.046	0.75	4.003
Corridoi fin. 3.25	6-6-6	255	325	2.984	0.75	8.288
Corridoio fin 2.75	6-6-4	255	275	2.864	0.75	7.012
Bagni fin. 0.86	4-6-4	255	86	3.883	0.75	2.139
Porte ingresso	6-6-6	240	370	3.044	0.75	12.21
Finestra scale	6-6-6	110	325	3.067	0.75	3.608
Ala ovest corridoio	2	250	210	3.139	0.85	5.25
Ala ovest aule	4-9-4	250	230	2.109	0.75	5.75

Alla luce di questi dati è possibile notare l'elevato valore di trasmittanza della maggior parte degli elementi finestrati. I valori più bassi sono, comprensibilmente, quelli dei componenti della mensa, mentre tutti gli altri si attestano su un valore ben più alto del limite di legge.

Il valore limite di trasmittanza, anche per le chiusure trasparenti, è riportato nella *Tabella del BURERT* di cui sopra che per le chiusure tecniche trasparenti vale $U=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Nel dettaglio, la trasmittanza di tutti i componenti risulta superiore al limite di legge.

Possiamo prevedere che la sostituzione degli infissi sarà uno dei principali interventi di efficientamento che verranno proposti.

La superficie totale delle componenti trasparenti dell'intero edificio è pari a 968.11 m^2 .

2.5 Impianto termico

Per una corretta e realistica riproduzione dell'impianto termico all'interno del software, si è scelto di suddividere l'edificio in due zone termiche, raggruppando in ciascuna zona gli ambienti con caratteristiche comuni. La suddivisione ha così permesso di ottenere una zona costituita da tutti i quattro piani dell'edificio centrale e un'altra costituita dalla mensa. Le caratteristiche dimensionali sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 2.7 - Caratteristiche delle zone termiche

ZONA	Sup. netta (pianta) [m ²]	Vol. lordo [m ³]	Sup. lorda disperdente [m ²]	S/V [m ⁻¹]
Scuola	4445.45	23119.49	7462.96	0.32
Mensa	449.90	2683.10	1130.58	0.42

Il sistema impiantistico dell'edificio prevede la presenza di un impianto di riscaldamento centralizzato per tutto la zona denominata "Scuola" (con generazione in centrale termica), una pompa di calore per la generazione autonoma della mensa, un sistema di ventilazione meccanica combinato con la generazione per la cucina della mensa; i sistemi di produzione di acqua calda sanitaria per entrambe le zone sono combinati con il sistema di riscaldamento.

L'impianto di riscaldamento ha un funzionamento intermittente nei sei giorni di accensione settimanale. Si è ipotizzato un tempo di funzionamento pari a 8 ore continuative, seguito da 16 ore di spegnimento. Alla domenica l'impianto resta spento per tutte le 24 ore della giornata.

Generazione.

Non avendo a disposizione alcun tipo di dato, tutte le considerazioni sono state effettuate a seguito di informazioni ricavate dal sopralluogo nell'edificio.

La generazione per il sistema centralizzato della Scuola è effettuata con due caldaie a condensazione da cui, conoscendone marca, serie e modello è possibile risalire a tutte le

caratteristiche tecniche. Un analogo procedimento è stato adottato per la determinazione delle caratteristiche della pompa di calore.

La pompa di calore è posta all'esterno della zona Mensa (come è possibile notare dalle seguenti immagini), mentre entrambe le caldaie a condensazione si trovano nella centrale termica.



Figure 2.11 - Caldaia a condensazione e pompa di calore presenti nell'edificio.

Nelle seguenti tabelle sono invece riportate le caratteristiche principali dei generatori ricavate dai libretti e dalle schede tecniche.

Tabella 2.8 - Caratteristiche tecniche delle caldaie a condensazione.

Tipo di bruciatore	Atmosferico
Marca/serie/modello	Riello Tau 150 Unit
Potenza utile nominale	148.8 kW
Potenza utile a carico intermedio	44.60 kW
Potenza persa in stand-by	1.24 kW
Rendimento utile a potenza nominale 100%	89.3%
Rendimento utile a potenza intermedia 30%	98.3%

Tabella 2.9 - Caratteristiche tecniche della pompa di calore.

Tipologia	Elettrica
Marca/serie/modello	Sanyo/BigPacI/SPWC906VH8
Intervallo temperature sorgente fredda	-15 / 43 °C
Intervallo temperature sorgente calda	-20 / 15°C
Coefficiente di prestazione COP	3.41
Potenza utile	28 kW

Distribuzione e regolazione.

Per la zona Scuola, la distribuzione ai terminali di emissione avviene tramite impianto monotubo, con tubazioni che presentano uno scarsissimo isolamento. Nel piano seminterrato l'impianto di distribuzione è a vista e la temperatura percepita nel corridoio del seminterrato, dove appunto è possibile vedere le tubazioni, è molto più elevata rispetto agli altri ambienti, a causa della forte dispersione termica dell'impianto di distribuzione.



Figura 2.12 - Tubazioni esposte nel seminterrato.

La regolazione (per tutti gli ambienti ad eccezione della mensa), è effettuata con una sonda esterna applicata sul muro della centrale termica, sulla parete che dà verso la mensa, in un punto poco esposto sia al vento che al sole.

La regolazione per gli ambienti della mensa è invece una regolazione per singolo ambiente + climatica.



Figura 2.13 – Sonda climatica posta sul muro della centrale termica



Figura 2.14 - Termostato presente in uno degli ambienti della mensa

Emissione.

Ad eccezione della sala grande della mensa in cui son presenti fan-coil, tutto il resto dell'edificio prevede emissione per mezzo di radiatori. Le seguenti immagini rappresentano lo stato di fatto dei corpi scaldanti.



Figura 2.15 - Radiatori ambienti Scuola



Figura 2.13 - Radiatori ambienti Mensa



Figura 2.14 - Fan-coil sala Mensa

Le caratteristiche principali dei corpi scaldanti sono riportate nelle seguenti tabelle.

Tabella 2.10 - Caratteristiche radiatori.

Radiatori	Δt nominale lato aria	45°C
	n, esponente corpo scaldante	1.3
	Posizionamento corpi scaldanti	Parete interna
	Δt di progetto lato acqua	20°C
	Sovratemperatura di mandata	10°C

Tabella 2.11 - Caratteristiche fan coil.

Fan coil	Δt nominale lato aria	30°C
	n, esponente corpo scaldante	1.0
	Δt di progetto lato acqua	20°C
	Carico medio massimo	70%
	Temperatura minima di mandata	40°C

Acqua calda sanitaria.

In funzione della destinazione d'uso dell'edificio, Edilclima ci propone un valore di fabbisogno giornaliero. Per locali adibiti ad attività scolastica sono stati scelti valori di fabbisogno giornaliero pari a 0.2 l/(giorno*posto) come previsto per una destinazione d'uso E.7 per tutte le zone ad eccezione della mensa in cui prevedibilmente si ha un fabbisogno maggiore di acqua calda sanitaria, ipotizzato pari a quello necessario per le destinazioni d'uso E.4(3) (catering e self service) pari a 25 l/(giorno*posto).

Altri dati relativi all'impianto dell'acqua calda sanitaria sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 2.12 - Dati impianto ACS.

Tipo di produzione	Combinata con impianto di riscaldamento
Sistema di accumulo	Assente
Temperatura di mandata	40°C
Δt di progetto	20°C

Il rendimento relativo al sistema di distribuzione è stato determinato con il metodo semplificato proposto da Edilclima, specificando che il sistema è costituito da una rete corrente parzialmente in ambiente climatizzato.

Ventilazione.

Come precedentemente accennato, la ventilazione meccanica viene effettuata solo ed esclusivamente nella cucina della mensa. L'impianto di ventilazione è combinato con quello di riscaldamento.

È stato riportato nel software un tipo di impianto verosimile e quanto più compatibile con l'impianto osservato in fase di sopralluogo. Si è scelto così di introdurre un sistema di ventilazione meccanica bilanciata, con recuperatore di calore.

Si considera un n50 di 4 ricambi/ora ed un ricambio medio orario per ventilazione naturale pari a 0.5.

È previsto un sistema di estrazione con portata stimata dal software pari a 389.77 m³/h.

CAPITOLO 3

Analisi della situazione attuale

Dopo un'accurata descrizione dell'edificio, è ora possibile trarre conclusioni riguardo le prestazioni energetiche dell'involucro e dell'impianto termico.

Come analizzato nel capitolo precedente, le strutture presentano valori di trasmittanza che vanno, in alcuni casi, ben oltre i valori limiti consentiti per legge. È piuttosto facile prevedere come queste strutture risultino responsabili della maggior parte delle dispersioni termiche verso l'esterno, riducendo notevolmente l'efficienza energetica dell'edificio.

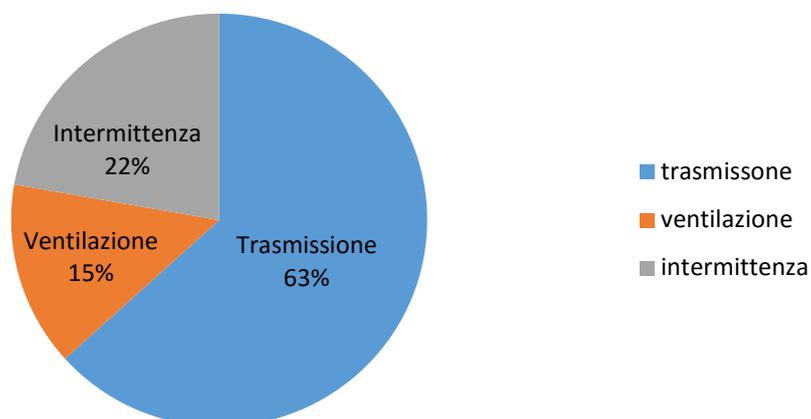
3.1 Dispersioni termiche

Il software Edilclima, una volta inseriti tutti i dati di input, descritto l'impianto termico e i componenti dell'involucro, valuta le dispersioni termiche secondo la UNI EN 12831.

Le dispersioni per le quali il software ci fornisce il valore riguardano le dispersioni per trasmissione, quelle per ventilazione e quelle imputabili all'intermittenza dell'impianto di riscaldamento.

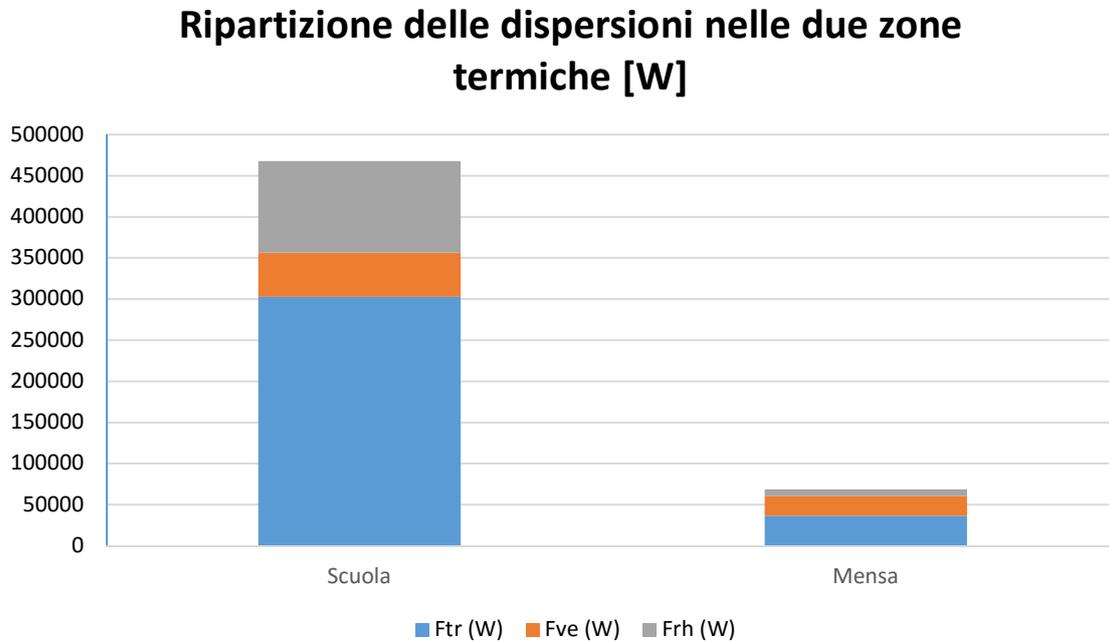
Le dispersioni totali per l'intero edificio sono pari a **536 kW** e risultano così ripartite.

Riassunto dispersioni



Per quanto riguarda la ripartizione delle dispersioni nelle due zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio, invece, è riportato il seguente grafico.

In ordinata i valori delle dispersioni termiche sono riportati in W.



La grande differenza tra le due colonne del grafico è data principalmente dalla differenza di dimensioni delle zone termiche. Un'informazione importante che si riesce a ricavare dal grafico, tuttavia, è il valore decisamente elevato delle perdite per trasmissione della zona Scuola. Dal grafico precedente però, è difficile intuire come le dispersioni siano suddivise nei vari ambienti dell'edificio. Per averne un'idea più chiara, è stato suddiviso l'edificio in sei zone. Le sei zone sono: seminterrato, piano terra, palestra, primo piano, secondo piano e mensa. Nel seguito è riportata una tabella riassuntiva in cui compaiono i volumi di ciascuna di queste zone e i relativi valori delle dispersioni Ftr, Fve, Frh che indicano, rispettivamente, le potenze disperse per trasmissione, per ventilazione e per intermittenza

Tabella 3.1 – Volume e potenze disperse per le varie zone.

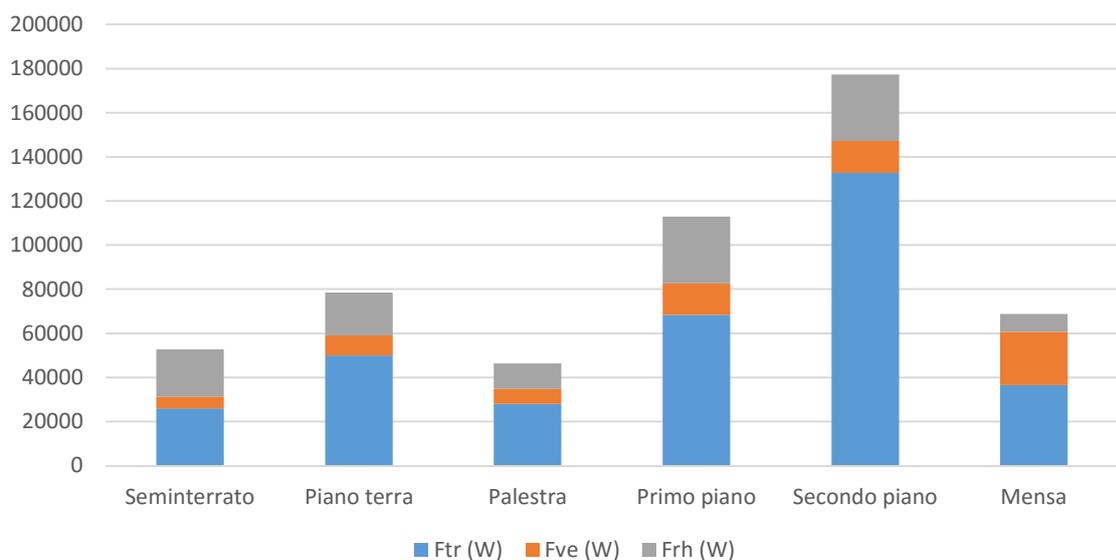
	Vol [m ³]	Ftr [W]	Fve [W]	Frh [W]	TOT [W]
Seminterrato	2295.5	25955	5278	21496	52733

Piano terra	3446.8	49883	9201	19367	78451
Palestra	2752.0	27986	6844	11472	46301
Primo piano	4955.8	68325	14355	30218	112898
Secondo piano	4942.1	132791	14394	30134	177319
Mensa	2249.5	36424	24221	8098	68774

Si costruisce quindi il grafico delle ripartizioni delle dispersioni per le sei zone appena definite, in modo da avere intuitivamente un'idea di quale di queste zone apporti il contributo maggiore di dispersioni.

In ordinata i valori delle dispersioni totali sono riportati in W.

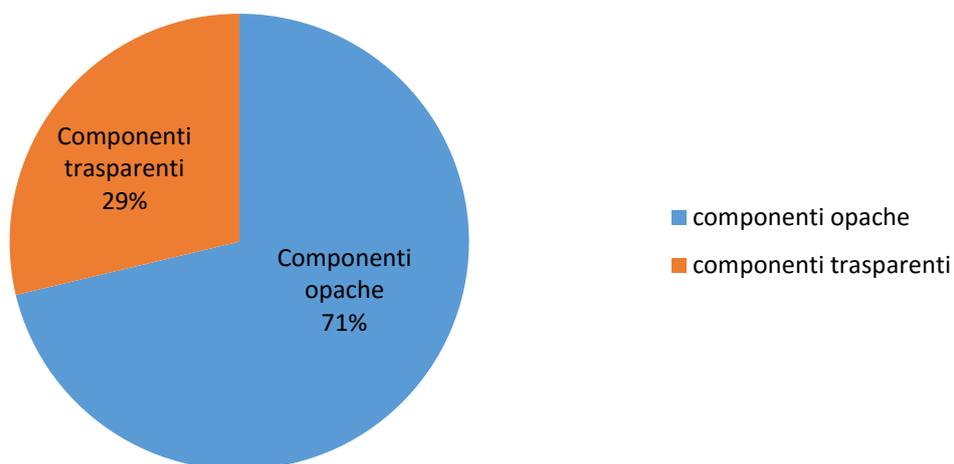
Ripartizione delle dispersioni nelle sei zone



Le zone più disperdenti sono il primo e il secondo piano che, sebbene per come definiti abbiano un volume quasi doppio rispetto alle altre zone, presentano comunque valori nettamente elevati. In particolare per il secondo piano è impossibile non notare l'elevata dispersione per trasmissione, imputabile alla maggiore superficie disperdente costituita dalla copertura orizzontale, per la quale si potrà prevedere un intervento di isolamento.

Nel dettaglio le dispersioni per trasmissione risultano così ripartite tra componenti opachi e componenti finestrati.

Dettaglio dispersioni per trasmissione

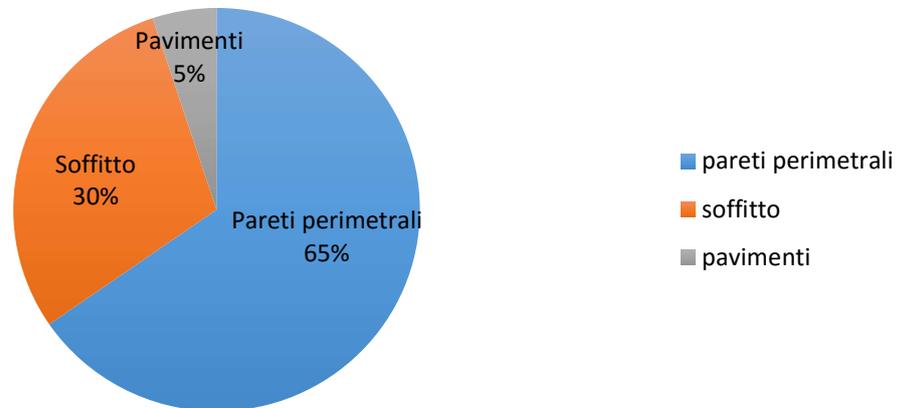


La maggior parte delle dispersioni per trasmissione è imputabile quindi alle strutture opache e identifica come necessario l'intervento di isolamento delle pareti.

Si valuta quindi quali siano, tra tutte le strutture opache, quelle maggiormente disperdenti.

Nel seguente grafico a torta è riportata la ripartizione percentuale delle perdite per trasmissione sulle varie strutture opache.

Distribuzione dispersione per trasmissione per componenti opache



Il totale delle dispersioni per trasmissione è pari a 339 kW. È possibile notare che la maggiore dispersione si ha attraverso le pareti perimetrali che presentano la superficie maggiore, ed è pari al 65% di tutte le dispersioni per trasmissione. Anche le perdite attraverso il soffitto sono notevoli (pari al 30%) mentre solo il 5% è attribuibile alle perdite attraverso il terreno.

Alla luce di questi dati è possibile affermare quindi che i principali interventi dovranno rivolgersi a limitare le dispersioni per trasmissione e si ipotizza che l'eventuale intervento di isolamento delle pareti e di sostituzione degli infissi possa permetterne una riduzione notevole.

3.2 Prestazione energetica

Tutti i risultati relativi all'energia primaria vengono forniti da Edilclima, che li calcola in funzione del modello di progetto che è stato descritto.

I calcoli per la determinazione della classe energetica si effettuano sulla base dei risultati ricavati dal software, ipotizzando un funzionamento continuo dell'impianto (24 ore su 24), nonostante l'impianto sia acceso solo per sei ore durante tutto l'arco della giornata. Nel capitolo successivo sarà valutato l'effetto di tale approssimazione.

Si riportano i risultati elaborati dal software per ciascuna delle due zone termiche.

Per la zona termica denominata Scuola, il fabbisogno termico in termini di energia utile per il riscaldamento vale $Q_{h,risc} = 522967 \text{ kWh/anno}$.

I valori di rendimento sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3.2 - Rendimenti impianto di riscaldamento Scuola

Emissione	87.7%
Regolazione	84.8%
Distribuzione	95%
Generazione	92%
TOTALE η_{risc}	65%

Sul valore molto basso del rendimento totale pesa molto il valore del rendimento di regolazione. La regolazione, che è solo di tipo climatico, risulterebbe molto più efficiente qualora si decidesse di inserire dei regolatori di zona. Con una regolazione climatica + di zona, il rendimento di regolazione, calcolato dal software, diventa del 96%.

Per la zona termica denominata Mensa, il fabbisogno termico in termini di energia utile per il riscaldamento vale $Q_{h,risc} = 86897 \text{ kWh/anno}$.

I valori di rendimento sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3.3 - Rendimenti impianto di riscaldamento Mensa

Emissione	93%
-----------	-----

Regolazione	98%
Distribuzione	96%
Generazione	95.2%
TOTALE η_{risc}	83.3%

In questo caso è facile notare come ciascuno degli indici di rendimento risulti maggiore rispetto al corrispondente indice di rendimento dell'altra zona termica. Il rendimento di regolazione è nettamente aumentato, essendo presente una regolazione climatica + per singolo ambiente.

Il fabbisogno termico in termini di energia per la produzione di acqua calda sanitaria globale per entrambe le zone termiche risulta pari a $Q_{h,w} = 57826 \text{ kWh/anno}$.

I valori di rendimento di tutti i sottosistemi, e del rendimento totale, sono riportati in tabella.

Tabella 3.4 - Rendimenti impianto ACS

Emissione	100%
Distribuzione	92.6%
Generazione	95%
TOTALE η_{gw}	88%

Edilclima fornisce i valori di fabbisogno di energia primaria espressi in kWh. Con una precisione maggiore rispetto al calcolo manuale, essi risultano pari ai valori riportati in tabella.

Tabella 3.5 - Fabbisogni di energia primaria

Fabbisogno per il riscaldamento $Q_{p,risc}$	881672 kWh
Fabbisogno per la produzione di ACS $Q_{p,w}$	65863 kWh

A questo punto è possibile calcolare gli indici di prestazione energetica che rappresentano il dato principale per la determinazione della classe energetica di appartenenza, che verrà analizzata nel paragrafo successivo.

3.3 Classificazione energetica

Gli indici EP, oltre che per tutto l'edificio, sono calcolabili per ciascuna delle zone termiche. Come detto precedentemente, l'EP è il dato su cui è possibile definire la classificazione energetica dell'edificio. Le modalità con cui viene attribuita la classe energetica sono riportate nel BURERT n.237 10/09/2015 in cui viene specificato come costruire la scala di classificazione.

Edilclima fornisce una classificazione energetica **per zona**. Secondo il DGR 967-2015, infatti, non è più consentita la compilazione dell'APE per l'intero edificio, ma è appunto necessaria la compilazione per zona.

Per classificare l'intero edificio sarà dunque necessario procedere manualmente, costruendo una scala di classificazione, sulla base delle prestazioni energetiche dell'edificio reale e di quelle dell'edificio di riferimento.

Citando il DGR 967-2015 l'edificio di riferimento è definito come segue.

***Edificio di riferimento o target:** per un edificio sottoposto a verifica progettuale, diagnosi, o altra valutazione energetica: edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati.*

Edilclima permette di costruire un edificio di riferimento che rispetti la definizione.

Nel dettaglio, per la determinazione della classe energetica complessiva necessaria per la compilazione dell'APE, si procede come segue:

- 1) Determinazione dell' $EP_{gl,nr}$ dell'edificio reale;
- 2) Determinazione dell' $EP_{gl,nr,Lst}$ dell'edificio di riferimento;
- 3) Costruzione della scala di classificazione dell'edificio;
- 4) Definizione della classe energetica di appartenenza.

Gli indici di prestazione energetica sono calcolati dividendo il fabbisogno termico per la superficie utile. Questo metodo è valido per tutte le destinazioni d'uso ad eccezione della E.1.

$$EP = \frac{Q_p}{A_u} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

In particolare avrò tre indici di prestazione energetica: uno per il riscaldamento, uno per la produzione di acqua calda sanitaria e uno per la ventilazione. La somma dei tre precedenti mi dà come risultato l'indice di prestazione globale.

Per l'edificio reale i valori sono riportati nella seguente tabella, espressi in [kWh/m²].

Tabella 3.6 - Indici EP per l'edificio reale

$EP_{H,nr}$	180.10 kWh/m ²
$EP_{W,nr}$	13.45 kWh/m ²
$EP_{V,nr}$	0.74 kWh/m ²
$EP_{gl,nr}$	194.3 kWh/m ²

Si riportano inoltre gli indici EP per l'edificio di riferimento ottenuti grazie all'apposita funzione di Edilclima.

Tabella 3.7 - Indici EP per l'edificio di riferimento

$EP_{H,nr,LSt}$	35.48 kWh/m ²
$EP_{W,nr,LSt}$	20.85 kWh/m ²
$EP_{V,nr,LSt}$	0 kWh/m ²
$EP_{gl,nr,LSt}$	56.33 kWh/m ²

Si procede quindi alla determinazione della scala di classificazione.

La normativa di riferimento fornisce i fattori moltiplicativi dell' $EP_{gl,nr,LSt}$ che delimitano le classi. È opportuno notare che l'indice di prestazione globale dell'edificio di riferimento costituisce il limite tra la classe B e la classe A1.

È riportata nel seguito la tabella di riferimento per la costruzione della scala di classificazione.

	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,40 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,60 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nr,Lst}$
$0,80 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,00 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,20 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nr,Lst}$
$1,50 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nr,Lst}$
$2,00 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nr,Lst}$
$2,60 EP_{gl,nr,Lst} <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nr,Lst}$
	Classe G	$> 3,50 EP_{gl,nr,Lst}$

Tabella di riferimento BURERT N.237 10/09/2015.

Nel caso studio, con un $EP_{gl,nr,Lst} = 56.33 \text{ kWh/m}^2$ ed un $EP_{gl,nr} = 194.3$, l'edificio è in **CLASSE F**.

Edilclima permette la compilazione dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) per ciascuna delle zone che costituiscono l'edificio.

La compilazione dell'APE è obbligatoria per legge. Per edifici utilizzati da pubbliche amministrazioni e aperti al pubblico è inoltre obbligatoria l'esposizione di una Targa Energetica che raccoglie i principali risultati contenuti nell'APE.

CAPITOLO 4

Strumenti per l'analisi economica

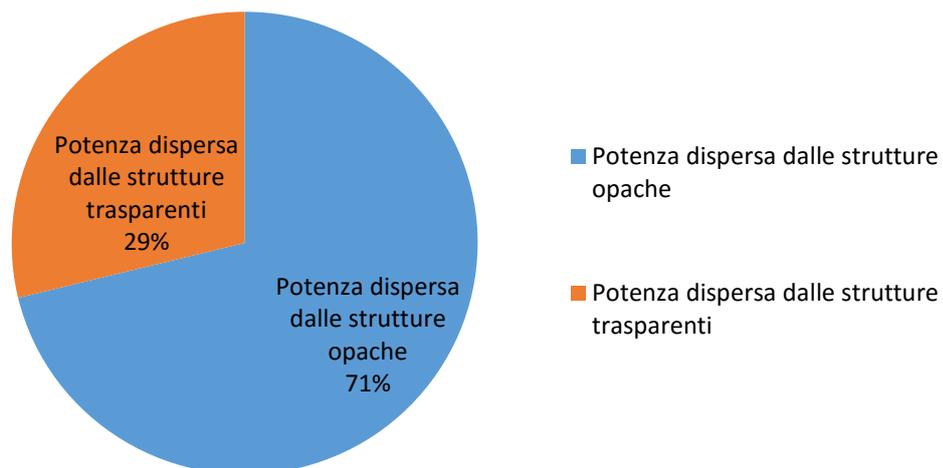
Nei capitoli precedenti, dopo aver descritto l'edificio e l'impianto termico, sono state tratte alcune conclusioni riguardo gli eventuali interventi da poter effettuare sull'edificio per migliorarne le prestazioni energetiche. L'analisi dell'edificio e la modellazione attraverso il software Edilclima hanno permesso di ottenere alcuni importanti risultati numerici che possono essere confrontati con i valori limite consentiti per legge e raccolti nel BURERT n.267 del 10/09/2015.

Gli interventi ipotizzati sono:

- Isolamento delle pareti;
- Isolamento del solaio verso il sottotetto;
- Sostituzione degli infissi.

È riportato il grafico, già precedentemente analizzato, relativo alla ripartizione delle dispersioni tra le strutture opache e quelle trasparenti.

Ripartizione dispersioni



Non sono stati presi in considerazione interventi sull'impianto termico in quanto il sottosistema di generazione è stato sostituito di recente e i suoi rendimenti risultano piuttosto soddisfacenti.

4.1 Bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio

Gli interventi proposti, oltre che per rendere più efficiente l'impianto (risultando così fondamentali al fine di garantire un risparmio energetico e quindi economico), sono fondamentali per migliorare il benessere termo-igrometrico delle persone che occupano gli ambienti dell'edificio.

Per avere un'idea del costo per il riscaldamento dell'edificio allo stato attuale, è opportuno sviluppare il seguente calcolo:

$$\text{Bolletta energetica (C)} = \frac{\text{EP tot} \times \text{S}}{\text{PCI}} \times \text{K}$$

- EPtot è l'indice di prestazione energetica dell'edificio
- S è la superficie utile dell'edificio;
- PCI è il potere calorifico inferiore del metano pari a 9.6 kWh/m³
- K è il costo del metano, che in base alla regione di appartenenza e ai consumi stimati è ipotizzato pari a 0.78 €/m³

Il risparmio in termini economici sarà quindi possibile solo se l'intervento permetterà una riduzione di questo indice di costo. Posto che i valori di S, K e PCI risultano invariabili rispetto agli eventuali interventi, l'unico indice sensibile sarà EPtot.

Il principale obiettivo da perseguire sarà quindi la riduzione dell'EPtot.

Nel caso specifico, il calcolo della bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio prima degli interventi, considerando il funzionamento continuo dell'impianto, è pari a **65517 €/anno**

Una volta individuato un intervento che permetta di ottenere un risparmio, sarà valutata la convenienza di tale intervento. Questa valutazione può essere effettuata per mezzo di strumenti per l'analisi economica che verranno spiegati nel dettaglio nel paragrafo successivo.

4.2 VAN e Payback time

Come già accennato, l'efficienza dell'intervento sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il risparmio in termini di costo dell'edificio. Esistono tuttavia altri parametri di natura puramente economica che devono essere valutati al fine di verificare la convenienza degli interventi. Questi sono:

- VAN (Valore Attuale Netto);
- PayBack Time semplice (tempo di ritorno dell'investimento).

Questi elementi sono determinanti per la valutazione degli investimenti e dell'impatto che ciascuno di essi avrebbe sull'economia e sulle finanze della gestione.

Il calcolo del VAN, in particolare, è lo strumento più efficiente per valutare quale investimento risulta più conveniente in termini economici. Nello specifico esso risulta dall'operazione di attualizzazione, ad un istante iniziale, di tutti i flussi di cassa generati dall'investimento, con un tasso pari al costo opportunità del capitale, ovvero di un tasso di interesse che tiene conto della rischiosità del progetto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n -I + F_t \times \frac{1}{(1+r)^t}$$

- I è l'investimento iniziale;
- F_t è il flusso di entrata ad ogni istante t;
- r è il costo opportunità del capitale.

La scelta del costo opportunità del capitale può seguire diversi criteri, rispetto ai quali il tasso può assumere valori molto differenti. Nel caso in esame non verrà effettuata una scelta tra investimenti simili e alternativi, tra i quali sarebbe difficile riconoscere il più conveniente, ma ci si limiterà ad elencare gli investimenti possibili.

Per valutare la convenienza sarà quindi necessario riferirci solo al secondo strumento per l'analisi economica: il payback time (PBtime).

La formula utilizzata per calcolarlo è la seguente:

$$PBtime = \frac{I}{R} \text{ [anni]}$$

- I è il costo dell'investimento, stimato in funzione del tipo di intervento effettuato per mezzo dei prezzi per la regione Emilia Romagna.
- R è il risparmio annuo, valutato rispetto al costo dell'edificio allo stato attuale calcolato nel paragrafo precedente.

Ricreando in Edilclima il modello con le opportune modifiche apportate rispetto al tipo di intervento fatto sulla struttura, infatti, è possibile ricavare il nuovo EP_{tot}, mediante il quale stimare la bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio nella condizione post-intervento (che sarà indicata come C*). Per differenza con la bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio allo stato attuale, si determina il risparmio (R) in €/anno.

$$R = C - C^* \text{ [€/anno]}$$

CAPITOLO 5

Interventi di riqualificazione e analisi degli interventi

La prima tipologia di intervento proposta in questa trattazione è quella di isolamento delle pareti. Dall'analisi dell'edificio reale e del modello riportato nel software Edilclima, sembrerebbe indispensabile l'isolamento delle pareti, sia per migliorare l'efficienza del riscaldamento, sia per migliorare il benessere delle persone all'interno dei locali. I muri perimetrali, inoltre, risultano non conformi ai limiti di trasmittanza imposti per legge: l'intervento di isolamento in tal caso diventa indispensabile.

Dall'intervento di isolamento verrà esclusa tutta la zona termica denominata come Mensa in quanto, essendo di nuova costruzione, è necessario rientrare nei costi di investimento prima di poter effettuare degli interventi di miglioramento dell'efficienza. La zona termica Mensa, inoltre, risulta in classe energetica B, quindi le sue caratteristiche termigrometriche sono abbastanza soddisfacenti.

Verrà esclusa anche la superficie delimitante la palestra judo che non è stata presa in considerazione né per la costruzione del modello, né per la classificazione energetica. Per rendere più efficiente l'isolamento termico sembrerebbe opportuno, in tal caso, valutare a parte un intervento di isolamento del muro disperdente verso questo ambiente (considerato come ambiente non riscaldato), ma tale intervento non risulterebbe utile nella previsione di una ristrutturazione e riapertura della palestra judo. L'isolamento delle pareti quindi interesserà le pareti perimetrali e il sottotetto della zona termica denominata Scuola. Verranno valutati gli interventi singoli e gli interventi combinati, al fine di valutare quale combinazione sia la più conveniente nel lungo periodo.

La seconda tipologia di intervento interesserà le componenti trasparenti della scuola. In particolare verranno sostituiti gli infissi attualmente presenti con infissi più moderni e meno disperdenti, che permettano di avere un impatto significativo in termini di riduzione dei costi per il riscaldamento invernale.

È bene specificare che per il caso in esame, trattandosi di un edificio della pubblica amministrazione, non è prevista la concessione di incentivi per gli interventi di riqualificazione. Per edifici privati sono invece previste detrazioni pari al 65% dell'intera spesa.

5.1 Intervento di isolamento delle pareti esterne

La prima scelta da effettuare davanti a un intervento di questo tipo è su dove posizionare lo strato di materiale isolante. In base alle esigenze, infatti, l'isolante può essere posto internamente o esternamente all'ambiente. Scegliere un isolamento interno implica una riduzione, spesso anche notevole, in termini di volume utile degli ambienti. Per l'edificio in esame si è scelto un isolamento a cappotto esterno. Oltre a non ridurre il volume delle aule, il cappotto posto esternamente riduce la possibilità di formazione di condensa e riduce nettamente i ponti termici che comparirebbero, nel caso di isolamento interno, in corrispondenza di travi, pilastri e innesti delle pareti divisorie. Dall'isolamento a cappotto esterno verrà escluso, per ovvi motivi, il seminterrato, sul quale verrà presa in considerazione la possibilità di inserire l'isolante internamente.

A questo punto la seconda scelta da effettuare riguarda il tipo di materiale da utilizzare. Per prendere questa decisione è importante tenere presente lo stato di fatto delle pareti e l'obiettivo che deve essere perseguito che, nel caso in esame, sarà quello di fare in modo che la trasmittanza del pacchetto murario rispetti i limiti di legge pari $0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$ per strutture opache verticali verso l'esterno.

Dall'analisi delle trasmittanze dei componenti opachi perimetrali (riportati in *Figura 2.10*), notiamo che i valori si attestano per lo più tra $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$. L'elemento più disperdente, in particolare, risulta essere il muro perimetrale da 0.4 m di spessore, per il quale il valore di trasmittanza risulta essere di $1.609 \text{ W/m}^2\text{K}$. Proprio questo sarà il componente utilizzato per effettuare i calcoli di spessore del materiale isolante.

Per la scelta del materiale è stato utilizzato l'apposito "ELENCO REGIONALE DEI PREZZI DELLE OPERE PUBBLICHE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA". In questo elenco sono riportati, tra le altre cose, i prezzi riferiti alle opere di protezione termica degli edifici con isolamento termico a cappotto, già comprensivi di costi medi di manodopera, trasporto e materiali.

I materiali che più si avvicinano alle esigenze dell'edificio in esame sono principalmente due, di cui sono riportate le caratteristiche nella seguente tabella.

Tabella 5.1 - isolanti valutati per l'intervento

Materiale	λ [W/mK]	Prezzo [€/m ²]	Sovraprezzo per ogni centimetro in più di spessore. [€/m²]	Spessore necessario [cm]
Polistirene espanso ad alta resistenza meccanica.	0.034	47.62 (per 3.0 cm di spessore)	1.85	12
Poliuretano espanso	0.028	39.15 (per 4.0 cm); 41.03 (per 5.0 cm)	-	9

Per determinare lo spessore di isolante necessario è stato svolto il seguente calcolo:

$$s_{is} = \lambda \times [R_{lim} - R_w]$$

Dove:

- λ è la conduttività termica del materiale;
- R_{lim} è la resistenza termica limite consentita per legge, ovvero l'inverso della trasmittanza limite (che quindi vale $1/0.26=3.85 \text{ m}^2/\text{WK}$);
- R_w è la resistenza termica nello stato di fatto del muro preso in considerazione (vale quindi $1/1.61=0.621 \text{ m}^2/\text{WK}$).

Per il poliuretano espanso il calcolo diventa:

$$s_{is} = 0.028 \times (3.85 - 0.621) = 0.09 \text{ m} \approx 9 \text{ cm}$$

Si ipotizza di intervenire con uno spessore di 9 cm di isolante.

Utilizzando come isolante il poliuretano espanso, per ottenere i 9 cm necessari a raggiungere l'obiettivo, serviranno 1 lastra da 4 cm e una lastra da 5 cm, per un totale di 80.18 €/m².

Lo stesso calcolo può essere ripetuto per il polistirene. Utilizzando il polistirene espanso è possibile intervenire inserendo una lastra da 3 cm e aggiungendo gli ulteriori cm fino ad

arrivare allo spessore necessario. Si ottiene così un costo pari a 64.27 €/m² che risulta molto più basso.

Risulta quindi evidente che l'intervento più economico è quello di isolamento con polistirene espanso.

Ripetendo la procedura di calcolo per altri elementi disperdenti dell'involucro è emerso che, con soddisfacente approssimazione, questi spessori di isolante permettono di ottenere trasmittanze accettabili per tutte le strutture disperdenti.

Dalle piante e dai prospetti è stata stimata la superficie esterna dell'edificio (al netto di componenti trasparenti e di superfici che delimitando ambienti per i quali non è valutato l'intervento). Questa risulta essere pari a 4545.73 m², da cui il calcolo del costo dell'intervento di isolamento delle pareti permette di ottenere il valore dell'investimento pari a **292154 €**.

In Edilclima tutte le strutture a cui si fa riferimento possono essere modificate. A ciascuno dei muri perimetrali quindi viene aggiunto lo spessore di isolante determinato. Con questo intervento, tutti i muri considerati rientrano nel limite di legge. Nel dettaglio i nuovi valori di trasmittanza sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 5.2 - Pareti dell'edificio dopo l'intervento

Descrizione parete	Spessore [mm]	Trasmittanza [W/m²K]
Muro perimetrale 0.5 m	620	0.244
Muro perimetrale 0.4 m	520	0.251
Muro ingresso 0.88 m	1000	0.188
Muro ingresso 0.92 m	1040	0.185

A questo punto è possibile calcolare il nuovo indice EP che, come visto, è il valore che determina la bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio.

Per il calcolo dell'EP, tuttavia, è necessario tenere ben presente che esso varia a seconda del tempo di funzionamento dell'impianto. Per determinare la classe energetica dell'edificio, il calcolo dell'EP viene effettuato considerando un impianto acceso 24 ore su 24, 7 giorni su 7 per tutto il periodo di riscaldamento (compatibilmente con le disposizioni del DGR n. 1275). Questo metodo mi permette infatti di ottenere un valore

oggettivo della prestazioni dell'edificio, indipendente dalle scelte soggettive degli occupanti.

Sul valore del tempo di ritorno dell'intervento, tuttavia, scegliere di considerare l'impianto acceso continuamente, senza intermittenza, ha un peso significativo. L'EP dell'edificio con impianto a funzionamento continuo, in particolare, ha un valore maggiore rispetto a quello con funzionamento intermittente e questo porta ad avere un PBtime dell'intervento molto minore. Considerare che la condizione più verosimile sia quella con un impianto intermittente, quindi, scegliere di calcolare l'EP in condizioni di funzionamento continuo dell'impianto, fornisce un valore molto sottostimato del tempo di ritorno.

L'analisi economica procede quindi nella valutazione di entrambe le situazioni appena descritte.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo.*

Il nuovo EP_{gl} fornito da Edilclima vale 116.91 kWh/m².

La superficie netta rimane invariata e pari a 4445.45 m²

Il calcolo per il valore di C* diventa il seguente:

$$C^* = \frac{116.91 \text{ kWh/m}^2\text{anno} \times 4445.45 \text{ m}^2}{9.6 \text{ kWh/m}^3} \times 0.78 \text{ €/m}^3 = \mathbf{42227 \text{ €/anno}}$$

La bolletta energetica passa da 65516 €/anno a 42227 €/anno. Si può quindi stimare un risparmio pari a:

$$R = 65516.26 - 42227.45 = \mathbf{23289 \text{ €/anno}}$$

Infine il tempo di ritorno dell'investimento, con la formula citata nel capitolo precedente, è calcolato come segue:

$$PB_{\text{time}} = \frac{292154.07}{23289.21} = \mathbf{12.5 \text{ anni}}$$

I risultati sono riassunti nella seguente tabella.

Tabella 5.3 - Riassunto risultati per funzionamento continuo

EP _{gl}	116.91 kWh/m ² anno
C*	42227 €/anno
R	23289 €/anno
PB _{time}	12.5 anni

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

Le condizioni di intermittenza considerate sono quelle già citate nel paragrafo 2.5 relativo alla descrizione dell'impianto termico. Si considera un tempo di accensione dell'impianto di 8 ore al giorno, per sei giorni a settimana.

Il valore di EP_{gl} con spegnimento nella situazione pre-interventi vale 100.43 kWh/m².

Da cui la bolletta energetica per il riscaldamento è calcolabile con la formula già vista:

$$C = \frac{100.43 \text{ kWh/m}^2\text{anno} \times 4445.45 \text{ m}^2}{9.6 \text{ kWh/m}^3} \times 0.78 \text{ €/m}^3 = \mathbf{36275 \text{ €/anno}}$$

Il nuovo EP_{gl} fornito da Edilclima vale 88.23 kWh/m².

La superficie netta rimane invariata e pari a 4445.45 m²

Il calcolo per il valore di C* diventa il seguente:

$$C^* = \frac{88.23 \text{ kWh/m}^2\text{anno} \times 4445.45 \text{ m}^2}{9.6 \text{ kWh/m}^3} \times 0.78 \text{ €/m}^3 = \mathbf{31868 \text{ €/anno}}$$

La bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio passa da 36275 €/anno a 31868 €/anno. Si può quindi stimare un risparmio pari a:

$$R = 36275 - 31868 = \mathbf{4407 \text{ €/anno}}$$

Infine il tempo di ritorno dell'investimento, con la formula citata nel capitolo precedente, è calcolato come segue:

$$PB_{time} = \frac{292154.07}{4406.55} = \mathbf{66.3 \text{ anni}}$$

Tabella 5.4 - Riassunto risultati per funzionamento intermittente

EP _{gl}	88.23 kWh/m ² anno
C*	31868 €/anno
R	4407 €/anno
Payback time	66.3 anni

Come previsto, nella condizione di impianto con intermittenza i tempi di ritorno dell'investimento si allungano enormemente. Il risparmio annuo diminuisce, la convenienza dell'investimento, seppur notevole, va valutata a seconda delle esigenze e delle disponibilità. Un risparmio di 4407 €/anno, infatti, potrebbe non essere soddisfacente, soprattutto se il PB_{time} risulta così lungo. È inoltre importante notare che l'intervento di isolamento delle pareti perimetrali esterne non determina un passaggio dell'edificio ad una classe energetica maggiore. La zona Scuola, infatti, resta in classe energetica G come nella situazione pre-intervento. Complessivamente questo intervento non risulta soddisfacente.

Si passa ad analizzare ulteriori interventi.

5.2 Intervento di isolamento delle pareti del seminterrato

Per isolare le pareti del seminterrato è importante notare che in questo caso non è possibile un isolamento esterno. Il volume utile degli ambienti interni diminuisce, ma questo non risulta essere particolarmente un problema dato che gli ambienti risultano essere già piuttosto ampi e l'affollamento medio non è particolarmente elevato.

Le pareti prese in considerazione sono di due tipi.

Tabella 5.6 - Pareti seminterrato allo stato attuale

Descrizione parete	Spessore [mm]	Trasmittanza [W/m²K]
Muro perimetrale contro terra	500	0.728
Muro verso centrale termica	500	1.336

I limiti di trasmittanza sono riferiti alle strutture contro terra, nel caso del muro perimetrale, e alle strutture verso ambienti non riscaldati nel caso del muro verso la centrale termica.

La trasmittanza limite delle strutture opache verticali contro terra in zona termica E vale, anche in questo caso, 0.26 W/m²K. Quella delle strutture verso ambienti non riscaldati, invece, vale 0.22 W/m²K.

Per l'isolamento è stato scelto di intervenire posizionando pannelli di lana di vetro trattata, le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 5.7 - Caratteristiche dell'isolante usato per l'intervento

Materiale	λ [W/mK]	Prezzo [€/m²]	Sovraprezzo per ogni centimetro in più di spessore. [€/m²]
Lana di vetro trattata	0.032	23.44 (per 2.0 cm di spessore)	3.90

Eseguendo il calcolo per la determinazione dello spessore di isolante necessario, è emerso che saranno necessari 8 cm di isolante per il muro contro terra (quindi quattro lastre) e 13 cm per il muro verso la centrale termica (sei lastre).

Anche in questo caso, si prende lo spessore di una sola lastra di isolante e si aggiungono i restanti cm per arrivare allo spessore desiderato.

Le nuove caratteristiche di queste strutture sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 5.8 -Pareti seminterrato dopo l'intervento

Descrizione parete	Spessore [mm]	Trasmittanza [W/m²K]
Muro perimetrale contro terra	580 mm	0.226 W/m ² K
Muro verso centrale termica	630 mm	0.217 W/m ² K

Analizzando le dimensioni delle relative superfici su cui intervenire è emerso che la superficie contro il terreno è stimata pari a 599.60 m², mentre la superficie verso la centrale termica è pari a 33.56 m².

Alla luce di questi dati, il costo dell'intervento stimato è pari a **56219 €**.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo*

L'indice EP_{gl} vale 175.36 kWh/m²anno.

La superficie la considero invariata e pari a 4445.45 m².

Applicando il calcolo di C con le nuove caratteristiche, ottengo un C* = **63389 €/anno**.

Il calcolo della bolletta energetica nella situazione pre-interventi, con impianto a funzionamento continuo è stato effettuato nel capitolo precedente ed il valore è 65517 €/anno.

Da cui il risparmio risulta R = **2127 €/anno**.

Risulta PBtime = **26 anni**.

Riassunto risultati per funzionamento continuo

EP _{gl}	175.36 kWh/m ² anno
C*	63389 €/anno
R	2127 €/anno
PBtime	26 anni

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

Il calcolo della bolletta energetica per il riscaldamento dell'edificio nella situazione pre-interventi, con impianto a funzionamento intermittente è stato effettuato nel paragrafo precedente ed il valore è 36275 €/anno.

Il nuovo EP_{gl} con funzionamento intermittente è pari a 99.76 kWh/m²anno.

Da questo valore ottengo C* = **36032 €/anno**.

Il risparmio annuo effettivo, con funzionamento intermittente vale R = **242 €/anno**.

Risulta PBtime = **232 anni**.

Tabella 5.10 - Riassunto risultati per funzionamento intermittente

EP _{gl}	99.76 kWh/m ² anno
C*	36032 €/anno
R	242 €/anno
PBtime	232 anni

Risulta evidente che questo tipo di intervento isolato non è assolutamente conveniente in quanto presenta un risparmio minimo e di conseguenza dei tempi di ritorno esageratamente lunghi.

È possibile quindi valutare un intervento di isolamento totale di tutte le strutture opache verticali, risultante dalla combinazione di questi due interventi appena descritti.

5.3 Intervento combinato di isolamento delle pareti verso l'esterno e di isolamento delle pareti del seminterrato

Per questo tipo di intervento restano valide le considerazioni fatte nei due paragrafi precedenti per la scelta dei materiali isolanti e degli spessori. Il costo dell'investimento risulta quindi dalla somma dei due precedenti: 292154 € per l'investimento delle pareti verso l'esterno più 56219 € per l'isolamento delle pareti del seminterrato, per un totale di **348373 €**.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuato*

EPgl	110.66 kWh/m ² anno
C*	39970 €/anno
R	25547 €/anno
PBtime	13.6 anni

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

EPgl	85.83 kWh/m ² anno
C*	31001 €/anno
R	5273 €/anno
PBtime	66.1 anni

Seppur di poco, l'intervento combinato risulta più conveniente rispetto ai singoli due interventi isolati. Il payback time, tuttavia risulta ancora troppo elevato nel caso reale di funzionamento intermittente.

Si valuta un ulteriore intervento di isolamento.

5.4 Intervento di isolamento del sottotetto

Tra gli interventi ipotizzati c'è quello di isolamento del sottotetto. Il materiale scelto per questo intervento è lana di vetro trattata, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente. Il valore limite di trasmittanza per il sottotetto è pari a $0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 5.9 - Caratteristiche dell'isolante usato per l'intervento

Materiale	λ [W/mK]	Prezzo [€/m²]	Sovraprezzo per ogni centimetro in più di spessore. [€/m²]
Polistirene espanso estruso	0.043 W/mK	5.54 €/m ² (per 5.0 cm di spessore)	0.53 €/m ²

Secondo quanto riportato nella tabella, sarà necessario uno spessore pari a 17 cm di materiale isolante. Anche in questo caso si è scelto di utilizzare una lastra da 5 cm, aggiungendo poi gli ulteriori 12 cm per ottenere lo spessore desiderato.

Le caratteristiche della struttura prima e dopo l'intervento sono le seguenti.

Tabella 5.10 - Sottotetto prima e dopo l'intervento

Descrizione parete	Spessore [mm]	Trasmittanza [W/m²K]
Sottotetto prima dell'intervento	310 mm	1.526 W/m ² K
Sottotetto dopo l'intervento	480 mm	0.217 W/m ² K

Posto che la superficie da ricoprire è presa uguale alla superficie netta del secondo piano, ovvero 1205.38 m^2 , il costo totale dell'intervento è pari a **14489 €**.

Dal costo dell'investimento piuttosto basso e dalla riduzione significativa della trasmittanza della struttura, ci si aspetta che questo intervento sia abbastanza vantaggioso.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuato*

EPgl	143.04 kWh/m ² anno
C*	54665 €/anno
R	13852 €/anno
PBtime	1.1 anni

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

EPgl	95.86 kWh/m ² anno
C*	34624 €/anno
R	1651 €/anno
PBtime	8.8 anni

Come previsto, questo intervento, visti i costi di investimento piuttosto bassi, il risparmio significativo e un payback time breve, risulta particolarmente conveniente.

Nel paragrafo successivo è analizzato il caso combinato di tutti gli interventi di isolamento visti fino ad ora.

5.5 Intervento combinato di isolamento delle pareti verso l'esterno, delle pareti del seminterrato e del sottotetto

Per analizzare l'intervento combinato facciamo riferimento ai risultati ottenuti nei paragrafi precedenti.

Con un intervento combinato di questo tipo, il costo di investimento risulta pari a **362861** €.

I risultati di seguito riportati sono relativi, come già visto in precedenza, alle due condizioni di accensione dell'impianto.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo*

EPgl	69.6 kWh/m ² anno
C*	25139 €/anno
R	40377 €/anno
PBtime	9 anni

In questo caso, inoltre ho un passaggio da classe G a classe E della zona termica Scuola.

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

EPgl	68.02 kWh/m ² anno
C*	24568 €/anno
R	11706 €/anno
PBtime	31 anni

È subito possibile notare come il risparmio aumenti notevolmente, riducendo in maniera significativa il tempo di ritorno dell'investimento.

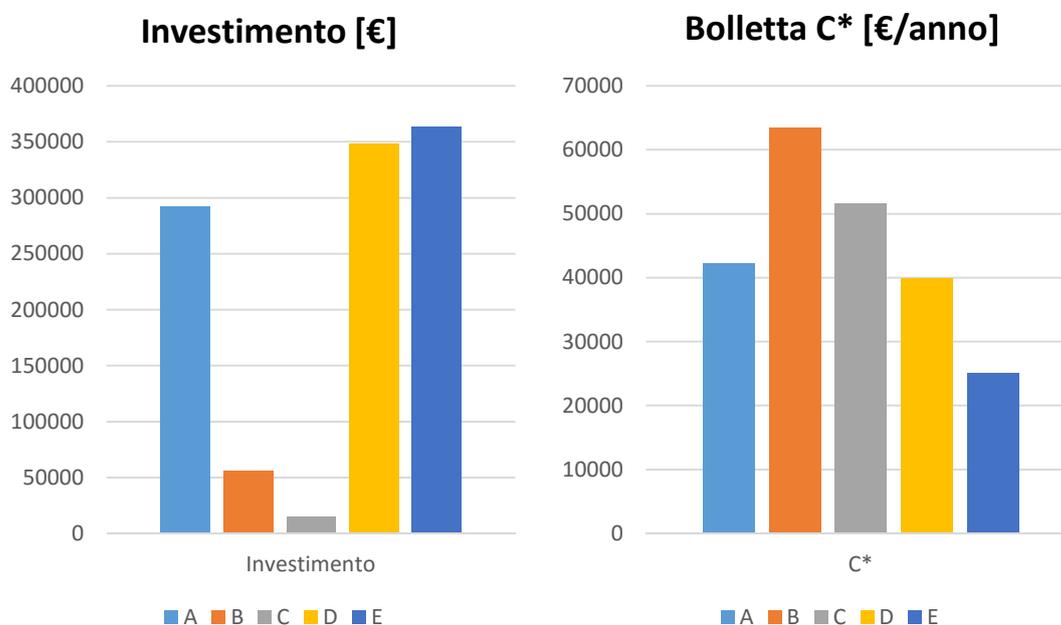
Nei grafici a seguire sono analizzate le variazioni dell'investimento, dell'indice di costo C*, del risparmio R e del payback time nei due casi di funzionamento continuo e di funzionamento intermittente.

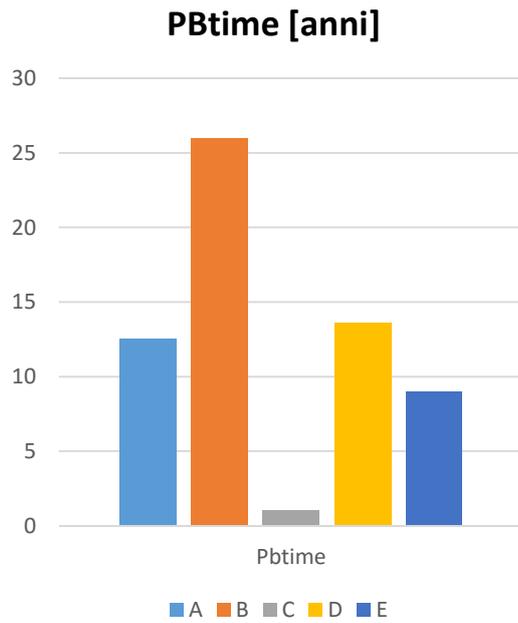
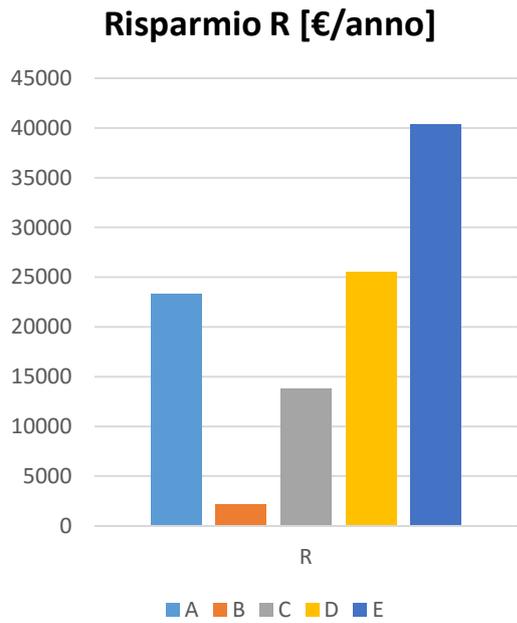
I cinque casi analizzati sono:

- A: Isolamento delle sole strutture verso l'esterno;
- B: Isolamento delle sole strutture del seminterrato;
- C: Isolamento del sottotetto
- D: Isolamento di tutte le strutture verticali (verso l'esterno e verso il terreno);
- E: Isolamento totale, tutte le strutture verticali e il sottotetto.

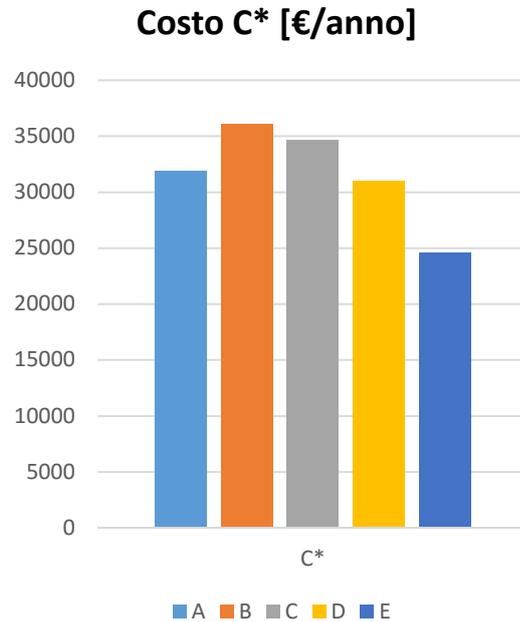
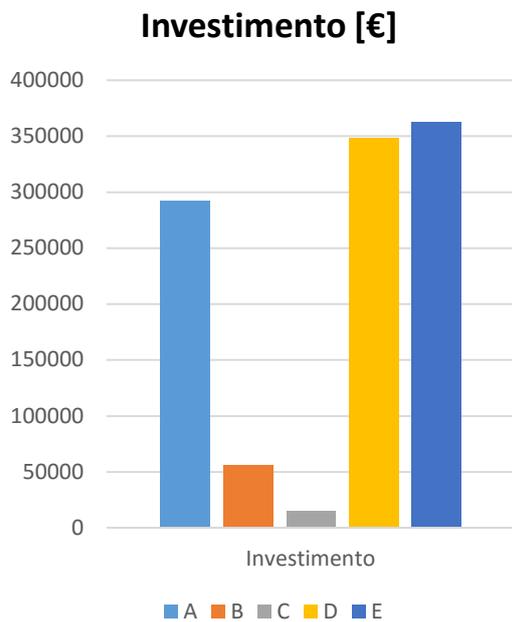
Dove A, B, C sono gli interventi singoli, mentre D ed E sono gli interventi combinati.

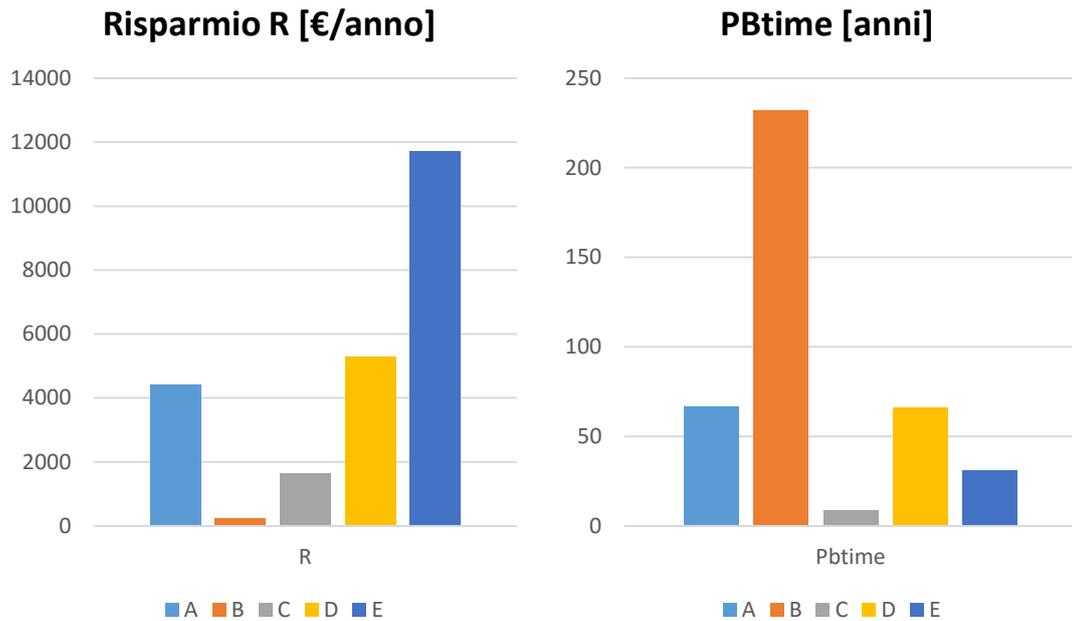
- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo*





- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*





Tra gli interventi di isolamento, il più conveniente risulta essere l'intervento E, ovvero quello di isolamento totale dell'edificio. Dai grafici è possibile notare come, sebbene il costo di investimento sia maggiore rispetto agli altri, anche il risparmio annuo è nettamente maggiore e il payback time è nettamente minore.

L'intervento C di isolamento del sottotetto è un intervento ottimo dal punto di vista del payback time che è molto basso, tuttavia non è considerato l'intervento migliore poiché non permette di ottenere un risparmio particolarmente elevato.

5.6 Sostituzione degli infissi

Dal documento di riferimento per i limiti di trasmittanza delle strutture è emerso che il limite per le strutture trasparenti di un edificio in zona climatica E è pari a $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tutti i componenti finestrati dell'edificio hanno valori di trasmittanza ben oltre il limite di legge. Dalla tabella *Riepilogo componenti finestrate dell'edificio* del paragrafo 2.4 infatti, è possibile notare che i valori si attestano mediamente tra i $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ e i $4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La sostituzione di questi componenti appare necessaria per migliorare le caratteristiche dell'edificio, diminuendo il costo di riscaldamento nei mesi invernali.

Per valutare la tipologia di finestra adatta è stato preso in considerazione il calcolatore del sito internet dell'azienda M&M Infissi. Dalla sezione Prodotti del sito sono state scelte le tipologie di vetro e di telaio e sono state inseriti nella sezione Calcolatore, insieme alle dimensioni geometriche dell'infisso e degli eventuali accessori.

È stato scelto un doppio vetro 4-16-4, intercapedine di Argon, con rivestimento basso emissivo, per cui si ottiene un $U_g = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Per il telaio in PVC è stato scelto il modello ETEM Q60 che permette di ottenere globalmente un $U_f = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ per l'infisso, valore che rispetta il limite di legge.

Per il prototipo creato nel calcolatore del sito si ottiene un costo di 214.82 €/m^2 , comprensivo di IVA. A questo prezzo va aggiunto il costo di rimozione degli infissi preesistenti, ricavabile dal prezzario ufficiale della regione Emilia Romagna e pari a 18.64 €/m^2 . Il costo totale dell'investimento è pari a 233.46 €/m^2 e deve essere valutato per una superficie pari a 870.42 m^2 . Il costo totale dell'intervento risulta pari a **203208 €**.

Riassunto dettagli intervento di sostituzione finestre

Infisso per finestre e porte-finestre in PVC + vetrate 4-12-4 low-e	214.82 €/m ²
Costo rimozione infissi	18.64 €/m ²
Superficie intervento	870.42 m ²
Costo totale intervento	203208 €

Si procede alla valutazione economica dell'intervento nei due casi analizzati.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo*

EPgl	151.55 kWh/m ² anno
C*	54739 €/anno
R	10778 €/anno
PBtime	18.9 anni

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

EPgl	96.69 kWh/m ² anno
C*	34924 €/anno
R	1351 €/anno
PBtime	150.4 anni

L'intervento isolato non è assolutamente conveniente. Gli elevati costi di investimento comportano, nelle condizioni reali di funzionamento intermittente dell'impianto, un risparmio annuo molto basso e di conseguenza il PBtime arriva ad avere un valore troppo elevato.

5.7 Interventi combinati (isolamento totale e sostituzione finestre)

Si ipotizza ora di intervenire contemporaneamente con tutti gli interventi precedentemente descritti. Come è possibile aspettarsi, il costo dell'intervento sarà decisamente elevato, tuttavia anche i benefici in termini di riduzione dei consumi e dei costi di riscaldamento e ACS sono altrettanto considerevoli.

Il costo totale degli interventi combinati risulta pari a **566069 €**.

Nel seguito sono analizzate, come al solito, le due condizioni di funzionamento continuo e funzionamento intermittente.

- *Condizione A: impianto con funzionamento continuo*

EPgl	38.17 kWh/m ² anno
C*	13787 €/anno
R	51730 €/anno
PBtime	10.9 anni

In queste condizioni si ottiene un passaggio dalla classe energetica G alla classe energetica C.

- *Condizione B: impianto con funzionamento intermittente*

EPgl	38.83 kWh/m ² anno
C*	14025 €/anno
R	22249 €/anno
PBtime	25.4 anni

In queste condizioni, invece, si passa da una classe G ad una classe E.

Nelle condizioni di funzionamento intermittente, rispetto al caso di solo isolamento totale delle pareti si ha un costo di investimento (pari al costo di intervento di sostituzione delle finestre) maggiore del 56% rispetto al costo di solo isolamento delle pareti.

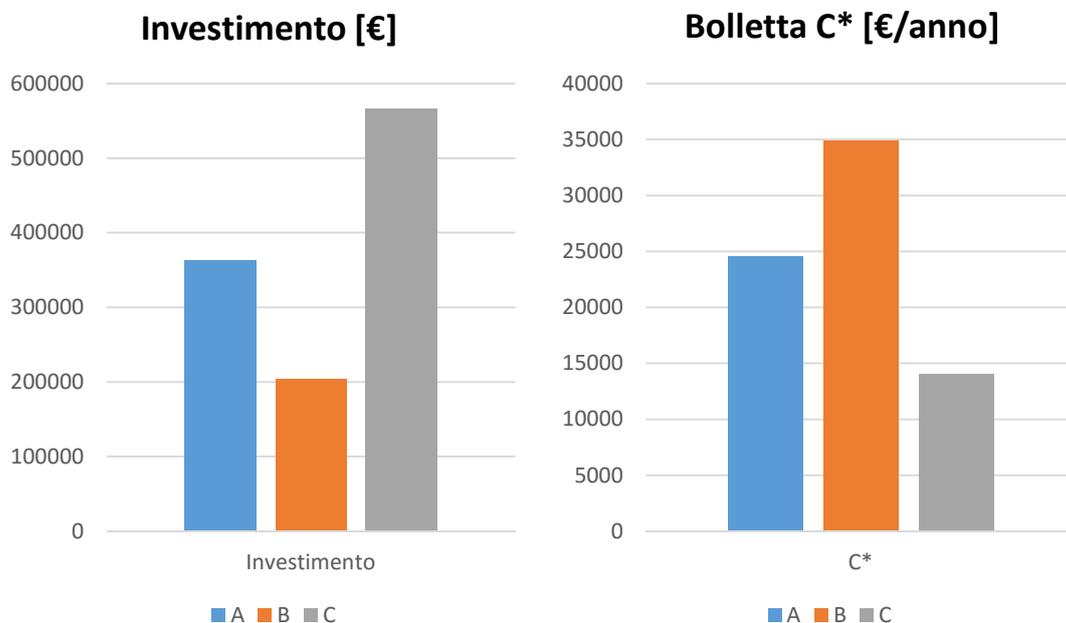
Il maggior risparmio è di circa 10543 €/anno, ovvero del 90%.

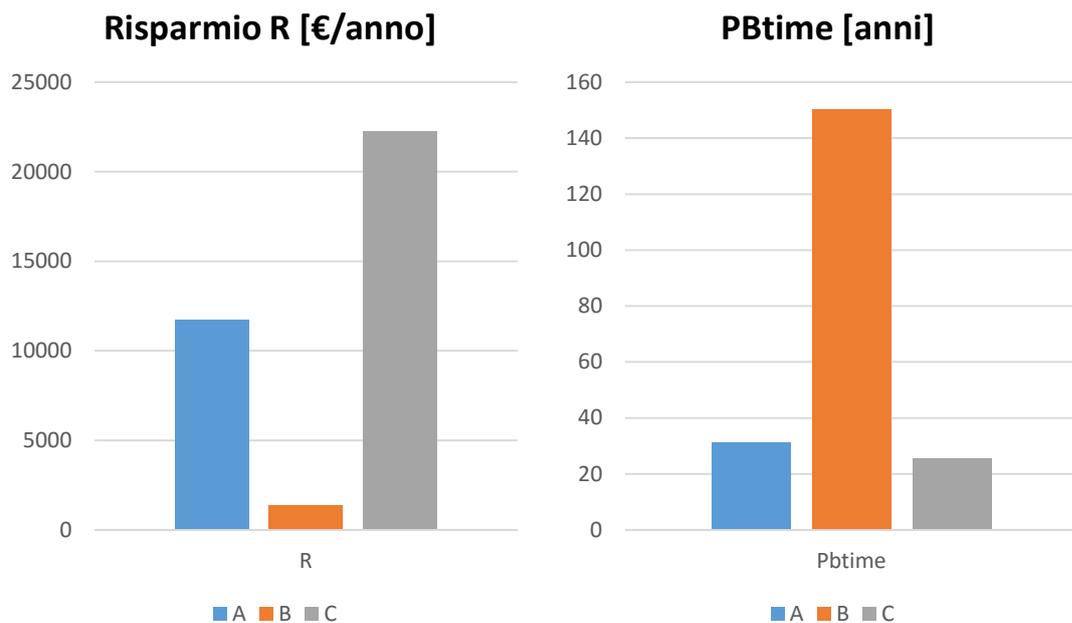
Infine il PBtime si riduce di 5.6 anni, ovvero del 22%.

I tempi di ritorno dell'investimento risultano notevolmente ridotti rispetto al caso precedente.

Nei seguenti grafici sono analizzate le differenze tra intervento di solo isolamento delle pareti, intervento di sola sostituzione degli infissi e interventi combinati.

- A: isolamento delle pareti e del sottotetto;
- B: sostituzione degli infissi;
- C: isolamento pareti e sottotetto e sostituzione degli infissi.





È facile notare come l'intervento meno vantaggioso sia quello della sola sostituzione degli infissi, mentre, come già specificato, il più vantaggioso è quello totale di isolamento di tutte le pareti, del sottotetto e di sostituzione degli infissi.

5.8 Classificazione energetica post-interventi

Sulla base di quanto visto nel paragrafo 3.3, si ripropone il calcolo per la nuova classificazione energetica. Nella seguente tabella sono riportati i risultati relativi agli indici EP per l'intero edificio reale. Per l'edificio di riferimento invece, valgono gli stessi indici riportati nella *Tabella 3.7*.

Tabella 5.11 - Indici EP per l'edificio reale post-interventi

$EP_{H,nr}$	43.68 kWh/m ²
$EP_{W,nr}$	13.45 kWh/m ²
$EP_{V,nr}$	0.74 kWh/m ²
$EP_{gl,nr}$	57.87 kWh/m ²

Si ricorda che l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio di riferimento è pari a $EP_{gl,nr,LSt} = 56.33$ kWh/m². Nella situazione post-interventi, come riportato nella tabella precedente, $EP_{gl,nr} = 194.3$ kWh/m².

Per la costruzione della scala di riferimento si utilizza la *Tabella di riferimento BURERT N.237 10/09/2015* (riportata nel paragrafo 3.3), sulla base della quale è possibile collocare l'edificio in **CLASSE B**.

Conclusioni

Il lavoro svolto ha permesso di avere un'idea chiara dell'importanza della riqualificazione energetica degli edifici di vecchia costruzione. La riduzione delle dispersioni e le scelte da effettuare per ottenere un risparmio energetico non rappresentano solo la risposta alle direttive europee in materia di efficientamento degli edifici, ma costituiscono l'impegno che ciascun cittadino prende nei confronti di un'epoca in cui i problemi legati all'inquinamento e all'incontrollato uso delle risorse primarie sono all'ordine del giorno.

Si è visto come investimenti, seppur consistenti, portino a notevoli risparmi in tempi più o meno lunghi.

Nessuna delle componenti opache e trasparenti dell'edificio, nello stato di fatto, rispecchia i limiti di trasmittanza imposti dalla legge, per questo motivo il valore di $EP_{gl.nr}$ risulta molto alto (194.3 kWh/m^2) e l'edificio si colloca in Classe Energetica F.

Gli interventi valutati di isolamento di tutte le pareti verticali, del sottotetto e la sostituzione degli infissi porta ad una riduzione significativa dell'EP, che si presenta con un valore pari a $EP_{gl.nr} = 57.88 \text{ kWh/m}^2$ ed un corrispondente passaggio alla classe energetica B.

Un aspetto particolare sul quale si è voluto porre l'attenzione nel corso della presente trattazione è stato la differente valutazione del risparmio derivante dagli interventi, nelle due condizioni di funzionamento degli impianti: funzionamento continuo e funzionamento intermittente. Le valutazioni effettuate con impianto a funzionamento continuo sono generalmente utili per confrontare da un punto di vista "oggettivo" le prestazioni, senza che esse siano influenzate dalle abitudini delle persone che occupano gli ambienti. Tuttavia, essendo questo il caso di un edificio della pubblica amministrazione ed essendo note le ore di funzionamento degli impianti, è risultato opportuno analizzare le prestazioni da un punto di vista più reale: quello di funzionamento intermittente. Questa seconda condizione ha dunque permesso di ottenere dei risultati molto più verosimili rispetto alla condizione di funzionamento continuo e ha quindi permesso di ottenere una valutazione del risparmio e del tempo di ritorno dell'investimento che, con buona approssimazione, corrisponderanno a quelli reali.

In generale risulta del tutto utile effettuare sempre delle valutazioni, seppur approssimate, delle condizioni reali, per evitare di incorrere nel rischio di sovrastimare eccessivamente il risparmio in termini economici e sottostimare il payback time. In questo senso si parla di Diagnosi Energetica di un edificio. La Diagnosi, quindi, è da effettuare tutte le volte in cui si ha necessità di valutare interventi di riqualificazione, e permette di ottenere risultati più reali rispetto a quelli che si otterrebbero con una valutazione degli interventi effettuata su i risultati della Certificazione Energetica.

Un chiaro esempio di come le due condizioni di valutazione portino a risultati molto diversi, può essere quello dell'intervento di sostituzione degli infissi. Nella condizione di funzionamento continuo, il risparmio R è pari a 10778 €/anno ed il payback time risulta di 18.9 anni. Nel caso di funzionamento intermittente, invece, il risparmio scende ad un valore molto inferiore pari a 1351 €/anno ed il payback time si alza enormemente fino al valore di 150.4 anni, valore che rende l'intervento non conveniente.

Risulta inoltre importante sottolineare l'importanza degli interventi combinati per rendere convenienti gli investimenti. Come visto, ad esempio, un intervento isolato di sostituzione degli infissi, risulta del tutto poco conveniente, mentre diventa conveniente se associato all'ulteriore intervento di isolamento delle pareti disperdenti. Nel paragrafo 5.7, infatti, si può notare che il risparmio derivante dalla combinazione di tutti gli interventi, risulta pari a 22249 €/anno, quindi molto maggiore rispetto al solo intervento di isolamento delle pareti (11706 €/anno) e di sola sostituzione degli infissi (1351 €/anno).

Sebbene gli interventi proposti risultino già abbastanza soddisfacenti per rendere maggiormente efficiente l'edificio, tuttavia, ulteriori interventi che potrebbero essere valutati in futuro riguarderanno principalmente l'introduzione di pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria e l'installazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Bibliografia e sitografia

- Legge ordinaria del Parlamento n° 373/76;
- Legge 9 gennaio 1991, n. 10 ;
- D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412;
- Direttiva 2002/91/CE ;
- Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192;
- D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59 ;
- Decreto Ministeriale 26/6/2009 ;
- Direttiva 2010/31/UE ;
- Decreto ministeriale 26/06/2015;
- Deliberazione della giunta regionale (Emilia Romagna) 20/07/2015 n. 967;
- Deliberazione della giunta regionale 7/09/2015 n. 1275;
- Norma UNI TS 11300 parte 1 – Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per a climatizzazione estiva e invernale;
- Norma UNI TS 1130 parte 2 - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- Norma UNI EN 15603 - Prestazione energetica degli edifici - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica;
- Dispense del corso di Impianti Tecnici, Prof. Ing. Gian Luca Morini;
- Manuale d’uso EC700, Edilclima 2015.
- Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche della regione Emilia Romagna, 2015 (parte A e parte B);
- <http://www.mminfissi.it/>;
- <http://www.modaedile.com/>

Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Morini per avermi dato la possibilità di lavorare a questa tesi e per avermi fornito le indicazioni per svolgere un lavoro completo ed accurato.

Ringrazio i miei correlatori Ingegner Stefania Falcioni e Ingegner Matteo Dongellini per la disponibilità dimostratami costantemente e per i consigli fondamentali che hanno saputo darmi sin dal primo giorno.