



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

ANALISI PRESTAZIONALE ED ECONOMICA DI  
STRUTTURE EDILIZIE CON DIFFERENTI LIVELLI DI  
COIBENTAZIONE

PERFORMANCE AND ECONOMIC ANALYSIS OF  
BUILDING STRUCTURES WITH DIFFERENT LEVELS OF  
INSULATION

*Tesi di Laurea di*  
ALESSIO PIERGIGLI

*Relatore:*  
PROF. GIANLUCA COCCIA

*Anno Accademico 2023/2024*



Dedico questa tesi alla mia famiglia, punto fermo di questo percorso,  
alla mia fidanzata, per la sua pazienza e il suo amore incondizionato,  
al pattinaggio, che mi insegna il valore del sacrificio.  
Senza di voi, tutto questo non sarebbe stato possibile.



# INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITOLO 1 STATO DELL'ARTE .....</b>	<b>8</b>
1.1 Strategie di ristrutturazione energetica.....	8
1.2 La coibentazione come strumento contro la povertà energetica .....	9
1.3 Soluzioni industriali e prefabbricate per la coibentazione .....	10
1.4 Norme minime di prestazione energetica e coibentazione.....	11
1.5 Strutture Future-Proof .....	11
1.5.1 <i>Durabilità dei Materiali Edilizi</i> .....	12
1.5.2 <i>Manutenzione Impiantistica</i> .....	13
<b>CAPITOLO 2 PROGRAMMA EDILCLIMA EC700 .....</b>	<b>15</b>
2.1 Caratteristiche Preliminari .....	15
2.2 Input Grafico .....	18
2.2.1 <i>Componenti Finestrati</i> .....	19
2.2.2 <i>Ponti Termici</i> .....	20
<b>CAPITOLO 3 CASI STUDIO E STRATIGRAFIA .....</b>	<b>24</b>
3.1 Casi Studio .....	24
3.2 Trasmittanza Termica.....	25
3.3 Analogia Trasmissione di Calore e Circuiti Elettrici .....	26
3.4 Verifiche di Prevenzione di Condensa .....	27
3.4.1 <i>Verifica Termoigrometrica</i> .....	27
3.4.2 <i>Condensa Superficiale</i> .....	28
3.4.3 <i>Condensa Interstiziale</i> .....	29
3.5 Pacchetti Stratigrafici .....	32
3.5.1 <i>Pacchetto Livello Base</i> .....	32

3.5.2 Pacchetto Livello Intermedio .....	37
3.5.3 Pacchetto Livello Avanzato .....	41
3.5.4 Confronto POROTON e YTONG .....	44
<b>CAPITOLO 4 CARICHI TERMICI.....</b>	<b>46</b>
4.1 Livello Base .....	49
4.2 Livello Intermedio.....	51
4.3 Livello Avanzato .....	53
4.4 Analisi dei Dati .....	54
<b>CAPITOLO 5 FABBISOGNI ENERGETICI .....</b>	<b>59</b>
5.1 Edificio Livello Base .....	60
5.2 Edificio Livello Intermedio.....	61
5.3 Edificio Livello Avanzato .....	62
<b>CAPITOLO 6 COSTI E PUNTO DI BREAK-EVEN .....</b>	<b>63</b>
6.1 Costi Livello Base .....	64
6.1.1 Costi Edilizi .....	64
6.1.2 Costi di Esercizio.....	64
6.2 Costi Livello Intermedio .....	66
6.2.1 Costi Edilizi .....	66
6.2.2 Costi di Esercizio.....	66
6.3 Costi Livello Avanzato .....	67
6.3.1 Costi Edilizi .....	67
6.3.2 Costi di Esercizio.....	67
6.4 Punto di Break-Even .....	68
<b>CAPITOLO 7 CONCLUSIONI .....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>71</b>

## INTRODUZIONE

Lo studio in esame si propone di valutare le condizioni di isolamento termico di un fabbricato, analizzandone le prestazioni energetiche e l'efficacia economica in combinazione con specifici impianti termici.

Nel primo capitolo verranno approfondite le normative vigenti e le prospettive future relative alla riduzione dell'impatto ambientale degli edifici, con particolare attenzione alla direttiva europea EPBD (Energy Performance of Building Directive), che stabilisce gli standard per migliorare l'efficienza energetica nel settore edilizio. Sempre nel primo capitolo si va a definire il concetto di Future-Proofness degli edifici, andando a spiegare come un edificio possa essere sostenibile a livello ambientale, e pronto ad affrontare l'avanzamento tecnologico ed essere appunto "a prova di futuro".

Il secondo capitolo si concentrerà sul programma utilizzato durante il tirocinio, descrivendone le principali caratteristiche e illustrando come sia stato impostato per effettuare l'analisi energetica dell'edificio in questione.

Nel capitolo successivo verrà introdotto il fabbricato oggetto di studio, insieme ai tre "Casi Studio" che costituiranno il cuore dell'analisi condotta nei capitoli seguenti. Verranno inoltre definiti alcuni concetti chiave legati allo studio stratigrafico degli edifici, utili per comprendere le caratteristiche termiche dei materiali utilizzati. Successivamente, nel quarto capitolo, si esamineranno i carichi termici associati ai diversi livelli di isolamento.

Il quinto capitolo sarà dedicato ai fabbisogni energetici e nel sesto si procederà con un'analisi comparativa delle diverse soluzioni dal punto di vista economico, distinguendo tra costi di investimento e di esercizio, con l'obiettivo di individuare il punto di pareggio. Questo studio sarà rilevante per capire quando una soluzione con costi iniziali ridotti possa diventare meno vantaggiosa rispetto a un'alternativa con costi iniziali più elevati, ma con minori spese operative nel lungo termine. Tale analisi

aiuterà a comprendere l'efficienza economica delle varie soluzioni adottate, considerando non solo i costi immediati, ma anche quelli a lungo termine.

# CAPITOLO 1

## STATO DELL'ARTE

Al giorno d'oggi, la questione della prestazione energetica nell'edilizia è diventata un concetto di massimo interesse a livello nazionale ed europeo. A dimostrazione di ciò, il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea, ha redatto e pubblicato, il 24 aprile 2024 il documento "Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio", in quanto la direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio aveva subito varie e sostanziali modifiche.

Gli edifici rappresentano circa il 40% del consumo finale di energia nell'Unione Europea e sono responsabili del 36% delle emissioni di gas a effetto serra associate all'energia. Nonostante ciò, il 75% degli edifici nell'Unione Europea è ancora energeticamente inefficiente. Di fronte a questo scenario, la direttiva sottolinea l'importanza di suddetto documento [1].

Per quanto riguarda il panorama Nazionale Italiano, citando l'ENEA l'Italia vive una condizione molto particolare poiché circa il 55% delle costruzioni residenziali risale agli anni '60 e il 19,2% del totale è stato realizzato prima del 1919 (ISTAT): un quarto di questi edifici non ha mai subito interventi di ristrutturazione o riqualificazione. Da ciò emerge uno scenario molto particolare, che denota un alto livello di inadeguatezza del parco edilizio esistente: di questi edifici, oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di  $160 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{anno}}$  ad oltre  $220 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{anno}}$  (ISTAT) [2].

### 1.1 Strategie di ristrutturazione energetica

L'Unione Europea ha introdotto un'ampia gamma di strategie per promuovere la ristrutturazione degli edifici esistenti con l'obiettivo di migliorare la loro prestazione energetica. Un elemento centrale di questa strategia è l'ambizione di raddoppiare il

tasso di ristrutturazione energetica entro il 2030, con la ristrutturazione di almeno 35 milioni di unità immobiliari. In questo contesto, la coibentazione gioca un ruolo cruciale, poiché una buona coibentazione riduce il fabbisogno energetico degli edifici per il riscaldamento e il raffreddamento, limitando così il consumo di energia e le emissioni. Per assicurare ciò gli stati membri dovrebbero istituire piani nazionali di ristrutturazione degli edifici che sostituiscano le strategie di ristrutturazione a lungo termine previste dalla direttiva 2012/27/UE che a sua volta modificava la direttiva 2010/31/UE [4][5].

Il concetto di ristrutturazione profonda è introdotto nel documento per descrivere interventi che mirano a trasformare gli edifici esistenti in edifici a “energia quasi zero” o addirittura a “emissioni zero”, concetto che già con la Direttiva Europea 844, aveva imposto agli Stati membri, che tutti gli edifici nuovi o quelli su cui si interviene con una demolizione e ricostruzione devono essere NZEB (“near zero emission building”). Questi interventi includono la coibentazione e l'installazione di sistemi tecnici più efficienti, come pompe di calore, sistemi di ventilazione meccanica controllata, e l'auto produzione di energia rinnovabile, ad esempio tramite impianti fotovoltaici [1][3].

## 1.2 La coibentazione come strumento contro la povertà energetica

Uno degli aspetti sociali più rilevanti legati alla ristrutturazione energetica degli edifici è la lotta contro la povertà energetica. Secondo il documento [6], la povertà energetica colpisce in modo particolare le famiglie vulnerabili, che spesso vivono in edifici caratterizzati da un basso livello di efficienza energetica e quindi da elevati consumi di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, con spese elevate, non stabili e fluttuanti in base all'andamento del mercato. A tal proposito, la direttiva invita gli Stati membri a promuovere e sostenere finanziariamente interventi di ristrutturazione energetica, soprattutto in edifici occupati da persone in condizioni di vulnerabilità economica.

Tale aspetto viene trattato anche dall'ENEA, in un suo articolo del 2022, in cui si parla di povertà energetica come una condizione di “incapacità di fruire di beni e servizi energetici essenziali” [1][6].

### 1.3 Soluzioni industriali e prefabbricate per la coibentazione

Un altro aspetto innovativo riguarda l'utilizzo di soluzioni industriali prefabbricate per la ristrutturazione degli edifici. Il documento [2] sottolinea come l'impiego di elementi prefabbricati possa accelerare il processo di ristrutturazione, abbattendo i costi e garantendo un elevato livello di qualità. Questi elementi, che includono pannelli per l'isolamento termico e sistemi integrati di produzione di energia, possono essere applicati ad interi quartieri o distretti, promuovendo un'azione su larga scala per la decarbonizzazione del patrimonio edilizio [1].

A tal proposito, sempre in un articolo pubblicato sul sito ENEA, viene analizzata la realizzazione fuori opera di elementi edilizi, definita come l'Off-Site Construction (OSC), attraverso un controllo maggiore dei diversi parametri in gioco consente importanti vantaggi, quali:

- possibilità di integrazione della facciata con altre funzioni;
- rapidità di posa in opera;
- abbattimento di polveri e rumori in cantiere;
- flessibilità nella scelta modulare;
- applicazione su edifici esistenti.

Il principale intento emerge essere prevalentemente quello di spostare parte importante dell'impegno realizzativo dal sito di utilizzo all'ambiente controllato e più preciso dell'impianto di produzione. L'edilizia off-site riduce, quindi, l'intensità delle lavorazioni in cantiere per spostarla principalmente in fabbrica, consentendo una riorganizzazione di tecnologie e processi volta a una maggiore efficienza e qualità con il beneficio di minimizzare gli sprechi, eliminando il concetto stesso di scarto. L'edilizia off-site è attenta alla standardizzazione, all'analisi dei costi e delle prestazioni nell'intero ciclo di vita dell'edificio; pertanto, mira a ottimizzare l'intera filiera e apre la strada a molteplici applicazioni, dal nuovo costruito, alla riqualificazione, all'ampliamento. Ulteriore vantaggio, connesso all'impiego di tecnologie di posa in opera "a secco", è che una facciata realizzata con questa metodologia può essere oggetto di "aggiornamenti" tecnologici senza grandi impatti, in maniera rapida e con costi contenuti. Sebbene sia ancora in una fase applicativa

iniziale in molti Paesi, l'OSC ha attirato negli ultimi anni molta attenzione, in ambito sia accademico sia industriale, grazie alle sue potenzialità nel raggiungimento di migliori prestazioni di progetto, come ad esempio la riduzione della durata del progetto e degli scarti di costruzione, e sta sempre più prendendo piede soprattutto nei Paesi in via di sviluppo [2].

#### 1.4 Norme minime di prestazione energetica e coibentazione

Per incentivare la ristrutturazione degli edifici più energivori, il documento introduce l'idea delle norme minime di prestazione energetica. Queste norme impongono agli edifici esistenti di raggiungere un certo livello di efficienza entro determinate scadenze, promuovendo interventi come la coibentazione delle pareti, dei tetti e dei solai. Gli edifici che non rispettano questi requisiti dovranno essere adeguati o, in casi estremi, potrebbero essere soggetti a restrizioni sull'utilizzo.

Queste misure non si limitano a migliorare l'efficienza energetica, ma mirano anche a ridurre le emissioni inquinanti derivanti dal riscaldamento degli edifici. La direttiva evidenzia come il miglioramento delle prestazioni energetiche attraverso una buona coibentazione possa anche ridurre le emissioni di particolato fine, con significativi benefici per la salute pubblica [1].

#### 1.5 Strutture Future-Proof

La crescente consapevolezza ambientale e la necessità di ridurre le emissioni di carbonio hanno portato all'introduzione di normative sempre più stringenti in ambito edilizio. La progettazione di strutture che siano "future-proof", ossia capaci di resistere al passare del tempo in termini di prestazioni energetiche, usura dei componenti, e conformità legislativa, è ormai una priorità. In questo capitolo, analizzeremo come diverse tipologie di strutture, caratterizzate da differenti livelli di isolamento e prestazioni, si comporteranno nel corso degli anni sotto vari aspetti, fornendo dati e riferimenti alle normative vigenti.

### 1.5.1 Durabilità dei Materiali Edilizi

La valutazione corretta dell'impatto ambientale di un edificio non può prescindere dall'analisi delle fasi di gestione nel tempo, come evidenziato dal Decreto CAM (Criteri Ambientali Minimi), la cui obbligatorietà è assicurata dall'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, dall'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.Lgs. 50/2016 "Codice degli appalti" [7][8].

In un contesto di sostenibilità ambientale, è fondamentale considerare attentamente gli scenari di mantenimento degli edifici, che dipendono in gran parte dalla durabilità dei materiali utilizzati. Nel bilancio complessivo dell'impatto ambientale, le sostituzioni necessarie per mantenere le prestazioni dell'involucro nel tempo possono avere un impatto significativo, soprattutto se i componenti scelti hanno una vita utile inferiore alla durata prevista per l'edificio, generalmente stimata in cento anni. Spesso, nella scelta dei materiali da costruzione, viene valutata solo la durabilità nel tempo, ovvero la capacità di un componente di svolgere le funzioni richieste da progetto durante un periodo di tempo specificato. Questo approccio può portare a preferire materiali che hanno un impatto di produzione inferiore, ma una durata in uso ridotta, comportando frequenti sostituzioni. Tuttavia, alternative con un impatto di produzione maggiore, ma una durata più lunga, possono risultare più vantaggiose nel bilancio ambientale complessivo, riducendo la frequenza degli interventi di manutenzione e sostituzione. Il problema centrale riguarda la disponibilità dei dati sulla durata dei componenti, motivo per cui in alcuni Paesi europei i produttori sono obbligati, sotto diretta responsabilità, a fornire queste informazioni a progettisti e costruttori. La nuova norma EN 15804: +A2 2019 relativa alle EPD dei prodotti edilizi impone l'obbligo di dichiarare la vita utile del prodotto (*reference service life*) e, in futuro, di redigere l'eco profilo [9].

I sistemi monostrato minerali, come quelli realizzati con blocchi Ytong, scelto per il Livello Avanzato, offrono vantaggi significativi rispetto ai sistemi stratificati o con cappotto termico esterno, sia in termini di rapidità di costruzione che di durabilità. Grazie alla riduzione delle lavorazioni, questi sistemi consentono di velocizzare i tempi di costruzione e garantiscono maggiore longevità nel tempo, come confermato dall'EPD (*Environmental Product Declaration*) di Xella. Inoltre, la manutenzione

delle facciate esterne risulta più semplice rispetto ai sistemi a strati o con cappotto esterno. I sistemi di isolamento termico esterno a cappotto, scelti nei livelli Base ed Intermedio, richiedono particolari attenzioni e manutenzioni per garantirne la durabilità, come descritto nel capitolo 11 della norma UNI/TR 11715 “Isolanti termici per l’edilizia - Progettazione e messa in opera dei sistemi isolanti termici per l’esterno (ETICS)”. Le pareti esterne monostrato realizzate con blocchi Ytong sono generalmente finite a intonaco, una soluzione più robusta e facilmente ispezionabile rispetto ai sistemi con cappotto esterno. Anche per le superfici interne, la verifica dell’integrità è più agevole, soprattutto in assenza di contropareti che potrebbero ritardare la rilevazione di eventuali difetti nascosti. Queste stesse considerazioni si applicano anche alle pareti interne [10].

#### *1.5.2 Manutenzione Impiantistica*

La scelta degli impianti di riscaldamento e raffrescamento ha un impatto significativo sulla sostenibilità e sulla manutenzione degli edifici. Nel livello Avanzato, sfruttano tecnologie Carbon-Free, con livelli di efficienza neanche paragonabili a quelli di unità termiche che sfruttano i combustibili fossili. Le pompe di calore, operando a basse temperature (dai 7-65 °C), riducono il deterioramento dei componenti e hanno una durata media di 20-25 anni con una manutenzione quasi assente, che può verosimilmente essere rappresentata dalla semplice pulizia dei filtri dell’aria.

In confronto, le caldaie a gas, anche le più moderne, richiedono manutenzioni annuali più frequenti, e la stessa Ariston dichiara una vita utile di 14 anni. Inoltre, in seguito all’entrata in vigore della normativa contenuta nel DPR 74/2013, che regola le attività di controllo e manutenzione degli impianti termici, ha reso obbligatori:

- **Manutenzione:** Se l’installatore non ha fornito istruzioni specifiche, la frequenza della manutenzione è indicata dai produttori degli apparecchi e dei componenti dell’impianto termico nei rispettivi libretti d’uso e manutenzione. In genere, la periodicità è stabilita dal produttore e riportata nel libretto di istruzioni della caldaia. Solitamente, la manutenzione viene effettuata annualmente e, al termine dei controlli, il manutentore è obbligato a rilasciare

un report delle verifiche e a compilare le sezioni pertinenti del libretto dell'impianto;

- Controllo efficienza o Prova dei fumi: il controllo dell'efficienza energetica dell'impianto, è obbligatorio e deve essere eseguito in occasione delle operazioni di manutenzione, a seguito del quale verrà rilasciato il “Bollino Blu”, con la seguente cadenza:

Tipologia Alimentazione	Potenza utile nominale [kW]	Controllo efficienza energetica
Generatori alimentati a combustibile liquido o solido ( <b>pellet, gasolio</b> )	$10 \leq P \leq 100$	2 anni
	$P > 100$	1 anno
Generatori alimentati a gas ( <b>metano, GPL</b> )	$10 \leq P \leq 100$	<b>4 anni</b>
	$P > 100$	2 anni

[Tab.1.1]: Cadenza Manutenzione Generatori di Calore

L'obbligo di verificare e controllare lo stato della caldaia è volto a prevenire il rischio di incidenti legati al malfunzionamento e all'invecchiamento dell'impianto di riscaldamento e, ovviamente, a migliorarne l'efficienza energetica. Le ispezioni per verificare l'adempimento dell'obbligo di manutenzione degli impianti di riscaldamento sono condotte a campione, controllando l'eventuale mancato pagamento del bollino blu, che viene rilasciato dal tecnico durante la revisione, o il mancato invio del rapporto di controllo e della qualità dei fumi. A stabilirlo è il decreto legislativo n. 192 del 2005 e successive modifiche sul rendimento energetico nell'edilizia, che all'articolo 15 fissa la multa in caso non si rispettino le regole stabilite, dalle 500 alle 3000 euro.

In termini di adeguamento futuro, gli edifici dotati di pompe di calore sono già conformi alle normative che promuovono l'uso di energie rinnovabili. Le direttive europee, come la Direttiva 2018/844/UE, richiedono una progressiva eliminazione delle caldaie a combustibili fossili entro il 2030, rendendo necessario per molti edifici più vecchi un costoso adeguamento impiantistico per rimanere conformità [11].

## CAPITOLO 2

### PROGRAMMA EDILCLIMA EC700

Nel contesto dell'analisi energetica e della progettazione degli impianti termotecnici, l'utilizzo di strumenti informatici integrati è ormai imprescindibile. Edilclima è un'azienda che fornisce una suite di programmi, tra cui EC700, dedicato alla progettazione termotecnica e alla valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Uno degli aspetti fondamentali di Edilclima è la sua conformità alle normative vigenti in materia di efficienza energetica e sostenibilità ambientale, sia a livello nazionale che internazionale, grazie ai continui aggiornamenti rilasciati.

L'utilizzo di Edilclima EC700 comporta una serie di vantaggi e svantaggi, tra i principali punti di forza si annoverano l'integrazione della suite di programmi che l'azienda offre oltre che, come già citata, la continua aggiornabilità del software. L'adozione di Edilclima EC700 presenta anche alcune criticità, tra cui la necessità di un periodo di apprendimento considerevole: per utilizzare il programma in modo efficace, è spesso necessario frequentare corsi di formazione specifici, da me svolti.

#### 2.1 Caratteristiche Preliminari

In questo paragrafo mostriamo in maniera sintetica l'interfaccia iniziale del Programma Edilclima, dove si vanno a dare al programma alcune informazioni per approssimare un calcolo termico di un edificio.

Una volta creato un nuovo file avendo cura di scegliere il modulo EC700, ovvero quello che ci permette di calcolare le prestazioni energetiche degli edifici, avremo a disposizione diverse schermate da andare a compilare:

- *Dati Progetto*: in cui inserisco i dati del committente e del tecnico, e in cui vado a definire la destinazione d'uso dell'edificio, secondo l'Art.3 del DPR 412/93 [12];

**Categorie di edifici (DPR 412/93):**

**E.1 : Edifici adibiti a residenza e assimilabili**

**(1) residenze a carattere continuativo**

(abitazioni civili, collegi, conventi, case di pena, caserme)

**(2) residenze con occupazione saltuaria**

( case per vacanze, fine settimana e simili)

**(3) edifici adibiti ad albergo, pensione e simili.**

**E.2: Edifici adibiti ad uffici**

**E.3 Edifici adibiti a case di cura, ospedali...**

**E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, di culto, associative...**

**E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali**

**E.6 Edifici adibiti ad attività sportive: (1) piscine, saune...; (2) palestre...; (3) servizi...**

**E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche...**

**E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali**

[Fig. 2.1]: Schermata Dati Climatici nel programma Edilclima EC700

- *Dati Climatici*: in cui vado a specificare la zona climatica in cui si trova l'edificio, secondo l'Art.2 del DPR 412/93;
- *Regime Normativo*: sulla base del quale il software effettua i calcoli
- *Dati Default*.

Nello specifico andiamo ad analizzare la sezione “*Dati climatici*” specificiamo che questa schermata è fondamentale per la configurazione del progetto, poiché contiene le informazioni relative alle condizioni climatiche della località in cui si trova l'edificio da analizzare o progettare. Una dei parametri che il Programma va a determinare, in base all'indirizzo fornito dell'edificio, è la Zona Climatica: una suddivisione del territorio nazionale in diverse aree, basata sulla severità del clima. In Italia, il territorio è suddiviso in sei zone climatiche, indicate con le lettere A, B, C, D, E, F, in ordine crescente di severità climatica. Questa classificazione è definita dal DPR 412/93 e viene utilizzata per stabilire i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici, come la durata della stagione di riscaldamento, e i limiti massimi di

trasmissione termica delle strutture. Le zone climatiche sono cruciali nel processo di progettazione termotecnica perché influenzano direttamente:

- Il dimensionamento degli impianti: La zona climatica determina i carichi termici di riscaldamento e raffreddamento necessari per mantenere condizioni di comfort negli ambienti interni.
- La scelta dei materiali e delle tecnologie costruttive: In base alla zona climatica, si selezionano le soluzioni più efficienti dal punto di vista energetico per l'involucro edilizio, come l'isolamento termico e i serramenti.
- La conformità normativa: Gli edifici devono rispettare specifici requisiti di prestazione energetica che variano in base alla zona climatica in cui si trovano. Questi requisiti sono fondamentali per ottenere le necessarie certificazioni energetiche.

**Dati progetto** **Dati climatici** **Regime normativo** **Dati default**

Regime normativo  UNI 10349:2016  UNI 10349:1994

**Dati mensili** **Dati orari**

**Dati geografici**

Comune: Chiaravalle  
 Provincia: Ancona  
 Gradi giorno DPR 412/93: 1823 gg  
 Altitudine s.l.m.: 22 m  
 Latitudine Nord: 43 ° 36 '  
 Longitudine Est: 13 ° 19 '  
 Codice Catastale: C615 CAP: 60033  
 Distanza dal mare: < 20 km  
 Regione di vento: B  
 Direzione prevalente vento: O  
 Velocità vento media: 1.80 m/s  
 Velocità vento max: 3.60 m/s  
 Codice ISTAT: 42014

**Dati invernali**

Stazione di rilevazione per:  
 Temperatura: AN - Ancona - Regione  
 Irraggiamento: AN - Ancona - Regione  
 Ventosità: AN - Ancona - Regione

Località di rif.: Ancona  
 Temperatura: -2.0 °C  
 Variazione: 0.0 °C  
 Adottata: -2.0 °C

Periodo convenzionale riscaldamento:  
 Zona climatica: D  
 Durata: 166 giorni  
 Dal giorno: 1 novembre  
 Al giorno: 15 aprile

Irradianza solare massima sul piano orizzontale: 290.5 W/m<sup>2</sup>

**Dati estivi**

Località riferimento estiva: Ancona

Temperatura bulbo secco: 30.1 °C  
 Temperatura bulbo umido: 23.5 °C  
 Umidità relativa: 58.0 %  
 Umidità assoluta: 15.9 g/kg  
 Escursione termica giornaliera: 5.5 °C

[Fig. 2.2]: Schermata Dati Climatici nel programma Edilelima EC700

Un esempio pratico per capire l'importanza legislativo delle zone climatiche è la sostituzione degli infissi di un edificio che viene sottoposto ad una riqualificazione termico:

Fascia climatica	Valore Uw per accedere alle agevolazioni sostituzione infissi
A	3,7 W/m <sup>2</sup> K
B	2,4 W/m <sup>2</sup> K
C	2,1 W/m <sup>2</sup> K
D	2,0 W/m <sup>2</sup> K
E	1,8 W/m <sup>2</sup> K
F	1,6 W/m <sup>2</sup> K

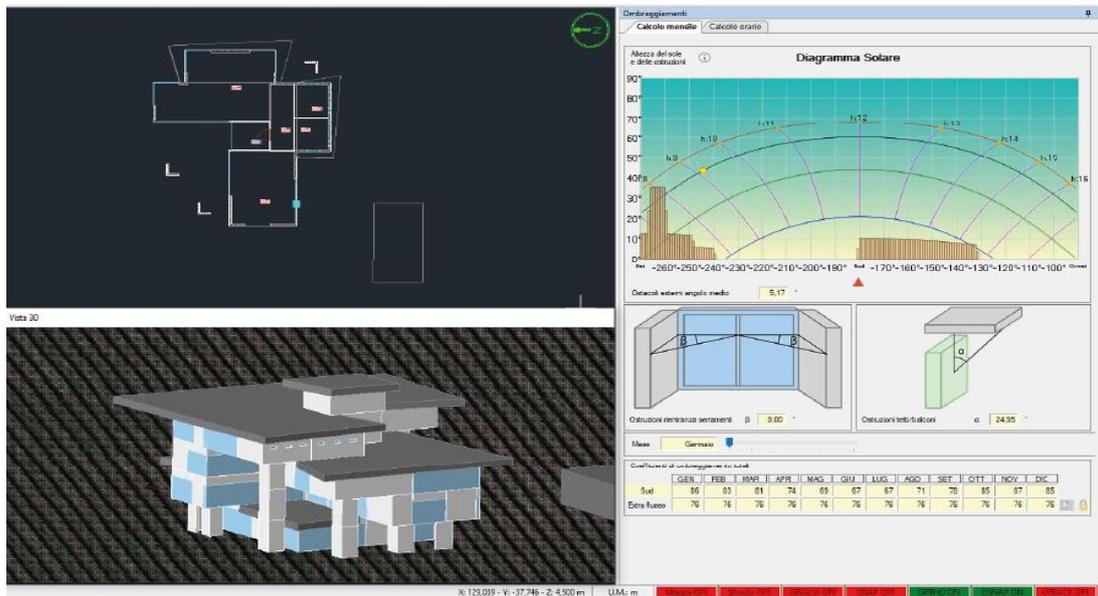
[Fig. 2.3]: Valori di Trasmittanza degli Infissi

In base alla zona climatica in cui ci troviamo, avremo diversi limiti di Trasmittanza che i nuovi infissi devono rispettare per poter rientrare negli Ecobonus, che da' diritto al rimborso IRPEF del 50% per acquisto infissi a migliore isolamento termico. Riportiamo una tabella che esaurisce quanto detto.

## 2.2 Input Grafico

La sezione Input Grafico nel programma Edilclima EC700 è una funzionalità che permette di inserire e gestire i dati dell'edificio in modo visivo e interattivo. Questo strumento consente di disegnare la geometria dell'edificio direttamente nell'interfaccia del software, facilitando la modellazione degli spazi e la definizione delle strutture edilizie.

La sezione Input Grafico è strettamente integrata con le altre funzionalità di Edilclima EC700. I dati inseriti graficamente vengono utilizzati direttamente per eseguire le simulazioni energetiche, calcolare i fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento, e determinare la conformità alle normative energetiche.



[Fig. 2.4]: Esempio sezione di Input Grafico

Si inizia dall'impostare uno sfondo grafico che nella maggior parte dei casi è la pianta in formato DWG dell'edificio, per poi iniziare a tracciare le pareti della struttura, avendo cura di impostare il pacchetto giusto, dove per pacchetto si intende il tipo di muro presente. Per chiarire, nel caso in cui si avessimo una struttura in cui due pareti hanno diverso spessore o presentano una diversa stratigrafia dovremo inserire ogni muro con il suo corrispettivo da progetto.

Si proseguirà poi con l'inserimento dei Componenti Finestrati, dei Ponti Termici, delle Coperture e dei Pavimenti.

### 2.2.1 Componenti Finestrati

In questa sezione dovremo andare ad inserire anche i componenti finestrati, secondo la UNI EN ISO 10077-1, specificando le caratteristiche quali la trasmittanza e la geometria [13]. Inserire i componenti finestrati nell'input grafico di Edilclima è importante per diverse ragioni:

- Calcolo delle dispersioni termiche: Le finestre sono punti critici per le perdite e i guadagni di calore; quindi, un inserimento accurato migliora la precisione dell'analisi energetica.
- Apporto solare: Consente di stimare correttamente l'ingresso della radiazione solare, riducendo la necessità di riscaldamento artificiale in inverno.
- Illuminazione naturale: Permette di valutare il fabbisogno di luce artificiale, favorendo un progetto energeticamente sostenibile.
- Conformità normativa: Assicura che l'edificio rispetti i requisiti di trasmittanza termica e altre specifiche normative, garantendo la conformità energetica.

**CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI**  
secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 10077

**Descrizione della finestra: 140x170**

**Codice: W1**

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	-
Classe di permeabilità	<b>Senza classificazione</b>
Trasmittanza termica	$U_w$ <b>1,100</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza solo vetro	$U_g$ <b>0,600</b> W/m <sup>2</sup> K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	$\epsilon$	<b>0,837</b>	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,500</b>	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c,inv}$	<b>1,00</b>	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c,est}$	<b>0,35</b>	-
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,494</b>	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		<b>0,19</b>	m <sup>2</sup> K/W
f shut		<b>0,6</b>	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w,e}$	<b>0,986</b>	W/m <sup>2</sup> K

\* Valore calcolato considerando l'effetto della chiusura oscurante (UNI EN ISO 10077)

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza	<b>140,0</b>	cm
Altezza H	<b>170,0</b>	cm



[Fig. 2.5]: Caratteristiche del Componente Finestrato.

### 2.2.2 Ponti Termici

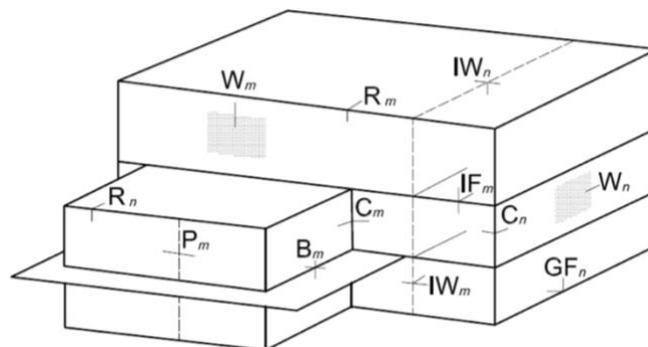
Per ponte termico, si intende una discontinuità nell'involucro edilizio che può essere di tipo geometrico come, per esempio, un angolo e/o di tipo strutturale, ovvero

dovuta a variazioni nei materiali usati (es., la presenza di un pilastro, o di una finestra). Tale discontinuità del pacchetto modifica l'andamento del flusso termico, creando "vie di fuga" preferenziali del calore che incrementano le dispersioni dovute alla normale trasmissione del calore. Oltre ad incrementare le dispersioni termiche, i ponti termici provocano un abbassamento delle temperature superficiali, e di conseguenza aumenta il rischio di condensazione del vapore acqueo e degrado dell'involucro (muffe).

Il parametro che entra in gioco quando si studiano i Ponti Termici e la *Trasmittanza Termica Lineica*, parametro che indica il flusso termico che, in regime stazionario, attraversa il ponte termico per una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1 °C.

Per una corretta valutazione del flusso termico associato alla presenza di ponti termici, è necessario ricorrere a metodi di calcolo numerico che consentano di risolvere l'equazione di Laplace nel caso multidimensionale.

Le procedure di calcolo del flusso termico dovuto a ponti termici sono riportate nella norma UNI EN ISO 10456 [14].



[Fig. 2.6]: Tipologie di Ponti Termici in un edificio

In un generico edificio si hanno inevitabilmente dei ponti termici, come riportato in fig. 1.6, in quanto per necessità costruttive solai e murature sono diversi.

Nell'edificio in esame abbiamo inserito tutti i Ponti Termici presenti, se ne riporta in seguito un esempio, nello specifico della tipologia GF.

### CARATTERISTICHE TERMICHE DEI PONTI TERMICI

**Descrizione del ponte termico:** *GF - Parete - Solaio controterra*

**Codice:** *Z1*

Tipologia	<i>GF - Parete - Solaio controterra</i>
Trasmittanza termica lineica di calcolo	<i>-0,217</i> W/mK
Trasmittanza termica lineica di riferimento	<i>-0,434</i> W/mK
Fattore di temperature $f_{si}$	<i>0,669</i> -
Riferimento	<i>UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211</i>

Note *GF8 - Giunto parete con isolamento ripartito -solaio controterra con isolamento all'estradosso*

*Trasmittanza termica lineica di riferimento ( $\varphi_e$ ) = -0,434 W/mK.*



[Fig. 2.7]: Ponte Termico di tipo GF

Il programma Edilclima non va solo a calcolare la Trasmittanza Termica Lineica, ma va a verificare diversi parametri al fine di certificare l'assenza di condensa.

#### **Verifica temperatura critica**

Condizioni interne:

Classe concentrazione del vapore	<b>0,006</b> kg/m <sup>3</sup>
Temperatura interna periodo di riscaldamento	<b>20,0</b> °C
Umidità relativa superficiale ammissibile	<b>80</b> %

Condizioni esterne:

Temperature medie mensili -

Mese	$\theta_i$	$\theta_e$	$\theta_{si}$	$\theta_{acc}$	Verifica
ottobre	<b>18,0</b>	<b>17,7</b>	<b>17,9</b>	<b>16,2</b>	<b>POSITIVA</b>
novembre	<b>20,0</b>	<b>15,2</b>	<b>18,5</b>	<b>13,7</b>	<b>POSITIVA</b>
dicembre	<b>20,0</b>	<b>12,9</b>	<b>17,8</b>	<b>14,5</b>	<b>POSITIVA</b>
gennaio	<b>20,0</b>	<b>11,5</b>	<b>17,4</b>	<b>14,2</b>	<b>POSITIVA</b>
febbraio	<b>20,0</b>	<b>10,7</b>	<b>17,1</b>	<b>13,3</b>	<b>POSITIVA</b>
marzo	<b>20,0</b>	<b>10,8</b>	<b>17,1</b>	<b>13,7</b>	<b>POSITIVA</b>
aprile	<b>20,0</b>	<b>12,7</b>	<b>17,7</b>	<b>14,5</b>	<b>POSITIVA</b>

Legenda simboli

$\theta_i$	Temperatura interna al locale	°C
$\theta_e$	Temperatura esterna	°C
$\theta_{si}$	Temperatura superficiale interna in luogo del ponte termico	°C
$\theta_{acc}$	Temperatura minima accettabile per scongiurare il fenomeno di condensa	°C

[Fig. 2.8]: Ponte Termico di tipo GF

Una volta Terminato l’inserimento di tutti gli elementi sopra citati, andremo ad “Esportare i Dati”, cioè andremo a confermare al programma che la struttura da noi inserita è corretta. Sulla base di ciò che abbiamo inserito, il programma andrà a calcolare le dispersioni in maniera molto dettagliata.

## CAPITOLO 3

### CASI STUDIO E STRATIGRAFIA

In questo Capitolo si andrà dapprima a definire l'edificio in esame e i tre livelli di isolamento, per poi andare a fissare alcuni concetti importanti nello studio stratigrafico di un fabbricato.

#### 3.1 Casi Studio

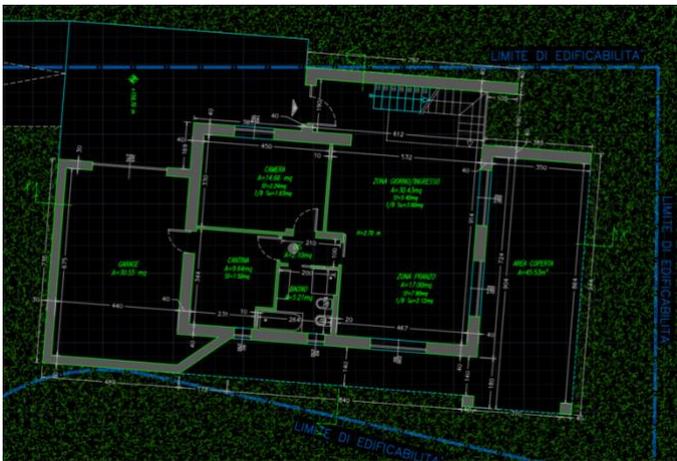
Partendo dallo stesso edificio, lo studio si articolerà in tre differenti “Casi Studio”, ciascuno caratterizzato da un diverso livello di coibentazione. In questo modo emergeranno tre distinti “livelli”, che permetteranno di confrontare l'impatto delle varie soluzioni di isolamento sulla prestazione energetica dell'edificio, i tre livelli sono:

- Livello Base: in cui si andrà a ricercare economicità;
- Livello Intermedio: in cui si andrà a ricercare qualità;
- Livello Avanzato in cui si andrà a ricercare innovazione.

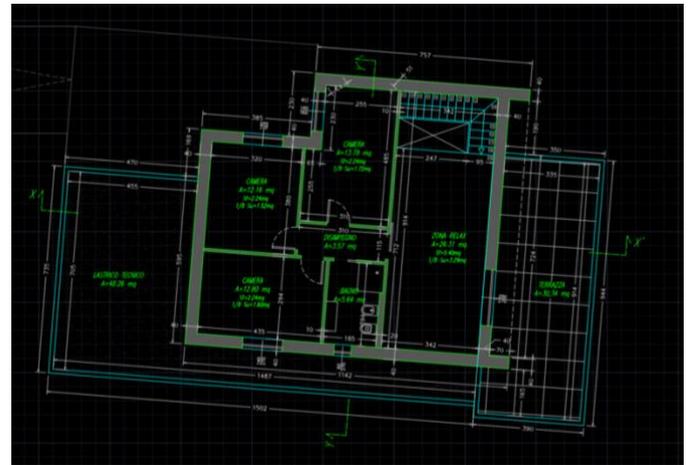
L'edificio in questione sarà un Villetta di 185 m<sup>2</sup> che si sviluppa su due livelli, il piano terra di 112m<sup>2</sup> e il primo piano di 73 m<sup>2</sup>. La struttura è già esistente ed è stata realizzata nel 2021 seguendo il Livello Avanzato di Coibentazione.



[Fig. 3.1]: Vista Panoramica dell'edificio



[Fig. 3.2]: Piano Terra



[Fig. 3.3]: Primo Piano

Si mostrano le Piante dell'edificio in quanto, come anticipato nella sezione Input Grafico, nel programma Edilclima si parte dalla pianta della struttura sulla base della quale si vanno ad inserire le strutture disperdenti, a partire dalle pareti, per poi passare ai componenti finestrati e per finire si aggiungono coperture e pavimenti.

### 3.2 Trasmittanza Termica

L'analisi che si andrà a svolgere si fonda su un concetto cardine della termotecnica, che è la Trasmittanza Termica, ovvero il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta ad una differenza di temperatura pari ad 1° (Celsius

o Kelvin). Possiamo quindi chiarirla come una misura dell'efficienza con cui un materiale resiste al passaggio di calore. Tale valore permette ai termotecnici di rispondere principalmente a due domande: quanto calore trattiene un edificio e quanto ne disperde. La trasmittanza termica può essere espressa con dalla formula (in  $\frac{W}{m^2K}$ ):

$$U = \frac{1}{R_{TOT}} \quad (3.1)$$

Dove:

- $R_{TOT}$  è la resistenza termica totale  $R_{TOT} = \sum R_i$  in  $\frac{m^2K}{W}$
- $R_i$  è la resistenza termica del *i-esimo* strato in  $\frac{m^2K}{W}$

Abbiamo richiamato la Resistenza Termica  $R$ , cioè la capacità di un materiale di opporsi al flusso di calore che tende ad attraversarlo. Nel caso di strati omogenei la resistenza termica è determinata dal rapporto tra spessore dello strato e conducibilità termica  $\lambda$  del materiale di cui è composto lo strato stesso. La formula della resistenza termica (in  $\frac{m^2K}{W}$ ) è:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3.2)$$

dove:

- $\lambda$  è la conducibilità termica in  $\frac{W}{K}$ ;
- $d$  è lo spessore del materiale in metri.

Per il calcolo della capacità termica complessiva dell'edificio, il software fa riferimento alla norma UNI EN ISO 6946 [15].

### 3.3 Analogia Trasmissione di Calore e Circuiti Elettrici

La trasmissione del calore attraverso una stratigrafia edilizia può essere analizzata con un'analogia elettrica, paragonando la resistenza termica di ciascun strato alla resistenza elettrica in un circuito in serie. Questa analogia permette di utilizzare

concetti familiari dell'elettricità per comprendere meglio il comportamento termico di una parete composta da più materiali.

Quando si studia la trasmittanza termica  $U$  di una parete stratificata, è utile immaginare ogni strato della parete come una resistenza elettrica collegata in serie. In un circuito elettrico, le resistenze in serie sommano i loro valori per fornire una resistenza totale. Allo stesso modo, le resistenze termiche  $R$  di ciascun strato di materiale sommano per dare la resistenza termica totale della parete.

Utilizzando l'analogia delle resistenze elettriche in serie, è possibile comprendere e calcolare la trasmittanza termica di una parete stratificata. Questa metodologia offre un modo intuitivo per visualizzare e sommare le resistenze termiche, rendendo il processo di calcolo più accessibile e comprensibile, specialmente per chi ha familiarità con i circuiti elettrici.

### 3.4 Verifiche di Prevenzione di Condensa

Nella Valutazione Termica di un edificio, i Pacchetti Stratigrafici sono cruciali, e riferiscono alle diverse stratificazioni dei materiali che compongono le superfici opache dell'edificio, come le pareti, i solai e le coperture. Ogni "*pacchetto*" include l'insieme dei materiali disposti in strati, che sono valutati nel loro complesso per determinare le caratteristiche termiche della superficie. Il programma in questione non valuta solamente la trasmittanza della struttura disperdente in questione ma ne fa anche una Verifica Termo Igrometrica. Le norma referente è la UNI EN ISO 13788 [16].

#### 3.4.1 Verifica Termoigrometrica

Per Verifica Termoigrometrica si intende quella procedura diagnostica che consente di individuare le possibili irregolarità termiche dell'involucro edilizio e di identificare i punti di maggiore dispersione termica; essa è finalizzata a determinare, mediante procedure di calcolo, l'eventuale presenza di vapore d'acqua condensato in un punto generico della struttura. La verifica termoigrometrica delle strutture opache è prescritta dal DPR 2.4.2009, n. 59, all'articolo 4 comma 17 per gli edifici di nuova costruzione e la ristrutturazione di edifici esistenti [17].

L'affinità di molti materiali da costruzione con l'acqua allo stato liquido o di vapore modifica il comportamento Termogrometrico di questi ultimi, alterando la loro:

- resistenza strutturale (cricche dovute al gelo nelle porosità, ...);
- resistenza termica;
- aspetto e durata (ossidazione, intonaci e rivestimenti che si sgretolano, formazione di muffe, ...);

Basta pensare che la conducibilità dell'acqua è circa 25 volte superiore a quella dell'aria; la sostituzione di quest'ultima con l'acqua nei pori dei materiali amplifica lo scambio termico conduttivo. Il problema principale per i Termotecnici, quindi, è quello del vapore acqueo, che penetra più o meno facilmente nei pori della struttura per differenza di pressione parziale tra gli ambienti separati dalla parete in esame. Se una zona della parete è a temperatura inferiore di quella di rugiada dell'aria, si formerà condensa. Esistono due tipi di condensa:

- Visibile o superficiale, quando la condensa si forma sulla superficie interna della parete;
- Nascosta interstiziale, quando si verifica all'interno della parete.

#### 3.4.2 Condensa Superficiale

La Condensa Superficiale non si forma sulla superficie interna della parete se la sua temperatura superficiale è maggiore di quella di rugiada dell'aria interna. Ciò richiede un isolamento adeguato, ovvero deve essere garantita una trasmittanza massima (in  $\frac{W}{m^2K}$ ) non superiore a:

$$U_{MAX} = \left( \frac{T_i - T_{Si,Sic}}{T_i - T_e} \right) * h_{Si} \quad (3.3)$$

Dove:

- $T_{Si,Sic}$ : Temperatura di Sicurezza della superficie interna, pari a quella di rugiada dell'aria interna +1°C;
- $h_{Si}$ : Coefficiente di scambio termico superficiale.

La verifica va effettuata su tutte le pareti perimetrali e su base mensile, secondo la norma UNI EN ISO 13788 [16]:

- $T_i$ :
  - 20 °C o temperatura di progetto quando è in funzione l'impianto di riscaldamento;
  - 18 °C nei mesi in cui l'impianto non è in funzione e  $T_e < 18$  °C.
- $T_e$ :
  - si può fare riferimento ai dati climatici medi mensili riportati nella UNI 10349.
- $h_{si}$ :
  - $4 \frac{W}{m^2 K}$  per le superfici opache;
  - $7,7 \frac{W}{m^2 K}$  per le superfici vetrate ed i telai.

### 3.4.3 Condensa Interstiziale

La diffusione del vapore acqueo attraverso la parete omogenea di una struttura edilizia può essere determinata attraverso la legge di Fick, semplificata al caso monodimensionale e regime stazionario, la portata massica di vapore acqueo diffuso  $G_v$  (in kg/s) sarà pari a:

$$G_v = P * A * (p_a - p_b) \tag{3.4}$$

Dove:

- $p_a, p_b$  sono le pressioni parziali del vapore dei due ambienti in Pa;
- $A$  è la superficie della parete in  $m^2$ ;
- $G_v$  è la Portata massica di Vapore acqueo diffuso  $G_v$ ;
- $P$  è la Permeanza della parete in  $\frac{kg}{s m^2 Pa}$ ;

L'espressione è valida solo se, in ogni zona della parete, la pressione parziale del vapore è inferiore alla pressione di saturazione alla temperatura della zona in esame (se questo non si verifica, vi è accumulo di condensazione di vapore, e quindi regime

non stazionario). Anche nel caso della Condensazione Interstiziale si avrà su tutte le pareti perimetrali e su base mensile, secondo la norma UNI EN ISO 13788 [16].

Il programma Edilelima mostra sia il risultato delle verifiche ma anche l'andamento della temperatura e della pressione del vapore dentro la parete.

**Risultati mensili condensa superficiale ed interstiziale**  
secondo UNI EN ISO 13788

**Descrizione della struttura:** *Muratura Esterna*

**Codice:** *M1*

**RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE**

Mese	$\theta_{int}$ [°C]	$\theta_{est}$ [°C]	$P_{int}$ [Pa]	$P_{est}$ [Pa]	$\theta_{acc}$ [°C]	$P_{acc}$ [Pa]	$f_{RSI}$ [-]
<i>ottobre</i>	<i>18,0</i>	<i>15,4</i>	<i>1471</i>	<i>1208</i>	<i>16,2</i>	<i>1839</i>	<i>0,301</i>
<i>novembre</i>	<i>20,0</i>	<i>10,7</i>	<i>1250</i>	<i>820</i>	<i>13,7</i>	<i>1562</i>	<i>0,317</i>
<i>dicembre</i>	<i>20,0</i>	<i>8,0</i>	<i>1324</i>	<i>798</i>	<i>14,5</i>	<i>1655</i>	<i>0,545</i>
<i>gennaio</i>	<i>20,0</i>	<i>6,3</i>	<i>1296</i>	<i>709</i>	<i>14,2</i>	<i>1619</i>	<i>0,577</i>
<i>febbraio</i>	<i>20,0</i>	<i>6,6</i>	<i>1218</i>	<i>643</i>	<i>13,3</i>	<i>1523</i>	<i>0,497</i>
<i>marzo</i>	<i>20,0</i>	<i>10,3</i>	<i>1251</i>	<i>807</i>	<i>13,7</i>	<i>1564</i>	<i>0,347</i>
<i>aprile</i>	<i>20,0</i>	<i>13,6</i>	<i>1321</i>	<i>994</i>	<i>14,5</i>	<i>1651</i>	<i>0,141</i>

Legenda simboli

- $\theta_{int}$  Temperatura dell'ambiente interno
- $\theta_{est}$  Temperatura dell'ambiente esterno
- $P_{int}$  Pressione dell'ambiente interno
- $P_{est}$  Pressione dell'ambiente esterno
- $\theta_{acc}$  Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
- $P_{acc}$  Pressione minima accettabile sulla superficie interna
- $f_{RSI}$  Fattore di temperatura superficiale

**RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE**

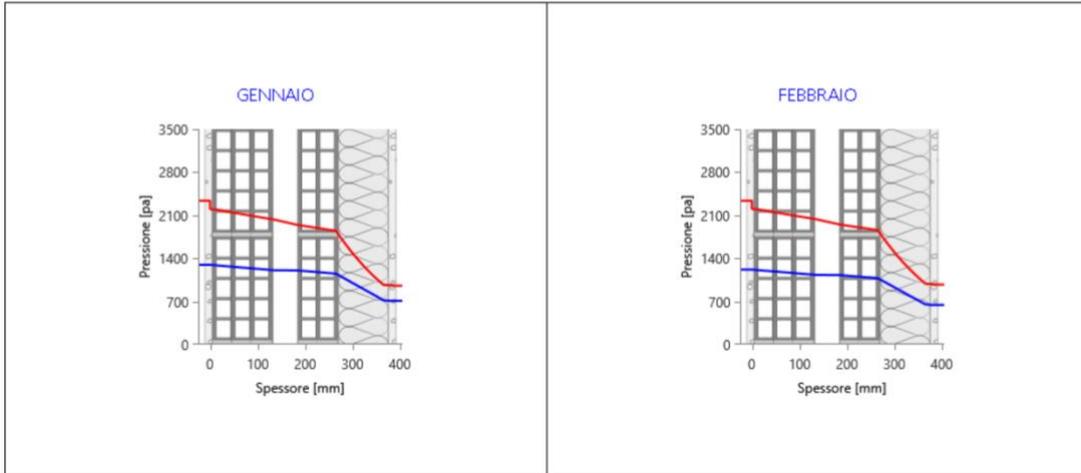
Mese	$\theta_{int}$ [°C]	$\theta_{est}$ [°C]	$\varphi_{int}$ [%]	$\varphi_{est}$ [%]	$g_c$ [g/m <sup>2</sup> ]	$Ma$ [g/m <sup>2</sup> ]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	<i>18,0</i>	<i>15,4</i>	<i>71</i>	<i>69</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>novembre</i>	<i>20,0</i>	<i>10,7</i>	<i>53</i>	<i>64</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>dicembre</i>	<i>20,0</i>	<i>8,0</i>	<i>57</i>	<i>74</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>gennaio</i>	<i>20,0</i>	<i>6,3</i>	<i>55</i>	<i>74</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>febbraio</i>	<i>20,0</i>	<i>6,6</i>	<i>52</i>	<i>66</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>marzo</i>	<i>20,0</i>	<i>10,3</i>	<i>54</i>	<i>64</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>aprile</i>	<i>20,0</i>	<i>13,6</i>	<i>57</i>	<i>64</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>maggio</i>	<i>18,5</i>	<i>18,5</i>	<i>64</i>	<i>57</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>giugno</i>	<i>21,9</i>	<i>21,9</i>	<i>60</i>	<i>57</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>luglio</i>	<i>25,4</i>	<i>25,4</i>	<i>55</i>	<i>52</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>agosto</i>	<i>24,0</i>	<i>24,0</i>	<i>59</i>	<i>56</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>
<i>settembre</i>	<i>20,3</i>	<i>20,3</i>	<i>68</i>	<i>64</i>	<i>0,0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>Asciutto</i>

[Fig. 3.4]: Verifiche della condensa

## Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

Descrizione della struttura: *Muratura Esterna*

Codice: *M1*

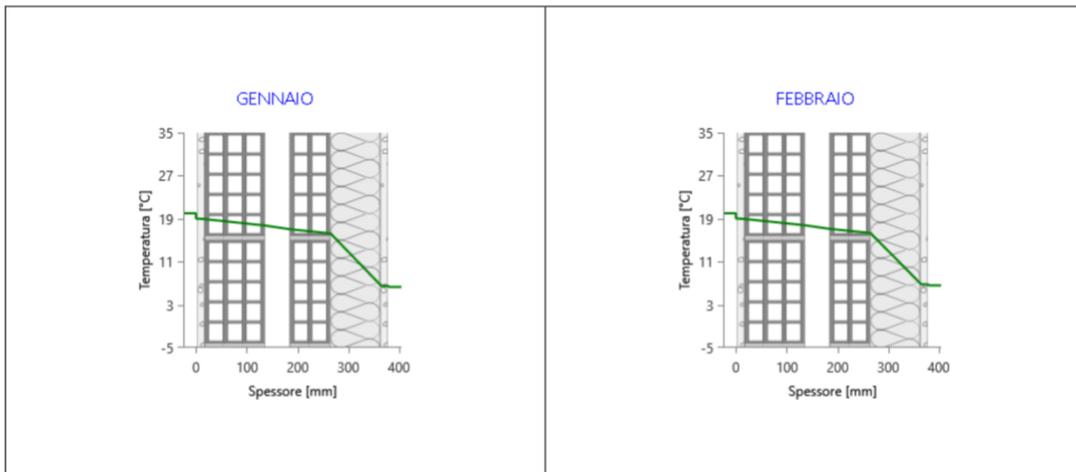


[Fig. 3.5]: Grafico Mensile Pressioni Parziali e Saturazione del Vapore

## Grafici mensili delle temperature [°C]

Descrizione della struttura: *Muratura Esterna*

Codice: *M1*



[Fig. 3.6]: Grafico Mensile Temperature

### 3.5 Pacchetti Stratigrafici

Con Pacchetto Stratigrafico si intende l'insieme degli strati di materiali che compongono le strutture verticali, inclinate e orizzontali, ogni pacchetto svolge una funzione specifica all'interno dell'edificio, e contribuirà alle caratteristiche prestazionali della struttura. Si vanno ora ad analizzare nello specifico i diversi Pacchetti scelti per ognuno dei tre diversi livelli, che ricordiamo sono:

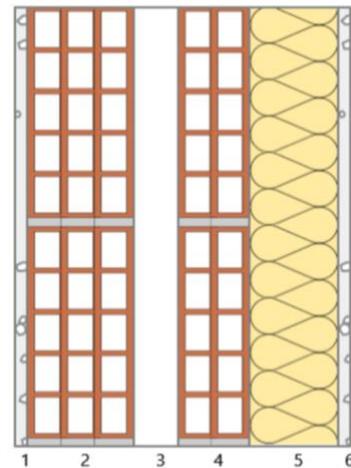
- Livello Base: in cui si andrà a ricercare economicità;
- Livello Intermedio: in cui si andrà a ricercare qualità;
- Livello Avanzato in cui si andrà a ricercare innovazione;

Ognuno di queste tre diverse opzioni, che per chi si appropria alla costruzione di un nuovo edificio devono essere note, ha delle proprietà e dei costi diversi. Si vanno ad illustrare in questo paragrafo le caratteristiche e i costi di ciascun Pacchetto, le norme in cui vengono definite le caratteristiche edilizie dei materiali sono la UNI 10351, UNI 10355 e UNI 10356 [18][19][20].

#### 3.5.1 Pacchetto Livello Base

Come base per lo studio si opta per uno delle opzioni più economico in commercio, ma che offrono un rapporto prezzo prestazioni competitivo. Si tratta dell'opzione più economica. I componenti principali del pacchetto sono:

- Mattone Forato 120 mm: è un elemento di costruzione in laterizio, ovvero un impasto di argilla cotta ad elevate temperature, comunemente utilizzato per la realizzazione di murature interne ed esterne. È caratterizzato dalla presenza di fori longitudinali, che corrono parallelamente all'asse maggiore del mattone. Questi fori riducono il peso del mattone e ne migliorano le proprietà isolanti (sia termiche che acustiche). Tra le principali caratteristiche abbiamo:



- Conducibilità termica: Il mattone forato da 12 ha una conducibilità termica ( $\lambda$ ) tipicamente intorno a  $0,30 - 0,40 \frac{W}{mK}$  a seconda della qualità del laterizio e della percentuale di foratura, nel suddetto caso si ha una conducibilità termica di  $0,3870 \frac{W}{mK}$ ;
  - Vantaggi:
    - peso ridotto.
    - buon isolamento termico
    - Buon isolamento acustico
    - economico
  - Svantaggi:
    - minore resistenza meccanica rispetto ai blocchi pieni.
    - Sensibilità all'umidità.
- Polistirene espanso sinterizzato (EPS S) 100 mm: è un materiale isolante ampiamente utilizzato nell'edilizia per migliorare l'efficienza termica delle strutture. Viene applicato sia in contesti di nuove costruzioni che di ristrutturazioni, principalmente nelle pareti, nei tetti e nei pavimenti. Si tratta di un materiale plastico espanso composto da piccole sfere di polistirene legate tra loro attraverso un processo di sinterizzazione. L'EPS S è una versione standard di questo materiale, utilizzata frequentemente per l'isolamento termico. Il costo di questo componente è preponderante nel costo globale e nello specifico, maggiore è la densità, migliore sarà la resistenza meccanica e l'isolamento termico, e maggiore sarà il costo. Tra le principali caratteristiche abbiamo:
    - Conducibilità termica: si ha una conducibilità termica, di  $0,0400 \frac{W}{mK}$ ;
    - Resistenza alla compressione: L'EPS S offre una buona resistenza alla compressione, con valori tipici che possono variare tra 70 e 250 kPa, a seconda della densità e delle specifiche del prodotto. Ciò lo

rende adatto per l'uso in applicazioni dove è richiesta una certa capacità di supportare carichi, come sotto i pavimenti;

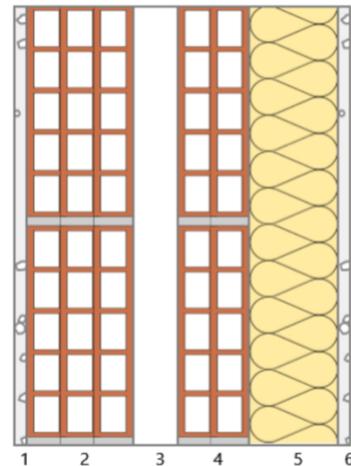
- Resistenza alla diffusione del vapore ( $\mu$ ): L'EPS ha un valore di  $\mu$  generalmente compreso tra 20 e 100. Questo significa che, sebbene non sia completamente impermeabile al vapore acqueo, offre una certa resistenza alla diffusione dell'umidità;
  - Vantaggi:
    - Elevato rapporto prestazioni/prezzo.
  - Svantaggi:
    - L'EPS è un materiale infiammabile, anche se può essere trattato con ritardanti di fiamma. Tuttavia, deve essere utilizzato con attenzione in combinazione con altri materiali per garantire la sicurezza antincendio dell'edificio, e tende a degradarsi se esposto direttamente ai raggi UV.
- 
- Intercapedine non ventilata  $A_v < 500 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ : Un'intercapedine non ventilata con una superficie di ventilazione inferiore a  $500 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  è uno spazio d'aria all'interno di una parete o tra due strati di materiale edilizio che non è progettato per permettere la circolazione attiva dell'aria. Questo tipo di intercapedine è utilizzato per migliorare le prestazioni termiche e acustiche delle strutture edilizie senza introdurre flussi d'aria.
    - Vantaggi:
      - Isolamento termico: Con una conducibilità termica di  $0,2778 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ , l'aria immobile agisce come un buon isolante termico, riducendo il trasferimento di calore per convezione e conduzione;
      - Isolamento acustico: L'intercapedine non ventilata può anche contribuire all'isolamento acustico della parete.

- Svantaggi:
  - Controllo dell'umidità: a differenza di un'intercapedine ventilata, questa versione non permette la fuoriuscita di umidità, il che potrebbe portare a problemi di condensa se non è adeguatamente gestita.

**Descrizione della struttura: Muratura Esterna**

**Codice: M1**

Trasmittanza termica	<b>0,294</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>380</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>24,661</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>197</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>149</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,081</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,276</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-8,9</b>	h



**Stratigrafia:**

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
2	Mattone forato	120,00	0,3870	0,310	717	0,84	9
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm <sup>2</sup> /m	50,00	0,2778	0,180	-	-	-
4	Mattone forato	80,00	0,4000	0,200	775	0,84	9
5	Polistirene espanso sinterizzato (EPS S)	100,00	0,0400	2,500	10	1,45	60
6	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

**Legenda simboli**

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

[Fig. 3.7]: Relazione Pacchetto Stratigrafico

Da questa relazione, che per chiarezza si dichiara essere solo una parte della relazione tecnica globale, si evidenzia il parametro di trasmittanza termica globale che risulta essere  $0,294 \frac{W}{m^2 K}$ .

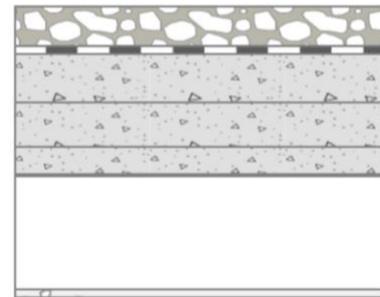
Si passi ora a valutare altre caratteristiche che differenziano questo Livello di Coibentazione dagli altri, e cioè:

- Copertura: in questo caso la copertura sarà estremamente elementare per contenere i costi, la parte di coibentazione verrà fornita dall'intercapedine ventilata;

**Descrizione della struttura: Copertura**

**Codice: S2**

Trasmittanza termica	<b>1,774</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>362</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,017</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>450</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>439</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,529</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,298</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-7,2</b>	h



**Stratigrafia:**

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,063	-	-	-
1	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	50,00	1,2000	0,042	1700	1,00	5
2	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
3	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	60,00	1,4900	0,040	2200	0,88	70
4	C.l.s. armato (1% acciaio)	55,00	2,3000	0,024	2300	1,00	130
5	C.l.s. armato (1% acciaio)	33,00	2,3000	0,014	2300	1,00	130
6	Acciaio	1,00	52,0000	0,000	7800	0,45	9999999
7	Intercapedine non ventilata Av<500 mm <sup>2</sup> /m	140,00	0,8750	0,160	-	-	-
8	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

[Fig. 3.8]: Relazione Copertura

- Pavimento Controtterra: anche qui, come per la copertura, è stato ridotto ai minimi, sfruttando la coibentazione dell'intercapedine d'aria;
- Infissi: si è optato per infissi con doppio vetro che offrono una trasmittanza termica di  $1,600 \frac{W}{m^2 K}$ .

**Descrizione della struttura: Pavimento controterra****Codice: P1**

Trasmittanza termica	<b>1,079</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza controterra	<b>0,464</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>700</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,002</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>412</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>412</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,386</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,832</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-9,1</b>	h

**Stratigrafia:**

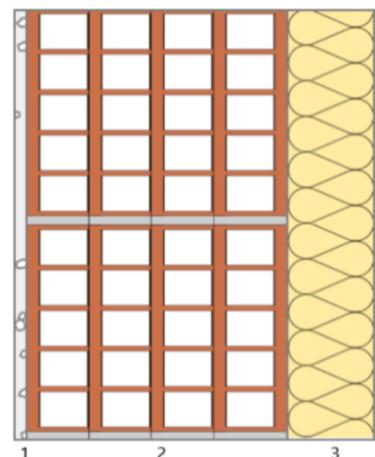
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	-	2300	0,84	9999999
2	C.I.s. espanso in fabbrica (pareti int.)	90,00	0,1900	-	600	1,00	7
3	C.I.s. armato (1% acciaio)	50,00	2,3000	-	2300	1,00	130
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm <sup>2</sup> /m	450,00	-	-	-	-	-
5	C.I.s. con massa volumica media	100,00	1,6500	-	2200	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

[Fig. 3.9]: Relazione Pavimento

**3.5.2 Pacchetto Livello Intermedio**

Per il livello intermedio dello studio opta per materiali di qualità elevata, ma rimanendo sempre nell'ambito del laterizio+isolante, questa opzione risulta perfetta per chi vuole avere prestazioni elevate ma rimanendo con Pacchetti classici. I principali componenti sono:

- Porotherm Plana+ 30: E un blocco edilizio realizzato in Francia dall'azienda Wienerberger. Presenta fori con inserita della lana di lana di roccia, l'ideale per realizzare edifici ad elevata efficienza energetica. Questo blocco



consente di ottenere una conducibilità termica di  $0,08 \frac{W}{mK}$ . Tra le principali caratteristiche abbiamo:

- Conducibilità termica: Il blocco ha una conducibilità termica ( $\lambda$ ) di  $0,008 \frac{W}{mK}$  contro i  $0,30 - 0,40 \frac{W}{mK}$  del laterizio classico.
  - Vantaggi:
    - Ecocompatibilità: ha un ridotto impatto ambientale sia in fase di produzione che di smaltimento.
    - Durabilità: meno soggetto al deterioramento.
  - Svantaggi:
    - Peso elevato.
    - Costo.
    - Posa in opera: necessita di addetti formati.
- 
- Stiferite GTE 100 mm: è un pannello sandwich prodotto dall'azienda Stiferite, costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, ovvero senza l'utilizzo di clorofluorocarburi e idroclorofluorocarburi, con un rivestimento gas impermeabile di alluminio multistrato su entrambe le facce. Alcune caratteristiche sono:
    - Conducibilità termica: arriva a  $0,0220 \frac{W}{mK}$ .
    - Vantaggi:
      - Peso ridotto
      - Compatibilità con diversi sistemi costruttivi
    - Svantaggi:
      - Il GTE è un pannello sensibile alle alte temperature. Sebbene i pannelli siano trattati per migliorare la resistenza al fuoco, potrebbero non essere adatti per tutte le applicazioni in cui è richiesta una resistenza al fuoco molto elevata.
      - Riciclabilità: Il poliuretano espanso rigido non è facilmente riciclabile e il suo smaltimento può comportare costi e

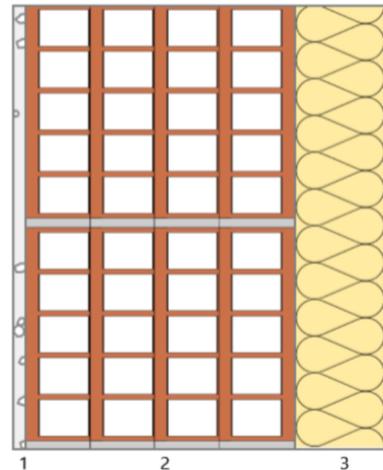
impatti ambientali, soprattutto in confronto a materiali isolanti più ecologici.

- Costo Elevato.

**Descrizione della struttura: Muratura Esterna**

**Codice: M1**

Trasmittanza termica	<b>0,117</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>430</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>25,641</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>236</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>188</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,002</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,017</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-21,9</b>	h



**Stratigrafia:**

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
2	Porotherm Plana+ 30	300,00	0,0800	3,750	615	1,00	5
3	Poliuretano espanso rigido impermeabile ai gas	100,00	0,0220	4,545	35	1,40	60
4	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,063	-	-	-

**Legenda simboli**

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

[Fig. 3.10]: Relazione Pacchetto Stratigrafico

Da questa relazione, che per chiarezza si dichiara essere solo una parte della relazione tecnica globale, si evidenzia il parametro di Trasmittanza termica globale che risulta essere  $0,117 \frac{W}{m^2 K}$ .

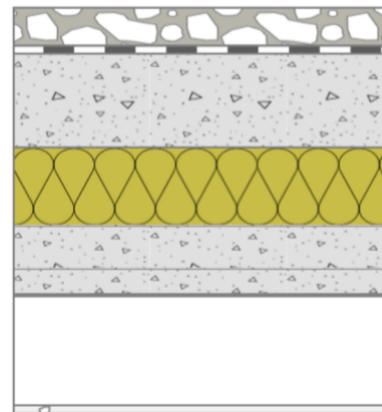
Si passi ora a valutare altre caratteristiche che differenziano questo Livello di Coibentazione dagli altri, e cioè:

- Copertura: in questo caso la copertura sarà ricercata, con uno strato di isolante EPS di 100 mm e un'intercapedine da 140mm che insieme ad impermeabilizzante e massetto, conferiscono alla copertura le proprietà termico-fisiche necessarie.

**Descrizione della struttura: Copertura**

**Codice: S2**

Trasmittanza termica	<b>0,282</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>522</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,017</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>584</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>573</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,016</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,058</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-13,0</b>	h



**Stratigrafia:**

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,063	-	-	-
1	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	50,00	1,2000	0,042	1700	1,00	5
2	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
3	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	120,00	1,4900	0,081	2200	0,88	70
4	Polistirene espanso sinterizzato (EPS 120)	100,00	0,0340	2,941	20	1,45	60
5	C.I.S. armato (1% acciaio)	55,00	2,3000	0,024	2300	1,00	130
6	C.I.S. armato (1% acciaio)	33,00	2,3000	0,014	2300	1,00	130
7	Acciaio	1,00	52,0000	0,000	7800	0,45	9999999
8	Intercapedine non ventilata Av<500 mm <sup>2</sup> /m	140,00	0,8750	0,160	-	-	-
9	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

[Fig. 3.11]: Relazione Copertura

- Pavimento Controtterra: come nel livello base, si ha solo un'intercapedine.

**Descrizione della struttura: Pavimento controtterra**

**Codice: P1**

Trasmittanza termica	<b>1,079</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza controtterra	<b>0,464</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>700</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,002</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>412</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>412</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,386</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,832</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-9,1</b>	h



**Stratigrafia:**

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	-	2300	0,84	9999999
2	C.l.s. espanso in fabbrica (pareti int.)	90,00	0,1900	-	600	1,00	7
3	C.l.s. armato (1% acciaio)	50,00	2,3000	-	2300	1,00	130
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm <sup>2</sup> /m	450,00	-	-	-	-	-
5	C.l.s. con massa volumica media	100,00	1,6500	-	2200	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

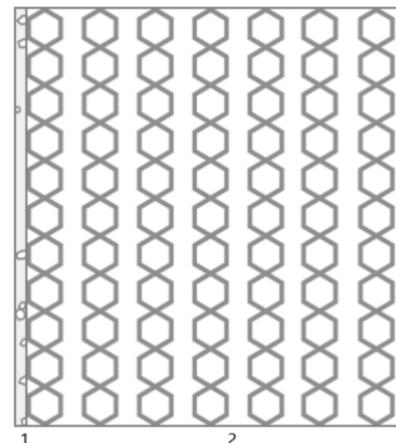
[Fig. 3.12]: Relazione Pavimento Controtterra

- Infissi: si è optato per infissi con triplo vetro che offrono una trasmittanza termica di  $1,100 \frac{W}{m^2 K}$ .

**3.5.3 Pacchetto Livello Avanzato**

Per il livello avanzato si opta per l'innovazione, ovvero con i blocchi di calcestruzzo cellulare, definito più tecnicamente come calcestruzzo aerato autoclavato:

- Clima Gold 48: È uno dei blocchi offerti dall'azienda Xella, appartenente alla categoria YTONG. Questo blocco ha elevate prestazioni isolanti senza ricorrere ad un



isolamento esterno tramite l'utilizzo di sistemi a cappotto. Tra le principali caratteristiche abbiamo:

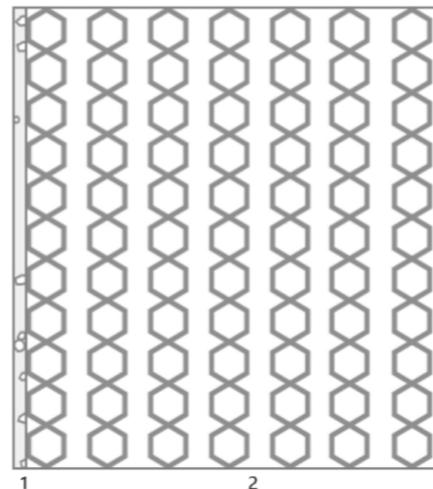
- Conducibilità termica: ha una conducibilità termica ( $\lambda$ ) di  $0,072 \frac{W}{mK}$ ;
- Vantaggi:
  - Protezione al fuoco: I blocchi per muratura Ytong, le lastre armate per solai, i pannelli parete armati e i pannelli isolanti Multipor sono incombustibili in euro classe A1 (ex classe 0 italiana), offrono cioè un'elevata resistenza al fuoco che garantisce una reale sicurezza agli occupanti degli edifici e ai beni in essi contenuti.
  - Isolamento acustico: Il calcestruzzo aerato autoclavato Ytong contribuisce efficacemente a soddisfare i requisiti normativi per l'isolamento acustico degli edifici. Si parla di isolamento acustico di una struttura quando si valuta la sua capacità di evitare che il suono si propaghi da un ambiente all'altro. Grazie alla loro una struttura omogenea e alle migliaia di microbolle d'aria presenti al loro interno, agiscono da barriera naturale contro la trasmissione del suono garantendo valori di isolamento acustico superiori di 2-4 dB rispetto a quanto stabilito dalle leggi di massa tradizionali, assicurando un isolamento termo-acustico elevato e garantito nel tempo.
  - Sostenibilità: Ytong garantisce la scelta di materie prime naturali e di un ciclo produttivo attento all'impatto ambientale. I sistemi in calcestruzzo cellulare Ytong e Multipor rispondono ai Criteri Ambientali Minimi nell'ambito degli appalti pubblici e soddisfano i requisiti di sostenibilità richiesti dai principali protocolli ambientali, come il protocollo LEED, citato nel EPBD [1].
- Svantaggi:

- Costi maggiori
- Friabilità del materiale: tali blocchi tendono ad essere facilmente sgretolabili, perciò, necessitano di particolare attenzione durante la posa.
- Posa in opera specializzata

**Descrizione della struttura:** *Muratura esterna Climagold 48*

**Codice:** *M1*

Trasmittanza termica	<b>0,145</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>505</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>70,175</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>178</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>144</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,005</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,036</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-21,2</b>	h



### Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di calce e gesso	15,00	0,7000	0,021	1400	1,00	10
2	Clima Gold 48	480,00	0,0720	6,667	300	1,00	5
3	Intonaco plastico per cappotto	10,00	0,3000	0,033	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,063	-	-	-

### Legenda simboli

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

[Fig. 3.13]: Relazione Pacchetto Stratigrafico

Da questa relazione, che per chiarezza si dichiara essere solo una parte della relazione tecnica globale, si evidenzia il parametro di trasmittanza termica globale che risulta essere  $0,145 \frac{W}{m^2 K}$ .

Per quanto riguarda copertura, pavimento controterra, e infissi le soluzioni sono le medesime viste anche nel Livello Intermedio, non si va dunque a ritrattare tali argomenti.

#### *3.5.4 Confronto POROTON e YTONG*

Quando si tratta di scegliere i materiali per la costruzione di pareti e strutture edilizie, due opzioni comuni sono il POROTON e il blocco di calcestruzzo cellulare YTONG. Per chiarezza chiariamo il fatto che questi blocchi intervengono a livello strutturale solo per un 10-15% dei carichi totali, di conseguenza le differenze che si ricercano mirano non tanto all'aspetto strutturale, ma piuttosto all'aspetto energetico, ambientale e costruttivo.

Il POROTON è un tipo di laterizio, ossia un mattone alleggerito, realizzato con argilla cotta. Questo materiale è noto per la sua struttura porosa, che gli conferisce eccellenti proprietà isolanti e lo rende traspirante. La capacità del POROTON di intrappolare l'aria al suo interno contribuisce in modo significativo a ridurre il passaggio di calore attraverso le pareti, migliorando così l'efficienza energetica dell'edificio. Inoltre, la porosità del materiale permette una buona regolazione dell'umidità interna, prevenendo la formazione di muffa e contribuendo a creare un ambiente salubre all'interno degli spazi abitativi. Anche la sua resistenza al fuoco è notevole, grazie all'argilla cotta che mantiene l'integrità strutturale del materiale anche a temperature elevate.

D'altro canto, i blocchi di calcestruzzo cellulare YTONG sono realizzati con una combinazione di sabbia, calce, cemento e acqua, a cui viene aggiunto un agente espandente che crea una struttura interna a celle d'aria chiuse, tramite una reazione che avviene sotto pressione. Questa caratteristica conferisce al materiale una straordinaria capacità di isolamento termico, spesso superiore a quella di altri materiali tradizionali. La leggerezza del blocco YTONG facilita inoltre il trasporto e l'installazione, riducendo i tempi di costruzione e i costi correlati, YTONG eccelle in termini di resistenza al fuoco; infatti, la sua composizione inorganica gli permette di mantenere le sue proprietà isolanti e strutturali anche in condizioni di calore estremo, fornendo una protezione efficace in caso di incendio.

Quando si confrontano questi due materiali, la scelta dipende molto dalle specifiche esigenze del progetto. Il POROTON potrebbe essere preferito in situazioni in cui si ricerca la robustezza strutturale, la durabilità nel tempo e un buon equilibrio tra isolamento termico e acustico sono prioritari.

YTONG, invece, rappresenta una scelta eccellente per progetti dove l'isolamento termico è una priorità assoluta, specialmente in contesti in cui la leggerezza del materiale può rappresentare un vantaggio.

## CAPITOLO 4

### CARICHI TERMICI

Sulla base dei dati in input al programma EDILCLIMA EC700, avremo in output una relazione tecnica in cui è possibile visualizzare in maniera dettagliata le dispersioni della struttura. Il calcolo svolto terrà conto di molti parametri tra i quali:

- Ombreggiamenti: ovvero tutti quegli elementi che, facendo ombra vanno a ridurre l'esposizione ai raggi diretti, quali alberi, balconi, portici, edifici limitrofi.
- Posizione del Nord: un parametro fondamentale, in quanto va a definire in che ore, per quanto tempo, e in che modo, ogni parete si trova esposto ai raggi solari.
- Zona Climatica: di cui si è trattato precedentemente.

Per mantenere una determinata temperatura all'interno dell'edificio, imposta dal DPR 412/93 e integrato con DPR 551/99, si dovrà valutare il carico termico dell'edificio, di ovvero la potenza termica globale che deve essere fornita o sottratta, da un impianto di climatizzazione, per mantenere, nell'edificio, le condizioni termoisometriche di progetto, quando nell'ambiente esterno si hanno determinate condizioni climatiche [12].

La valutazione dei carichi termici può essere distinta nei due casi:

- Invernale: si tratta sostanzialmente di un problema di trasmissione del calore in regime stazionario, infatti, i carichi termici invernali si possono determinare prescindendo dall'apporto della radiazione solare e considerando la temperatura esterna costante
- Estivo: l'escursione della temperatura dell'aria esterna avviene con entità maggiore e attorno a valori medi prossimi a quelli dell'ambiente; dunque, la

variabilità delle condizioni esterne è pertanto non trascurabile. Inoltre, la radiazione solare, che rappresenta un apporto positivo per il bilancio termico.

I carichi termici nel programma sono distinti in tre tipi:

- Carico termico per trasmissione: si riferiscono alla perdita di energia termica attraverso le strutture dell'edificio, come pareti, tetti, pavimenti e finestre. La norma utilizzata dal programma è la UNI EN 12831 [21], che definisce come calcolare la potenza termica dispersa per trasmissione (in W):

$$Q_t = U * A * (T_i - T_e) * f_i \quad (4.1)$$

Dove:

- $Q_t$  in W;
- U è la trasmittanza termica della parete opaca/trasparente in  $\frac{W}{m^2K}$ ;
- A è la superficie di scambio (area interna della parete) in  $m^2$ ;
- $T_i - T_e$  differenza di temperatura tra interno ed esterno in  $^{\circ}C$ ;
- $f_i$  coefficiente maggiorativo per esposizione (UNI 7357, par.9); tale coefficiente, riportato nella tabella sottostante, è compreso per superfici verticali tra 1,05 e 1,20, ed è pari ad 1 per superfici orizzontali.

Esposizione	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Coefficiente f	1	1,02-1,05	1,05-1,10	1,10-1,15	1,15-1,20	1,15-1,20	1,10-1,15	1,05-1,10

[Tab. 4.1]: Coefficiente Correttivo in funzione dell'orientamento

- Carico termico per ventilazione: riguardano le perdite di calore attraverso l'aria che viene introdotta e rimossa dall'edificio per garantire una ventilazione adeguata. Queste dispersioni avvengono quando l'aria calda all'interno dell'edificio viene espulsa e sostituita da aria più fredda proveniente dall'esterno. Il carico termico per ventilazione (in W), ossia la potenza termica necessaria per portare l'aria esterna infiltrata o immessa dalla temperatura esterna  $T_e$  a quella interna  $T_i$ , dipende dal numero di volumi d'aria ricambiati, il programma si riferisce alla norma UNI EN 12831 [21], dunque:

$$Q_v = \frac{V * n * c_{pv} * (T_i - T_e)}{3600} \quad (4.2)$$

Dove:

- $Q_v$  in W
  - V è il volume netto della zona riscaldata in  $m^3$
  - n è il numero di volumi di aria esterna di ricambio  $\frac{1}{h}$
  - $c_{pv}$  è la capacità termica unitaria volumica  $\frac{J}{(m^3)K}$
  - $T_i - T_e$  differenza di temperatura tra interno ed esterno in  $^{\circ}C$
- Carico termico per intermittenza: si verificano quando gli impianti di riscaldamento o raffreddamento sono accesi e spenti in modo non continuo. Questo tipo di dispersione avviene quando l'energia termica viene sprecata a causa dell'accensione e spegnimento frequente degli impianti. Quando un impianto viene acceso, consuma energia per riportare la temperatura interna a un livello confortevole, e quando si spegne, si perde energia accumulata. Il calcolo effettuato segue la UNI EN ISO 13790 e vengono chiesti in input:
    - ore giornaliere di spegnimento/attenuazione, [h/g];
    - giorni a settimana di funzionamento intermittente/attenuazione [g/sett]: ovvero il numero di giorni a settimana nei quali l'impianto, per un determinato numero di ore al giorno, risulta in modalità intermittente o attenuato (nei restanti giorni si assume invece lo spegnimento totale);

I dati inseriti sono:

- “Ore giornaliere di spegnimento/attenuazione” = 16 h/g
- “Giorni a settimana di funzionamento intermittente/attenuazione” = 7 g/sett

In tale caso significa che per 7 giorni a settimana l'impianto risulta, per 16 h/g, funzionante con regime di spegnimento o attenuazione mentre, per le restanti 8 h/g (24 -16), l'impianto risulta acceso e per i rimanenti 0 giorni a settimana, l'impianto risulta spento [22].

Il programma andrà a suddividere i carichi termici per ciascuna parete, che ha un determinato codice alfanumerico: la prima lettera caratterizza il tipo di superficie (M=pareti perimetrali, W=componenti finestrati, Z=ponti termici) e un numero progressivo per i diversi tipi di pareti, componenti finestrati e ponti termici. Inoltre, vengono separati i carichi termici sui vari prospetti, ciò è molto importante nel caso in cui ci sia una disomogeneità eccessiva nei diversi prospetti, permettendo al tecnico di predisporre, per esempio, un maggiore isolante in quella determinata direzione.

#### 4.1 Livello Base

Per quanto riguarda il livello base che si ricorda essere l'edificio in cui le scelte sono state effettuate in ottica del risparmio, si hanno i seguenti carichi termici:

- Trasmissione: divisi in base ai prospetti, ovvero secondo che direzione stiamo analizzando le dispersioni:

<b>Potenza dispersa per trasmissione-NORD</b>	
<b>M1</b>	1217
<b>W3</b>	740
<b>W1</b>	234
<b>Totale</b>	2191

[Tab. 4.2]: Livello Base-Prospetto Nord-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-SUD</b>	
<b>M1</b>	984
<b>M3</b>	132
<b>W1</b>	91
<b>W6</b>	144
<b>Totale</b>	1351

[Tab. 4.3]: Livello Base-Prospetto Sud-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-OVEST</b>	
<b>M1</b>	1061
<b>W1</b>	199
<b>Totale</b>	1260

[Tab. 4.4]: Livello Base-Prospetto Ovest-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-ORIZZONTALE</b>	
<b>P1</b>	1110
<b>S2</b>	4584
<b>Z1</b>	101
<b>Z2</b>	250
<b>Totale</b>	6045

[Tab. 4.5]: Livello Base-Prospetto Orizzontale-Trasmissione-W

- Ventilazione:

<b>Potenza dispersa per ventilazione</b>	
<b>Livello Base</b>	2412

[Tab. 4.6]: Livello Base-Ventilazione-W

- Intermittenza:

<b>Potenza dispersa per intermittenza</b>	
<b>Livello Base</b>	2369

[Tab. 4.7]: Livello Base-Intermittenza-W

## 4.2 Livello Intermedio

Per quanto riguarda il livello Intermedio i carichi per trasmissione, ventilazione e intermittenza, nello specifico sono:

- Trasmissione:

<b>Potenza dispersa per trasmissione-NORD</b>	
<b>M1</b>	507
<b>W3</b>	488
<b>W1</b>	154
<b>Totale</b>	1149

[Tab. 4.8]: Livello Intermedio-Prospetto Nord-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-SUD</b>	
<b>M1</b>	407
<b>M3</b>	0
<b>W1</b>	60
<b>W6</b>	95
<b>Totale</b>	562

[Tab. 4.9]: Livello Intermedio-Prospetto Sud-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-OVEST</b>	
<b>M1</b>	440
<b>W1</b>	131
<b>Totale</b>	571

[Tab. 4.10]: Livello Intermedio-Prospetto Ovest-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-ORIZZONTALE</b>	
<b>P1</b>	1145
<b>S2</b>	713
<b>Z1</b>	103
<b>Z2</b>	252
<b>Totale</b>	2213

[Tab. 4.11]: Livello Intermedio-Prospetto Orizzontale-Trasmissione-W

- Ventilazione:

<b>Potenza dispersa per ventilazione</b>	
<b>Livello Base</b>	2327

[Tab. 4.12]: Livello Intermedio-Ventilazione-W

- Intermittenza:

<b>Potenza dispersa per intermittenza</b>	
<b>Livello Base</b>	2308

[Tab. 4.13]: Livello Intermedio-Intermittenza-W

### 4.3 Livello Avanzato

Per quanto riguarda il Livello Avanzato i carichi per trasmissione, ventilazione e intermittenza, nello specifico sono:

- Trasmissione:

<b>Potenza dispersa per trasmissione-NORD</b>	
<b>M1</b>	200
<b>W3</b>	488
<b>W1</b>	154
<b>Totale</b>	842

[Tab. 4.14]: Livello Avanzato-Prospetto Nord-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-SUD</b>	
<b>M1</b>	150
<b>M3</b>	12
<b>W1</b>	60
<b>W6</b>	95
<b>Totale</b>	317

[Tab. 4.15]: Livello Avanzato-Prospetto Sud-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-OVEST</b>	
<b>M1</b>	264
<b>W1</b>	131
<b>Totale</b>	395

[Tab. 4.16]: Livello Avanzato-Prospetto Ovest-Trasmissione-W

<b>Potenza dispersa per trasmissione-ORIZZONTALE</b>	
<b>P1</b>	572
<b>S2</b>	347
<b>Z1</b>	-207
<b>Z2</b>	-48
<b>Totale</b>	664

[Tab. 4.17]: Livello Avanzato-Prospetto orizzontale-Trasmissione-W

- Ventilazione:

Potenza dispersa per ventilazione	
<b>Livello Base</b>	2668

[Tab. 4.18]: Livello Avanzato-Ventilazione-W

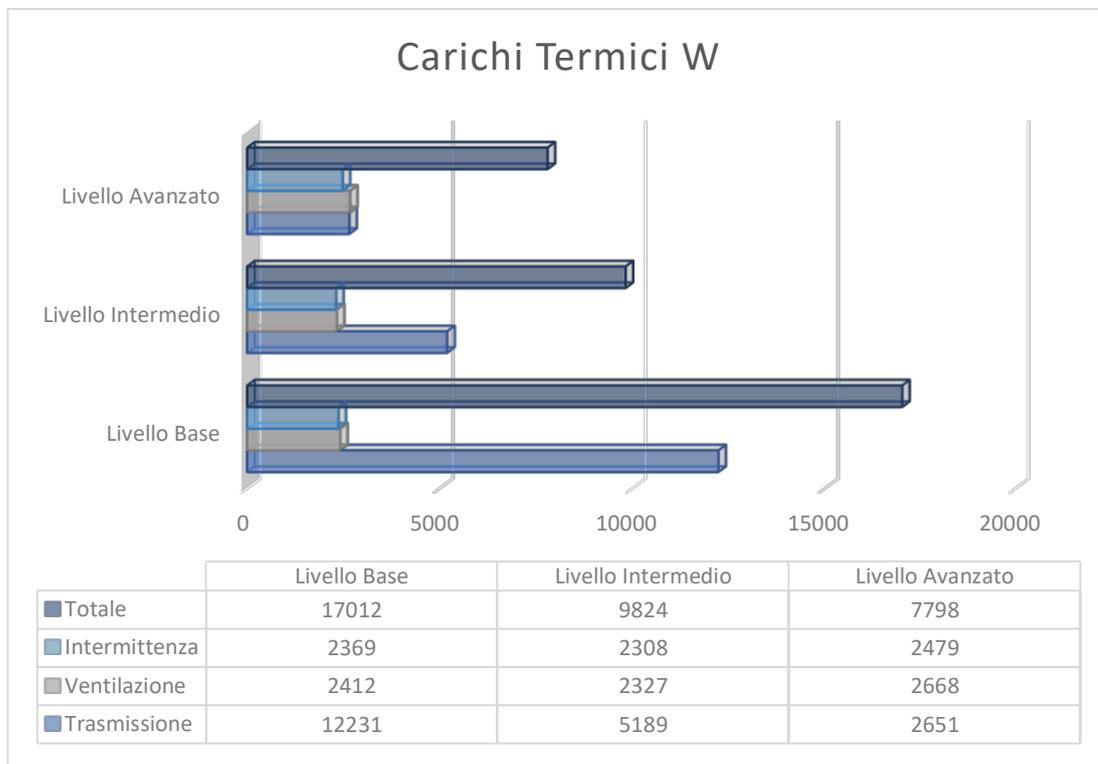
- Intermittenza:

Potenza dispersa per intermittenza	
<b>Livello Base</b>	2479

[Tab. 4.19]: Livello Avanzato-Intermittenza-W

#### 4.4 Analisi dei Dati

Si vanno ad analizzare i dati ottenuti dalle relazioni tecniche di cui si sono riportate sopra i dati relativi ai carichi termici, l'analisi in questione parte dal seguente grafico:



[Graf. 4.1]: Carichi termici

Il grafico mostra i carichi termici nei diversi edifici. Prendendo come riferimento l'edificio di livello migliore, ovvero quello Avanzato vediamo che rispetto al proprio valore di 7797 W, il livello Intermedio ha un carico termico totale più elevato del 25% (9824 W), mentre il Livello Base si spinge fino al 218% in più con 17012 W. Nello specifico, le differenze tra i diversi valori dei carichi per trasmissione, data la relazione 4.1, sono associabili al diverso valore di U ovvero la trasmittanza termica delle pareti opache/trasparenti. Infatti, i diversi livelli hanno strutture opache verticali, orizzontali e strutture trasparenti con valori di trasmittanza sempre migliore passando dal livello base al livello avanzato, e ciò si rispecchia nei carichi termici per trasmissione.

Per quanto concerne i carichi di ventilazione ed intermittenza essi dipendono dal volume del fabbricato, che deve essere assunto come costante. Analizzando le relazioni tecniche degli edifici però, risultano dati discostanti:

	<b>Volume m<sup>3</sup></b>	<b>Ventilazione W</b>	<b>Intermittenza W</b>
<b>Base</b>	399,84	2412	2369
<b>Intermedio</b>	384,48	2327	2308
<b>Avanzato</b>	428,34	2668	2479

[Tab. 4.20]: Confronto volumi e carichi di intermittenza e ventilazione

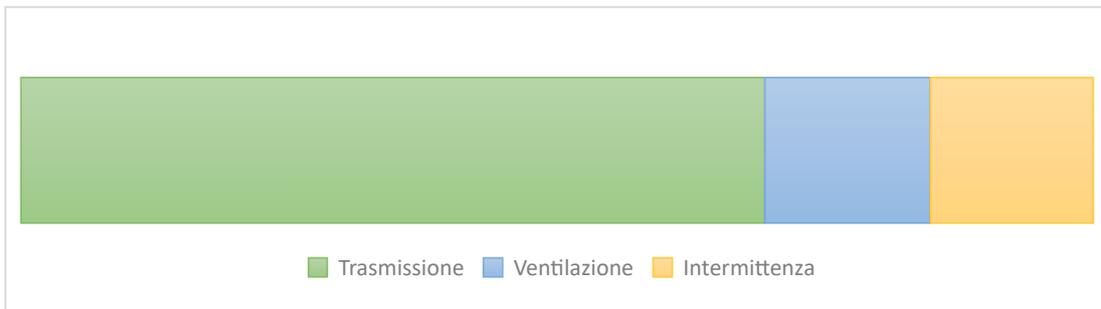
Queste differenze sui carichi sono infatti uno specchio dei risultati dei volumi, per dimostrare ciò si veda che:

- $\frac{\text{Volume Livello Base}}{\text{Volume Livello Intermedio}} = 1,04;$
- $\frac{\text{Carico Ventilazione Livello Base}}{\text{Carico Ventilazione Livello Intermedio}} = 1,04;$
- $\frac{\text{Carico Intermittenza Livello Base}}{\text{Carico Intermittenza Livello Intermedio}} = 1,03.$

La valutazione è confermata anche negli altri rapporti, dunque, possiamo attribuire l'anomalia dei dati ad un'imprecisione commessa al momento dell'inserimento grafico delle strutture. Ovvero, quando nella sezione di "input grafico" vado a definire le superfici verticali, il punto di inizio di una determinata parete, viene posizionato manualmente sulla base di una planimetria impostata sul fondo, variando di poco il punto di inizio di una determinata parete, si può fa variare

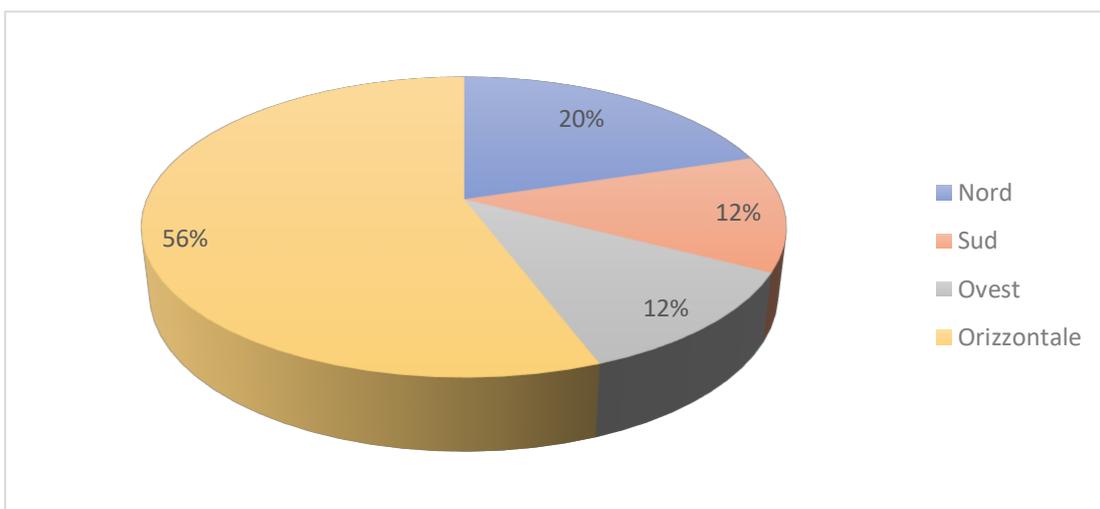
in maniera considerevole la volumetria totale. Non avendo più accesso al programma utilizzato durante il tirocinio, si proseguiranno le valutazioni tenendo conto dell'errore.

Dal grafico si può notare come vi sia un grande divario tra il Livello Base e gli altri due livelli, ed è proprio su quest'ultimo che si va ad investigare. Infatti, si prenda in esame il Livello Base con i suoi 17012 W, di questi, 72% sarà per le dispersioni di trasmissione, il 14% sarà di ventilazione e il 14% sarà di Intermittenza. Il livello Intermedio avrà le dispersioni di trasmissione ventilazione e intermittenza rispettivamente di 50%, 25% e 25%, e invece il Livello Avanzato rispettivamente di 34%, 34% e 32%. I dati presentati in questo modo non sono sufficientemente esplicativi; pertanto, si fornisce una rappresentazione grafica dei dati:



[Graf. 4.2]: Suddivisione dei carichi termici-Livello Base

Si nota in maniera evidente che nel Livello Base ciò che squilibra eccessivamente il bilancio sono le perdite per trasmissione, che invece risultano più ponderate negli altri due Livelli. Le perdite per trasmissione nel Livello Base si suddividono nei diversi prospetti come segue:



[Graf. 4.3]: Suddivisione delle dispersioni per trasmissione-Livello Base

Si vede in maniera evidente che la criticità risiede nel prospetto orizzontale 56%-6045 W, ovvero le dispersioni di calore dovute ad un flusso che taglia verticalmente la struttura e quindi passando dal solaio alla copertura e viceversa. Andando ad esaminare il prospetto orizzontale:



[Graf. 4.4]: Dispersioni per trasmissione-Prospetto orizzontale-Livello Base

Vediamo che le dispersioni maggiori, nello specifico il 75,8%-4584 [W] sono dovuti al “Soffitto 1” che rappresenta la copertura dell’edificio. Risulta quindi anomalo confrontandolo con gli altri livelli, in cui, sempre nel prospetto orizzontale disperdono solo il 32%-713W e ancora meno nel Livello Avanzato.

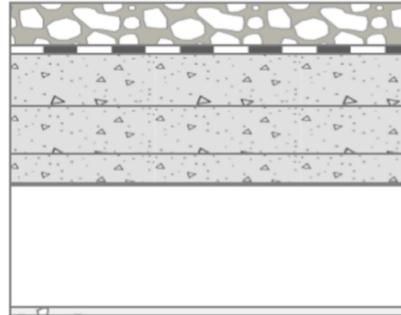
Riassumendo quindi, si comprende non solo che la criticità risieda nelle perdite per trasmissione, ma nello specifico nel prospetto orizzontale ed esattamente nella copertura dell’edificio, la cui stratigrafia si presenta come:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,063	-	-	-
1	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	50,00	1,2000	0,042	1700	1,00	5
2	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
3	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	60,00	1,4900	0,040	2200	0,88	70
4	C.l.s. armato (1% acciaio)	55,00	2,3000	0,024	2300	1,00	130
5	C.l.s. armato (1% acciaio)	33,00	2,3000	0,014	2300	1,00	130
6	Acciaio	1,00	52,0000	0,000	7800	0,45	9999999
7	Intercapedine non ventilata $Av < 500 \text{ mm}^2/\text{m}$	140,00	0,8750	0,160	-	-	-
8	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

[Fig. 4.1]: Stratigrafia copertura-Livello Base

**Descrizione della struttura: Copertura****Codice: S2**

Trasmittanza termica	<b>1,774</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>362</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,017</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>450</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>439</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,529</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,298</b>	-



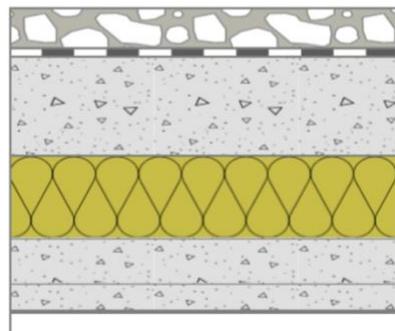
[Fig. 4.2]: Stratigrafia copertura-Livello Base

Sarebbe sufficiente considerare l’inserimento di uno strato isolante, che ai fini legislativi risulta essenziale per l’approvazione del progetto che invece, con una trasmittanza della copertura di  $1,774 \frac{W}{m^2K}$ , non sarebbe consentito.

Ci si potrebbe chiedere allora quale sia l’utilità dello studio di questo tipo di copertura: la risposta, sebbene sia ovvia per i tecnici, sta nel fatto che isolanti prestanti nelle coperture sono quasi sempre assenti in edifici di vecchia costruzione e capire che le dispersioni, le quali sono “indirettamente” assimilabili a perdite economiche, possano far protendere un futuro acquirente verso un nuovo edificio coibentato in maniera migliore, rispetto al livello Base. Tali considerazioni economiche verranno effettuate nel “Capitolo 6-Costi e Punto di Break-Even”.

**Descrizione della struttura: Copertura****Codice: S2**

Trasmittanza termica	<b>0,282</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>522</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-2,8</b>	°C
Permeanza	<b>0,017</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>584</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>573</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,016</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,058</b>	-



[Fig. 4.3]: Stratigrafia copertura-Livello Intermedio

## CAPITOLO 5

### FABBISOGNI ENERGETICI

Si va in questo breve capitolo a riportare i fabbisogni energetici dei tre diversi livelli di edificio, l'impianto di climatizzazione deve puntare al raggiungimento del benessere termoigrometrico la cui progettazione dettagliata richiede nozioni avanzate. Ci limiteremo dunque a valutare i fabbisogni di energia, dai quali poi valuteremo l'economicità di ogni soluzione, analizzeremo nello specifico la parte relativa ai costi nel Capitolo 6 "Costi e Punto di Break-Even".

I dati sono visualizzabili dalla relazione tecnica rilasciata dal software, calcolata sulla base delle strutture stratigrafiche inserite e i relativi carichi termici. Infatti, l'energia necessaria al confort in un edificio non dipende esclusivamente dalla stratigrafia della struttura ma da tutte le dispersioni, che abbiamo già precedentemente approfondito, e anche dagli apporti. La relazione utilizzata, dal manuale del software, fa riferimento a:

- Energia utile per il riscaldamento invernale:  
UNI/TS 11300-1:2014, UNI/TS 11300-2:2014 e UNI/TS 11300-4:2016 [23];
- Energia utile per il raffrescamento estivo:  
UNI/TS 11300-1:2014 [24];

Si riporta la relazione:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - Q_{Gn}$$

Dove:

- $Q_{H,ht} = Q_{H,Tr} + Q_{H,Ve} + Q_{H,r}$  Energia totale dispersa
- $Q_{Gn} = Q_{Int} + Q_{Sol,K,w}$  Totale apporti gratuiti

Dunque:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,Tr} + Q_{H,Ve} + Q_{H,r} - Q_{Int} - Q_{Sol,K,w}$$

Dove:

- $Q_{H,Tr}$ : Energia persa per trasmissione;
- $Q_{H,ve}$ : Energia persa per ventilazione;
- $Q_{H,r}$ : Energia persa per extraflusso;
- $Q_{Sol,K,w}$ : Apporti solari dagli elementi finestrati;
- $Q_{Int}$ : Apporti interni.

## 5.1 Edificio Livello Base

### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE Sommaro perdite e apporti

#### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>855,36</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>148,09</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>726,92</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>399,84</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>1,18</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,r}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] <sub>t</sub>	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Novembre	2650	872	318	3840	236	324	560	3282
Dicembre	3920	759	424	5103	157	335	492	4612
Gennaio	4601	769	484	5853	149	335	484	5370
Febbraio	3713	792	427	4933	277	302	580	4355
Marzo	2391	892	343	3626	496	335	831	2807
Aprile	475	407	122	1004	329	162	491	553
<b>Totali</b>	<b>17749</b>	<b>4491</b>	<b>2118</b>	<b>24358</b>	<b>1645</b>	<b>1793</b>	<b>3438</b>	<b>20979</b>

[Fig. 5.1]: Fabbisogno di energia utile Invernale-Livello Base

### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA Sommaro perdite e apporti

#### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>855,36</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>148,09</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>726,92</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>399,84</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>1,18</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,r}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh] <sub>t</sub>	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{gn}$ [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Aprile	650	293	109	1051	139	97	236	0
Maggio	678	1001	265	1944	626	335	960	4
Giugno	-686	990	140	443	683	324	1007	565
Luglio	-2064	1153	21	-890	696	335	1031	1921
Agosto	-1143	1054	71	-19	543	335	878	896
Settembre	160	458	83	701	199	162	361	2
<b>Totali</b>	<b>-2406</b>	<b>4948</b>	<b>689</b>	<b>3231</b>	<b>2886</b>	<b>1588</b>	<b>4473</b>	<b>3388</b>

[Fig. 5.2]: Fabbisogno di energia utile Estiva-Livello Base

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Invernale: 20979 kWh

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Estiva: 3388 kWh

## 5.2 Edificio Livello Intermedio

### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE Sommaro perdite e apporti

#### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>883,93</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>144,25</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>761,10</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>389,48</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>1,16</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	Q <sub>H,tr</sub> [kWh]	Q <sub>H,r</sub> [kWh]	Q <sub>H,ve</sub> [kWh]	Q <sub>H,ht</sub> [kWh] <sub>t</sub>	Q <sub>sol,k,w</sub> [kWh]	Q <sub>int</sub> [kWh]	Q <sub>gn</sub> [kWh]	Q <sub>H,nd</sub> [kWh]
Novembre	1231	226	310	1767	236	324	560	1210
Dicembre	1742	197	413	2351	157	335	492	1860
Gennaio	2025	199	471	2696	149	335	484	2212
Febbraio	1699	205	416	2321	277	302	580	1743
Marzo	1221	231	334	1786	496	335	831	977
Aprile	347	105	119	571	329	162	491	152
<b>Totali</b>	<b>8266</b>	<b>1163</b>	<b>2063</b>	<b>11492</b>	<b>1645</b>	<b>1793</b>	<b>3438</b>	<b>8154</b>

[Fig. 5.3]: Fabbisogno di energia utile Invernale-Livello Intermedio

### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA Sommaro perdite e apporti

#### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>883,93</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>144,25</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>761,10</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>389,48</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>1,16</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	Q <sub>C,tr</sub> [kWh]	Q <sub>C,r</sub> [kWh]	Q <sub>C,ve</sub> [kWh]	Q <sub>C,ht</sub> [kWh] <sub>t</sub>	Q <sub>sol,k,w</sub> [kWh]	Q <sub>int</sub> [kWh]	Q <sub>gn</sub> [kWh]	Q <sub>C,nd</sub> [kWh]
Aprile	643	122	185	950	232	162	394	0
Maggio	675	259	258	1193	626	335	960	39
Giugno	110	256	137	503	683	324	1007	506
Luglio	-448	298	21	-129	696	335	1031	1160
Agosto	-138	273	69	204	543	335	878	674
Settembre	515	223	190	927	398	324	722	25
Ottobre	504	96	134	734	109	140	249	0
<b>Totali</b>	<b>1861</b>	<b>1528</b>	<b>993</b>	<b>4382</b>	<b>3286</b>	<b>1955</b>	<b>5241</b>	<b>2403</b>

[Fig. 5.4]: Fabbisogno di energia utile Estiva-Livello Intermedio

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Invernale: 8154 kWh

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Estiva: 2403 kWh

### 5.3 Edificio Livello Avanzato

#### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE Sommaro perdite e apporti

##### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>495,25</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>154,94</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>708,91</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>418,34</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>0,70</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	Q <sub>H,tr</sub> [kWh]	Q <sub>H,r</sub> [kWh]	Q <sub>H,ve</sub> [kWh]	Q <sub>H,ht</sub> [kWh] <sub>t</sub>	Q <sub>sol,k,w</sub> [kWh]	Q <sub>int</sub> [kWh]	Q <sub>gn</sub> [kWh]	Q <sub>H,nd</sub> [kWh]
Novembre	605	121	332	1059	236	324	560	503
Dicembre	853	106	443	1402	157	335	492	910
Gennaio	990	107	506	1602	149	335	484	1119
Febbraio	832	110	447	1389	277	302	580	811
Marzo	599	124	358	1081	496	335	831	294
Aprile	171	57	128	355	329	162	491	14
Totale	<b>4051</b>	<b>625</b>	<b>2213</b>	<b>6888</b>	<b>1645</b>	<b>1793</b>	<b>3438</b>	<b>3651</b>

[Fig. 5.5]: Fabbisogno di energia utile Invernale-Livello Avanzato

#### FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE ESTIVA Sommaro perdite e apporti

##### Edificio : Nuova costruzione di abitazione unifamiliare

Categoria DPR 412/93	<b>E.1 (1)</b>	-	Superficie esterna	<b>495,25</b>	m <sup>2</sup>
Superficie utile	<b>154,94</b>	m <sup>2</sup>	Volume lordo	<b>708,91</b>	m <sup>3</sup>
Volume netto	<b>418,34</b>	m <sup>3</sup>	Rapporto S/V	<b>0,70</b>	m <sup>-1</sup>

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	Q <sub>C,tr</sub> [kWh]	Q <sub>C,r</sub> [kWh]	Q <sub>C,ve</sub> [kWh]	Q <sub>C,ht</sub> [kWh] <sub>t</sub>	Q <sub>sol,k,w</sub> [kWh]	Q <sub>int</sub> [kWh]	Q <sub>gn</sub> [kWh]	Q <sub>C,nd</sub> [kWh]
Marzo	60	9	33	102	22	22	43	0
Aprile	726	120	443	1289	463	324	787	2
Maggio	335	139	277	751	626	335	960	224
Giugno	61	138	146	345	683	324	1007	662
Luglio	-211	160	22	-29	696	335	1031	1060
Agosto	-62	147	74	159	543	335	878	719
Settembre	255	120	204	578	398	324	722	157
Ottobre	269	55	156	481	117	151	268	0
Totale	<b>1433</b>	<b>887</b>	<b>1355</b>	<b>3676</b>	<b>3548</b>	<b>2149</b>	<b>5697</b>	<b>2825</b>

[Fig. 5.6]: Fabbisogno di energia utile Estiva-Livello Avanzato

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Invernale: 3651 kWh

Fabbisogno di Energia Utile Stagione Estiva: 2825 kWh

## CAPITOLO 6

### COSTI E PUNTO DI BREAK-EVEN

In questo capitolo cardine si va ad effettuare un'analisi economica basilare dei tre livelli portati in esame, andando a capire quali sono i costi edilizi e di esercizio delle tre soluzioni. Si puntualizzerà quale sia la scelta economicamente favorevole e si definirà il punto di Break-Even a sfavore del Livello Base.

L'analisi dei costi non sarà esaustiva, poiché uno studio approfondito richiederebbe di considerare troppi fattori. Ci concentreremo quindi solo sui costi di tamponatura dell'edificio, ossia la parte non strutturale responsabile delle prestazioni termiche. Verranno utilizzati i prezzi aggiornati al 2024 dei materiali impiegati, calcolando il costo per metro quadro di ogni pacchetto stratigrafico. Moltiplicando questo dato per la superficie netta, si otterrà una stima indicativa del costo dei materiali. Per la parte impiantistica, andiamo a semplificare i calcoli prevedendo:

- Livello Base: impianto composto da caldaia a metano e un climatizzatore in classe A+ per il raffrescamento;
- Livello Intermedio: impianto composto da una pompa di calore in classe A++ sia in riscaldamento che in raffrescamento;
- Livello Avanzato: impianto composto da una pompa di calore in classe A+++ sia in riscaldamento che in raffrescamento.

Con questa semplificazione andremo ad evitare di dover scegliere effettivamente il macchinario, ma ci limiteremo a prendere i valori di SEER e SCOP medi della fascia energetica in cui si trovano e, partendo dal fabbisogno energetico dei fabbricati, dividendo per SEER o SCOP, otteniamo l'energia elettrica effettivamente consumata. Per rendere l'analisi quanto più accurata, utilizziamo un fattore correttivo di 0,8, con cui divideremo il risultato di energia effettivamente consumata. Tale valore viene suggerito nel testo "Progettazione degli impianti di climatizzazione" di Livio De

Santoli e Francesco Mancini, che in maniera statistica tiene conto dei rendimenti e delle dispersioni dei sistemi integrati nell'impianto, come la distribuzione, generazione, e trasporto del fluido convettore [25].

## 6.1 Costi Livello Base

### 6.1.1 Costi Edilizi

Per quanto riguarda i costi Fissi della parte Edilizia del livello base si ha:

	<b>spessore (mm)</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>
<b>Mattone Forato</b>	120	70
<b>Intercapedine</b>	0	0
<b>Mattone Forato</b>	80	60
<b>EPS</b>	100	40
<b>Totale</b>		170

[Tab. 6.1]: Costi Edilizi-Livello Base-€

E moltiplicando il totale per la superficie esterna di 495 m<sup>2</sup> si ottiene un totale di costi edilizi indicativi di 84150 €.

### 6.1.2 Costi di Esercizio

Per quanto riguarda i costi di esercizio, si intendono i costi legati ai consumi dei macchinari e le manutenzioni previste dai costruttori, per il riscaldamento:

<b>Riscaldamento</b>			
<b>Fabbisogno energetico invernale kWh</b>		<b>Energia termica metano kWh/m<sup>3</sup></b>	
<b>21000</b>		10,5	
<b>Rendimento caldaia</b>	<b>Fabbisogno totale</b>	<b>Energia effettiva</b>	<b>Fabbisogno m<sup>3</sup></b>
<b>0,98</b>	21000	10,269	2556

[Tab. 6.2]: Costi Esercizio-Riscaldamento-Livello Base

Si vede come il fabbisogno termico in riscaldamento dell'edificio sia di 21000 kWh, che tenendo conto del fattore correttivo di 0,8 diventano 26250 kWh. Tale energia deve essere fornita dal generatore di calore, che nel livello base sarà una

caldaia attraverso il metano, che ha un potere calorifico di  $10,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ , la nostra caldaia però non avrà un rendimento del 100% ma ipotizziamo del 98% e di conseguenza, considerando le perdite, la potenza al focolare sarà di  $10,269 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ . Allora, dividendo si ottengono i 2556 m<sup>3</sup> di metano necessari, ad un costo, esclusi gli oneri di servizio, di 0,66 €/m<sup>3</sup> (ricavato dal prezzario nazionale), ottenendo 1687 € di metano annui, a questi si aggiungono 100€ tra manutenzione e prove dei fumi, totale 1787€.

Per il raffrescamento invece:

<b>Raffrescamento</b>		
<b>5,6&lt;SEER classe A+ &lt;6,1</b>	<b>Fabbisogno kWh</b>	<b>Consumo reale kWh</b>
<b>5,85</b>	3400	726

[Tab. 6.3]: Costi Esercizio-Raffrescamento-Livello Base

Il ragionamento è il medesimo, con 3400 kWh di fabbisogno energetico, con un SEER di un climatizzatore in classe A+, il cui valore medio è 5,85, implicherà un consumo effettivo di elettricità pari a 581 kWh che dopo il fattore correttivo diventano 726 kWh, che a 0,13 €/kWh si ottengono 94€ di corrente annua, sempre esclusi oneri bollettari. Il totale dei costi di Esercizio Annuo risulta essere 1881€.

## 6.2 Costi Livello Intermedio

### 6.2.1 Costi Edilizi

Per quanto riguarda i costi Fissi della parte Edilizia del Livello Intermedio si ha:

	<b>spessore (mm)</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>
<b>Porothrem</b>	300	150
<b>Poliur. Esp. Imp.</b>	100	40
<b>totale</b>		190

[Tab. 6.4]: Costi Edilizi-Livello Intermedio-€

E moltiplicando il totale per la superficie esterna di 495 m<sup>2</sup> si ottiene un totale di costi edilizi di 94050 €.

### 6.2.2 Costi di Esercizio

Per quanto riguarda i costi di esercizio, si intendono i costi legati ai consumi dei macchinari e le manutenzioni previste dai costruttori, per il riscaldamento prevediamo:

<b>Riscaldamento</b>		
<b>5,1&lt;SCOP A++&lt;4,6</b>	<b>Fabbisogno Kwh</b>	<b>Consumo reale kWh</b>
<b>4,85</b>	8154	2101

[Tab. 6.5]: Costi Esercizio-Riscaldamento-Livello Intermedio

Per il raffrescamento invece:

<b>Raffrescamento</b>		
<b>8,5&lt;SEER A++&lt;6,10</b>	<b>Fabbisogno Kwh</b>	<b>Consumo reale kWh</b>
<b>7,3</b>	3400	582

[Tab. 6.6]: Costi Esercizio-Raffrescamento-Livello Intermedio

Si ottiene un totale di 2682 kWh di energia effettiva, considerando un impianto in classe A++ sia in raffrescamento che in riscaldamento. Con 0,13 €/kWh si ottengono 348€ di corrente annua, sempre esclusi oneri bollettari. Il totale dei costi di Esercizio Annuo risulta essere 348€, che diventano 363€ se si prevedono minimi interventi di manutenzione ordinaria minimi.

## 6.3 Costi Livello Avanzato

### 6.3.1 Costi Edilizi

Per quanto riguarda i costi Fissi della parte Edilizia del livello base si ha:

	<b>spessore mm</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>
<b>Clima Gold 48</b>	480	220
<b>Totale</b>		220

[Tab. 6.7]: Costi Edilizi-Livello Intermedio

E moltiplicando il totale per la superficie esterna di 495 m<sup>2</sup> si ottiene un totale di costi edilizi indicativi di 108900 €. Un aspetto cruciale da considerare è la posa in opera del blocco Ytong, che risulta essere il 10% in meno rispetto ad una tamponatura tradizionale, di conseguenza i costi diventano 98010€.

### 6.3.2 Costi di Esercizio

Per quanto riguarda i costi di esercizio, si intendono i costi legati ai consumi dei macchinari e le manutenzioni previste dai costruttori, per il riscaldamento prevediamo:

<b>Riscaldamento</b>		
<b>5,1&lt;SCOP A+++</b>	<b>Fabbisogno Kwh</b>	<b>Consumo reale kWh</b>
<b>5,1</b>	3651	893

[Tab. 6.8]: Costi Esercizio-Riscaldamento-Livello Avanzato

Per il raffrescamento invece:

<b>Raffrescamento</b>		
<b>8,5&lt;SEER A+++</b>	<b>Fabbisogno Kwh</b>	<b>Consumo reale kWh</b>
<b>8,5</b>	2825	415

[Tab. 6.9]: Costi Esercizio-Raffrescamento-Livello Avanzato

Si ottiene un totale di 1308 kWh di energia, che a 0,13 €/kWh si ottengono 170€ di corrente annua, sempre esclusi oneri bollettari. Il totale dei costi di Esercizio Annuo risulta essere 185€, considerando il cambiamento stagionale dei filtri come manutenzione ordinaria.

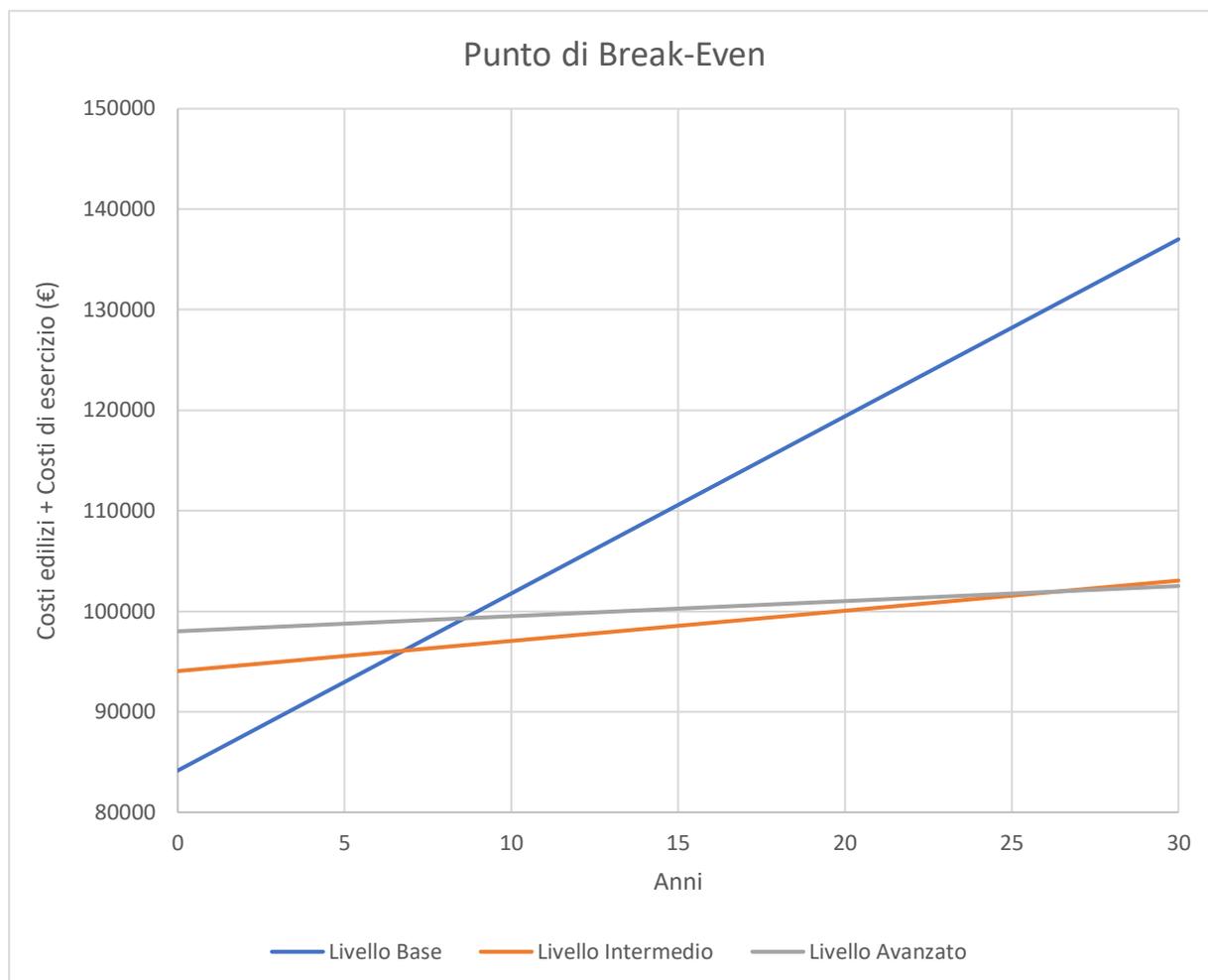
## 6.4 Punto di Break-Even

Una volta definiti i Costi edilizi e i costi di esercizio per ognuno dei 3 Livelli, su un arco temporale di 30 anni dalla messa in esercizio del fabbricato.

	<b>Livello Base</b>	<b>Livello Intermedio</b>	<b>Livello Avanzato</b>
<b>Costi Edilizi</b>	84150	94050	98010
<b>Costi di Esercizio</b>	1881	365	185
<b>Anno</b>	Livello Base	Livello Intermedio	Livello Avanzato
<b>0</b>	84150	94050	98010
<b>1</b>	86031	94415	98195
<b>2</b>	87912	94780	98380
<b>3</b>	89793	95145	98565
<b>4</b>	91674	95510	98750
<b>5</b>	93555	95875	98935
<b>6</b>	95436	96240	99120
<b>7</b>	97317	96605	99305
<b>8</b>	99198	96970	99490
<b>9</b>	101079	97335	99675
<b>10</b>	102960	97700	99860
<b>11</b>	104841	98065	100045
<b>12</b>	106722	98430	100230
<b>13</b>	108603	98795	100415
<b>14</b>	110484	99160	100600
<b>15</b>	112365	99525	100785
<b>16</b>	114246	99890	100970
<b>17</b>	116127	100255	101155
<b>18</b>	118008	100620	101340
<b>19</b>	119889	100985	101525
<b>20</b>	121770	101350	101710
<b>21</b>	123651	101715	101895
<b>22</b>	125532	102080	102080
<b>23</b>	127413	102445	102265
<b>24</b>	129294	102810	102450
<b>25</b>	131175	103175	102635
<b>26</b>	133056	103540	102820
<b>27</b>	134937	103905	103005
<b>28</b>	136818	104270	103190
<b>29</b>	138699	104635	103375
<b>30</b>	140580	105000	103560

[Tab. 6.10]: Costi edilizi e Costi di esercizi

E riportando i dati in un grafico a dispersione di punti otteniamo:



[Graf. 6.1]: Costi edilizi e costi di esercizio

Riportiamo il grafico della Tabella sopra riportata, con l'asse delle ascisse contenente la progressione degli anni, mentre sulle ordinate la somma tra Costi Edilizi e Costi di Esercizio. Si nota come i tre livelli abbiano tre diverse pendenze, influenzate dal valore dei Costi di Esercizio.

Dall'analisi si evince che già dopo 7 anni, il Livello Base diventa sconveniente rispetto al Livello Intermedio e dopo 9 rispetto al Livello Avanzato. Il Livello Intermedio diventa sconveniente rispetto al Livello Avanzato dopo 22 anni. Si ribadisce ancora una volta che l'analisi economica ha tenuto in considerazione pochi fattori, tralasciando aspetti strutturali o ancora abbinamenti di altre forme di energie rinnovabili (fotovoltaico, accumulo, geotermico) agli impianti scelti.

## CAPITOLO 7

### CONCLUSIONI

Il presente studio ha esaminato l'intersezione tra proprietà edilizie, efficienza energetica e sostenibilità economica, dimostrando come la scelta dei materiali e degli impianti possa influenzare profondamente non solo l'impatto ambientale ma anche i costi a lungo termine. Lo studio ha preso in esame tre differenti livelli di isolamento termico e impiantistica applicati ad uno stesso edificio residenziale: Livello Base, Intermedio e Avanzato.

Il Livello Base è caratterizzato da soluzioni economiche con materiali di qualità standard ed impianti dall'efficienza in classe A+. Il Livello Intermedio rappresenta un compromesso, con l'adozione di materiali e tecnologie di qualità superiore, ed impianti in classe energetica A++. Infine, il Livello Avanzato adotta soluzioni innovative e di alta fascia, come il calcestruzzo cellulare e impianti in classe A+++.

Dall'analisi dei costi risulta che il Livello Intermedio diventa più vantaggioso rispetto al Livello Base dopo 7 anni, mentre il Livello Avanzato supera il Base dopo 9 anni. Tuttavia, nel confronto tra il Livello Intermedio e quello Avanzato, quest'ultimo risulterà economicamente favorevole solo dopo 25 anni.

Se non ci sono limitazioni economiche insormontabili, la scelta del Livello Avanzato è la più consigliabile, poiché offre i migliori risultati in termini di efficienza energetica, durabilità e conformità alle normative future. Tuttavia, se il budget rappresenta un fattore critico, si dovrebbe comunque evitare il Livello Base, che, nonostante i costi iniziali più bassi, comporta elevati costi operativi.

Per quanto riguarda lo studio nella sua completezza, riconosciamo diversi limiti: innanzitutto non si è effettuato una progettazione impiantistica, ma si sono considerati solamente i fabbisogni energetici e dunque si è ignorato tutta la parte della scelta dei macchinari, con dati di SCOP e SEER accurati, invece di aver preso una media di categoria come nello studio. Inoltre, tutta la parte della scelta del metodo di

distribuzione del fluido convettore è stata omessa al fine di non rendere troppo complessa l'analisi. Infine, nell'analisi energetica, si tralasciano tutti i costi di acquisto dei macchinari, come anche tutte le considerazioni riguardo eventuali energie rinnovabili.

Nonostante gli evidenti limiti dello studio, con il presente documento si va ad analizzare in maniera dettagliata la parte edilizia dei tre livelli, ponendo molta attenzione alle proprietà, vantaggi e svantaggi, di ogni pacchetto stratigrafico scelto. Inoltre, viene effettuata un'ottima panoramica sul EPBD [1] e la parte legislativa relativa all'efficienza energetica nell'edilizia. Infine, è giusto menzionare la parte normativa citata nello studio, nello specifico relativamente alle norme, tecniche e non, utilizzate dal programma Edilclima EC700.

Possibili sviluppi futuri del presente lavoro possono riguardare la valutazione più dettagliata delle soluzioni impiantistiche, il dimensionamento delle macchine, la distribuzione dell'energia termica, e la possibilità di utilizzare impianti ad energia rinnovabile con eventuale accumulo di energia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Direttiva (Ue) 2024/1275 del Parlamento Europeo e del Consiglio, *EPBD*, 24.4.2024
- [2] Segreto M. et al., *Prospettive e potenzialità dei sistemi off-site: il progetto 'Ambiente Costruito'*, DOI 10.12910/EAI2020-080
- [3] Direttiva (Ue) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 30.5.2018
- [4] Direttiva (UE) 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 19.5.2010
- [5] Direttiva (Ue) 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 25.10.2012
- [6] Fiorini A., *Contrastare la povertà energetica per una transizione inclusiva ed equa*, DOI 10.12910/EAI2022-060
- [7] D.LGS 28.12.2015, n.221: Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dai campi elettromagnetici.
- [8] D.LGS. 18.4.2016, n.50: Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, in attuazione delle 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE.
- [9] UNI EN 15804: +A2 2019: Normativa che fornisce le regole base per la dichiarazione ambientale di prodotto (EPD) per prodotti da costruzione e servizi di costruzione, con l'aggiunta dell'emendamento A2 del 2019.
- [10] UNI/TR 11715: Rapporto tecnico che fornisce linee guida per la corretta implementazione dei requisiti normativi delle dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) per i prodotti da costruzione.
- [11] D.P.R. 74/2013: Regolamento che definisce i criteri generali per l'esercizio, la conduzione, il controllo, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici degli edifici.
- [12] D.P.R. 412/93: Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del

contenimento dei consumi di energia, in attuazione all'articolo 4 comma 4 della Legge 10/91.

[13] UNI EN ISO 10077-1: Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.

[14] 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.

[15] UNI EN ISO 6946: Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.

[16] UNI EN ISO 13788: 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.

[17] D.P.R. 2.4.2009: Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19.8.2005, n.192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

[18] UNI 10351: Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore.

[19] UNI 10355: Murature e solai - Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.

[20] UNI 10356: Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.

[21] UNI EN 12831: Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto.

[22] UNI EN ISO 1379: modalità di funzionamento del circuito e fattori correttivi per contabilizzazione e dell'energia utile.

[22] UNI EN ISO 13790: calcoli relativi alla valutazione dell'intermittenza.

[23] UNI/TS 11300-1:2014, UNI/TS 11300-2:2014 e UNI/TS 11300-4:2016: norme per il calcolo del fabbisogno invernale.

[24] UNI/TS 11300-1:2014: norme per il calcolo del fabbisogno estivo.

[25] De Santoli L., Mancini F., *Progettazione degli impianti di climatizzazione, II edizione, 2022, Maggioli Editore.*