UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ANCONA

Facoltà di Ingegneria

DIISM – Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

Corso di laurea magistrale ciclo unico in Ingegneria Edile - Architettura

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO UNIFAMILIARE UTILIZZANDO GLI ATTUALI INCENTIVI FISCALI

ENERGY RENOVATION OF A SINGLE-FAMILY BUILDING USING CURRENT TAX INCENTIVES

Relatore: Prof. Ing. Costanzo Di Perna

Correlatore: Giacomo Trozzi

Laureando: Jacopo Maggi

Matricola: 1040668

Anno accademico 2020-2021

INDICE

INDICE 1

SOMMARIO 4

1 INTRODUZIONE 5

1.1 Obiettivi 17

2 LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA 18

2.1 Quadro legislativo e normativo 18

2.1.1 Norma UNI EN ISO 13790 25

2.1.2 Norma UNI EN ISO 14683 26

2.1.3 Norma UNI EN ISO 10211 30

2.1.4 Norma UNI EN ISO 13370 32

2.1.5 Norma UNI EN ISO 6946 37

2.2 Incentivi vigenti 38

2.2.1 Certificati bianchi 38

2.2.2 Conto Termico 2.0 39

2.2.3 Detrazioni Fiscali – Efficienza energetica (Ecobonus) 40

2.2.4 Super Ecobonus 110% 41

2.3 Sistema tariffario dell'elettricità 47

2.4 Sistema tariffario del gas 50

2.5 Software utilizzati 53
2.5.1 Termo 5.2 54
2.5.2 IRIS 5.0 60
3 ANALISI DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO 64
3.1 Localizzazione ed analisi ambientale 65
3.2 Descrizione generale dell'edificio 68
3.3 Modello 73
3.3.1 Superfici opache verticali 74
3.3.2 Superfici opache orizzontali 83
3.3.3 Superfici vetrate 93
3.3.4 Descrizione dell'impianto 94
3.4 Simulazioni 97
3.4.1 Software Termo 97
3.4.2 Risultati simulazione Termo 99
3.4.3 Software IRIS 108
3.4.4 Risultati simulazione IRIS 111
3.5 Individuazione degli interventi 132
4 ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE 135
4.1 Interventi singoli 135
4.1.1 Isolamento dell'involucro 135

4.1.2 Sostituzione infissi 147
4.1.3 Sostituzione caldaia 150
4.2 Interventi combinati 154
4.2.1 Cappotto + Caldaia 154
4.2.2 Cappotto + Infissi 157
4.2.3 Caldaia + Infissi 160
4.3 Intervento globale 160
5 ANALISI SUI CONSUMI ENERGETICI 164
5.1 Consumi elettrici 164
5.2 Consumi Gas Metano 165
5.3 Emissioni CO_2 166
6 ANALISI ECONOMICA..... 168
6.1 Analisi economica bolletta 168
6.2 Incentivo Super Ecobonus 110%.....173
CONCLUSIONI 174
BIBLIOGRAFIA 177

SOMMARIO

Il primo capitolo dell'elaborato svolge il ruolo di introduzione, viene infatti presentato l'argomento della riqualificazione energetica inserendolo nel panorama mondiale attuale, descrivendone le principali caratteristiche, esponendo le motivazioni per cui ricopre un ruolo determinante nel risparmio energetico ed analizzandone il rientro di investimento economico per l'utente finale, a fronte dell'utilizzo dell'incentivo fiscale *Superecobonus 110%*; vengono poi definiti gli obiettivi della tesi.

Nei successivi capitoli si approfondisce man mano l'argomento e l'analisi termotecnica dell'edificio: nel secondo capitolo si fa una panoramica della legislazione vigente, del diritto e degli incentivi a cui è sottoposta la riqualificazione energetica in Italia e si illustrano i diversi piani tariffari per l'energia elettrica ed il gas metano; si dà anche una descrizione sintetica dei software utilizzati. Nel terzo capitolo si illustrano i casi studio, ovvero viene descritto l'edificio unifamiliare prima costruito con materiali tipicamente in uso negli anni '80 poi anni 2000, ne diamo una descrizione generale, illustriamo i modelli delle parti che lo compongono e svolgiamo le simulazioni termografiche. Nei capitoli quarto, quinto e sesto vengono analizzati i vari tipi di intervento di riqualificazione a cui vengono sottoposti i casi studio, ovvero l'applicazione del cappotto termico, la sostituzione degli infissi e la sostituzione del generatore di calore, esponendo e confrontando tra loro i risultati.

Nel settimo ed ultimo capitolo vengono elaborati i risultati ottenuti dalle simulazioni e si confrontano le analisi dei fabbisogni di energia primaria ed economiche dei vari tipi di intervento, presi sia singolarmente che combinati tra loro.

Per concludere alla luce delle analisi e dei confronti effettuati si evidenzia la combinazione di interventi che, a fronte del costo di attuazione, apportano un maggior efficientamento energetico ed un più consistente risparmio nei consumi di energia elettrica e gas metano.

1 INTRODUZIONE

Il secolo attuale si troverà ad affrontare a livello mondiale la crescente necessità di garantire il fabbisogno energetico, insieme ai problemi dovuti ad i cambiamenti climatici, l'esaurimento dei combustibili fossili e l'inquinamento dovuto al loro utilizzo; questi sono temi che influenzano significativamente la società, l'economia e la politica dei paesi del mondo. La necessità di ridurre le emissioni dei gas serra, generati dalla combustione di fonti fossili (carbone, petrolio e gas naturale) a scopo energetico per i settori pubblico, civile, industriale, agricolo e terziario, insieme all'ascesa del costo di approvigionamento di queste fonti fossili, stanno di conseguenza portando al finanziamento della ricerca su fonti energetiche alternative rinnovabili e di progetti di investimento, ad esempio tramite il *Fondo Europeo per gli Investimenti Strategici* (FEIS) con l'utilizzo del *Portale dei Progetti di Investimento Europei* (PPIE) ed altre fonti di investimento (EEEF, PF4EE, NER 300), che abbiano un costo minore ed un impatto ambientale ridotto.

Negli anni come dicevamo la richiesta di energia è costantemente aumentata, così come il consumo di fonti di energia non rinnovabile, con un lieve aumento negli ultimi anni dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, come possiamo notare nel seguente grafico:

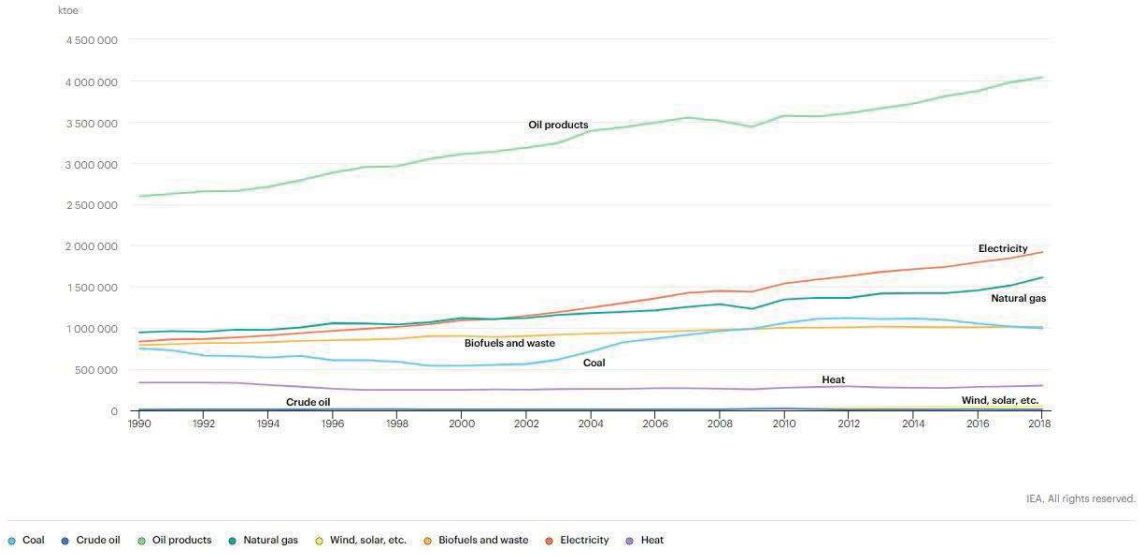


Figura 1.1: Consumi Mondiali per Fonte

Attualmente l'**88,6%**[1] circa dell'approvigionamento energetico totale mondiale (**583,90 mln MWh**[1]) proviene da fonti non rinnovabili (**517,26 mln MWh**[1]), quali petrolio al 37,3% (193,03 mln MWh[1]), carbone al 30,5% (157,86 mln MWh[1]), gas naturale al 27,3% (141,45 mln MWh[1]) e nucleare al 4,8% (24,92 mln MWh[1]); la restante parte **11,4%**[1] proviene da fonti rinnovabili (**66,64 mln MWh**[1]), quali idroelettrico al 56,5% (37,66 mln MWh[1]) e altre rinnovabili al 43,5% (28,98 mln MWh[1]). I combustibili fossili coprono dunque la quasi totalità del fabbisogno energetico globale e con la loro combustione oltre all'energia si genarano anche vapore acqueo, anidride carbonica e gas inquinanti (ossido di carbonio, ossido di azoto e di zolfo, metano ed altri idrocarburi).

Inoltre, consumi di riserve fossili sul pianeta:

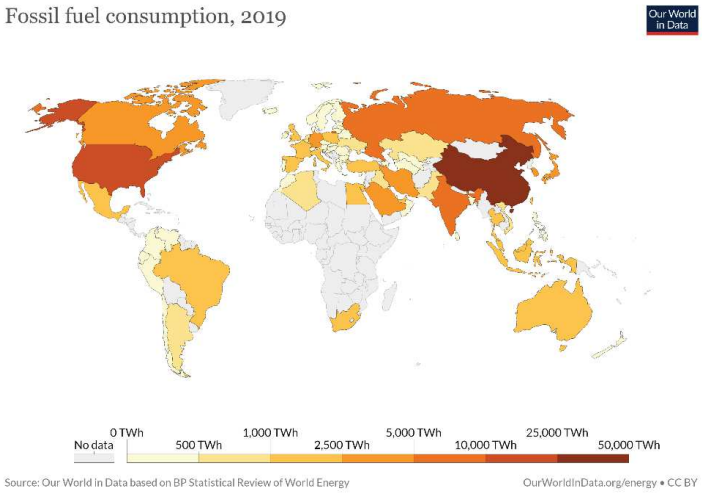


Figura 1.2: Consumi Mondiali di Fonti Fossili

e disponibilità di giacimenti:

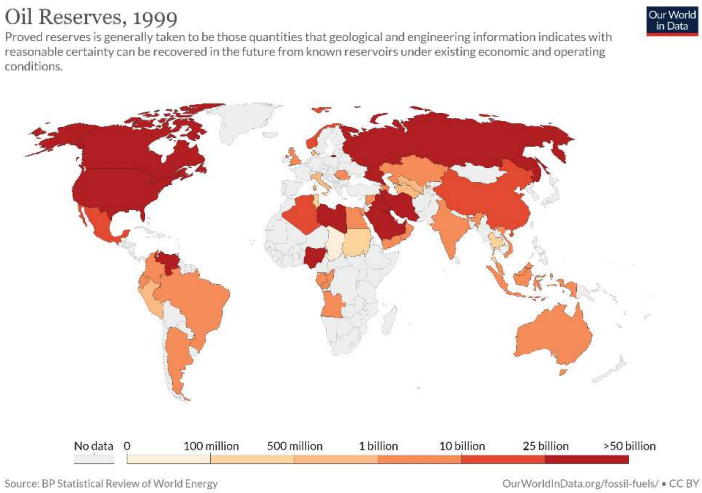


Figura 1.3: Riserve di petrolio nel mondo

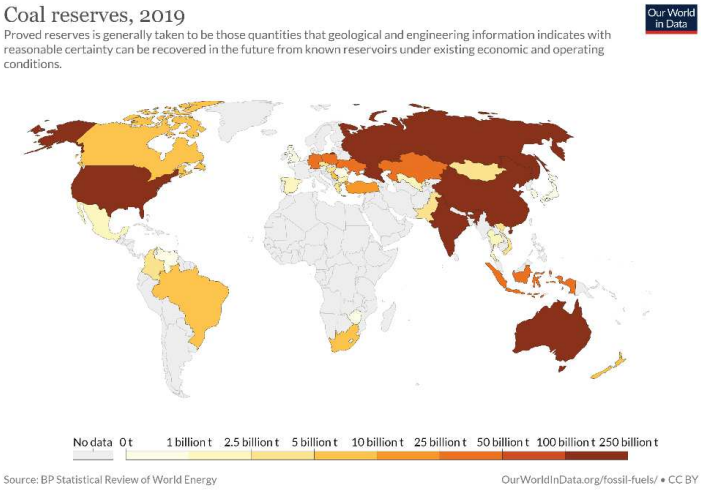


Figura 1.4: Riserve di carbone nel mondo

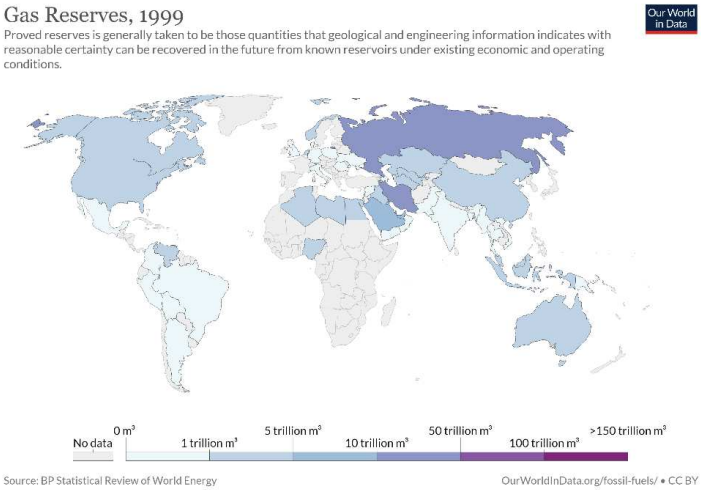


Figura 1.5: Riserve di gas nel mondo

non sono equamente distribuiti, andando a modificare poi le relazioni tra i vari Stati.

Il problema maggiore tuttavia è scaturito dall'innalzamento della temperatura a livello globale, di anno in anno si possono notare lievi variazioni della temperatura che provocano conseguenze gravose per il clima e per le condizioni di vita delle specie che popolano il globo. Lo scienziato *James Powell*, geologo del *National Science Board* degli Stati Uniti, riferisce sulle pagine del *Bulletin of Science, Technology & Society* che ha passato in rassegna oltre 11mila studi sul cambiamento climatico e sul riscaldamento globale pubblicati nei primi mesi del 2019 e gli scienziati a livello mondiale sono tutti d'accordo nell'attribuire la causa dei cambiamenti climatici alle emissioni sempre crescenti di gas serra e ad altri fattori riconducibili alle attività umane e che l'effetto

serra è destinato a crescere a causa del continuo aumento dei consumi e quindi della concentrazione di CO_2 nell'atmosfera.

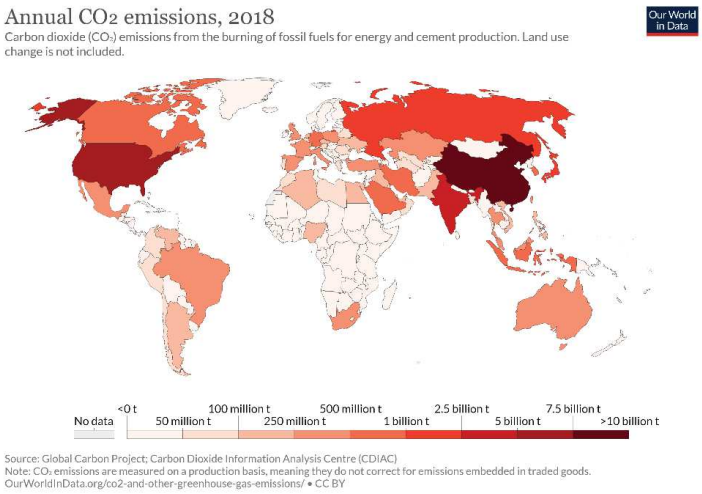


Figura 1.6: Emissione di CO_2 annuale

Un'altra delle grandi sfide che bisogna affrontare è l'aumento della popolazione mondiale. La cifra stimata attualmente si aggira sui **7874 mln**[2] di persone

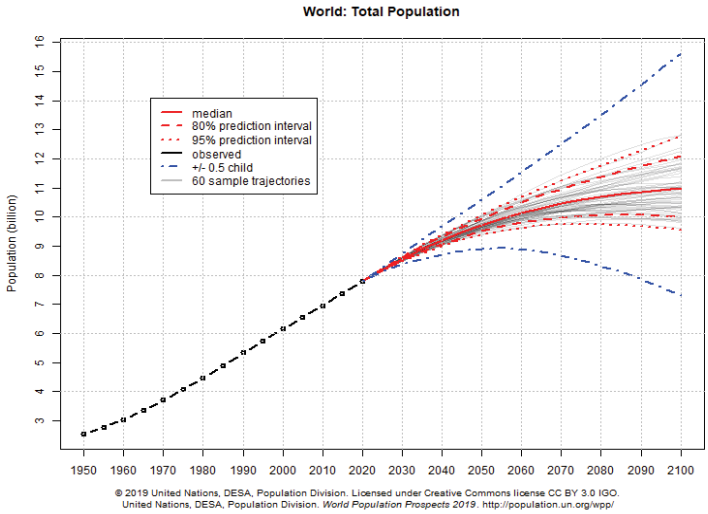


Figura 1.7: Popolazione Mondiale Totale

con un tasso di crescita annuale del **1,09%**[3], come stimato dal *Dipartimento di affari economici e sociali* delle *Nazioni Unite*. Non sarà quindi possibile soddisfare i conseguenti crescenti livelli di consumo globali con le sole fonti fossili; nel rapporto *World Energy Outlook dell'International Energy Agency* viene infatti stimato che la domanda energetica mondiale aumenterà costantemente, in particolare nei paesi emergenti (Cina, India e Medio Oriente).

È necessario quindi trovare delle alternative per diminuire drasticamente l'impatto delle attività umane sulle risorse naturali e sull'ambiente, cercando di sfruttare in modo razionale il territorio disponibile, riqualificando ciò che viene già utilizzato, prevenendo il più possibile l'inquinamento industriale di terreni, acque ed atmosfera, ma soprattutto incentivando il più possibile l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, in modo da rendere sempre meno necessario il consumo di risorse fossili. Le fonti rinnovabili comprendono: energia solare (pannello solare fotovoltaico, pannello solare termico, pannello solare a concentrazione), l'energia eolica (impianti eolici on-shore e off-shore), l'energia geotermica, l'energia prodotta dalle biomasse. L'impatto ambientale varia a seconda della fonte utilizzata e dallo sviluppo tecnologico, specialmente varia l'emissione di gas serra derivato. Sarà quindi necessario aumentare la quota di produzione di energia sfruttando fonti rinnovabili.

In italia il 45% circa del consumo energetico totale proviene dal settore dell'edilizia (circa il 40% a livello europeo[4]), tale valore è in crescita se si tiene conto dell'aumento della popolazione e della domanda energetica mondiale. Il consumo energetico totale di fonte primaria è quantificato dal MISE pari a **169 milioni**[5] di tonnellate equivalenti di petrolio consumate in media l'anno, di cui **125,66 Mtep**[5] rappresentano i consumi finali di energia suddivisi per settore economico e di queste circa **47,41 Mtep**[5] sono dovute ad uso civile ed ovviamente ogni abitazione, ufficio o locale pubblico consuma energia elettrica (illuminazione, elettrodomestici, apparecchi elettronici). Tali consumi sono una piccola percentuale del fabbisogno di energia di un edificio, le richieste maggiori sono dovute dal riscaldamento degli ambienti, dall'acqua calda sanitaria e dal raffrescamento estivo. Il settore edilizio ha un impatto molto gravoso sull'ambiente nonostante lo sviluppo di metodi più efficienti per la produzione di energia elettrica e di calore, insieme ad un maggiore utilizzo di fonti di energia rinnovabile.

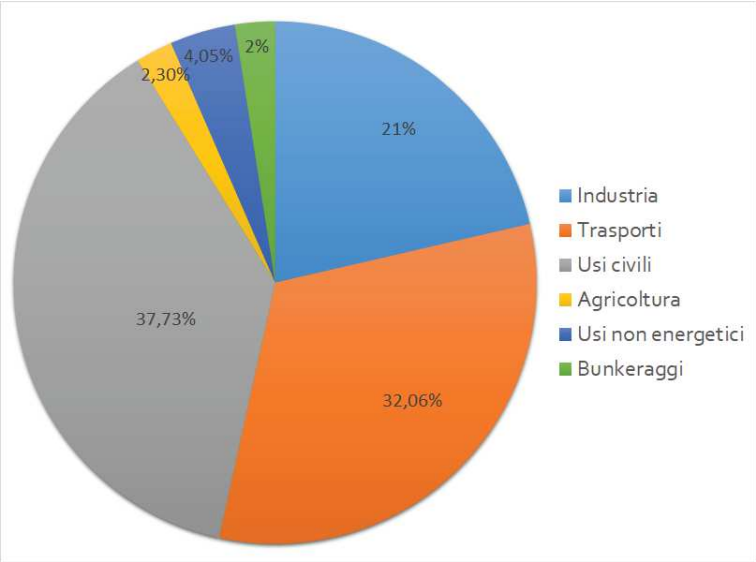


Figura 1.8: Bilancio Energetico Nazionale[5]

Il fabbisogno termico di un edificio residenziale è legato alla necessità di riscaldamento degli ambienti abitati ed alla produzione di acqua calda sanitaria, il fabbisogno elettrico è legato invece principalmente alla climatizzazione estiva, all'illuminazione, al funzionamento di apparecchiature e dispositivi. In funzione della tecnologia impiantistica adottata, il fabbisogno per il raffrescamento può avvenire anche con vettore termico.

Pur mantenendo gli stessi livelli di comfort è possibile ridurre i consumi elettrici e termici di un edificio attraverso interventi che rendano più efficiente l'involucro edilizio, ovvero quella parte di edificio che separa un ambiente interno dall'ambiente esterno. Analogalmente, una ulteriore riduzione dei consumi è possibile attraverso la sostituzione degli impianti installati con tecnologie più efficienti e utilizzando sistemi alimentati da fonti rinnovabili.

La diagnosi energetica del sistema edificio-impianto, definita dal D.Lgs. n. 115/2008 Art.2, permette di ottenere una conoscenza approfondita del comportamento (e consumo) energetico del sistema, al fine di individuare le modifiche più efficaci dal punto di vista della prestazione energetica.

Le problematiche connesse alle dispesioni termiche degli involucri edilizi derivano dalla natura dell'energia termica, la quale migra in modo spontaneo dall'ambiente a temperatura superiore verso quello a temperatura inferiore; in inverno il calore fornito negli ambienti si disperde verso l'esterno; in estate invece il calore dall'esterno entra

nell'interno degli edifici. La funzione dell'involucro edilizio è quella di contrastare questo fenomeno. I fattori che condizionano l'evento di scambio di calore tra interno ed esterno a cui occorre fare attenzione sono diversi e con diversa influenza sull'involucro:

- Esposizione geografica dell'edificio;
- Localizzazione climatica;
- Venti dominanti;
- Dimensioni dei locali;
- Spessori e qualità dei materiali che compongono le pareti;
- Tipo di funzionamento dell'impianto.

Mentre le componenti dell'involucro che influenzano le dispersioni di calore risultano essere:

- Le pareti;
- Le superfici finestrate e i serramenti;
- La copertura;
- Il pavimento controterra;
- I ponti termici;
- Il rinnovamento dell'aria.

Mediante l'utilizzo di opportuni software di calcolo si può simulare il bilancio energetico dell'edificio e quindi valutarne il fabbisogno di energia primaria. Il bilancio energetico è finalizzato a determinare quanta e che tipo di energia è stata consumata in un dato periodo di tempo e come essa è stata prodotta, trasformata e consumata. L'edificio-impianto và quindi considerato come un sistema unitario che interagisce con l'ambiente esterno mediante flussi di energia.La norma europea EN ISO 13790:2008 fornisce il metodo di calcolo standardizzato; esso consente di tener conto delle variazioni temporali delle temperature interna ed esterna, dell'inerzia termica delle masse costituenti l'edificio e del regime di funzionamento dell'impianto.

La legislazione italiana (D.Lgs. 192/2005) fa riferimento alla suddetta norma mediante le norme UNI che definiscono le modalità per la sua applicazione nazionale ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria relativo alla climatizzazione estiva ed invernale degli edifici: norme UNI della serie UNI/TS 11300 – 1,2,3,4.

La procedura standardizzata per il calcolo della prestazione energetica degli edifici prevede:

1. Calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per il raffrescamento ($Q_{C,nd}$);
2. Calcolo del fabbisogno di energia termica per ACS;
3. Calcolo del rendimento globale medio stagionale degli impianti;
4. Calcolo del fabbisogno di Energia Primaria per riscaldamento e ACS.

Lo schema riportato in seguito mostra le componenti del Bilancio Energetico di un edificio:

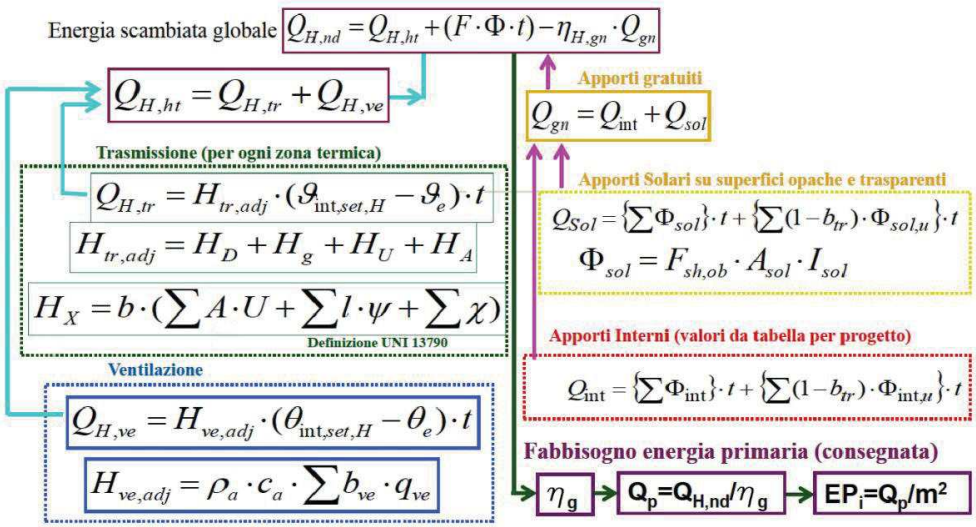


Figura 1.9: Schema del Bilancio Energetico di un edificio[6]

Secondo l'ultimo censimento ISTAT 2011, il patrimonio edilizio italiano a destinazione residenziale ammonta a circa 12.2mln[7] di edifici (circa l'84% degli edifici presenti sul territorio italiano), con una superficio complessiva pari a circa 2950 Mm^2. Secondo una recente ricerca CRESME, l'Italia spende circa 45.2 miliardi di euro[7] ogni anno per consumi termici ed elettrici negli edifici residenziali esistenti (corrispondenti a circa 30 Mtep di energia).

I principali dati sulla consistenza numerica e le caratteristiche costruttive ed impiantistiche del patrimonio edilizio nazionale ad uso residenziale sono riportati da Figura 1.10 e Figura 1,11. Le informazioni sono state ricavate prevalentemente dai risultati del progetto di ricerca Europeo *EPISCOPE*, oltre che da elaborazioni statistiche di banche dati ISTAT ed europee.

Per coerenza con il progetto *EPISCOPE*, i dati sono stati raggruppati secondo il criterio riportato in tabella:

ZONA CLIMATICA		REGIONI	Criterio di classificazione	
Mediterranea	*A, B, C, D*	Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Liguria, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana	Maggior parte dei comuni con numero di Gradi Giorno	fino a 2100
Media	*E*	Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Umbria, Veneto		da 2100 a 3000
Alpina	*F*	Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta		più di 3000

Tabella 1: Criterio di Classificazione Dati[7]

In Italia, quasi la metà degli edifici residenziali è localizzata nelle zone climatiche E ed F (sopra i 2100 Gradi-Giorno, Figura 1.10). Il 26% degli edifici residenziali è stato costruito prima della Seconda Guerra Mondiale; circa il 60% è stato costruito tra il 1945 e il 1990, mentre solo il restante 14% è stato edificato nel periodo successivo al 1991 (Figura 1.11). In Figura 1.12 è riportata la distribuzione degli edifici residenziali per periodo di costruzione, per ciascuna zona climatica.

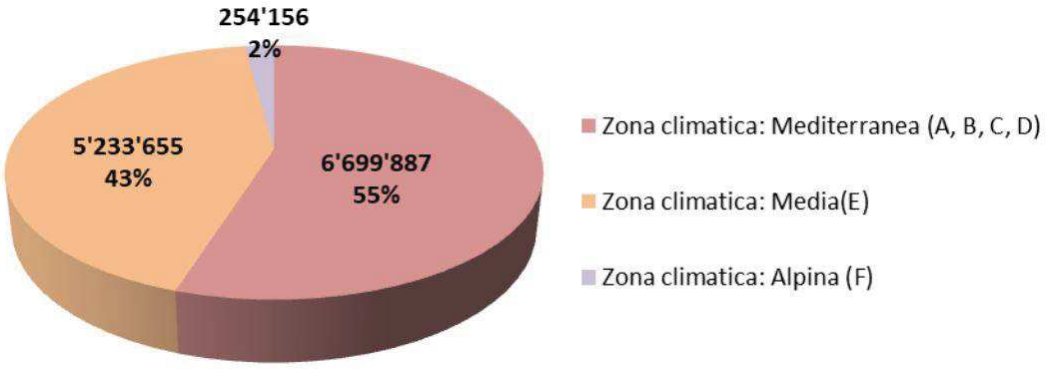


Figura 1.10: Edifici residenziali per zona climatica italiana[7]

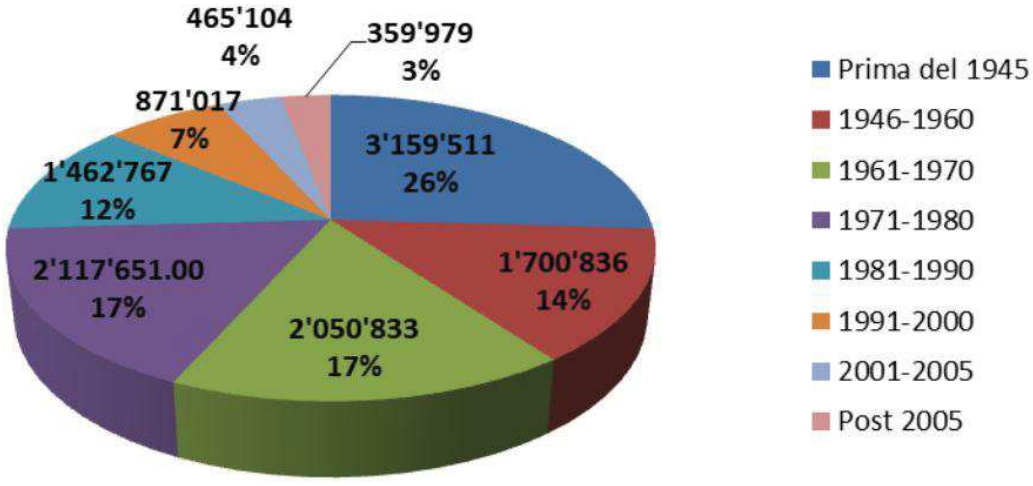


Figura 1.11: Edifici residenziali per periodo di costruzione[7]

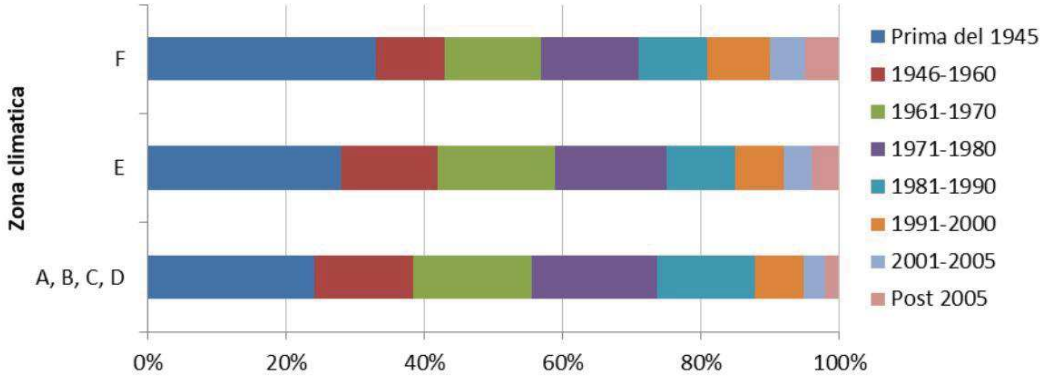


Figura 1.12: Distribuzione degli edfici residenziali per periodo di costruzione[7]

In riferimento alla dimensione degli edifici residenziali, intesa come numero di appartamenti di cui sono composti, a livello nazionale il 21% è costituito da edifici monofamiliari, il 33% è composto da 2-4 appartamenti, il 26% da medi condomini (5-15 appartamenti), mentre il 19% da grandi condomini (più di 16 appartamenti).

La trasmittanza termica dei componenti dell'involucro si è notevolmente ridotta negli anni, con valori medi di circa 2.8 W/m^2K tra prima del 1945 e di 1.8 W/m^2K tra il 2000 e il 2010. In particolare, da prima del 1945 al 2014, la conducibilità termica dei muri perimetrali esterni e dei pavimenti si è ridotta rispettivamente del 77% e del 78%, quella delle coperture dell'85% e per quanto riguarda i serramenti tale riduzione è pari al 52%.

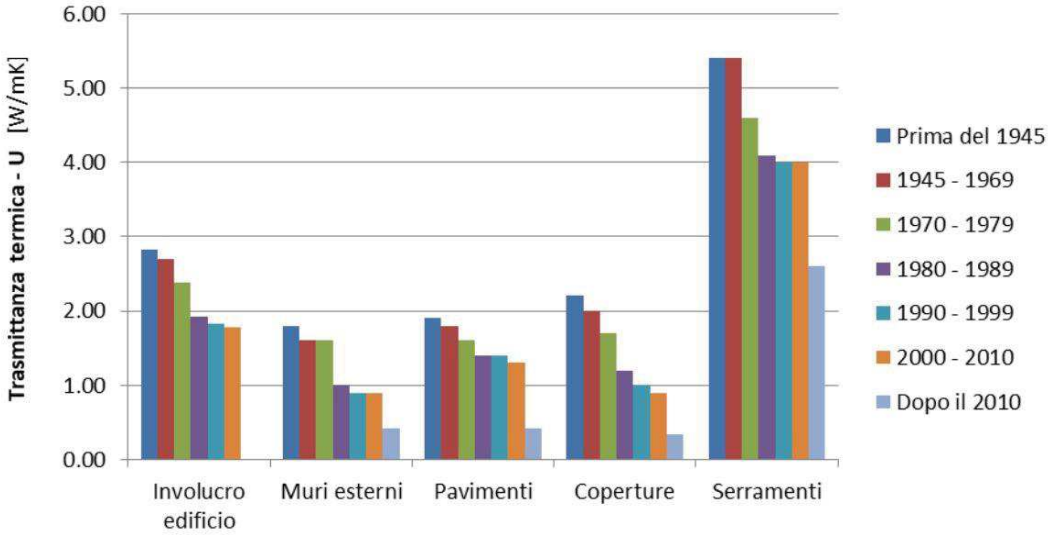


Figura 1.13: Trasmittanza termica dell'involucro degli edifici residenziali[7]

Il potenziale degli interventi di riqualificazione energetica realizzabili nel campo dell'edilizia residenziale esistente può essere molto importante per la riduzione dei consumi energetici complessivi, soprattutto negli edifici più vecchi e termicamente inefficienti, per questo motivo negli ultimi anni si è posta attenzione sempre maggiore

al risparmio energetico del parco edilizio nazionale e risulta decisivo poter valutare l'utilizzo delle varie tecnologie in termini di ricerca di una miglior efficienza energetica ed economica. A fronte di ciò sono stati voluti e messi in atto da parte del governo italiano dei forti incentivi fiscali, in particolar modo il *Superecobonus 110%*, con l'intenzione di stimolare gli interventi di riqualificazione energetica edilizia.

Bisogna anche dire che il risparmio energetico interessa diverse componenti dell'edificio, ad esempio negli ultimi anni si è iniziato ad ottimizzare il sistema impianto in modo da venire incontro alla reali efficienze dell'involucro edilizio. Uno dei metodi più comuni e vantaggiosi per il risparmio energetico è l'uso geotermico del terreno come fonte di energia rinnovabile per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria, tramite un dispositivo (ad esempio la pompa di calore) che permetta di sfruttare tale fonte energetica. Tuttavia gli sforzi per avere degli edifici con un impianto molto efficiente sarebbero vanificati se non si ponesse attenzione anche ai materiali edili utilizzati, alle caratteristiche costruttive ed alla disposizione spaziale delle stanze dei nuovi edifici realizzati; il problema delle dispersioni energetiche si presenta infatti di particolarmente rilevante in quelle abitazioni il cui rapporto superficie/volume è molto elevato. Con la scelta degli ideali materiali di costruzione si cerca si ottenere all'interno dell'edificio un bilancio energetico nullo o quasi, in modo tale che sia l'edificio stesso ad equilibrare le perdite ed i guadagni di calore; questo risultato si può ad esempio ricavare aumentando il grado di isolamento delle componenti opache e trasparenti.

Il concetto di involucro edilizio si è evoluto nel tempo, passando dall'essere un riparo verso l'esterno ad essere un sistema dinamico capace di ottimizzare tutte le sue interazioni con l'ambiente esterno, regolando i flussi di trasferimento del calore, la trasmissione della luce e della radiazione solare.

Gli obiettivi a cui generalmente si è indirizzati con un intervento di riqualificazione energetica sono:

- Riduzione del rapporto superficie/volume dell'edificio;
- Accrescimento delle caratteristiche di isolamento termico delle pareti verticali ed orizzontali;

- Efficientamento delle parti finestrate;
- Omogeneità nell'isolamento termico dell'edificio;
- Ermeticità ed uso della ventilazione meccanica controllata.

Le dispersioni termiche dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna e quella esterna dell'involucro edilizio e dalla resistenza termica specifica dei materiali di cui si compongono le pareti verticali ed orizzontali. Ciò comporta che la realizzazione dell'involucro ricopra un ruolo centrale per la valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio e quindi nella riqualificazione energetica dei fabbricati esistenti risiede potenzialmente un enorme risparmio energetico, che può essere conseguito utilizzando le moderne tecnologie.

Il settore edile, per quanto specificato precedentemente, risulta essere uno dei principali responsabili dell'inquinamento ambientale, non solo nel corso della costruzione, ma anche lungo tutto il ciclo di vita del prodotto edilizio, dall'approvigionamento delle materie prime, alla loro lavorazione, il trasporto, la realizzazione, la demolizione dell'edificio e lo smaltimento delle macerie. L'edificio inoltre genera inquinamento per poter garantire condizioni di comfort ai suoi fruitori e per creare un ambiente adeguato alle attività che in esso si svolgono. Per queste ragioni quindi il tema della sostenibilità ambientale è entrato a pieno diritto e con forza nell'ambito della riqualificazione energetica.

Le analisi dinamiche di questo elaborato sono state realizzate con l'utilizzo dei software ***Namirial TERMO***, un software di termotecnica utile per il calcolo dell'indice di prestazione energetica (EP_{gl}) dell'edificio, per il calcolo dei fabbisogni di energia primaria, per la certificazione energetica (redazione *APE*) e l'utilizzo della *legge 10*; ***ANIT - IRIS*** un software per il calcolo dei ponti termici, l'analisi della trasmittanza lineare (*coefficiente* Ψ), la verifica del rischio di muffa e condensa interstiziale, calcolo della potenza dispersa.

1.1 Obiettivi

Lo scopo dell'elaborato è quello di quantificare la convenienza economia, a fronte dell'utilizzo dell'incentivo fiscale *Superecobonus 110%*, e l'efficacia energetica dei tre tipi di interventi di riqualificazione, singoli o combinati, analizzando tramite una simulazione in regime dinamico due casi studio di un'abitazione unifamiliare, ipotizzando la struttura e i materiali che la compongono risalente agli anni '80 e agli anni 2000.

Lo studio è volto quindi a comprendere le potenzialità ed i benefici derivanti dall'applicazione del cappotto termico, con e senza il risvolto sugli infissi, dalla sostituzione degli infissi e dalla sostituzione della caldaia da tradizionale a caldaia a condensazione.

Sebbene gli interventi spazino su diversi aspetti dell'edificio, le soluzioni adottate sono volutamente scelte tra quelle di prassi comune perché si vogliono individuare ed indicare soluzioni che possano vedere una rapida e concreta diffusione e non un lavoro di stile che individui la miglior soluzione tecnica senza considerare la sua concreta applicabilità; anche i risultati sono presentati in modo da poter essere di facile fruibilità.

A conclusione dell'analisi si vogliono dare delle indicazioni di carattere qualitativo per una migliore fruizione del sistema di incentivi.

2 LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

In questo capitolo si fa riferimento alla legislazione ed alle principali normative vigenti in materia per quanto riguarda la prestazione termica degli edifici, i ponti termici nelle costruzioni e le relative metodologie di calcolo delle grandezze fisiche interessate; successivamente si fa anche riferimento al sistema di incentivi fiscali alla riqualificazione vigenti ed ai piani tariffari nazionali.

È una prima fase fondamentale poiché getta le basi per le successive fasi di lavoro dato che viene analizzato cià che è stato già studiato e permette di definire più accuratamente il punto di arrivo della ricerca in questione.

In merito all'inserimento dei ponti termici nel software TERMO di simulazione energetica dell'edificio non vi sono particolari indicazioni legislative cogenti.

2.1 Quadro legislativo e normativo

La prima legge nazionale in materia di risparmio energetico è la **n°373 del 1976**, essa era costituita da tre parti: la prima riguardava gli impianti di produzione del calore e gli annessi sistemi di termoregolazione, fissava dei limiti di potenza degli impianti senza fornire tuttavia alcun metodo per il calcolo e la verifica; la seconda parte trattava l'isolamento termico degli edifici senza considerare però la sua efficienza; la terza parte riguardava le sanzioni previste per la mancata osservanza della legge.

La legge poi che ha integrato ed in parte sostituito la n.373/76 è la **n° 10 del 1991** – "norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e sviluppo di fonti rinnovabili di energia". Essa si poneva i seguenti obiettivi:

- Risparmio energetico;
- Uso razionale dell'energia;
- Salvaguardia dell'ambiente;
- Benessere degli individui;
- Incentivo all'uso di fonti rinnovabili;
- Incentivo all'uso di sistemi impiantistici alternativi.

Essa aveva introdotto una nuova procedura per la verifica energetica degli edifici, fissava le caratteristiche climatiche attraverso la definizione della temperatura e dell'umidità minima esterna e delle temperature massime a seconda della destinazione d'uso; stabiliva inoltre la permeabilità massima dei serramenti ed i valori limite delle dispersioni dovute ai componenti opachi, a quelli trasparenti, al terreno, ai locali non riscaldati ed ai ponti termici. Aveva compiuto un primo passo verso la "*certificazione energetica*" degli edifici (**art.30**).

La certificazione energetica di prefiggeva il raggiungimento di due obiettivi:

- Introdurre norme e procedure unitarie per determinare la qualità energetica degli edifici;
- Indurre l'utente finale ad includere il parametro energetico nella valutazione dell'immobile.

Rispetto al quadro normativo europeo, l'art.30 della legge appariva innovativo e prevedeva gli strumenti adatti per la sua operatività sia in caso di compravendita o locazione (certificazione energetica) sia allorché il proprietario o il locatario volessero richiedere al Comune la certificazione energetica dell'intero immobile o della singola unità immobiliare.

Venne poi pubblicato ed attuato il **D.P.R. n°412** del **1993,** principale decreto attuativo della legge n.10/91 e reca norme e disposizioni per gli adempimenti del settore impiantistico, che imponeva i limiti del fabbisogno energetico per i nuovi edifici e per quelli ristrutturati oltre a fissare i limiti del rendimenti degli impianti attraverso metodi di calcolo e verifica descritti dalle norme UNI. Questa legge suddivide il territorio nazionale in diverse zone climatiche a seconda dei *Gradi-Giorno* (GG), cioè la somma, estesa a tutti i giorni del periodo di riscaldamento convenzionale, delle differenze positive di temperatura tra quella dell'ambiente (fissata a 20°C) e quella media esterna giornaliera.

Nell'ultimo periodo si è cominciato un percorso verso un futuro energeticamente sostenibile ed a tal proposito il Consiglio Europeo ha emanato una serie di direttive.

Con la Direttiva del Consiglio Europeo **n.93/76/CEE** (*Direttiva SAVE*) si intende limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica attraverso la

certificazione della qualità energetica degli edifici, la climatizzazione e l'acqua calda, il finanziamento degli investimenti di efficienza energetica nel settore pubblico, l'isolamento termico degli edifici nuovi, il controllo periodico delle caldaie.

L'11 dicembre 1997 arriva il Protocollo di Kyoto, un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il riscaldamento globale, che entra in vigore il 16 febbraio 2005. Il protocollo prevedere l'obbligo per i paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti.

Nel frattempo in Italia la riforma "Bassanini" (D.lgs 31 marzo 1998, n.112) trasferisce alle Regioni le competenze amministrative sulla certificazione energetica degli edifici.

Per conformarsi al protocollo di Kyoto, l'Unione Europea adotta una serie di misure e alcuni interventi comunitari necessari per la pubblicazione della Direttiva 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 che interessa il rendimento energetico degli edifici e che comporta una serie di misure ed interventi necessari per univormarsi al protocollo di Kyoto. L'edificio, comprendente i vari impianti di riscaldamento, di raffrescamento, di illuminazione ed aerazione, deve essere progettato nella sua globalità per avere un basso consumo d'energia per garantire il benessere degli occupanti. La direttiva inoltre prevede che deve essere definita una metodologia per il calcolo della certificazione energetica degli edifici e sottolinea come gli edifici occupati dalle pubbliche autorità o aperti al pubblico dovrebbero assumere un approccio esemplare nei confronti dell'ambiente e dell'energia, assoggettandosi alla certificazione energetica ad intervalli regolari ed affiggendo sull'edificio l'attestato di certificazione, oltre ad adottare misure di sensibilizzazione degli occupanti verso l'uso consapevole dell'energia.

L'Italia risponde a questa direttiva a più riprese pubblicando diversi decreti legislativi, recepisce i contenuti della direttiva 2002/91/CE con la pubblicazione del **D.Lgs. n.192/2005:**

esso fornisce i valori correttivi per il coefficiente della potenza termica dispersa per trasmissione in modo da tener conto dell'interzia termica dell'involucro, oltre a fornire i ricambi minimi d'aria e la trasmittanza massima dei componenti opachi e trasparenti. Tale decreto impone delle verifiche termo-igrometriche dei ponti termici e dei componenti vetrati nei confronti dell'illuminazione naturale; impone anche la presenza

di schermature fisse o mobili sulle componenti vetrate allo scopo di ridurre gli apporti di calore per irraggiamento.

Ulteriore scopo del decreto:

- Determinare una metodologia di calcolo riguardante le prestazioni integrate;
- Imporre i valori minimi della trasmittanza termica e del fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento in funzione della zona climatica e del fattore di forma dell'edificio (rapporto tra superficie dell'involucro e volume dell'edificio);
- Istituire delle ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- Raccogliere informazioni ed esperienze necessari alla definizione di una politica energetica;
- Promuovere un uso consapevole dell'energia attraverso l'informazione e la sensibilizzazione delle persone.

Il contenuto di questo decreto è stato poi modificato ed integrato dal **D.Lgs. n.311/2006** "*disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo del 19 agosto 2005, n.192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*":

questo decreto introduce l'obbligo dell'attestato di qualificazione energetica (AQE) per tutti gli edifici esistenti e perfino per i singoli appartamenti e prevede inoltre un programma di qualificazione energetica del patrimonio immobiliare esistente. Stabilisce anche che le regioni dovranno condurre una serie di campagne informative, effettuare per ogni singola abitazione degli audit energetici e promuovere strumenti di finanziamento per i sistemi di incentivi locali. Per quanto riguarda i nuovi edifici invece introduce l'obbligo di installazione di pannelli solari di tipo fotovoltaico con una produzione non inferiore a 0.2 kW per unità abitativa.

Il **D.Lgs. n.115/2008,** che recepisce la Direttiva europea 2006/32/CE, ha l'obiettivo di migliorare l'approvvigionamento energetico tramite un uso più efficiente degli usi finali dell'energia (costi/benifici) e la tutela dell'ambiente tramite la riduzione delle emissioni di gas serra. Esso stabilisce che è necessario sviluppare e promuovere il mercato dei

servizi energetici ed inoltre definisce le metodologie di calcolo ed i requisiti per l'esecuzione delle diagnosi energetiche e della certificazione degli edifici.

L'attuazione completa del D.Lgs. n.192/2005 prevede la pubblicazione di ulteriori decreti attuativi che secondo l'art. 4 dello stesso completano il quadro sui seguenti temi:

- I criteri di calcolo e requisiti minimi per gli impianti;
- I criteri generali di prestazione energetica per l'edilizia convenzionata, pubblica e privata;
- I requisiti professionali e di accreditamento per la certificazione.

Nello specifico questi i decreti che seguono:

- *D.P.R. 2 aprile 2009, n.59* "*metodologie per il calcolo della prestazione energetica di edifici ed impianti*";
- *D.M. Sviluppo Economico 26 giugno 2009* "*linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*";
- *D.P.R. 16 aprile 2013, n.75* "*requisiti dei professionisti abilitati alla certificazione e ispezione impianti termici*".

La **Direttiva 32/2006/CE** sull'efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici (abrogata), imponeva agli stati membri di dotarsi di un *Piano di Azione per l'Efficienza Energetica* (PAEE). A seguito di ciò, ciascuno degli stati membri ha predisposto il proprio Piano di Azione tenendo conto, oltre che della Direttiva citata, anche di altre che fanno riferimento all'efficienza energetica negli edifici:

- la **direttiva 91/2002/CE**, prima versione dell'**EPBD** (*Energy Performance Building Directive*), richiedeva che gli stati membri rafforzassero i loro regolamenti edilizi e introducessero la *certificazione energetica degli edifici* (ACE). Nello specifico ha richiesto agli stati membri di conformarsi all'articolo 7 (certificati di rendimento energetico), all'articolo 8 (ispezione delle caldaie) e all'articolo 9 (ispezione dei sistemi di condizionamento dell'aria);
- la **direttiva 31/2010/UE**, che ha sostituito la direttiva 91/2002/CE, definisce l'**APE** (*Attestato di Prestazione Energetica*) un documento riconosciuto da uno stato membro o da una persona giuridica da esso designata in cui figura il valore

risultante del calcolo della prestazione energetica di un edificio o di un'unità immobiliare effettuato seguendo una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici in conformità del quadro generale comune. Amplia la propria attenzione su edifici ad energia quasi zero (edificio **nZEB**), ha comportato un costo ottimale dei requisiti minimi di rendimento energetico ed ha migliorato le politiche;

- la **direttiva 844/2018/UE** attualmente in vigore, che modifica la 31/2010/UE e la 27/2012/UE. Con questa direttiva viene specificato che le prestazioni energetiche degli edifici devono essere calcolate con le ultime procedure di calcolo in regime dinamico prendendo il posto delle precedenti procedure più semplificate stazionarie o semi-stazionarie. Con questa Direttiva Europea quindi il calcolo dell'APE e della classe energetica sarà più raffinato e necessiterà di software di calcolo più elaborati che si utilizzano attualmente per calcoli più avanzati come le diagnosi energetiche.

  Le normative di riferimento sono le ISO 52000-1, ISO 52003-1, ISO 52010-1, ISO 52016-1 e ISO 52018-1.

Il **D.Lgs. 10 giugno 2020 n.48** attua la direttiva 844/2018/UE e promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi delle azioni previste, ottimizzando il rapporto tra oneri e benefici per la collettività.

Il **D.M. 26 giugno 2015** reca "*applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*" noto come decreto "requisiti minimi", ha modificato le procedure di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e inserito nuovi parametri più restrittivi sia per edifici di nuova costruzione che per quelli sottoposti a ristrutturazione.

Le prestazioni invernali dell'involucro vengono valutate:

- confrontando l'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento $EP_{H,nd}$ dell'edificio reale con l'analogo indice calcolato per l'edificio di riferimento;

- verificando che il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione H'_T sia inferiore ad un valore limite determinato in funzione della zona climatica della località e del rapporto disperdente S/V dell'edificio.

Invece le prestazioni estive dell'involucro vengono valutate:

- verificando che l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile $A_{sol,est}/A_{sol,utile}$ della parte trasparente dell'involucro sia inferiore al valore limite in funzione della categoria di edificio;
- verificando la trasmittanza termica periodica (Y_{IE} espressa in W/m^2K) degli elementi di involucro opaco;
- confrontando l'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva ($EP_{C,nd}$ espresso in kWh/m^2) con l'analogo indice dell'edificio di riferimento.

Ai fini dell'applicazione delle nuove disposizioni, sono "*edifici di nuova costruzione*" gli edifici il cui titolo abilitativo sia stato richiesto a partire dal 1° ottobre 2015. Sono assimilati a tali edifici anche:

- gli edifici sottoposti a demolizione e ricostruzione, qualunque sia il loro titolo abilitativo;
- l'ampliamento di edifici esistenti, ovvero i nuovi volumi edilizi, sempre che la nuova porzione abbia un volume lordo climatizzato superiore al 15% di quello esistente o comunque superiore a 500 m^3.

In tali casi i requisiti di prestazione energetica si applicano all'intero edificio o, per gli ampliamenti, solo alla nuova porzione di edificio. Oltre al rispetto delle prescrizioni comuni per tutti gli edifici/interventi, gli edifici di nuova costruzione devono attenersi a requisiti e prescrizioni specifici.

Sono "*ristrutturazioni importanti di primo livello*" le ristrutturazioni che, oltre a interessare l'involucro edilizio che delimita un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati con una incidenza superiore al 50% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio.

Sono "*ristrutturazioni importanti di secondo livello*" le ristrutturazioni importanti che interessano l'involucro edilizio che delimita un volume a temperatura controllata

dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati con una incidenza compresa tra il 25% e il 50% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio.

Sono "*riqualificazioni energetiche*" gli interventi non riconducibili alle ristrutturazioni importanti e che hanno comunque un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio, ossia quelli che coinvolgono una superficie inferiore o uguale al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e/o consistono nella nuova installazione, nella ristrutturazione di un impianto termico asservito all'edificio o di altri interventi parziali.

Il decreto riporta una serie di prescrizioni comuni applicabili tanto agli edifici di nuova costruzione, quanto alle ristrutturazioni e alle riqualificazioni energetiche. Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, occorre verificare l'assenza di condensazioni interstiziali e del rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione. Per le coperture di edifici, al fine di limitare i fabbisogni energetici per il raffrescamento estivo, è prescritta la verifica, in termini di rapporto costi/benefici, dell'utilizzo di materiali ad elevata riflettanza solare.

In caso di interventi di riqualificazione energetica dell'involucro opaco che prevedano l'isolamento termico dall'interno o l'isolamento termico in intercapedine, indipendentemente dall'entità della superficie coinvolta, i valori delle trasmittanze sono incrementati del 30%.

2.1.1 Norma UNI EN ISO 13790

La UNI EN ISO 13790:2008 – *Prestazione energetica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento*, può essere usata per le seguenti applicazioni:

1) Valutare il rispetto di regolamenti espressi in termini di obiettivi energetici;
2) Confrontare le prestazioni energetiche di varie alternative progettuali per un edificio in progetto;
3) Indicare un livello convenzionale di prestazione energetica degli edifici esistenti;
4) Stimare l'effetto di possibili misure di risparmio energetico su un edificio esistente, calcolando il fabbisogno di energia con e senza ciascuna misura;

5) Prevedere le esigenze future di risorse energetiche su scala nazionale o internazionale, calcolando i fabbisogni di energia di tipici edifici rappresentativi del parco edilizio.

In merito al calcolo dei fabbisogni netti di energia per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e raffrescamento ($Q_{C,nd}$), prendendo in oggetto per esempio il caso per il riscaldamento, esso per ogni zona dell'edificio e per ogni mese viene calcolato secondo la formula:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = \left(Q_{H,tr} + Q_{H,ve}\right) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol})$$

In cui le dispersioni termiche per trasmissione $Q_{H,tr}$ si ricavano come:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \cdot \left(\theta_{int,set,H} - \theta_e\right) \cdot t + \left\{\sum_k F_{r,k} \cdot \phi_{r,mn,k}\right\} \cdot t$$

In cui

- $H_{tr,adj}$: coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata [W/K], corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno/esterno;
- $\theta_{int,set,H}$: temperatura interna di regolazione [C] della zona considerata;
- θ_e : temperatura media mensile dell'ambiente esterno [C];
- t : tempo, ossia la durata del mese [10^6 s];
- $F_{r,k}$: fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste;
- $\phi_{r,mn,k}$: extra flusso dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k-esimo mediato nel tempo [W].

La norma è citata poiché a sua volta il coefficiente di scambio $H_{tr,adj}$ è dato dalla formula:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

In cui

- H_D : coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso ambiente esterno [W/K];
- H_g : coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno [W/K];
- H_U : coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati [W/K];
- H_A : coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone climatizzate a temperatura diversa [W/K].

2.1.2 Norma UNI EN ISO 14683

La UNI EN ISO 14683:2008 – *Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento* specifica i metodi semplificati per la

determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari che si manifestano alle giunzioni degli elementi dell'edificio.

Questa norma definisce il Ponte Termico come parte dell'involucro edilizio dove la resistenza termica cambia in modo significativo per effetto di:

- Compenetrazione di materiali con differente conduttività termica nell'involucro edilizio;
- Discontinuità geometrica nella forma della struttura.

I principali effetti negativi dei ponti termici sono:

- Perdite di calore: fino al 20% del calore totale disperso da un ambiente;
- Condensazione superficiale: $t_s < t_r$;
- Formazione di muffe: un ponte termico, a causa della presenza di alta umidità relativa e bassa temperatura, crea le condizioni ideali per la formazione di muffe;
- Danni alla superficie: le variazioni cicliche della t_s causano una polverizzazione dei materiali della struttura;
- Diminuizione del comfort abitativo: quando la t_s interna di una parte dell'involucro è inferiore di almeno tre gradi rispetto alla temperatura dell'ambiente si avverte una sensazione di disagio in prossimità di tale superficie.

La quantificazione delle dispersioni termiche attraverso i ponti termici avviene generalmente attraverso la determinazione di due parametri:

- Ψ la trasmittanza termica lineare, per la quantificazione delle dispersioni di energia termica attraverso i ponti termici lineari;
- X la trasmittanza termica puntuale, per la quantificazione delle disperisoni di energia termica attraverso i ponti termici puntuali.

Generalmente i ponti termici lineari hanno una rilevanza maggiore sulle dispersioni di energia termica attraverso l'involucro edilizio rispetto ai ponti termici puntuali. Per questo motivo, nonché per carenza di valori di riferimento da utilizzarsi, i ponti termici puntuali solitamente vengono trascurati.

La norma specifica metodi semplificati per la determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari che si manifestano alle giunzioni degli elementi dell'edificio.

Il coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno H_D è dato dalla formula:

$$H_{tr} = b_{tr}\left(\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j\right)$$

in cui

- H_{tr} : coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K];
- b_{tr} : fattore di correzione;
- A_i : area dell'elemento i-esimo dell'involucro [m²];
- U_i : trasmittanza termica dell'elemento i-esimo dell'involucro [W/m²K];
- L_k : lunghezza del ponte termico k [m];
- Ψ_k : trasmittanza termica lineare del ponte termico k [W/mK];
- χ_j : trasmittanza termica puntuale del ponte termico puntuale j [W/K].

Con riferimento alla UNI EN ISO 13789 si prevede l'uso di tre sistemi di definizione delle dimensioni:

- Interne: misurate tra le superfici interne finite (escluse partizioni interne);
- Interne totali: misurate tra le superfici interne finite (incluse partizioni interne);
- Esterne: misurate tra le superfici esterne finite dell'edificio.

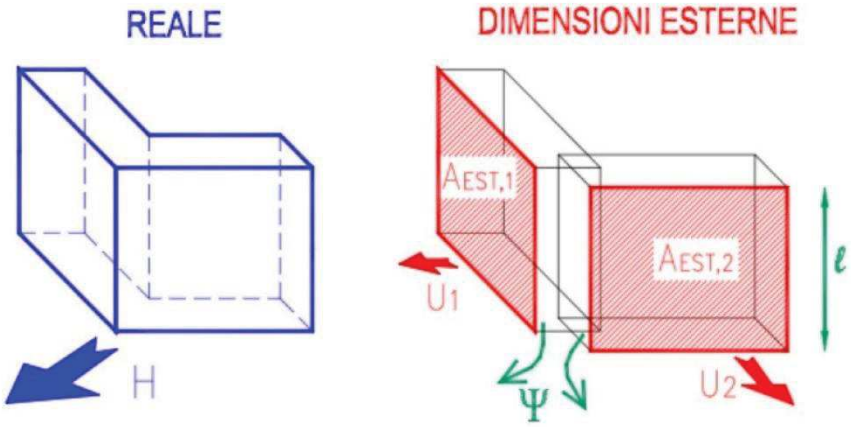


Figura 2.1: Dimensioni esterne

$$H = A_{1,EST} \cdot U_1 + A_{2,EST} \cdot U_2 + \Psi_{est,1} \cdot l$$

Utilizzando le dimensioni esterne si conta due volte la zona d'angolo, quindi il ponte termico Ψ può essere negativo.

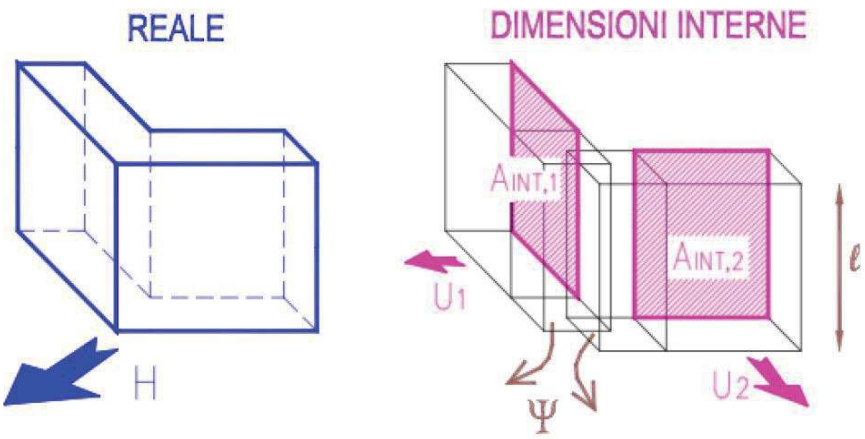


Figura 2.2: Dimensioni interne

$$H = A_{1,INT} \cdot U_1 + A_{2,INT} \cdot U_2 + \Psi_{int} \cdot l$$

Utilizzando le dimensioni interne si tiene conto della zona d'angolo solo col ponte termico, quindi il ponte termico Ψ è sempre positivo.

La norma inoltre specifica i requisiti relativi ai cataloghi dei ponti termici e ai metodi di calcolo manuali. L'appendice A (informativa) riporta valori di riferimento della trasmittanza termica lineica.

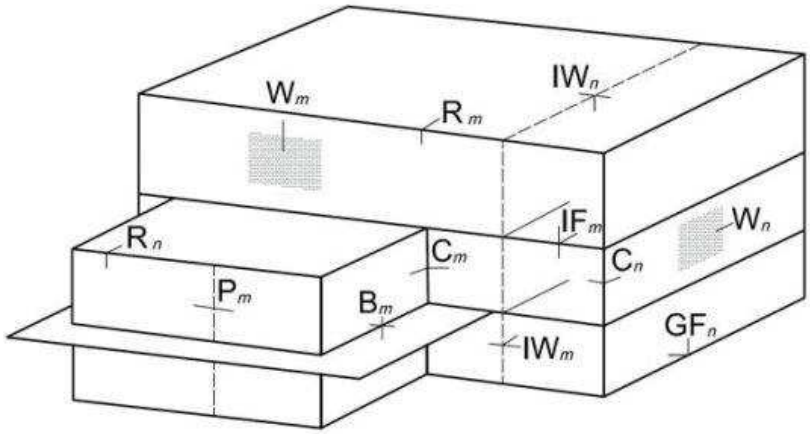


Figura 2.3: Ponti termici globali

Tipologie di ponte termico:

- Giunzioni tra elementi di involucro esterni;
- Giunzioni tra pareti interne con pareti esterne e coperture;
- Giunzioni tra pavimenti intermedi e pareti esterne;
- Pilastri nelle pareti esterne;
- Prossimità di finestre e porte.

Per quanto riguarda l'utilizzo degli atlanti di ponti termici, questa norma ne permette l'utilizzo solo nel caso in cui le dimensioni e le proprietà termofisiche del nodo inserito nell'atlante siano simili a quelle del dettaglio considerato o termicamente più sfavorevoli.

La norma consente di calcolare i flussi termici attraverso metodi semplificati in corrispondenza alle giunzioni tra elementi di edifici, ma non si applica a ponti termici associati ai telai di porte e finestre o a facciate continue, inoltre consente di calcolare il valore della trasmittanza termica lineica Ψ_k.

L'utilizzo di valori standard implica notevoli approssimazioni poiché i Ψ calcolati per alcune tipologie edilizie non ricoprono la totalità delle tecnologie costruttive e i parametri prefissati tendono ad una sovrastima cautelativa delle dispersioni di energia termica attraverso i giunti.

2.1.3 Norma UNI EN ISO 10211

Lo scopo della UNI EN ISO 10211: 2008 – *Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – calcoli dettagliati*, è la "definizione delle specifiche di un modello geometrico tridimensionale e bidimensionale di un ponte termico per il calcolo numerico dei flussi termici, per la stima delle dispersioni termiche totali di un edificio o di parte di esso e per il calcolo delle temperature superficiali minime per valutare il rischio di condensazione superficiale. La norma specifica i limiti geometrici del modello e i criteri da adottare per la suddivisione, le condizioni termiche di contorno, i valori termici e le relazioni da utilizzare. Può essere inoltre utilizzata per ricavare i valori della trasmittanza termica lineare e puntuale ed i fattori di temperatura".

La norma si articola in:

- Suddivisione dell'edificio in superfici piane (U), ponti termici bidimensionali (Ψ) e ponti termici tridimensionali (X);
- Calcolo del flusso termico attraverso il singolo elemento (L_{2D}, L_{3D}) mediante l'utilizzo di modelli complessi;
- Calcolo dei parametri Ψ e X.

In presenza di due sole temperatura al contorno, il calcolo del flusso termico attraverso l'intero involucro edilizio H_{tr}, riferito ad una differenza di temperatura unitaria, è dato da:

$$H_{tr} = \sum_{k=1}^{N_k} U_k \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} \Psi_m \cdot l_m + \sum_{n=1}^{N_n} \chi_n$$

Considerando:

$L_{2D,m}$ flusso termico totale scambiato in prossimità del nodo per unità di lunghezza del ponte termico e per una differenza di temperatura unitaria [W/mK]

e trascurando il contributo della trasmittanza termica puntuale X_n, possiamo giungere a:

$$\Psi_m = L_{2D,m} - \sum_{k=1}^{N_k} U_k \cdot d_{min,k}$$

in cui

- $d_{min,k}$: distanza minima dal nodo oltre la quale è consentito assumere un flusso termico monodimensionale.

Dove il calcolo coinvolge lo scambio termico attraverso il terreno, i piani di taglio nel terreno devono essere posizionati come segue:

- In direzione orizzontale all'interno dell'edificio: 0,5 B' (dimensione del pavimento);
- In direzione orizzontale all'esterno dell'edificio: 2,5 b (larghezza del pavimento);
- In direzione verticale sotto il livello del terreno: 2,5 b (larghezza del pavimento).

dove B' è la dimensione caratteristica del pavimento mentre b si riferisce alla larghezza del pavimento.

Per la determinazione della trasmissione termica lineica Ψ oer giunzioni parete/pavimento possono essere utilizzati calcoli numerici che utilizzano modelli geometrici bidimensionali. Deve essere modellato l'intero dettaglio, includendo la metà della larghezza del pavimento o 4m (il valore minimo tra i due) e la sezione della parete fino all'altezza h_w e calcolare il coefficiente di accoppiamento L_{2D} come la portata termica riferita alla differenza di temperatura e alla lunghezza del perimetro.

L'altezza h_w deve essere la minima distanza dalla giunzione al piano di taglio, ovvero il valore maggiore tra 1,0 m e tre volte lo spessore della parete laterale considerata e h_f deve essere l'altezza della parte superiore della soletta del pavimento sopra il livello del terreno. Le dimensioni del modelli al di fuori dell'edificio e sotto il terreno si estendono fino a 2,5 volte la larghezza del pavimento e per un massimo di 20 m.

Una volta calcolato il coefficiente di accoppiamento L_{2D} si procede poi nel calcolo della trasmittanza termica del pavimento U_g, utilizzando la procedura semplificata nella norma ISO 13370, uso lo stesso valore per B' e includo ogni isolamento uniforme nella soletta del pavimento. Poi calcolare $\Psi_{g,i}$ utilizzando le dimensioni interne e $\Psi_{g,e}$ utilizzando le dimensioni esterne.

$$\Psi_{g,i} = L_{2D} - h_w U_w - 0{,}5 \cdot B' U_g$$

$$\Psi_{g,e} = L_{2D} - (h_w + h_f) U_w - 0{,}5 \cdot (B' + w) U_g$$

Successivamente,sostituire tutto il materiale al di sotto del terreno con suolo e rimuovere la parete sia sotto il terreno sia fuori dal terreno. Utilizzare limiti adiabatici dove la parete si trovava precedentemente in contatto con il pavimento o con il terreno. Il coefficiente Ψ si determina dalla seguente equazione:

$$\Psi_{g,i} = L_{2D} - h_w U_w - L_{2D,a}$$

2.1.4 Norma UNI EN ISO 13370

UNI EN ISO 13370 – 2008: *Prestazione termica degli edifici – Trasferimento di calore attraverso il terreno – Metodi di calcolo*. La norma fornisce i metodi di calcolo dei coefficienti di trasferimento del calore e dei flussi termici degli elementi di edifici in contatto con il terreno, compresi le solette appoggiate al terreno, le solette su vespaio e i piani interrati. Essa si applica agli elementi di edifici e loro parti, che si trovano al di sotto di un piano orizzontale delimitato dal perimetro esterno dell'edificio situato:

- A livello della superficie interna del pavimento, nel caso di solette su terreno, solette su vespaio e piani interrati non riscaldati;
- A livello della superficie del terreno esterno, nel caso di piani interrati riscaldati.

La norma include il calcolo della parte di trasferimento termico in regime stazionario e la parte dovuta alle variazioni periodiche annuali della temperatura. I parametri principali che interessano il calcolo dello scambio termico con il terreno sono:

- Le proprietà termofisiche del terreno
- La dimensione caratteristica del pavimento B, definita come rapporto tra l'area del pavimento ed il suo semiperimetro:

$$B' = \frac{A}{0{,}5 \cdot P}$$

in cui

- A : area del pavimento a contatto con il terreno dello spazio considerato [m^2];
- P : perimetro esposto del pavimento, ovvero la lunghezza totale delle pareti esterne che separano l'edificio riscaldato dall'ambiente esterno [m].
- Lo spessore equivalente, inteso come lo spessore di terreno che ha la stessa resistenza termica. Lo spessore equivalente totale del pavimento d_t è definito come:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

in cui

- w : spessore totale delle pareti perimetrali esterne dell'edificio [m];
- R_{si} : resistenza termica superficiale interna [m^2K/W];
- R_f : resistenza termica del pavimento [m^2K/W];
- R_{se} : resistenza termica superficiale esterna [m^2K/W];
- λ : conduttività termica del terreno [W/mK].

Al fine di semplificare l'espressione delle trasmittanze termiche è stato introdotto il concetto di spessore equivalente.

I coefficienti di trasferimento di calore stazionario attraverso il terreno dipendono dal rapporto tra lo spessore equivalente e la dimensione caratteristica del pavimento. Nella norma sono riportati i metodi di calcolo per:

- Pavimenti controterra;
- Pavimenti su intercapedine;
- Piano interrato riscaldato;
- Piano interrato non riscaldato;
- Piano interrato parzialmente riscaldato.

Per ognuno dei casi il valore dello spessore equivalente e della trasmittanza è ovviamente diverso.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario tra gli ambienti interno ed esterno è dato da:

$$H_g = A \cdot U_f \cdot b_{tr,g'}$$

In cui

- A : area dell'elemento;
- U_f : trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento (tra ambiente interno e spazio sottopavimenti);
- $b_{tr,g'}$: fattore di correzione.

Pavimento controterra non isolato o uniformemente isolato

Sono considerati pavimenti controterra i pavimenti costituiti da una lastra a contatto con il terreno su tutta la sua superficie e situati allo stesso livello, o in prossimità del livello della superficie del terreno esteno. Tali pavimenti possono essere privi di isolamento o uniformemente isolati su tutta la loro area.

La trasmittanza termica dipende dalla dimensione caratteristica del pavimento B' e dallo spessore equivalente totale d_t

$$d_t = w + \lambda\left(R_{si} + R_f + R_{se}\right)$$

Per calcolare la trasmittanza termica U a seconda dell'isolamento termico del pavimento si usano le seguenti formule:

- Se $d_t < B'$ (pavimenti non isolati o moderatamente isolati) si ha:

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right)$$

- Se $d_t > B'$ (pavimenti ben isolati) si ha:

$$U = \frac{\lambda}{0{,}457 \cdot B' + d_t}$$

Per i pavimenti ben isolati, può essere scritto alternativamente come:

$$U_g = \frac{1}{\left(R_f + R_{si} + R_{se} + w/\lambda\right) + R_g}$$

dove R_g è la resistenza termica del terreno, definita come:

$$R_g = \frac{0{,}457 \cdot B'}{\lambda}$$

Pavimento su intercapedine

Sono considerati pavimenti su intercapedine i pavimenti che si trovano sollevati dal terreno.

La trasmittanza termica si ricava da:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

in cui

- U_f : trasmittanza termica della parte sospesa del pavimento [W/m²K];
- U_g : trasmittanza termica per il flusso termico attraverso il terreno [W/m²K];
- U_x : trasmittanza termica equivalente che tiene conto dello scambio termico per lo spazio sottopavimento attraverso le pareti dell'intercapedine e per effetto della ventilazione dello stesso spazio aerato [W/m²K].

Calcolare U_g utilizzando le equazioni:

$$d_g = w + \lambda\left(R_{si} + R_g + R_{se}\right)$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} ln\left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1\right)$$

Dove R_g è la resistenza termica di isolamenti sul fondo dell'intercapedine [m²K/W].

Il coefficiente U_x si ottiene dalla seguente equazione:

$$U_x = 2\frac{hU_w}{B'} + 1450\frac{\varepsilon v f_w}{B'}$$

in cui

- h : altezza della superficie superiore del pavimento sopra il livello del terreno esterno [m];
- U_w : trasmittanza termica delle pareti dell'intercapedine sopra il livello del terreno esterno [W/m²K];
- ε : area delle aperture di ventilazione per unità di lunghezza di perimetro dell'intercapedine [m²/m];
- v : velocità media del vento a 10 m di altezza [m/s];
- f_w : coefficiente di schermatura dal vento.

Se h varia lungo il perimetro del pavimento, si dovrebbe utilizzare il suo valore medio.

Piano interrato riscaldato

Le procedure per il calcolo dei flussi termici verso il terreno nei piani interrati si applicano agli edifici in cui parte dello spazio abitabile si trova a livello inferiore a quello del terreno.

I concetti di base sono analoghi a quelli introdotti per i pavimenti controterra, ma si tiene conto della:

- Profondità z del pavimento del piano interrato rispetto al livello del terreno;

- Possibilità di diversi livelli di isolamento applicati alle pareti e al pavimento del piano interrato.

Se z varia lungo il perimetro dell'edificio, per il calcolo si dovrebbe assumere il suo valore medio.

Per la determinazione di U_{bf}, si calcola la dimensione caratteristica per il pavimento del piano interrato includendo gli isolamenti del pavimento del piano interrato nello spessore equivalente totale:

$$d_t = w + \lambda\left(R_{si} + R_f + R_{se}\right)$$

in cui

- w : intero spessore delle pareti dell'edificio a livello del terreno, comprendente tutti gli strati,
- R_f : resistenza termica della soletta del pavimento compresa quella di eventuali strati uniformi di isolante sopra, sotto o internamente alla soletta del pavimento e quella di eventuali rivestimenti.

Se (d_t + 0,5z) < B′ (pavimenti di piani interrati non isolati o moderatamente isolati):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0{,}5z} ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0{,}5z} + 1\right)$$

Se (d_t + 0,5z) ≥ B′ (pavimenti di piani interrati ben isolati):

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0{,}457 \cdot B' + d_t + 0{,}5z}$$

U_{bw} dipende dallo spessore equivalente totale delle pareti del piano interrato:

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se})$$

dove R_w rappresenta la resistenza termica di tutti gli strati delle pareti del piano interrato.

La formula per U_{bw} utilizza sia d_w sia d_t essa è valida per $d_w > d_t$, come avviene di solito. Se risulta $d_w < d_t$ si deve sostituire d_t con d_w

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z}\left(1 + \frac{0{,}5d_t}{d_t + z}\right) ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right)$$

L'effettiva trasmittanza termica caratterizzante l'intero piano interranto in contatto con il terreno è data dalla:

$$U' = \frac{AU_{bf} + zPU_{bw}}{A + zP}$$

2.1.5 Norma UNI EN ISO 6946

Nella UNI EN ISO 6946: 2008 – Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo, si definisce U trasmittanza termica (coefficiente globale di scambio termico) [W/m²K] come il flusso di calore [W/m²K] che passa attraverso una struttura di 1 m² di superficie e con una differenza di temperatura tra i lati della struttura stessa pari a 1K.

$$U = \frac{1}{R_{TOT}}$$

in cui

- R_{TOT} : resistenza totale [m²K/W].

Per gli strati omogenei la resistenza totale è da considerarsi come:

$$R_{TOT} = R_{si} + \sum_{j} Rj + R_{se}$$

alle quali

- R_{si} : resistenza termica superficiale interna
- R_{se} : resistenza termica superficiale esterna

sono associati dei coefficienti di adduzione α [W/m²K], reciproci delle resistenze superficiali. In condizioni normali si possono utilizzare i valori delle resistenze termiche superficiali forniti dalla norma.

	Parete a contatto con l'esterno			Parete a contatto con locale chiuso		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04	0,10	0,13	0,17

Figura 2.4: Resistenze termiche superficiali

- R_j : resistenze termiche dei singoli strati di un componente; questi strati possono essere costituiti da:

Materiali omogenei, in cui $R = {}^{d}/_{\lambda}$

d : spessore dello strato del componente [m];

λ : conducibilità termica del materiale [W/mK].

Intercapedini d'aria (ventilate, debolmente ventilate, non ventilate).

2.2 Incentivi vigenti

Per raggiungere gli obiettivi di riqualificazione energetica sono disponibili diversi strumenti di incentivazione: il sistema dei certificati bianchi, il conto termico 2.0 e le detrazioni fiscali.

2.2.1 Certificati bianchi

I certificati bianchi, meglio noti come "*Titoli di Efficienza Energetica*" (TEE), sono titoli negoziabili che certificano il conseguimento di risparmi energetici negli usi finali di energia attraverso interventi e progetti di incremento di efficienza energetica; il sistema dei certificati bianchi prevede che i distributori di energia elettrica e di gas naturale raggiungono annualmente obiettivi di risparmio di energia primaria, espressi in Tonnellate Equivalenti di Petrolio risparmiate (TEP).

Vengono istituiti il 20 luglio 2004 e modificati in ultimo con il D.M. 11 gennaio 2017 determinante gli obiettivi quantitativi nazionali di incremento dell'efficienza energetica per il quadriennio 2017-20.

I TEE sono emessi dal gestore dei mercati energetici (GME), sulla base dei risparmi conseguiti e comunicati al GME dal gestore dei servizi energetici, nel rispetto delle disposizioni applicabili. Il GME emette, altresì, TEE, rincondotti nei titoli di tipo II, attestanti interventi di risparmio energetico ottenuti su impianti di cogenerazione ad alto rendimento (CAR) per i quali l'attività di certificazione è effettuata dal GSE, in attuazione delle previsioni di cui al Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico 5 settembre 2011.

I TEE hanno un valore pari ad un tep e si distinguono, sulla base di quanto disposto dal D.M. 11 gennaio 2017, nelle seguenti tipologie:

- Titoli di tipo I, attestanti il conseguimento di risparmi di energia attraverso interventi per la riduzione dei consumi finali di energia elettrica;
- Titoli di tipo II, attestanti il conseguimento di risparmi di energia primaria attraverso interventi per la riduzione dei consumi di gas naturale;

- Titoli di tipo III, attestanti il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale non realizzati nel settore dei trasporti;
- Titoli di tipo IV, attestanti il conseguimento di risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, realizzati nel settore dei trasporti.

I distributori di energia elettrica e di gas naturale possono conseguire gli obiettivi di incremento di efficienza energetica sia attraverso la realizzazione di progetti di efficienza energetica e la conseguente emissione dei TEE, sia acquistando TEE da altri soggetti.

2.2.2 Conto Termico 2.0

Il conto termico (D.M. 28/12/12) è un fondo, confermato anche per il 2021, che incentiva interventi per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili per impianti di piccole dimensioni. I beneficiari sono principalmente le Pubbliche Amministrazioni, ma anche imprese e privati, che potranno accedere a fondi per 900 mln di euro annui, di cui 200 destinati alle PA. Questo fondo è gestito dal GSE, che si occupa di stabilire quali sono gli interventi ammessi, chi può accedere agli incentivi e quali sono le modalità di accesso.

Il limite massimo per l'erogazione degli incentivi in un'unica rata è di 5000 euro e i tempi di pagamento sono all'incirca di 2 mesi.

Per il pubblico e per il privato, il Conto Termico 2021 prevede dei bonus economici equivalenti al 65% della spesa sostenuta per il miglioramento dell'efficienza e del risparmio energetico degli edifici e per la produzione di energia rinnovabile, per le Pubbliche Amministrazioni e i soggetti privati, sia imprese che di natura residenziale.

L'incentivo arriva fino al 40% nel caso in cui si svolgano lavori di isolamento termico di muri e coperture, ma anche se si sostituiscono gli infissi con modelli di nuova generazione specifici per il risparmio energetico. Inoltre, vengono rimborsate anche schermature solari, lavori per migliorare l'efficienza dell'illuminazione degli interni, le tecnologie di *Building Automation* e l'installazione di una caldaia a condensazione.

Su questi punti và però fatta attenzione, la strada migliore da seguire per rientrare della spesa sostenuta per l'attuazione di questi interventi non è quella del Conto Termico, ma il Superecobonus 110%, a condizione però di installare anche un sistema per la termoregolazione degli ambienti.

Nel caso in cui i lavori di isolamento termico siano abbinati alla sostituzione o realizzazione di altro impianto, l'incentivo concesso dal Conto Termico GSE 2021 per l'isolamento sale al 50%.

Il bonus incentivo sale fino al 65% della spesa sostenuta per la realizzazione di impianti solari termici, sistemi a pompe di calore, caldaie e apparecchi a biomasse.

Rimborso totale, quindi un incentivo del 100%, per la Diagnosi Energetica degli edifici e l'Attestato di Prestazione Energetica (**APE**); nel caso però in cui si parli di Pubbliche Amministrazioni. Per i privati, le cooperative di abitanti e le cooperative sociali, viene rimborsato il 50% della spesa sostenuta.

2.2.3 Detrazioni Fiscali – Efficienza energetica (Ecobonus)

La Legge di Bilancio 2021 (n.178 30/12/2020) proroga al 31 dicembre 2021 le detrazioni fiscali per l'efficienza energetica degli edifici (*Ecobonus*) e le detrazioni fiscali per le ristrutturazioni (*Bonus Casa*).

La seguente tabella sintetizza gli interventi incentivabili con gli Ecobonus e le rispettive aliquote di detrazione.

Componenti Tecnologiche	Aliquota di detrazione
Serramenti e Infissi **Schermature solari** **Caldaie a Biomassa** **Caldaie a Condensazione di classe A**	50%
Riqualificazione globale dell'edificio **Caldaie a Condensazione di classe A + termoregolazione** **Generatori di Aria Calda a Condensazione** **Pompe di Calore** **Scaldacqua a pdc** **Coibentazione Involucro** **Collettori Solari** **Generatori Ibridi** **Sistemi di Building Automation** **Microgeneratori**	65%
Interventi su Parti Comuni dei Condomini (coibentazione involucro con superficie interessata > 25% superficie disperdente)	70%
Interventi su Parti Comuni dei Condomini (coibentazione involucro con superficie interessata > 25% superficie disperdente + qualità media dell'involucro)	75%
Interventi su Parti Comuni dei Condomini (coibentazione involucro con superficie interessata > 25% superficie disperdente + riduzione 1 classe rischio sismico)	80%
Interventi su Parti Comuni dei Condomini (coibentazione involucro con superficie interessata > 25% superficie disperdente + riduzione 2 o più classi rischio sismico)	85%
Bonus Facciate (interventi influenti dal punto di vista termico o che interessino l'intonaco per oltre il 10% della superficie disperdente complessiva totale dell'edificio)	90%

Le detrazioni sono riconosciute se le spese sono state sostenute per:

- La riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento;
- Il miglioramento termico dell'edificio (coibentazione – pavimenti – finestre, comprensive di infissi);
- L'installazione di pannelli solari;
- La sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale.

2.2.4 Super Ecobonus 110%

Il *Super Ecobonus* è un'agevolazione prevista dal Decreto Rilancio che eleva al 110% l'aliquota di detrazione delle spese sostenute per specifici interventi in ambito di efficienza energetica, di installazione di impianti fotovoltaici o delle infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici.

Le disposizioni sul *Super Ecobonus* consentono di fruire di una detrazione del 110% delle spese e si aggiungono a quelle già vigenti che disciplinano le detrazioni dal 50% al 90% delle spese spettanti per gli interventi di:

- Recupero del patrimonio edilizio (sismabonus);
- Riqualificazione energetica degli edifici (ecobonus); per questi interventi attualmente sono riconosciute detrazioni più elevate quando si interviene sulle parti comuni dell'involucro opaco per più del 25% della superficie disperdente o quando con questi interventi si consegue la classe media dell'involucro nel comportamento invernale ed estivo, ovvero quando gli interventi sono realizzati sulle parti comuni di edifici ubicati nelle zone sismiche 1, 2 o 3 e sono finalizzati congiuntamente alla riqualificazione energetica e alla riduzione del rischio sismico.

Importante novità, introdotta dal Decreto Rilancio, è la possibilità generalizzata di optare, in luogo della fruizione diretta della detrazione, per un contributo anticipato sotto forma di **sconto** dai fornitori dei beni o servizi (sconti in fattura) o per la **cessione del credito** corrispondente alla detrazione spettante.

Il *Super Ecobonus* spetta, a determinate condizioni, per le spese sostenute per interventi effettuati su parti comuni di edifici, su unità immobiliari funzionalmente indipendenti e con uno o più accessi autonomi dall'esterno, site all'interno di edifici plurifamiliari, nonché sulle singole unità immobiliari.

Spetta anche per le seguenti ulteriori tipologie di interventi (trainati), a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi di isolamento termico o si sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale precedentemente elencati:

- Di efficientamento energetico rientranti nell'ecobonus, nei limiti di spesa previsti dalla legislazione vigente per ciasun interventi;
- Quelli previsti dall'articolo 16-bis, comma 1, lettera e), del Dpr 917/1986, finalizzati all'eliminazione delle barriere architettoniche, per favorire la mobilità interna ed esterna all'abitazione alle persone portatrici di handicap;
- L'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici di cui all'articolo 16-ter del citato decreto legge n. 63/2013.

Spetta infine anche per i seguenti interventi trainati, a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi di isolamento termico o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale o antisismici, precedentemente elencati:

- L'installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica o di impianti solari fotovoltaici su strutture pertinenziali agli edifici;
- L'installazione contestuale o successiva di sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati.

Non spetta per interventi effettuati su unità immobiliari residenziali appartenenti alle categorie catastali A1 (abitazioni signorili), A8 (ville), A9 (castelli) per le unità immobiliari non aperte al pubblico.

Per gli interventi diversi da quelli che danno diritto al *Superbonus* restano applicabili le agevolazioni già previste dalla legislazione vigente in materia di riqualificazione energetica.

Detrazioni per:

- Interventi di riqualificazione energetica rientranti nell'ecobonus non effettuati congiuntamente a quelli che danno diritto al Superbonus, per i quali la detrazione attualmente prevista va dal 50% al 90% delle spese sostenute, in base alla tipologia di interventi effettuati, da ripartire in 10 quote annuali;
- L'installazione di impianti solari fotovoltaici, diversi da quelli che danno diritto al *Superbonus*, che rientrano tra gli interventi finalizzati al risparmio energetico, nonché dell'installazione contestuale o successiva dei sistemi di accumulo funzionalmente collegati agli impianti solari fotovoltaici stessi;
- L'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici, diverse da quelle che danno diritto al *Superbonus*, che rientrano tra gli interventi ammessi alla detrazione di cui all'articolo 16-ter del decreto legge n. 63/2013, pari al 50% delle spese sostenute, da ripartire tra gli aventi diritto in 10 quote annuali di pari importo.

La detrazione è riconosciuta nella misura del 110%, da ripartire tra gli aventi diritto in 5 quote annuali di pari importo.

Ai fini dell'accesso al *Superbonus*, gli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti devono:

- Rispettare i requisiti previsti dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 6 agosto 2020;
- Assicurare il miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio, compreso quello unifamiliare o delle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari funzionalmente indipendenti e che dispongono di uno o più accessi autonomi dall'esterno.

Il miglioramento energetico è dimostrato dall'attestato di prestazione energetica (APE), ante e post-intervento, rilasciato da un tecnico abilitato nella forma della dichiarazione asseverata.

Qui di seguito si riporta una tabella di sintesi con i tipi di interventi, la detrazione, i tetti di spesa e il numero di anni di ripartizione, ammessi alle detrazioni fiscali previste per il settore edile:

Tipo di intervento	Definizione intervento	Detrazione Massima Ammissibile	Spesa Massima ammissibile	Aliquota Detrazione	Numero di anni su cui ripartire la detrazione
Riqualificazione globale	Riqualificazione energetica globale	100000		65%	10
Involucro edilizio	Coibentazione di strutture opache verticali e orizzontali	60000		65%	10
	Sostituzione di finestre comprensive di infissi	60000		50%	10
	Installazione di schermature solari	60000		50%	10
	Interventi su parti comuni che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente		40000	70%	10
	Interventi su parti comuni che conseguono qualità medie		40000	75%	10
	Interventi su parti comuni realizzati nelle zone sismiche 1, 2 e 3, contestualmente finalizzati alla riduzione del rischio sismico che determinano il passaggio ad una classe di rischio inferiore		136000	80%	10
	Interventi su parti comuni realizzati nelle zone sismiche 1, 2 e 3, contestualmente finalizzati alla riduzione del rischio sismico che determinano il passaggio a due classi di rischio inferiore		136000	85%	10
	Interventi sulle strutture opache verticali delle facciate esterne influenti dal punto di vista energetico o che interessino l'intonaco per oltre il 10% della superficie disperdente lorda complessiva			90%	10
	Interventi di isolamento delle superfici opache verticali e orizzontali che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda		(#)	110%	5
Collettori Solari	Installazione di collettori solari termici	60000		65%	10
			($)	110%	5
			30000	110%	5
Impianto di climatizzazione invern	Caldaie a condensazione con efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente maggiore o uguale a 90%	30000		50%	10

	Intervento di installazione di sistemi di termoregolazione evoluti	30000		65%	10
	Caldaie a condensazione con efficienza maggiore o uguale al 90% su impianti centralizzati		($)	110%	5
			30000	110%	5
	Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori d'aria calda a condensazione	30000		65%	10
	Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza	30000		65%	10
	Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza		($)	110%	5
			30000	110%	5
	microcogeneratori	100000		65%	10
	microcogeneratori		($)	110%	5
			30000	110%	5
	Sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda	30000		65%	10
	Sostituzione di scaldacqua con scaldacqua a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria		($)	110%	5
	Installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili	30000		50%	10
	Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti caldaie a biomassa aventi prestazioni emissive con i valori previsti almeno per la classe 5 stelle		30000	110%	5
	Allaccio a sistemi di teleriscaldamento efficiente		($)	110%	5
			30000	110%	5

Tabella 2.2: Aliquote di detrazione per tipi di intervento

(#) Euro 50000 per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi all'esterno; euro 40000 moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da due a otto unità immobiliari; euro 30000 moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari.
($) Euro 20000 moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti fino a otto unità immobiliari ovvero a euro 15000, moltiplicati per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari.

2.3 Sistema tariffario dell'elettricità

La bolletta dell'energia elettrica per un consumatore domestico tipo si compone in percentuale delle seguenti voci:

- Spesa per la materia energia (approvigionamento e commercializzazione);
- Spesa per il trasporto e la gestione del contatore;
- Spesa per oneri di sistema;
- Imposte.

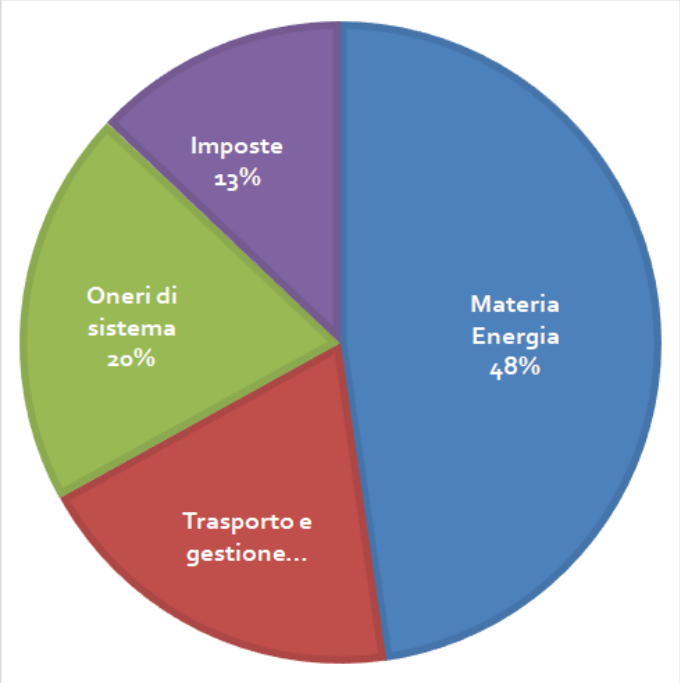


Figura 2.5: Suddivisione dei componenti di una bolletta

I valori delle diverse componenti di spesa sono fissati trimestralmente dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) per gli utenti nel mercato di tutela.

Quote:

- Spesa per la materia prima, suddivisa nelle componenti PE, PD, PCV, PPE e DispBT a copertura di tutti i costi di acquisto all'ingrosso, dispacciamento e commercializzazione dell'energia elettrica;

- Spesa per il trasporto e la gestione del contatore, è formata dalle componentri Tau1, Tau3, Tau3, UC3, UC6, è la voce di spesa che raccoglie tutti i contributi relativi alla messa in opera ed al mantenimento della rete di distribuzione dell'energia;
- Spesa per oneri di sistema, formata dalle componenti A_{sos} e A_{rim}, racchiude tutte le quote di spesa destinate ad incentivi statali in campo energetico ed agli investimenti in attività ad esso collegate;
- Imposte statali che comprende le voci relative all'imposta di consumo (accisa) e all'imposta sul valore aggiunto (Iva). L'accisa si applica alla quantità di energia consumata: i clienti domestici con potenza fino a 3 kW godono di aliquote agevolate per la fornitura nell'abitazione di residenza anagrafica. L'Iva si applica sull'importo totale della bolletta, attualmente per le utenze domestiche è pari al 10%.

Di seguito i prezzi delle tre principali voci di spesa che compongono la bolletta della luce per utenti con contatore monorario e multiorario in regime di tutela.

Spesa per la materia energia

Fascia unica Fo	Fascia F1	Fascia F2-F3
0,08026 €/kWh	0,08947 €/kWh	0,07579 €/kWh

Spesa per il trasporto e la gestione del contatore

Fascia Unica
0,00889 €/kWh

Spesa per oneri di sistema

Fascia Unica
0,041776 €/kWh

Nel mercato di maggior tutela l'Autorità definisce quindi il prezzo dell'energia, aggiornando trimestralmente le condizioni economiche di riferimento, tenendo conto dell'andamento delle quotazioni internazionali degli idrocarburi.

In passato fino al 2016 il costo per il trasporto era di tipo progressivo (aumentava in base al consumo elettrico) erano previsti 4 scaglioni ed era più alto per i clienti non residenti. A partire dal 2017 con la riforma delle tariffe elettriche la progressività è stata cancellata e oggi la quota energia applicata è unica; con la tariffa elettrica piatta vengono incentivati i miglioramenti in termici di efficienza energetica, oltre alle fonti rinnovabili.

Nel mercato libero dell'energia, esiste un regime di concorrenza tra gli operatori reoglato da obblighi a tutela del consumatore stabiliti dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA), che dovrebbe garantire una maggiore efficienza del mercato e assicurare al consumatore finale libertà di scelta tra una pluralità di fornitori. Acquisto, vendita, produzione e importazione dell'energia elettrica sono resi liberi grazie ai cambiamenti legislativi attuati in passato. Il servizio di trasporto e distribuzione dell'elettricità invece resta in gestione a società (regolate da tariffe fissate dall'Autorità ARERA) dette soggetti concessionari, in regime di monopolio naturale o di concessione, a causa della difficoltà tecnica ed onerosità della riproduzione delle infrastrutture idonee a tali attività.

Il consumatore finale interagisce e corrisponde la retribuzione per il servizio completo direttamente ai fornitori, i quali si occupano di gestire tutto il processo di trasporto, distribuzione e fornitura di energia elettrica.

Il mercato libero permette al consumatore domestico di poter scegliere il fornitore dal quale acquistare energia elettrica alle condizioni contrattuali più favorevoli e

convenienti rispetto alle proprie esigenze, in maniera totalmente autonoma e consapevole.

In definitiva per potenze contrattuali fino a 6 kW il costo dell'elettricità varia da 0,19 $€/kWh$ a 0,48 $€/kWh$ tutto compreso e per convenzione nell'analisi dei costi si assumerà il valore di costo di **0,21** $€/\boldsymbol{kWh}$.

2.4 Sistema tariffario del gas

La bolletta energetica del gas per un consumatore domestico tipo si compone in percentuale delle seguenti voci:

- Spesa per la materia (approvvigionamento e commecializzazione al dettaglio);
- Spesa per il trasporto e la gestione del contatore;
- Spesa per oneri di sistema;
- Imposte.

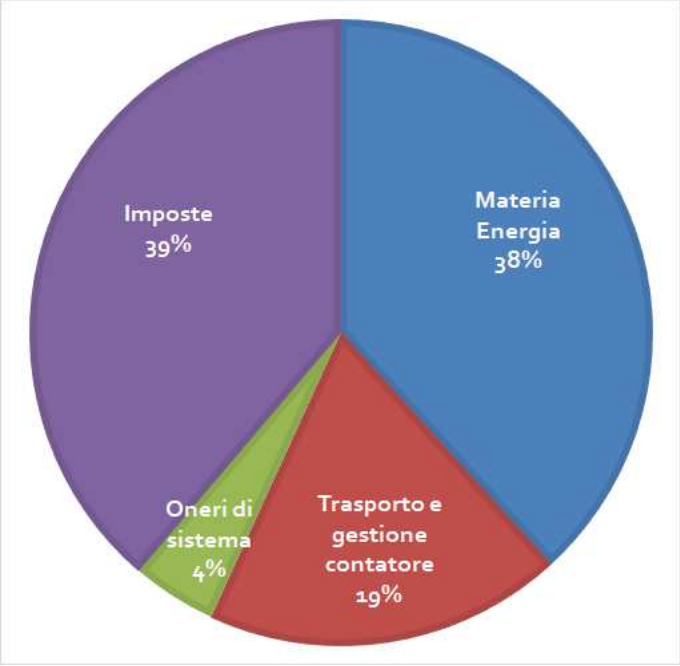


Figura 2.6: Suddivisione dei componenti di una bolletta

I valori delle diverse componenti di spesa sono fissati trimestralmente dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) per gli utenti nel mercato di tutela.

Quote:

- Spesa per la materia prima, suddivisa nelle componenti C_{mem} (copertura dei costi per l'acquisto del gas naturale nei mercati all'ingrosso), CCR (copertura dei costi che le imprese distributrici di gas devono sostenere per rifornire i clienti e proteggerli dai rischi di forti variazioni dei prezzi), QVD (costi fissi sostenuti dalle imprese di vendita per la gestione commerciale dei clienti), GRAD (costi sostenuti dalle imprese per sostituire i vecchi contratti di acquisto di gas all'ingrosso con contratti adeguati al nuovo metodo di calcolo), Cpr (copertura degli incentivi destinati alle imprese di vendita;
- Spesa per il trasporto e la gestione del contatore, suddivisa nelle componenti T_{au1},T_{au2} (costi per i servizi di distribuzione e misura del gas erogato), UG1 (perequazione dei servizi di distribuzione), ST e VR (costi contrattuali relativi alle gare di affidamento dei servizi ai distributori), QT (spese per il trasporto del gas fino alle reti di distribuzione), RS (incentivi alle imprese che investono per migliorare la qualità del servizio);
- Spese per oneri di sistema, suddivisa nelle componenti RE (serve a finanziare progetti di sviluppo delle fonti rinnovabili, la realizzazione di reti di teleriscaldamento e lo sviluppo tecnologico nel settore gas), UG2 (perequazione a copertura della differenza tra la spesa effettiva sostenuta dai fornitori e l'importo ricavato tramite la corrispondente componente QVD), UG3 (costi

sostenuti dalle imprese per gli interventi di interruzione delle forniture per morosità);

- Imposte, che sono composte da l'imposta erariale di consumo, l'addizionale regionale e l'Iva.

Di seguito i prezzi delle tre principali voci di spesa che compongono la bolletta del gas per utenti domestici in regime di tutela.

Ambito centrale 1 aprile – 30 giugno 2021	Materia gas naturale	Trasporto e gestione del contatore	Oneri di sistema
Quota energia [€/smc] consumo smc/anno: da 0 a 120 da 121 a 480 da 481 a 1560 da 1561 a 5000 da 5001 a 80000 da 80001 a 200000	0,235830	 0,043387 0,126578 0,119530 0,119850 0,100521 0,072328	 0,022020 0,067120 0,048220 0,043020 0,036720 0,027520
Quota fissa [€/anno] portata contatore: classe fino a G6 classe da G10 a G40 classe oltre G40	62,74	 62,85 423,38 962,33	 -26,13

Tabella 3: Voci di spesa nella bolletta del gas

Le voci quindi che contribuiscono a definire il prezzo totale sono tante, nel mercato di tutela sono fissate tridimestralmente dall'ARERA, ma nel mercato libero la spesa per la materia energia può variare in base alle condizioni economiche proposte dai fornitori.

In definitiva il costo di un Smc (standard metro cubo) di gas metano dipende dal livello di consumo annuo e dalla regione di residenza, comunque si può affermare che il prezzo

varia da 0,80 €/Smc a 1,20 €/Smc; nello svolgimento della tesi verrà utilizzato il valore di costo del gas metano di **0,80 €/Smc**.

2.5 Software utilizzati

La prestazione energetica complessiva dell'edificio e specifica dei ponti termici (utile alla prima parte) viene condotta facendo riferimento alle norme UNI/TS 11300:2014 parti 1,2,3,4 per il calcolo delle prestazioni energetiche di climatizzazione invernale, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria anche a mezzo di generatori a fonte rinnovabile, la norma introduce inoltre delle importanti modifiche nel calcolo dei ponti termici: i coefficienti di dispersione lineica devono essere valutati agli elementi finiti o attraverso degli atlanti, sia nel calcolo di progetto sia nel calcolo di un edificio esistente; si fa anche riferimento alla norma UNI EN ISO 10211:2008, che definisce le specifiche dei modelli geometrici 3D e 2D di un ponte termico, per il calcolo numerico dei flussi termici ai fini di determinare le dispersioni termiche totali di un edificio o di una sua parte e delle temperature minime superficiali, necessarie per valutare il rischio di condensazione superficiale.

Sulla base di quanto detto, per l'analisi energetica dell'edificio sono stati utilizzati i seguenti software:

- IRIS 5.0;
- Termo 5.2

È stato infine utilizzato un ulteriore software (PriMus) per la redazione dei computi degli interventi di riqualificazione adottati.

2.5.1 Termo 5.2

Termo è il software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici della Namirial, esso esegue il calcolo del fabbisogno di energia primaria di un edificio e provvede alla stampa della relazione tecnica prevista dalla **legge 10/91** e successivi decreti attuativi.

La legge 10/91 rientra nell'ambito delle leggi attuative del *Piano Energetico Nazionale* (P.E.N.) e detta le norme in materia di uso razionale dell'energia e contenimento dei consumi degli edifici.

Con la legge 10/91 è stato introdotto il concetto molto importante che la legge traccia la filosofia e le indicazione generali del risparmio energetico, i decreti attuativi contengono le cosiddette regole tecniche e le norme UNI-CTI riportano le metodologie di calcolo richieste.

Il decreto legislativo 192 del 19 agosto 2005, che aggiorna il D.P.R. 412/93, recepisce la direttiva europea 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia e stabilisce il criterio per la valutazione della conformità di un edificio alle specifiche del Piano Energetico Nazionale.

Tale criterio è la verifica che l'indice di *prestazione energetica* (**EP_H**) dell'edificio, definito come il rapporto fra il fabbisogno energetico convenzionale per la climatizzazione invernale e l'area utile dell'edificio, sia inferiore ad un valore limite dipendente dalla zona climatica. A tale indicatore si aggiungono l'*indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria* (**EP_W**), per la *climatizzazione estiva* (**EP_C**), per la *ventilazione* (**EP_V**), per l'*illuminazione* (**EP_L**) e per il *servizio di trasporto* (**EP_T**).

Il calcolo degli indici di prestazione energetica richiede la suddivisione dell'edificio in zone termiche, vale a dire porzioni di edificio climatizzate da uno stesso impianto termico.

Lo scopo della normativa, con il calcolo degli indici di prestazione energetica, non è quello di calcolare la potenza termica necessaria per il dimensionamento del generatore di calore, quanto il fabbisogno di energia primaria mensile o stagionale.

Il software ha inoltre recepito il D.L. 63/2013, poi convertito in legge dalla L 90/2013, che decreta la realizzazione dell'*Attestato di Prestazione Energetica* (**APE**) in sostituzione dell'*Attestato di Certificazione Energetica* (**ACE**).

Di seguito vengono elencate tutte le funzionalità incluse nella procedura:

- Legge 10 e verifiche;
- Verifiche inerenti la pratica di detrazione fiscale;
- Calcolo delle prestazioni energetiche e redazione APE;
- Calcolo e verifica igrometrica delle strutture disperdenti secondo il metodo Glaser;
- Calcolo delle dispersioni degli ambienti presenti nell'edificio e dei carichi estivi secondo il metodo Carrier-Pizzetti;
- Simulazione di interventi di miglioramento energetico degli edifici;

Una volta inseriti i dati richiesti dalla normativa, TERMO consente di effettuare il calcolo e la verifica degli *indici di prestazione energetica* (EP_H, EP_W, EP_C, EP_L, EP_V, EP_T) utilizzando il metodo descritto nelle norme UNI/TS 11300, che definiscono le modalità per l'applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790.

TERMO viene fornito completo di archivi di base che consentono di reperire in modo molto semplice sia i dati climatici della località di ubicazione che i dati strutturali ed impiantistici dell'edificio. Il menù Archivi di base consente l'accesso e la gestione degli archivi forniti con il programma, all'interno di ciascuno di questi archivi sono presenti oggetti predefiniti e precaricati. Per quasi tutti gli archivi si distingue un Archivio base e un Archivio utente, in ogni Archivio base sono riportate tutte le voci caricate nell'archivio programma; l'Archivio base è solo consultabile, non è né editabile né implementabile. Tra gli archivi trova spazio un Archivio materiali costituito da centinaia di elementi, il cui scopo è quello di consentire all'utente di estendere e personalizzare autonomamente gli archivi dei dati strutturali come pareti, solai, finestre.

Per ciascuna tipologia disperdente è possibile effettuare il calcolo e la stampa della verifica termoigrometrica (Glaser) che, attiva solo in modalità verifica legge 10, mette in evidenza l'andamento delle temperature e delle pressioni, parziali e di saturazione, all'interno di ogni strato della struttura evidenziando e misurando l'eventuale formazione di condensa in superficie e all'interno degli elementi, oltre a fornire il calcolo della condensa evaporabile durante il periodo estivo. La procedura tiene conto degli apporti gratuiti interni e per irraggiamento.

Il programma permette una gestione avanzata delle finestre con trasmittanza multipla, pannello opaco e l'esportazione delle finestre nell'archivio di base.

L'input dati può essere effettuato sia in modo tabellare sia mediante un intuitivo **CAD** interno che permette l'inserimento dei dati con l'ausilio di disegni in formato dxf/dwg/bitmap/jpeg; all'interno del CAD è possibile disegnare pareti tonde e tramite la funzione "lametta", spezzare le pareti in uno o più segmenti.

È prevista la stampa della relazione conforme alle indicazioni dell'allegato E del D.Lgs. 311/2006 e tutta la modulistica riguardante la riqualificazione energetica/asseverazioni. Tutti i documenti possono essere integrati con la possibilità di inserire testi in formato libero per la descrizione di ogni tipo di impianto.

Permette la stampa dell'attestato di *Certificazione Energetica Nazionale*, Regionale ove previsto dalla normativa, la creazione dei file di interscambio per comunicare con i programmi CENED+ e CELESTE. A supporto del certificatore è disponibile nel software il modulo *Interventi Migliorativi* che, attraverso un'analisi dei costi e dei benefici in termini di risparmio energetico, è in grado di valutare l'efficacia degli interventi per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici.

Visto il legame tra la certificazione energetica e la certificazione di sostenibilità ambientale degli edifici, l'applicativo può creare export dei dati energetici per il programma *Certificazione Ambientale*.

Termo è stato ampliato con il nuovo modulo ESTIVO che consente il calcolo dei carichi termici estivi negli edifici utilizzando il metodo Carrier – Pizzetti. Permette di calcolare sulla base del profilo orario impostato dall'utente, il carico termico orario, il mese e l'ora di carico massimo per il dimensionamento dell'impianto di condizionamento estivo.

Tutte le stampe possono essere esportate in formato editabile e in formato pdf.

Inoltre il programma può scambiare i dati geometrici con Acustica, Termo energia, Certificazione ambientale, Clima Impianti e App sopralluoghi.

Moduli:

- Legge 10;
- Certificazione Energetica;

- CAD;
- ESTIVO;
- Interventi Migliorativi.

Riferimenti Normativi

I calcoli effettuati dal programma Termo sono conformi alle seguenti normative UNI:

- UNI/TS 11300-1 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- UNI/TS 11300-2 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali;
- UNI/TS 11300-3 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;
- UNI/TS 11300-4 – Prestazioni energetiche degli edifici. Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- UNI/TS 11300-5 – Prestazioni energetiche degli edifici. Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili;
- UNI/TS 11300-6 – Prestazioni energetiche degli edifici. Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili;
- UNI EN ISO 13790 – Prestazione termica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento;

- UNI EN ISO 10077-1 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Trasmittanza termica dei componenti edilizi finestrati. Metodi di calcolo;
- UNI EN ISO 13370 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Scambi di energia termica tra terreno ed edificio. Metodo di calcolo;
- UNI 10349 – Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Dati climatici;
- UNI 10351 – Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità del vapore;
- UNI EN ISO 6946 – Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo;
- UNI EN ISO 13788 – Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale. Metodo di calcolo;
- UNI EN ISO 13789 – Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo;
- UNI EN ISO 10456 – Materiali e prodotti per l'edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto;
- UNI EN ISO 14683 – Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento;
- UNI EN ISO 13786 – Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo;

- UNI 10200 – Impianti tecnici centralizzati di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria. Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale ed acqua calda sanitaria;
- UNI EN ISO 52016-1:2018 e bozza appendici nazionali.

2.5.2 IRIS 5.0

IRIS è il software della suite ANIT (Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico) per l'analisi dei ponti termici agli elementi finiti in accordo con la norma UNI EN ISO 10211, inoltre contiene tutti i tipi di ponte termico previsti dalla norma UNI EN ISO 14683, più una serie di casistiche frequenti. Il software si basa su modelli di calcolo conformi alle norme vigenti per l'analisi delle prestazioni energetiche e igrometriche dell'involucro edilizio ed è allineato alle richieste di legge definite a livello nazionale dal D.M. 26/6/2015.

Il software è pensato per chi si occupa di certificazioni energetiche e relazioni "legge 10" con l'obiettivo di ottenere in pochi passaggi una rielaborazione agli elementi finiti della distribuzione del flusso termico e delle temperature per ogni nodo architettonico del progetto atta alle verifiche termoigrometriche (condensa e muffa) ed alle verifiche delle dispersioni (coefficiente di trasmittanza lineica Ψ).

I ponti termici rappresentano componente termicamente più debole dell'involucro edilizio, questo ha conseguenze sul contenimento del fabbisogno energetico e sul controllo delle condizioni termoigrometriche ottimali per scongiurare problemi di condensazione e di muffa.

Il software IRIS è pensato per guidare il progettista ad ottenere in pochi passaggi sia i coefficienti di trasmittanza lineica Ψ che la segnalazione del rischio di formazione di

condensa o di muffa sulle superfici interne per ogni nodo architettonico del progetto analizzato.

Coefficienti lineici [W/mK]

I coefficienti lineici totali sono calcolati in accordo con UNI EN ISO 10211, ovvero:

$$\Psi_i = L_{2D} - \sum(U \cdot l_i)$$

$$\Psi_e = L_{2D} - \sum(U \cdot l_e)$$

in cui

- Ψ_i : coefficiente lineico interno (o trasmittanza lineica interna) [W/mK];
- Ψ_e : coefficiente lineico esterno (o trasmittanza lineica esterna) [W/mK];
- L_{2D} : coefficiente di accoppiamento termico ottenuto dal calcolo 2D agli elementi finiti del ponte termico [W/mK];
- U : trasmittanza termica del componente di separazione tra le zone termiche individuate;
- l_i : lunghezza interna a cui si applica la trasmittanza termica U;
- l_e : lunghezza esterna a cui si applica la trasmittanza termica U.

Il coefficiente Ψ (coefficiente di trasmittanza lineica) secondo la norma UNI EN ISO 10211 è un parametro che descrive l'influenza del ponte termico lineare sul flusso termico totale. Va inteso quindi non come parametro a sé stante, ma come parte del calcolo del coefficiente di dispersione dell'involucro all'interno della seguente formula:

$$H = \sum(U \cdot A) + \sum(\Psi \cdot l)$$

in cui

- H : coefficiente di dispersione per trasmissione espresso in W/K;
- $\sum(U \cdot A)$: sommatoria delle trasmittanze degli elementi disperdenti moltiplicate per l'area degli stessi;
- $\sum(\Psi \cdot l)$: sommatoria dei coefficienti di trasmittanza lineica dei ponti termici moltiplicati per l'estensione lineare degli stessi.

Riferimenti normativi

IRIS implementa i modelli di calcolo forniti dalle seguenti norme:

- UNI EN ISO 10211:2008 – Ponti termici in edilizia – flussi termici e temperature superficiali – calcoli dettagliati;
- UNI EN ISO 14683:2008 – Ponti termici in edilizia – coefficiente di trasmissione termica lineica – metodi semplificati e valori di riferimento;
- UNI EN ISO 13788:2013 – Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia – temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale – metodi di calcolo;
- UNI EN ISO 13370:2008 – Prestazione termica degli edifici – trasferimento di calore attraverso il terreno – metodi di calcolo.

Le informazioni presenti negli archivi di IRIS sono ricavate dalle seguenti fonti:

- UNI 10351:2015 – Materiali e prodotti per edilizia – proprietà termoigrometriche – procedura per la scelta dei valori di progetto;
- UNI 10355:1994 – Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodi di calcolo;
- UNI EN ISO 10456:2008 – Materiali e prodotti per edilizia – proprietà igrometriche – valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto;
- UNI 10349-1:2016 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – dati climatici – parte 1: medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata;
- UNI 10349-2:2016 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – dati climatici – parte 2: dati di progetto;

- UNI 10349-3:2016 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – dati climatici – parte 3: differenze di temperatura cumulate ed altri indici sintetici;
- UNI 10349:1994 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici;
- UNI EN ISO 6946:2008 – Componenti ed elementi per edilizia – resistenza termica e trasmittanza termica – metodi di calcolo.

3 ANALISI DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Nei presenti paragrafi vengono illustrati le informazioni e i dati relativi al contesto in cui sorge l'edificio, le caratteristiche del fabbricato e dell'impianto presente, l'utenza ed i consumi energetici misurati nell'anno, in relazione ai rispettivi dati climatici.

Lo studio valuta il fabbisogno di energia di un edificio unifamiliare, sia nel caso in cui i materiali costituenti la muratura siano quelli tipici di una costruzione anni '80 sia nel caso siano quelli di una costruzione anni 2000, negli stati ante e post-intervento di riqualificazione.

I modelli dell'edificio ante-intervento vengono implementati nel software Termo, con il supporto del software IRIS per quanto riguarda lo studio dei ponti termici, ottenendo così il fabbisogno energetico e la potenza di riscaldamento in condizioni non stazionarie per l'edificio in analisi. Quindi si implementano nei modelli gli interventi di riqualificazione dell'involucro e dell'impianto termico presi singolarmente che si vogliono considerare, ottenendo nuovamente potenza ed energia necessari per l'edificio nelle condizioni climatiche di riferimento.

A questo punto si procede con la valutazione economica ed energetico/ambientale delle soluzioni ottenibili incrociando gli interventi di riqualificazione sull'involucro e sull'impianto termico.

Per semplicità e chiarezza l'edificio prima dell'intervento di riqualificazione verrà chiamato allo "stato di fatto", mentre quello successivo all'intervento "retrofit".

3.1 Localizzazione ed analisi ambientale

Prima di procedere con la descrizione dello stato di fatto dell'edificio oggetto di intervento, si ritiene opportuno localizzare l'edificio in esame ed analizzare quanto più possibile quelli che sono i fattori climatici agenti sul sito di studio.

L'edificio in questione si trova nel comune di Ancona, capoluogo della provincia omonima e delle Marche, si affaccia sul mare Adriatico ed ha un'estensione di coltre 124 m^2. Nella seguente figura si può vedere la collocazione geografica del comune di Ancona all'interno della regione Marche.

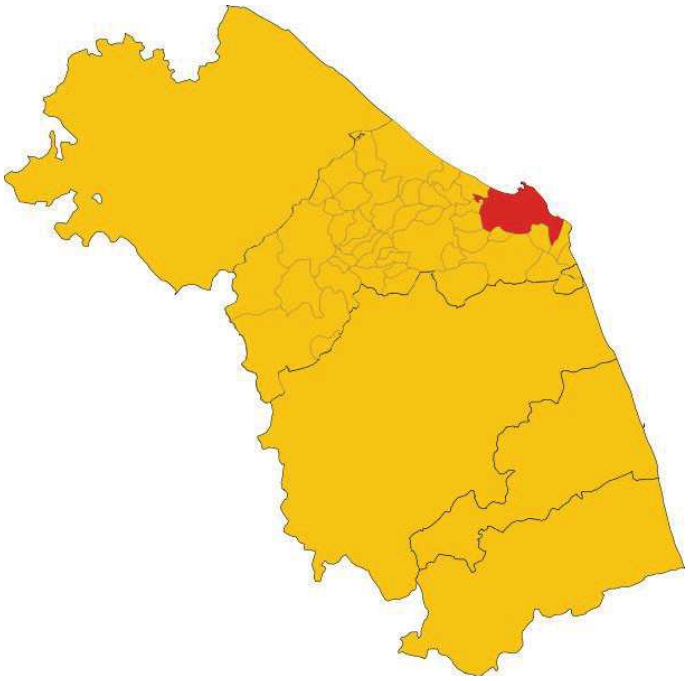


Figura 3.1: Posizione geografica di Ancona nella Regione

Ancona è situata ad una latitudine 43°36'00'' , ad una longitudine 13°00'00'' e ad una quota di 16 m s.l.m. e presenta un clima che si può definire mediterraneo di transizione, la città si trova abbastanza a nord da subire in parte alcune influenze tipiche del nord Italia tipicamente continentali, oltre che alle influenze tipiche del versante adriatico

spiccatamente mediterranee; il che la fa ricadere nella zona climatica contrassegnata dalla lettera D, con gradi-giorno 1688, come illustrato nelle seguenti mappe climatiche.

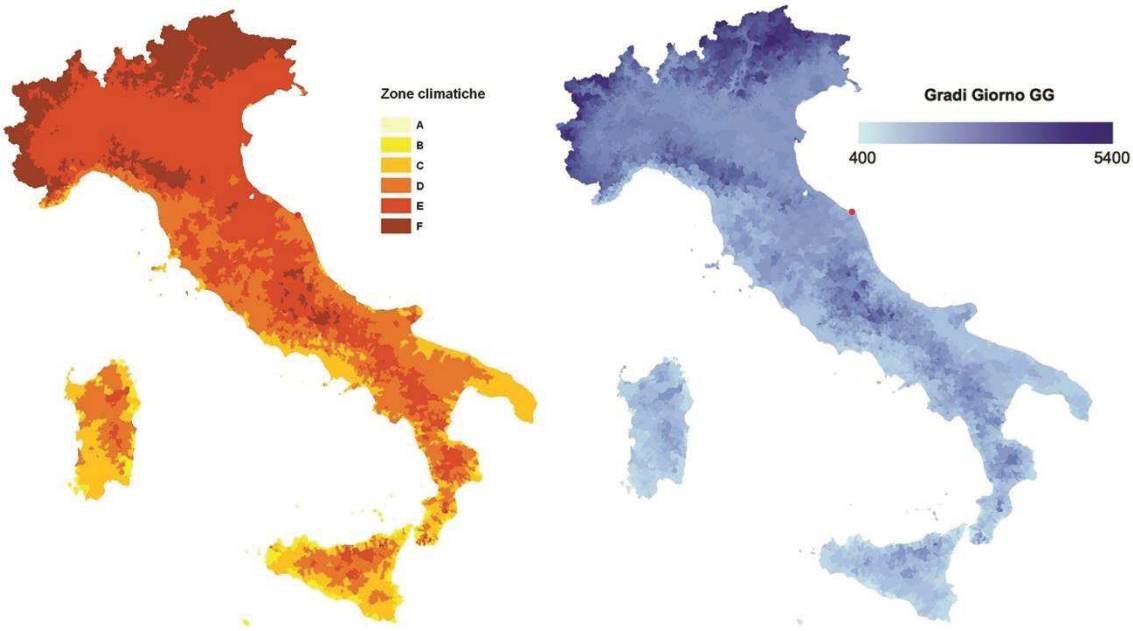


Figura 3.2:Mappe climatiche

Il territorio italiano è suddiviso in 6 zone climatiche, in base alla medie delle temperature giornaliere, accomunate per l'appunto da temperature medie simili e quindi da un valore di Gradi Giorno simile. I Gradi Giorno (GG) sono calcolati come la sommatoria, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle differenze giornaliere (solo positive) tra la temperatura convenzionale ideale per l'ambiente riscaldato (20°C) e la temperatura media giornaliera dell'ambiente esterno.

$$GG = \sum_{e=1}^{n} (20 - T_e)$$

Ciò significa che più è elevato il numero, più rigido sarà il clima in quel territorio.

Mostriamo qui in tabella l'elenco delle zone climatiche definito in base al *D.P.R. n.412 del 26 Agosto 1993* e successivi aggiornamenti:

Zona Climatica	Gradi Giorno
A	< 600
B	600 ÷ 900
C	901 ÷ 1400
D	1401 ÷ 2100
E	2101 ÷ 3000
F	> 3000

Tabella 4: Zona Climatica - Gradi Giorno

Ad ogni zona climatica è stata tra l'altro correlata la durata giornaliera di attivazione ed i periodi di accensione degli impianti termici, allo scopo di contenere i consumi di energia; come riassunto nella seguente tabella:

Zona Climatica	Periodo di accensione	Orario consentito
A	1° Dicembre ÷ 15 Marzo	6 ore giornaliere
B	1° Dicembre ÷ 31 Marzo	8 ore giornaliere
C	15 Novembre ÷ 31 Marzo	10 ore giornaliere
D	1° Novembre ÷ 15 Aprile	12 ore giornaliere
E	15 Ottobre ÷ 15 Aprile	14 ore giornaliere
F	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione

Tabella 5: Periodi ed orari di accensione impianti termici

In generale le temperature medie mensili sugli ultimi trenta anni fanno registrare a dicembre un'oscillazione tra 5° di minima e i 9° di massima, a gennaio tra 4° di minima e 9° di massima, a febbraio tra 5° di minima e 10° di massima. Le precipitazioni ammontano a 820 mm all'anno, sono dunque ad un livello intermedio, nei mesi meno piovosi (gennaio, luglio) cadono circa 45 mm di pioggia, nel più piovoso (novembre) ne cadono circa 85 mm. La stagione estiva è calda e soleggiata, con rare giornate piovose e qualche temporale proveniente dall'appennino, ci possono essere periodi molto caldi ed afosi e il vento Garbino può portare giornate torride; solitamente non si superano i 28° nei mesi di luglio ed agosto.

I venti caratteristici di Ancona sono: la Bora da N-N/E, che spira a volte con violenza e che è in grado di causare intense mareggiate; lo Scirocco da S/E umido e spesso piovoso

(afoso d'estate); il Garbino da W-S/W, vento di caduta dall'Appennino che spira con maggiore frequenza in autunno e in primavera, ma possibile in ogni stagione. Questo vento provoca sbalzi termici notevoli, facendo impennare la temperatura e provocando vistosi cali dell'umidità relativa.

Mese	T min	T max	Precip.	Umidità	Vento	Eliofania
Gennaio	1 °C	9 °C	51 mm	82 %	N-NW 9 km/h	3 ore
Febbraio	2 °C	10 °C	53 mm	81 %	N-NW 9 km/h	3 ore
Marzo	4 °C	13 °C	68 mm	76 %	N-NW 16 km/h	5 ore
Aprile	7 °C	17 °C	54 mm	75 %	E-NE 16 km/h	6 ore
Maggio	11 °C	22 °C	60 mm	74 %	E-NE 9 km/h	8 ore
Giugno	14 °C	25 °C	55 mm	71 %	E-NE 16 km/h	9 ore
Luglio	16 °C	28 °C	52 mm	70 %	E-NE 16 km/h	10 ore
Agosto	17 °C	28 °C	84 mm	70 %	E-NE 16 km/h	10 ore
Settembre	14 °C	24 °C	73 mm	75 %	E-NE 9 km/h	8 ore
Ottobre	10 °C	20 °C	72 mm	79 %	E-NE 9 km/h	5 ore
Novembre	6 °C	14 °C	80 mm	83 %	N-NW 9 km/h	3 ore
Dicembre	2 °C	10 °C	74 mm	82 %	N-NW 9 km/h	2 ore

Tabella 6.1: Tabella riassuntiva dei fattori climatici agenti ad Ancona

Alcuni di questi dati, insieme anche ad informazioni sull'irradiazione giornaliera media mensile e sulla pressione di vepore esterna, sono utilizzati dal software Termo per eseguire la simulazione energetica dinamica dell'edificio in esame.

3.2 Descrizione generale dell'edificio

L'edificio che è stato preso come modello per la simulazione energetica dinamica è un'abitazione unifamiliare non realmente esistente che è stata ipotizzata essere costruita ad Ancona, viene prima immaginata costruita con elementi costituenti delle murature risalenti agli anni '80 e successivamente con elementi costituenti risalenti agli anni 2000.

La costruzione è composta da un unico corpo fabbrica che si estende su una superficie di circa 157 m^2, si sviluppa in altezza per due piani per un'altezza complessiva di 6,90 m sottogronda e 8,90 m sul colmo; l'edificio è orientato parallelamente rispetto all'asse Nord-Sud.

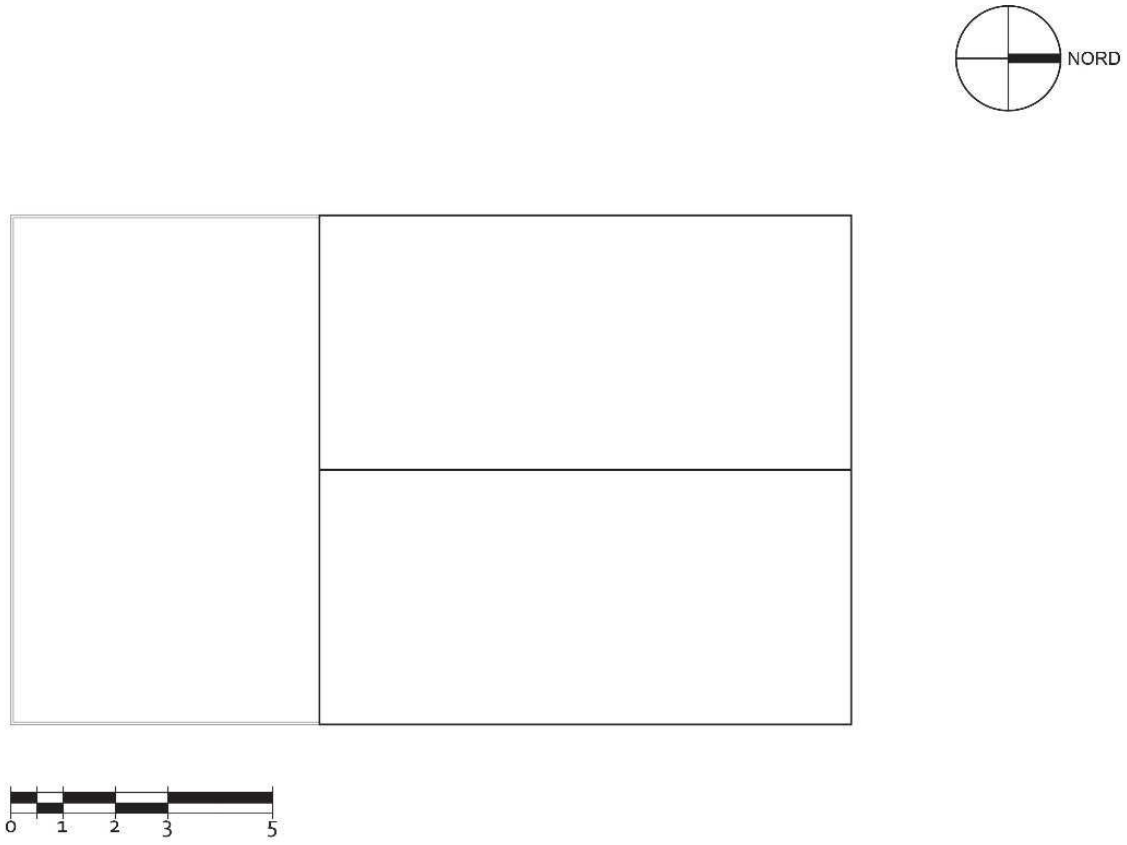


Figura 3.3: Inquadramento edificio

Il piano terra si compone di una zona riscaldata di circa 94 m², con un ampio soggiorno una cucina un bagno e un piccolo locale in cui è presente una caldaia di tipo tradizionale da 24 kW con bruciatore atmosferico per il riscaldamento invernale e la produzione di acqua calda sanitaria, che quindi verrà sottoposta agli interventi di riqualificazione energetica e di un locale adibito ad autorimessa (zona non riscaldata) categoria catastale C6 di circa 62 m², che non sarà sottoposta ad interventi di riqualificazione se non per la parete divisoria con la zona riscaldata adiacente; il solaio inferiore dell'edificio è controterra.

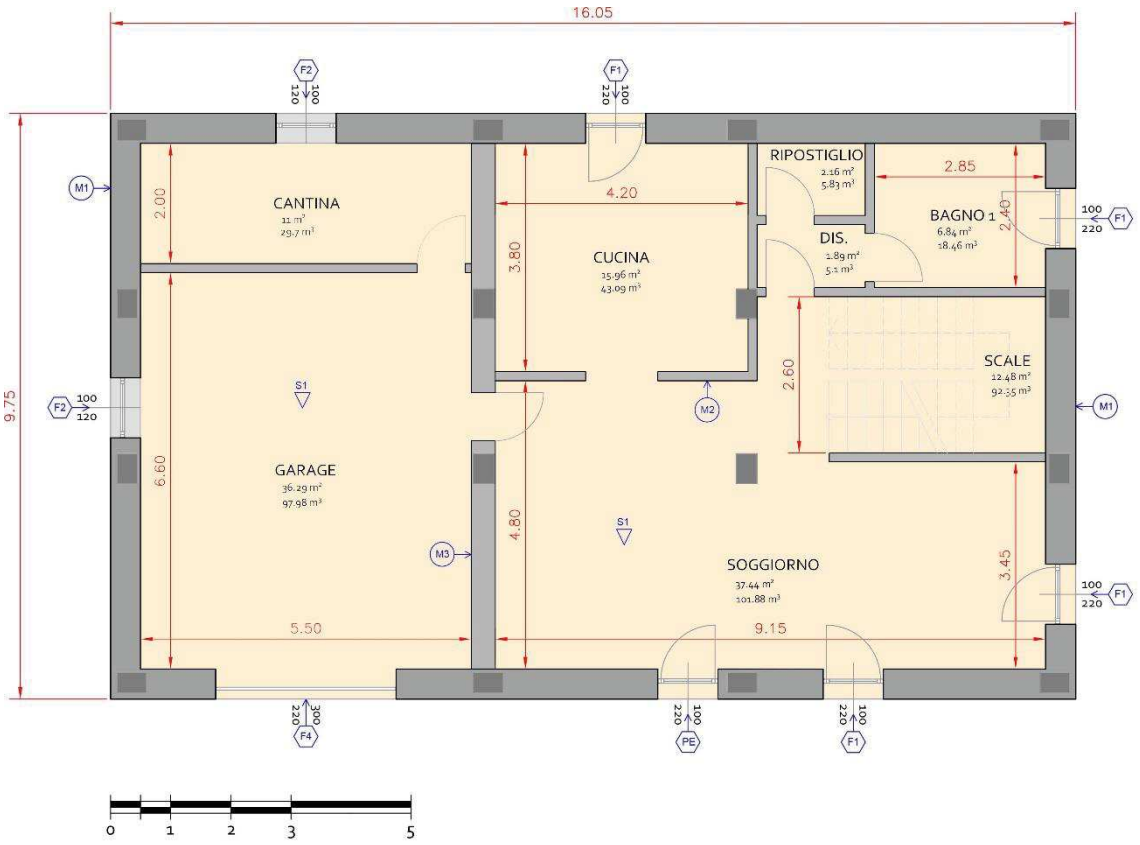


Figura 3.4: Pianta piano terra quotata

Il piano primo si compone di una zona riscaldata per circa 99 m² che verrà interamente sottoposta a riqualificazione, con tre camere da letto un bagno ed il vano scala che attraversa l'intero edificio, ed un'ampia terrazza esterna di circa 55 m² che funge contemporaneamente da copertura per il garage al piano inferiore e non sarà sottoposta ad intervento di riqualificazione.

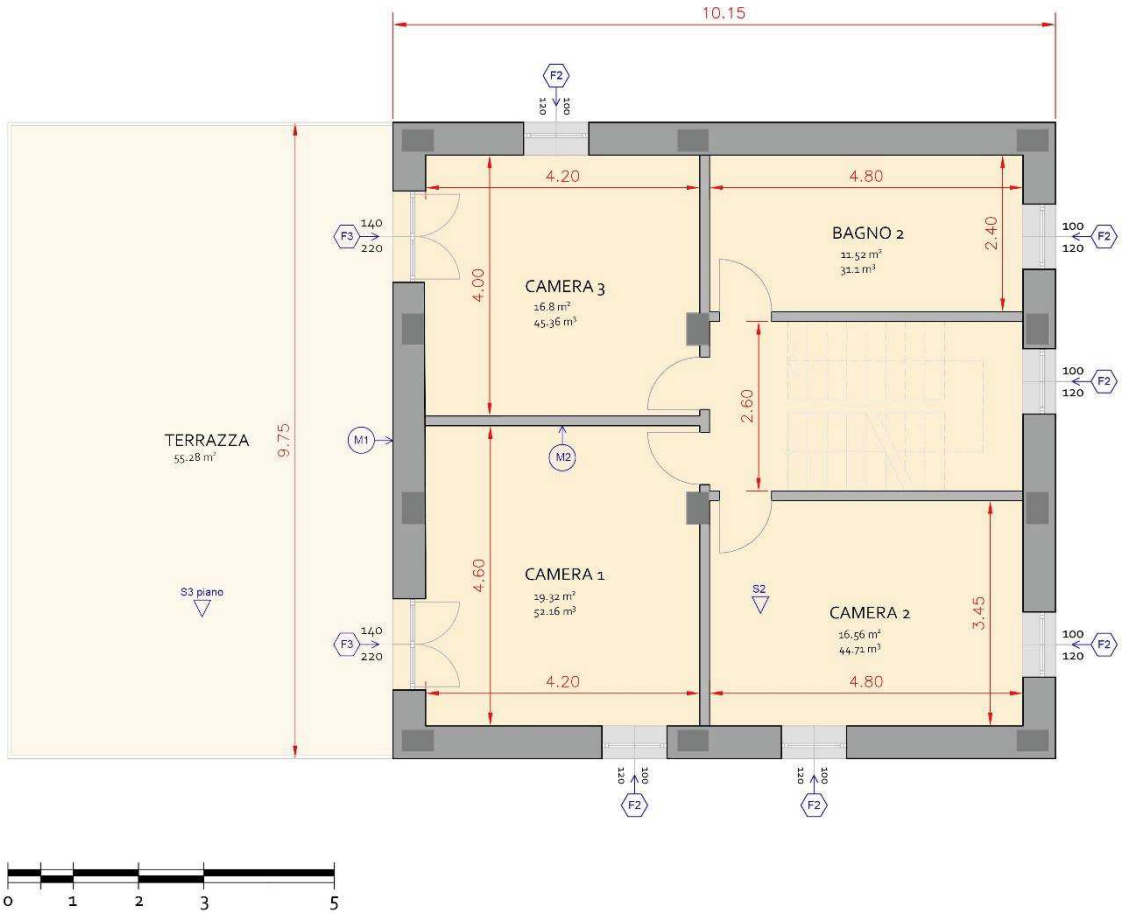


Figura 3.5: Pianta piano primo quotata

Infine un secondo piano sottotetto non abitabile composto da un unico ambiente non riscaldato di circa 65 m², ha un'altezza di 1.30 m nel punto più basso e di circa 3.00 m nel punto più alto; verrà sottoposto ad intervento sia sulle pareti esterne che sul solaio verso il piano inferiore, per poter rientrare nelle verifiche di trasmittanza richieste dalla legge 10 e dalla certificazione per la detrazione fiscale; il solaio superiore di copertura è a due falde con le pendenze rivolte verso i lati lunghi dell'edificio, una in direzione ovest e l'altra in direzione est.

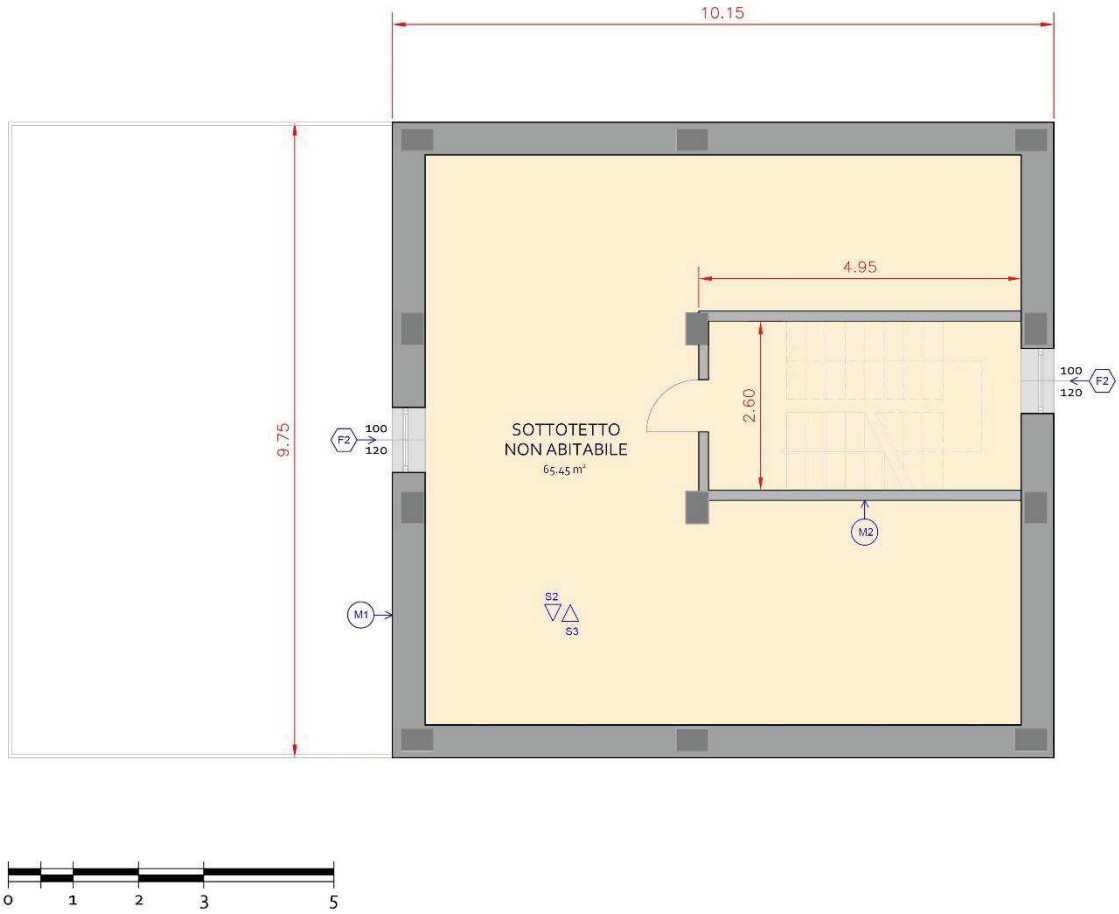


Figura 3.6: Pianta sottotetto quotata

Qui di seguito una tabella riassuntiva degli elementi che compongono l'edificio:

TABELLA ELEMENTI EDILIZI		
CODICE	ELEMENTO	DESCRIZIONE
S1	Solaio Controterra	sp. 36 cm
S2	Solaio Interpiano	sp. 33 cm
S3	Solaio di Copertura	sp. 31 cm
M1	Parete Esterna	sp. 40 cm
M2	Parete Interna	sp. 10 cm
M3	Parete Garage	sp. 27 cm
F1	Infisso Esterno	100 x 220 cm
F2	Infisso Esterno	100 x 120 cm
F3	Infisso Esterno	140 x 220 cm
F4	Garage	300 x 220 cm

Tabella 7: Elementi edilizi

Infine riassumiamo in una tabella i dati generali sull'intero fabbricato e le caratteristiche geometriche.

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Volume lordo riscaldato	V_l	m^3	613,85
Superficie utile riscaldata	A_r	m^2	143,24
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	469,30
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	23,36
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0,765

Tabella 8: Dati generali sull'edificio (caratteristiche geometriche)

3.3 Modello

Il modello dell'unifamiliare ed i relativi dati di input-output sono stati configurati con l'utilizzo di Termo, il software applicativo della Namirial che consente di descrivere in maniera dettagliata l'involucro dell'edificio.

Viene descritto ed analizzato un unico edificio residenziale unifamiliare ipotizzando che sia stato realizzato in due differenti periodi (anni '80 e 2000), costituito quindi da differenti materiali con diverse proprietà e caratteristiche tecniche e di conseguenza dei valori di *trasmittanza* discordanti, il che vuol dire che l'involucro avrà dei comportamenti termici più o meno performanti, con dispersioni termiche minori o maggiori.

Trasmittanza termica [U]

Indica la quantità di calore che viene dispersa da un metro quadrato di involucro dell'edificio [W/m^2K] ed è definita dall'inverso della somma delle resistenze termiche [R] degli strati che costituiscono la chiusura.

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

A bassi valori di trasmittanza termica corrispondono una minore dispersione del calore ed una migliore coibentazione.

È individuata un'unica zona termica riscaldata in cui sono comprese la parte abitata del piano terra e piano primo ed il vano scala, la zona termica non riscaldata del sottotetto e la zona termica non riscaldata del garage.

3.3.1 Superfici opache verticali

Sono state ipotizzate in funzione dell'età costruttiva dell'edificio rappresentato tre tipologie di muratura per stratigrafia:

- muratura a cassa vuota in laterizio forato;
- muratura in laterizio forato;
- muratura in mattone forato per interni.

3.3.1.1 Muratura a cassa vuota in laterizio forato

È la tipologia di muratura più influente dal punto di vista termico perché và a comporre le pareti esterne dell'edificio, a tutti i piani sia della zona termica riscaldata che delle zone termiche non riscaldate.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Mattone forato di laterizio (250*080*250) spessore 80	8,0		5,000	775	21	0,200
3	Aria intercapedine flusso ascendente 50 mm	5,0		6,123	1	193	0,163
4	Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura V 46%)	25,0		4,200	796	21	0,238
5	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		40,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,250	Resistenza termica totale	0,800

Struttura verticale esterna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,250
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,619
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,551
Valore limite [W/m²K]	0,100
Sfasamento [h]	7,953
Smorzamento	0,441
Capacità termica [kJ/m²K]	51,990

Massa superficiale: 261,06 kg/m²

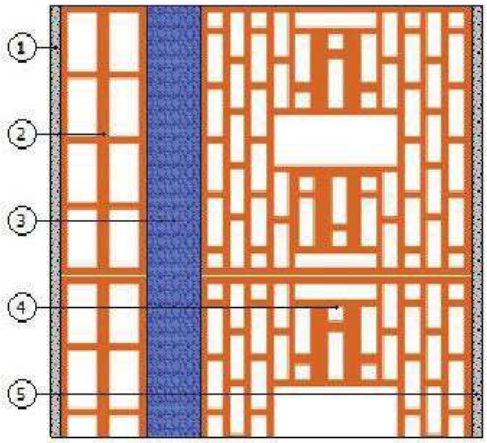


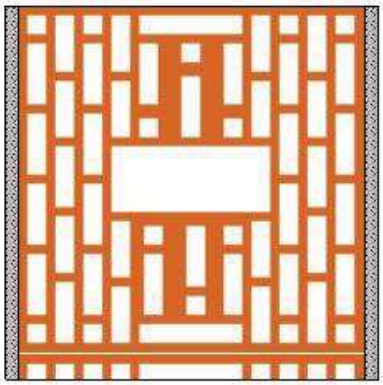
Figura 3.7: Descrizione della muratura a cassa vuota in laterizio forato_anni '80

Per questa muratura, facendo riferimento ad una specifica inchiesta sui parametri termofisici sulle murature di vecchia realizzazione[8], viene considerato un valore di trasmittanza termica di $1{,}250\ W/m^2K$; la stratigrafia si compone di:

- 2 strati esterni di intonaco di calce e gesso dello spessore di 1 cm;
- 1 fila di blocchi di laterizio forato dello spessore di 25 cm;
- 1 fila di mattoni forati di laterizio dello spessore di 8 cm;
- 1 intercapedine d'aria separante dello spessore di 5 cm.

Nel sottofinestra la muratura si assottiglia togliendo gli strati di mattoni forati ed intercapedine d'aria, per poter far spazio ai terminali dell'impianto di riscaldamento (radiatori).

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di calce e gesso	0,014	1,0
Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura V	0,238	25,0
Intonaco di calce e gesso	0,014	1,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	0,437	27,0



Trasmittanza	2,290	W/m²K			
Massa superficiale	199,00	kg/m²			
Trasmittanza periodica	1,551	W/m²K	Trasmittanza periodica limite	---	W/m²K
Sfasamento	4,81	h			
Smorzamento	0,677				
Capacità termica interna	62,435	kJ/m²K			

Figura 3.8: Descrizione della muratura a cassa vuota nel sottofinestra_anni '80

Possiamo notare che il valore della trasmittanza termica del pacchetto murario aumenta sensibilmente a causa della mancanza dei due strati 2,229 W/m^2K.

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Mattone forato di laterizio (250*080*250) spessore 80	8,0		5,000	775	21	0,200
3	Aria intercapedine flusso ascendente 50 mm	5,0		6,123	1	193	0,163
4	Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura V 46%)	25,0		1,250	796	21	0,800
5	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		40,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	0,734	Resistenza termica totale	1,362

Struttura verticale esterna	
Trasmittanza [W/m²K]	0,734
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,132
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,171
Valore limite [W/m²K]	0,100
Sfasamento [h]	11,639
Smorzamento	0,233
Capacità termica [kJ/m²K]	48,575

Massa superficiale: 261,06 kg/m²

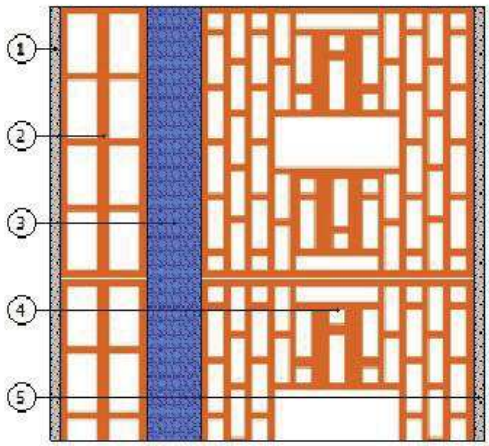
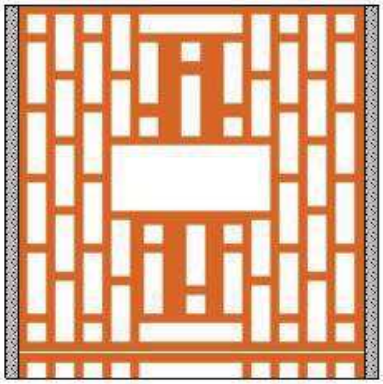


Figura 3.9: Descrizione della muratura a cassa vuota in laterizio forato_anni 2000

Con materiali più moderni possiamo notare che il valore della trasmittanza termica, a parità di stratigrafia muraria, si abbassa di molto $0{,}734\ W/m^2K$.

Stesso discorso ovviamente vale anche per la parte di muratura sottofinestra.

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di calce e gesso	0,014	1,0
Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura v	0,800	25,0
Intonaco di calce e gesso	0,014	1,0
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	0,999	27,0



Trasmittanza	1,001	W/m²K			
Massa superficiale	199,00	kg/m²			
Trasmittanza periodica	0,422	W/m²K	Trasmittanza periodica limite	---	W/m²K
Sfasamento	8,34	h			
Smorzamento	0,421				
Capacità termica interna	50,450	kJ/m²K			

Figura 3.10: Descrizione della muratura a cassa vuota nel sottofinestra_anni 2000

Anche qui possiamo constatare che il valore della trasmittanza termica del pacchetto murario aumenta sensibilmente a causa della mancanza dei due strati $1{,}001\ W/m^2K$. Facendo il confronto tra le due stratigrafie rappresentate si può quindi intuire la differenza di dispersione termica che si ha tra le mura perimetrali dei due edifici costruiti con materiali differenti e quanto possa influire sull'edificio dal punto di vista energetico complessivamente.

3.3.1.2 Muratura in laterizio forato

È la tipologia di muratura utilizzata all'interno dell'edificio per dividere la zona termica riscaldata della parte abitata dalla zona termica non riscaldata adiacente del garage.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura V 46%)	25,0		4,200	796	21	0,238
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		27,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,899	Resistenza termica totale	0,527

Struttura verticale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,899
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,584
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	1,085
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	5,704
Smorzamento	0,545
Capacità termica [kJ/m²K]	64,595

Massa superficiale: 199,00 kg/m²

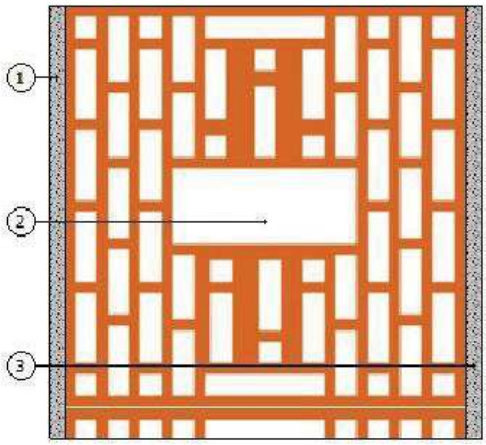


Figura 3.11: Descrizione della muratura in laterizio forato_anni '80

Per questa muratura il valore della trasmittanza termica è ancora più alto $1{,}899\ W/m^2K$ rispetto alla tipologia muraria precedente venendo a mancare due strati.

La sua stratigrafia si compone semplicemente di uno strato di blocchi forati di laterizio e due strati di intonaco esterni.

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Blocco forato di laterizio (250*250*250) spessore 250 (Foratura V 46%)	25,0		1,250	796	21	0,800
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		27,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m²K]	0,919	Resistenza termica totale	1,089

Struttura verticale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	0,919
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	0,895
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,323
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	9,118
Smorzamento	0,351
Capacità termica [kJ/m²K]	49,349

Massa superficiale: 199,00 kg/m²

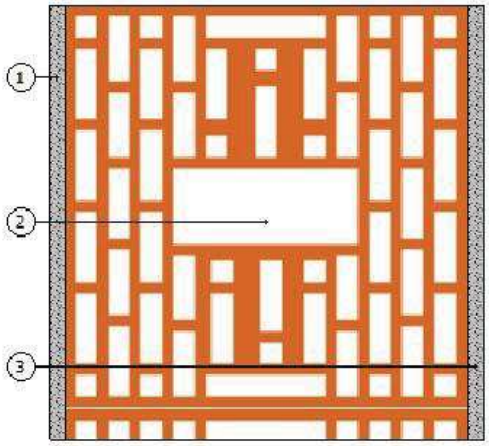


Figura 3.12: Descrizione della muratura in laterizio forato_anni 2000

Anche in questo caso notiamo che con l'impiego di materiali edilizi più moderni il valore della trasmittanza termica, a parità di stratigrafia, si abbassa di molto $0{,}919\ W/m^2K$.

3.3.1.3 Muratura in mattoni forati per interni

È la tipologia murale applicata per separare internamente gli ambienti della zona termica riscaldata e della zona termica non riscaldata, per questo motivo non è influente dal punto di vista termico ed il suo valore di trasmittanza termica non sarà preso in considerazione ai fini del calcolo.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Mattoni forati per pareti interne con umidità dello 0,5% (600 kg/m³)	8,0	0,250		600	28	0,320
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		10,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,643	Resistenza termica totale	0,609

Struttura verticale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,643
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,479
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	1,482
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	2,559
Smorzamento	0,902
Capacità termica [kJ/m²K]	34,613

Massa superficiale: 48,00 kg/m²

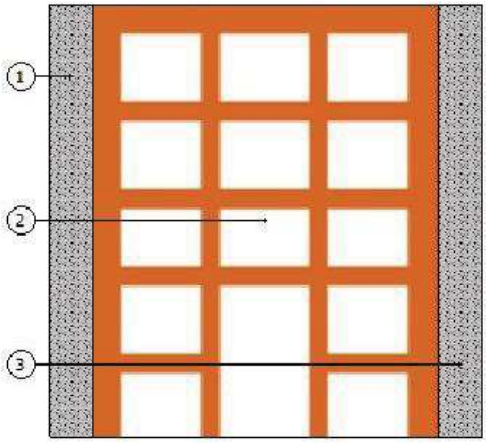


Figura 3.13: Descrizione della muratura in mattoni forati_anni '80

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'interno verso l'esterno	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
2	Mattoni forati per pareti interne con umidità dello 0,5% (600 kg/m³)	8,0	0,250		600	28	0,320
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		10,0					

		Resistenza superficiale interna	0,130
		Resistenza superficiale esterna	0,130
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,643	Resistenza termica totale	0,609

Struttura verticale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,643
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,479
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	1,482
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	2,559
Smorzamento	0,902
Capacità termica [kJ/m²K]	34,613

Massa superficiale: 48,00 kg/m²

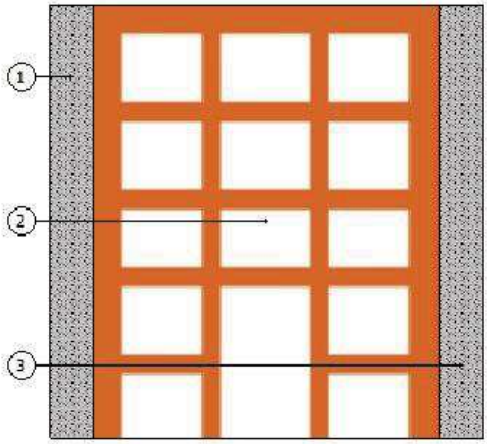


Figura 3.14: Descrizione della muratura in mattoni forati_anni 2000

Riportiamo ora sintetizzate in una tabella le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi verticali.

Edificio anni '80

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica	Trasmittanza termica periodica	Sfasamento
		s	U	c	Y_{ie}	
		[m]	[W/m^2K]	[kJ/m^2K]	[W/m^2K]	[h]
M1	Parete a cassa vuota in laterizio forato	0,40	1,250	51,990	0,551	7,953
M2	Muratura in mattoni forati per interni	0,10	1,643	34,613	1,482	2,559
M3	Muratura in laterizio forato	0,27	1,899	64,595	1,035	5,704

Tabella 9: Caratteristiche dei componenti edilizi opachi verticali

Edificio anni 2000

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica	Trasmittanza termica periodica	Sfasamento
		s	U	c	Y_{ie}	
		[m]	[W/m^2K]	[kJ/m^2K]	[W/m^2K]	[h]
M1	Parete a cassa vuota in laterizio forato	0,40	0,734	48,575	0,171	11,639
M2	Muratura in mattoni forati per interni	0,10	1,643	34,613	1,482	2,559
M3	Muratura in laterizio forato	0,27	0,919	49,349	0,323	9,118

Tabella 10: Caratteristiche dei componenti edilizi opachi verticali

3.3.2 Superfici opache orizzontali

Sono state ipotizzate quattro tipologie di solaio:

- solaio controterra in calcestruzzo;
- solaio in laterocemento per terrazza;
- solaio in laterocemento interpiano;
- solaio in laterocemento per copertura inclinata.

3.3.2.1 Solaio controterra in calcestruzzo

È la tipologia di solaio utilizzata per la chiusura orizzontale controterra, è la più influente dal punto di vista termico perché mette direttamente in contatto l'involucro edilizio con l'ambiente esterno per tutta la sua estensione; presente sia in zona termica riscaldata che in zona termica non riscaldata.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1,0	1,300		2.300	0	0,008
2	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m³)	3,0	1,400		900	2	0,021
3	Calcestruzzo (2000 kg/m³)	10,0	1,160		2.000	2	0,086
4	Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	20,0	1,200		1.700	39	0,167
Spessore totale		34,0					

		Resistenza superficiale interna	0,170
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	2,033	Resistenza termica totale	0,492

Basamento	
Trasmittanza [W/m²K]	2,033
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,998
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,579
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	8,844
Smorzamento	0,285
Capacità termica [kJ/m²K]	65,129

Massa superficiale: 590,00 kg/m²

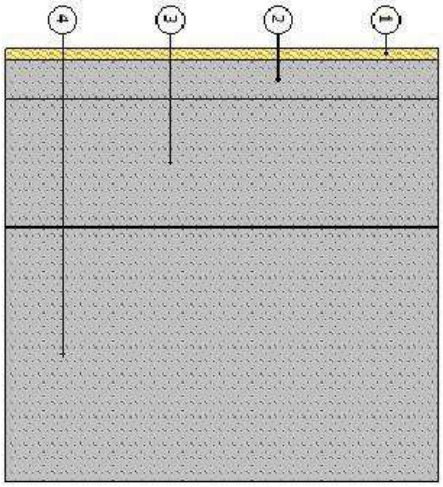


Figura 3.15: Descrizione del solaio controterra in calcestruzzo_anni '80

Anche per i solai si fa riferimento ai valori di trasmittanza riportati nell'inchiesta sui parametri termofisici delle strutture di vecchia realizzazione[8] e si ipotizza quindi un valori di trasmittanza termica di $2.033\ W/m^2K$; la stratigrafia del solaio si compone di:

- 1 strato di ciotoli dello spessore di 20 cm;
- 1 strato di calcestruzzo di 10 cm;
- 1 di massetto in calcestruzzo alleggerito di 5 cm;
- pavimento in piastrelle di ceramica di 1 cm.

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1,0	1,300		2.300	0	0,008
2	Malta di cemento	3,0	1,400		2.000	9	0,021
3	Massetto in calcestruzzo alleggerito (900 kg/m³)	10,0	0,580		900	2	0,172
4	Ciottoli e pietre frantumate con del umidità 2%	20,0	0,700		1.500	39	0,286
Spessore totale		34,0					

		Resistenza superficiale interna	0,170
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,434	Resistenza termica totale	0,697

Basamento	
Trasmittanza [W/m²K]	1,434
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,391
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,392
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	9,988
Smorzamento	0,274
Capacità termica [kJ/m²K]	62,251

Massa superficiale: 413,00 kg/m²

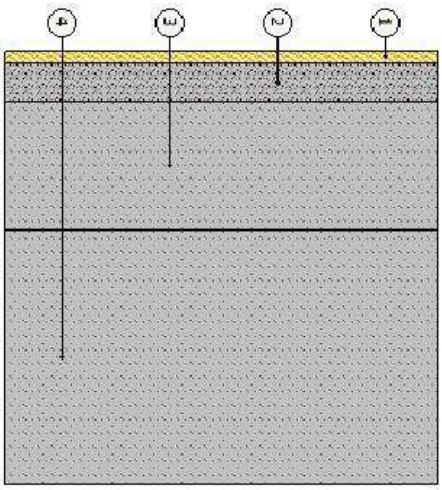


Figura 3.16: Descrizione del solaio controterra in calcestruzzo_anni 2000

Anche in questo caso con materiali più moderni si nota che il valore della trasmittanza termica, a parità di stratigrafia muraria, si abbassa di molto $1{,}434\ W/m^2K$, rimanendo comunque sopra all'unità.

3.3.2.2 Solaio in laterocemento per terrazza

È la tipologia di solaio utilizzata per la chiusura orizzontale della terrazza, ovvero al di sopra della zona termica non riscaldata del garage, quindi dal punto di vista termico non è influente nel calcolo dell'edificio ed il suo valore di trasmittanza termica non sarà preso particolarmente in considerazione ai fini del calcolo.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1,0	1,300		2.300	0	0,008
2	Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	6,0	1,060		1.700	2	0,057
3	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		2,857	1.146	21	0,350
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		34,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,759	Resistenza termica totale	0,569

Struttura esterna che delimita locali non riscaldati	
Trasmittanza [W/m²K]	1,759
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m²K]	0,648
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	8,897
Smorzamento	0,369
Capacità termica [kJ/m²K]	74,619

Massa superficiale: 422,96 kg/m²

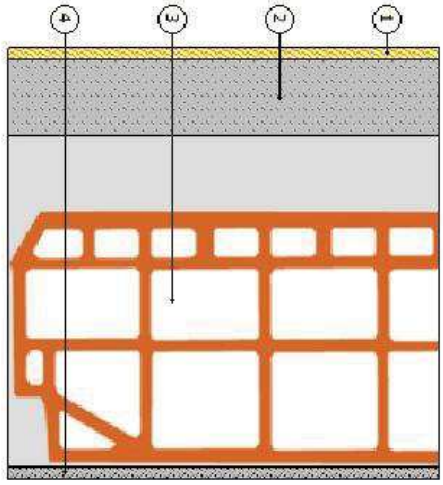


Figura 3.17: Descrizione del solaio in laterocemento per terrazza_anni '80

La stratigrafia del solaio si compone di:

- pavimento in piastrelle di ceramica dello spessore di 1 cm;
- uno strato di massetto di calcestruzzo ordinario di 6 cm;
- il blocco solaio di laterizio dello spessore di 26 cm;
- uno strato di intonaco di 1 cm.

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Piastrelle in ceramica / porcellana	1,0	1,300		2.300	0	0,008
2	Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	6,0	1,060		1.700	2	0,057
3	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		1,600	1.146	21	0,625
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		34,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,185	Resistenza termica totale	0,844

Struttura esterna che delimita locali non riscaldati	
Trasmittanza [W/m²K]	1,185
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m²K]	0,318
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	11,108
Smorzamento	0,269
Capacità termica [kJ/m²K]	62,014

Massa superficiale: 422,96 kg/m²

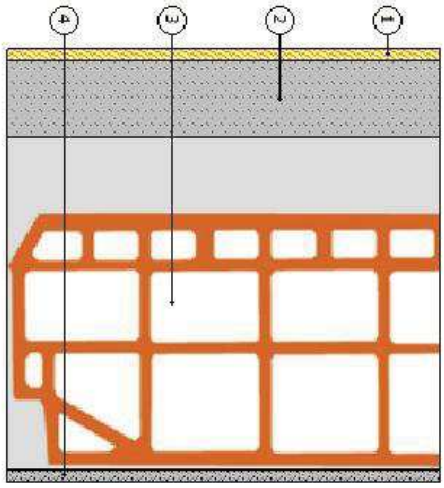


Figura 3.18: Descrizione del solaio in laterocemento per terrazza_anni 2000

3.3.2.3 Solaio in laterocemento per interpiano

È la tipologia di solaio in laterocemento utilizzata per la separazione orizzontale dei piani dell'edificio tra le due zone termiche riscaldate e tra la zona termica riscaldata e la zona termica non riscaldata del sottotetto, ha uno spessore al finito di 32÷34 cm a seconda che ci troviamo nella zona abitabile o nel sottotetto; dal punto di vista termico quello sicuramente più influente è il solaio del sottotetto, perché più esposto verso l'esterno, quindi disperdente.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	5,0	1,060		1.700	2	0,047
2	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		2,857	1.146	21	0,350
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		32,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,100
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,635	Resistenza termica totale	0,611

Struttura orizzontale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,635
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,472
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,526
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	9,066
Smorzamento	0,322
Capacità termica [kJ/m²K]	73,084

Massa superficiale: 382,96 kg/m²

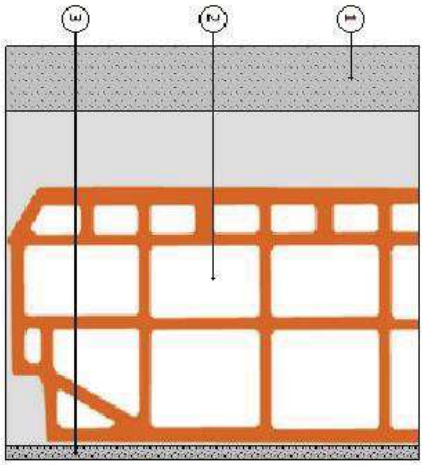


Figura 3.19: Descrizione del solaio in laterocemento per interpiano_anni '80

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Massetto in calcestruzzo ordinario (1700 kg/m³)	5,0	1,060		1.700	2	0,047
2	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		1,600	1.146	21	0,625
3	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		32,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,100
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,128	Resistenza termica totale	0,886

Struttura orizzontale interna	
Trasmittanza [W/m²K]	1,128
Trasmittanza (media tra struttura e ponti termici)[W/m²K]	1,015
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE}[W/m²K]	0,264
Valore limite [W/m²K]	---
Sfasamento [h]	11,311
Smorzamento	0,234
Capacità termica [kJ/m²K]	61,182

Massa superficiale: 382,96 kg/m²

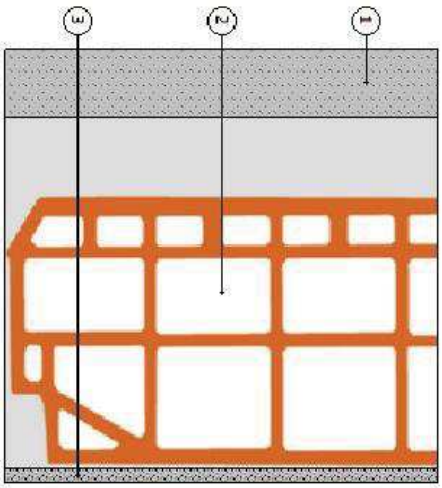


Figura 3.20: Descrizione del solaio in laterocemento per interpiano_anni 2000

3.3.2.4 Solaio in laterocemento per copertura inclinata

È la tipologia di solaio in laterocemento utilizzata per la chiusura della copertura con uno spessore al finito di 31 cm, si trova al di sopra della zona termica non riscaldata del sottotetto.

Edificio anni '80

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Tegole di ceramica	2,0	1,300		2.300	0	0,015
2	Malta di cemento	2,0	1,400		2.000	9	0,014
3	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		2,857	1.146	21	0,350
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		31,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,873	Resistenza termica totale	0,534

Copertura	
Trasmittanza [W/m²K]	1,873
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m²K]	0,815
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	7,956
Smorzamento	0,435
Capacità termica [kJ/m²K]	75,719

Massa superficiale: 343,96 kg/m²

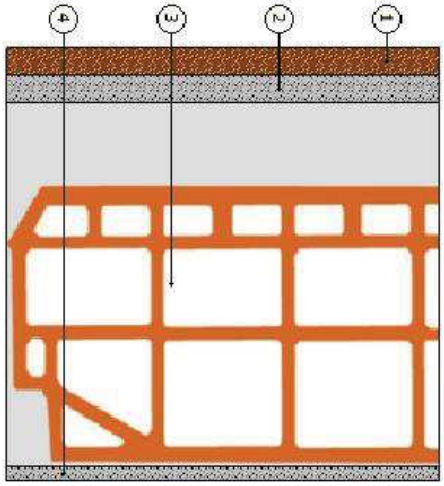


Figura 3.21: Descrizione del solaio in laterocemento per copertura_anni '80

Edificio anni 2000

N	Descrizione dall'alto verso il basso	Spessore [cm]	λ [W/mK]	C [W/m²K]	δ [kg/m³]	δ_p x 10^{12} [kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Tegole di ceramica	2,0	1,300		2.300	0	0,015
2	Malta di cemento	2,0	1,400		2.000	9	0,014
3	Blocco da solaio di laterizio (495*200*250) spessore 260 (298 kg/m²)	26,0		1,600	1.146	21	0,625
4	Intonaco di calce e gesso	1,0	0,700		1.400	19	0,014
Spessore totale		31,0					

		Resistenza superficiale interna	0,100
		Resistenza superficiale esterna	0,040
Trasmittanza termica [W/m²K]	1,236	Resistenza termica totale	0,809

Copertura	
Trasmittanza [W/m²K]	1,236
Valore limite [W/m²K]	---
Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m²K]	0,391
Valore limite [W/m²K]	0,180
Sfasamento [h]	10,140
Smorzamento	0,316
Capacità termica [kJ/m²K]	63,228

Massa superficiale: 343,96 kg/m²

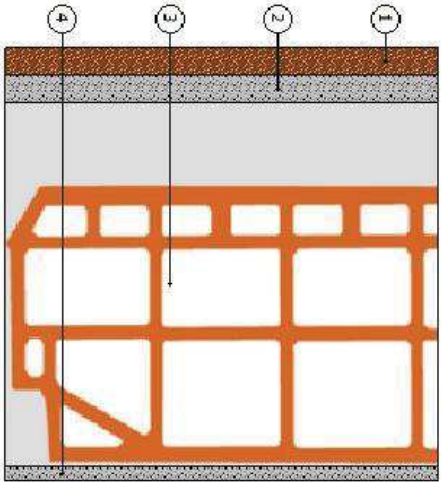


Figura 3.22: Descrizione del solaio in laterocemento per copertura_anni 2000

Riportiamo ora sintetizzate in una tabella le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi opachi orizzontali.

Edificio anni '80

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica	Trasmittanza termica periodica	Sfasamento
		s	U	c	Y_{ie}	
		[m]	[W/m^2K]	[kJ/m^2K]	[W/m^2K]	[h]
S1	Solaio controterra in calcestruzzo	0,34	2,033	65,129	0,579	8,844
S2	Solaio in laterocemento interpiano	0,32	1,635	73,084	0,526	9,066
S3	Solaio in laterocemento copertura	0,31	1,873	75,719	0,815	7,956
S4	Solaio in laterocemento terrazza	0,34	1,759	74,619	0,648	8,897

Tabella 11: Caratteristiche dei componenti edilizi opachi verticali

Edificio anni 2000

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica	Trasmittanza termica periodica	Sfasamento
		s	U	c	Y_{ie}	
		[m]	[W/m^2K]	[kJ/m^2K]	[W/m^2K]	[h]
S1	Solaio controterra in calcestruzzo	0,34	1,434	62,251	0,392	9,99
S2	Solaio in laterocemento interpiano	0,32	1,128	61,182	0,264	11,31
S3	Solaio in laterocemento copertura	0,31	1,236	63,228	0,391	10,14
S4	Solaio in laterocemento terrazza	0,34	1,185	62,014	0,318	11,11

Tabella 12: Caratteristiche dei componenti edilizi opachi verticali

3.3.3 Superfici vetrate

Nell'involucro dell'edificio troviamo tre tipologie di superfici finestrate:

- Infisso porta finestra, presente solo al piano terra, dimensioni 1,00 m x 2,20 m;
- Infisso porta finestra doppia, usato sulla terrazza, dimensioni 1,40 m x 2,20 m;
- Infisso finestra semplice dimensioni 1,00 m x 1,20 m.

Nel caso dell'*edificio anni '80* sono state ipotizzate delle finestre costituite da telaio in legno duro dello spessore di 50 mm, avente una trasmittanza di $2{,}20\ W/m^2K$, e con vetrata doppia normale composta da due lastre di vetro di 4 mm e una intercapedine interna di 4 mm , avente una trasmittanza complessiva di $3{,}60\ W/m^2K$.

Elenchiamo qui di seguito i valori di trasmittanza delle varie tipologie di finestra presente nell'*edificio anni '80*:

- Finestra F1: $3{,}487\ W/m^2K$;
- Finestra F2: $3{,}456\ W/m^2K$;
- Finestra F3: $3{,}492\ W/m^2K$.

Nel caso dell'*edificio anni 2000* sono state ipotizzate delle finestre costituite da telaio in legno tenero dello spessore di 90 mm, avente una trasmittanza di $1{,}30\ W/m^2K$, e con vetrata doppia normale composta da due lastre di vetro di 4 mm e una intercapedine interna di 4 mm , avente una trasmittanza complessiva di $2{,}00\ W/m^2K$.

Elenchiamo qui di seguito i valori di trasmittanza delle varie tipologie di finestra presente nell'*edificio anni 2000*:

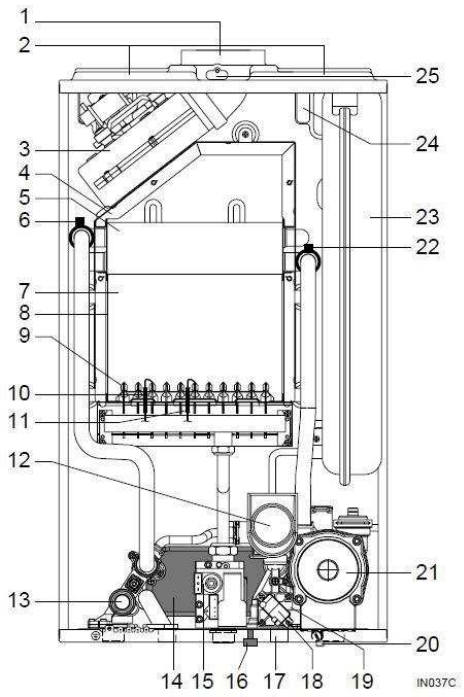
- Finestra F1: $2{,}023\ W/m^2K$;
- Finestra F2: $2{,}024\ W/m^2K$;
- Finestra F3: $2{,}049\ W/m^2K$.

3.3.4 Descrizione dell'impianto

Impianto di riscaldamento + produzione ACS

L'impianto dell'unifamiliare in esame è caratterizzato da un sistema autonomo per la produzione combinata di riscaldamento ed acqua calda sanitaria. La caldaia utilizzata per la simulazione è di tipo tradizionale in alluminio con bruciatore atmosferico

alimentata a gas metano con potenza al focolare nominale di 25,90 kW potenza utile nominale di 24,30 kW e rendimento termico al 100% del 93,8% e al 30% del 91,4% è posta al piano terra all'interno dell'edificio.



Legenda:

1. Collettore scarico fumi
2. Presa aria
3. Elettroventilatore
4. Cappa fumi
5. Scambiatore primario
6. Sonda mandata
7. Camera combustione
8. Fibra ceramica isolante
9. Bruciatore
10. Elettrodo rilevazione fiamma
11. Elettrodo accensione
12. Valvola deviatrice motorizzata
13. Valvola sicurezza 3 bar
14. Scambiatore secondario
15. Valvola del gas
16. Rubinetto di riempimento
17. Filtro sanitario
18. Accenditore
19. Flussostato consenso sanitario
20. Svuotameno impianto
21. Circolatore con disaeratore
22. Sonda ritorno
23. Vaso Espansione
24. Pressostato evacuazione fumi
25. Prese per analisi fumi

Figura 3.23: Descrizione complessiva

La rete di distribuzione dell'impianto di riscaldamento è costituita dall'insieme delle tubazioni di mandata e ritorno che collegano la caldaia ai termosifoni; l'impianto di distribuzione è a zone (a distribuzione orizzontale), è realizzato in modo che ad ogni zona dell'edificio, ad ogni piano, è dedicata una parte della rete di distribuzione.

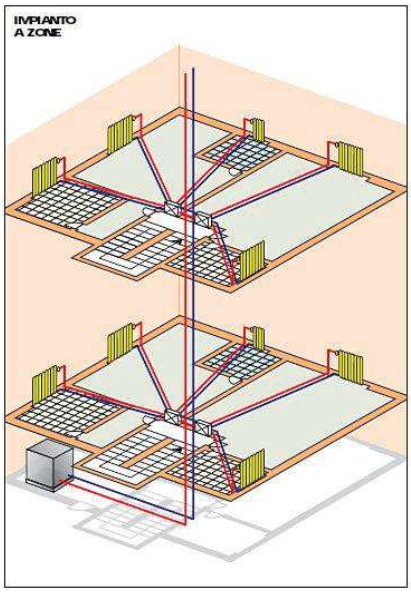


Figura 3.24: Impianto di distribuzione a zone

I terminali di emissione dell'impianto di riscaldamento sono costituiti da radiatori su parete interna, installati in ogni ambiente dell'abitazione, attraverso questi il calore contenuto nel fluido termovettore (acqua) viene ceduto all'ambiente da riscaldare, con un rendimento di emissione del 96%.

Questo sistema è poco performante anche dal punto di vista della regolazione in quanto avviene attraverso il solo termostato della caldaia, quindi non è possibile ottenere un buon comfort climatico in ambienti mirati, ed il rendimento del sistema di regolazione è del 95%.

Ventilazione naturale

In assenza di un impianto di ventilazione meccanica, la ventilazione è garantita dalla sola aerazione naturale, la quale avviene grazie all'apertura delle finestre ed alle infiltrazioni. Per quanto riguarda la definizione dei parametri riguardanti la ventilazione naturale, si fa riferimento al metodo previsto dal software Termo.

3.4 Simulazioni

L'edificio è un sistema complesso, i fenomeni energetici che si sviluppano al suo interno sono diversi ed in continua relazione tra loro; sono questioni che riguardano le caratteristiche dell'involucro, gli impianti, la destinazione d'uso degli ambienti. Con la simulazione stazionaria energetica dell'edificio possiamo analizzare i consumi e le prestazioni secondo un regime mensile.

Per effettuare la simulazione energetica dell'edificio viene adottato il software Termo, con il supporto del software IRIS per il calcolo specifico dei flussi nei ponti termici nell'involucro dell'edificio, i cui risultati verranno inseriti all'interno del software Termo.

3.4.1 Software Termo

Per prima cosa vengono impostati i dati climatici e sulla località in cui viene ipotizzato il progetto.



Figura 3.25: Riepilogo dati località

Temperatura esterna media mensile [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
5,7	6,0	9,7	13,0	17,9	21,3	24,8	23,4	19,7	14,8	10,1	7,4

Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale [MJ/m²]

Tipo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Diretta	1,2	4,0	6,6	10,5	14,3	15,2	16,8	12,8	8,8	5,2	3,0	1,8
Diffusa	2,4	3,2	4,8	6,7	8,1	9,0	8,3	7,4	6,1	3,9	2,9	2,2
	3,6	7,2	11,4	17,2	22,4	24,2	25,1	20,2	14,9	9,1	5,9	4,0

Pressione parziale di vapore esterna [Pa]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
680	616	775	955	1.170	1.434	1.619	1.612	1.462	1.162	787	765

Velocità del vento [m/s]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,0	1,4	0,8	1,3	1,3	1,3	0,7	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8

Figura 3.26: Dati mensili

Vengono poi date delle informazioni generali sui tipi di verifica da effettuare sull'edificio, ovvero la verifica della Legge 10 e la verifica per le detrazioni fiscali, e sulla temperatura di progetto invernale (20,0°C) e la temperatura di progetto estiva (26,0°C).

Si procede poi con la definizione dei modelli delle strutture che compongono l'involucro edilizio, che sono stati precedentemente descritti, e l'inserimento della centrale termica per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria; infine con le strutture realizzate si andrà a comporre un modello tridimensionale dell'edificio, andandovi anche ad inserire tutti i ponti termici interessati, con i valori calcolati tramite il software IRIS.

Ci verranno quindi restituiti dal software di calcolo le relazioni e gli attestati pertinenti:

- Relazione *Legge 10*: ovvero la relazione tecnica di cui al comma 1 dell'articolo 8 del decreto legislativo 19 Agosto 2005 N.192, attestante la rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici; contiene le informazioni minime necessarie per accertare l'osservanza delle norme vigenti da parte degli organismi competenti;

- Relazione di calcolo: in essa vengono riportate le dispersioni dei vari locali che compongono l'edificio, gli apporti di energia termica, il periodo di attivazione del riscaldamento e i fabbisogni energetici;
- *Attestato di Prestazione Energetica* (APE): riporta dati generali sull'edificio, la prestazione energetica globale, la prestazione energetica degli impianti ed altri dati di dettaglio del fabbricato e dell'impianto;
- *Attestato di Qualificazione Energetica* (AQE): molto simile per contenuti al APE.

3.4.2 Risultati simulazione Termo

Si riportano e confrontano i risultati delle simulazioni con il software Termo.

Edificio anni '80

Riassumiamo i dati energetici dell'edificio in tabella

$EP_{H,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{W,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m²]	eta_H	eta_W	Classe energetica
302,7	17,0	319,7	0,6825	0,7951	F

Tabella 13: Dati energetici edificio

in cui:

- $EP_{H,nren}$: energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale;
- $EP_{W,nren}$: energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $EP_{gl,nren}$: indice di prestazione energetica globale non rinnovabile;
- eta_H: efficienza per la climatizzazione invernale;
- eta_W: efficienza per la produzione di acqua calda sanitaria.

Come si vede dalla tabella riassuntiva, il nostro edificio ha una classe energetica molto bassa; questo dipende dall'insieme di tutti i fattori di dispesione che abbiamo descritto precedentemente: involucro, serramenti, solai, copertura e caldaia.

Di seguito i dati sul fabbisogno di energia primaria per riscaldamento ed acqua calda sanitaria

Mese	$Q_{H,nd}$ [kWh]	Q'_H [kWh]	η_e [%]	η_c [%]	η_d [%]	η_{gn} [%]	η_g [%]	$Q_{p,nren,H}$ [kWh]	$Q_{p,ren,H}$ [kWh]	$Q_{p,tot,H}$ [kWh]
Gennaio	7.215,3	7.205,5	92,0	90,9	94,0	94,4	70,4	10.249,9	15,2	10.265,1
Febbraio	6.146,5	6.137,6	92,0	89,5	94,0	94,3	69,2	8.877,0	13,8	8.890,7
Marzo	4.430,1	4.420,2	92,0	86,0	94,0	93,4	65,8	6.737,7	15,2	6.752,9
Aprile	1.317,8	1.313,0	92,0	80,4	94,0	92,8	61,0	2.160,9	6,0	2.166,9
Novembre	4.324,6	4.315,1	92,0	87,5	94,0	93,4	66,9	6.468,7	14,7	6.483,4
Dicembre	6.157,5	6.147,6	92,0	90,1	94,0	94,1	69,5	8.865,0	15,2	8.880,2
Totale	29.591,8	29.538,9	92,0	88,7	94,0	94,0	68,2	43.359,1	80,2	43.439,3

Figura 3.27: Fabbisogno riscaldamento

in cui:

- $Q_{H,nd}$: fabbisogno energetico utile per il riscaldamento;
- Q'_H: fabbisogno energetico utile per il riscaldamento al netto dei recuperi;
- η_e: rendimento di emissione;
- η_c: rendimento di regolazione;
- η_d: rendimento di distribuzione;
- η_{gn}: rendimento di generazione;
- η_g: rendimento globale;
- $Q_{p,nren,H}$: fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto;
- $Q_{p,tot,H}$: fabbisogno di energia primaria totale del sistema edificio-impianto.

Mese	$Q_{W,nd}$ [kWh]	η_{er} [%]	η_d [%]	η_{gn} [%]	η_g [%]	$Q_{p,nren,W}$ [kWh]	$Q_{p,ren,W}$ [kWh]	$Q_{p,tot,W}$ [kWh]
Gennaio	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	100,0	89,3	93,8	79,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	100,0	89,3	93,8	79,5	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	100,0	89,3	93,8	79,5	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	100,0	89,3	93,8	79,5	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	100,0	89,3	93,8	79,5	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	100,0	89,3	93,8	79,5	207,0	0,2	207,1
Totale	1.937,6	100,0	89,3	93,8	79,5	2.436,7	1,8	2.438,6

Figura 3.28: Fabbisogno acqua calda sanitaria

in cui:

- $Q_{W,nd}$: fabbisogno energetico utile per l'acqua calda sanitaria;
- η_e: rendimento di emissione;
- η_c: rendimento di regolazione;
- η_d: rendimento di distribuzione;
- η_{gn}: rendimento di generazione;
- η_g: rendimento globale;
- $Q_{p,nren,W}$: fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto;
- $Q_{p,tot,W}$: fabbisogno di energia primaria totale del sistema edificio-impianto.

Quindi una breve panoramica sulle dispersioni di energia termica dei locali, delle strutture presenti nella zona termica dell'edificio e quelle dovute ai ponti termici

Locale	θ_i [°C]	P_t [W]	P_v [W]	P_{RH} [W]	P[W]
Cucina	20,00	1.595,73	150,59	179,99	1.926,31
Soggiorno	20,00	6.290,80	724,38	553,89	7.569,08
Locale 5	20,00	88,54	18,22	21,78	128,54
Locale 6	20,00	237,28	20,71	24,75	282,74
Bagno	20,00	927,19	65,39	78,16	1.070,74
Camera 3	20,00	1.425,24	157,80	187,11	1.770,15
Camera 1	20,00	1.668,68	179,23	212,52	2.060,42
Bagno 2	20,00	1.259,84	110,23	130,71	1.500,79
Camera 2	20,00	1.671,74	157,47	186,73	2.015,93
Totale zona		15.165,04	1.584,02	1.575,64	18.324,70

Figura 3.29: Dispersioni termiche locali

in cui:

- θ: temperatura interna;
- P_t: potenza dispersa per trasmissione;
- P_v: potenza dispersa per ventilazione;
- P_{RH}: potenza di ripresa richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente;
- P: potenza dispersa totale.

Struttura	Esposizione	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Esterna	Nord	38,123	1,250	47,655
Parete Esterna	Sud	15,724	1,250	19,656
Parete Esterna	Ovest	41,061	1,250	51,327
Parete Esterna	Est	38,055	1,250	47,570
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Est	1,800	2,290	4,122
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Ovest	0,900	2,290	2,061
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Nord	2,700	2,290	6,183
Sottofinestra Finestra F2 (non riscaldato)	Nord	0,900	2,290	2,061
Solaio Controterra	Orizzontale	77,978	2,033	158,493
Copertura inclinata (solaio in laterocemento)	Orizzontale	13,521	1,873	25,321
Portone in legno	Est	2,200	0,903	1,986
Porta Finestra F1	Nord	4,400	2,886	12,700
Porta Finestra F1	Est	2,200	2,886	6,350
Porta Finestra F1	Ovest	2,200	2,886	6,350
Finestra F2 (riscaldato)	Ovest	1,200	2,864	3,437
Finestra F2 (riscaldato)	Est	2,400	2,864	6,875
Finestra F2 (riscaldato)	Nord	3,600	2,864	10,312
Finestra F2 (non riscaldato)	Nord	1,200	2,864	3,437
Porta Finestra Doppia F3	Sud	6,160	2,890	17,801
Totale		256,322		433,697

Figura 3.30 Dispersioni termiche delle strutture

Come anticipato possiamo constatare che dalle pareti esterne abbiamo la dispersione termica più consistente e successivamante il solaio controterra.

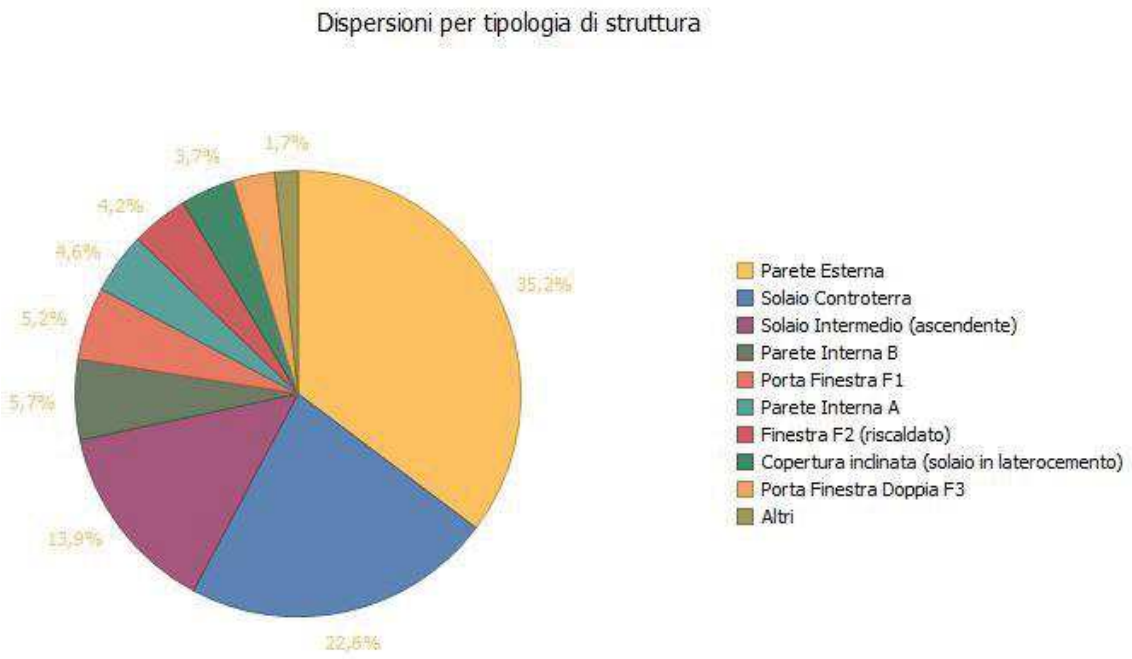


Figura 3.31: Percentuali dispersioni per struttura

Elenchiamo di seguito in tabella i valori delle dispersioni termiche dovute alla presenza di ponti termici nell'involucro edilizio

Ponte termico	Esposizione	l [m]	ψ [W/mK]	H [W/K]
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Ovest	2,510	0,609	1,529
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Nord	10,040	0,609	6,114
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Est	2,510	0,609	1,529
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Sud	5,020	0,609	3,057
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Est	2,510	0,813	2,041
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Nord	2,510	0,813	2,041
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Sud	5,020	0,813	4,081
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Est	2,510	0,929	2,332
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Ovest	5,020	0,929	4,664
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Nord	7,530	0,929	6,995
B4 - Terrazza/Parete Esterna/Interna	Sud	8,750	0,587	5,136
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Sud	7,800	-0,040	-0,312
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	16,000	-0,040	-0,640
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	14,600	-0,040	-0,584
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	6,800	-0,040	-0,272
W10 - Spalla Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	2,400	-0,047	-0,113
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	5,000	0,099	0,495
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	2,000	0,099	0,198
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Sud	2,800	0,099	0,277
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	3,000	0,099	0,297
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	1,000	0,099	0,099
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	2,000	0,194	0,388
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	3,000	0,194	0,582
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	1,000	0,194	0,194
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	1,000	0,194	0,194
GF4 - Solaio Controterra (non riscaldato) (metà)	Nord	8,750	-0,095	-0,831
GF4 - Solaio Controterra (non riscaldato) (metà)	Est	9,900	-0,095	-0,941
GF4 - Solaio Controterra (non riscaldato) (metà)	Ovest	9,900	-0,095	-0,941
GF4 - Solaio Controterra (non riscaldato) (metà)	Orizzontale	28,550	-0,095	-2,712
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Nord	8,750	0,398	3,483
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Est	9,940	0,398	3,956
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Ovest	9,940	0,398	3,956
Totale				46,292

Figura 3.32: Dispersioni termiche per ponti termici

Mostriamo anche le dispersioni termiche per trasmissione verso locali non riscaldati

Strutture verso il locale Magazzino

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna A	5,145	1,899	9,770
	5,145		9,770
Totale			9,770
b_{tr}			0,800
H_U Magazzino [W/K]			7,816

Strutture verso il locale Garage

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna A	14,970	1,899	28,425
Porta di ingresso	1,760	1,575	2,772
	16,730		31,197
Ponte termico	l [m]	ψ [W/mK]	H [W/K]
P4 - Parete Interna/Pilastro (garage)	5,020	0,366	1,837
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	5,200	-0,040	-0,208
			1,629
Totale			32,826
b_{tr}			0,800
H_U Garage [W/K]			26,261

Strutture verso il locale Sottotetto

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna B	26,774	1,643	43,994
Solaio Intermedio (ascendente)	65,182	1,635	106,599
Porta di ingresso	1,520	1,575	2,394
	93,476		152,987
Totale			152,987
b_{tr}			0,900
H_U Sottotetto [W/K]			137,688
H_U [W/K]			171,765

Figura 3.33: Dispersioni per trasmissione verso non riscaldato

Edificio anni 2000

Riassumiamo i dati energetici dell'edificio in tabella

$EP_{H,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{W,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m²]	eta_H	eta_W	Classe energetica
166,2	16,4	182,5	0,7859	0,8264	**D**

Tabella 14: Dati energetici edificio

in cui:

- $EP_{H,nren}$: energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale;
- $EP_{W,nren}$: energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- $EP_{gl,nren}$: indice di prestazione energetica globale non rinnovabile;
- eta_H: efficienza per la climatizzazione invernale;
- eta_W: efficienza per la produzione di acqua calda sanitaria.

Anche in questo caso abbiamo un edificio con una classe energetica molto bassa, anche se di un livello più alto rispetto alla tipologia anni '80.

Quindi i dati sul fabbisogno di energia primaria per riscaldamento ed acqua calda sanitaria

Mese	$Q_{H,nd}$ [kWh]	Q'_H [kWh]	η_e [%]	η_c [%]	η_d [%]	η_{gn} [%]	η_g [%]	$Q_{p,nren,H}$ [kWh]	$Q_{p,ren,H}$ [kWh]	$Q_{p,tot,H}$ [kWh]
Gennaio	4.653,1	4.643,3	95,0	89,0	94,0	108,1	81,1	5.737,5	15,2	5.752,8
Febbraio	3.918,9	3.910,0	95,0	87,0	94,0	108,6	79,6	4.924,4	13,8	4.938,1
Marzo	2.732,1	2.722,2	95,0	82,0	94,0	109,1	75,3	3.629,4	12,1	3.641,5
Aprile	763,9	759,1	95,0	74,2	94,0	109,3	68,2	1.120,4	4,6	1.125,0
Novembre	2.698,5	2.688,9	95,0	84,0	94,0	109,1	77,2	3.497,1	11,7	3.508,9
Dicembre	3.940,4	3.930,5	95,0	87,7	94,0	109,0	80,5	4.894,6	14,6	4.909,1
Totale	18.706,9	18.654,1	95,0	85,8	94,0	108,7	78,6	23.803,4	72,0	23.875,5

Figura 3.34: Fabbisogno riscaldamento

in cui:

- $Q_{H,nd}$: fabbisogno energetico utile per il riscaldamento;
- Q'_H: fabbisogno energetico utile per il riscaldamento al netto dei recuperi;
- η_e: rendimento di emissione;
- η_c: rendimento di regolazione;
- η_d: rendimento di distribuzione;
- η_{gn}: rendimento di generazione;
- η_g: rendimento globale;
- $Q_{p,nren,H}$: fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto;
- $Q_{p,tot,H}$: fabbisogno di energia primaria totale del sistema edificio-impianto.

Mese	$Q_{W,nd}$ [kWh]	η_{er} [%]	η_d [%]	η_{gn} [%]	η_g [%]	$Q_{p,nren,W}$ [kWh]	$Q_{p,ren,W}$ [kWh]	$Q_{p,tot,W}$ [kWh]
Gennaio	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Febbraio	148,6	100,0	89,3	97,5	82,6	179,9	0,1	180,0
Marzo	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Aprile	159,3	100,0	89,3	97,5	82,6	192,7	0,2	192,9
Maggio	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Giugno	159,3	100,0	89,3	97,5	82,6	192,7	0,2	192,9
Luglio	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Agosto	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Settembre	159,3	100,0	89,3	97,5	82,6	192,7	0,2	192,9
Ottobre	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Novembre	159,3	100,0	89,3	97,5	82,6	192,7	0,2	192,9
Dicembre	164,6	100,0	89,3	97,5	82,6	199,1	0,2	199,3
Totale	1.937,6	100,0	89,3	97,5	82,6	2.344,6	1,8	2.346,4

Figura 3.35: Fabbisogno acqua calda sanitaria

in cui:

- $Q_{W,nd}$: fabbisogno energetico utile per l'acqua calda sanitaria;
- η_e: rendimento di emissione;
- η_c: rendimento di regolazione;
- η_d: rendimento di distribuzione;
- η_{gn}: rendimento di generazione;
- η_g: rendimento globale;
- $Q_{p,nren,W}$: fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del sistema edificio-impianto;
- $Q_{p,tot,W}$: fabbisogno di energia primaria totale del sistema edificio-impianto.

Quindi una breve panoramica sulle dispersioni di energia termica dei locali e delle strutture presenti nella zona termica dell'edificio

Locale	θ_i [°C]	P_t [W]	P_v [W]	P_{RH} [W]	P[W]
Cucina	20,00	774,67	150,59	179,99	1.105,26
Soggiorno	20,00	3.531,92	724,38	553,89	4.810,20
Locale 5	20,00	26,22	18,22	21,78	66,22
Locale 6	20,00	110,07	20,71	24,75	155,53
Bagno	20,00	481,20	65,39	78,16	624,75
Camera 3	20,00	942,42	157,80	187,11	1.287,33
Camera 1	20,00	1.116,25	179,23	212,52	1.507,99
Bagno 2	20,00	914,36	110,23	130,71	1.155,31
Camera 2	20,00	1.208,45	157,47	186,73	1.552,65
Totale zona		9.105,56	1.584,02	1.575,64	12.265,24

Figura 3.36: Dispersioni termiche locali

in cui:

- θ: temperatura interna;
- P_t: potenza dispersa per trasmissione;
- P_v: potenza dispersa per ventilazione;
- P_{RH}: potenza di ripresa richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente;
- P: potenza dispersa totale.

Struttura	Esposizione	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Esterna	Nord	38,123	0,734	27,993
Parete Esterna	Sud	15,724	0,734	11,546
Parete Esterna	Ovest	41,061	0,734	30,150
Parete Esterna	Est	38,055	0,734	27,943
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Est	1,800	1,001	1,803
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Ovest	0,900	1,001	0,901
Sottofinestra Finestra F2 (riscaldato)	Nord	2,700	1,001	2,704
Sottofinestra Finestra F2 (non riscaldato)	Nord	0,900	1,001	0,901
Solaio Controterra	Orizzontale	77,978	0,602	46,931
Copertura inclinata (solaio in laterocemento)	Orizzontale	13,521	1,236	16,714
Portone in legno	Est	2,200	0,903	1,986
Porta Finestra F1	Nord	4,400	1,793	7,890
Porta Finestra F1	Est	2,200	1,793	3,945
Porta Finestra F1	Ovest	2,200	1,793	3,945
Finestra F2 (riscaldato)	Ovest	1,200	1,794	2,153
Finestra F2 (riscaldato)	Est	2,400	1,794	4,305
Finestra F2 (riscaldato)	Nord	3,600	1,794	6,458
Finestra F2 (non riscaldato)	Nord	1,200	1,794	2,153
Porta Finestra Doppia F3	Sud	6,160	1,814	11,173
Totale		256,322		211,593

Figura 3.37: Dispersioni termiche delle strutture

Ovviamente anche in questo caso possiamo constatare che dalle pareti esterne abbiamo la dispersione termica più consistente e successivamante il solaio controterra.

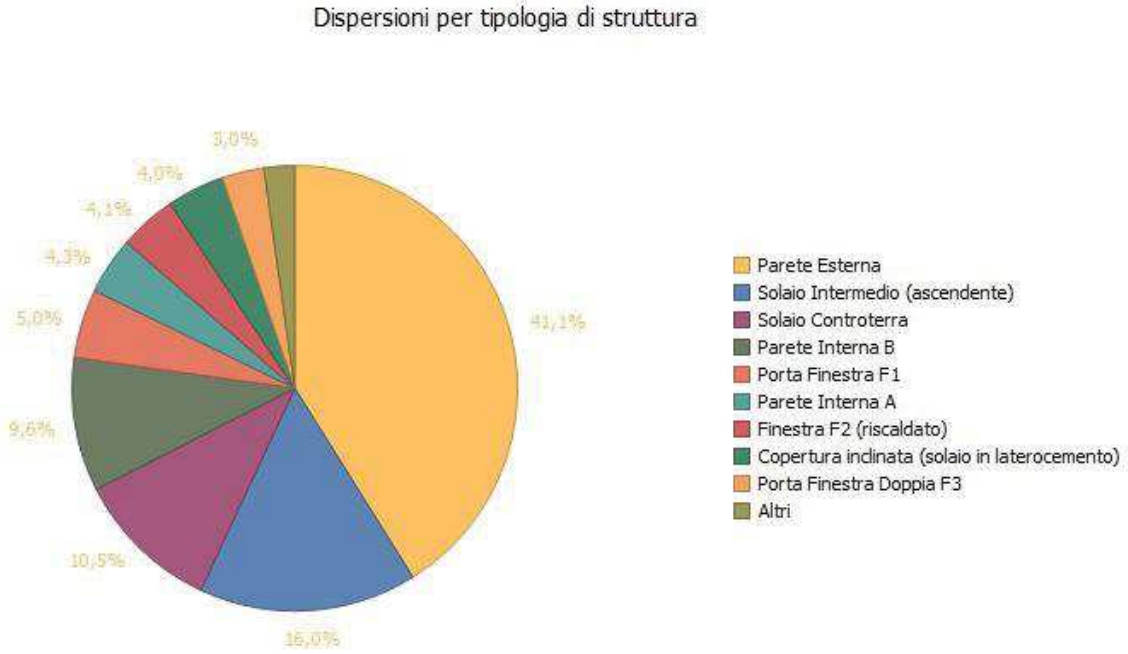


Figura 3.38: Percentuali dispersioni per struttura

Elenchiamo di seguito in tabella i valori delle dispersioni termiche dovute alla presenza di ponti termici nell'involucro edilizio

Ponte termico	Esposizione	l [m]	ψ [W/mK]	H [W/K]
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Ovest	2,510	0,770	1,933
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Nord	10,040	0,770	7,731
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Est	2,510	0,770	1,933
C4 - Angolo Parete Esterna (riscaldato)	Sud	5,020	0,770	3,865
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Est	2,510	1,062	2,666
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Nord	2,510	1,062	2,666
P4 - Parete Esterna/Pilastro (riscaldato)	Sud	5,020	1,062	5,331
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Est	2,510	1,130	2,836
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Ovest	5,020	1,130	5,673
IW4 - Parete Interna/Esterna con pilastro (riscaldato)	Nord	7,530	1,130	8,509
B4 - Terrazza/Parete Esterna/Interna	Sud	8,750	0,456	3,990
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Sud	7,800	-0,105	-0,819
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	16,000	-0,105	-1,680
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	14,600	-0,105	-1,533
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	6,800	-0,105	-0,714
W10 - Spalla Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	2,400	-0,108	-0,259
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	5,000	0,134	0,670
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	2,000	0,134	0,268
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Sud	2,800	0,134	0,375
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	3,000	0,134	0,402
W10 - Cassonetto Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	1,000	0,134	0,134
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Est	2,000	0,220	0,440
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Nord	3,000	0,220	0,660
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (riscaldato)	Ovest	1,000	0,220	0,220
W10 - Davanzale Serramento Intermedio (non riscaldato)	Nord	1,000	0,220	0,220
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Ovest	9,940	0,375	3,728
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Est	9,940	0,375	3,728
IF4 - Solaio Interpiano/Parete Esterna (riscaldato) (metà)	Nord	8,750	0,375	3,281
GF4 - Solaio Controterra (riscaldato) (metà)	Est	9,900	-0,117	-1,158
GF4 - Solaio Controterra (riscaldato) (metà)	Ovest	9,900	-0,117	-1,158
GF4 - Solaio Controterra (riscaldato) (metà)	Orizzontale	28,550	-0,117	-3,340
GF4 - Solaio Controterra (riscaldato) (metà)	Nord	8,750	-0,117	-1,024
Totale				49,571

Figura 3.39: Dispersioni termiche per ponti termici

Mostriamo anche le dispersioni termiche per trasmissione verso locali non riscaldati

Strutture verso il locale Magazzino

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna A	5,145	0,919	4,727
	5,145		4,727
Totale			4,727
b_{tr}			0,800
H_U Magazzino [W/K]			3,781

Strutture verso il locale Garage

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna A	14,970	0,919	13,752
Porta di ingresso	1,760	1,575	2,772
	16,730		16,524
Ponte termico	l [m]	ψ [W/mK]	H [W/K]
P4 - Parete Interna/Pilastro (garage)	5,020	0,910	4,568
W10 - Spalla Serramento Intermedio (riscaldato)	5,200	-0,105	-0,546
			4,022
Totale			20,546
b_{tr}			0,800
H_U Garage [W/K]			16,437

Strutture verso il locale Sottotetto

Struttura	A [m²]	U [W/m²K]	H [W/K]
Parete Interna B	26,774	1,643	43,994
Solaio Intermedio (ascendente)	65,182	1,128	73,531
Porta di ingresso	1,520	1,575	2,394
	93,476		119,919
Totale			119,919
b_{tr}			0,900
H_U Sottotetto [W/K]			107,927
H_U [W/K]			128,146

Figura 3.40: Dispersioni per trasmissione verso non riscaldato

Confronto risulati

Dal confronto dei risultati del calcolo energetico nei due casi (edificio anni '80 e anni 2000)

	$EP_{H,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{W,nren}$ [kWh/m²]	$EP_{gl,nren}$ [kWh/m²]	eta_H	eta_W	Classe energetica
Anni '80	302,7	17,0	319,7	0,6825	0,7951	F
Anni 2000	166,2	16,4	182,5	0,7859	0,8264	D

Tabella 15: Confronto dati energetici

possiamo vedere che la classe energetica risultante è differente di due salti nei due casi e il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale si abbassa sensibilmente nel caso di edificio anni 2000.

3.4.3 Software IRIS

Anche nell'utilizzo di questo software per prima cosa impostiamo i dati climatici della località in cui viene ipotizzato il progetto.

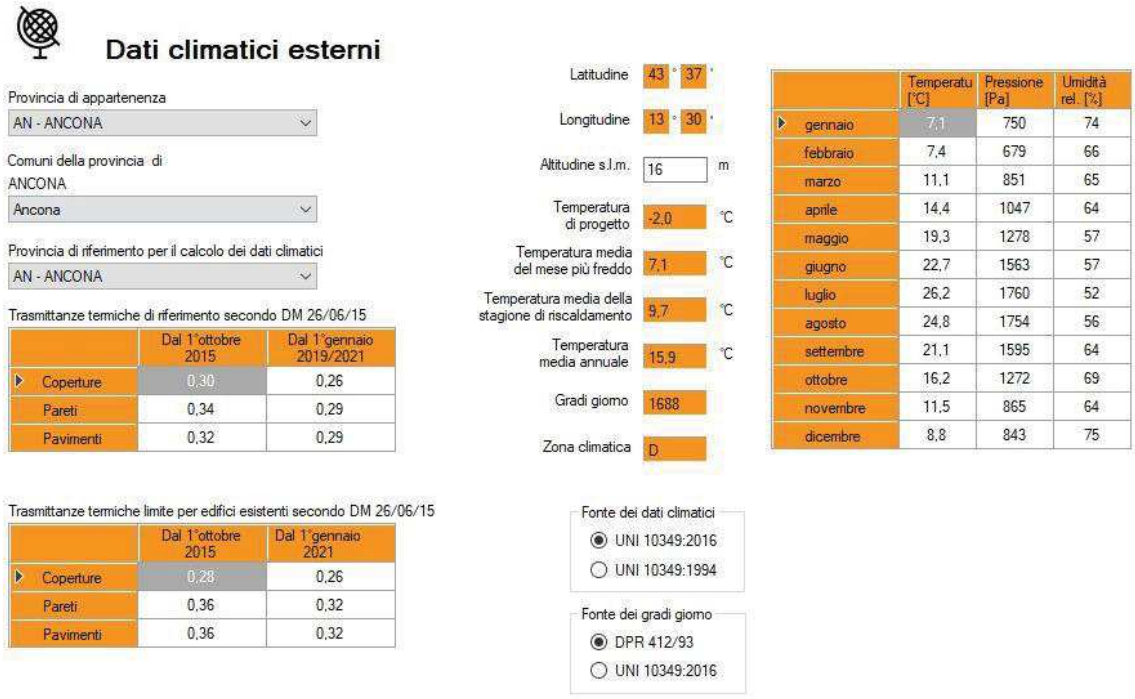


Figura 3.41: Dati climatici esterni

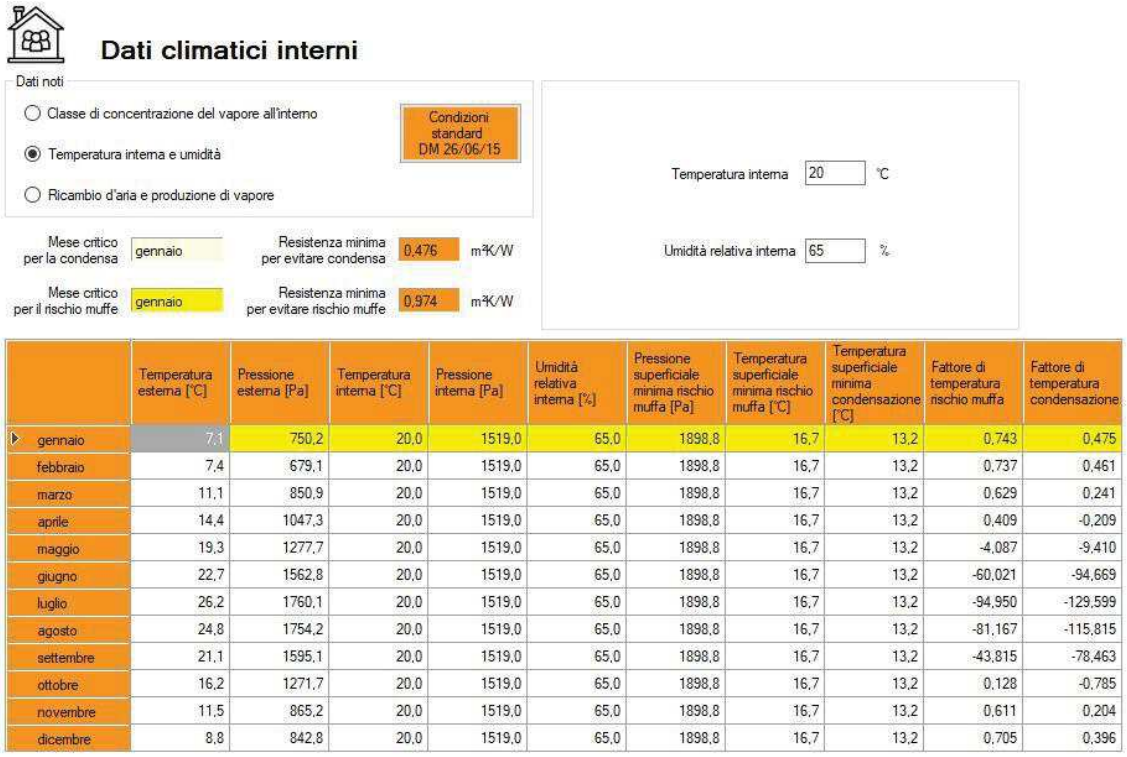


Figura 3.42: Dati climatici interni

Cominciamo quindi con la modellazione dei ponti termici definendo il tipo di ponte termico, i materiali componenti la stratigrafia e l'ambiente delimitato dal blocco.

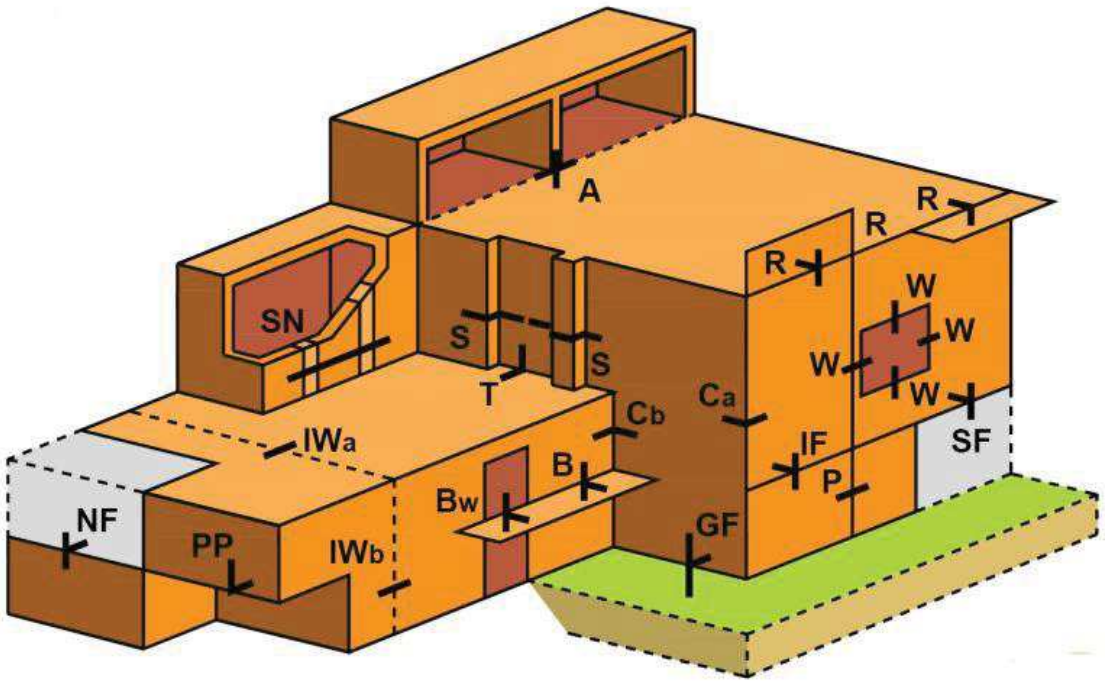


Figura 3.43: Tipologie di ponti termici

I risultati che ci vengono restituiti nella relazione di progetto sono in forma grafica o numerica e riguardano:

- La temperatura;
- Il flusso;
- L'umidità relativa;
- La distribuzione della temperatura superficiale;
- I coefficienti lineici (o trasmittanza lineica).

Nel disegno che riguarda la distribuzione della temperatura sono presenti due linee grigie che rappresentano le isoterme della temperatura di condensazione superficiale e della temperatura di rischio muffa; questa visualizzazione è pensata per agevolare l'identificazione delle zone soggette a tali fenomeni di rischio.

La distribuzione del flusso è utile per identificare le porzioni geometriche del nodo soggette alla concentrazione della dispersione e le porzioni non interessate energeticamente dal ponte termico.

La distribuzione dell'umidità relativa può essere utile per estendere l'analisi della migrazione del vapore dalla sezione della stratigrafia all'intero ponte termico.

Nello specifico ciò che più ci interessa ai fini del calcolo delle dispersioni termiche per presenza di ponti termici è il valore di trasmittanza lineica interna, ovvero lo Ψ_{tot} interno. I *coefficienti lineici totali* sono calcolati in accordo con UNI EN ISO 10211, ovvero:

$$\psi_i = L_{2D} - \sum(U \cdot l_i); \psi_e = L_{2D} - \sum(U \cdot l_e)$$

in cui:

- ψ_i: coefficiente lineico interno (o trasmittanza lineica interna) [W/mK];
- ψ_e: coefficiente lineico esterno (o trasmittanza lineica esterna) [W/mK];
- L_{2D}: coefficiente d'accoppiamento termico ottenuto dal calcolo 2D agli elementi finiti del ponte termico;
- U: trasmittanza termica del componente di separazione tra le zone termiche individuate;
- l_i: lunghezza interna a cui si applica la trasmittanza termica U;
- l_e: lunghezza esterna a cui si applica la trasmittanza termica U.

Il valore di trasmittanza lineica interna andrà poi immesso all'interno del software Termo in modo tale che vengano pesati i ponti termici nel computo delle dispersioni termiche dell'involucro.

3.4.4 Risultati simulazione IRIS

Si riportano e confrontano i risultati delle simulazioni con il software IRIS.

Edificio anni '80

Riassumiamo in una tabella i valori dei ponti termici analizzati

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	53,091	53,091	0,609	-0,366	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-26,546	-26,546	-0,366	0,609	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	62,296	62,296	0,813	0,813	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-31,148	-31,148	0,813	0,813	0
5	Parete interna verso il garage	39,879	38,879	0,366	0,366	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	62,389	62,389	0,929	0,807	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	53,306	53,306	0,795	0,393	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	37,904	37,904	0,384	-0,326	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-38,178	-38,178	-0,190	-0,899	16,7
10	Solaio controterra (garage)	-19,089	-19,089	-0,190	-0,899	0
11	Terrazza/Garage/interno	45,678	45,678	0,587	0,218	16,7
12	Spala serramento (riscaldato)	62,068	62,068	-0,040	-0,040	16,7
13	Spalla serramento (non riscaldato)	30,989	30,989	-0,047	-0,047	0
14	Cassonetto serramento (riscaldato)	66,793	66,793	0,099	0,099	16,7
15	Cassonetto serramento (non riscaldato)	33,397	33,397	0,099	0,099	0
16	Davanzale serramento (riscaldato)	80,462	80,462	0,194	0,194	16,7
17	Davanzale serramento (non riscaldato)	40,231	40,231	0,194	0,194	0

Tabella 16: Valori ponti termici

Descrivo quindi in dettaglio tutti i ponti termici analizzati:

Angolo parete esterna (riscaldato)

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	29,769	23,322	53,091
Flusso esterno [W]	28,700	24,391	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,707

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,444	0,165	0,609
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	-0,118	-0,248	-0,366

Figura 3.44: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

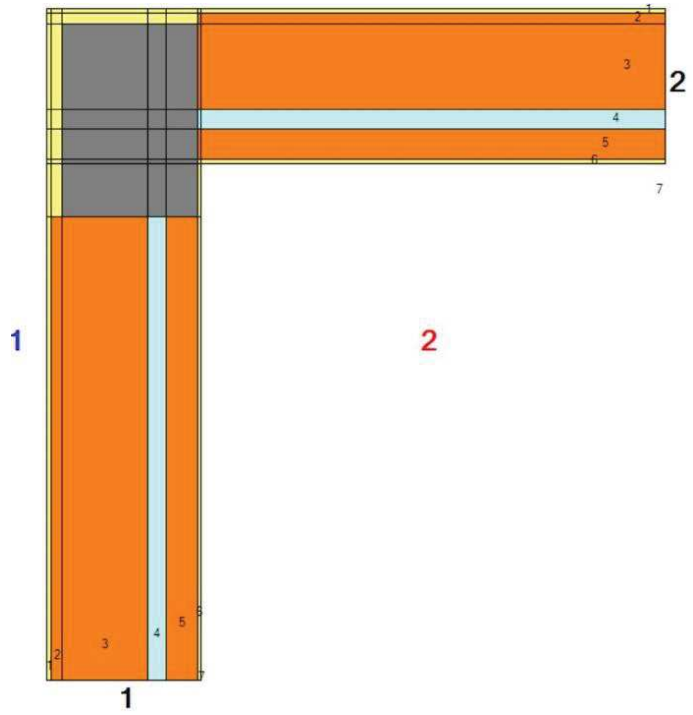


Figura 3.45: Stratigrafia materiali

- Temperatura e Flusso

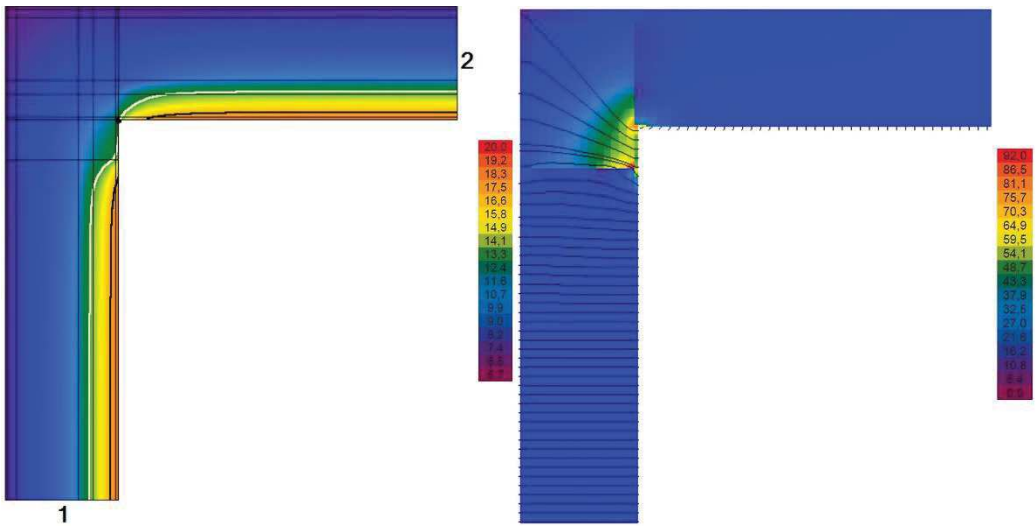


Figura 3.46: Stratigrafia temperature e flussi termici

Angolo parete esterna (non riscaldato)

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	-14,885	-11,661	-26,546
Flusso esterno [W]	-14,350	-12,196	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,707
	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	-0,044	-0,323	-0,366
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,370	0,240	0,609

Figura 3.47: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

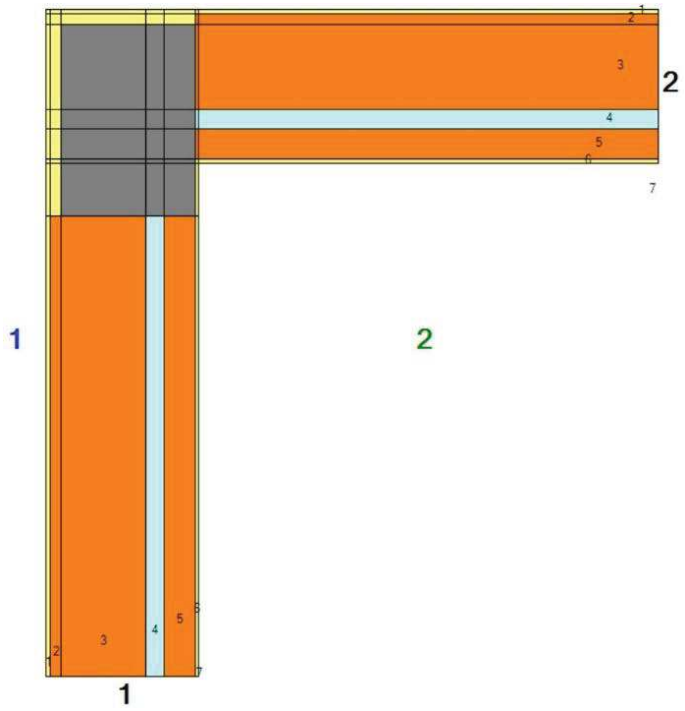


Figura 3.48: Stratigrafia materiali

- Temperatura e Flusso

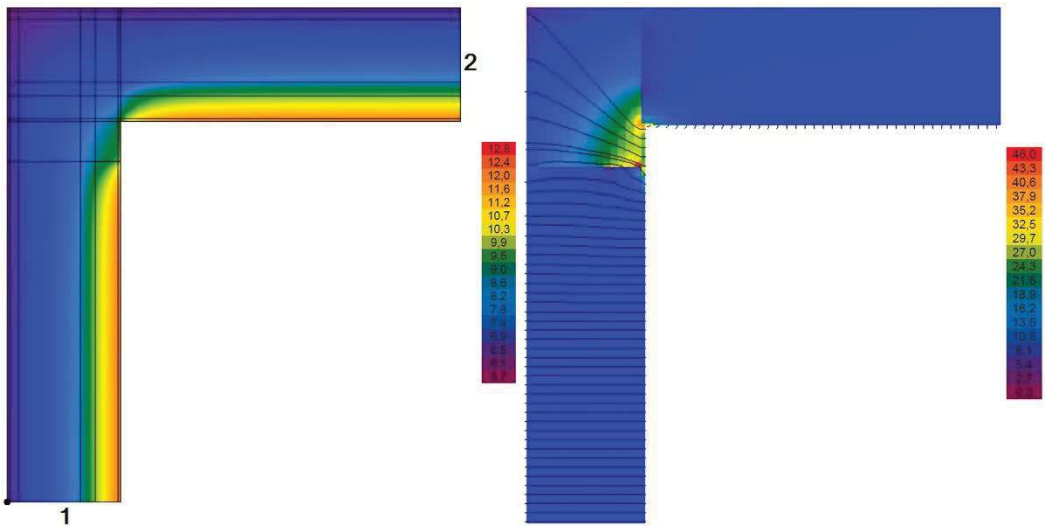


Figura 3.49: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete esterna con pilastro (riscaldato)

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	31,148	31,148	62,296
Flusso esterno [W]	31,148	31,148	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			4,350

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,813
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,813

Figura 3.50: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

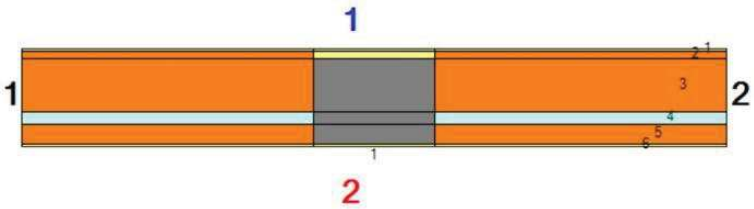


Figura 3.51: Stratigrafia materiali

- Temperatura e Flusso

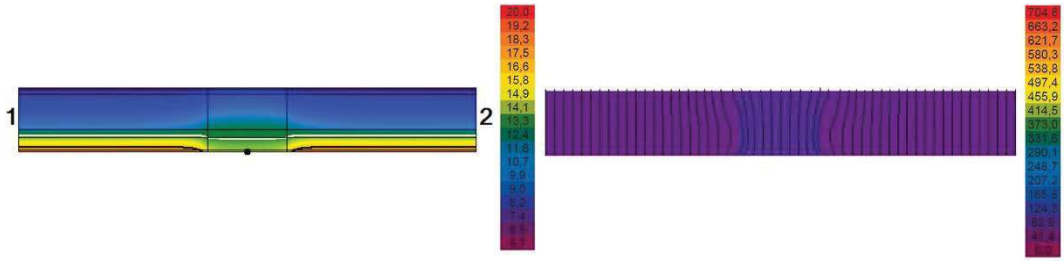


Figura 3.52: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete esterna con pilastro (non riscaldato)

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	-15,574	-15,574	-31,148
Flusso esterno [W]	-15,574	-15,574	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			4,350

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,813
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,813

Figura 3.53: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

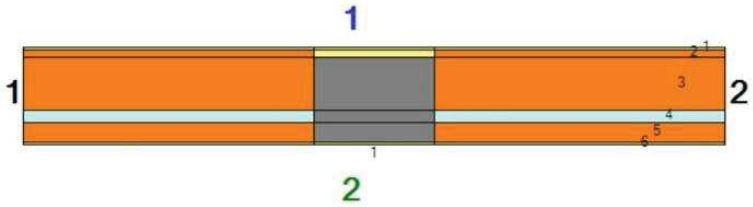


Figura 3.54: Stratigrafia materiali

- Temperatura e Flusso

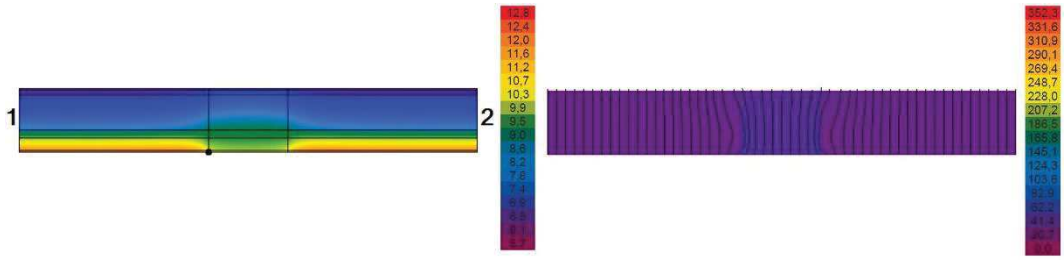


Figura 3.55: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete interna verso il garage

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	19,940	19,940	39,879
Flusso esterno [W]	19,940	19,940	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			5,570

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,366
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,366

Figura 3.56: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

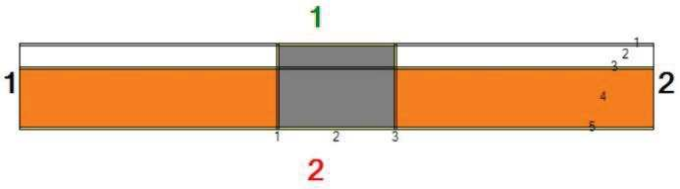


Figura 3.57: Stratigrafia materiali

- Temperatura e Flusso

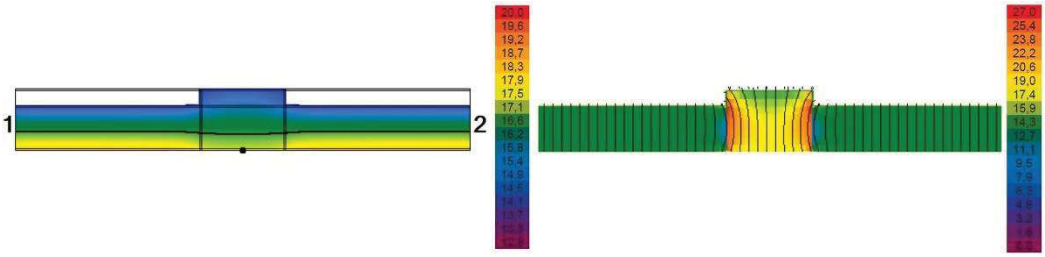


Figura 3.58: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete interna ed esterna con pilastro

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 3	totale
Flusso interno [W]	39,288	23,101	62,389
Flusso esterno [W]	38,369	24,020	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			4,357

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 3	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	1,280	-0,351	0,929
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	1,155	-0,347	0,807

Figura 3.59: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

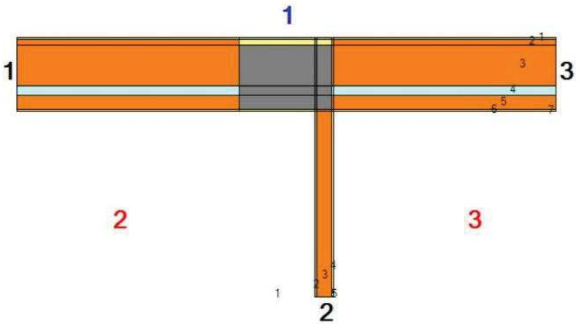


Figura 3.60: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

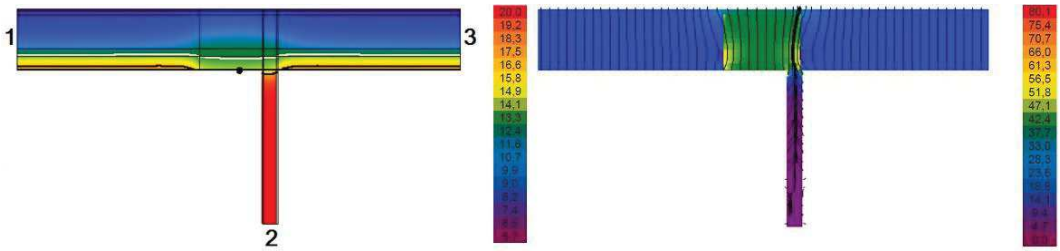


Figura 3.61: Stratigrafia temperature e flussi termici

Solaio interpiano e parete esterna

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 3	totale
Flusso interno [W]	27,053	26,253	53,306
Flusso esterno [W]	26,700	26,606	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,722

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 3	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,425	0,370	0,795
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,200	0,193	0,393

Figura 3.62: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

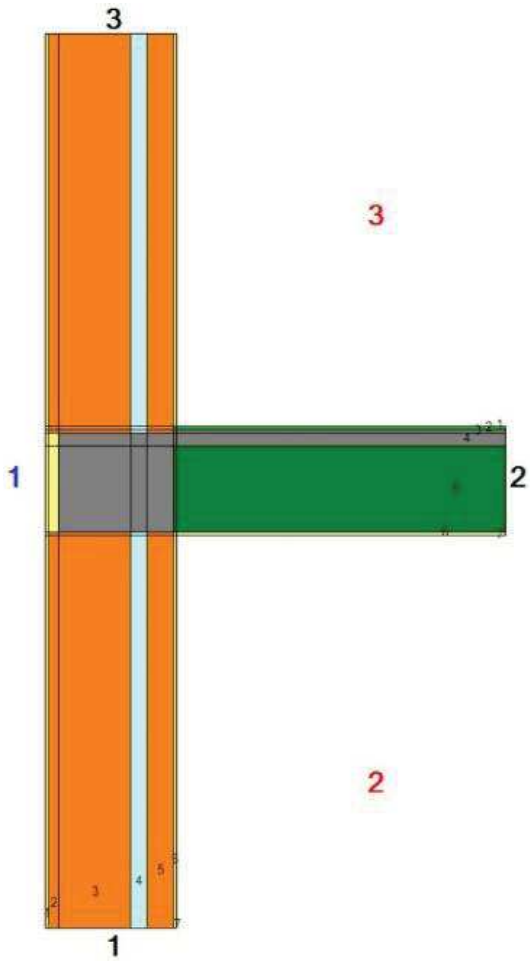


Figura 3.63: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

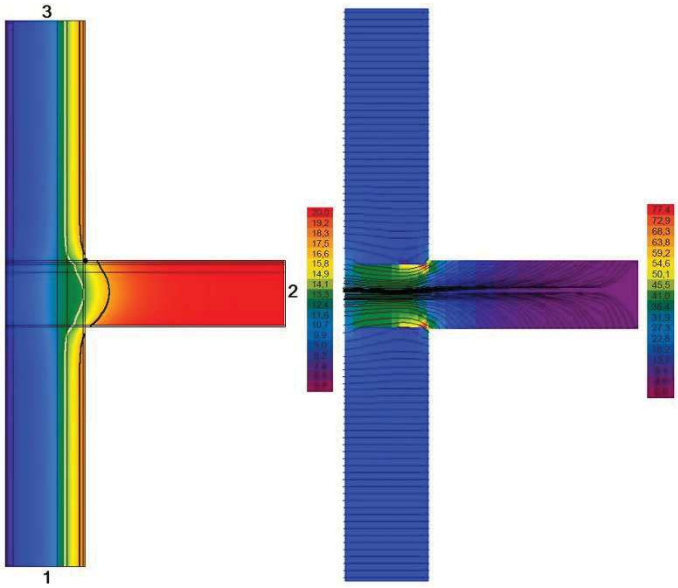


Figura 3.64: Stratigrafia temperature e flussi termici

Solaio sottotetto e parete esterna

	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	totale
Flusso interno [W]	22,337	15,566	37,904
Flusso esterno [W]	28,134	9,770	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			2,647
	attraverso struttura 1	attraverso struttura 2	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,096	0,288	0,384
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,111	-0,437	-0,326

Figura 3.65: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

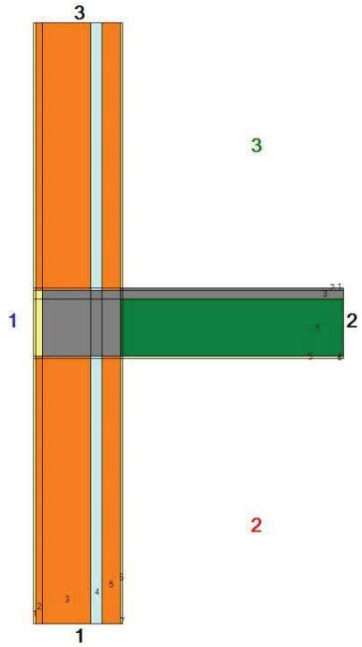


Figura 3.66: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

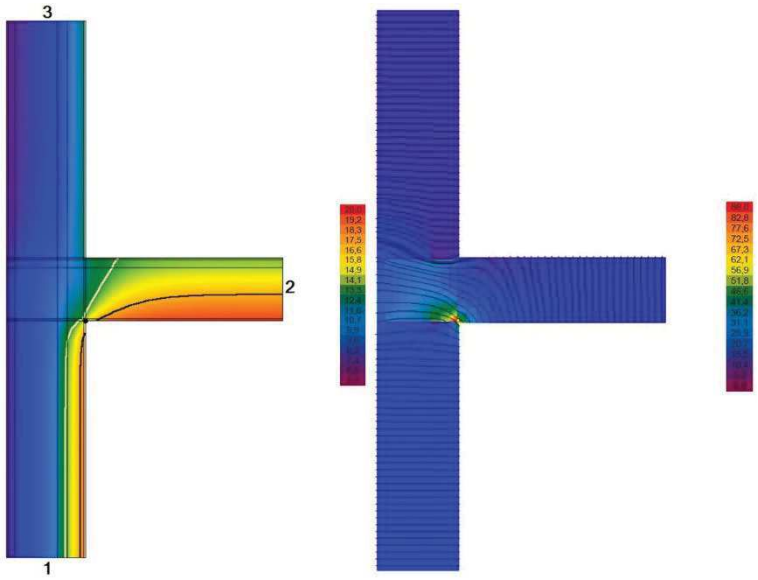


Figura 3.67: Stratigrafia temperature e flussi termici

Terrazza/Garage/Interno

	attraverso struttura 2	attraverso struttura 4	totale
Flusso interno [W]	21,527	24,151	45,678
Flusso esterno [W]	20,641	25,037	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,190
	attraverso struttura 2	attraverso struttura 4	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,364	0,223	0,587
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,140	0,077	0,218

Figura 3.68: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

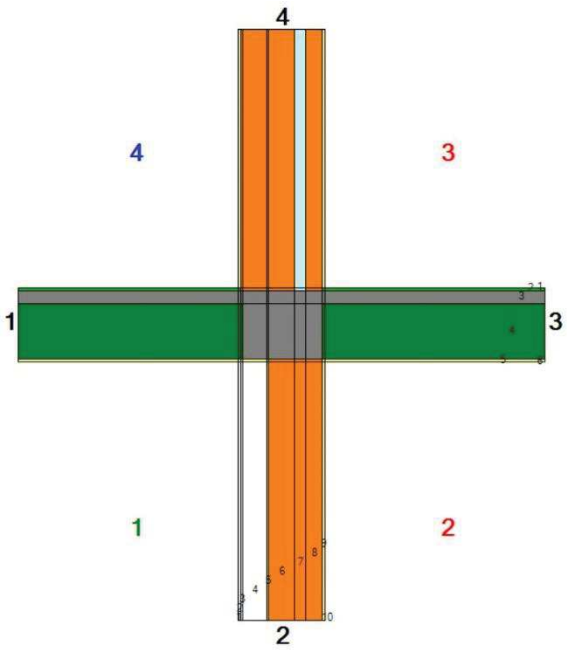


Figura 3.69: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

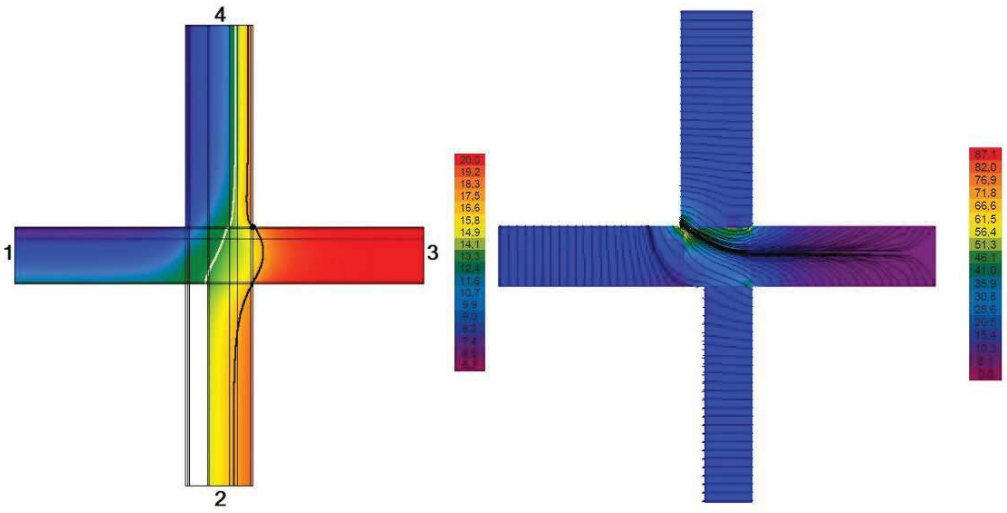


Figura 3.70: Stratigrafia temperature e flussi termici

Edificio anni 2000

Riassumiamo in una tabella i valori dei ponti termici analizzati

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	37,344	37,344	0,770	0,191	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-18,672	-18,672	0,191	0,770	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	45,266	45,266	1,062	1,062	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-22,633	-22,633	1,062	1,062	0
5	Parete interna verso il garage	24,541	24,541	0,910	0,910	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	45,301	45,301	1,130	1,058	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	35,599	35,599	0,749	0,510	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	25,896	25,896	0,376	-0,081	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-26,358	-26,358	-0,234	-0,783	16,7
10	Solaio controterra (garage)	-13,179	-13,179	-0,234	-0,783	0
11	Terrazza/Garage/interno	26,858	26,858	0,456	0,255	16,7
12	Spala serramento (riscaldato)	51,744	51,744	-0,105	-0,105	16,7
13	Spalla serramento (non riscaldato)	25,853	25,853	-0,108	-0,108	0
14	Cassonetto serramento (riscaldato)	60,781	60,781	0,134	0,134	16,7
15	Cassonetto serramento (non riscaldato)	30,390	30,390	0,134	0,134	0
16	Davanzale serramento (riscaldato)	63,659	63,659	0,220	0,220	16,7
17	Davanzale serramento (non riscaldato)	31,829	31,829	0,220	0,220	0

Tabella 17: Valori ponti termici

Descrivo quindi in dettaglio tutti i ponti termici analizzati:

Angolo parete esterna (riscaldato)

	attraverso parete 1	attraverso parete 2	totale
Flusso interno [W]	21,740	15,604	37,344
Flusso esterno [W]	20,812	16,532	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			2,608

	Ψ totale	attraverso parete 1	attraverso parete 2
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,770	0,548	0,221
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,191	0,194	-0,003

Figura 3.71: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

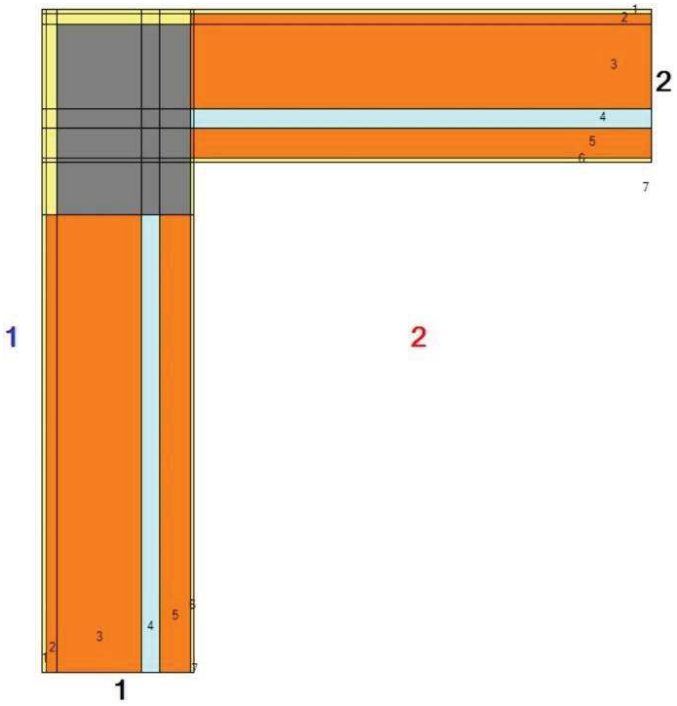


Figura 3.72: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

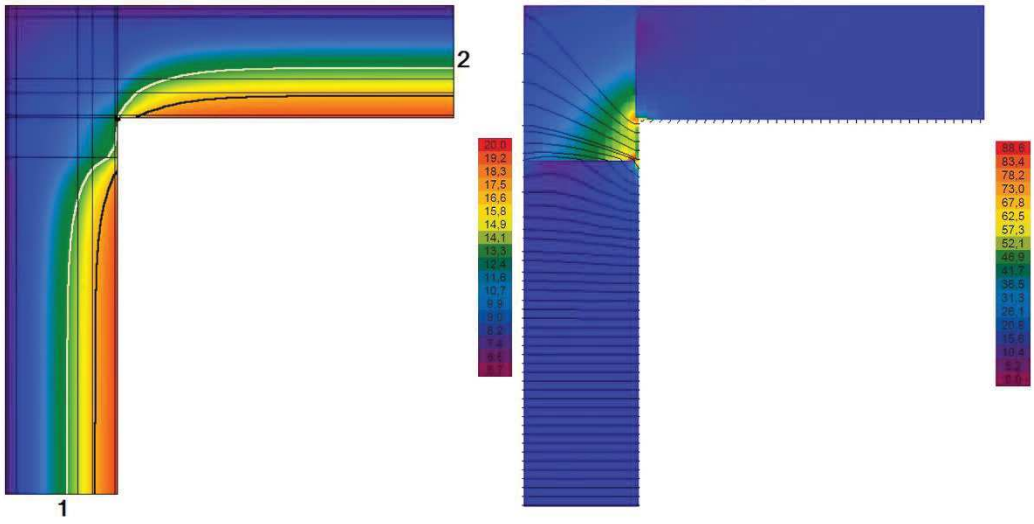


Figura 3.73: Stratigrafia temperature e flussi termici

Angolo parete esterna (non riscaldato)

	attraverso parete 1	attraverso parete 2	totale
Flusso interno [W]	-10,870	-7,802	-18,672
Flusso esterno [W]	-10,406	-8,266	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			2,608

	Ψ totale	attraverso parete 1	attraverso parete 2
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,191	0,259	-0,068
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,770	0,484	0,286

Figura 3.74: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

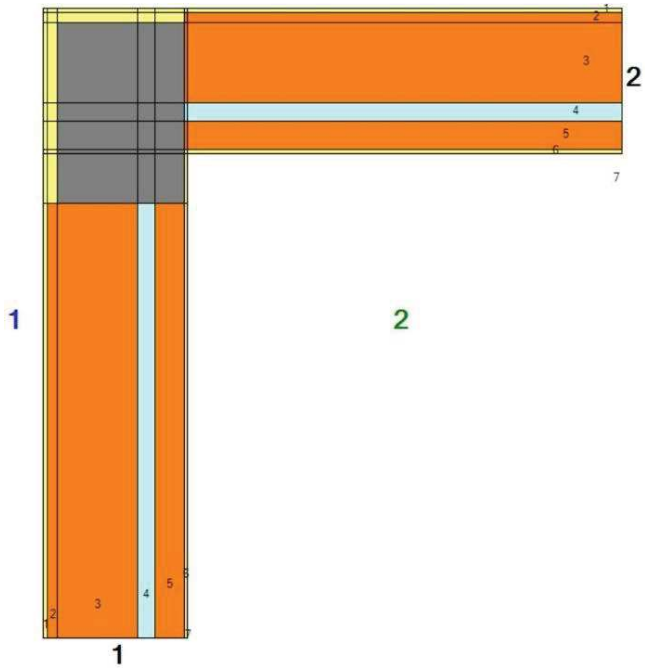


Figura 3.75: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

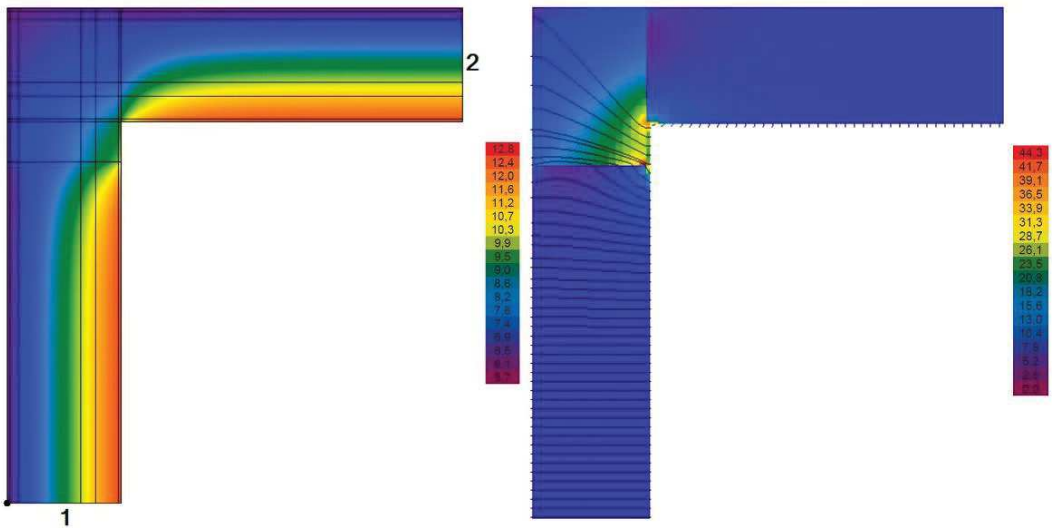


Figura 3.76: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete esterna con pilastro (riscaldato)

	attraverso parete	attraverso pilastro	totale
Flusso interno [W]	22,633	22,633	45,266
Flusso esterno [W]	22,633	22,633	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,161

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	1,062
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	1,062

Figura 3.77: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

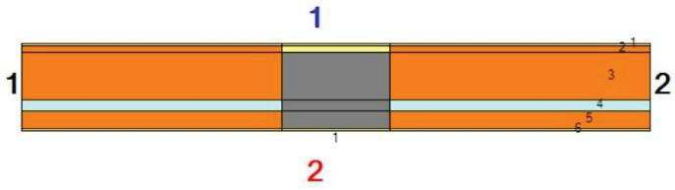


Figura 3.78: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

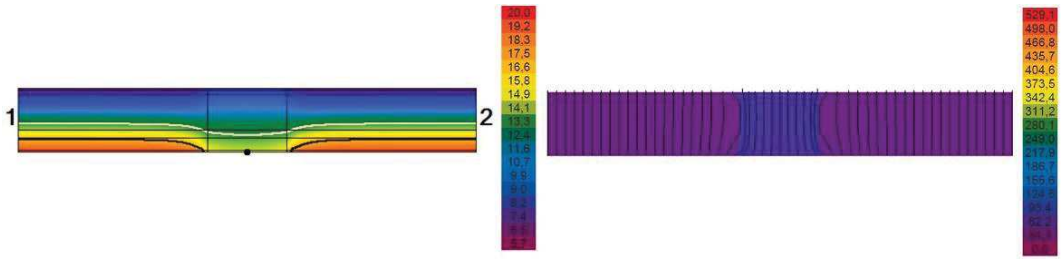


Figura 3.79: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete esterna con pilastro (non riscaldato)

	attraverso parete	attraverso pilastro	totale
Flusso interno [W]	-11,316	-11,316	-22,633
Flusso esterno [W]	-11,316	-11,316	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,161

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	1,062
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	1,062

Figura 3.80: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

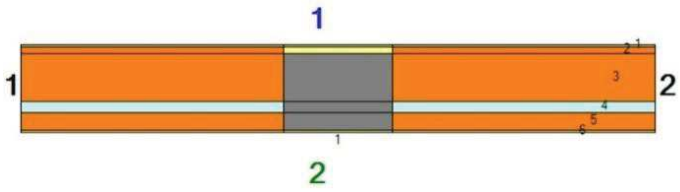


Figura 3.81: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

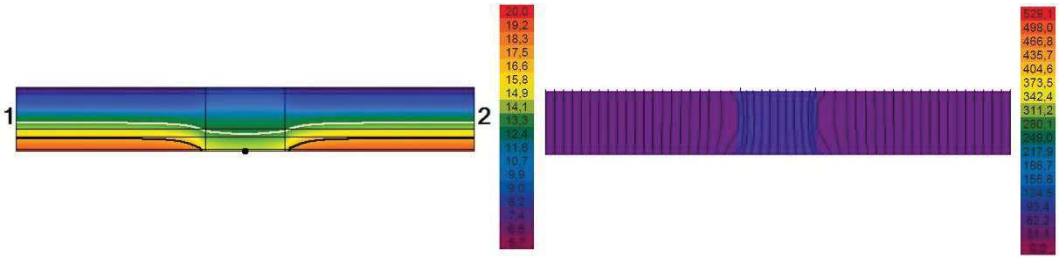


Figura 3.82: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete interna verso il garage

	attraverso parete	attraverso pilastro	totale
Flusso interno [W]	12,270	12,270	24,541
Flusso esterno [W]	12,270	12,270	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,427

	Ψ totale
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,910
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,910

Figura 3.83: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

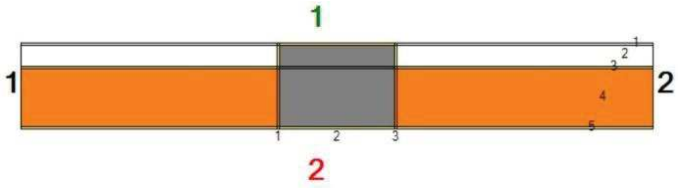


Figura 3.84: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

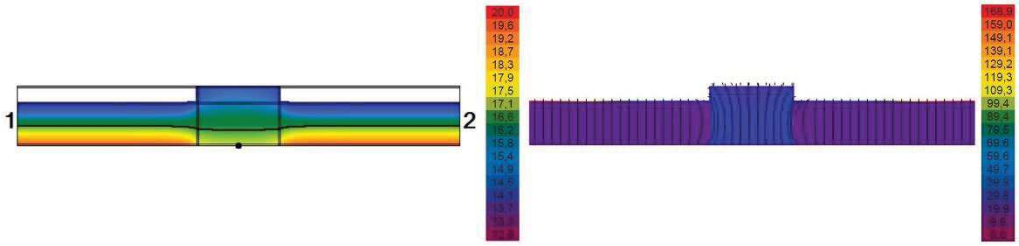


Figura 3.85: Stratigrafia temperature e flussi termici

Parete interna ed esterna con pilastro

	attraverso parete interna	attraverso parete esterna	totale
Flusso interno [W]	30,121	15,179	45,301
Flusso esterno [W]	30,680	14,621	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			3,163

	Ψ totale	attraverso parete interna	attraverso parete esterna
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	1,173	1,253	-0,080
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	1,102	1,257	-0,155

Figura 3.86: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

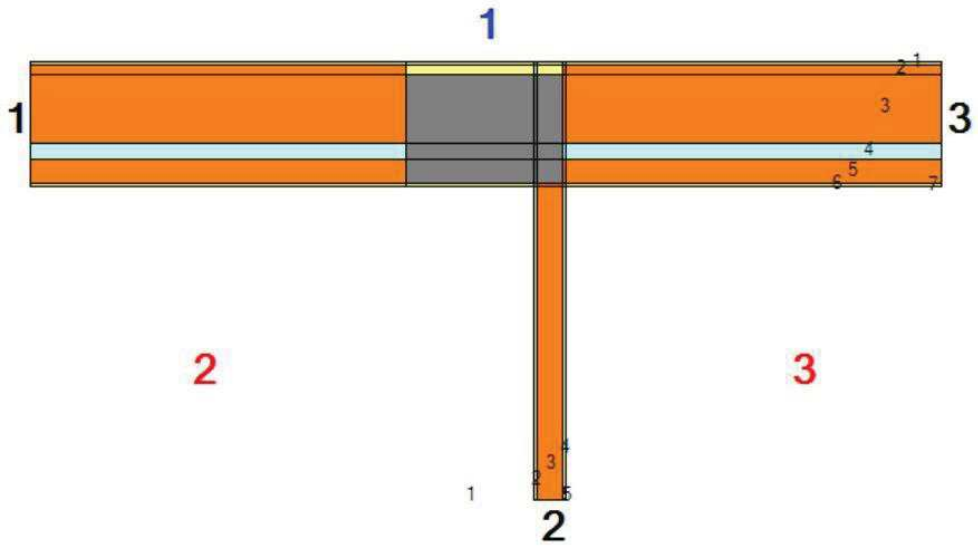


Figura 3.87: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

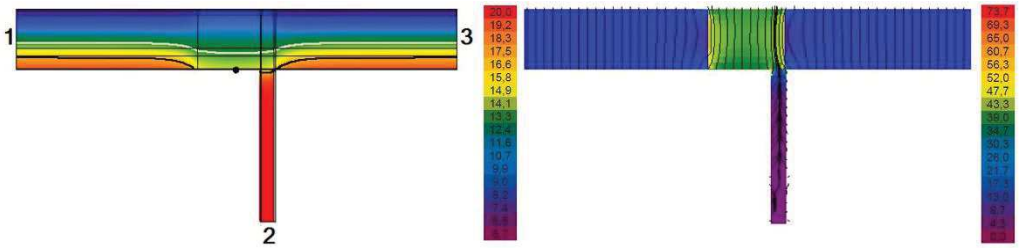


Figura 3.88: Stratigrafia temperature e flussi termici

Solaio interpiano e parete esterna

	attraverso parete 1	attraverso parete 2	totale
Flusso interno [W]	19,037	16,946	35,983
Flusso esterno [W]	18,055	17,927	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			2,513

	Ψ totale	attraverso parete 1	attraverso parete 2
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,776	0,461	0,315
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,537	0,273	0,264

Figura 3.89: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

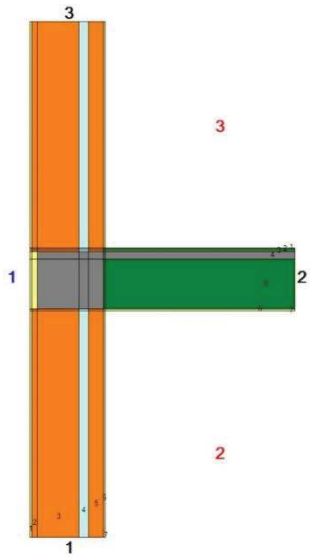


Figura 3.90: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

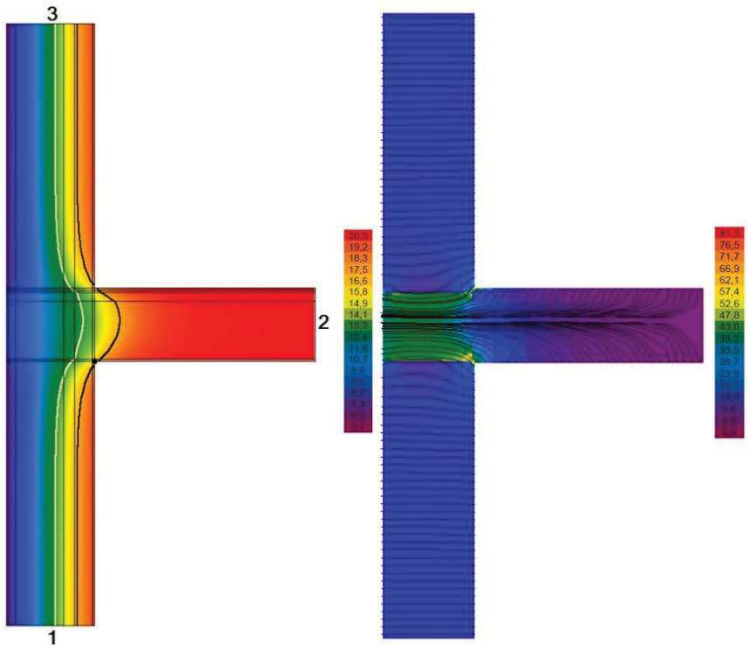


Figura 3.91: Stratigrafia temperature e flussi termici

Solaio sottotetto e parete esterna

	attraverso parete	attraverso solaio	totale
Flusso interno [W]	14,532	13,762	28,294
Flusso esterno [W]	20,559	7,734	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			1,976

	Ψ totale	attraverso parete	attraverso solaio
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,446	0,146	0,300
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	-0,049	0,336	-0,385

Figura 3.92: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

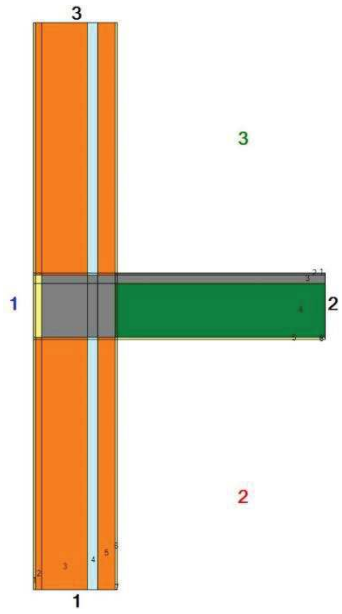


Figura 3.93: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

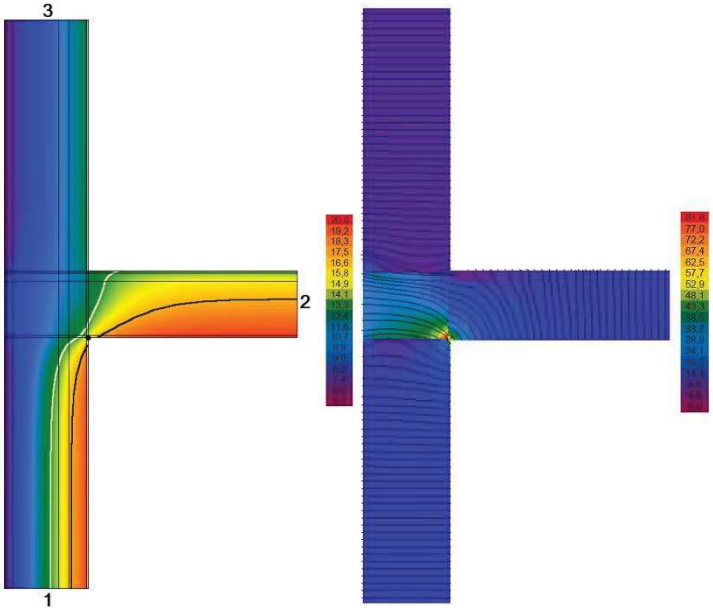


Figura 3.94: Stratigrafia temperature e flussi termici

Terrazza/Garage/Interno

	attraverso parete	attraverso solaio	totale
Flusso interno [W]	11,890	14,805	26,695
Flusso esterno [W]	12,862	13,832	
Coefficiente di accoppiamento L_{2D} [W/m K]			1,864

	Ψ totale	attraverso parete	attraverso solaio
Trasmittanza lineare interna [W/m K]	0,445	0,279	0,165
Trasmittanza lineare esterna [W/m K]	0,243	0,269	-0,026

Figura 3.95: Trasmittanze termiche lineari

- Stratigrafia

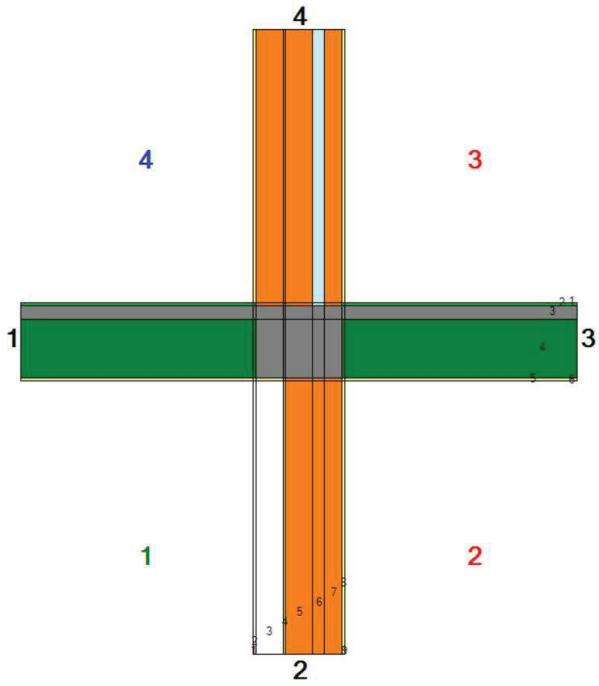


Figura 3.96: Stratigrafia materiali

- Temperatura e flusso

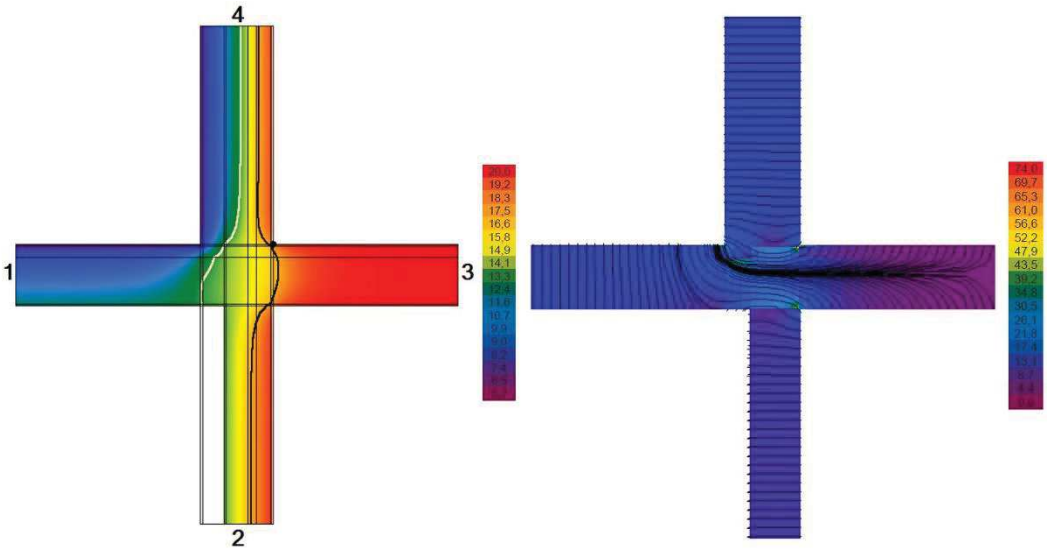


Figura 3.97: Stratigrafia temperature e flussi termici

Confronto risulati

Dal confronto dei risultati del calcolo dei ponti termici nei due casi (edificio anni '80 e anni 2000) possiamo verificare quanto siano differenti i valori.

	Descrizione	Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]	
		Anni '80	Anni 2000
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	0,609	0,770
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-0,366	0,191
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	0,813	1,062
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	0,813	1,062
5	Parete interna verso il garage	0,366	0,910
6	Parete interna ed esterna con pilastro	0,929	1,173
7	Solaio interpiano e parete esterna	0,795	0,776
8	Solaio sottotetto e parete esterna	0,384	0,446
9	Solaio controterra (riscaldato)	-0,190	-0,387
10	Solaio controterra (garage)	-0,190	-0,387
11	Terrazza/Garage/Interno	0,587	0,445

Tabella 18: Confronto delle trasmittanze lineari

3.5 Individuazione degli interventi

Alla luce dei risultati ottenuti per le due categorie di edificio unifamiliare vogliamo vedere come variano le prestazioni energetiche del nostro edificio con diversi tipi di intervento di riqualificazione energetica.

Per raggiungere l'obiettivo del risparmio energetico ed economico e per raggiungere gli standard normativi previsti per l'accesso agli incentivi, si adottano delle misure di efficienza energetica che riguardano l'ottimizzazione sia dei componenti che compongono l'involucro edilizio ed i serramenti sia dell'impianto termico, ipotizzando di effettuare una riqualificazione globale dell'edificio, ovvero una "ristrutturazione importante di secondo livello" in ottemperanza al D.M. 26 giugno 2015.

L'obiettivo si concretizza effettuando l'analisi delle incidenze dei singoli interventi fino alla combinazione di più tipologie di soluzioni che evidenzieranno l'utilità di pensare ad un intervento globale piuttosto che locale.

Nello specifico verranno fatti i seguenti interventi singoli:

- Posa in opera del solo isolamento a cappotto (2 tipologie di cappotto in lana minerale ed XPS, con e senza il risvolto sugli infissi);
- Sostituzione degli infissi con altri più prestanti (3 tipologie);
- Sostituzione della caldaia tradizionale autonoma con una caldaia a condensazione autonoma.

Dopo aver analizzato singolarmente questi interventi, applicati alle due tipologie di edificio soggetti di studio, si passerà all'analisi delle combinazioni di più interventi:

- Cappotto + Caldaia a condensazione;
- Cappotto + Infisso nuovo;
- Caldaia a condensazione + infisso nuovo;
- Cappotto + Caldaia a condensazione + Infisso nuovo.

L'efficacia degli interventi ed in particolare dello spessore del cappotto saranno ritenuti adeguati in base al superamente delle verifiche sulle trasmittanze delle strutture ($< 0{,}320\ W/m^2K$) e delle finestre ($< 1{,}800\ W/m^2K$) dell'edificio, sul coefficiente medio globale di scambio termico H'T ($< 0{,}68\ W/m^2K$), sul fattore di trasmissione solare ($< 0{,}35$), sull'efficienza dell'impianto di riscaldamento ($> 0{,}7329$) e sul rendimento termico utile ($> 92{,}7\%$) richieste per la certificazione alla *Legge 10*.

Viene quindi provata la corrispondenza degli interventi di riqualificazione adottati alla richiesta di utilizzo dell'incentivo fiscale Superecobonus 110%, anche in questo caso

attestato tramite il superamento di alcune verifiche essenziali sulle trasmittanze di strutture ($< 0{,}260\ W/m^2K$) e finestre ($< 1{,}670\ W/m^2K$), sul salto di almeno 2 classi energetiche dell'edificio e sulla superficie disperdente opaca oggetto di intervento ($> 25{,}0\%$), unite al superamento delle verifiche per la Legge 10.

4 ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

In questo paragrafo andiamo a descrivere ed analizzare le performance energetiche di consumo dell'edificio nell'ipotesi di intervento sull'involucro e sull'impianto di riscaldamento e produzione di ACS, e di verificare se ottimizzando queste caratteristiche verranno soddisfatti i requisiti minimi di prestazione energetica dettati dalla Legge 10 ed i requisiti per l'accesso all'incentivo Superbonus 110%.

4.1 Interventi singoli

Analizziamo qui singolarmente ogni tipo di intervento che andiamo ad utilizzare per la riqualificazione energetica del nostro edificio, vedendo in che misura migliora le prestazioni dell'abitazione e se singolarmente riescono a superare le verifiche richieste dalla legge 10 e per il superbonus 110%.

4.1.1 Isolamento dell'involucro

Come prima soluzione sono stati ipotizzati alcuni interventi di miglioramento delle prestazioni termiche delle superfici opache verticali ed orizzontali limitanti gli ambienti riscaldati; l'isolamento termico non ha come unico obiettivo quello della riduzione dei consumi energetici, ma anche quello della conservazione del benessere e del comfort all'interno dell'abitazione.

Per le superfici opache verticali è stato scelto di utilizzare un cappotto con pannelli di materiale isolante in lana minerale provvisto di certificazione **CAM** come richiesto dalla normativa per la fruizione dell'incentivo Superbonus 110%, con un valore di conducibilità termica molto basso ($\boldsymbol{\lambda_D = 0,032\ W/mK}$), che garantisce degli ottimi

valori di assorbimento acustico ($\boldsymbol{a_w = 0,90 \div 1,00}$) e sicurezza in caso di incendio (**incombustibile – A1**); lo spessore dipende dalla trasmittanza della parete esistente e dai limiti di trasmittanza che si devono raggiungere secondo la normativa. All'interno di questa tipologia di intervento distinguiamo due soluzioni, una in cui viene semplicemente applicato lo strato di isolamento all'esterno delle pareti sopra l'intonaco esistente, senza alcuna attenzione per le finestre, un'altra nella quale viene effettuato il risvolto dell'isolante fino al telaio dell'infisso in modo da correggere i ponti termici dovuti alle finestre.

Per la superficie opaca orizzontale invece si è scelto di utilizzare un isolante in pannelli di polistirene espanso estruso monostrato XPS anche questo provvisto di certificazione CAM come richiesto dalla normativa Superbonus 110%, impiegato in questo caso perché garantisce alta resistenza a compressione ($\geq \boldsymbol{300\ kPa}$), ha un basso assorbimento d'acqua ($< \boldsymbol{3}\ \%$), ottima resistenza alla deformazione sotto carichi permanenti ($\geq \boldsymbol{130\ kPa}$), oltre ovviamente ad un'ottimo valore di conducibilità termica ($\boldsymbol{\lambda_D = 0,035\ W/mK}$); anche in questo caso lo spessore del pannello di XPS dipende dalla trasmittanza della superficie opaca orizzontale esistente e dai limiti di trasmittanza che devono essere rispettati secondo la normativa.

Andiamo quindi ad analizzare e confrontare i risultati nei due casi, per l'edificio anni '80 e anni 2000.

4.1.1.1 Senza risvolto

Edificio anni '80

In questo tipo di intevento, con isolamento da 10 cm di spessore, vediamo che l'edificio non soddisfa la verifica alla Legge 10 sulle trasmittanze, a causa della parete esterna e

della parete interna verso il garage che presentano dei valori di trasmittanza superiori al limite (0,320 W/m^2K), evidentemente a causa dei ponti termici non corretti.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,248	0,244	0,449	0,320	☐
Parete Interna A	0,266	0,244	0,449	0,320	☐

Figura 4.1: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le altre richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	178,4	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	195,4	kWh/m²	0,6951	0,7951	---	D

Figura 4.2: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	3.596,5	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	187,8	38,1	4.407,6	5.343,5	6.078,9	15,2	6.094,0
Febbraio	3.157,3	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	312,2	68,0	3.723,2	4.622,3	5.264,3	13,3	5.277,7
Marzo	2.452,1	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	452,9	113,2	2.605,1	3.435,8	3.947,6	11,6	3.959,2
Aprile	830,4	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	282,8	74,0	735,8	1.071,7	1.240,6	4,5	1.245,1
Novembre	2.317,0	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	295,4	61,6	2.558,5	3.289,0	3.779,8	11,2	3.791,0
Dicembre	3.125,9	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	217,1	44,0	3.733,9	4.594,4	5.246,4	13,8	5.260,1
	15.479,2	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.748,4	399,0	17.764,2	22.356,7	25.557,6	69,6	25.627,2

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.3:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	166,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
	1.937,6	2.170,0	2.436,7	1,8	2.438,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.4: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente le verifiche per le detrazioni fiscali vengono superate.



Figura 4.5: Verifica per la certificazione

Elenchiamo infine i ponti termici dovuti a questo tipo di intervento.

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	12,563	12,563	0,188	-0,063	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-6,282	-6,282	-0,063	0,188	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	11,614	11,614	0,023	0,023	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-5,807	-5,807	0,023	0,023	0
5	Parete interna verso il garage	6,284	6,284	0,013	0,013	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	11,645	11,645	0,048	0,023	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	10,944	10,944	0,095	0,013	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	10,692	10,692	0,266	0,086	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-19,917	-19,917	-0,410	-0,986	16,7
10	Terrazza/Garage/interno	14,819	14,819	0,563	0,498	16,7
11	Spalla serramento (riscaldato)	49,863	49,863	0,326	0,326	16,7
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	57,445	57,445	0,362	0,362	16,7
13	Davanzale serramento (riscaldato)	61,554	61,544	0,770	0,770	16,7

Tabella 19: Valori ponti termici

<u>Edificio anni 2000</u>

In questo caso, con isolamento da 10 cm di spessore, vediamo che l'edificio soddisfa la verifica alla Legge 10 per le trasmittanze, pur non essendoci la correzione del ponti termici sulle finestre.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,217	0,214	0,296	0,320	☑
Parete Interna A	0,231	0,214	0,296	0,320	☑
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,356	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento)	1,236	1,236	1,236	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,265	0,185	0,185	0,260	☑

Figura 4.6: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 vengono tutte rispettate, questo non vale per la verifica alle detrazioni.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	138,1	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	155,1	kWh/m²	0,6725	0,7951	---	D

Figura 4.7: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.547,9	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	181,9	29,2	3.364,9	4.152,4	4.752,5	13,0	4.765,5
Febbraio	2.234,5	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	300,9	52,1	2.811,6	3.573,9	4.095,7	11,4	4.107,1
Marzo	1.732,0	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	435,9	86,2	1.903,8	2.612,4	3.022,8	10,1	3.032,9
Aprile	584,7	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	273,4	56,0	504,8	785,2	916,7	4,0	920,7
Novembre	1.638,3	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	284,1	47,5	1.891,7	2.514,5	2.909,8	9,7	2.919,6
Dicembre	2.213,5	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	208,6	34,0	2.829,9	3.557,7	4.088,2	11,8	4.100,0
	10.950,9	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.684,8	305,0	13.306,6	17.196,1	19.785,8	59,9	19.845,7

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.8:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	166,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
	1.937,6	2.170,0	2.436,7	1,8	2.438,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.9: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente la verifica per le detrazioni fiscali non vengono superate, in particolare non viene effettuato il salto di due classi energetiche dell'edificio.



Figura 4.10: Verifica per la certificazione

Elenchiamo ora i ponti termici dovuti a questo tipo di intervento.

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	11,407	11,407	0,194	-0,027	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-5,704	-5,704	-0,027	0,194	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	10,501	10,501	0,044	0,044	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-5,250	-5,250	0,044	0,044	0
5	Parete interna verso il garage	6,018	6,018	0,032	0,032	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	10,527	10,527	0,065	0,044	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	9,837	9,837	0,100	0,027	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	9,075	9,075	0,200	0,038	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-16,990	-16,990	-0,420	-0,934	16,7
10	Terrazza/Garage/interno	11,948	11,948	0,418	0,362	16,7
11	Spalla serramento (riscaldato)	45,577	45,577	0,044	0,044	16,7
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	55,753	55,753	0,239	0,239	16,7
13	Davanzale serramento (riscaldato)	56,475	56,475	0,419	0,419	16,7

Tabella 20: Valori ponti termici

Confronto risulati

Dal confronto dei risultati del calcolo dei ponti termici nei due casi (edificio anni '80 e anni 2000) possiamo verificare quanto siano differenti i valori.

	Descrizione	Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]	
		Anni '80	Anni 2000
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	0,188	0,194
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-0,063	-0,027
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	0,023	0,044
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	0,023	0,044
5	Parete interna verso il garage	0,013	0,032
6	Parete interna ed esterna con pilastro	0,048	0,065
7	Solaio interpiano e parete esterna	0,095	0,100
8	Solaio sottotetto e parete esterna	0,266	0,200
9	Solaio controterra (riscaldato)	-0,410	-0,420
10	Terrazza/Garage/Interno	0,563	0,418
11	Spalla serramento (riscaldato)	0,326	0,044
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	0,362	0,239
13	Davanzale serramento (riscaldato)	0,770	0,419

Tabella 21: Confronto delle trasmittanze lineari

4.1.1.2 Con risvolto

Edificio anni '80

In questo tipo di intevento, con isolamento da 10 cm di spessore, vediamo che l'edificio soddisfa sia la verifica alla Legge 10 sulle trasmittanze delle strutture, grazie alla correzione dei ponti termici sulle finestre, sia la verifica per le detrazioni fiscali.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,248	0,244	0,306	0,320	☑
Parete Interna A	0,266	0,244	0,306	0,320	☑
Solaio Controterra	2,033	2,033	1,956	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,873	1,873	1,873	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,287	0,201	0,201	0,260	☑

Figura 4.11: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le altre richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni vengono tutte rispettate.

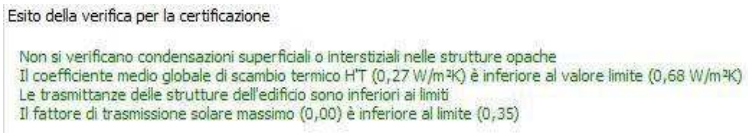


Figura 4.12: Verifica legge 10

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	170,2	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	187,2	kWh/m²	0,6901	0,7951	---	D

Figura 4.13: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	3.388,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	192,7	38,1	4.194,5	5.104,2	5.812,4	14,7	5.827,1
Febbraio	2.973,7	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	321,0	68,0	3.531,0	4.408,4	5.025,9	12,9	5.038,8
Marzo	2.308,6	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	463,9	113,2	2.451,8	3.264,4	3.755,2	11,3	3.766,5
Aprile	781,0	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	288,8	74,0	682,5	1.009,8	1.170,7	4,4	1.175,0
Novembre	2.184,4	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	304,1	61,6	2.417,7	3.132,3	3.603,8	10,9	3.614,7
Dicembre	2.945,1	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	223,6	44,1	3.546,8	4.385,2	5.012,7	13,4	5.026,1
	14.581,1	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.794,1	399,0	16.824,3	21.304,4	24.380,6	67,6	24.448,3

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.14:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	166,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
	1.937,6	2.170,0	2.436,7	1,8	2.438,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.15: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente le verifiche per le detrazioni fiscali vengono superate.



Figura 4.16: Verifica per la certificazione

Elenchiamo infine i ponti termici dovuti a questo tipo di intervento.

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	12,563	12,563	0,188	-0,063	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-6,282	-6,282	-0,063	0,188	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	11,614	11,614	0,023	0,023	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-5,807	-5,807	0,023	0,023	0
5	Parete interna verso il garage	6,284	6,284	0,013	0,013	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	11,645	11,645	0,048	0,023	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	10,944	10,944	0,095	0,013	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	10,692	10,692	0,266	0,086	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-19,917	-19,917	-0,410	-0,986	16,7
10	Terrazza/Garage/interno	14,819	14,819	0,563	0,498	16,7
11	Spalla serramento (riscaldato)	44,825	44,825	-0,064	-0,064	16,7
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	54,979	54,979	0,171	0,171	16,7
13	Davanzale serramento (riscaldato)	61,554	61,544	0,770	0,770	16,7

Tabella 22: Valori ponti termici

<u>Edificio anni 2000</u>

Nel caso dell'edificio anni 2000 è sufficiente uno spessore di isolamento di 8 cm per superare le verifiche alla legge 10 sulle trasmittanze, ma come vedremo non viene superata la verifica sul salto di due classi energetica per le detrazioni fiscali.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,252	0,248	0,281	0,320	☑
Parete Interna A	0,270	0,248	0,281	0,320	☑
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,361	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,265	0,185	0,185	0,260	☑

Figura 4.17: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le altre richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni vengono tutte rispettate.

Esito della verifica per la certificazione

Non si verificano condensazioni superficiali o interstiziali nelle strutture opache
Il coefficiente medio globale di scambio termico H'T (0,25 W/m²K) è inferiore al valore limite (0,68 W/m²K)
Le trasmittanze delle strutture dell'edificio sono inferiori ai limiti
Il fattore di trasmissione solare massimo (0,00) è inferiore al limite (0,35)

Figura 4.18: Verifica legge 10

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	137,3	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	154,3	kWh/m²	0,6710	0,7951	---	D

Figura 4.19: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.533,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	186,4	31,6	3.345,7	4.133,5	4.731,4	12,9	4.744,4
Febbraio	2.220,0	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	309,0	56,5	2.789,3	3.553,1	4.072,6	11,3	4.083,9
Marzo	1.718,7	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	446,0	93,0	1.881,4	2.591,2	2.999,0	10,0	3.009,0
Aprile	578,9	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	279,1	60,3	495,1	774,8	904,9	3,9	908,8
Novembre	1.628,5	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	292,1	51,5	1.874,5	2.498,8	2.892,2	9,7	2.901,9
Dicembre	2.200,4	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	214,5	36,9	2.811,1	3.539,7	4.068,1	11,8	4.079,9
	10.879,7	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.727,1	329,8	13.197,0	17.091,2	19.668,2	59,7	19.727,9

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.20:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	166,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
	1.937,6	2.170,0	2.436,7	1,8	2.438,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.21: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente non viene effettuato il salto di due clasi energetiche.



Figura 4.22: Verifica per la certificazione

Elenchiamo infine i ponti termici dovuti a questo tipo di intervento.

	Descrizione	Flussi [W]		Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]		Temperatura superficiale minima [°C]
		Interno	Esterno	Interno	Esterno	Evitare muffe
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	12,796	12,796	0,224	-0,021	16,7
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-6,398	-6,398	-0,021	0,224	0
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	11,878	11,878	0,060	0,060	16,7
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	-5,939	-5,939	0,060	0,060	0
5	Parete interna verso il garage	6,085	6,085	0,063	0,063	16,7
6	Parete interna ed esterna con pilastro	11,908	11,908	0,085	0,060	16,7
7	Solaio interpiano e parete esterna	11,060	11,060	0,122	0,037	16,7
8	Solaio sottotetto e parete esterna	9,967	9,967	0,211	0,030	16,7
9	Solaio controterra (riscaldato)	-17,417	-17,417	-0,385	-0,892	16,7
10	Terrazza/Garage/interno	12,515	12,515	0,404	0,338	16,7
11	Spalla serramento (riscaldato)	43,924	43,924	-0,125	-0,125	16,7
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	54,377	54,377	0,133	0,133	16,7
13	Davanzale serramento (riscaldato)	56,707	56,707	0,406	0,406	16,7

Tabella 23: Valori ponti termici

Confronto risulati

Dal confronto dei risultati del calcolo dei ponti termici nei due casi (edificio anni '80 e anni 2000) possiamo verificare quanto siano differenti i valori.

	Descrizione	Trasmittanze lineari Ψ [W/mK]	
		Anni '80	Anni 2000
1	Angolo parete esterna (riscaldato)	0,188	0,224
2	Angolo parete esterna (non riscaldato)	-0,063	-0,021
3	Parete esterna con pilastro (riscaldato)	0,023	0,060
4	Parete esterna con pilastro (non riscaldato)	0,023	0,060
5	Parete interna verso il garage	0,013	0,063
6	Parete interna ed esterna con pilastro	0,048	0,085
7	Solaio interpiano e parete esterna	0,095	0,122
8	Solaio sottotetto e parete esterna	0,266	0,211
9	Solaio controterra (riscaldato)	-0,410	-0,385
10	Terrazza/Garage/Interno	0,563	0,404
11	Spalla serramento (riscaldato)	-0,064	-0,125
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	0,171	0,133
13	Davanzale serramento (riscaldato)	0,770	0,406

Tabella 24: Confronto delle trasmittanze lineari

Confronto ultimo

Infine mettiamo a confronto i risultati di calcolo delle trasmittanze termiche interne nei due casi con e senza risvolto, per edificio anni '80 e 2000, in modo da evidenziare quanto influisca la correzione dei ponti termici.

	Descrizione	Trasmittanze lineari Ψ senza risvolto [W/mK]		Trasmittanze lineari Ψ con risvolto [W/mK]	
		Anni '80	Anni 2000	Anni '80	Anni 2000
11	Spalla serramento (riscaldato)	0,326	0,044	-0,064	-0,125
12	Cassonetto serramento (riscaldato)	0,362	0,239	0,171	0,133
13	Davanzale serramento (riscaldato)	0,770	0,406	0,770	0,406

Tabella 25: Confronto delle trasmittanze lineari

4.1.2 Sostituzione infissi

Il secondo tipo di soluzione adottata prevede la sostituzione degli infissi dei locali riscaldati dell'abitazione, in modo tale da avere un miglioramento riguardo alla resistenza alla dispersione termica; anche qui questo tipo di intervento non ha come unico obiettivo quello della riduzione dei consumi energetici, ma anche quello della conservazione del benessere e del comfort all'interno dell'abitazione.

Si è scelto di sostituire le vecchie finestre, costituite da vetrate doppie con una trasmittanza di $3{,}6\ \mathrm{W/m^2K}$ e telaio di legno duro con 50 mm di spessore da $2{,}2\ \mathrm{W/m^2K}$, per una trasmittanza complessiva del corpo finestra di $\mathbf{3{,}456\ W/m^2K}$, con delle nuove finestre più performanti aventi vetro doppio con trasmittanza di $1{,}1\ \mathrm{W/m^2K}$, telaio in legno tenero da 90 mm con trasmittanza da $1{,}3\ \mathrm{W/m^2K}$, per una trasmittanza complessiva del corpo finestra di $\mathbf{1{,}34\ W/m^2K}$, sufficiente a rientrare nei limiti di verifica delle trasmittanze per i corpi finestra richiesta per le detrazioni fiscali e la legge 10.

Nella sostituzione dell'infisso anche il cassonetto della tapparella verrà sostituito ed isolato in modo da abbattere il ponte termico.

Andiamo quindi ad analizzare e confrontare i risultati nella sostituzione degli infissi per edificio anni '80 ed anni 2000, anticipando comunque che non essendo un intervento di tipo trainante non potrà essere usato singolarmente per usufruire delle detrazioni fiscali da superbonus 110%.

Edificio anni '80

In questo tipo di intevento vediamo che l'edificio non soddisfa la verifica alla Legge 10 sul coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$ perché superiore al valore limite di $0{,}68\ W/m^2K$.

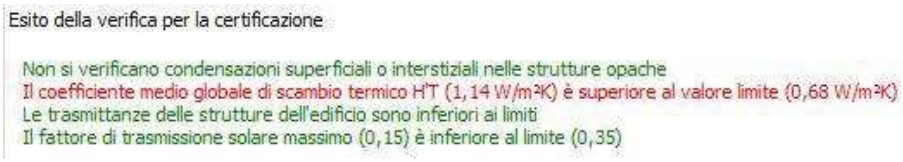


Figura 4.23: Esito verifica legge 10

Possiamo poi vedere che vengono rispettati invece i limiti imposti dalla legge 10 riguardo i valori di trasmittanza delle finestre.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Terrazza	1,759	1,759	1,759	---	☐
Solaio Controterra	2,033	2,033	1,993	---	☐
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,873	1,873	1,873	---	☐
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑
Finestra F2 (riscaldato) (infisso nuovo)	1,175	1,340	---	1,800	☑
Finestra F2 (non riscaldato) (infisso vecchio)	2,864	3,456	---	---	☐
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.24: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che la classe energetica dell'edificio che ha subito l'intervento non si scosta dalla condizione iniziale.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	278,8	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	295,8	kWh/m²	0,6888	0,7951	---	F

Figura 4.25: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	5.713,8	1.357,4	334,8	0,0	0,0	0,0	97,0	114,5	6.641,2	8.392,2	9.410,0	15,2	9.425,2
Febbraio	4.971,3	1.197,5	302,4	0,0	0,0	0,0	161,2	203,3	5.708,2	7.278,9	8.170,5	13,8	8.184,2
Marzo	3.796,1	936,1	334,8	0,0	0,0	0,0	235,1	325,5	4.171,0	5.473,8	6.230,3	15,2	6.245,6
Aprile	1.248,7	322,8	162,0	0,0	0,0	0,0	146,7	207,0	1.273,9	1.754,3	2.011,3	5,8	2.017,1
Novembre	3.634,3	865,2	324,0	0,0	0,0	0,0	152,6	188,5	4.028,6	5.237,1	5.964,0	14,7	5.978,7
Dicembre	4.948,7	1.178,3	334,8	0,0	0,0	0,0	112,4	136,4	5.682,6	7.234,8	8.146,9	15,2	8.162,1
	24.312,9	5.857,3	1.792,8	0,0	0,0	0,0	905,1	1.175,2	27.505,4	35.371,1	39.933,0	79,9	40.012,9

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.26:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Febbraio	148,6	166,5	186,9	0,1	187,1
Marzo	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Aprile	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Maggio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Giugno	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Luglio	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Agosto	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Settembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Ottobre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
Novembre	159,3	178,4	200,3	0,2	200,4
Dicembre	164,6	184,3	207,0	0,2	207,1
	1.937,6	2.170,0	2.436,7	1,8	2.438,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.27: Fabbisogno energetico per ACS

Come anticipato questo è un intervento non trainante, quindi non si potrà usufruire delle detrazioni fiscali date dal superbonus 110%, sarebbe quindi superfluo effettuarne la verifica.

Si potrà invece utilizzare, in cambio del superbonus 110% per la semplice sostituzione degli infissi, la detrazione per cessione del credito al 50%.

Edificio anni 2000

Anche in questo caso vediamo che l'edificio non soddisfa la verifica alla Legge 10 sul coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$ perché superiore al valore limite di $0{,}68\ W/m^2K$.

Possiamo poi vedere che vengono rispettati invece i limiti imposti dalla legge 10 riguardo i valori di trasmittanza delle finestre.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Terrazza	1,185	1,185	1,185	---	☐
Solaio Controterra	0,602	0,602	0,553	---	☐
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	☐
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,104	1,270	---	1,800	☑
Finestra F2 (infisso nuovo)(riscaldato)	1,157	1,340	---	1,800	☑
Finestra F2 (infisso vecchio)(non riscaldato)	1,794	2,024	---	---	☐
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,104	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.28: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che la classe energetica dell'edificio che ha subito l'intervento non si scosta dalla condizione iniziale.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	153,6	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0	169,9	kWh/m²	0,7992	0,8264	---	D

Figura 4.29: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	3.378,1	1.357,4	334,8	0,0	0,0	0,0	97,0	68,2	4.305,3	5.370,3	5.245,3	15,2	5.260,5
Febbraio	2.939,9	1.197,5	302,4	0,0	0,0	0,0	161,2	121,2	3.676,6	4.649,4	4.541,4	13,4	4.554,8
Marzo	2.246,8	936,1	334,8	0,0	0,0	0,0	235,1	194,5	2.622,6	3.464,3	3.387,1	11,7	3.398,8
Aprile	739,9	322,8	162,0	0,0	0,0	0,0	146,7	123,8	767,5	1.090,1	1.067,6	4,5	1.072,1
Novembre	2.152,6	865,2	324,0	0,0	0,0	0,0	152,6	112,3	2.547,2	3.317,3	3.243,5	11,2	3.254,8
Dicembre	2.926,7	1.178,3	334,8	0,0	0,0	0,0	112,4	81,2	3.660,4	4.618,1	4.511,9	13,8	4.525,7
	14.384,0	5.857,3	1.792,8	0,0	0,0	0,0	905,1	701,1	17.579,7	22.509,6	21.996,8	69,9	22.066,7

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.30:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Febbraio	148,6	166,5	179,9	0,1	180,0
Marzo	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Aprile	159,3	178,4	192,7	0,2	192,9
Maggio	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Giugno	159,3	178,4	192,7	0,2	192,9
Luglio	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Agosto	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Settembre	159,3	178,4	192,7	0,2	192,9
Ottobre	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
Novembre	159,3	178,4	192,7	0,2	192,9
Dicembre	164,6	184,3	199,1	0,2	199,3
	1.937,6	2.170,0	2.344,6	1,8	2.346,4

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.31: Fabbisogno energetico per ACS

Come anticipato questo è un intervento non trainante, quindi non si potrà usufruire delle detrazioni fiscali date dal superbonus 110%, sarebbe quindi superfluo effettuarne la verifica.

Si potrà invece utilizzare, in cambio del superbonus 110% per la semplice sostituzione degli infissi, la detrazione per cessione del credito al 50%.

4.1.3 Sostituzione caldaia

Il terzo tipo di soluzione adottata prevede la sostituzione della caldaia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, in modo tale da avere una maggiore efficienza e quindi una minor dispersione energetica nell'utilizzo

dell'abitazione; ovviamento anche questo tipo di intervento non ha come unico obiettivo quello della riduzione dei consumi energetici, ma anche quello della conservazione del benessere e del comfort all'interno dell'abitazione.

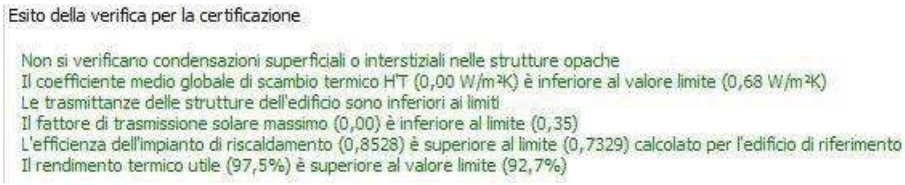
Si è scelto di sostituire la vecchia caldaia tradizionale, dotata di potenza al focolare nominale di 25 kW alimentata a combustibile metano fornita di bruciatore atmosferico ed un rendimento termico del 93,8%, con una caldaia a condensazione, dotata di potenza al focolare nominale di 22 kW alimentata a combustibile metano fornita di bruciatore ad aria soffiata e con rendimento termico del 97,5%.

Nella sostituzione della caldaia si decide di lasciare l'impianto di distribuzione ed i terminali invariati, in modo da non ricadere in una ristrutturazione di primo livello.

Andiamo ora ad analizzare e confrontare i risultati nella sostituzione della caldaia per edificio anni '80 ed anni 2000, anticipando che questo tipo di intervento viene considerato trainante nel caso di un'abitazione monofamiliare, quindi potrà usufruire della detrazione fiscale data dal superbonus 110%.

Edificio anni '80

In questo tipo di intevento vediamo che l'edificio soddisfa le verifiche alla Legge 10, principalmente perché non vengono effettuati interventi sulle strutture dell'edificio.


Esito della verifica per la certificazione

Non si verificano condensazioni superficiali o interstiziali nelle strutture opache
Il coefficiente medio globale di scambio termico H'T (0,00 W/m²K) è inferiore al valore limite (0,68 W/m²K)
Le trasmittanze delle strutture dell'edificio sono inferiori ai limiti
Il fattore di trasmissione solare massimo (0,00) è inferiore al limite (0,35)
L'efficienza dell'impianto di riscaldamento (0,8528) è superiore al limite (0,7329) calcolato per l'edificio di riferimento
Il rendimento termico utile (97,5%) è superiore al valore limite (92,7%)

Figura 4.32: Esito verifica legge 10

Non è quindi necessario dover rispettare i limiti imposti dalla legge 10 riguardo i valori di trasmittanza di pareti esterne e finestre.

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che la classe energetica dell'edificio che ha subito l'intervento si alza solo di un livello rispetto alla condizione di partenza.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	241,1	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	257,7	kWh/m²	0,8567	0,8157	---	E

Figura 4.33: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	6.381,9	1.357,4	334,8	0,0	0,0	0,0	192,7	114,5	7.215,3	8.372,0	8.546,6	37,5	8.584,1
Febbraio	5.565,3	1.197,5	302,4	0,0	0,0	0,0	321,0	203,3	6.146,5	7.131,2	7.251,4	32,1	7.283,6
Marzo	4.271,1	936,1	334,8	0,0	0,0	0,0	463,9	325,5	4.430,1	5.135,9	5.073,8	24,3	5.098,1
Aprile	1.417,3	322,8	162,0	0,0	0,0	0,0	288,8	207,0	1.317,7	1.525,5	1.496,7	8,1	1.504,9
Novembre	4.075,2	865,2	324,0	0,0	0,0	0,0	304,1	188,5	4.324,6	5.013,7	4.956,1	23,7	4.979,8
Dicembre	5.532,3	1.178,3	334,8	0,0	0,0	0,0	223,6	136,4	6.157,5	7.142,9	7.215,2	32,5	7.247,7
	27.243,1	5.857,3	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.794,1	1.175,2	29.591,7	34.321,2	34.539,8	158,3	34.698,1

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.34:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Febbraio	148,6	166,5	182,2	0,7	182,9
Marzo	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Aprile	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Maggio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Giugno	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Luglio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Agosto	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Settembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Ottobre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Novembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Dicembre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
	1.937,6	2.170,0	2.375,5	9,3	2.384,8

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.35: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente in questo tipo di intervento non viene effettuato il salto di due classi energetiche, quindi non viene superata la verifica per le detrazioni fiscali e non si potrà usufruire del superbonus 110%; ma si potrà invece usufruire della detrazione del 65% per la sostituzione della caldaia.

Edificio anni 2000

Anche in questo tipo di intevento vediamo che l'edificio soddisfa le verifiche alla Legge 10, principalmente perché non vengono effettuati interventi sulle strutture dell'edificio. Non è quindi necessario dover rispettare i limiti imposti dalla legge 10 riguardo i valori di trasmittanza di pareti esterne e finestre.

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che la classe energetica dell'edificio che ha subito l'intervento non si discosta dal suo livello energetico di partenza.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	166,6	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	183,2	kWh/m²	0,8963	0,8157	---	D

Figura 4.36: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	4.436,1	1.357,4	334,8	0,0	0,0	0,0	186,4	68,2	5.275,7	5.925,2	5.948,0	27,5	5.975,5
Febbraio	3.875,0	1.197,5	302,4	0,0	0,0	0,0	309,0	121,2	4.468,2	5.017,6	5.012,1	23,5	5.035,6
Marzo	2.982,1	936,1	334,8	0,0	0,0	0,0	446,0	194,5	3.160,6	3.545,2	3.493,4	18,3	3.511,7
Aprile	995,3	322,8	162,0	0,0	0,0	0,0	279,1	123,8	909,4	1.017,9	1.002,2	6,2	1.008,4
Novembre	2.832,8	865,2	324,0	0,0	0,0	0,0	292,1	112,3	3.095,0	3.471,8	3.421,2	17,9	3.439,1
Dicembre	3.846,6	1.178,3	334,8	0,0	0,0	0,0	214,5	81,2	4.480,9	5.030,8	4.987,1	23,9	5.010,9
	18.967,8	5.857,3	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.727,1	701,1	21.389,8	24.008,6	23.863,9	117,3	23.981,2

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.37:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Febbraio	148,6	166,5	182,2	0,7	182,9
Marzo	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Aprile	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Maggio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Giugno	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Luglio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Agosto	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Settembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Ottobre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Novembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Dicembre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
	1.937,6	2.170,0	2.375,5	9,3	2.384,8

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.38: Fabbisogno energetico per ACS

Come detto precedentemente in questo tipo di intervento non viene effettuato il salto di due classi energetiche, quindi non viene superata la verifica per le detrazioni fiscali e non di potrà usufruire del superbonus 110%; ma si potrà invece usufruire della detrazione del 65% per la sostituzione della caldaia.

4.2 Interventi combinati

4.2.1 Cappotto + Caldaia

In questo caso andiamo ad applicare contemporaneamente due tipi di intervento analizzati singolarmente in precedenza, quello sull'involucro edilizio con il cappotto e quello per sostituzione della caldaia tradizionale con caldaia a condensazione.

Edificio anni '80

In questo tipo di intervento, con isolamento da 10 cm di spessore e sostituzione con caldaia a condensazione, vediamo che l'edificio supera sia le verifiche alla legge 10 e che quelle per le detrazioni fiscali.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,248	0,244	0,306	0,320	☑
Parete Interna A	0,266	0,244	0,306	0,320	☑
Solaio Controterra	2,033	2,033	1,956	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,873	1,873	1,873	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,287	0,201	0,201	0,260	☑

Figura 4.39: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni fiscali vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	125,5	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	142,0	kWh/m²	0,9362	0,8157	---	C

Figura 4.40: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	3.388,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	192,7	38,1	4.194,5	4.531,3	4.489,9	21,9	4.511,9
Febbraio	2.973,7	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	321,0	68,0	3.531,0	3.813,8	3.776,8	18,8	3.795,5
Marzo	2.308,6	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	463,9	113,2	2.451,8	2.644,1	2.612,4	15,0	2.627,4
Aprile	781,0	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	288,8	74,0	682,5	733,9	725,6	5,2	730,8
Novembre	2.184,4	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	304,1	61,6	2.417,7	2.607,6	2.576,4	14,7	2.591,1
Dicembre	2.945,1	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	223,6	44,1	3.546,8	3.829,9	3.790,1	19,4	3.809,4
	14.581,1	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.794,1	399,0	16.824,2	18.160,5	17.971,1	94,9	18.066,0

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.41:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Febbraio	148,6	166,5	182,2	0,7	182,9
Marzo	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Aprile	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Maggio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Giugno	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Luglio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Agosto	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Settembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Ottobre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Novembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Dicembre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
	1.937,6	2.170,0	2.375,5	9,3	2.384,8

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.42: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.



Figura 4.43: Verifica per la certificazione

<u>Edificio anni 2000</u>

In questo caso per superare le verifiche alla legge 10 e per le detrazioni fiscali sarà sufficiente un isolamento da 8 cm di spessore e la sostituzione della caldaia tradizionale con quella a condensazione.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,252	0,248	0,281	0,320	☑
Parete Interna A	0,270	0,248	0,281	0,320	☑
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,361	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,265	0,185	0,185	0,260	☑

Figura 4.44: Trasmittanza strutture

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni fiscali vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	98,6	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	115,2	kWh/m²	0,9343	0,8157	---	B

Figura 4.45: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.533,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	186,4	31,6	3.345,7	3.612,2	3.588,2	18,5	3.606,8
Febbraio	2.220,0	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	309,0	56,5	2.789,3	3.010,6	2.989,0	15,8	3.004,8
Marzo	1.718,7	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	446,0	93,0	1.881,4	2.026,5	2.008,9	12,7	2.021,6
Aprile	578,9	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	279,1	60,3	495,1	530,9	527,9	4,4	532,3
Novembre	1.628,5	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	292,1	51,5	1.874,5	2.019,4	2.001,8	12,5	2.014,3
Dicembre	2.200,4	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	214,5	36,9	2.811,1	3.033,2	3.009,8	16,4	3.026,2
	10.879,7	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	1.727,1	329,8	13.197,0	14.232,9	14.125,6	80,4	14.206,0

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.46:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Febbraio	148,6	166,5	182,2	0,7	182,9
Marzo	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Aprile	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Maggio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Giugno	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Luglio	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Agosto	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Settembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Ottobre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
Novembre	159,3	178,4	195,2	0,8	196,0
Dicembre	164,6	184,3	201,8	0,8	202,5
	1.937,6	2.170,0	2.375,5	9,3	2.384,8

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.47: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.



Figura 4.48: Verifica per la certificazione

4.2.2 Cappotto + Infissi

Anche qui andiamo ad applicare contemporaneamente due tipi di intervento analizzati singolarmente in precedenza, quello sull'involucro edilizio con il cappotto e quello per sostituzione dei vecchi infissi.

<u>Edificio anni '80</u>

In questo tipo di intervento, con isolamento da 10 cm di spessore e sostituzione con un infisso termicamente più prestante, vediamo che l'edificio supera sia le verifiche alla legge 10 che quelle per le detrazioni fiscali.

Vediamo qui la verifica delle trasmittanze delle strutture su cui interveniamo.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,247	0,244	0,075	0,320	☑
Parete Interna A	0,265	0,244	0,075	0,320	☑

Figura 4.49: Trasmittanza strutture pareti

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Controterra	2,033	2,033	1,996	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento)	1,873	1,873	1,873	---	■
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑
Finestra A F2 (infisso nuovo)	1,175	1,340	---	1,800	☑
Finestra B F2 (infisso vecchio) (sottotetto)	2,903	3,510	---	---	■
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.50: Trasmittanza strutture finestre

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni fiscali vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	144,9	18,4	0,0	0,0	0,0	0,0	163,2	kWh/m²	0,6956	0,7362	---	D

Figura 4.51: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.650,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	96,4	38,1	3.551,2	4.307,8	4.925,2	13,2	4.938,4
Febbraio	2.318,1	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	160,1	68,0	3.031,9	3.737,5	4.278,0	11,7	4.289,6
Marzo	1.785,5	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	233,4	113,2	2.143,5	2.781,3	3.214,4	10,4	3.224,8
Aprile	595,8	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	145,6	74,0	617,7	871,9	1.016,0	4,1	1.020,2
Novembre	1.699,1	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	151,6	61,6	2.077,1	2.651,8	3.065,7	10,0	3.075,7
Dicembre	2.300,9	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	111,7	44,0	3.011,8	3.703,0	4.251,1	12,1	4.263,2
	11.349,6	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	898,8	398,9	14.433,3	18.053,3	20.750,4	61,5	20.811,9

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.52:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Febbraio	148,6	179,8	201,9	0,2	202,0
Marzo	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Aprile	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Maggio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Giugno	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Luglio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Agosto	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Settembre	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Ottobre	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Novembre	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Dicembre	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
	1.937,6	2.343,6	2.631,8	2,0	2.633,7

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.53: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.

Esito della verifica per la certificazione

Prestazioni convenzionali



L'edificio passa da classe F a D effettuando un salto di almeno 2 classi
La superficie disperdente opaca oggetto di intervento (220,00 m²) supera il 25% della superficie disperdente lorda totale (483,30 m²)
Tutte le trasmittanze di strutture e finestre sono inferiori ai rispettivi limiti

Figura 4.54: Verifica per la certificazione

<u>Edificio anni 2000</u>

In questo caso viene superata la verifica alla legge 10 con un isolamento di 8 cm di spessore e la sostituzione dei vecchi infissi con dei nuovi termicamente più prestanti, ma come vedremo non verrà superata la verifica per le detrazioni fiscali.

Vediamo qui la verifica delle trasmittanze delle strutture su cui interveniamo.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,251	0,248	0,087	0,320	☑
Parete Interna A	0,270	0,248	0,087	0,320	☑
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,367	---	■
Parete Interna B	1,643	1,150	1,150	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	■
Solaio Intermedio (ascendente)	0,312	0,218	0,218	0,260	☑

Figura 4.55: Trasmittanza strutture pareti

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,388	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	■
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,104	1,270	---	1,800	☑
Finestra A F2 (infisso nuovo)	1,157	1,340	---	1,800	☑
Finestra B F2 (infisso vecchio) (sottotetto)	1,840	2,082	---	---	■
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,104	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.56: Trasmittanza strutture finestre

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 vengono rispettate

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	107,2	18,4	0,0	0,0	0,0	0,0	125,6	kWh/m²	0,7922	0,7362	---	C

Figura 4.57: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.116,7	1.335,2	334,8	0,0	0,0	0,0	96,4	31,7	3.022,1	3.259,6	3.792,0	11,3	3.803,3
Febbraio	1.850,7	1.177,9	302,4	0,0	0,0	0,0	160,1	56,6	2.568,6	2.769,7	3.229,8	9,9	3.239,6
Marzo	1.425,7	920,9	334,8	0,0	0,0	0,0	233,4	93,2	1.787,7	1.922,9	2.272,9	8,8	2.281,7
Aprile	476,0	317,5	162,0	0,0	0,0	0,0	145,6	60,4	500,8	536,0	638,9	3,5	642,4
Novembre	1.357,1	851,1	324,0	0,0	0,0	0,0	151,6	51,7	1.738,4	1.870,0	2.209,1	8,5	2.217,6
Dicembre	1.837,3	1.159,1	334,8	0,0	0,0	0,0	111,7	37,1	2.552,2	2.750,7	3.219,2	10,3	3.229,5
	9.063,6	5.761,7	1.792,8	0,0	0,0	0,0	898,8	330,7	12.169,7	13.109,0	15.361,8	52,3	15.414,1

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.58:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Febbraio	148,6	179,8	201,9	0,2	202,0
Marzo	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Aprile	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Maggio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Giugno	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Luglio	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Agosto	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Settembre	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Ottobre	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
Novembre	159,3	192,6	216,3	0,2	216,5
Dicembre	164,6	199,0	223,5	0,2	223,7
	1.937,6	2.343,6	2.631,8	2,0	2.633,7

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.59: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.



Figura 4.60: Verifica per la certificazione

Come anticipato notiamo che non viene superata la verifica per le detrazioni fiscali a causa del mancato salto di due classi energetiche.

4.2.3 Caldaia + Infissi

4.3 Intervento globale

Infine analizziamo il complesso degli interventi di riqualificazione energetica utilizzati tutti simultaneamente sull'edificio.

<u>Edificio anni '80</u>

In questo caso applichiamo un isolamento di 10 cm di spessore, insieme alla sostituzione della caldaia tradizionale con caldaia a condensazione e la sostituzione delle vecchie finestre con altre più prestanti termicamente, vediamo che l'edificio supera sia le verifiche alla legge 10 e che quelle per le detrazioni fiscali.

Vediamo qui la verifica alla trasmittanza delle strutture su cui andiamo a intervenire.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,247	0,244	0,075	0,320	☑
Parete Interna A	0,265	0,244	0,075	0,320	☑

Figura 4.61: Trasmittanza strutture pareti

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Controterra	2,033	2,033	1,996	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento)	1,873	1,873	1,873	---	■
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑
Finestra A F2 (infisso nuovo)	1,175	1,340	---	1,800	☑
Finestra B F2 (infisso vecchio) (sottotetto)	2,903	3,510	---	---	■
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.62: Trasmittanza strutture finestre

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni fiscali vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	107,3	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	125,2	kWh/m²	0,9388	0,7552	---	B

Figura 4.63: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.650,3	1.330,8	334,8	0,0	0,0	0,0	96,4	38,1	3.551,2	3.832,5	3.788,5	19,4	3.807,8
Febbraio	2.318,1	1.174,0	302,4	0,0	0,0	0,0	160,1	68,0	3.031,9	3.271,5	3.233,0	16,8	3.249,8
Marzo	1.785,5	917,8	334,8	0,0	0,0	0,0	233,4	113,2	2.143,5	2.308,2	2.279,2	13,7	2.292,9
Aprile	595,8	316,5	162,0	0,0	0,0	0,0	145,6	74,0	617,7	662,7	655,6	4,9	660,6
Novembre	1.699,1	848,2	324,0	0,0	0,0	0,0	151,6	61,6	2.077,1	2.236,7	2.208,6	13,3	2.221,9
Dicembre	2.300,9	1.155,3	334,8	0,0	0,0	0,0	111,7	44,0	3.011,8	3.248,5	3.209,0	17,2	3.226,2
	11.349,6	5.742,6	1.792,8	0,0	0,0	0,0	898,8	398,9	14.433,3	15.560,1	15.373,9	85,3	15.459,2

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.64:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Febbraio	148,6	179,8	196,8	0,8	197,6
Marzo	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Aprile	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Maggio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Giugno	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Luglio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Agosto	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Settembre	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Ottobre	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Novembre	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Dicembre	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
	1.937,6	2.343,6	2.565,6	10,0	2.575,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.65: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.



Figura 4.66: Verifica per la certificazione

Edificio anni 2000

In questo caso applichiamo invece un isolamento di 8 cm di spessore, insieme alla sostituzione della caldaia tradizionale con caldaia a condensazione e la sostituzione delle vecchie finestre con altre più prestanti termicamente, vediamo anche qui che l'edificio supera sia le verifiche alla legge 10 e che quelle per le detrazioni fiscali.

Vediamo qui la verifica alla trasmittanza delle strutture su cui andiamo a intervenire.

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Parete Esterna A	0,251	0,248	0,087	0,320	☑
Parete Interna A	0,270	0,248	0,087	0,320	☑

Figura 4.67: Trasmittanza strutture pareti

Trasmittanza delle strutture della certificazione [W/m²K]

Struttura	U	Um	Upt	Limite	Verificata
Solaio Controterra	1,434	1,434	1,388	---	■
Copertura inclinata (solaio in laterocemento) 24	1,236	1,236	1,236	---	■
Porta Finestra F1 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑
Finestra A F2 (infisso nuovo)	1,175	1,340	---	1,800	☑
Finestra B F2 (infisso vecchio) (sottotetto)	1,840	2,082	---	---	■
Porta Finestra Doppia F3 (infisso nuovo)	1,120	1,270	---	1,800	☑

Figura 4.68: Trasmittanza strutture finestre

Dai risultati di calcolo energetici possiamo vedere che le richieste per la verifica alla legge 10 e per le detrazioni fiscali vengono tutte rispettate.

Certificazione	EPH,nren	EPW,nren	EPC,nren	EPV,nren	EPL,nren	EPT,nren	EPgl,nren	UM EP	etaH	etaW	etaC	Classe
Subalterno	90,8	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	108,7	kWh/m²	0,9372	0,7552	---	B

Figura 4.69: Risultato del calcolo energetico

Andiamo a vedere quindi i fabbisogni energetici rispettivamente per il riscaldamento e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Fabbisogno riscaldamento con ventilazione effettiva della certificazione [kWh]

Mese	QHtr	QHve	QHint	Qsd,w	Qsd,op	Qsi	QHsol,w	QHsol,op	QH,nd	QHgn,out	Qp,nren,H	Qp,ren,H	Qp,tot,H
Gennaio	2.119,6	1.335,2	334,8	0,0	0,0	0,0	96,4	31,7	3.025,0	3.262,8	3.232,8	17,2	3.250,0
Febbraio	1.853,3	1.177,9	302,4	0,0	0,0	0,0	160,1	56,6	2.571,2	2.772,6	2.746,4	14,9	2.761,4
Marzo	1.427,9	920,9	334,8	0,0	0,0	0,0	233,4	93,2	1.789,8	1.925,3	1.906,5	12,3	1.918,8
Aprile	476,8	317,5	162,0	0,0	0,0	0,0	145,6	60,4	501,6	536,9	533,5	4,5	537,9
Novembre	1.359,1	851,1	324,0	0,0	0,0	0,0	151,6	51,7	1.740,5	1.872,2	1.853,9	11,9	1.865,9
Dicembre	1.839,9	1.159,1	334,8	0,0	0,0	0,0	111,7	37,1	2.554,8	2.753,5	2.726,7	15,4	2.742,1
	9.076,7	5.761,7	1.792,8	0,0	0,0	0,0	898,8	330,7	12.182,9	13.123,2	12.999,8	76,3	13.076,1

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.70:Fabbisogno energetico per riscaldamento

Fabbisogno acqua calda sanitaria della certificazione [kWh]

Mese	QW	QWgn,out	Qp,nren,W	Qp,ren,W	Qp,tot,W
Gennaio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Febbraio	148,6	179,8	196,8	0,8	197,6
Marzo	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Aprile	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Maggio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Giugno	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Luglio	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Agosto	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Settembre	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Ottobre	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
Novembre	159,3	192,6	210,9	0,8	211,7
Dicembre	164,6	199,0	217,9	0,9	218,8
	1.937,6	2.343,6	2.565,6	10,0	2.575,6

Riscaldamento | ACS | Raffrescamento | Ventilazione | Illuminazione | Trasporto | Energia elettrica prodotta

Figura 4.71: Fabbisogno energetico per ACS

In ultima analisi andiamo a vedere l'esito delle verifiche per le detrazioni fiscali.

Esito della verifica per la certificazione

Prestazioni convenzionali



L'edificio passa da classe D a B effettuando un salto di almeno 2 classi
La superficie disperdente opaca oggetto di intervento (219,02 m²) supera il 25% della superficie disperdente lorda totale (480,60 m²)
Tutte le trasmittanze di strutture e finestre sono inferiori ai rispettivi limiti

Figura 4.72: Verifica per la certificazione

Possimo quindi affermare che in entrambe i casi quando si utilizzano tutti gli interventi combinati insieme l'obiettivo di usufruire del Superbonus 110% viene raggiunto.

5 ANALISI SUI CONSUMI ENERGETICI

Una volta effettuato il calcolo energetico dell'edificio prima senza poi con tutti i diversi tipi di interventi considerati, sia presi singolarmente che combinati, andiamo ad riassumere i risultati che troviamo stampati nelle singole schede APE (Attestato di Prestazione Energetica), nello specifico confrontiamo i consumi di elettricità e gas metano e le emissioni di CO_2 nella situazione ante-intervento e post-intervento.

Poi una volta sintetizzati tutti i dati ricavati da questa analisi, metteremo a confronto nel successivo capitolo la riduzione dei consumi e il conseguente risparmio in bolletta, con il costo di intervento dato dai computi metrici estimativi redatti.

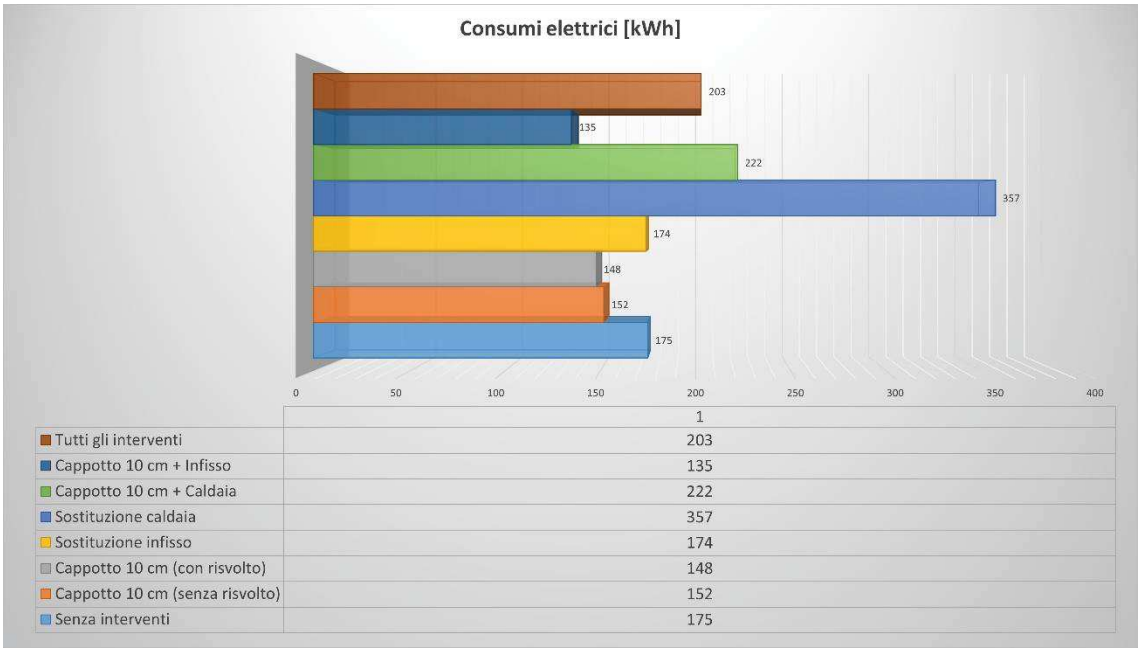
5.1 Consumi elettrici

Le variazioni che si ottengono nei consumi elettrici sono di piccola entità rispetto a quelle che osserveremo nei consumi di gas metano e a differenza di quanto avviene per i consumi di gas metano aumentano con l'installazione di una caldaia a condensazione; possiamo infati denotare delle diminuzioni nei consumi elettrici quando si applicano soli interventi di applicazione del cappotto o sostituzione dei vecchi infissi, mentre si hanno degli aumenti di consumo elettrico nel momento in cui andiamo a sostituire la caldaia tradizionale con una caldaia a condensazione.

Con l'applicazione di tutti gli interventi i consumi elettrici saranno comunque aumentati proprio a causa dell'installazione di una nuova caldaia a condensazione, ma questo d'altra parte porterebbe ad una sensibile diminuzione dei consumi di gas metano.

Graficizziamo di seguito i risultati ottenuti per le due tipologie di edificio.

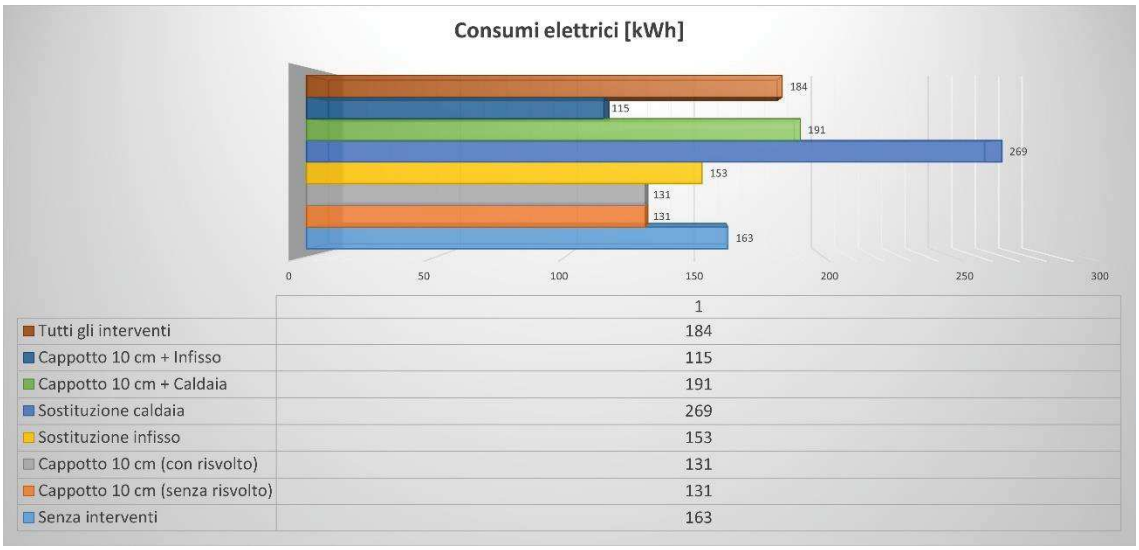
Edificio anni '80



	1
Tutti gli interventi	203
Cappotto 10 cm + Infisso	135
Cappotto 10 cm + Caldaia	222
Sostituzione caldaia	357
Sostituzione infisso	174
Cappotto 10 cm (con risvolto)	148
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	152
Senza interventi	175

Figura 5.1: Consumi elettrici

Edificio anni 2000



	1
Tutti gli interventi	184
Cappotto 10 cm + Infisso	115
Cappotto 10 cm + Caldaia	191
Sostituzione caldaia	269
Sostituzione infisso	153
Cappotto 10 cm (con risvolto)	131
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	131
Senza interventi	163

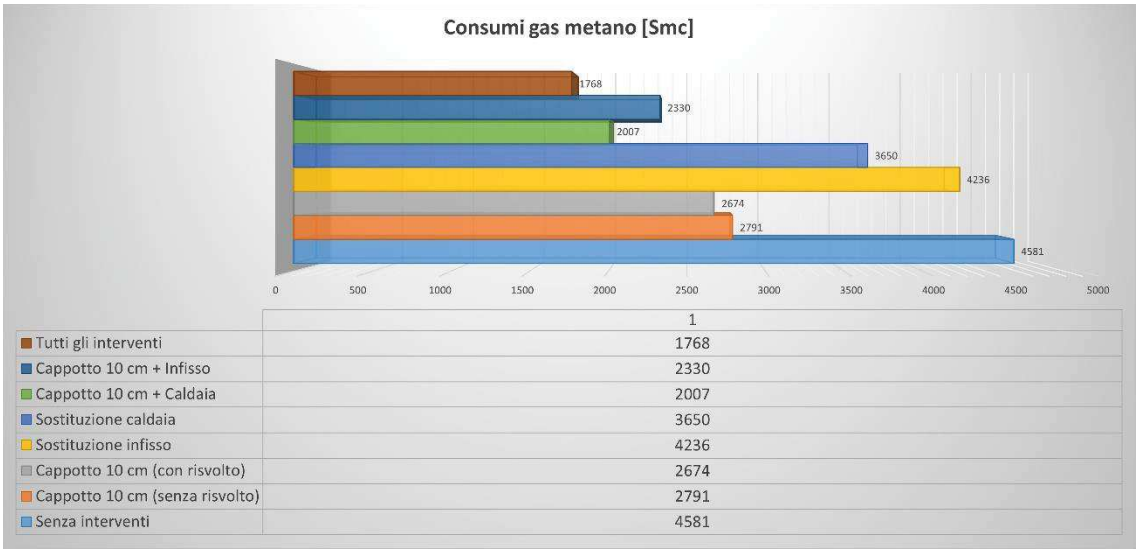
Figura 5.2: Consumi elettrici

5.2 Consumi Gas Metano

Al contrario della situazione che si ha con i consumi elettrici, le variazioni nei consumi di gas metano sono di maggior entità e possiamo notare che si hanno delle riduzioni con qualsiasi intervento che venga applicato, ma in particolare abbiamo delle riduzioni

più sensibili con l'applicazione del cappotto e la sostituzione della caldaia. Con l'applicazione di tutti gli interventi i consumi di gas metano saranno più che dimezzati.

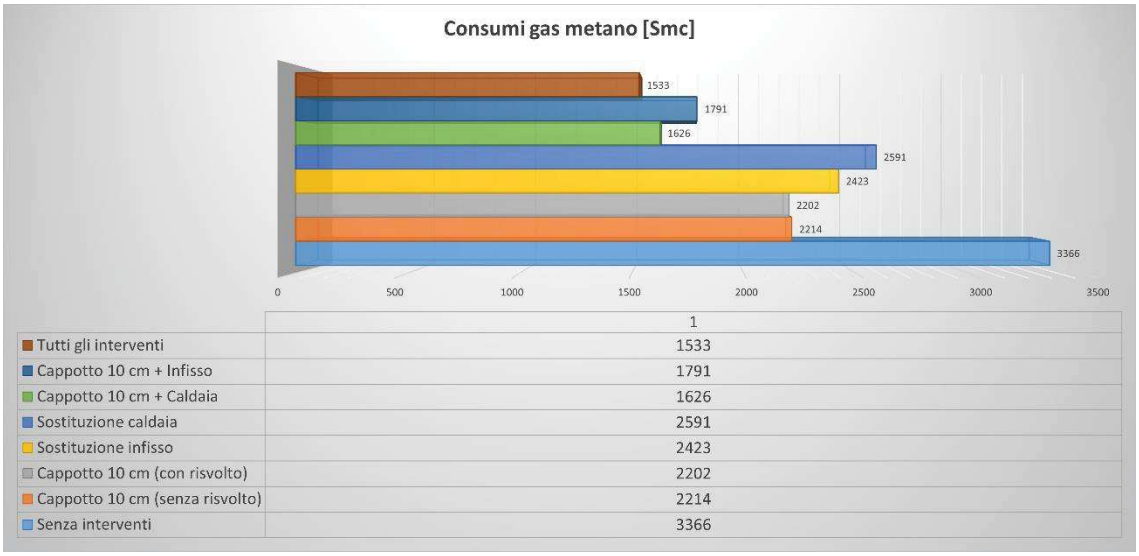
Edificio anni '80



	1
Tutti gli interventi	1768
Cappotto 10 cm + Infisso	2330
Cappotto 10 cm + Caldaia	2007
Sostituzione caldaia	3650
Sostituzione infisso	4236
Cappotto 10 cm (con risvolto)	2674
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	2791
Senza interventi	4581

Figura 5.3: Consumi gas metano

Edificio anni 2000



	1
Tutti gli interventi	1533
Cappotto 10 cm + Infisso	1791
Cappotto 10 cm + Caldaia	1626
Sostituzione caldaia	2591
Sostituzione infisso	2423
Cappotto 10 cm (con risvolto)	2202
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	2214
Senza interventi	3366

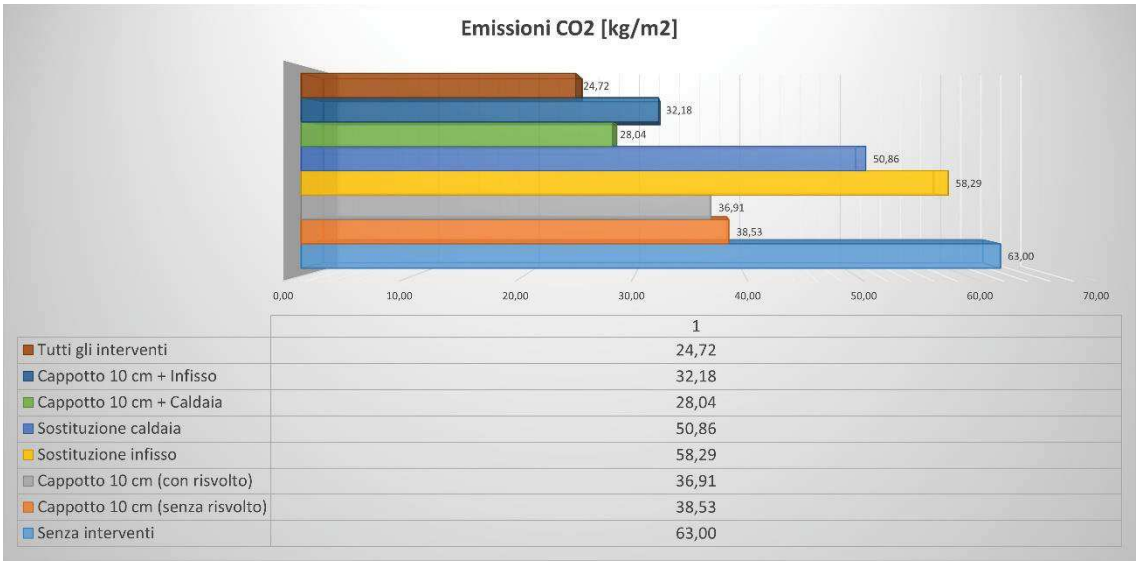
Figura 5.4: Consumi gas metano

5.3 Emissioni CO_2

Infine andando ad analizzare le variazioni di emissioni di CO_2 vediamo anche in questo caso come nel precedente che si hanno delle diminuzioni, seppur lievi, con qualsiasi

intervento che venga applicato e con l'applicazione di tutti gli interventi contemporaneamente si ha una forte riduzione delle emissioni.

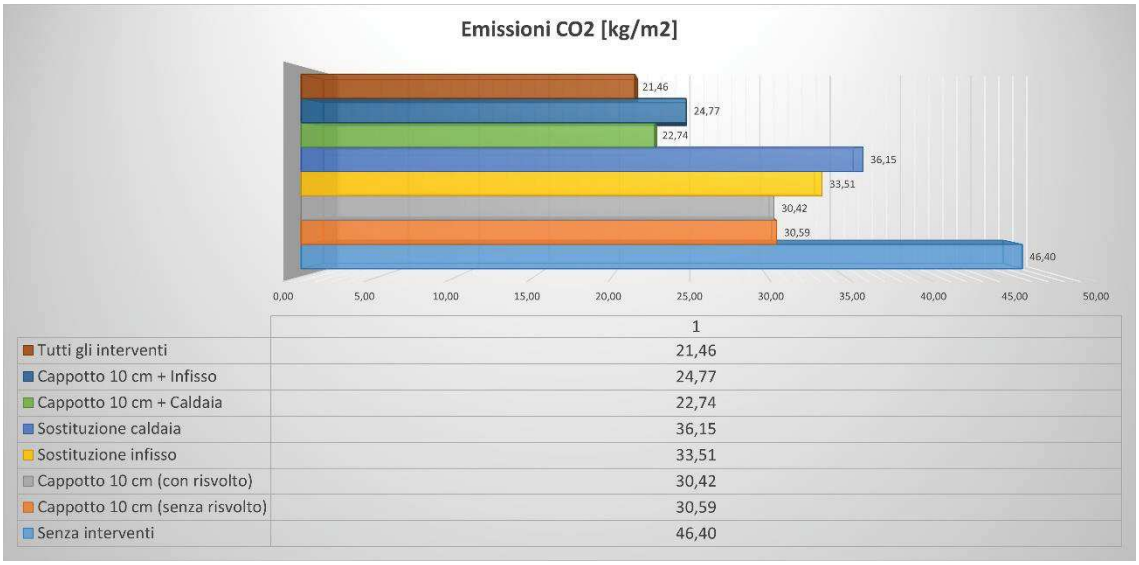
Edificio anni '80



	1
Tutti gli interventi	24,72
Cappotto 10 cm + Infisso	32,18
Cappotto 10 cm + Caldaia	28,04
Sostituzione caldaia	50,86
Sostituzione infisso	58,29
Cappotto 10 cm (con risvolto)	36,91
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	38,53
Senza interventi	63,00

Figura 5.5: Emissioni CO_2

Edificio anni 2000



	1
Tutti gli interventi	21,46
Cappotto 10 cm + Infisso	24,77
Cappotto 10 cm + Caldaia	22,74
Sostituzione caldaia	36,15
Sostituzione infisso	33,51
Cappotto 10 cm (con risvolto)	30,42
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	30,59
Senza interventi	46,40

Figura 5.6: Emissioni CO_2

6 ANALISI ECONOMICA

In quest'ultimo capitolo verrà trattato l'aspetto economico della riqualificazione energetica dell'edificio unifamiliare, si definisce per prima cosa il costo degli interventi con un computo metrico estimativo, che è stato redatto tramite il programma Primus della ACCA software; una volta definito il costo di intervento, andremo ad analizzare il risparmio in bolletta che si avrà in conseguenza alla diminuzione dei consumi ed il conseguente ritorno di investimento nel tempo dato dal risparmio economico.

Infine analizzeremo quanto concerne la detrazione fiscale data dall'Ecobonus 110%.

6.1 Analisi economica bolletta

Qui proviamo in questo caso specifico, ovvero villetta unifamiliare, a determinate condizioni di utilizzo dell'immobile, ovvero quelle ipotizzate dal software Namirial Termo, a calcolare il risparmio presumibilmente conseguibile in bolletta dopo l'applicazione degli interventi di riqualificazione energetica; per farlo riprendiamo le tariffe per l'energia elettrica e per il gas che erano state definite nei sottocapitoli 2.2 e 2.3.

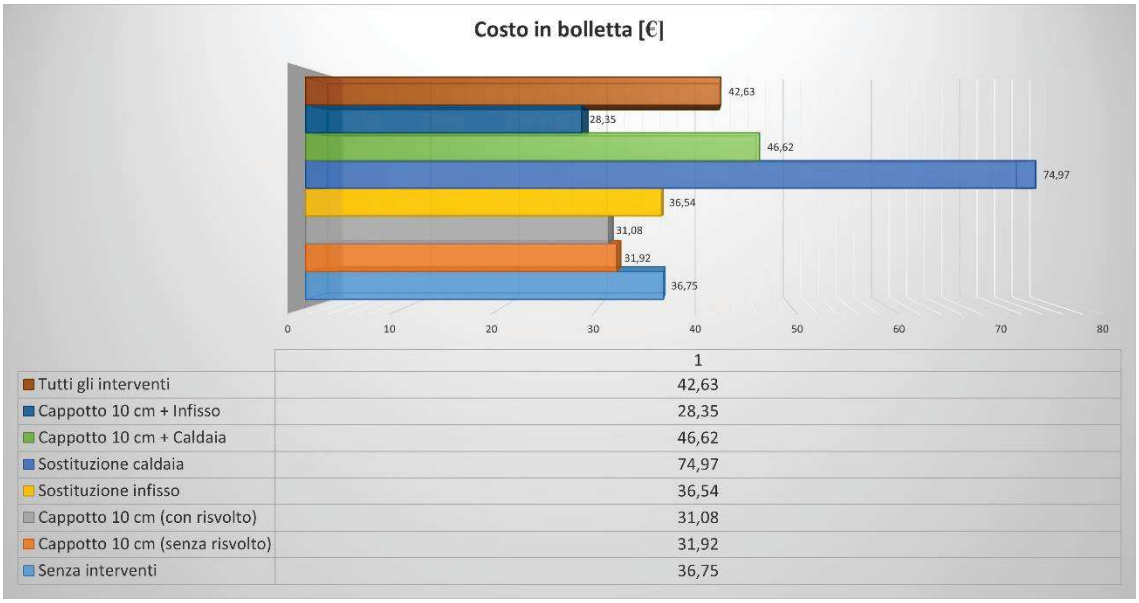
In particolare per il prezzo dell'energia elettrica si assume un valore di costo medio di **0,21** €/**kWh**, mentre per quello del gas metano utilizziamo il valore di costo medio di **0,80** €/**Smc**.

Riportiamo quindi i consumi di energia elettrica e gas metano riportati dal software Termo che abbiamo prima e dopo gli interventi sull'edificio, evidenziando quindi la

differenza di consumo complessivo, ovvero il risparmio energetico e di conseguenza economico.

Edificio anni '80

Per primo analizziamo i costi in bolletta per il consumo di energia elettrica in €/kWh e si può notare facilmente che avremo un risparmio solamente nei casi in cui non avviene la sostituzione della caldaia, infatti la caldaia a condensazione è più efficiente termicamente e quindi permette un risparmio nell'utilizzo di gas metano, ma dall'altra parte richiede un maggior consumo di energia elettrica.



	1
Tutti gli interventi	42,63
Cappotto 10 cm + Infisso	28,35
Cappotto 10 cm + Caldaia	46,62
Sostituzione caldaia	74,97
Sostituzione infisso	36,54
Cappotto 10 cm (con risvolto)	31,08
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	31,92
Senza interventi	36,75

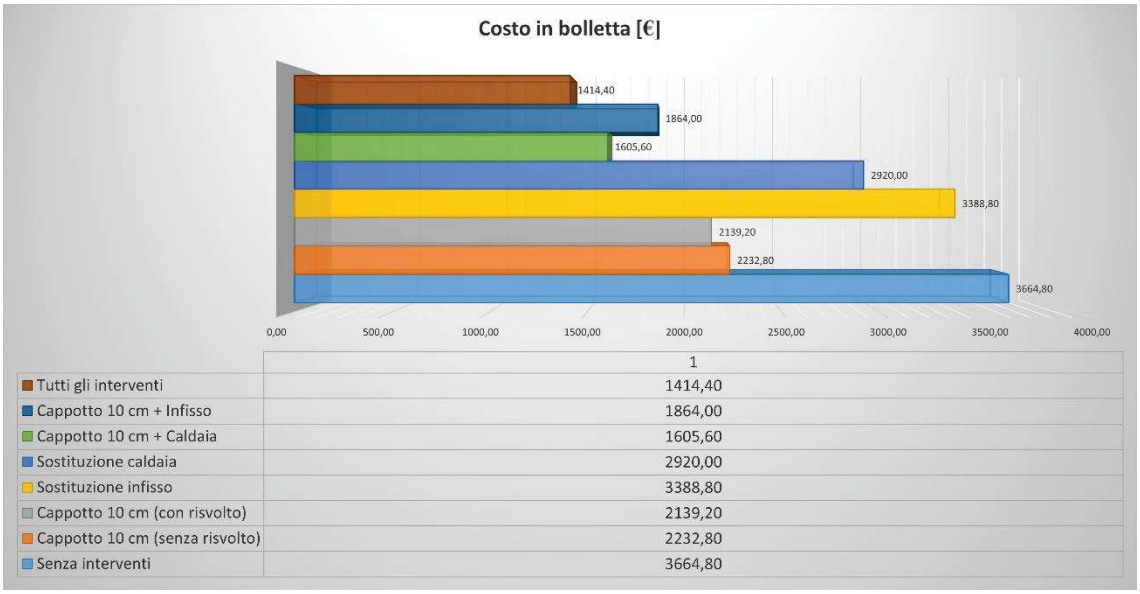
Figura 6.1: Costo in bolletta elettricità

Quindi confrontando i risultati rispetto alla situazione ante-intervento in cui abbiamo un costo in bolletta annuo di **36,75 €** :

INTERVENTI	DIFFERENZE DI COSTO	PERCENTUALE
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	-4,83	-11,11%
Cappotto 10 cm (con risvolto)	-5,67	-13,89%
Sostituzione infisso	-0,21	0%
Sostituzione caldaia	+38,22	+105,56%
Cappotto 10 cm + Caldaia	+9,87	+25,00%
Cappotto 10 cm + Infisso	-8,40	-22,22%
Tutti gli interventi	+5,88	+13,89%

Tabella 26: Differenze in bolletta

A differenza dei consumi di energia elettrica, con i consumi di gas metano rileviamo un risparmio energetico e quindi economico con tutti i tipi di interventi.



	1
Tutti gli interventi	1414,40
Cappotto 10 cm + Infisso	1864,00
Cappotto 10 cm + Caldaia	1605,60
Sostituzione caldaia	2920,00
Sostituzione infisso	3388,80
Cappotto 10 cm (con risvolto)	2139,20
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	2232,80
Senza interventi	3664,80

Figura 6.2: Costo in bolletta gas

Confrontando i risultati rispetto alla situazione ante-intervento in cui si hanno dei costi in bolletta di **3664,80 €/Smc** :

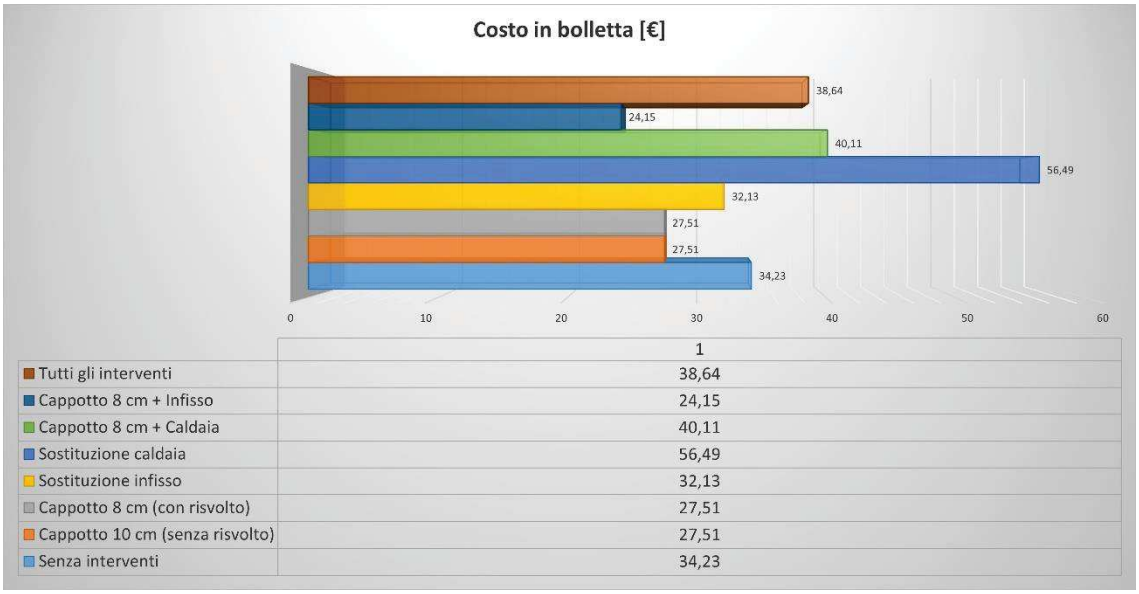
INTERVENTI	DIFFERENZE DI COSTO	PERCENTUALE
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	-1432,00	-39,08%
Cappotto 10 cm (con risvolto)	-1525,60	-41,62%
Sostituzione infisso	-276,00	-7,53%
Sostituzione caldaia	-744,80	-20,31%
Cappotto 10 cm + Caldaia	-2059,20	-56,20%
Cappotto 10 cm + Infisso	-1800,00	-49,13%
Tutti gli interventi	-2250,40	-61,41%

Tabella 27: Differenze in bolletta

Possiamo quindi notare che si hanno i risparmi più considerevoli in bolletta gas quando andiamo ad intervenire sull'involucro edilizio (diminuendo le dispersioni termiche) e sulla caldaia (aumentando l'efficienza del generatore di calore).

Edificio anni 2000

Ripetiamo lo stesso procedimento per l'edificio anni 2000, partendo dalla variazione del costo in bolletta per l'energia elettrica e poi per il gas metano, notando anche in questo caso degli andamenti generali simili.



	1
Tutti gli interventi	38,64
Cappotto 8 cm + Infisso	24,15
Cappotto 8 cm + Caldaia	40,11
Sostituzione caldaia	56,49
Sostituzione infisso	32,13
Cappotto 8 cm (con risvolto)	27,51
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	27,51
Senza interventi	34,23

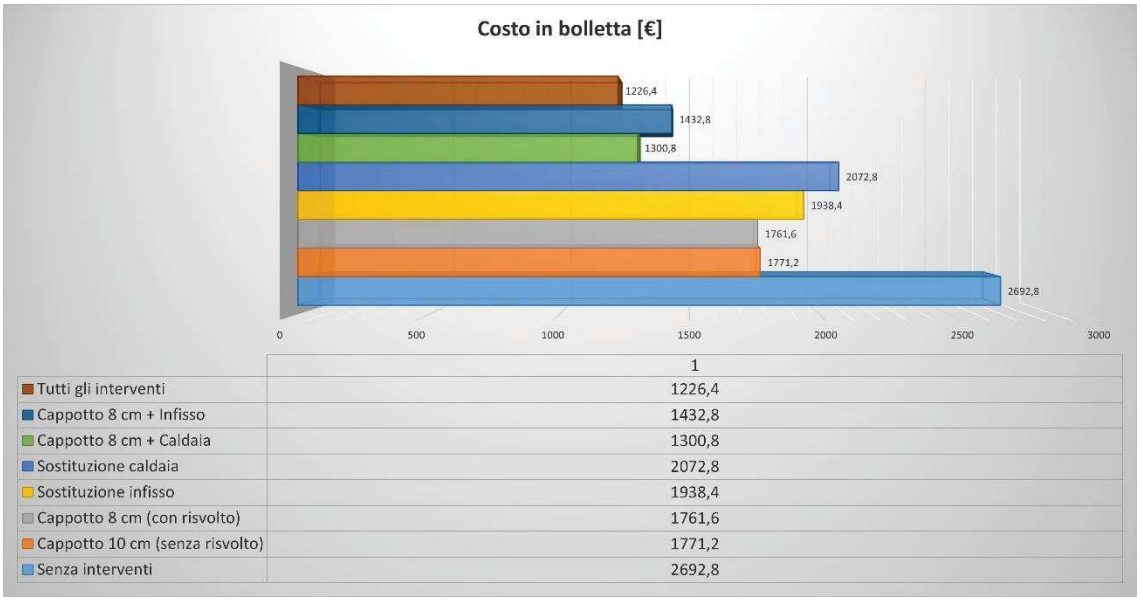
Figura 6.3: Costo in bolletta elettricità

Quindi confrontando i risultati rispetto alla situazione ante-intervento in cui abbiamo un costo in bolletta annuale di **34,23 €** :

INTERVENTI	DIFFERENZE DI COSTO	PERCENTUALE
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	-6,72	-17,65%
Cappotto 8 cm (con risvolto)	-6,72	-17,65%
Sostituzione infisso	-2,1	-5,88%
Sostituzione caldaia	+22,26	+64,71%
Cappotto 8 cm + Caldaia	+5,88	+14,71%
Cappotto 8 cm + Infisso	-10,08	-10,08%
Tutti gli interventi	+4,41	+11,76%

Tabella 28: Differenze di costo

Anche qui a differenza dei consumi di energia elettrica, con i consumi di gas metano rileviamo un risparmio energetico e quindi economico con tutti i tipi di interventi.



	1
Tutti gli interventi	1226,4
Cappotto 8 cm + Infisso	1432,8
Cappotto 8 cm + Caldaia	1300,8
Sostituzione caldaia	2072,8
Sostituzione infisso	1938,4
Cappotto 8 cm (con risvolto)	1761,6
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	1771,2
Senza interventi	2692,8

Figura 6.4: Costo in bolletta gas

Confrontando i risultati rispetto alla situazione ante-intervento in cui si hanno dei costi in bolletta di **2692,80** €/**Smc** :

INTERVENTI	DIFFERENZE DI COSTO	PERCENTUALE
Cappotto 10 cm (senza risvolto)	-921,60	-34,21%
Cappotto 8 cm (con risvolto)	-931,20	-34,58%
Sostituzione infisso	-754,40	-28,01%
Sostituzione caldaia	-620,00	-23,03%
Cappotto 8 cm + Caldaia	-1392,00	-51,71%
Cappotto 8 cm + Infisso	-1260,00	-46,81%
Tutti gli interventi	-1466,40	-54,46%

Tabella 29:Differenze di costo

Come per l'edificio anni '80 si hanno risparmi in bolletta con tutti i tipi di interventi, in particolare con cappotto e sostituzione caldaia, ma generalmente più bassi rispetto all'altra tipologia di edificio.

Ribadiamo che questa è un'analisi forfettaria sull'ipotetico risparmio in bolletta annuale, specifico del caso di villetta unifamiliare e basandoci su un utilizzo del riscaldamento ipotizzato dal software Termo.

6.2 Incentivo Super Ecobonus 110%

Tramite l'incentivo superbonus 110% potremo usufruire di una detrazione dei costi o sconto in fattura per tutti gli interventi di miglioramento energetico che andranno ad interessare il nostro edificio, ovvero l'applicazione del cappotto sulle pareti che interessano la parte riscaldata, ad esclusione quindi delle pareti perimetrali della zona non riscaldata del sottotetto, la sostituzione di tutti i vecchi infissi e la sostituzione della caldaia tradizionale

CONCLUSIONI

La riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente è un tema cruciale se si pensa agli anni cui risale lo stock edilizio italiano e al basso tasso di crescita di nuovi edifici altamente performanti.

L'analisi energetica condotta sull'edificio unifamiliare oggetto del presente lavoro di tesi ha rilevato valori dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile elevati, ovvero 319,70 kWh/m² (edificio anni '80) e 235,41 kWh/m² (edificio anni 2000), compatibili con l'epoca di costruzione dell'edificio, cui conseguono notevoli potenzialità di miglioramento. Viste le scarse performance dell'involucro edilizio e dell'impianto di riscaldamento, sono stati analizzati i seguenti interventi: isolamento a cappotto con e senza risvolto sull'infisso, isolamento del solaio sottotetto e della parete verso il locale non riscaldato, sostituzione delle finestre a vetro singolo con infissi più performanti a vetro doppio, sostituzione della caldaia tradizionale con una caldaia a condensazione. Tra gli interventi proposti quello che comporta una maggiore riduzione dell'indice di prestazione energetica è quello del cappotto, pari al 41,38 % per l'edificio anni '80 e il 34,47 % per l'edificio anni 2000; da questo risultato si evince che l'intervento del cappotto è più efficace su un edificio con un involucro fortemente disperdente (alti valori di trasmittanza), piuttosto che su un edificio il cui involucro è più prestante (bassi valori di trasmittanza). Inoltre, individuare ed analizzare singolarmente tutti i ponti termici presenti nell'edificio e correggerli con un'adeguata applicazione di strato isolante, permette di superare la verifica alla Legge 10 e per la detrazione fiscale con un egual spessore di materiale isolante per il cappotto.

La sostituzione con caldaia a condensazione non diminuirebbe il fabbisogno energetico dell'impianto di riscaldamento tanto quanto un sistema ibrido (pompa di calore + caldaia a condensazione); in questo sistema la priorità al funzionamento viene data alla pompa di calore, che per il riscaldamento consuma unicamente energia elettrica, supportata a certe richieste energetiche dalla caldaia a condensazione. Il forte aumento di richiesta di energia elettrica dato dal sistema combinato troverebbe copertura da un impianto fotovoltaico ad esso associato.

Gli interventi analizzati nel loro complesso garantiscono una riduzione del 60,82 % (edificio anni '80) e del 53,62 % (edificio anni 2000) dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile rispetto allo stato di fatto, portando l'edificio dalla classe energetica F alla classe B (edificio anni '80) e da D a B (edificio anni 2000).

Come ultimo step del lavoro è stato analizzato l'aspetto economico degli interventi ipotizzati, cercando di effettuare una stima dei risparmi apportati da questi.

Gli interventi migliorativi dell'involucro edilizio e di efficientamento energetico risultano convenienti sia dal punto di vista del comfort ambientale sia dal punto di vista economico per la riduzione dei consumi energetici e di conseguenza dei costi in bolletta, quindi il risparmio economico annuale complessivo di elettricità e gas metano risulterà proporzionale alla riduzione dei consumi energetici, ovvero di circa il 60,00 % per l'edificio anni '80 e il 50,00 % per l'edificio anni 2000.

Visto il potenziale risparmio energetico ovvero economico sui costi di funzionamento dell'impianto di riscaldamento e ACS risulta ovviamente consigliabile un intervento di riqualificazione energetica. In questo quadro generale di patrimonio edilizio italiano datato, di alti consumi energetici relativi al comparto residenziale, di alti costi iniziali

per interventi di riqualificazione energetica, la detrazione data dal superbonus 110% è una grande occasione che permette, a costo quasi zero per l'utente finale, l'ammodernamento degli immobili ovvero un conseguente risparmio energetico.

Dall'interpretazione iniziale del Decreto Rilancio dove si vedeva l'involucro edilizio come un unico corpo, si è passati ad una visione focalizzata alla distinzione tra interventi sull'involucro riscaldato (detraibili) ed interventi sull'involucro non riscaldato adiacenti (non detraibili). Questa precisazione anche se può lasciare fuori dall'intervento detraibile la risoluzione di alcuni ponti termici con conseguente creazione di criticità sull'involucro, si è resa necessaria per evitare un impiego inopportuno di materiale isolante.

In conclusione il superbonus 110% se da un lato porta al miglioramento energetico e di comfort interno degli edifici, dall'altro si configura anche come volano per la ripresa economica ed occupazionale, promuovendo una evoluzione responsabile sul tema ambientale.

BIBLIOGRAFIA

1. BP. Statistical Review of World Energy. **69,** 68 (2020).
2. Nations, U. *UN_Total population*. (2019).
3. United Nations. *UN_Growth rate*. (2019).
4. Bruni, E. *L ' efficienza energetica nell ' edilizia e nell ' industria alla luce delle nuove direttive - Politiche Industriali Confindustria*. (2018).
5. ARERA. *Sintesi Relazione Annuale*. (2020).
6. Fasano, G., Romeo, C., Zinzi, M. & Signoretti, P. *Sviluppo di metodologie, strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici*. (2013).
7. Corrado, V., Ballarini, I., De Luca, G., Primo, E. & Iatauro, D. *Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB*. (2018).
8. Martino, A. & Corrado, V. *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici*. (2020).