



**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DIPARTIMENTO INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI
MATERIALI**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DEI PROCESSI
E DEI SISTEMI EDILIZI**

**MODELLAZIONE DELL'INVOLUCRO EDILIZIO E
ANALISI DEI PONTI TERMICI DELLA FACOLTÀ DI
INGEGNERIA IN VIA DEL RISORGIMENTO,
BOLOGNA**

Relatore:

Prof. Ing. Luca Barbaresi

Presentata da:

Andrea Angelotti

Correlatori:

Ing. Corrado Camponeschi

Ing. Maurizio Goni

Sessione Marzo 2025

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

INTRODUZIONE.....	5
1 - L'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'EDILIZIA	6
1.1- Il ruolo nell'edilizia.....	6
1.2 – Obiettivi e soluzioni adottate dall' UE	8
1.2.1 – Obiettivi.....	8
1.2.2 – La Direttiva EPBD	9
1.2.3 – La direttiva EED.....	11
1.3- Contesto legislativo nazionale	12
1.3.1 – I certificati bianchi.....	12
1.3.2 – Le detrazioni fiscali.....	13
1.3.3 – Il conto termico	16
1.4 – Provvedimenti Regionali.....	17
2 – PIANO ENERGETICO D'ATENEO (PEA).....	18
2.1 – Introduzione al PEA	18
2.2 – I dati dell'Ateneo.....	19
2.3 – Il ruolo del caso studio all'interno del PEA	21
2.4 – Interventi del PEA	23
3 – DESCRIZIONE CASO STUDIO: EDIFICIO RISORGIMENTO UNIBO	26
3.1 – Inquadramento generale	26
3.2 – Tecniche costruttive.....	28
3.3 – Il rilievo dell'edificio	34
3.3.1 – Obiettivi.....	34
3.3.2 - Strumentazione.....	34
3.3.3 – Fase operativa.....	35
4 – IMPLEMENTAZIONE ENERGETICA DELL'INVOLUCRO	47
4.1 – Il ruolo dell'involucro edilizio	47
4.2 – Inserimento dati generali	49
4.3 – Creazione e descrizione componenti involucro	52
4.3.1 - Componenti, chiusure opache verticali	53
4.3.2 - Componenti, divisori e chiusure opache orizzontali:	58
4.3.3 - Componenti, chiusure trasparenti verticali:	73
4.3.4 – Confronto con trasmittanze limite	83

4.4 – Creazione Zone e locali.....	83
4.5 – Inserimento ombreggiamenti.....	86
4.6 – Risultati grafici modello energetico	87
5 – MODELLAZIONE PONTI TERMICI	94
5.1 – Fondamenti teorici del ponte termico.....	94
5.1.1 – Caratteristiche fisiche del ponte termico	95
5.1.2 – Parametri ψ e L_{2D}	98
5.2 – Normativa di riferimento.....	101
5.3 – Modellazione ponte termico infisso W77-muro M230 agli elementi finiti.....	103
5.3.1 – Descrizione superficie disperdente in oggetto.....	103
5.3.2 – Metodo di modellazione	106
5.3.3 – Sezione verticale serramento.....	107
5.3.4 – Sezione orizzontale serramento	118
5.3.5 – Sezione verticale pilastro tra serramenti.....	125
5.3.6 – Importazione ponte termico W77-M230 nel modello energetico.....	131
5.4 – Modellazione ponti termici da abachi	132
6 – ANALISI DEI RISULTATI.....	133
6.1 – Analisi risultati della modellazione energetica dell’involucro	133
6.1.1 – Dispersioni potenza invernale	133
6.1.2 – Bilancio energia invernale.....	136
6.1.3 – Bilancio energia estiva	139
6.2 – Analisi risultati modellazione dei ponti termici parete-infisso.....	141
6.2.1 – Influenza sull’involucro del ponte termico W77-M230	141
6.2.2 – Influenza sull’involucro dei ponti termici W parete-telaio da abachi	144
6.3 – Dispersioni totali dell’involucro con tutti i ponti termici causati dagli infissi.....	144
CONCLUSIONI.....	146
BIBLIOGRAFIA.....	148

INTRODUZIONE

Il comparto delle costruzioni è il principale utilizzatore delle risorse energetiche a livello globale, per evitare di aggravare ulteriormente la situazione è necessario innovare l'approccio e tutto ciò che fa parte del processo edilizio riducendo il consumo di combustibili fossili. La buona notizia è che sono già presenti gli strumenti necessari per attuare il cambiamento, ciò che manca è una maggiore consapevolezza e interesse verso queste problematiche.

Questo lavoro di tesi, prendendo spunto dal piano Energetico di Ateneo, vuole essere uno strumento utile per orientare i futuri investimenti dell'Ateneo nel campo dell'energetica. Perché non è sufficiente inserire dati sui software di calcolo ma per trovare soluzioni ai problemi del costruito è fondamentale che vengano forniti gli strumenti adatti per guidare scelte progettuali consapevoli.

Nello specifico il lavoro di tesi si inserisce nell'ambito delle analisi che l'Ateneo sta conducendo attraverso professori, ricercatori e tesisti, nell'ambito del Piano Energetico d'Ateneo 2024-2030. Una delle strategie del Piano è quella di provvedere alla sostituzione degli infissi, in tale direzione, prendendo come caso studio l'edificio Risorgimento, è necessario conoscere il loro comportamento, in particolare l'incidenza nelle dispersioni totali e l'incidenza dei ponti termici da essi causati. Tramite la modellazione energetica dell'edificio e il calcolo dei ponti termici parete-infisso con i software di modellazione appropriati. Si è dato particolare risalto allo studio di quei ponti termici che non sono facilmente reperibili in letteratura per via della loro complessità come il collegamento tra infissi e muratura. Nel caso di studio questo tipo di ponte termico incide notevolmente per via della sua estensione, degli elevati costi di manutenzione e per i vincoli architettonici.

Il lavoro si articola in tre fasi principali: l'analisi conoscitiva dell'edificio che comprende lo studio delle tecniche costruttive utilizzate e il contesto in cui è stato realizzato, il rilievo dei componenti dell'involucro e degli ambienti interni con particolare attenzione a murature infissi e volumetrie interne degli ambienti, infine la modellazione con gli opportuni software.

Come risultati, si è prodotto un modello energetico accurato dell'edificio esistente che, assieme ad un'analisi critica, possano essere d'aiuto per le valutazioni necessarie al compimento delle migliori strategie necessarie per ridurre il consumo energetico dell'edificio e migliorare il comfort degli occupanti. Questa operazione è possibile solamente attraverso una taratura del modello mediante la firma energetica.

1 - L'EFFICIENZA ENERGETICA NELL'EDILIZIA

1.1- Il ruolo nell'edilizia

L'era dell'energia a basso costo è ormai un ricordo del passato. Stiamo vivendo una nuova fase, quella dello sviluppo sostenibile, che comporta una trasformazione radicale, già avviata, nel modo in cui l'energia viene prodotta e utilizzata. Nell'Unione Europea, il settore edilizio si conferma il principale consumatore di energia primaria, superando i trasporti e l'industria. Anche in Italia, gli edifici rappresentano la principale fonte di consumo energetico. Sono infatti milioni le costruzioni, con i relativi impianti di riscaldamento, a contribuire significativamente all'inquinamento atmosferico (1). Il settore edilizio, che include l'energia impiegata per la costruzione, il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione di edifici residenziali e aziendali, oltre al funzionamento di elettrodomestici e attrezzature, gioca un ruolo centrale nella vita quotidiana, poiché trascorriamo gran parte del nostro tempo all'interno di edifici, sia a casa che al lavoro o durante le attività ricreative. Questo settore, che comprende *infatti* abitazioni, luoghi di lavoro, scuole, ospedali, biblioteche e altri edifici pubblici, è il maggior consumatore di energia nell'Unione Europea e uno dei principali responsabili delle emissioni di anidride carbonica. Nel complesso, gli edifici nell'UE rappresentano il 40% del consumo energetico totale e il 36% delle emissioni di gas serra, imputabili principalmente alle attività di costruzione, utilizzo, ristrutturazione e demolizione. Si veda *Fig.1* per la rappresentazione grafica dei consumi medi kWh/m² annui.

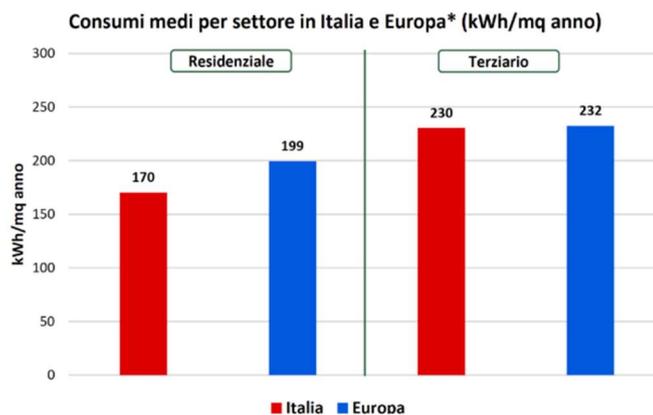


Figura 1 - Fonte: ENEA, EURAC Research

Secondo l'Italy Climate Report, il patrimonio edilizio italiano rappresenta uno dei principali consumatori di gas (fig.2), con circa 30 miliardi di metri cubi utilizzati ogni anno, prevalentemente per il riscaldamento degli ambienti. Questo valore corrisponde a oltre il 40% del fabbisogno nazionale di gas ed è comparabile al consumo di tutte le centrali termoelettriche

alimentate con questo combustibile. Inoltre, il settore edilizio è il principale responsabile dell'aumento del consumo di gas a livello nazionale negli ultimi decenni, registrando un incremento del 50% dal 1990 a oggi (2).

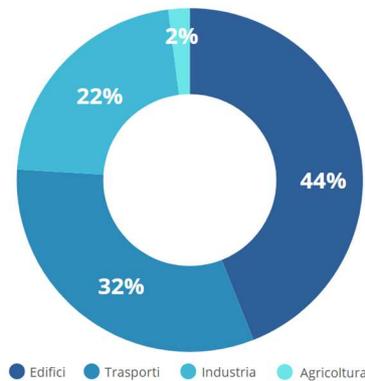


Figura 2 -Fonte dati: Italy Climate Report 2021

Dai dati forniti dalla Commissione Europea, migliorare l'efficienza energetica del settore edilizio è cruciale per raggiungere l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050 (Fig.3), stabilito nel Green Deal Europeo. Attualmente, si stima che circa il 75% del patrimonio edilizio dell'Unione sia inefficiente dal punto di vista energetico, con conseguenti sprechi significativi di energia. Ridurre questi sprechi è possibile intervenendo sugli edifici esistenti con ristrutturazioni mirate e adottando materiali e tecnologie energeticamente efficienti per le nuove costruzioni. Le analisi indicano che la ristrutturazione del parco immobiliare potrebbe portare a una riduzione del 5-6% nei consumi energetici totali dell'UE e del 5% nelle emissioni di biossido di carbonio. Nonostante ciò, il tasso di ristrutturazione rimane limitato, con una media inferiore all'1% all'anno, oscillando tra lo 0,4% e l'1,2% nei vari Stati membri (3).



Figura 3 - Fonte: Elaborazione ENEA su dati del consiglio europeo, Pronti per il 55%: per edifici più verdi nell'UE – Consilium (europa.eu)

L'aggiornamento del 2022 del Global Buildings Climate Tracker (GBCT), pubblicato dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) e dall'Alleanza Globale per le Costruzioni e l'Edilizia (GlobalABC), evidenzia una situazione allarmante riguardo al percorso di decarbonizzazione del settore edilizio. Attualmente, la domanda di energia e le emissioni collegate al comparto delle costruzioni rappresentano oltre un quinto delle emissioni globali, creando un divario significativo rispetto agli obiettivi desiderati. Dal primo global stocktake report, si evince che per raggiungere i traguardi fissati dall'Accordo di Parigi (accordo tra gli stati membri che da attuazione al Green Deal) sarà necessaria una drastica riduzione delle emissioni di gas serra (GHG) attraverso interventi rapidi e sostenuti. Ciò comporta un aumento di tre volte della capacità di energia rinnovabile su scala globale e il raddoppio del tasso medio annuo di miglioramento dell'efficienza energetica entro il 2030. Il settore edilizio è centrale in questo processo, con l'obiettivo di ridurre l'intensità energetica del comparto del 37% rispetto ai livelli del 2015 entro il 2030. (4)

1.2 – Obiettivi e soluzioni adottate dall' UE

1.2.1 – Obiettivi

Il Green Deal europeo rappresenta una strategia che mira a contenere l'aumento della temperatura globale entro +1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. Per affrontare tale sfida, l'Unione Europea ha introdotto normative, strategie e strumenti volti a migliorare le prestazioni energetiche del patrimonio edilizio europeo. Le direttive emanate dall'UE svolgono un ruolo cruciale nella riduzione del consumo energetico e delle emissioni di gas serra, contribuendo significativamente al conseguimento degli obiettivi climatici. Questi interventi normativi si concentrano su tre aspetti principali:

- Nuovi standard edilizi, che fissano requisiti minimi di efficienza energetica, trasformando il settore delle costruzioni e delle ristrutturazioni;
- Ristrutturazione degli edifici esistenti, incentivata da strumenti economici e obblighi normativi volti a promuovere la riqualificazione energetica e la conseguente riduzione dei consumi;
- Transizione energetica, supportata dalla Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD), essenziale per favorire edifici a basse emissioni di carbonio e raggiungere gli obiettivi climatici dell'Unione.

Alla luce dell'obiettivo globale descritto sopra, gli obiettivi intermedi di "Pronti per il 55%" fissati per il 2030 saranno:

- Riduzione del 55% delle emissioni totali di gas serra rispetto ai livelli del 1990.
- Riduzione del 40% le emissioni del 2005 nei settori dell'agricoltura, degli edifici, dei trasporti, dei rifiuti e delle piccole e medie industrie. Per l'Italia, l'obiettivo specifico è una riduzione del 43,7%.
- Incremento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili fino al 42,5%, con un ulteriore 2,5% da raggiungere con sforzi collettivi, partendo dall'attuale quota del 22%.
- Per gli edifici, raggiungere il 49% di energia proveniente da fonti rinnovabili. La quota di energia rinnovabile destinata al riscaldamento e al condizionamento dovrà crescere almeno dello 0,8% all'anno fino al 2026 e dell'1,1% all'anno fino al 2030.
- Riduzione del 38% i consumi energetici finali rispetto ai valori registrati in Europa nel 2007. Attualmente il livello di riduzione medio raggiunto in Europa è del 29%; in termini di energia primaria consumata la riduzione al 2030 deve essere del 40,6% rispetto al 2007.
- Ottenere una riduzione annua media, dal 2024 al 2030, del 1,49% dei consumi energetici finali; tale riduzione per il settore pubblico diventa pari a 1,9%.
- Ristrutturare almeno il 3% all'anno della superficie di pavimento degli edifici pubblici.

(3)

1.2.2 – La Direttiva EPBD

La Direttiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), è stata introdotta dalla commissione europea nel 2002 e aggiornata più volte per rispondere alle crescenti esigenze climatiche ed energetiche. L'ultima revisione, nota come EPBD IV, ha rafforzato gli obblighi per gli Stati membri, imponendo standard sempre più stringenti per migliorare la prestazione energetica degli edifici. Questa direttiva stabilisce l'obbligo di definire requisiti minimi di efficienza energetica e promuove lo sviluppo di edifici a emissioni zero. Inoltre, introduce e consolida il concetto di "Edifici a Energia Quasi Zero" (NZEB) per le nuove costruzioni, richiedendo che rispettino criteri severi in termini di efficienza energetica. I principali obiettivi della nuova direttiva EPBD IV includono (Fig.4):

- Edifici a emissioni zero entro il 2030: la direttiva stabilisce che, entro il 2030, tutti i nuovi edifici dovranno essere a emissioni zero (ZEmB), come parte del percorso verso la neutralità climatica prevista per il 2050.

- Edifici pubblici: i nuovi edifici pubblici dovranno conformarsi agli standard di emissioni zero già a partire dal 2028. Inoltre, gli Stati membri sono tenuti a promuovere l'installazione di impianti solari su edifici pubblici e non residenziali, laddove tecnicamente possibile, estendendo questa misura a tutti i nuovi edifici residenziali entro il 2030.
- Gli edifici esistenti dovranno raggiungere l'obiettivo di emissioni zero entro il 2050, con tappe intermedie definite. Entro il 2030, il 15% degli *edifici non residenziali* dovrà essere riqualificato energeticamente, percentuale che salirà al 26% entro il 2033 per quelli con le peggiori prestazioni. Complessivamente, il 43% degli edifici meno efficienti dovrà essere riqualificato. Ogni Stato membro dovrà stabilire soglie massime di prestazione energetica, basate sui consumi medi al 1° gennaio 2020, garantendo il miglioramento del 16% degli edifici entro il 2030 e del 26% entro il 2033. Per gli *edifici residenziali*, il consumo medio di energia primaria dovrà ridursi del 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035 rispetto ai livelli del 2020, con riduzioni progressive fino al 2050 per raggiungere la neutralità climatica (Fig.5).



Figura 4 - Obiettivi Direttiva EPBD

La direttiva Europea riporta alcune eccezioni come: gli edifici storici, luoghi di culto, edifici indipendenti con superficie inferiore a 50 m², case utilizzate per periodi limitati e con un consumo energetico ridotto, edifici di proprietà delle forze armate e siti industriali.

(3)

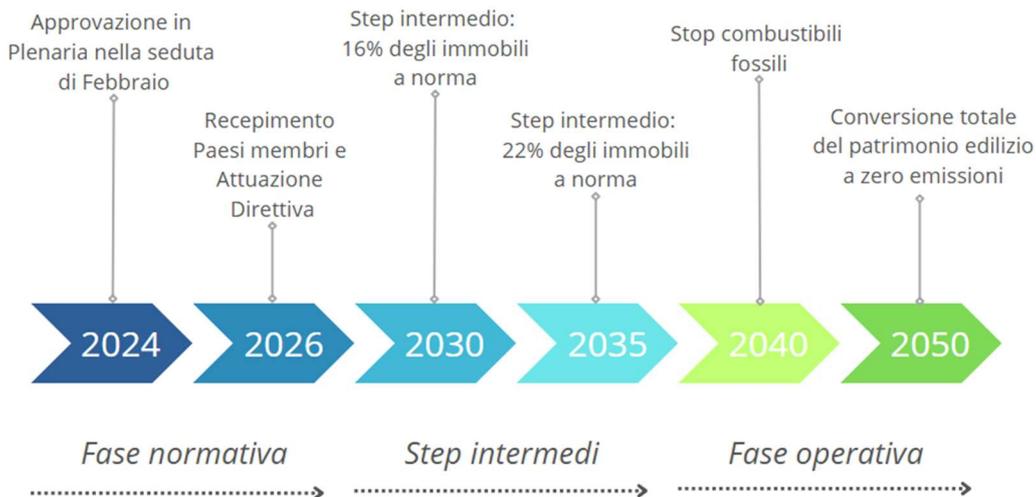


Figura 5 – Riepilogo tempi di attuazione EPBD

1.2.3 – La direttiva EED

La Direttiva sull'Efficienza Energetica (EED), adottata dall'Unione Europea nel 2012, rappresenta un elemento centrale delle politiche europee in materia di clima ed energia. Il suo scopo principale è promuovere l'efficienza energetica in tutti i settori economici, riducendo il consumo complessivo di energia e favorendo la transizione verso un'economia più sostenibile e a basse emissioni di carbonio. Obiettivi principali:

- **Incremento dell'efficienza energetica:** La direttiva mira a ottenere una riduzione del 32,5% nel consumo energetico previsto entro il 2030, prendendo come riferimento i livelli del 2007 (Articolo 26 della Direttiva (UE) 2023/1791). Tale obiettivo si inserisce nella strategia a lungo termine dell'UE per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.
- **Efficientamento del patrimonio edilizio:** Gli edifici pubblici devono assumere un ruolo guida nella transizione energetica. La EED stabilisce che almeno il 3% della superficie totale degli immobili di proprietà e occupati dalle amministrazioni pubbliche sia sottoposta annualmente a interventi di riqualificazione energetica.
- **Risparmi energetici obbligatori per gli Stati membri:** Gli Stati membri sono tenuti a realizzare risparmi energetici finali cumulativi durante il periodo 2021-2030. I nuovi obiettivi annuali prevedono una riduzione dello 0,8% nel consumo finale di energia per il periodo 2021-2023, dell'1,3% per il 2024-2025, dell'1,5% per il 2026-2027 e dell'1,9% per il 2028-2030.

- Supporto ai consumatori: La direttiva impone agli Stati membri di garantire la disponibilità di informazioni chiare e trasparenti sui consumi energetici. Questo include l'uso di contatori intelligenti e la fornitura di bollette dettagliate, con l'obiettivo di incentivare un comportamento più consapevole e responsabile nel consumo di energia.

(5)

1.3- Contesto legislativo nazionale

Tra gli strumenti principali adottati, per adempire alle normative europee precedentemente riportare, figura il Piano d'Azione Nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE), che stabilisce strategie, obiettivi e misure per promuovere l'efficienza energetica nel Paese.

Il PAEE 2017, approvato l'11 dicembre 2017 dal Ministero dello Sviluppo Economico, rappresenta un documento strategico per ridurre le emissioni di gas serra e ottimizzare l'uso delle risorse energetiche. I suoi elementi chiave includono:

- Obiettivi di efficienza energetica: definizione di target specifici da raggiungere entro scadenze prestabilite.
- Misure e azioni: identificazione di politiche da attuare nei diversi settori economici per migliorare l'efficienza energetica.
- Monitoraggio e valutazione: istituzione di meccanismi per verificare l'efficacia delle misure e monitorare i progressi verso gli obiettivi.

Per conseguire tali obiettivi, per il settore edilizio, l'Italia ha introdotto strumenti operativi come i certificati bianchi, le detrazioni fiscali e il conto termico.

1.3.1 – I certificati bianchi

Noti anche come Titoli di Efficienza Energetica, sono strumenti negoziabili che attestano il risparmio energetico derivante da interventi di miglioramento dell'efficienza. Il Gestore dei Servizi Energetici (GSE) verifica e rilascia i certificati, che vengono negoziati tramite il Gestore dei Mercati Energetici (GME).

1.3.2 – Le detrazioni fiscali

Incentivi destinati a interventi di efficienza energetica, regolati dal Decreto Requisiti Minimi (15 giugno 2015), che classifica gli interventi in:

- Nuova costruzione: edifici realizzati ex novo o ricostruiti dopo demolizioni.
- Ristrutturazioni importanti: interventi che coinvolgono oltre il 25% dell'involucro edilizio.
- Riqualficazione energetica: opere meno invasive finalizzate a migliorare le prestazioni energetiche di edifici esistenti.

(6)

Tra le principali agevolazioni fiscali spicca il **Superbonus** 110%, introdotto con il Decreto Rilancio (D.L. 34/2020). Questo incentivo offriva una detrazione pari al 110% delle spese sostenute per interventi di miglioramento dell'efficienza energetica, come l'installazione di impianti fotovoltaici o stazioni di ricarica per veicoli elettrici. Ideato per accelerare la transizione energetica, il Superbonus si integra con altri strumenti già esistenti, come l'Ecobonus e il Sismabonus.

Nel corso degli anni, questa misura ha subito proroghe e modifiche (Fig.6). La Legge di Bilancio 2022 ha avviato una graduale riduzione dell'aliquota, con distinzioni tra condomini, edifici plurifamiliari e villette unifamiliari:

- Condomini ed edifici plurifamiliari: il beneficio del 110% è stato confermato fino al 31 dicembre 2023, con una successiva riduzione al 70% nel 2024 e al 65% nel 2025.
- Villette unifamiliari: la proroga al 31 marzo 2023 prevedeva il completamento di almeno il 30% dei lavori entro settembre 2022. Dal 2025, il Superbonus per queste unità subirà ulteriori modifiche: l'aliquota sarà ridotta al 65% per interventi già avviati entro il 15 ottobre 2024, mentre per nuovi progetti l'agevolazione non sarà più disponibile.

Questa misura, pur con le variazioni introdotte, ha rappresentato uno strumento chiave per incentivare interventi di riqualficazione energetica, promuovendo la sostenibilità ambientale e contribuendo al raggiungimento degli obiettivi climatici nazionali ed europei.



Figura 6 - Andamento tariffe Superbonus

Gli interventi principali, definiti "trainanti", che permettono di accedere al Superbonus includono:

- Isolamento termico dell'involucro edilizio, mirato a migliorare l'efficienza energetica complessiva dell'edificio.
- Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale nelle parti comuni degli edifici condominiali, con soluzioni più efficienti dal punto di vista energetico.
- Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale per edifici unifamiliari o unità immobiliari indipendenti all'interno di edifici plurifamiliari.
- Interventi antisismici, finalizzati a migliorare la sicurezza strutturale degli edifici e a ridurre il rischio sismico.

Questi interventi rappresentano il nucleo del Superbonus, poiché consentono di accedere ai benefici fiscali più elevati, incentivando una riqualificazione energetica e strutturale efficace e sostenibile. (7)

Inoltre, tra gli interventi nazionali facenti parte della manovra relativa alle detrazioni fiscali, è stato emanato l'**Ecobonus**, disciplinato dall'articolo 14 del Decreto-legge 63/2013, è un'agevolazione fiscale che offre detrazioni per interventi di riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Prorogato fino al 31 dicembre 2024 dalla Legge di Bilancio 2022 (articolo 1, comma 37, lettera a, legge n. 234/2021), dal 1° gennaio 2025 sarà sostituito dalla detrazione ordinaria del bonus casa, salvo future modifiche normative. Per accedere all'Ecobonus,

l'immobile deve disporre di un impianto di riscaldamento funzionante o ripristinabile con interventi di manutenzione straordinaria. Tra gli interventi agevolabili rientrano:

- Sostituzione di finestre e infissi
- Installazione di schermature solari
- Sostituzione di caldaie a condensazione
- Riqualificazione energetica globale
- Coibentazione di strutture opache verticali
- Installazione di pannelli solari per acqua calda sanitaria
- Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale
- Sostituzione di generatori d'aria calda a condensazione
- Sostituzione di pompe di calore

A partire dal 2025, l'Ecobonus sarà disponibile con aliquote ridotte: il 50% su una spesa massima di 96.000 euro, che scenderà al 36% dal 2026.

(7)

Infine, il **bonus casa** prevede agevolazioni fiscali per interventi di ristrutturazione su singole unità abitative e parti comuni condominiali, con una detrazione del 50% delle spese sostenute tra il 26 giugno 2012 e il 31 dicembre 2024, fino a un massimo di 96.000 euro per unità immobiliare. Per gli immobili ad uso promiscuo, ovvero utilizzati sia come abitazione che per attività commerciali, la detrazione è ridotta al 25%. La somma viene generalmente suddivisa in dieci rate annuali di pari importo.

Sono ammessi lavori di manutenzione straordinaria, restauro, risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia. La manutenzione ordinaria è detraibile solo per le parti comuni dei condomini, a meno che non sia parte di un progetto più ampio. Altri interventi agevolabili includono:

- Ripristino di edifici danneggiati da calamità
- Eliminazione di barriere architettoniche e mobilità per persone con disabilità gravi
- Prevenzione di atti illeciti
- Riduzione dell'inquinamento acustico
- Miglioramento dell'efficienza energetica
- Adozione di misure antisismiche

- Bonifica dell'amianto
- Opere per evitare infortuni domestici

Dal 2025, per le abitazioni principali, la detrazione rimarrà al 50%, ma scenderà al 36% nel 2026 e 2027, mantenendo invariato il tetto massimo di spesa. Per le seconde case, invece, la detrazione si abbasserà al 36% dal 2025, riducendosi ulteriormente al 30% negli anni successivi.

(7)

1.3.3 – Il conto termico

Il Conto Termico è uno strumento nazionale atto a incentivare e promuovere l'efficienza energetica e l'uso di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica. Come si legge sul Decreto Ministeriale, ogni anno sono stati stanziati 900 milioni di euro, di cui 400 riservati alle pubbliche amministrazioni. L'incentivo consente di coprire fino al 65% delle spese per interventi mirati al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, come la manutenzione degli involucri e degli impianti.

Tra gli interventi ammissibili figurano:

- Isolamento termico degli edifici
- Sostituzione di infissi e pannelli vetriati
- Modernizzazione degli impianti di climatizzazione
- Installazione di sistemi di illuminazione ad alta efficienza
- Produzione di energia termica da fonti rinnovabili

Lo Stato con il Conto Termico finanzia integralmente anche la diagnosi energetica necessaria per identificare gli interventi ottimali e può essere combinato con altre agevolazioni, purché il totale degli incentivi non superi il 100% delle spese sostenute.

Dal 2025 è stato introdotto il Conto Termico 3.0 con cui vengono introdotte alcune importanti novità:

- Ampliamento dei beneficiari: includendo comunità energetiche rinnovabili, configurazioni di autoconsumo collettivo, enti del terzo settore e alcuni edifici privati non residenziali.

- Nuovi interventi agevolabili: come impianti fotovoltaici con sistemi di accumulo e colonnine di ricarica per veicoli elettrici, purché abbinati a pompe di calore.
- Incentivi maggiorati: con copertura fino al 100% delle spese per interventi su edifici pubblici di piccoli comuni (con popolazione fino a 15.000 abitanti), scuole e strutture sanitarie.

(8)

1.4 – Provvedimenti Regionali

La Regione Emilia-Romagna, preso atto delle politiche europee e nazionali, ha realizzato il Patto per il Lavoro e per il Clima, firmato nel dicembre 2020. Esso, infatti, rappresenta un impegno ambizioso verso la transizione ecologica e la decarbonizzazione entro il 2050, con l’obiettivo intermedio di raggiungere un sistema energetico alimentato al 100% da energie rinnovabili entro il 2035. Questo accordo si integra con il Piano Energetico Regionale (PER) 2030 approvato nel 2017 con D.A.L. n.111 del 01/03/2017, che costituisce il principale strumento di pianificazione per ridurre le emissioni, migliorare l’efficienza energetica e promuovere l’uso delle fonti rinnovabili. Gli obiettivi descritti dal PER 2030 sono:

- Riduzione delle emissioni: taglio del 40% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990.
- Energie rinnovabili: incremento della quota al 27% sul consumo finale lordo.
- Efficienza energetica: miglioramento del 27%.

Il PER è stato articolato attraverso Piani Triennali di Attuazione (PTA) che definiscono gli interventi specifici per il conseguimento degli obiettivi energetici e climatici in linea con quelli europei e nazionali. Il più recente, il PTA 2022-2024, che si riferisce al triennio appena concluso, ha visto stanziare investimenti per 8,5 miliardi di euro utili ad interventi di efficientamento energetico su edifici, incentivi sull’installazione di impianti alimentati da energie rinnovabili, potenziamento della mobilità sostenibile e sviluppo di tecnologie energetiche avanzate.

(7)(9)

2 – PIANO ENERGETICO D'ATENEIO (PEA)

2.1 – Introduzione al PEA

Per attenersi al contesto legislativo precedentemente descritto l'Università di Bologna ha elaborato il Piano Energetico d'Ateneio in seguito riportato nei suoi punti principali e necessari al presente caso studio. Dalle parole del Rettore dell'Università di Bologna Giovanni Molari, tale piano nasce dalla responsabilità sociale, dalle competenze tecniche e scientifiche, e dalla prospettiva di lungo termine dell'Alma Mater. Questa sfida affronta il complesso problema energetico, collegato a crisi climatiche, inquinamento e disuguaglianze, proponendo strategie per una gestione energetica più consapevole.

Con oltre un milione di metri quadrati di spazi, l'Ateneio deve gestire una crescente domanda di energia, puntando a ridurre le emissioni di gas serra e incrementare l'uso di fonti rinnovabili. Attualmente, la produzione di energia da fotovoltaico copre solo il 3% del fabbisogno.

Seguendo gli obiettivi del Green Deal europeo e del programma “Fit for 55%”, il Piano prevede azioni come:

- L'installazione di nuovi impianti fotovoltaici per autoprodurre il 17% dell'energia elettrica entro il 2030;
- Un piano di relamping per migliorare l'efficienza energetica degli edifici;
- L'eliminazione delle centrali termiche alimentate da gasolio e olio combustibile;
- Un sistema di telecontrollo per gli impianti termici.

Il Piano mira a coinvolgere la comunità universitaria (docenti, personale e studenti) per adottare comportamenti responsabili e promuovere sinergie con enti pubblici e privati. L'obiettivo è trasformare l'Ateneio in un “laboratorio aperto” per sperimentazioni e sensibilizzazione in tema di energia e ambiente.

L'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna gestisce complessivamente un patrimonio di 287 edifici, per un totale di oltre 1 milione di metri quadrati di superficie. La maggior parte degli edifici (204) è situata nel territorio della Città metropolitana di Bologna, mentre 21 edifici sono situati nel Campus di Ravenna, 20 nel Campus di Cesena, 24 nel Campus di Forlì, 17 nel Campus di Rimini e 1 a Fano. (10)

2.2 – I dati dell’Ateneo

Secondo i dati del Piano Energetico, ogni anno, l’ateneo registra un consumo superiore a 14.000 Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP), con una spesa energetica che nel 2021 ha raggiunto i 15 milioni di euro. Tuttavia, nel 2022, a causa della crisi internazionale che ha ridotto la disponibilità dei principali vettori energetici sul mercato, tale spesa ha superato i 21 milioni di euro. Nella seguente *Fig. 7* riportata dal Piano Energetico d’Ateneo è analizzata la progressione dei consumi:

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
En. Elett. consumata	8.201	6.823	7.904	7.962	7.990	6.778	7.615	7.961
Gas naturale	2.864	2.878	3.236	2.956	2.658	2.493	3.061	2.675
Gasolio	260	166	221	246	209	146	80	62
Olio combustibile	-	-	-	109	103	113	123	126
TLR	2.250	2.190	2.853	3.089	2.767	2.776	3.583	3.237
TOT Consumato	13.575	12.058	14.215	14.362	13.727	12.305	14.461	14.062

Figura 7- Fonte: Piano Energetico d’Ateneo - Consumi di energia primaria dell’Università di Bologna (2015-2022) espressi in tep (1 tep = 11630 kWh, Fattori di conversione Circolare MISE 18/12/2014, Fattori di conversione FIRE)

Mentre dalla *Fig. 8* si nota come nell’arco temporale tra il 2015 e il 2022, i consumi di energia elettrica siano stati costanti mantenendo un valore compreso tra i 42 e i 44 GWh/anno.

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Consumi	MWh_el	43.856	36.488	42.270	42.577	42.727	36.244	40.721	42.572
Costi	€	9.620.135	9.308.582	7.638.326	7.646.887	9.228.379	7.187.654	6.961.918	9.251.694
Auto-produzione	kWh_el	1.380.292	1.343.958	1.426.186	1.294.574	1.312.262	1.347.267	1.258.260	1.241.485

Figura 8 - Fonte: Piano Energetico d’Ateneo - Consumi, produzione e costi legati al vettore energia elettrica dal 2015 al 2022

Dai dati di Ateneo riguardanti i consumi medi giornalieri riferiti a tutto l'Ateneo suddivisi per vettori energetici, distinguendo i mesi estivi (da Aprile a Settembre) dai mesi invernali (da Ottobre a Marzo), la spesa media giornaliera nel 2022 risulta di oltre 74 mila euro al giorno durante il periodo invernale e quasi 42 mila euro al giorno durante il periodo estivo. Inoltre, l'Università riferisce che tali spese risultano aumentate del 35% in inverno e del 18% in estate rispetto al 2019.

Le emissioni annuali di CO2 equivalente derivanti dai consumi energetici dell'Ateneo (Fig.9) risultano ammontare a oltre 31.000 tonnellate di CO2 (escludendo l'anno 2020 a causa delle misure straordinarie adottate per l'emergenza sanitaria). Questo valore è rimasto relativamente stabile nel tempo, grazie agli interventi di efficientamento sugli impianti esistenti e all'installazione di sistemi più performanti nei nuovi edifici. La maggior parte delle emissioni di CO2 è attribuibile al consumo di energia elettrica, che rappresenta oltre la metà del totale. Inoltre, il contributo in termini di emissioni degli impianti connessi alla rete di riscaldamento urbano ha raggiunto quello del gas naturale, in seguito al progressivo aumento degli allacci alla rete di teleriscaldamento pianificati dal 2019 al 2026.

ENERGIA ELETTRICA		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Emissioni	tCO ₂	18.998	15.807	18.311	18.445	18.509	15.701	17.640	18.442
Autoprod	tCO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0

ENERGIA TERMICA		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gas naturale									
Emissioni	tCO ₂	6.998	7.034	7.907	7.223	6.494	6.092	7.480	6.537
Gasolio									
Emissioni	tCO ₂	744	476	634	704	598	417	228	178
Olio combustibile									
Consumi	tCO ₂	-	-	-	335	316	347	378	388
Rete di Riscaldamento Urbano									
Emissioni	tCO ₂	4.364	4.249	5.534	5.993	5.368	5.385	6.950	6.279

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Consumi totali	tep	13.575	12.058	14.215	14.362	13.727	12.305	14.461	14.062
Emissioni totali	tCO ₂	31.105	27.565	32.386	32.699	31.287	27.942	32.676	31.825
Indice di emissione	tCO ₂ /tep	2,29	2,29	2,28	2,28	2,28	2,27	2,26	2,26

Figura 9 - Fonte: Piano Energetico D'Ateneo - Emissioni di CO2 equivalenti suddivise per vettore e indice di emissione nel periodo 2015-22

All'evidenza di questi dati, il bilancio energetico riportato dall'Ateneo è il seguente:

- I consumi energetici dell'Ateneo risultano bilanciati tra energia termica (44%) ed energia elettrica (56%) in termini di energia primaria. Nel 2022, il gas naturale e il

riscaldamento urbano hanno inciso in egual misura sui consumi di energia primaria, rappresentando ciascuno il 21% del totale.

- Durante l'inverno, la spesa giornaliera legata ai consumi energetici è circa il doppio rispetto a quella dei mesi estivi.
- Nei mesi estivi, l'energia elettrica diventa il vettore energetico predominante, in parte per via dell'uso dei sistemi di raffrescamento.
- L'impiego di olio combustibile e gasolio per il riscaldamento degli edifici rappresenta appena il 2,2% dell'energia primaria consumata dall'Ateneo, consentendo di pianificare rapidamente l'eliminazione di questi vettori ad alto impatto ambientale.
- L'indice di emissione dell'Ateneo, espresso in tonnellate di CO₂ per tonnellata equivalente di petrolio (tCO₂/tep), riflette un sistema energetico che fa prevalentemente affidamento su energia termica generata da combustibili fossili e su energia elettrica prelevata dalla rete.

In funzione dei dati riportati, il Sistema di Gestione dell'Energia (SGE) si occupa di stabilire i requisiti per diverse attività essenziali, tra cui la catalogazione, archiviazione e analisi della documentazione relativa alla contabilità energetica. Il sistema include anche la progettazione delle Azioni di Miglioramento dell'Efficienza Energetica (AMEE), il monitoraggio e la misurazione dei livelli di prestazione energetica raggiunti, la gestione degli acquisti di impianti e dispositivi da installare, oltre alla formazione del personale sull'uso efficiente dell'energia.

(10)

2.3 – Il ruolo del caso studio all'interno del PEA

L'Alma Mater, con questo piano, si dichiara un "laboratorio aperto" in cui poter sperimentare tecnologie innovative e modelli avanzati di utilizzo delle fonti energetiche, integrando ricerca e didattica in collaborazione con le amministrazioni pubbliche locali, attivando tirocini presso l'Area Tecnica Edilizia e Sostenibilità (ATES) e l'Area del Patrimonio (APAT), per coinvolgere gli studenti in attività quali la gestione del patrimonio immobiliare attraverso il sistema Archibus, la creazione di modelli termici statici e dinamici degli edifici principali e la gestione della cartografia associata agli immobili dell'Ateneo.

In questo contesto viene offerta agli studenti, come nel caso presente, l'opportunità di realizzare diagnosi energetiche, l'adozione del Building Information Modeling (BIM) per ottimizzare la manutenzione e la gestione degli impianti, la gestione delle gare d'appalto tramite il BIM, la

redazione di piani economico-finanziari per interventi di efficientamento energetico e lo sviluppo di iniziative per sensibilizzare l'utenza a comportamenti virtuosi sul fronte energetico. Le diagnosi energetiche verranno effettuate prioritariamente sugli edifici dell'Ateneo con i consumi specifici più elevati (termici e/o elettrici), come sarà realizzato in seguito in questo studio, per l'edificio situato in Via del Risorgimento. Tali operazioni han già prodotto in passato relazioni tecniche dettagliate sullo stato dei principali servizi energetici e sugli interventi di miglioramento da considerare, oltre alla creazione di modelli energetici degli edifici analizzati. Il Piano Diagnosi Energetiche dell'Ateneo mira a completare entro il 2026 le diagnosi e i modelli energetici calibrati per i 20 edifici con i consumi specifici più alti. Questo studio si inserisce in tale contesto, focalizzandosi come già citato sulla diagnosi energetica dell'edificio situato in Via del Risorgimento a Bologna, sede della Scuola di Ingegneria. L'analisi del patrimonio edilizio e impiantistico dell'Ateneo ha messo in evidenza che, in diversi distretti di Bologna (come Poggi, S. Giacomo, Nord-Ovest, Sud-Est e Risorgimento), una quota significativa degli edifici è rappresentata da strutture storiche vincolate. Questa caratteristica riduce le possibilità di intervento diretto sull'involucro edilizio e rende prioritari gli interventi sugli impianti e sulle parti non visibili dell'edificio, come l'isolamento del sottotetto e della copertura, per migliorare le prestazioni energetiche, per questo è richiesta una valutazione più strutturata e consapevole. La situazione generale dell'isolamento termico negli edifici dell'Ateneo è sintetizzata nella tabella Fig.10, per ciascun distretto, i valori medi di trasmittanza termica (U) relativi a pareti verticali, coperture e finestre. Inoltre, sono evidenziate le percentuali di pareti esterne e coperture dotate di isolamento termico, oltre alla percentuale di finestre con doppio vetro. È importante notare che valori elevati di trasmittanza termica (U) indicano un basso livello di isolamento termico degli elementi analizzati (pareti, tetti, finestre) e quindi di gestione maggiori. (10)

Distretto	Valore medio U pareti [W/m²K]	Valore medio U tetti [W/m²K]	Valore medio U finestre [W/m²K]	Percentuale pareti esterne isolate [%]	Percentuale coperture isolate [%]	Percentuale doppi vetri [%]
BOLOGNA						
Fanin	1,45	0,91	3,22	5,00	11,00	84,00
Navile	0,65	0,61	1,98	88,00	79,00	93,00
Nord Ovest	1,84	1,27	4,63	3,00	24,40	43,50
Risorgimento	1,60	0,72	4,19	0,00	64,00	22,60
Bertalia	1,28	1,06	3,09	0,00	58,00	100,00
S. Giacomo	1,86	0,89	3,80	0,00	55,00	41,00
Sud-Est	1,89	1,51	4,10	1,00	28,00	57,00
Zamboni-Poggi	1,80	0,87	4,8	0,00	45,00	16,00
Ozzano	0,94	1,56	3,15	30,00	8,00	93,00
Filippo Re	1,35	0,73	3,39	9,00	79,00	61,00
CESENA	1,14	1,00	2,10	14,70	24,00	93,00
FORLÌ	1,80	1,28	2,37	3,00	31,00	87,00
RAVENNA	1,40	1,31	3,38	20,00	36,00	59,00
RIMINI	1,60	0,71	2,83	13,00	59,00	78,00

Figura 10 - Fonte: Piano Energetico d'Ateneo - Valori medi di trasmittanza termica U degli edifici

2.4 – Interventi del PEA

In linea con le strategie stabilite, il Piano energetico dell'Ateneo si impegna a migliorare l'efficienza energetica degli usi finali, incrementare la quota di energia da fonti rinnovabili e ottimizzare i consumi specifici attraverso una serie di azioni (fig. 11) da completare entro il 2030, tra cui:

- L'implementazione di un Sistema di Gestione dell'Energia interno, con l'obiettivo di ottenere la certificazione UNI CEI EN ISO 50001 entro il 2027;
- La riqualificazione delle centrali termiche mediante la sostituzione delle caldaie a gas obsolete con caldaie a condensazione avanzate e/o pompe di calore elettriche aerotermiche, idrotermiche o geotermiche;
- L'aumento degli allacciamenti alla rete di riscaldamento urbano;
- La sostituzione delle lampade tradizionali con sistemi di illuminazione ad alta efficienza (Relamping);
- Il potenziamento del sistema di gestione degli edifici (Building Management System - BMS) dell'Ateneo;
- L'isolamento termico degli edifici attraverso interventi quali cappotti termici, isolamento delle coperture e sostituzione degli infissi;
- L'espansione degli impianti fotovoltaici per l'autoproduzione di energia elettrica.

(10)

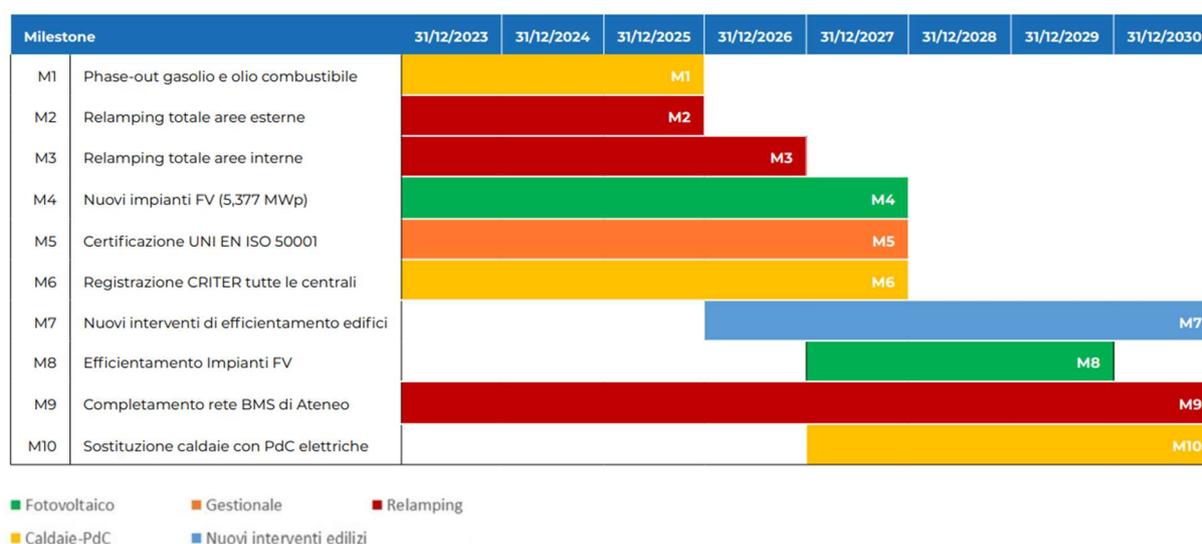


Figura 11 - Fonte: Piano Energetico d'Ateneo - Cronoprogramma degli interventi

Queste iniziative si allineano con le normative e gli obiettivi europei ("Fit for 55"), nonché con le direttive nazionali e regionali. Il Programma triennale include diversi interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio finalizzati a ridurre le dispersioni termiche. Gli interventi principali prevedono:

- La sostituzione di 3.050 m² di finestre, con un costo complessivo di 2,4 milioni di euro;
- L'isolamento e la riqualificazione di 13.726 m² di coperture, per un costo totale di 3,6 milioni di euro;
- L'installazione di coibentazioni interne su 3.272 m² di pareti verticali in edifici soggetti a vincoli storici, per un costo totale di 175.000 euro.

L'Università stima che questi interventi consentiranno un risparmio annuo di energia primaria pari a 177 tep, che corrisponde all'1,2% del consumo totale annuo di energia primaria dell'Ateneo. L'investimento complessivo, pari a 6,1 milioni di euro, comporta un costo specifico per kWh termico risparmiato pari a 2,8 €/kWh. Inoltre, gli interventi previsti riguardano anche la sostituzione di generatori di calore.

In sintesi, nella tabella seguente, l'analisi condotta dall'Ateneo riporta i risultati attesi dagli interventi di efficientamento energetico previsti nel Programma triennale. L'investimento complessivo dell'Ateneo per il triennio 2024-2030 è stimato in 8,7 milioni di euro e dovrebbe generare:

- Un risparmio annuo di energia termica superiore a 3,7 GWh;
- Un risparmio di energia elettrica di 0,6 GWh/anno;
- Un risparmio complessivo di energia primaria pari a 414 tep/anno, corrispondente a una riduzione di emissioni di CO₂ di circa 1.001 tonnellate/anno.

Gli interventi sull'involucro edilizio presentano costi specifici elevati (Fig.12), spesso superiori a 2,5 €/kWh di energia primaria risparmiata. Ciò si traduce in tempi di ritorno dell'investimento lunghi, rendendo la loro sostenibilità economica difficile senza il supporto di cofinanziamenti o incentivi. Al contrario, gli interventi sugli impianti meccanici e sull'illuminazione hanno costi specifici più contenuti (inferiori a 1,6 €/kWh) e tempi di ammortamento più brevi, generalmente inferiori a 12 anni. Tale studio, quindi, è utile anche per valutare la fattibilità tecnico-economica rapportata ai vantaggi che tali interventi potranno produrre, elaborando di conseguenza le scelte migliori rapporto qualità-prezzo per raggiungere gli obiettivi. (10)

Intervento	Investimento (€)	Costo specifico (€/kWh)	Risparmio atteso (tep/anno)	Risparmio atteso (tCO ₂ /anno)
Building automation	343.700	0,60	48	115
Sostituzione generatori	1.275.000	1,06	98	241
Sostituzione finestre	2.370.993	2,90	66	163
Coibentazione pareti interne verticali	174.800	0,45	32	78
Coibentazione coperture/sottotetti	3.554.623	3,67	79	193
Relamping	1.017.301	0,97	90	209
Totale	8.736.417		414	1.001

Figura 12 - Fonte: Piano Energetico d'Ateneo – Interventi di efficientamento energetico programmati: investimento, risparmi attesi, costi specifici ed emissioni evitate

L'attuazione integrale del piano consentirà all'Università di Bologna di conseguire, entro il 2030, ambiziosi traguardi energetici e ambientali. Tra i principali obiettivi figurano:

- La stabilizzazione dei consumi elettrici complessivi al di sotto di 50 GWh/anno, includendo nuove realizzazioni e l'elettificazione del riscaldamento;
- Il mantenimento dei consumi medi annuali per unità di superficie inferiori a 43 kWh/m², grazie all'adozione di pompe di calore efficienti;
- La riduzione del consumo di gas naturale al di sotto del 10% del fabbisogno energetico primario annuale;
- Un significativo incremento della copertura dei consumi energetici tramite fonti rinnovabili, con l'autoproduzione di energia elettrica da fotovoltaico destinata a soddisfare fino al 17% del fabbisogno entro il 2029;
- Il dimezzamento del consumo di energia primaria non rinnovabile rispetto ai livelli del 2022;
- Una riduzione delle emissioni di gas climalteranti superiore al 50%, supportando in modo sostanziale il percorso verso una maggiore sostenibilità ambientale.

Questi risultati riflettono l'impegno dell'Ateneo nella transizione energetica e nel raggiungimento di un modello più sostenibile ed efficiente in linea col contesto europeo, nazionale e regionale.

(10)

3 – DESCRIZIONE CASO STUDIO: EDIFICIO RISORGIMENTO UNIBO

3.1 – Inquadramento generale

L'edificio oggetto di analisi è la sede della Facoltà di Ingegneria a Bologna, situata in Viale del Risorgimento 2. Riconosciuto come patrimonio storico e architettonico, è attualmente vincolato dalla Sovrintendenza. Collocato alle porte del centro storico, nella zona sud-ovest della città, si trova ai margini dei primi colli e all'interno del parco della Villa Cassarini, nei pressi di Porta Saragozza. Questo edificio segna un momento di svolta per l'architettura locale.



Figura 13 - Bologna, localizzazione Edificio allo stato attuale, Google Heart

La costruzione, risalente agli anni '30, si inserisce nel contesto del razionalismo architettonico italiano, un movimento che iniziava a influenzare anche realtà periferiche come Bologna, pur con un approccio meno evidente rispetto ai grandi centri urbani. La progettazione, affidata a Giuseppe Vaccaro, ebbe inizio nel 1933 e si concluse nel 1935, motivata dall'aumento costante della popolazione studentesca. Il progetto subì numerose modifiche, riflettendo le difficoltà legate all'integrazione del nuovo edificio in un contesto caratterizzato da una vegetazione densa e preesistente. Nel progetto definitivo, la nuova sede della Facoltà di Ingegneria si sviluppa secondo una configurazione a pettine, una soluzione già ipotizzata nei progetti degli anni '20, ritenuta ideale sia per armonizzarsi con il contesto naturale sia per garantire una distribuzione interna funzionale a un edificio universitario. Dopo l'assegnazione dei terreni, il progetto architettonico viene presentato al Comune il 22 agosto 1932 e approvato definitivamente il 15 febbraio 1933. L'edificio, con una superficie coperta di circa 6.100 m², si sviluppa in parte su tre piani e in parte su quattro. La disposizione interna è organizzata in più blocchi, con una zona

di rappresentanza collocata in prossimità del prospetto principale e un corpo centrale destinato a laboratori e aule di disegno, collegato ai bracci a pettine dove si trovano gli Istituti (Fig.14).

Ogni braccio ospita una disciplina specifica, dotata di aula, studi per i docenti e laboratori, collocati prevalentemente al piano terra e collegati ai livelli superiori da scale interne. Le discipline prive di laboratori si trovano ai piani superiori, dal secondo al terzo, non richiedendo un accesso diretto al piano terra. Questa configurazione garantisce una certa indipendenza tra le discipline, grazie alla disposizione planimetrica studiata per facilitare la separazione e l'organizzazione degli spazi. Il collegamento tra i vari blocchi è assicurato da un lungo corridoio rettilineo che attraversa tutti i livelli e serve anche le ampie aule di disegno, una per ogni corso e piano. Queste aule, orientate a nord-est, ricevono una luce naturale diffusa e non invasiva, ideale per le attività di disegno. Inoltre, gli infissi speciali permettono un'ottimale aerazione e, nelle stagioni miti, trasformano le aule in spazi simili a verande, con vista e accesso diretto al parco adiacente, migliorando il comfort e il benessere degli studenti. Sul lato ovest dell'edificio si trovava l'ingresso principale, caratterizzato da una pensilina imponente, realizzata interamente in cemento armato e rivestita in marmo rosa di Verona e lamine metalliche "similoro". Superato l'ingresso, attraverso un vestibolo a doppio volume, si accedeva agli spazi destinati alle funzioni amministrative e di rappresentanza, come la direzione e la segreteria. Uno scalone principale, decorato con rivestimenti in marmo e dotato di corrimano in ottone, conduceva all'Aula Magna e alla Sala del Consiglio dei docenti, che coincideva con la sala di lettura della biblioteca adiacente. La biblioteca, già in fase di progettazione, era stata dotata di un ricco archivio collocato all'interno della torre alta 45 metri posta sopra l'ingresso principale. Questo elemento architettonico, simbolico e imponente, richiamava direttamente la tradizione costruttiva bolognese, conferendo all'edificio una forte identità visiva e culturale. (11)

Negli anni '70 l'edificio principale fu ampliato sul lato sud, estendendo uno dei bracci a pettine con una struttura a "L". Questa nuova sezione, articolata su 3 o 4 piani, presenta una prima parte regolare che mantiene la continuità con la struttura originaria, mentre il resto è caratterizzato da una geometria irregolare, con piani sfalsati e aule inclinate disposte a gradoni. Al piano terra sono stati collocati laboratori, aule e la mensa, mentre i piani superiori ospitano aule a gradoni e uffici. Questa configurazione riflette un'evoluzione funzionale dell'edificio, adattandolo alle esigenze crescenti della comunità accademica.

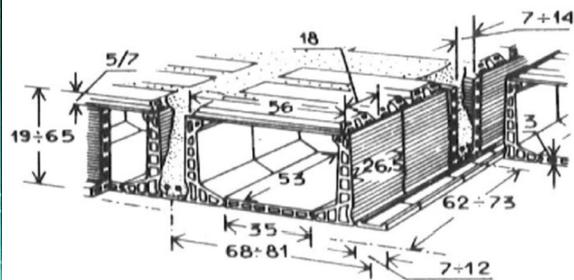
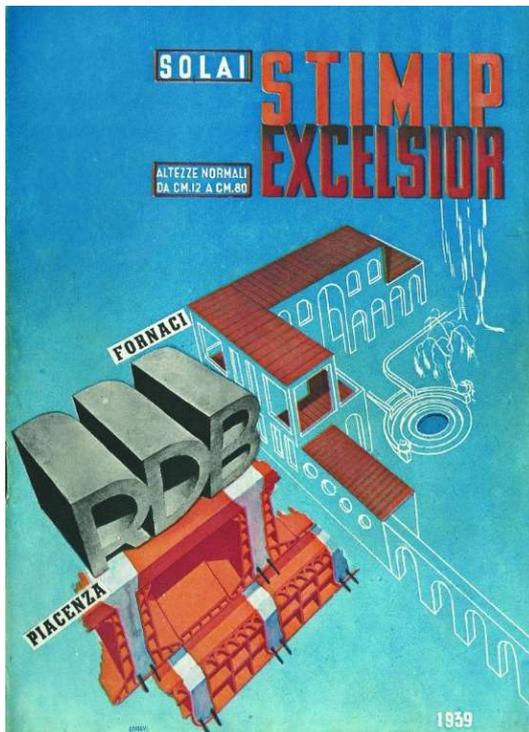


Figura 14 - G. Vaccaro, L'edificio per la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, in «Architettura», Fasc. III Marzo 1936

3.2 – Tecniche costruttive

L'edificio principale è suddiviso in quattro blocchi separati da giunti di dilatazione ed è interamente realizzato con un telaio in cemento armato, caratterizzato da interassi regolari di circa 5 metri. Le chiusure verticali sono costituite da pareti doppie in laterizio pieno, ancora basate sul modulo bolognese (28,5 x 13,5 x 5,5 cm). Queste pareti presentano due strati di muratura di spessore diverso, a seconda della loro posizione, separati da un'intercapedine d'aria che contribuisce all'isolamento. Questa soluzione costruttiva riflette un approccio tipico dell'edilizia moderna italiana, in cui la struttura in cemento armato, pur garantendo una maggiore libertà nella configurazione degli spazi interni, viene celata dietro un paramento murario esterno. Questo permette di mantenere l'aspetto tradizionale della costruzione muraria, pur beneficiando della flessibilità e delle prestazioni offerte dal sistema intelaiato. La struttura dell'edificio è completata da quattro diverse tipologie di solai in latero-cemento, tra cui due soluzioni avanzate che adottano il principio della camera d'aria. Questi solai, costituiti da blocchi in laterizio appositamente progettati, sono stati scelti per la loro capacità di coprire grandi luci e sopportare carichi elevati. Tra questi figurano i solai Stimip (Fig.15) ed Excelsior, prodotti dalla ditta RDB (II). Sono solai della stessa tipologia costruttiva, progettati per includere una camera d'aria interna, in grado di garantire un'elevata capacità di isolamento termico. La struttura in laterizio, che svolge la funzione di cassaforma per il calcestruzzo, è composta da diversi elementi che lavorano insieme per assicurare solidità ed efficienza. Lo Stimip, in particolare, è composto da due elementi laterali a forma di L che costituiscono il supporto principale, mentre un tavellone forato superiore chiude il vano e sostiene la soletta.

Questo tavellone, spesso 5 cm, presenta profonde scanalature che vengono riempite di calcestruzzo durante il getto in opera, trasformandolo in una soletta mista di cemento e laterizio. Infine, una tavella in cotto viene appoggiata alle ali inferiori degli elementi laterali per formare il soffitto, completando così una soluzione che combina leggerezza, isolamento termico e resistenza strutturale.



— 60 —

SOLAIO «STIMIP». — Brevettato e costruito in Italia (Fornaci R. D. B. di Piacenza). Il principio sul quale è basato il suo comportamento statico è questo:

Il colto che costituisce la parte superiore dei foratoi è chiamato ad una vera e propria funzione statica, sostituendo completamente l'ordinaria soletta cementizia, che per detti solai viene abolita.

La sostituzione della soletta di colto a quella di cemento, oltre ad essere ammessa dalla Legge vigente, risponde alle esigenze tecniche e fisiche dei due materiali. In effetto, i moduli di elasticità si sono riscontrati pressoché uguali, tanto per il conglomerato quanto per il laterizio, mentre l'aderenza fra i due materiali si è rilevata ben notevole. La resistenza alla compressione del laterizio di buona qualità è elevatissima; talvolta si sono raggiunti ed anche sorpassati i kg. 1000/cmq. Quali sono i vantaggi che si originano con la sostituzione di un materiale ad un altro?

1 — Massima utilizzazione del materiale e maggiore convenienza economica.

2 — Minore peso proprio, minore altezza complessiva, minor consumo di ferro.

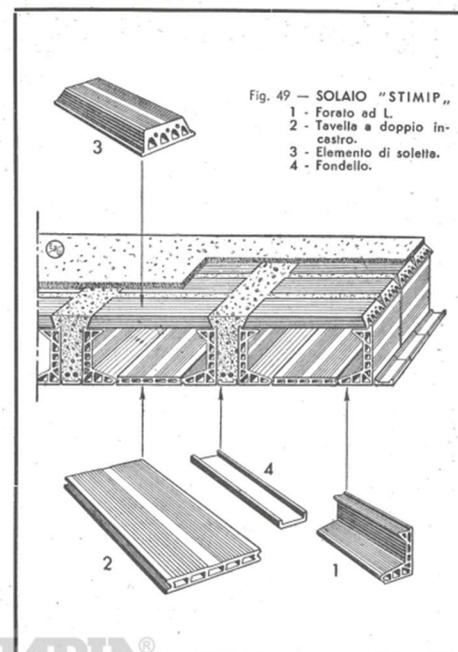
Le dimensioni dei forati variano al variare delle campate e dei carichi da vincere. La Ditta fabbricante fornisce questi dati:

Altezza solaio . . .	19	22	26	27,5	30,5	35,5	37
Spessore soletta . . .	5	5	5	6,5	6,5	6,5	8
Peso proprio solaio .	145	167	188	212	230	271	283

La tabella vale per solai normali. In commercio esistono pure altezze di 41, di 46, di 48 cm.

NORME DI COSTRUZIONE. — Sul tavolato di armatura, si dispongono dapprima i laterizi che formano i fianchi delle travi, indi la tavella di soffitto, poi il tavellone superiore. Fabbricato così il cassettone, si collocano i ferri e si procede al getto dei travelli.

— 61 —



— TAV. XV. —

Figura 15 (sotto) - Fonte: Dott. Ing. Edmondo Protti, "Solai-Soffitti coperti nella moderna edilizia" ETU.

I prospetti esterni nord, sud e ovest dell'edificio sono rivestiti in mattoni sabbiati lasciati a vista, che caratterizzano visivamente la torre e la zona basamentale. Questo rivestimento si contrappone alle pareti del corpo principale, realizzate in intonaco terranova. L'uso del laterizio richiama l'architettura tradizionale di Bologna, conferendo alla torre, pur nelle sue forme moderne, un forte legame con la tradizione locale (12). Le aree interne destinate alla rappresentanza sono state caratterizzate dall'uso di rivestimenti lapidei sottili, un approccio tipico degli anni '30, che richiama l'architettura classica e trasmette l'idea di solidità e durabilità. Un esempio particolarmente innovativo si trova nel vestibolo, dove sono state impiegate lastre di spessore ridotto montate su supporti metallici incorporati nel calcestruzzo o nelle pareti laterizie. L'innovazione tecnologica, unita all'introduzione del telaio in cemento armato, ha reso possibile la separazione della struttura portante dalla facciata, diventando il fulcro attorno a cui si sviluppa la caratteristica principale del fronte nord-est: l'inserimento di lunghe finestre a nastro. Queste finestre uniscono le esigenze estetiche della facciata con la necessità di illuminare adeguatamente gli spazi didattici, creando un dialogo armonioso con l'ambiente circostante. L'adozione del sistema ferofinestra, profili metallici progettati dalla Curti SA (Fig.16) di Bologna, che ha brevettato infissi innovativi per l'epoca, dotati di un innovativo sistema di infissi completamente apribili e meccanizzati che si ripiegano su sé stessi a libro. Le ampie vetrate conferiscono all'edificio un suggestivo ritmo orizzontale, accentuandone la modernità.



Figura 16 (dx) - Fonte: Riccardo Gulli, Giorgia Predari, Luca Boiardi, "Criteri e metodi per l'adeguamento prestazionale del patrimonio architettonico degli anni Trenta del Novecento. La Facoltà di Ingegneria di Bologna", Ricerche e progetti per il territorio, InBo, n.5, 2012

La torre della Facoltà di Ingegneria, pur presentandosi esteriormente con una geometria essenziale e lineare, rivela al suo interno un sistema costruttivo e strutturale piuttosto complesso. La struttura portante è costituita da un telaio in cemento armato, combinato con solai intermedi in latero-cemento che, fino al terzo piano incluso, risultano integrati con l'edificio principale. In prossimità dell'ingresso, la torre si fonde con gli spazi e le strutture della Facoltà, rendendosi poco distinguibile nell'insieme architettonico. Nonostante questa integrazione visiva, le due strutture rimangono entità separate, progettate in maniera indipendente e unite da giunti di dilatazione di circa 5 centimetri.

Le fondazioni della torre, invece, differiscono da quelle dell'edificio principale (Fig.17). Mentre quest'ultimo utilizza travi rovesce in cemento armato, la torre è supportata da una soletta continua di 189 mq. Questo sistema di fondazione, progettato per sopportare un carico di meno di 2 kg/cmq, è stato verificato attraverso prove di carico eseguite durante la costruzione.

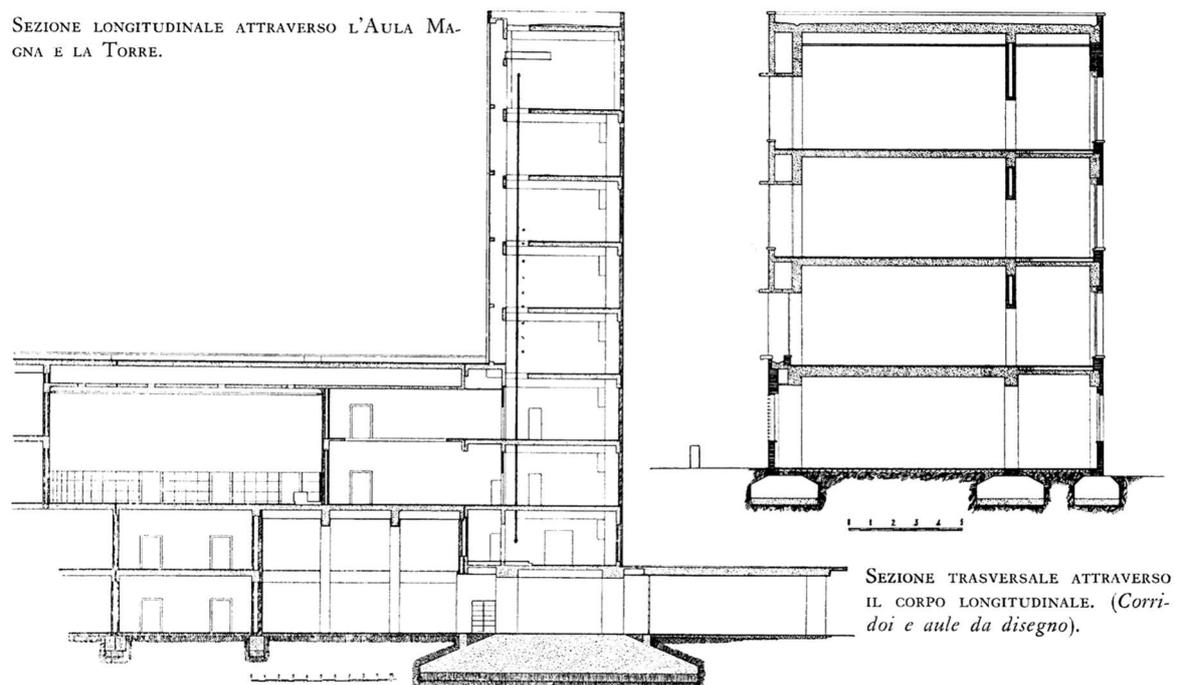


Figura 17 - Sezione longitudinale e trasversale (Vaccaro, 1936)

I primi interventi di recupero della Facoltà di Ingegneria risalgono all'estate del 1946 per riqualificare l'edificio dai danni della guerra, in un periodo in cui l'edificio era ancora occupato dalle forze alleate britanniche. In quell'anno il rettore consentì l'avvio dei lavori di riparazione

delle lesioni con l'obiettivo di ripristinare le attività accademiche entro l'anno successivo. Nello stesso anno venne redatta una perizia per i lavori di ricostruzione del primo lotto, evidenziando l'urgenza di intervenire su murature danneggiate, pilastri, solai, il manto in asfalto della terrazza, oltre al restauro di buona parte dei serramenti esterni e interni in legno e ferro per rispondere alle esigenze termiche contemporanee. Nel corso degli anni, diversi interventi hanno interessato la sostituzione degli infissi originali dell'edificio con serramenti in legno o alluminio dotati di vetrocamera, soprattutto nelle aree con presenza costante di persone. Sebbene queste modifiche abbiano migliorato l'efficienza energetica, hanno in parte compromesso le caratteristiche formali originarie dell'edificio, alterando il rapporto tra infisso e specchiatura. Tuttavia, la maggior parte degli infissi in ferrofinestra sul prospetto principale è stata preservata, offrendo oggi l'opportunità di adottare soluzioni alternative alla loro sostituzione integrale, rispettose del design originario ma con prestazioni termiche migliorate. In quest'ottica, si è valutata, in alcuni casi, l'efficacia di interventi non invasivi, come la sostituzione del vetro esistente con uno stratificato di sicurezza, l'inserimento di un secondo infisso interno, l'inserimento di guarnizioni di tenuta, e il ripristino del trattamento antiruggine e della verniciatura. Queste soluzioni si sono dimostrate più economiche rispetto alla sostituzione completa degli infissi, pur non raggiungendo le stesse performance termiche, soprattutto a causa delle dispersioni energetiche attraverso i telai metallici.

Altri interventi prioritari riguardarono la rimessa in funzione degli impianti elettrici, di riscaldamento e idraulici. Tra le opere più rilevanti, figura la riqualificazione della torre libraria situata sopra l'ingresso di Viale Risorgimento, gravemente danneggiata dai bombardamenti. Questo intervento richiese un restauro generale, con particolare attenzione al rifacimento della facciata in vetrocemento, mentre il progetto dell'involucro venne adattato con una tessitura in mattoni, in linea con le prescrizioni estetiche del tempo che privilegiavano materiali coerenti con l'architettura cittadina. Nonostante gli sforzi di ripristino immediato, le trasformazioni successive, spesso invasive, hanno alterato significativamente l'opera razionalista originale progettata da Vaccaro, simbolo del periodo fascista a Bologna. Sopraelevazioni per vani tecnici e di sottotetti, modifiche interne, sostituzione di molti degli infissi in ferro, l'aggiunta di scale di sicurezza esterne in acciaio, la ricollocazione della biblioteca e la riorganizzazione degli spazi nella torre.

(12)

Negli anni '70, l'espansione della Facoltà di Ingegneria fu caratterizzata dall'aggiunta di un nuovo edificio (Fig.18), che portò al prolungamento di uno dei corpi a pettine esistenti. Questo

ampliamento fu realizzato utilizzando una struttura a telaio in cemento armato, con chiusure verticali in muratura e solai in latero-cemento, una tecnica costruttiva tipica del periodo.

La scelta del cemento armato come materiale principale non solo garantì solidità e durabilità, ma rifletteva anche le tendenze architettoniche dell'epoca, orientate verso la funzionalità e la razionalità delle forme. L'intervento fu concepito in modo da integrarsi perfettamente con la struttura originale, assicurando continuità agli spazi interni e mantenendo un linguaggio architettonico coerente. L'ampliamento non si limitò a replicare le caratteristiche tecniche dell'edificio principale, ma ne prolungò anche l'organizzazione funzionale, rendendo fluida la transizione tra le due sezioni. Inoltre, il nuovo corpo fungeva da elemento di collegamento con un edificio secondario, costruito con una struttura mista acciaio-cemento armato, che completava il complesso universitario. Questa soluzione progettuale permise di ottimizzare l'uso degli spazi, rispondendo alle esigenze di ampliamento dell'ateneo in un periodo di crescente domanda accademica. L'integrazione tra le diverse parti dell'edificio evidenzia un approccio razionale, tipico degli anni '70, in cui la funzionalità era prioritaria ma non a scapito di una progettazione ben studiata e coerente con l'esistente.



Figura 18 - Nuovo edificio che prolunga un pettine dell'edificio esistente (sx) e funge da collegamento per la nuova struttura in C.A-Acciaio. (dx)

3.3 – Il rilievo dell’edificio

3.3.1 – Obiettivi

Il rilievo è stato realizzato suddiviso in più sopralluoghi, ricevendo come base di partenza il file .dwg dell’edificio. L’obiettivo principale è quello di sviluppare una valutazione energetica dell’involucro tramite software di calcolo energetico, finalizzato a fornire risultati accurati e realistici. Per raggiungere questo obiettivo, il primo passo è stato il rilievo dello stato attuale tramite verifica e raccolta dettagliata di tutti i dati relativi all’involucro edilizio e agli ambienti interni. In particolare, sono stati analizzati gli elementi delle chiusure opache verticali, orizzontali, i componenti finestrati (tipologia telaio, dimensioni e spessore vetri), le ripartizioni interne opache orizzontali, nonché i locali riscaldati e non con le relative altezze. Questa fase di rilievo si è cruciale, poiché l’edificio, dalla sua costruzione ad oggi, ha subito numerosi interventi di adeguamento mirati a rispondere alle mutevoli esigenze gestionali, di comfort e amministrative, oltre che ad allinearsi ai nuovi standard legislativi. In questo contesto, il tema del risparmio energetico ha assunto un ruolo centrale, influenzando in maniera significativa i processi decisionali. La valutazione dell’opportunità di intervenire su un edificio, infatti, non può prescindere dalla sua complessità ma analizzata per poter adottare la soluzione migliore. La raccolta dei dati è stata effettuata con grande attenzione per ogni locale e ambiente dell’edificio. L’integrazione di queste informazioni con quelle già analizzate nei capitoli precedenti ha permesso di delineare un quadro completo dello stato attuale dell’immobile. Questo ha fornito una base solida per la costruzione di un modello energetico il più aderente possibile alla realtà, capace di rappresentare fedelmente le condizioni effettive dell’edificio e di supportare decisioni consapevoli per eventuali interventi futuri.

3.3.2 - Strumentazione

La strumentazione utilizzata comprende un distanziometro laser e metro a stecca necessari a verificare e rilevare le misure utili quali spessori, distanze altezze e dimensioni varie, mentre per il rilievo degli infissi, oltre agli strumenti già elencati si è utilizzato uno spessimetro per vetri utile a misurare lo spessore dei vetri e di eventuali camere d’aria. Tali strumenti ci hanno permesso di effettuare un rilievo molto accurato riducendo al minimo il margine di errore, in particolare per il rilievo degli infissi che risultavano discostarsi molto da tutti gli elaborati già presenti. Per quanto riguarda la composizione delle murature ci si è affidati quasi

completamente alla ricerca storica in quanto sarebbero state necessarie valutazioni più invasive, mentre per gli infissi il rilievo è stato eseguito in modo del tutto manuale.

3.3.3 – Fase operativa

Come primo passo, l'edificio. Ampio e complesso è stato suddiviso in zone, distinguendolo in diverse caratteristiche costruttive elaborate nei capitoli precedenti. Questo approccio ci ha permesso di procedere in modo ordinato e razionale, creando sistemi di ragionamento utili in diverse fasi o situazioni del rilievo che potevano prevedere delle difficoltà come, per esempio, la creazione della maglia strutturale non sempre costituita da elementi ben visibili all'interno degli ambienti, a causa della presenza in alcuni casi di situazioni in cui l'elemento strutturale è completamente inglobato da rivestimenti, controsoffitti ed altre opere edili. Anche in presenza di locali inaccessibili o difficilmente raggiungibili la metodologia è risultata efficace. La suddivisione secondo questo criterio dell'edificio ha permesso una gestione affidabile di queste criticità, consentendo di sviluppare ipotesi altamente affidabili anche in assenza di un approccio diretto. Questo non è stato l'unico metodo d'aiuto in situazioni di incertezza, anche la destinazione d'uso dei locali ha un peso significativo per formulare ipotesi realistiche in funzione anche degli interventi localizzati che l'edificio ha subito nel tempo.

Una volta eseguita la suddivisione si è proseguito con il rilievo diretto analizzando stanza per stanza tutto l'edificio. Come primo passo è stato eseguito un rilievo dettagliato di tutti gli infissi dell'edificio, poiché non avendo i valori di trasmittanza termica media forniti dalle schede tecniche, per il calcolo di tale valore tramite il software di diagnosi, è necessario conoscere le caratteristiche di ogni infisso. I serramenti, le parti vetrate e le schermature sono elementi rilevanti del bilancio energetico degli ambienti sia per il servizio di riscaldamento che per il comfort estivo e il servizio di raffrescamento. Infatti, nel Piano Energetico d'Ateneo la loro sostituzione con infissi più prestanti è tra gli interventi inseriti all'intero della strategia di miglioramento energetico, che però prevede una spesa superiore ai due milioni di euro per via delle peculiarità che presentano e ai vincoli storici ai quali devono sottostare. In tale direzione eseguire un rilievo affidabile degli infissi incide notevolmente ai fini di una valutazione efficace ed affidabile che possa giustificare o non giustificare tale spesa. Durante questa attività sono stati raccolti i seguenti dati:

- Caratteristiche geometriche dell'infisso, utili a calcolare la dimensione della superficie trasparente;

- Tipologia del telaio (materiale, spessore eventuali montanti e traversi) incidente sul comportamento termico dell'infisso;
- Spessore vetro, o vetri in caso di presenza di camera d'aria, ed in tal caso il suo spessore;
- Trasparenza vetro
- Posizione dell'infisso, che può variare tra interno, esterno o centrale. Esso incide sul calcolo degli ombreggiamenti che, data la posizione del sole, necessita come informazione anche la profondità delle spallette;
- Eventuale altezza del parapetto per poterle posizionare l'infisso correttamente in fase di modellazione.

Sono stati rilevati oltre 5 mila mq di infissi, per questo motivo, ottenute le informazioni necessarie riguardanti gli infissi, è stata realizzata una codifica (Fig.19) da poter inserire nelle planimetrie, in grado di semplificare e rendere chiara la tipologia di ogni infisso rappresentato e facilitarne la modellazione e il posizionamento nella fase successiva.

TIPOLOGIE DI INFISSI

Cod.	Materiale telaio	Numero vetri	Spessori [cm] i/aria/e
1	ferro	1	0,4/-/-
2	ferro	1	0,6/-/-
3	ferro	1	0,9/-/-
4	alluminio	1	0,9/-/-
5	alluminio	2	0,6/1,4/0,6
6	legno	1	0,4/-/-
7	legno	2	0,4/1,0/0,6
8	legno	1	0,6/-/-
9	alluminio	1	0,6/-/-
10	legno	1	0,2/-/-
11	ferro	2	0,4/0,6/0,4
12	alluminio	2	0,4/0,9/0,4
13	ferro	1	0,6/-/-
14	alluminio	2	0,4/1,2/0,4
15	ferro	1	0,8/-/-
16	ferro	1	1,2/-/-

Figura 19 - Codifica infissi per materiale e spessori, escluse le dimensioni

Esempi Infissi in ferro:



Figura 20 – Foto personali infissi in ferro

Esempi di infissi in alluminio:



Figura 21 – Foto personali infissi in alluminio

Esempi di infissi in legno:



Figura 22 – Foto personali infissi in legno

Planimetrie con infissi:

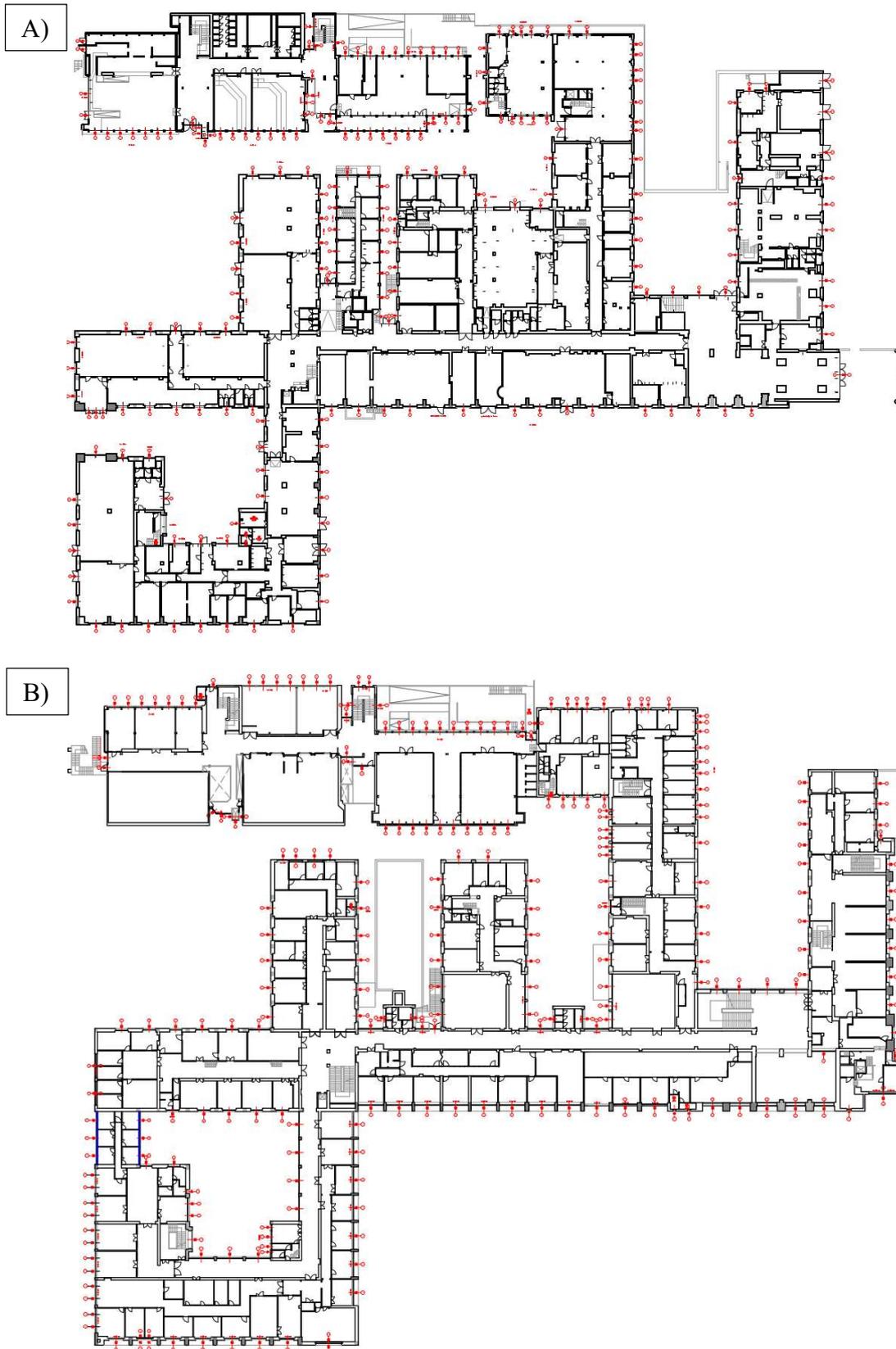


Figura 23 - Planimetrie con codici infissi, piano terra (A) e piano primo (B)

C)



D)

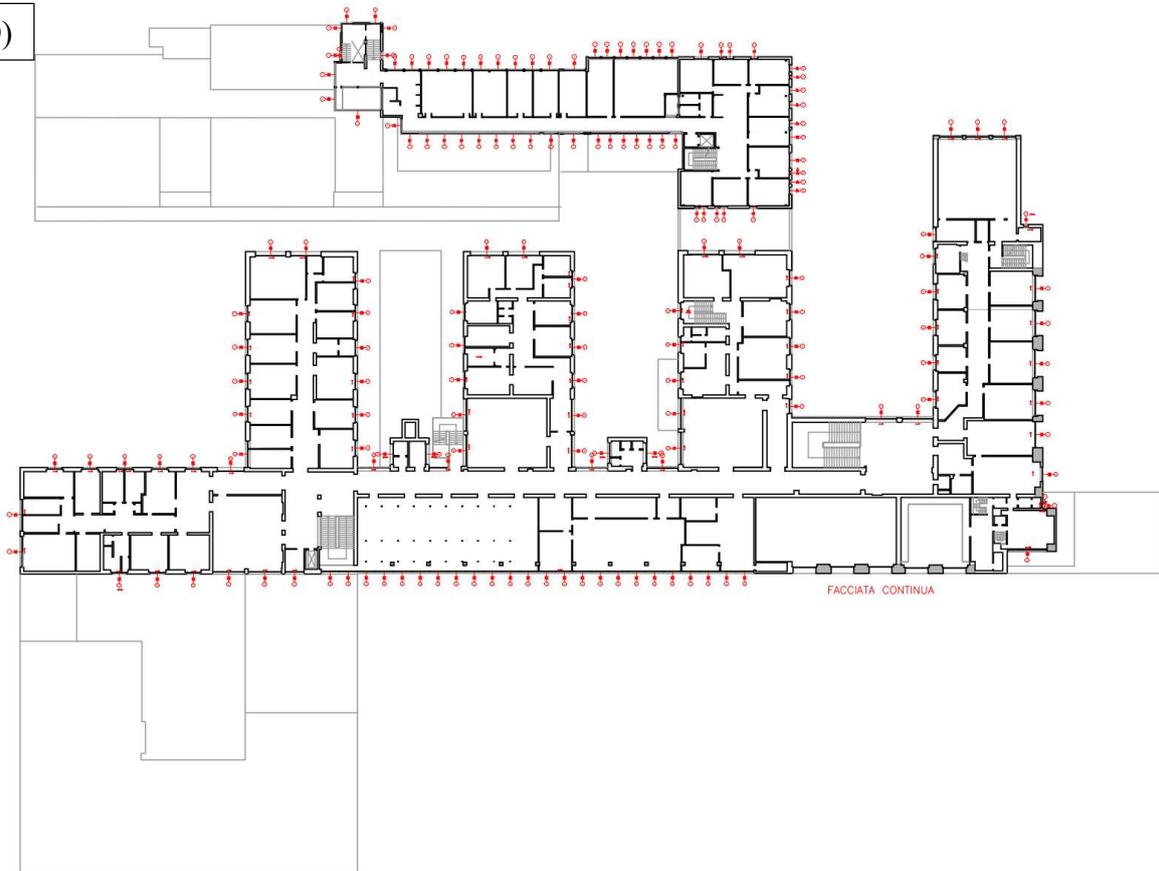


Figura 24 - Planimetrie con codici infissi, piano secondo (C) e piano terzo (D)

L'edificio presenta diverse altezze nette (Fig.27-28-29), che variano in base alla posizione dei controsoffitti rispetto al solaio strutturale. Le altezze nette costituiscono un parametro fondamentale nella modellazione energetica, quindi in fase di modellazione dei componenti involucro sarà necessario realizzare tanti solai quante sono le altezze nette, adattando di volta in volta la posizione del controsoffitto. Per effettuare questa operazione, è stata ricostruita la sezione generale dell'edificio (Fig.25), misurando l'altezza totale esterna e calcolando le posizioni dei solai con le misure esterne verso la quota 0,00 piano per piano (Fig.26). Conoscendo gli spessori dei solai, è stato possibile ricostruire l'intera sezione e ricavare lo spessore dell'intercapedine creata dai controsoffitti in modo accurato:

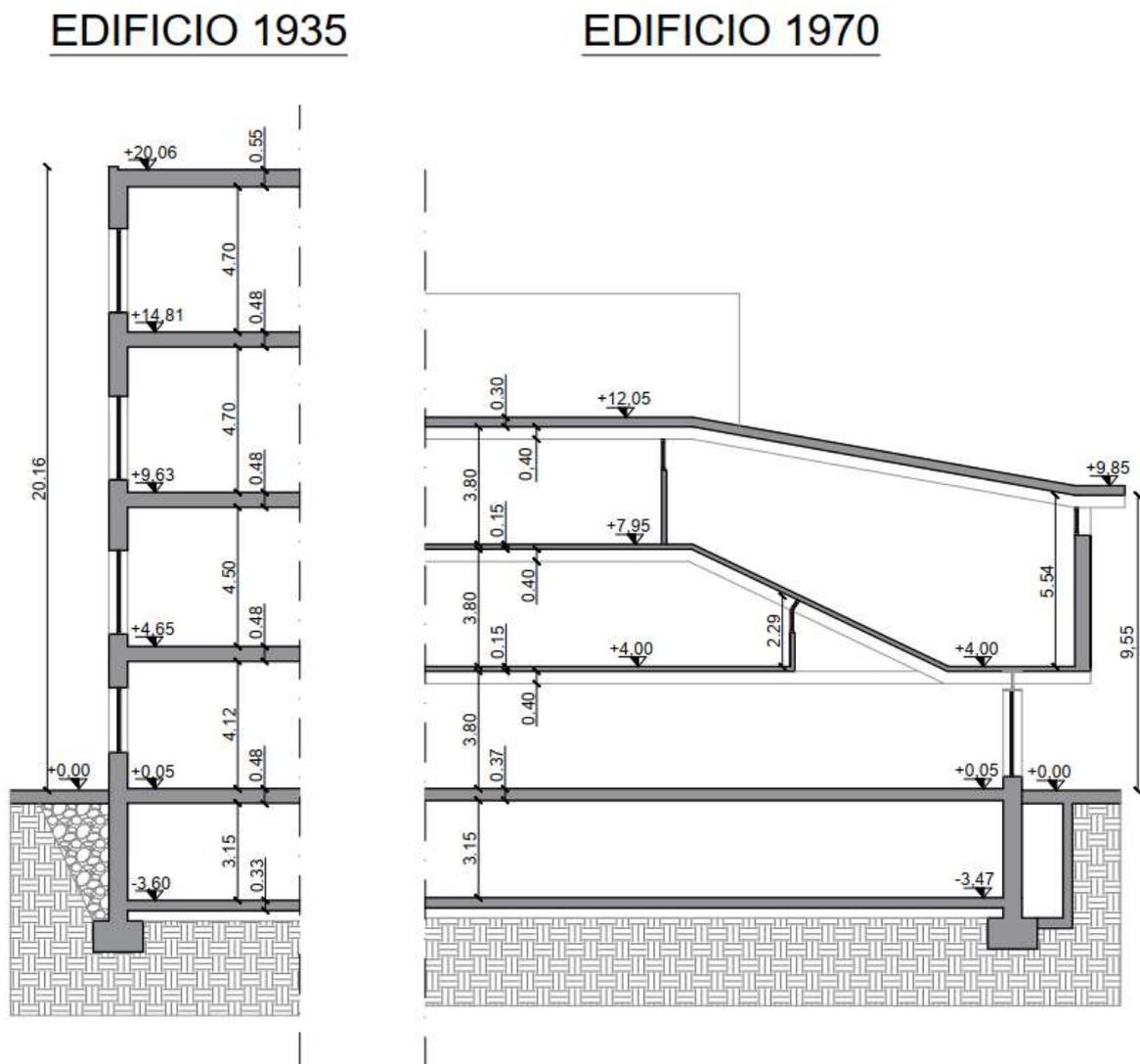


Figura 25 - Sezioni generali

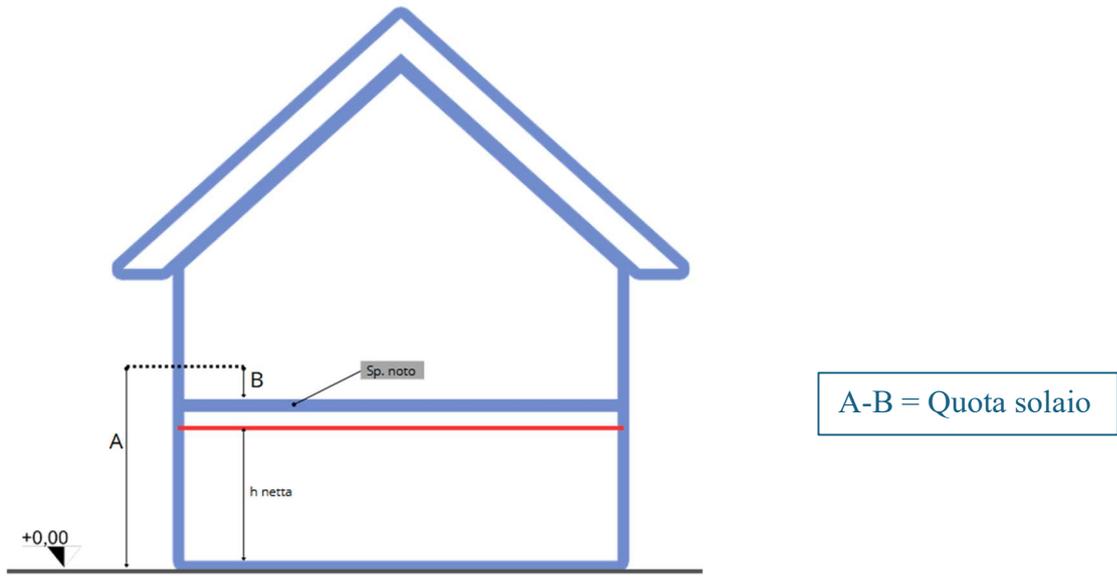


Figura 26 - Schema metodo di rilievo

Planimetrie altezze nette:



Figura 27 - Planimetria con altezze nette piano terra



Figura 28 - Planimetria con altezze nette, piano primo (sopra) piano secondo (sotto)



Figura 29 - Planimetria con altezze nette piano terzo

Per poter modellare murature e solai con le stratigrafie e loro spessori corretti sono stati verificati sul posto nel limite dell'interpretazione e dell'approccio visivo le seguenti macrocategorie realizzate tramite bozze in fase di rilievo come in fig.30-31:

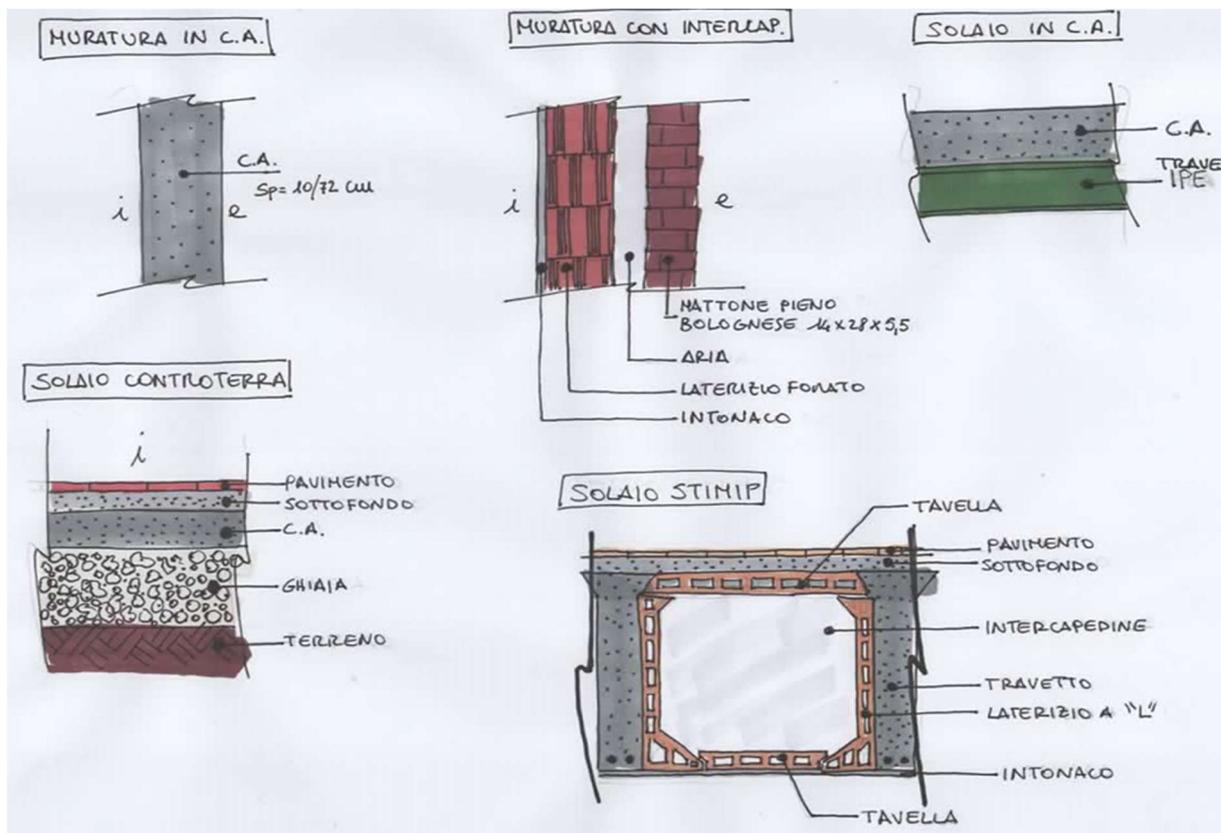


Figura 30 - Bozze fase di rilievo principali macrocategorie di stratigrafie

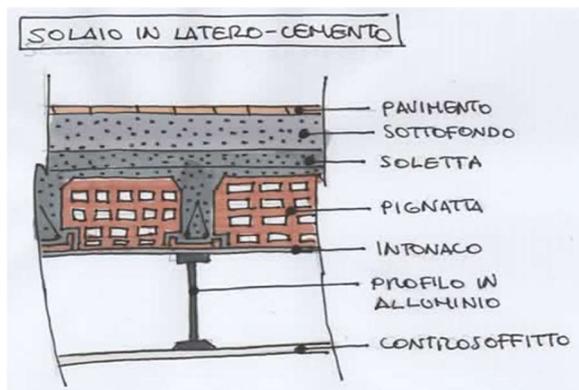


Figura 31 - Bozza solaio latero-cemento

Riepilogando la fase di rilievo, si è attestato che l'edificio è suddiviso dalle seguenti tipologie costruttive:

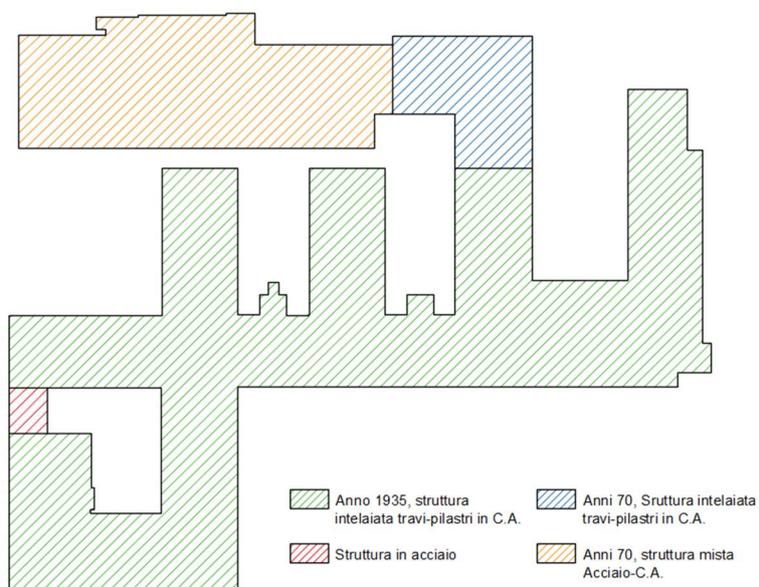


Figura 32 - Divisione edificio per tipologie costruttive

4 – IMPLEMENTAZIONE ENERGETICA DELL'INVOLUCRO

4.1 – Il ruolo dell'involucro edilizio

Lo scopo di tale capitolo è quello di creare un modello energetico dello stato di fatto che possa evidenziare le criticità dell'involucro necessarie allo sviluppo di strategie adeguate del Piano Energetico d'Ateneo. Ovvero simulare la quota disperdente data dall'involucro del bilancio energetico dell'edificio (Fig.33) verificandone le prestazioni.

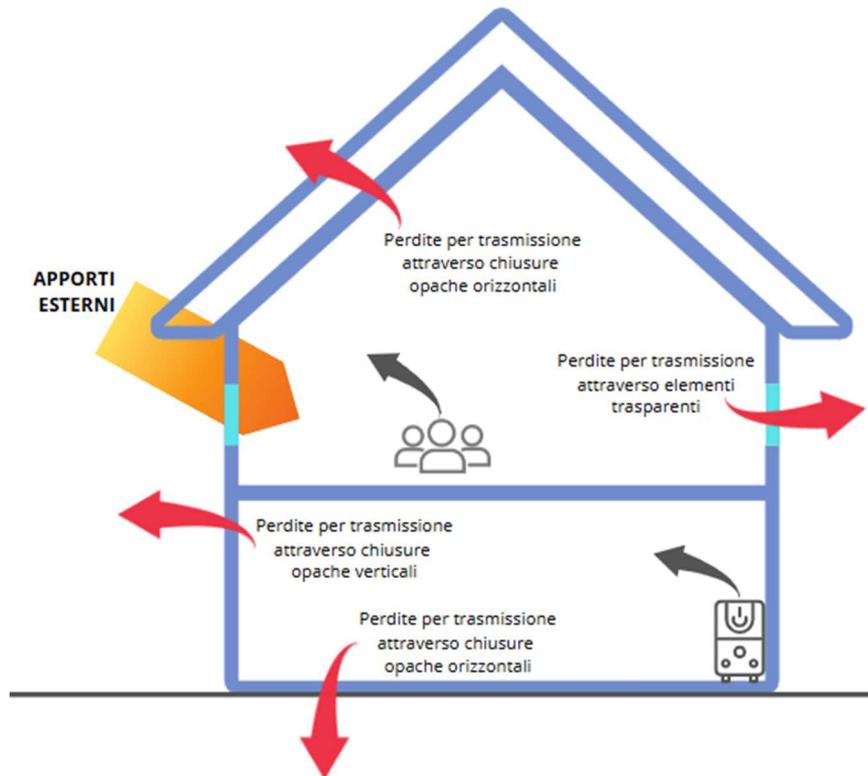


Figura 33 - Bilancio energetico dell'edificio nella situazione invernale secondo la UNI TS 11300-1

Le prestazioni energetiche complessive di un edificio sono strettamente legate all'efficienza del suo involucro edilizio. Se le componenti di chiusura – siano esse verticali, orizzontali, trasparenti o opache – non sono state progettate e realizzate in modo adeguato, le dispersioni termiche attraverso queste superfici compromettono significativamente i consumi energetici finali dell'edificio. L'involucro edilizio è soggetto a sollecitazioni termiche provenienti dall'ambiente esterno, che si manifestano principalmente sotto forma di impatti radiativi e convettivi. La componente radiativa include la radiazione solare incidente, lo scambio termico radiativo con l'ambiente circostante e il cielo. La componente convettiva, invece, dipende dallo scambio termico con l'aria circostante. Le dispersioni termiche attraverso l'involucro

avvengono sotto forma di flussi di calore e sono determinate da due fattori principali: la differenza di temperatura tra le superfici interna ed esterna e la resistenza termica dei materiali che compongono l'involucro. Quest'ultima dipende dallo spessore del materiale e dalla sua capacità di opporsi al trasferimento di calore. Tale capacità è espressa inversamente dalla trasmittanza termica, che indica la facilità con cui il calore attraversa il materiale. Un involucro, quindi, deve garantire una resistenza termica ottimale, limitando le dispersioni e contribuendo a migliorare l'efficienza energetica complessiva dell'edificio.

- La trasmittanza termica (U) (W/m^2K), o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno è definita dalla norma UNI 7357 come il *“flusso di calore che passa da un locale all'esterno (o ad un altro locale) attraverso una parete per mq di superficie della parete e per K di differenza tra la temperatura del locale e la temperatura esterna, o del locale contiguo”*.

$$U = \frac{1}{R}$$

- La conduttività o conducibilità termica (λ) ($W/(mK)$) di un materiale indica il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità (densità) e dal contenuto igrometrico del materiale.
- La resistenza termica (R) (m^2K/W) totale di una parete, che è ovviamente l'inverso della trasmittanza termica, sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

dove:

d è lo spessore del materiale [m]

λ è la conduttività del materiale [W/mK]

Particolare attenzione deve inoltre essere data alle prestazioni termiche dell'involucro edilizio in regime termico variabile, nei mesi invernali (in quei periodi in cui il riscaldamento è saltuario, o intermittente, specie con attenuazioni notturne), ma soprattutto nei mesi estivi.

4.2 – Inserimento dati generali

Per eseguire la modellazione, si è utilizzato il Software Edilclima EC700 che permette il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. Edilclima è infatti un software utilizzato per le analisi delle prestazioni energetiche secondo le normative vigenti. Il programma consente di analizzare nel dettaglio i consumi energetici e i comportamenti termoisolante dei componenti e dell'edificio tramite il calcolo dei parametri necessari. EC700 permette di verificare l'involucro edilizio in modo conforme alle normative UNI TS 11300 permettendo l'implementazione di dati climatici, caratteristiche dei materiali, configurazione degli impianti.

Per poter iniziare la modellazione il software richiede l'inserimento di alcuni dati generali che sono fondamentali per il calcolo delle prestazioni energetiche, si tratta di dati riguardanti la localizzazione, caratteristiche dell'edificio, regimi normativi da seguire e dati climatici.

Importante ai fini del calcolo è individuare la destinazione d'uso principale dell'edificio per permettere al software di individuare i coefficienti corretti all'interno dei calcoli. In questo caso l'edificio fa parte della categoria E.7 del DPR 412/93 che fa riferimento agli edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili. Una volta inseriti i dati di progetto è fondamentale localizzare l'edificio inserendo i dati geografici. Questo ci permette di creare una relazione tra edificio e ambiente esterno, essenziale per simulare le prestazioni dell'involucro. Il software dispone in automatico dei dati climatici relativi alla posizione inserita: temperature e gradi giorno, umidità, vento e radiazioni solari. I "Gradi giorno" di una località, sono la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera. Il DPR 412/93 definisce le destinazioni d'uso degli immobili e suddivide il territorio italiano in sei zone climatiche, dalla A alla F, ordinate dalla più calda alla più fredda, utilizzando come criterio i Gradi Giorno (GG). Il Grado Giorno di una località rappresenta la somma, calcolata per tutti i giorni del periodo di riscaldamento annuale convenzionale, delle differenze positive tra la temperatura interna di riferimento (fissata a 20°C) e la temperatura media esterna giornaliera. Le zone climatiche (Fig.34) sono così definite:

- Zona A: comuni con Gradi Giorno inferiori a 600
- Zona B: comuni con Gradi Giorno tra 600 e 900
- Zona C: comuni con Gradi Giorno tra 900 e 1.400
- Zona D: comuni con Gradi Giorno tra 1.400 e 2.100

- Zona E: comuni con Gradi Giorno tra 2.100 e 3.000
- Zona F: comuni con Gradi Giorno superiori a 3.000

Questa suddivisione è utilizzata dalla normativa per stabilire i limiti di trasmittanza termica degli elementi costruttivi principali, come pareti opache, infissi e coperture, con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici degli edifici.

(13)



Figura 34 – Punti DPR 412/93 e schema zone climatiche Fonte: www.infobuildenergia.it

DATI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Caratteristiche geografiche

Località	Bologna		
Provincia	Bologna		
Altitudine s.l.m.			54 m
Latitudine nord	44° 29'	Longitudine est	11° 20'
Gradi giorno DPR 412/93			2259
Zona climatica			E

Località di riferimento

per dati invernali	Bologna
per dati estivi	Bologna

Stazioni di rilevazione

per la temperatura	Bologna
per l'irradiazione	Bologna
per il vento	Bologna

Caratteristiche del vento

Regione di vento:	B
Direzione prevalente	Sud-Ovest
Distanza dal mare	> 40 km
Velocità media del vento	2,0 m/s
Velocità massima del vento	4,0 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto	-5,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 15 ottobre al 15 aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	33,0 °C
Temperatura esterna bulbo umido	22,9 °C
Umidità relativa	43,0 %
Escursione termica giornaliera	12 °C

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	1,3	5,4	9,6	13,6	17,7	22,2	24,8	21,6	19,3	15,6	9,3	3,8

Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,6	3,8	5,5	8,3	9,2	9,7	7,0	4,8	2,9	1,9	1,4
Nord-Est	MJ/m ²	1,8	3,3	5,2	7,9	10,9	11,4	12,8	9,7	6,8	3,5	2,1	1,4
Est	MJ/m ²	3,6	6,1	7,9	10,7	13,1	13,1	15,3	12,3	9,7	5,4	3,6	2,3
Sud-Est	MJ/m ²	6,0	9,0	9,6	11,3	12,3	11,6	13,6	12,1	11,0	7,0	5,4	3,6
Sud	MJ/m ²	7,6	10,8	10,1	10,2	10,2	9,5	10,9	10,5	10,7	7,8	6,6	4,5
Sud-Ovest	MJ/m ²	6,0	9,0	9,6	11,3	12,3	11,6	13,6	12,1	11,0	7,0	5,4	3,6
Ovest	MJ/m ²	3,6	6,1	7,9	10,7	13,1	13,1	15,3	12,3	9,7	5,4	3,6	2,3
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,8	3,3	5,2	7,9	10,9	11,4	12,8	9,7	6,8	3,5	2,1	1,4
Orizz. Diffusa	MJ/m ²	2,4	3,6	5,4	7,0	9,4	9,8	9,6	8,5	6,7	4,3	2,9	2,1
Orizz. Diretta	MJ/m ²	2,1	4,4	5,7	8,8	10,8	10,8	14,0	10,0	7,3	3,3	1,9	1,0

Inserite le temperature interne e l'altezza netta principale dell'edificio, selezionando la scheda "Dati default" (Fig.35), si accede alla maschera in cui è possibile definire i dati di uso più frequente. Questi verranno automaticamente proposti durante l'introduzione dei dati relativi ai locali, alle zone e all'edificio. Per quanto riguarda il caso studio, si è deciso di aumentare i valori standard di tenuta all'aria per questo edificio (che variano da 0,3 a 0,5). I coefficienti relativi ai tassi di ricambio aria orari, infatti, indicano la qualità di tenuta all'aria dell'involucro, ovvero quante volte in un'ora l'intero volume d'aria viene rinnovato tramite ventilazione, sia essa naturale o meccanica. Tale valutazione è stata presa per via della presenza di numerosi spazi liberi attorno alle chiusure degli infissi, che facilitano le infiltrazioni d'aria, e della frequente apertura delle finestre nei locali didattici. Inoltre, è stato inserito il corretto fattore di ripresa, che tiene conto del calo della temperatura interna durante i periodi di inattività (espresso in Kelvin), della durata del periodo necessario affinché l'impianto riporti l'edificio alla temperatura di comfort e della massa dell'edificio. Dopo aver raccolto informazioni sull'attività

degli impianti, si è considerata una massa dell'edificio "alta", un calo di temperatura interna pari a 3 K durante il periodo di inattività e un tempo di 2 ore per ristabilire la condizione termica stabilita (14).

Temperature interne

Potenza invernale $\theta_{int,p,H}$ 20,0 °C
 Energia invernale $\theta_{int,e,H}$ 20,0 °C
 Energia estiva $\theta_{int,e,C}$ 26,0 °C

Ricambi d'aria

Potenza invernale $n_{p,H}$ 2,40 Vol/h
 Energia invernale $n_{e,H}$ 1,50 Vol/h
 Energia estiva $n_{e,C}$ 1,50 Vol/h

Altezza netta del locale 4,32 m
 Capacità termica per unità di superficie 165 kJ/m²K

Energia elettrica

Fattore di conversione in energia primaria fp 2,420
 Fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile $fp,nren$ 1,950
 Fattore di conversione in energia primaria rinnovabile fp,ren 0,470
 Fattore di emissione CO2 kem 0,4600 kgCO2/kWh

Correzione potenza per riscaldamento intermittente

Fattore di ripresa fRH 23 W/m²
 Coefficiente di sicurezza 1,00

Fattori di energia primaria

	$fp,nren$	fp,ren	fp,tot
Energia termica da collettori solari	0,000	1,000	1,000
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico	0,000	1,000	1,000
Energia termica da pompe di calore (Eres)	0,000	1,000	1,000
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	0,000	1,000	1,000

Fattori di ombreggiamento per extrafflusso personalizzati

N 100 NE 100 E 100 SE 100 S 100 SO 100 O 100 NO 100 Orizzontale 100

Figura 35 - Maschera software "Dati default"

4.3 – Creazione e descrizione componenti involucro

In questa fase tutti i risultati del rilievo e delle analisi storiche vengono riportate sul software tramite la creazione di tutti gli elementi che compongono l'edificio, ovvero: componenti opachi e trasparenti. In seguito, si riportano le tabelle riassuntive di calcolo che fornisce il software. Per motivi di praticità si riporta un elemento esempio per ogni tipologia presente, descrivendo di ciascuna valori massimi e minimi. Prima di procedere con la definizione della struttura è necessario specificarne il Tipo (Fig.36), ossia la tipologia di ambiente alla quale la struttura è esposta. Le tipologie associabili agli elementi sono le seguenti:

Tipo	Codice	Descrizione
T		da locale climatizzato verso esterno
Verifica	G	da locale climatizzato verso terreno
1300-1	U	da locale climatizzato verso locali non climatizzati
ma	N	da locale climatizzato verso locali vicini
	A	da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
	E	da locale non climatizzato verso esterno
mento	R	da locale non climatizzato verso terreno
	D	divisorio interno alla zona climatizzata

Figura 36 - Tipologie componenti involucro

4.3.1 - Componenti, chiusure opache verticali:

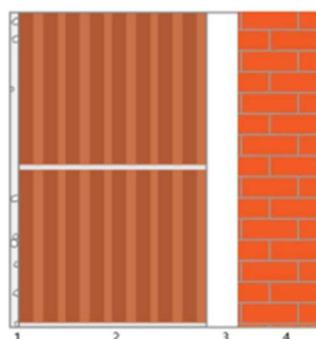
Le stratigrafie di ogni componente variano all'interno del progetto per spessori dei vari strati, per questo motivo, in seguito, verrà riportato un esempio per ogni stratigrafia di parete creata e utilizzata alla realizzazione del modello con le proprie caratteristiche termiche e igrometriche:

- Parete esterna in laterizio con presenza di intercapedine (tipo T/E)

Descrizione della struttura: *Parete esterna aria 50*

Codice: *M1*

Trasmittanza termica	0,981	W/m ² K
Spessore	500	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	68,376	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	711	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	690	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,064	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,066	-
Sfasamento onda termica	-16,0	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	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	295,00	0,8100	0,364	1800	1,00	7
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	50,00	0,2778	0,180	-	-	-
4	Mattoni Bolognesi Pieni 14x28x5,5	140,00	0,5310	0,264	1137	1,00	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060	-	-	-

Legenda simboli

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

Descrizione della struttura: *Parete esterna aria 50*

Codice: *M1*

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$)		Positiva
Mese critico		gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI, max}$	0,694
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0,777
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

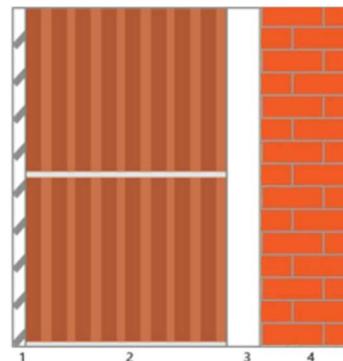
Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

- Parete esterna in laterizio con presenza di intercapedine e rivestimento in marmo rosa di Verona (tipo T)

Descrizione della struttura: **Parete esterna aria, marmo 51**

Codice: M50

Trasmittanza termica	1,009	W/m ² K
Spessore	510	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,986	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	753	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	753	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,061	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,062	-
Sfasamento onda termica	-16,6	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Marmo	20,00	3,0000	0,007	2700	1,00	10000
2	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1,5%)	300,00	0,8100	0,370	1800	1,00	7
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500$ mm ² /m	50,00	0,2778	0,180	-	-	-
4	Mattoni Bolognesi Pieni 14x28x5,5	140,00	0,5310	0,264	1137	1,00	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Descrizione della struttura: **Parete esterna aria, marmo 51**

Codice: M50

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$)		Positiva
Mese critico		gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI, max}$	0,694
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0,775
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

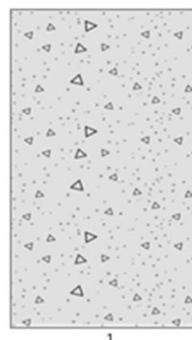
Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

▪ Parete esterna in cemento armato (tipo T/G/R)

Descrizione della struttura: *Ca esterna 30 x ponte termico*

Codice: *M230*

Trasmittanza termica	2,216	W/m ² K
Spessore	300	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	6,667	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	540	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	540	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,657	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,297	-
Sfasamento onda termica	-8,8	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	C.i.s. con massa volumica media	300,00	1,1500	0,261	1800	1,00	100
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060	-	-	-

Descrizione della struttura: *Ca esterna 30 x ponte termico*

Codice: *M230*

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (<u>0,006 kg/m³</u>)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RST, max} \leq f_{RST}$)		Negativa
Mese critico		gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RST, max}$	0,694
Fattore di temperatura del componente	f_{RST}	0,546
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

I componenti opachi verticali confinanti verso l'esterno riportano un valore di trasmittanza medio pari a 1,375 W/m²K. Tale valore equivale alla media complessiva di tutte le murature presenti nella tabella sottostante, calcolata ponderando le trasmittanze di ciascun componente in base alle rispettive superfici ed escludendo i ponti termici che verranno calcolati nel capitolo successivo. In seguito, è riportata la lista completa dei componenti opachi verticali in cui sono riportati per ciascun elemento i seguenti valori:

Sp	- Spessore struttura.
M _s	- Massa superficiale della struttura senza intonaci per unità di superficie.
Y _{IE}	- Trasmittanza termica periodica della struttura, ovvero la capacità di attenuare e ritardare il passaggio del calore attraverso la struttura nell'arco di un periodo equivalente a 24 ore.
Sfasamento	- Sfasamento dell'onda termica indica il tempo in ore che l'onda termica impiega ad attraversare la struttura dall'esterno all'interno.
C _T	- Capacità termica areica, misura la capacità della struttura di accumulare calore per unità di superficie.
E	- Emissività indica la capacità di un materiale di emettere radiazione termica rispetto a un corpo nero ideale.
A	- Fattore di assorbimento indica la capacità di una superficie di assorbire la radiazione solare incidente espresso con un valore da 0 a 1 (assorbimento totale).
Θ	- Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
U _e	- Trasmittanza di energia della struttura è la capacità di trasmettere energia sotto forma di calore per unità di superficie e differenza di temperatura.

Muri:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	M _s [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m ² K]
M1	T	Parete esterna aria 50	500,0	690	0,064	-16,044	63,613	0,90	0,60	-5,0	0,981
M5	E	Parete no clim. vs est. 33	330,0	540	0,322	-11,087	68,005	0,90	0,60	-5,0	1,657
M8	E	parete vetro cemento torre	200,0	200	0,930	-5,851	55,082	0,90	0,60	-5,0	1,575
M12	G	CA clim vs controterra 30	300,0	540	0,763	-8,479	79,111	0,90	0,60	-5,0	0,000
M13	E	Parete no clim vs esterno 38	390,0	675	0,245	-12,074	64,986	0,90	0,60	-5,0	1,467
M16	E	Parete no clim. vs est 15	150,0	216	1,647	-4,872	67,665	0,90	0,60	-5,0	2,622
M18	G	CA controterra 50	500,0	900	0,169	-14,232	71,538	0,90	0,60	-5,0	0,000
M25	T	Parete esterna aria 25	250,0	240	0,668	-7,327	67,292	0,90	0,60	-5,0	1,406
M30	T	Parete esterna aria 30	300,0	330	0,402	-9,258	71,629	0,90	0,60	-5,0	1,294
M31	E	Parete no clim. vs est. 30	300,0	486	0,422	-10,060	69,381	0,90	0,60	-5,0	1,765
M33	T	Parete esterna aria 33	330,0	384	0,300	-10,286	70,203	0,90	0,60	-5,0	1,235
M35	T	Parete esterna aria 36	460,0	618	0,092	-14,672	64,148	0,90	0,60	-5,0	1,031
M38	T	Parete esterna aria 38	380,0	474	0,189	-11,959	67,063	0,90	0,60	-5,0	1,147
M40	T	Parete esterna aria 40	400,0	510	0,158	-12,631	66,042	0,90	0,60	-5,0	1,116
M41	E	Parete no clim. vs est. 40	400,0	510	0,158	-12,631	66,042	0,90	0,60	-5,0	1,116
M45	T	Parete esterna aria 45	450,0	600	0,101	-14,330	64,356	0,90	0,60	-5,0	1,044
M47	T	Parete esterna aria 47	470,0	636	0,084	-15,015	63,974	0,90	0,60	-5,0	1,018
M50	T	Parete esterna aria, marmo 51	510,0	753	0,061	-16,558	73,444	0,90	0,60	-5,0	0,989

M50	T	Parete esterna aria, marmo 51	510,0	753	0,061	-16,558	73,444	0,90	0,60	-5,0	0,989
M51	T	Parete esterna aria 51	510,0	708	0,059	-16,388	63,535	0,90	0,60	-5,0	0,969
M55	T	Parete esterna aria 55	550,0	780	0,041	-17,763	63,358	0,90	0,60	-5,0	0,925
M59	E	Parete no clim. vs. est. 60	600,0	1026	0,028	-20,357	63,238	0,90	0,60	-5,0	1,067
M60	T	Parete esterna aria 60	600,0	870	0,026	-19,481	63,311	0,90	0,60	-5,0	0,875
M61	T	Parete esterna aria, marmo 60	600,0	915	0,027	-19,650	73,260	0,90	0,60	-5,0	0,891
M63	T	Parete esterna aria 63	630,0	924	0,020	-20,511	63,327	0,90	0,60	-5,0	0,847
M67	T	Parete esterna aria 67	670,0	996	0,014	-21,885	63,371	0,90	0,60	-5,0	0,813
M70	T	Parete esterna aria 70	700,0	1050	0,011	-22,915	63,410	0,90	0,60	-5,0	0,789
M74	T	Parete esterna aria 73	730,0	1104	0,008	-23,945	63,449	0,90	0,60	-5,0	0,767

M76	T	Parete esterna aria 76	760,0	1158	0,006	-24,975	63,483	0,90	0,60	-5,0	0,746
M80	T	Parete esterna aria 80	800,0	1230	0,004	-26,348	63,518	0,90	0,60	-5,0	0,719
M87	T	Parete esterna aria 87	870,0	1356	0,002	-28,752	63,553	0,90	0,60	-5,0	0,677
M112	T	Parete esterna aria112	1120,0	1806	0,000	-13,336	63,556	0,90	0,60	-5,0	0,560
M121	T	Parete esterna aria 120	1200,0	1950	0,000	-16,083	63,554	0,90	0,60	-5,0	0,531
M155	T	Parete esterna aria 155	1550,0	2580	0,000	-28,100	63,554	0,90	0,60	-5,0	0,432
M210	T	Ca esterna 10	100,0	180	2,988	-2,834	56,077	0,90	0,60	-5,0	3,605
M215	T	Ca esterna 15	150,0	270	2,073	-4,397	71,326	0,90	0,60	-5,0	3,117
M218	T	Ca esterna 18	180,0	324	1,648	-5,302	76,007	0,90	0,60	-5,0	2,882
M220	T	Ca esterna 20	200,0	360	1,412	-5,893	77,794	0,90	0,60	-5,0	2,745
M224	T	Ca esterna 24	240,0	432	1,038	-7,056	79,187	0,90	0,60	-5,0	2,505
M230	T	Ca esterna 30	300,0	540	0,657	-8,781	78,206	0,90	0,60	-5,0	2,216
M234	T	Ca esterna 34	340,0	612	0,486	-9,928	76,688	0,90	0,60	-5,0	2,057
M236	T	Ca esterna 36	360,0	648	0,418	-10,503	75,856	0,90	0,60	-5,0	1,986
M240	T	Ca esterna 40	400,0	720	0,309	-11,654	74,231	0,90	0,60	-5,0	1,858
M245	T	Ca esterna 45	450,0	810	0,212	-13,094	72,491	0,90	0,60	-5,0	1,719
M250	T	Ca esterna 50	500,0	900	0,145	-14,535	71,207	0,90	0,60	-5,0	1,599

M253	T	Ca esterna 53	530,0	954	0,116	-15,399	70,659	0,90	0,60	-5,0	1,535
M260	T	Ca esterna 60	600,0	1080	0,068	-17,417	69,926	0,90	0,60	-5,0	1,404
M270	T	Ca esterna 70	700,0	1260	0,032	-20,298	69,711	0,90	0,60	-5,0	1,251
M272	T	Ca esterna 72	720,0	1296	0,028	-20,875	69,727	0,90	0,60	-5,0	1,225
M300	R	CA no clim vs controterra 20	200,0	360	1,639	-5,572	77,195	0,90	0,60	-5,0	0,000
M301	R	CA no clim vs controterra 30	300,0	540	0,763	-8,479	79,111	0,90	0,60	-5,0	0,000
M302	R	CA no clim vs controterra 65	650,0	1170	0,054	-18,555	69,739	0,90	0,60	-5,0	0,000
M305	E	CA no clim vs est 15	150,0	270	2,073	-4,397	71,326	0,90	0,60	-5,0	3,117
M306	E	CA no clim vs est 30	300,0	540	0,657	-8,781	78,206	0,90	0,60	-5,0	2,216
M307	E	CA no clim vs est 65	650,0	1170	0,047	-18,858	69,738	0,90	0,60	-5,0	1,323
M308	G	CA controterra 40	400,0	720	0,358	-11,352	74,985	0,90	0,60	-5,0	0,000
M309	G	CA controterra 15	150,0	270	2,390	-4,057	68,652	0,90	0,60	-5,0	0,000
M310	T	Pannello isol. esterno 10	100,0	3	0,227	-0,817	1,903	0,90	0,30	-5,0	0,230
M315	T	Parete esterna vetro con isolante 15	52,0	30	1,968	-1,304	19,684	0,90	0,60	-5,0	2,034
M502	T	Pil 40	400,0	960	0,536	-9,934	89,287	0,90	0,60	-5,0	2,854
M503	T	Pil 45	450,0	1080	0,400	-11,059	87,685	0,90	0,60	-5,0	2,700

M504	T	Pil 49	490,0	1176	0,316	-11,961	86,428	0,90	0,60	-5,0	2,588
M505	T	Pil 50	500,0	1200	0,298	-12,187	86,130	0,90	0,60	-5,0	2,561
M506	T	Pil 51	510,0	1224	0,281	-12,412	85,840	0,90	0,60	-5,0	2,535
M508	T	Pil 55	550,0	1320	0,222	-13,316	84,776	0,90	0,60	-5,0	2,436
M510	T	Pil 60	600,0	1440	0,165	-14,445	83,696	0,90	0,60	-5,0	2,323
M514	T	Pil 67	670,0	1608	0,109	-16,025	82,658	0,90	0,60	-5,0	2,181
M517	T	Pil 70	700,0	1680	0,091	-16,703	82,366	0,90	0,60	-5,0	2,126
M519	T	Pil 73	730,0	1752	0,077	-17,380	82,151	0,90	0,60	-5,0	2,073

M534	T	Pil 1300	1300,0	3120	0,003	-30,243	82,197	0,90	0,60	-5,0	1,408
M536	T	Pil 1385	1385,0	3324	0,002	-32,161	82,203	0,90	0,60	-5,0	1,343
M545	T	Pil 1550	1550,0	3720	0,001	-35,885	82,196	0,90	0,60	-5,0	1,234
M546	T	Pil 1555	1555,0	3732	0,001	-35,998	82,196	0,90	0,60	-5,0	1,231
M551	T	Pil 48	480,0	1152	0,335	-11,735	86,734	0,90	0,60	-5,0	2,615
M559	T	Pil 1461	1461,0	3506	0,001	-33,876	82,201	0,90	0,60	-5,0	1,291
M560	T	Pil 63	630,0	1512	0,138	-15,122	83,186	0,90	0,60	-5,0	2,260
M561	T	Pil 80	800,0	1920	0,051	-18,959	81,886	0,90	0,60	-5,0	1,959
M562	T	Pil 47	470,0	1128	0,355	-11,510	87,046	0,90	0,60	-5,0	2,642
M565	T	Pil 76	760,0	1824	0,064	-18,057	82,002	0,90	0,60	-5,0	2,023
M566	T	Pil 80	800,0	1920	0,051	-18,959	81,886	0,90	0,60	-5,0	1,959
M600	T	Acciaio 5	50,0	390	4,620	-1,863	49,394	0,90	0,60	-5,0	5,225

M504	T	Pil 49	490,0	1176	0,316	-11,961	86,428	0,90	0,60	-5,0	2,588
M505	T	Pil 50	500,0	1200	0,298	-12,187	86,130	0,90	0,60	-5,0	2,561
M506	T	Pil 51	510,0	1224	0,281	-12,412	85,840	0,90	0,60	-5,0	2,535
M508	T	Pil 55	550,0	1320	0,222	-13,316	84,776	0,90	0,60	-5,0	2,436
M510	T	Pil 60	600,0	1440	0,165	-14,445	83,696	0,90	0,60	-5,0	2,323
M514	T	Pil 67	670,0	1608	0,109	-16,025	82,658	0,90	0,60	-5,0	2,181
M517	T	Pil 70	700,0	1680	0,091	-16,703	82,366	0,90	0,60	-5,0	2,126
M519	T	Pil 73	730,0	1752	0,077	-17,380	82,151	0,90	0,60	-5,0	2,073
M534	T	Pil 1300	1300,0	3120	0,003	-30,243	82,197	0,90	0,60	-5,0	1,408
M536	T	Pil 1385	1385,0	3324	0,002	-32,161	82,203	0,90	0,60	-5,0	1,343
M545	T	Pil 1550	1550,0	3720	0,001	-35,885	82,196	0,90	0,60	-5,0	1,234
M546	T	Pil 1555	1555,0	3732	0,001	-35,998	82,196	0,90	0,60	-5,0	1,231
M551	T	Pil 48	480,0	1152	0,335	-11,735	86,734	0,90	0,60	-5,0	2,615
M559	T	Pil 1461	1461,0	3506	0,001	-33,876	82,201	0,90	0,60	-5,0	1,291
M560	T	Pil 63	630,0	1512	0,138	-15,122	83,186	0,90	0,60	-5,0	2,260
M561	T	Pil 80	800,0	1920	0,051	-18,959	81,886	0,90	0,60	-5,0	1,959
M562	T	Pil 47	470,0	1128	0,355	-11,510	87,046	0,90	0,60	-5,0	2,642
M565	T	Pil 76	760,0	1824	0,064	-18,057	82,002	0,90	0,60	-5,0	2,023
M566	T	Pil 80	800,0	1920	0,051	-18,959	81,886	0,90	0,60	-5,0	1,959
M600	T	Acciaio 5	50,0	390	4,620	-1,863	49,394	0,90	0,60	-5,0	5,225

4.3.2 - Componenti, divisori e chiusure opache orizzontali:

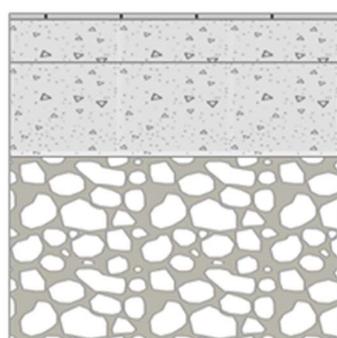
All'interno del progetto, le stratigrafie dei solai variano in funzione della posizione del controsoffitto. Per ciascun tipo di solaio, sono state create stratigrafie specifiche in base alle altezze nette rilevate durante il sopralluogo, posizionando il controsoffitto alla distanza necessaria per rispettare l'altezza netta di ciascun ambiente. Per tale motivo, a seguire, verrà esposto un esempio per ogni stratigrafia di solaio creata e utilizzata nella realizzazione del modello, indipendentemente dalla posizione del solaio.

- Solaio controterra (G/R)

Descrizione della struttura: **CONTROTERRA**

Codice: **P4**

Trasmittanza termica	1,625	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,258	W/m ² K
Spessore	530	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	1019	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	1019	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,139	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,534	-
Sfasamento onda termica	-13,97	h

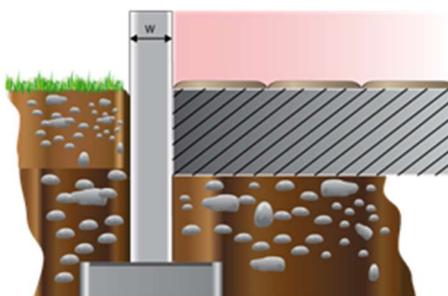


Stratigrafia:

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	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottofondo di cemento magro	70,00	0,9000	0,078	1800	0,88	30
3	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	150,00	2,1500	0,070	2400	1,00	96
4	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	300,00	1,2000	0,250	1700	1,00	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Pavimento appoggiato su terreno:**CONTROTERRA****Codice: P4**

Area del pavimento	6940,00 m ²
Perimetro disperdente del pavimento	850,00 m
Spessore pareti perimetrali esterne	500 mm
Conduttività termica del terreno	2,00 W/mK

**Descrizione della struttura: CONTROTERRA****Codice: P4**

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °CCriterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)****Verifica criticità di condensa superficiale**Verifica condensa superficiale ($f_{RSt, max} \leq f_{RSt}$) **Positiva**Mese critico **aprile**Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSt, max}$ **0,413**Fattore di temperatura del componente f_{RSt} **0,640**Umidità relativa superficiale accettabile **80** %**Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

- Solaio interpiano latero-cemento tipo Stimip (N), non essendo presente nella libreria del software, è stato realizzato creando un solaio composto da 3 strutture, scomponendo anticipatamente la porzione verticale laterale (travetto) e la porzione verticale centrale (laterizio)

Descrizione della struttura: Travetto stimip 1

Codice: P10

Trasmittanza termica	0,880	W/m ² K
Spessore	1770	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	1122	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	1079	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,034	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,039	-
Sfasamento onda termica	-13,3	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	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottofondo di cemento magro	40,00	0,9000	0,044	1800	0,88	30
3	C.l.s. armato (2% acciaio)	410,00	2,5000	0,164	2400	1,00	130
4	Intonaco di calce e sabbia	20,00	0,8000	0,025	1600	1,00	10
5	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	1000,00	3,7736	0,265	-	-	-
6	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	277,00	1,2104	0,229	-	-	-
7	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Descrizione della struttura: Travetto stimip 1

Codice: P10

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (<u>0,006 kg/m³</u>)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$)

Positiva

Mese critico

ottobre

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{RSI, max}$ **0,000**

Fattore di temperatura del componente

f_{RSI} **0,807**

Umidità relativa superficiale accettabile

80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Pignatta stimp 1

Codice: P11

Trasmittanza termica	0,724	W/m ² K
Spessore	1770	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	390	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	347	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,117	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,162	-
Sfasamento onda termica	-9,8	h



Descrizione della struttura: Pignatta stimp 1

Codice: P11

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSi, max} \leq f_{RSi}$) **Positiva**

Mese critico **ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSi, max}$ **0,000**

Fattore di temperatura del componente f_{RSi} **0,838**

Umidità relativa superficiale accettabile **80** %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Nel modello, al posto della tavella superiore della parte centrale è stato inserito uno strato di calcestruzzo, poiché, secondo diversi manuali, la tavella era spesso affogata nel getto. Non essendo possibile definire un materiale misto nel software, si è scelto quello predominante per prestazioni. Successivamente, le componenti sono state assemblate per creare il solaio composto, con le larghezze descritte nel capitolo precedente.

Dati Ingresso

Tipologia struttura 1: P10 - Travetto stimp 1

Tipologia struttura 2: P11 - Pignatta stimp 1

Tipologia struttura 3: P10 - Travetto stimp 1

Tipo ponderazione: Lunghezza

Dettagli strutture coinvolte

	Codice	Descrizione	Lunghezza [m]	Spessore [mm]	Ue [W/m ² K]	YIE [W/m ² K]	Massa sup. [kg/m ²]	C.T. [kJ/m ² K]	Vti
Struttura 1	P10	Travetto stimp 1	0,12	1770	0,880	0,034	1122	58,470	✓
Struttura 2	P11	Pignatta stimp 1	0,56	1770	0,724	0,117	390	61,958	✓
Struttura 3	P10	Travetto stimp 1	0,12	1770	0,880	0,034	1122	58,470	✓

Figura 37 - Creazione solaio composto su software di modellazione energetica

Descrizione della struttura: INTERPIANO STIMIP 1**Codice: P72**

Trasmittanza termica	0,771	W/m ² K
Spessore	1770	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	610	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	567	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,092	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,125	-
Sfasamento onda termica	-10,9	h

Strutture coinvolte:

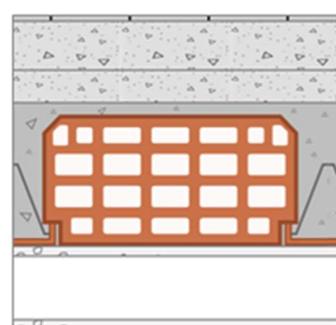
N.	Descrizione della struttura	A/L	s	Up	YIE	M.sup.	C.T.	VTI
P10	Travetto stimip 1	0,12	1770	0,880	0,034	1122	58,470	Positiva
P11	Pignatta stimip 1	0,56	1770	0,724	0,117	390	61,958	Positiva
P10	Travetto stimip 1	0,12	1770	0,880	0,034	1122	58,470	Positiva

In alcuni casi dove si è in presenza di sottotetto, è stato inserito come componente divisorio opaco orizzontale tra ambiente riscaldato e sottotetto, in tali casi si è inserito un coefficiente correttivo di temperatura rispetto al locale vicino $B_{tr,n} = 0,4$.

- Solaio interpiano laterocemento (N)

Descrizione della struttura: INTERPIANO LATEROCEMENTO 34**Codice: P105**

Trasmittanza termica	0,941	W/m ² K
Spessore	480	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	709	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	674	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,066	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,070	-
Sfasamento onda termica	-13,6	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	0,008	2300	0,84	9999999
2	Sottofondo di cemento magro	75,00	0,9000	0,083	1800	0,88	30
3	C.I.S. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
4	Soletta in laterizio	220,00	0,7200	0,306	1800	0,84	9
5	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
6	Intercapedine non ventilata $A_v < 500$ mm ² /m	97,00	0,4421	0,219	-	-	-
7	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Descrizione della struttura: *INTERPIANO LATEROCEMENTO 34*

Codice: *P105*

- [x] La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
[x] La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
[] La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$) **Positiva**

Mese critico **ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI, max}$ **0,000**

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} **0,796**

Umidità relativa superficiale accettabile **80** %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

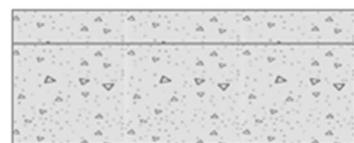
Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

▪ **Solaio interpiano in cemento armato (N)**

Descrizione della struttura: *INTERPIANO C.A.*

Codice: *P5*

Trasmittanza termica	2,195	W/m ² K
Spessore	200	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20,0	°C
Permeanza	9,524	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	450	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	450	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,650	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,296	-
Sfasamento onda termica	-6,5	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
2	C.l.s. armato (2% acciaio)	150,00	2,5000	0,060	2400	1,00	130
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Descrizione della struttura: INTERPIANO C.A.

Codice: P5

- [x] La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
[x] La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
[] La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0 °C**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$) **Positiva**

Mese critico **ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI, max}$ **0,000**

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} **0,594**

Umidità relativa superficiale accettabile **80 %**

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

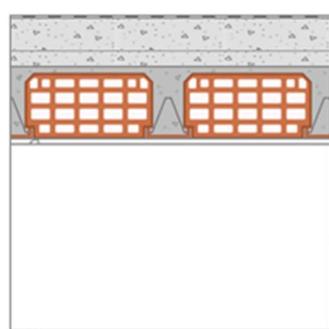
Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

■ Solaio di copertura in laterocemento (T)

Descrizione della struttura: COPERTURA LATEROCEMENTO

Codice: S11

Trasmittanza termica	1,108	W/m ² K
Spessore	978	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,106	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	743	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	708	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,095	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,086	-
Sfasamento onda termica	-13,6	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
2	Sottofondo di cemento magro	100,00	0,9000	0,111	1800	0,88	30
3	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	50,00	1,9100	0,026	2400	1,00	96
4	Soletta in laterizio	220,00	0,7200	0,306	1800	0,84	9
5	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
6	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	570,00	3,5625	0,160	-	-	-
7	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *COPERTURA LATEROCEMENTO*

Codice: *S11*

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0 °C**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$) **Positiva**

Mese critico **gennaio**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI, max}$ **0,694**

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} **0,758**

Umidità relativa superficiale accettabile **80 %**

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Verifica condensa interstiziale **Negativa**

Quantità massima di condensa durante l'anno M_b **134 g/m²**

Quantità di condensa ammissibile M_{lim} **100 g/m²**

Verifica di condensa ammissibile ($M_b \leq M_{lim}$) **Negativa**

Mese con massima condensa accumulata **febbraio**

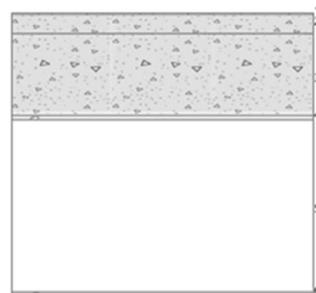
L'evaporazione a fine stagione è **Completa**

▪ Solaio di copertura in latero cemento tipo Stimip (T)

Descrizione della struttura: *travetto per stimip copertura 26*

Codice: *S117*

Trasmittanza termica	1,322	W/m ² K
Spessore	1450	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,103	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	1223	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	1180	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,052	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,040	-
Sfasamento onda termica	-14,6	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
2	Sottofondo di cemento magro	100,00	0,7000	0,143	1600	0,88	20
3	C.i.s. armato (2% acciaio)	420,00	2,5000	0,168	2400	1,00	130
4	Intonaco di calce e sabbia	20,00	0,8000	0,025	1600	1,00	10
5	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	887,00	5,5438	0,160	-	-	-
6	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *travetto per stimip copertura 26*

Codice: *S117*

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$) **Positiva**

Mese critico **gennaio**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI, max}$ **0,694**

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} **0,724**

Umidità relativa superficiale accettabile **80** %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Verifica condensa interstiziale **Positiva**

Quantità massima di condensa durante l'anno M_s **46** g/m²

Quantità di condensa ammissibile M_{lim} **100** g/m²

Verifica di condensa ammissibile ($M_s \leq M_{lim}$) **Positiva**

Mese con massima condensa accumulata **gennaio**

L'evaporazione a fine stagione è **Completa**

Descrizione della struttura: *pignatta per stimip copertura 26*

Codice: *S118*

Trasmittanza termica **1,090** W/m²K

Spessore **1450** mm

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale) **-5,0** °C

Permeanza **0,106** 10⁻¹²kg/sm²Pa

Massa superficiale (con intonaci) **487** kg/m²

Massa superficiale (senza intonaci) **444** kg/m²

Trasmittanza periodica **0,199** W/m²K

Fattore attenuazione **0,182** -

Sfasamento onda termica **-10,1** h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,1700	0,059	1200	1,00	188000
2	Sottofondo di cemento magro	100,00	0,9000	0,111	1800	0,88	30
3	C.I.s. con massa volumica media	100,00	1,6500	0,061	2200	1,00	120
4	Intercapedine non ventilata $Av < 500$ mm²/m	280,00	1,7500	0,160	-	-	-
5	Tavellone strutture orizzontali	40,00	0,3330	0,120	800	0,84	9
6	Intonaco di calce e sabbia	20,00	0,8000	0,025	1600	1,00	10
7	Intercapedine non ventilata $Av < 500$ mm²/m	887,00	5,5438	0,160	-	-	-
8	Cartongesso 12,5 mm (per THERMOGES)	13,00	0,2110	0,062	840	0,84	8
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *pignatta per stimip copertura 26*

Codice: *S118*

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RST, max} \leq f_{RST}$) **Positiva**

Mese critico **gennaio**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RST, max}$ **0,694**

Fattore di temperatura del componente f_{RST} **0,761**

Umidità relativa superficiale accettabile **80** %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Verifica condensa interstiziale **Negativa**

Quantità massima di condensa durante l'anno M_s **176** g/m²

Quantità di condensa ammissibile M_{lim} **0** g/m²

Verifica di condensa ammissibile ($M_s \leq M_{lim}$) **Negativa**

Mese con massima condensa accumulata **gennaio**

L'evaporazione a fine stagione è **Completa**

Descrizione della struttura: *COPERTURA TIPO STIMIP 26*

Codice: *S119*

Trasmittanza termica **1,177** W/m²K

Spessore **1450** mm

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale) **-5,0** °C

Permeanza **0,105** 10⁻¹²kg/sm²Pa

Massa superficiale (con intonaci) **708** kg/m²

Massa superficiale (senza intonaci) **665** kg/m²

Trasmittanza periodica **0,155** W/m²K

Fattore attenuazione **0,140** -

Sfasamento onda termica **-11,4** h

Strutture coinvolte:

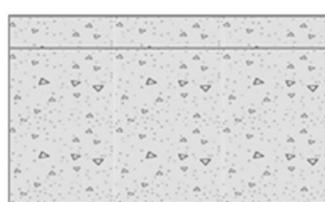
N.	Descrizione della struttura	A/L	s	Up	YIE	M.sup.	C.T.	VTI
S11 7	travetto per stimip copertura 26	0,12	1450	1,322	0,052	1223	38,215	Positiva
S11 8	pignatta per stimip copertura 26	0,56	1450	1,114	0,199	487	34,499	Negativa
S11 7	travetto per stimip copertura 26	0,12	1450	1,322	0,052	1223	38,215	Positiva

▪ Solaio di copertura in cemento armato (T)

Descrizione della struttura: *COPERTURA C.A.*

Codice: S9

Trasmittanza termica	3,107	W/m ² K
Spessore	301	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	-5,0	°C
Permeanza	0,901	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	691	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	691	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,912	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,294	-
Sfasamento onda termica	-7,7	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060	-	-	-
1	Impermeabilizzazione con bitume	1,00	0,1700	0,006	1200	1,00	188000
2	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,9000	0,056	1800	0,88	30
3	C.I.s. armato (2% acciaio)	250,00	2,5000	0,100	2400	1,00	130
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Descrizione della struttura: *COPERTURA C.A.*

Codice: S9

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento **20,0** °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna **Classe di concentrazione del vapore (0,006 kg/m³)**

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI, max} \leq f_{RSI}$)	Negativa
Mese critico	gennaio
Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI, max}$	0,694
Fattore di temperatura del componente f_{RSI}	0,446
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale (secondo UNI EN ISO 13788)

Verifica condensa interstiziale	Positiva
Quantità massima di condensa durante l'anno M_a	13 g/m ²
Quantità di condensa ammissibile M_{lim}	100 g/m ²
Verifica di condensa ammissibile ($M_a \leq M_{lim}$)	Positiva
Mese con massima condensa accumulata	febbraio
L'evaporazione a fine stagione è	Completa

I componenti opachi orizzontali interni riportano un valore di trasmittanza medio pari a 1,001 W/m²K, mentre le coperture 1,633 W/m²K. Tali valori equivalgono alla media complessiva di tutti solai e coperture presenti nella tabella sottostante, calcolata ponderando le trasmittanze di ciascun componente in base alle rispettive superfici ed escludendo i ponti termici. In seguito, è riportata la lista completa dei componenti opachi orizzontali:

Pavimenti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{FE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
P1	N	Travetto stimip 0	480,0	1079	0,118	-12,528	59,638	0,90	0,60	20,0	1,721
P2	N	Pignatta stimip 0	480,0	347	0,298	-8,201	63,528	0,90	0,60	20,0	1,210
P3	N	INTERPIANO LATEROCEM. TIPO STIMIP 0	480,0	567	0,244	-9,499	62,361	0,90	0,60	20,0	1,363
P4	G	CONTROTERRA	530,0	1019	0,133	-14,220	57,228	0,90	0,60	-5,0	0,258
P5	N	INTERPIANO C.A.	200,0	450	0,650	-6,457	61,934	0,90	0,60	20,0	2,195
P6	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO	370,0	674	0,138	-12,655	58,674	0,90	0,60	20,0	1,280
P7	T	C.A. PONTE vs ESTERNO	476,0	481	0,316	-7,314	61,172	0,90	0,60	-5,0	1,556
P8	R	CONTROTERRA LOC NO CLIM	530,0	1019	0,133	-14,220	57,228	0,90	0,60	-5,0	0,258
P9	N	INTERP C.A. PONTE	326,0	481	0,248	-7,515	60,854	0,90	0,60	20,0	1,343
P10	N	Travetto stimip 1	1770,0	1079	0,034	-13,334	58,470	0,90	0,60	20,0	0,880
P11	N	Pignatta stimip 1	1770,0	347	0,117	-9,849	61,958	0,90	0,60	20,0	0,724
P12	N	Travetto stimip 2	1450,0	1079	0,048	-13,206	58,655	0,90	0,60	20,0	1,104
P13	N	Pignatta stimip 2	1450,0	347	0,157	-9,536	62,439	0,90	0,60	20,0	0,869
P14	N	Travetto stimip 3	1250,0	1079	0,049	-13,197	58,667	0,90	0,60	20,0	1,117
P15	N	Pignatta stimip 3	1250,0	347	0,159	-9,517	62,466	0,90	0,60	20,0	0,877
P16	N	Travetto stimip 4	1150,0	1079	0,050	-13,193	58,673	0,90	0,60	20,0	1,123
P17	N	Pignatta stimip 4	1150,0	347	0,160	-9,508	62,479	0,90	0,60	20,0	0,880
P18	N	Travetto stimip 5	1100,0	1079	0,050	-13,191	58,676	0,90	0,60	20,0	1,126
P19	N	Pignatta stimip 5	1100,0	347	0,161	-9,503	62,486	0,90	0,60	20,0	0,882
P20	N	Travetto stimip 6	800,0	1079	0,051	-13,178	58,695	0,90	0,60	20,0	1,145
P21	N	Pignatta stimip 6	800,0	347	0,165	-9,474	62,527	0,90	0,60	20,0	0,894
P22	N	Travetto stimip 7	600,0	1079	0,052	-13,169	58,709	0,90	0,60	20,0	1,159
P23	N	Pignatta stimip 7	600,0	347	0,167	-9,453	62,555	0,90	0,60	20,0	0,902
P24	N	Travetto stimip 8	1980,0	1079	0,033	-13,338	58,464	0,90	0,60	20,0	0,872
P25	N	Pignatta stimip 8	1980,0	347	0,116	-9,860	61,941	0,90	0,60	20,0	0,718
P26	N	Travetto stimip 9	1830,0	1079	0,034	-13,336	58,468	0,90	0,60	20,0	0,878
P27	N	Pignatta stimip 9	1830,0	347	0,116	-9,852	61,953	0,90	0,60	20,0	0,722
P28	N	Travetto stimip 10	1630,0	1079	0,034	-13,332	58,474	0,90	0,60	20,0	0,885
P29	N	Pignatta stimip 10	1630,0	347	0,118	-9,842	61,970	0,90	0,60	20,0	0,727
P30	N	Travetto stimip 11	1430,0	1079	0,048	-13,205	58,656	0,90	0,60	20,0	1,105
P31	N	Pignatta stimip 11	1430,0	347	0,157	-9,534	62,442	0,90	0,60	20,0	0,870
P32	N	Travetto stimip 12	1180,0	1079	0,049	-13,195	58,671	0,90	0,60	20,0	1,121
P33	N	Pignatta stimip 12	1180,0	347	0,160	-9,511	62,475	0,90	0,60	20,0	0,879
P34	N	Travetto stimip 13	980,0	1079	0,050	-13,186	58,684	0,90	0,60	20,0	1,134
P35	N	Pignatta stimip 13	980,0	347	0,162	-9,492	62,502	0,90	0,60	20,0	0,887
P36	N	Travetto stimip 14	860,0	1079	0,051	-13,181	58,691	0,90	0,60	20,0	1,141
P37	N	Pignatta stimip 14	860,0	347	0,164	-9,480	62,518	0,90	0,60	20,0	0,892
P38	N	Travetto stimip 15	780,0	1079	0,051	-13,177	58,697	0,90	0,60	20,0	1,147
P39	N	Pignatta stimip 15	780,0	347	0,165	-9,472	62,530	0,90	0,60	20,0	0,895
P40	N	Travetto stimip 16	730,0	1079	0,052	-13,175	58,700	0,90	0,60	20,0	1,150
P41	N	Pignatta stimip 16	730,0	347	0,165	-9,467	62,537	0,90	0,60	20,0	0,897
P42	N	Travetto stimip 17	680,0	1079	0,052	-13,173	58,703	0,90	0,60	20,0	1,153
P43	N	Pignatta stimip 17	680,0	347	0,166	-9,462	62,544	0,90	0,60	20,0	0,899
P44	N	Travetto stimip 18	863,0	1079	0,051	-13,181	58,691	0,90	0,60	20,0	1,141
P45	N	Pignatta stimip 18	863,0	347	0,164	-9,480	62,518	0,90	0,60	20,0	0,892
P46	N	Travetto stimip 19	2883,0	1079	0,025	-13,413	58,360	0,90	0,60	20,0	0,711
P47	N	Pignatta stimip 19	2883,0	347	0,090	-10,059	61,604	0,90	0,60	20,0	0,605
P48	N	Travetto stimip 20	2522,0	1079	0,026	-13,404	58,372	0,90	0,60	20,0	0,732
P49	N	Pignatta stimip 20	2783,0	347	0,090	-10,056	61,609	0,90	0,60	20,0	0,607
P50	N	Travetto stimip 21	2180,0	1079	0,033	-13,342	58,459	0,90	0,60	20,0	0,864
P51	N	Pignatta stimip 21	2180,0	347	0,114	-9,870	61,925	0,90	0,60	20,0	0,713
P52	N	Travetto stimip 22	2030,0	1079	0,033	-13,339	58,463	0,90	0,60	20,0	0,870
P53	N	Pignatta stimip 22	2030,0	347	0,115	-9,862	61,937	0,90	0,60	20,0	0,717
P54	N	Travetto stimip 23	1830,0	1079	0,034	-13,336	58,468	0,90	0,60	20,0	0,878
P55	N	Pignatta stimip 23	1830,0	347	0,116	-9,852	61,953	0,90	0,60	20,0	0,722
P56	N	Travetto stimip 24	1680,0	1079	0,034	-13,333	58,473	0,90	0,60	20,0	0,883
P57	N	Pignatta stimip 24	1680,0	347	0,117	-9,845	61,966	0,90	0,60	20,0	0,726
P58	N	Travetto stimip 25	1630,0	1079	0,034	-13,332	58,474	0,90	0,60	20,0	0,885
P59	N	Pignatta stimip 25	1630,0	347	0,118	-9,842	61,970	0,90	0,60	20,0	0,727
P60	N	Travetto stimip 26	1380,0	1079	0,049	-13,203	58,659	0,90	0,60	20,0	1,109
P61	N	Pignatta stimip 26	1380,0	347	0,158	-9,529	62,448	0,90	0,60	20,0	0,872
P62	N	Travetto stimip 27	1180,0	1079	0,049	-13,195	58,671	0,90	0,60	20,0	1,121

P63	N	Pignatta stimip 27	1180,0	347	0,160	-9,511	62,475	0,90	0,60	20,0	0,879
P64	N	Travetto stimip 28	1060,0	1079	0,050	-13,190	58,679	0,90	0,60	20,0	1,129
P65	N	Pignatta stimip 28	1060,0	347	0,161	-9,499	62,491	0,90	0,60	20,0	0,884
P66	N	Travetto stimip 29	980,0	1079	0,050	-13,186	58,684	0,90	0,60	20,0	1,134
P67	N	Pignatta stimip 29	980,0	347	0,162	-9,492	62,502	0,90	0,60	20,0	0,887
P68	N	Travetto stimip 30	880,0	1079	0,051	-13,182	58,690	0,90	0,60	20,0	1,140
P69	N	Pignatta stimip 30	880,0	347	0,164	-9,482	62,516	0,90	0,60	20,0	0,891
P70	N	Travetto stimip 31	830,0	1079	0,051	-13,180	58,693	0,90	0,60	20,0	1,143
P71	N	Pignatta stimip 31	830,0	347	0,164	-9,477	62,523	0,90	0,60	20,0	0,893
P72	N	INTERPIANO STIMIP 1	1770,0	567	0,092	-10,895	60,912	0,90	0,60	20,0	0,771
P73	N	INTERPIANO STIMIP 2	1450,0	567	0,124	-10,637	61,304	0,90	0,60	20,0	0,940
P74	N	INTERPIANO STIMIP 3	1250,0	567	0,126	-10,621	61,326	0,90	0,60	20,0	0,949
P75	N	INTERPIANO STIMIP 4	1150,0	567	0,127	-10,614	61,337	0,90	0,60	20,0	0,953
P76	N	INTERPIANO STIMIP 5	1100,0	567	0,128	-10,610	61,343	0,90	0,60	20,0	0,955
P77	N	INTERPIANO STIMIP 6	800,0	567	0,131	-10,585	61,377	0,90	0,60	20,0	0,970
P78	N	INTERPIANO STIMIP 7	600,0	567	0,133	-10,568	61,401	0,90	0,60	20,0	0,979
P79	N	INTERPIANO STIMIP 8	1980,0	567	0,091	-10,903	60,898	0,90	0,60	20,0	0,764
P80	N	INTERPIANO STIMIP 9	1830,0	567	0,092	-10,897	60,908	0,90	0,60	20,0	0,769
P81	N	INTERPIANO STIMIP 10	1630,0	567	0,093	-10,889	60,921	0,90	0,60	20,0	0,775
P82	N	INTERPIANO STIMIP 11	1430,0	567	0,124	-10,635	61,306	0,90	0,60	20,0	0,940
P83	N	INTERPIANO STIMIP 12	1180,0	567	0,127	-10,616	61,334	0,90	0,60	20,0	0,952
P84	N	INTERPIANO STIMIP 13	980,0	567	0,129	-10,600	61,356	0,90	0,60	20,0	0,961
P85	N	INTERPIANO STIMIP 14	860,0	567	0,130	-10,590	61,370	0,90	0,60	20,0	0,967
P86	N	INTERPIANO STIMIP 15	780,0	567	0,131	-10,583	61,380	0,90	0,60	20,0	0,970
P87	N	INTERPIANO STIMIP 16	730,0	567	0,131	-10,579	61,386	0,90	0,60	20,0	0,973
P88	N	INTERPIANO STIMIP 17	680,0	567	0,132	-10,575	61,391	0,90	0,60	20,0	0,975
P89	N	INTERPIANO STIMIP 18	863,0	567	0,130	-10,590	61,370	0,90	0,60	20,0	0,967
P90	N	INTERPIANO STIMIP 19	2579,6	567	0,074	-11,031	60,681	0,90	0,60	20,0	0,701
P91	N	INTERPIANO STIMIP 20	2704,7	567	0,071	-11,061	60,638	0,90	0,60	20,0	0,645
P92	N	INTERPIANO STIMIP 21	2180,0	567	0,090	-10,911	60,885	0,90	0,60	20,0	0,758
P93	N	INTERPIANO STIMIP 22	2030,0	567	0,091	-10,906	60,895	0,90	0,60	20,0	0,763
P94	N	INTERPIANO STIMIP 23	1830,0	567	0,092	-10,897	60,908	0,90	0,60	20,0	0,769
P95	N	INTERPIANO STIMIP 24	1680,0	567	0,092	-10,891	60,918	0,90	0,60	20,0	0,773
P96	N	INTERPIANO STIMIP 25	1630,0	567	0,093	-10,889	60,921	0,90	0,60	20,0	0,775
P97	N	INTERPIANO STIMIP 26	1380,0	567	0,125	-10,631	61,312	0,90	0,60	20,0	0,943
P98	N	INTERPIANO STIMIP 27	1180,0	567	0,127	-10,616	61,334	0,90	0,60	20,0	0,952
P99	N	INTERPIANO STIMIP 28	1060,0	457	0,145	-10,053	61,919	0,90	0,60	20,0	0,921
P100	N	INTERPIANO STIMIP 29	980,0	567	0,129	-10,600	61,356	0,90	0,60	20,0	0,961
P101	N	INTERPIANO STIMIP 30	880,0	567	0,130	-10,592	61,368	0,90	0,60	20,0	0,966
P102	N	Travetto stimip 32	730,0	1079	0,052	-13,175	58,700	0,90	0,60	20,0	1,150
P103	N	Pignatta stimip 32	730,0	347	0,165	-9,467	62,537	0,90	0,60	20,0	0,897
P104	N	INTERPIANO STIMIP 31	830,0	457	0,147	-10,032	61,948	0,90	0,60	20,0	0,931
P105	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 34	480,0	674	0,066	-13,594	57,634	0,90	0,60	20,0	0,941
P106	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 35	480,0	674	0,066	-13,594	57,634	0,90	0,60	20,0	0,941
P107	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 36	1073,0	674	0,063	-13,635	57,589	0,90	0,60	20,0	0,915
P108	N	INTERPIANO STIMIP 32	730,0	567	0,131	-10,579	61,386	0,90	0,60	20,0	0,973
P109	N	Travetto stimip 33	680,0	1079	0,052	-13,173	58,703	0,90	0,60	20,0	1,153
P110	N	Pignatta stimip 33	680,0	347	0,166	-9,462	62,544	0,90	0,60	20,0	0,899
P111	N	INTERPIANO STIMIP 33	680,0	567	0,132	-10,575	61,391	0,90	0,60	20,0	0,975

Soffitti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
S1	N	travetto stimip 0	480,0	1079	0,239	-11,975	91,244	0,90	0,60	20,0	2,267
S2	N	parte centrale stimip0	480,0	347	0,585	-7,159	55,532	0,90	0,60	20,0	1,618
S3	N	INTERPIANO LATEROCEM. TIPO STIMIP 0	480,0	457	0,533	-7,881	60,889	0,90	0,60	20,0	1,716
S4	T	travetto per stimip copertura 0	550,0	1180	0,125	-13,917	89,295	0,90	0,60	-5,0	1,801
S5	T	pignatta per stimip copertura 0	550,0	444	0,343	-8,842	53,452	0,90	0,60	-5,0	1,437
S6	T	COPERTURA TIPO STIMIP 0	550,0	665	0,278	-10,364	64,205	0,90	0,60	-5,0	1,546
S7	N	INTERPIANO C.A.	200,0	450	1,382	-5,766	108,737	0,90	0,60	20,0	3,169
S8	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO	370,0	674	0,255	-11,849	74,111	0,90	0,60	20,0	1,559
S9	T	COPERTURA C.A.	301,0	691	0,912	-7,728	109,667	0,90	0,60	-5,0	3,107
S10	T	COPERTURA C.A. PONTE	567,0	699	0,343	-8,585	43,611	0,90	0,60	-5,0	1,840
S11	T	COPERTURA LATEROCEMENTO	978,0	708	0,095	-13,646	36,836	0,90	0,60	-5,0	1,108
S12	N	INTERPIANO C.A. PONTE	326,0	481	0,481	-7,005	43,716	0,90	0,60	20,0	1,835
S13	N	Travetto stimip 1	1770,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S14	N	Pignatta stimip 1	1770,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S15	N	Travetto stimip 2	1450,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S16	N	Pignatta stimip 2	1450,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S17	N	Travetto stimip 3	1250,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S18	N	Pignatta stimip 3	1250,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S19	N	Travetto stimip 4	1150,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S20	N	Pignatta stimip 4	1150,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191

S21	N	Travetto stimip 5	1100,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S22	N	Pignatta stimip 5	1100,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S23	N	Travetto stimip 6	800,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S24	N	Pignatta stimip 6	800,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S25	N	Travetto stimip 7	600,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S26	N	Pignatta stimip 7	600,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S27	N	Travetto stimip 8	1980,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S28	N	Pignatta stimip 8	1980,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S29	N	Travetto stimip 9	1830,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S30	N	Pignatta stimip 9	1830,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S31	N	Travetto stimip 10	1630,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S32	N	Pignatta stimip 10	1630,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S33	N	Travetto stimip 11	1430,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S34	N	Pignatta stimip 11	1430,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S35	N	Travetto stimip 12	1180,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S36	N	Pignatta stimip 12	1180,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S37	N	Travetto stimip 13	980,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S38	N	Pignatta stimip 13	980,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S39	N	Travetto stimip 14	860,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S40	N	Pignatta stimip 14	860,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S41	N	Travetto stimip 15	780,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S42	N	Pignatta stimip 15	780,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S43	N	Travetto stimip 16	730,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S44	N	Pignatta stimip 16	730,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S45	N	Travetto stimip 17	680,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S46	N	Pignatta stimip 17	680,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S47	N	Travetto stimip 18	863,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S48	N	Pignatta stimip 18	863,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S49	N	Travetto stimip 19	2883,0	1079	0,054	-12,920	22,097	0,90	0,60	20,0	1,018
S50	N	Pignatta stimip 19	2883,0	347	0,207	-8,934	23,204	0,90	0,60	20,0	0,862
S51	N	Travetto stimip 20	2522,0	1079	0,054	-12,920	22,097	0,90	0,60	20,0	1,018
S52	N	Pignatta stimip 20	2783,0	347	0,207	-8,934	23,204	0,90	0,60	20,0	0,862
S53	N	Travetto stimip 21	2180,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S54	N	Pignatta stimip 21	2180,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S55	N	Travetto stimip 22	2030,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S56	N	Pignatta stimip 22	2030,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S57	N	Travetto stimip 23	1830,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S58	N	Pignatta stimip 23	1830,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S59	N	Travetto stimip 24	1680,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S60	N	Pignatta stimip 24	1680,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S61	N	Travetto stimip 25	1630,0	1079	0,070	-12,843	27,927	0,90	0,60	20,0	1,215
S62	N	Pignatta stimip 25	1630,0	347	0,257	-8,730	28,054	0,90	0,60	20,0	1,001
S63	N	Travetto stimip 26	1380,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S64	N	Pignatta stimip 26	1380,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S65	N	Travetto stimip 27	1180,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S66	N	Pignatta stimip 27	1180,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S67	N	Travetto stimip 28	1060,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S68	N	Pignatta stimip 28	1060,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S69	N	Travetto stimip 29	980,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S70	N	Pignatta stimip 29	980,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S71	N	Travetto stimip 30	880,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S72	N	Pignatta stimip 30	880,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S73	N	Travetto stimip 31	830,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S74	N	Pignatta stimip 31	830,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S75	N	INTERPIANO STIMIP 1	1770,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S76	N	INTERPIANO STIMIP 2	1450,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S77	N	INTERPIANO STIMIP 3	1250,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S78	N	INTERPIANO STIMIP 4	1150,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S79	N	INTERPIANO STIMIP 5	1100,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S80	N	INTERPIANO STIMIP 6	800,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S81	N	INTERPIANO STIMIP 7	600,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S82	N	INTERPIANO STIMIP 8	1980,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S83	N	INTERPIANO STIMIP 9	1830,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S84	N	INTERPIANO STIMIP 10	1630,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S85	N	INTERPIANO STIMIP 11	1430,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S86	N	INTERPIANO STIMIP 12	1180,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S87	N	INTERPIANO STIMIP 13	980,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S88	N	INTERPIANO STIMIP 14	860,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S89	N	INTERPIANO STIMIP 15	780,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S90	N	INTERPIANO STIMIP 16	730,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S91	N	INTERPIANO STIMIP 17	680,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S92	N	INTERPIANO STIMIP 18	863,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S93	N	INTERPIANO STIMIP 19	2883,0	567	0,161	-10,130	22,872	0,90	0,60	20,0	0,909
S94	N	INTERPIANO STIMIP 20	2704,7	567	0,161	-10,130	22,872	0,90	0,60	20,0	0,909
S95	N	INTERPIANO STIMIP 21	2180,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065

S96	N	INTERPIANO STIMIP 22	2030,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S97	N	INTERPIANO STIMIP 23	1830,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S98	N	INTERPIANO STIMIP 24	1680,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S99	N	INTERPIANO STIMIP 25	1630,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	20,0	1,065
S100	N	INTERPIANO STIMIP 26	1380,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S101	N	INTERPIANO STIMIP 27	1180,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S102	N	INTERPIANO STIMIP 28	1060,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S103	N	INTERPIANO STIMIP 29	980,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S104	N	INTERPIANO STIMIP 30	880,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287
S106	N	Travetto stimip 32	730,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S107	N	Pignatta stimip 32	730,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S109	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 34	480,0	674	0,121	-12,939	37,283	0,90	0,60	20,0	1,159
S110	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 35	480,0	674	0,121	-12,939	37,283	0,90	0,60	20,0	1,159
S111	N	INTERPIANO LATEROCEMENTO 36	1073,0	674	0,121	-12,939	37,283	0,90	0,60	20,0	1,159
S114	N	Travetto stimip 33	680,0	1079	0,099	-12,701	39,032	0,90	0,60	20,0	1,509
S115	N	Pignatta stimip 33	680,0	347	0,338	-8,396	36,043	0,90	0,60	20,0	1,191
S117	T	travetto per stimip copertura 26	1450,0	1180	0,052	-14,644	38,215	0,90	0,60	-5,0	1,287
S118	T	pignatta per stimip copertura 26	1450,0	444	0,199	-10,070	34,499	0,90	0,60	-5,0	1,090
S119	T	COPERTURA TIPO STIMIP 26	1450,0	665	0,155	-11,442	35,614	0,90	0,60	-5,0	1,149
S120	T	travetto per stimip copertura 23	1900,0	1180	0,036	-14,787	27,353	0,90	0,60	-5,0	1,068
S121	T	pignatta per stimip copertura 23	1900,0	444	0,151	-10,401	26,774	0,90	0,60	-5,0	0,928
S122	T	COPERTURA TIPO STIMIP 23	1900,0	665	0,117	-11,717	26,948	0,90	0,60	-5,0	0,970
S123	T	travetto per stimip copertura 31	900,0	1180	0,052	-14,644	38,215	0,90	0,60	-5,0	1,287
S124	T	pignatta per stimip copertura 31	900,0	444	0,199	-10,070	34,499	0,90	0,60	-5,0	1,090
S125	T	COPERTURA TIPO STIMIP 31	900,0	554	0,177	-10,756	35,056	0,90	0,60	-5,0	1,119
S126	E	travetto per stimip copertura loc no clim	550,0	1180	0,125	-13,917	89,295	0,90	0,60	-5,0	1,801
S127	E	pignatta per stimip copertura loc no clim	550,0	444	0,343	-8,842	53,452	0,90	0,60	-5,0	1,437
S128	E	COPERTURA TIPO STIMIP, LOC NO CLIM	550,0	665	0,278	-10,364	64,205	0,90	0,60	-5,0	1,546
S129	T	travetto per stimip copertura 33	750,0	1180	0,052	-14,644	38,215	0,90	0,60	-5,0	1,287
S130	T	pignatta per stimip copertura 33	750,0	444	0,199	-10,070	34,499	0,90	0,60	-5,0	1,090
S131	T	COPERTURA TIPO STIMIP 33	750,0	665	0,155	-11,442	35,614	0,90	0,60	-5,0	1,149
S200	N	INTERPIANO STIMIP 31 vs sottotetto - b0.4	830,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	10,0	1,287
S201	N	INTERPIANO STIMIP 32 vs sottotetto - b0.4	730,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	10,0	1,287
S202	N	INTERPIANO STIMIP 33 vs sottotetto - b0.4	680,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	10,0	1,287
S203	N	INTERPIANO STIMIP 26 vs sottotetto - b0.4	1380,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	10,0	1,287
S204	N	INTERPIANO STIMIP 23 vs sottotetto - b0.4	1830,0	567	0,201	-9,964	28,016	0,90	0,60	10,0	1,065
S205	N	INTERPIANO STIMIP 30 vs sottotetto - b0.4	880,0	567	0,267	-9,688	36,940	0,90	0,60	20,0	1,287

4.3.3 - Componenti, chiusure trasparenti verticali:

Nell'edificio sono presenti numerose tipologie di infissi, come descritto nel capitolo precedente. Durante la modellazione sono state inserite tutte le informazioni raccolte in fase di rilievo, come materiale, tipologia di vetro spessori e dimensioni. Per la larghezza dei telai invece, si è adottata un'approssimazione, assumendo che l'area del telaio corrisponda al 20% delle dimensioni totali dell'infisso. Sebbene si tratti di un'approssimazione essa è stata verificata come affidabile. Di seguito, verranno riportate le caratteristiche analizzando un esempio per ciascuna macrocategoria.

▪ Telaio in ferro e vetro monostrato (T)

Descrizione della finestra: FIN 1 220x100

Codice: W77

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	5,650	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	5,143	W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl, n}$	0,850	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c, inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c, est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,839	-



Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w, e}$	5,650	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza		220,0	cm
Altezza H		100,0	cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	7,00	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,000	W/mK
Area totale	A_w	2,200	m ²
Area vetro	A_g	1,600	m ²
Area telaio	A_r	0,600	m ²
Fattore di forma	F_r	0,73	-
Perimetro vetro	L_g	5,600	m
Perimetro telaio	L_r	6,400	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	4,0	1,00	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060

Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	5,650	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

▪ Telaio in ferro e vetro doppio strato (T)

Descrizione della finestra: FIN 11 200x160

Codice: W1103

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 3,947 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 3,073 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ε	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,750	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,737	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w,e}$	3,947	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza	200,0	cm
Altezza H	160,0	cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	7,00	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,020	W/mK
Area totale	A_w	3,200	m ²
Area vetro	A_g	2,520	m ²
Area telaio	A_f	0,680	m ²
Fattore di forma	F_f	0,79	-
Perimetro vetro	L_g	6,400	m
Perimetro telaio	L_f	7,200	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	4,0	1,00	0,004
Intercapedine	-	-	0,127
Secondo vetro	4,0	1,00	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	3,947	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

▪ Telaio in legno e vetro monostrato (T):

Descrizione della finestra: FIN 8 200x270

Codice: W800

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	4,518	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	5,091	W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,839	-

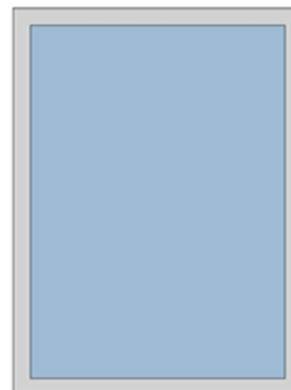
Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,09	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w,e}$	3,734	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza		200,0	cm
Altezza H		270,0	cm



Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	2,20	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,000	W/mK
Area totale	A_w	5,400	m ²
Area vetro	A_g	4,330	m ²
Area telaio	A_f	1,070	m ²
Fattore di forma	F_r	0,80	-
Perimetro vetro	L_g	8,440	m
Perimetro telaio	L_f	9,400	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060

Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	3,734	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

▪ Telaio in legno e vetro doppio strato (T)

Descrizione della finestra: *FIN 7 440x270*

Codice: *W703*

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	<i>Singolo</i>
Classe di permeabilità	<i>Senza classificazione</i>
Trasmittanza termica	U_w 2,802 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 2,821 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,750	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,737	-



Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w,e}$	2,802	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza		440,0	cm
Altezza H		270,0	cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	2,20	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,060	W/mK
Area totale	A_w	11,880	m ²
Area vetro	A_g	10,234	m ²
Area telaio	A_f	1,646	m ²
Fattore di forma	F_r	0,86	-
Perimetro vetro	L_g	13,240	m
Perimetro telaio	L_f	14,200	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	4,0	1,00	0,004
Intercapedine	-	-	0,154
Secondo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	2,802	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

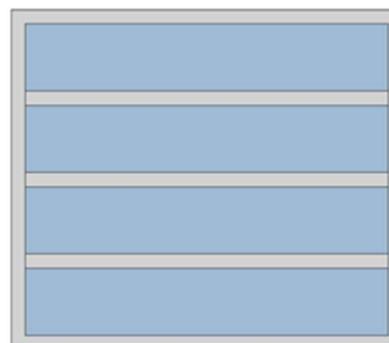
▪ Telaio in alluminio e vetro monostrato (T)

Descrizione della finestra: FIN 9 280x245

Codice: W901

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo		
Classe di permeabilità	Senza classificazione		
Trasmittanza termica	U_w	4,493	W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	5,091	W/m ² K



Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl, n}$	0,850	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,839	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w, e}$	4,493	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza	280,0	cm
Altezza H	245,0	cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	2,80	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,000	W/mK
Area totale	A_w	6,860	m ²
Area vetro	A_g	5,070	m ²
Area telaio	A_f	1,790	m ²
Fattore di forma	F_r	0,74	-
Perimetro vetro	L_g	24,700	m
Perimetro telaio	L_f	10,500	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conducibilità termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	4,493	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

▪ Telaio in alluminio e vetro doppio strato (T)

Descrizione della finestra: FIN 5 300x150

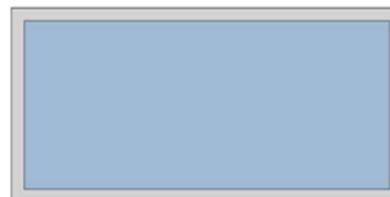
Codice: W505

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 2,763 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 2,574 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl, n}$	0,750	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1,00	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1,00	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,737	-



Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,00	m ² K/W
f shut		0,6	-
Trasmittanza serramento *	$U_{w, e}$	2,763	W/m ² K

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

Dimensioni e caratteristiche del serramento

Larghezza		300,0	cm
Altezza H		150,0	cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	2,80	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,080	W/mK
Area totale	A_w	4,500	m ²
Area vetro	A_g	3,640	m ²
Area telaio	A_r	0,860	m ²
Fattore di forma	F_r	0,81	-
Perimetro vetro	L_g	8,200	m
Perimetro telaio	L_r	9,000	m

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Intercapedine	-	-	0,186
Secondo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conducibilità termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	2,763	W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------	--------------------

I componenti finestrati riportano un valore di trasmittanza medio pari a 5,52 W/m²K. Tali valori equivalgono alla media complessiva di tutti gli infissi presenti nella tabella sottostante, calcolata ponderando le trasmittanze di ciascun componente in base alle rispettive superfici ed

escludendo. In seguito, è riportata la lista completa dei componenti finestrati in cui per ciascun componente sono descritti i seguenti valori:

<i>e</i>	<i>Emissività</i>
<i>ggl, n</i>	<i>Fattore di trasmittanza solare</i>
<i>fc inv</i>	<i>Fattore tendaggi (energia invernale)</i>
<i>fc est</i>	<i>Fattore tendaggi (energia estiva)</i>
<i>gtot</i>	<i>Fattore di trasmissione solare totale</i>
<i>H</i>	<i>Altezza</i>
<i>L</i>	<i>Larghezza</i>
<i>Ug</i>	<i>Trasmittanza vetro</i>
<i>Uw</i>	<i>Trasmittanza serramento</i>
<i>u</i>	<i>Temperatura esterna o temperatura locale adiacente</i>
<i>Agf</i>	<i>Area del vetro</i>
<i>Lgf</i>	<i>Perimetro del vetro</i>

Componenti finestrati:

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	e	ggl,n	fc inv	fc est	g _{est} [-]	H [cm]	L [cm]	Ug [W/m ² K]	Uw [W/m ² K]	u [°C]	Agf [m ²]	Lgf [m]
W1	T	PORTA FIN 1 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,143	5,687	-5,0	3,960	16,200
W2	T	FIN 1 220x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	220,0	5,143	5,562	-5,0	4,600	16,600
W3	T	FIN 1 320x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	320,0	5,143	5,492	-5,0	6,628	10,380
W4	T	FIN 1 62x103	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	103,0	62,0	5,143	5,594	-5,0	0,484	2,900
W5	T	FIN 1 facciata continua vano scala	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	1100,0	350,0	5,143	5,908	-5,0	24,160	467,700
W7	T	FIN 1 80x65	Singolo	0,837	0,850	0,00	0,00	-	65,0	80,0	5,143	5,625	-5,0	0,385	2,500
W8	T	FIN 1 450x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	450,0	5,143	5,504	-5,0	9,245	30,100
W9	T	FIN 1 212x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	212,0	5,143	5,508	-5,0	4,343	8,380
W10	T	FIN 1 216x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	216,0	5,143	5,579	-5,0	4,214	16,060
W11	T	FIN 1 50x50	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	50,0	50,0	5,143	5,812	-5,0	0,160	1,600
W13	T	FIN 1 210x170	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	170,0	210,0	5,143	5,722	-5,0	2,456	6,320
W14	T	FIN 1 90x170	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	170,0	90,0	5,143	6,029	-5,0	0,800	3,920
W15	T	FIN 1 223x222	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	222,0	223,0	5,143	5,462	-5,0	4,101	8,100
W16	T	FIN 1 225x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	225,0	5,143	5,509	-5,0	3,613	7,620
W18	T	FIN 1 225x100	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	225,0	5,143	5,502	-5,0	1,815	5,940
W20	T	FIN 1 450x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	450,0	5,143	5,564	-5,0	7,310	29,200
W22	T	FIN 1 185x100	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	185,0	5,143	5,524	-5,0	1,471	5,140
W23	T	FIN 1 825x655_270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	655,0	825,0	5,143	5,333	-5,0	34,260	25,342
W24	T	FIN 1 205x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	205,0	5,143	5,444	-5,0	4,810	8,900
W25	T	FIN1 320x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	320,0	5,143	5,505	-5,0	5,410	9,560
W26	T	FIN 1 170x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	170,0	5,251	3,784	-5,0	3,920	16,800
W27	T	FIN 1 205x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	205,0	5,143	5,484	-5,0	3,515	7,500
W28	T	PORTA FIN 1 120x320	Singolo	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	120,0	5,143	6,130	-5,0	1,800	7,600
W29	T	PORTA FIN 1 250x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	250,0	5,143	5,700	-5,0	5,600	24,800
W31	T	FIN 1 300x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	300,0	5,143	5,456	-5,0	6,238	10,040
W33	T	FIN 1 288x100 trap inf 1/2	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	288,0	5,143	5,590	-5,0	2,187	19,260
W34	T	FIN 1 412x100 trap sup 1/2	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	220,0	412,0	5,143	5,541	-5,0	5,027	29,603
W35	T	FIN 1 412x100 trap inf 1/2	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	412,0	5,143	5,613	-5,0	3,077	20,840
W36	T	FIN 1 288x100 trap	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	90,5	288,0	5,143	5,733	-5,0	0,889	10,927

W46	T	FIN 1 439x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	439,0	5,143	5,490	-5,0	9,637	29,740
W76	T	FIN 1 207x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	207,0	5,143	5,516	-5,0	4,136	8,180
W77	T	FIN 1 220x100	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	220,0	5,143	5,650	-5,0	1,600	5,600
W78	T	FIN 1 220x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	220,0	5,143	5,505	-5,0	4,430	8,440
W79	T	FIN 1 200x112	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	112,0	200,0	5,143	5,627	-5,0	1,656	5,440
W88	T	FIN 1 250x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	250,0	5,143	5,454	-5,0	4,370	8,400
W131	T	FIN 1 455x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	450,0	5,143	5,489	-5,0	9,890	30,400
W132	T	FIN 1 440x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	440,0	5,143	5,502	-5,0	9,582	12,840
W136	T	FIN 1 440x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	440,0	5,143	5,494	-5,0	9,098	12,620
W137	T	FIN 1 200x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	200,0	5,143	5,636	-5,0	3,746	7,820
W142	T	FIN 1 40x55	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	55,0	40,0	5,143	5,861	-5,0	0,135	1,500
W145	T	FIN 1 450x255	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	255,0	450,0	5,143	5,492	-5,0	9,321	12,820
W146	T	FIN 1 70x70	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	70,0	70,0	5,143	5,636	-5,0	0,360	2,400
W164	T	FIN 1 52x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	52,0	5,143	1,817	-5,0	0,000	0,000
W165	T	FIN 1 350x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	350,0	5,143	5,483	-5,0	7,148	10,880
W171	T	FIN 1 155x140	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	140,0	155,0	5,143	5,480	-5,0	1,777	5,340
W173	T	FIN 1 105x405	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	405,0	105,0	5,143	5,488	-5,0	3,462	9,560
W174	T	FIN 1 285x120	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	285,0	5,143	5,481	-5,0	2,798	7,460
W175	T	FIN 1 195x120	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	195,0	5,143	5,478	-5,0	1,919	5,740
W180	T	FIN 1 120x114	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	114,0	120,0	5,143	5,505	-5,0	1,102	4,200
W186	T	FIN 1 350x202	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	202,0	350,0	5,143	5,502	-5,0	5,702	10,000
W188	T	FIN 1 193x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	193,0	5,143	5,502	-5,0	3,114	7,060
W189	T	FIN 1 150x215	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	215,0	150,0	5,143	5,540	-5,0	2,535	6,500
W191	T	FIN 1 195x120	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	195,0	5,143	5,478	-5,0	1,919	5,740
W192	T	FIN 1 390x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	390,0	5,143	5,506	-5,0	6,588	10,880
W193	T	FIN 1 670x150	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	300,0	670,0	5,143	5,429	-5,0	11,336	16,711
W195	T	FIN 1 200x150	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,143	5,483	-5,0	2,941	6,952
W200	T	FIN 1 700x100 trap	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	700,0	5,143	5,461	-5,0	12,180	43,307
W208	T	FIN 1 50x140	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	140,0	50,0	5,143	5,621	-5,0	0,520	3,400
W209	T	FIN 1 100x130	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	130,0	100,0	5,143	5,457	-5,0	1,080	4,200
W213	T	FIN 1 180x170	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	170,0	180,0	5,143	5,506	-5,0	2,462	6,280
W214	T	FIN 1 112x155	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	155,0	112,0	5,143	5,552	-5,0	1,354	4,740
W215	T	FIN 1 150x155	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	155,0	150,0	5,143	5,491	-5,0	1,889	5,500
W216	T	FIN 1 340x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	340,0	5,143	5,508	-5,0	5,464	9,760
W217	T	FIN 1 300x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	300,0	5,143	5,497	-5,0	4,858	9,040

W218	T	FIN 1 570x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	570,0	5,143	5,505	-5,0	9,180	14,200
W219	T	FIN 1 276x170	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	170,0	276,0	5,143	5,637	-5,0	3,444	7,720
W220	T	FIN 1 40x220	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	220,0	40,0	5,143	5,671	-5,0	0,630	4,800
W221	T	FIN 1 440x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	440,0	5,143	5,490	-5,0	9,660	29,800
W224	T	FIN 1 60x170	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	170,0	60,0	5,143	5,466	-5,0	0,842	4,280
W251	T	FIN 2 246x290	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	246,0	5,091	5,534	-5,0	3,968	8,000
W252	T	FIN 2 447x290	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	290,0	430,0	5,091	5,468	-5,0	10,008	12,960
W253	T	FIN 2 440x230	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	230,0	440,0	5,091	3,009	-5,0	0,000	0,000
W254	T	FIN 2 440x245	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	245,0	440,0	5,091	5,549	-5,0	8,190	37,500
W256	T	FIN 2 200x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,091	5,479	-5,0	3,346	7,320
W257	T	FIN 2 450x390	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	390,0	440,0	5,091	5,459	-5,0	13,850	14,920
W258	T	FIN 2 200x210 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,091	3,016	-5,0	0,000	0,000
W259	T	FIN 2 440x220 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	220,0	435,0	5,091	1,371	-5,0	0,000	0,000
W260	T	FIN 2 440x220	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	220,0	435,0	5,091	5,465	-5,0	7,695	11,900
W261	T	FIN 2 260x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	260,0	5,143	5,439	-5,0	5,902	9,720
W262	T	FIN 2 440x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	440,0	5,091	5,481	-5,0	9,454	12,760
W264	T	FIN 2 440x390	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	390,0	440,0	5,091	5,459	-5,0	13,850	14,920
W265	T	FIN 2 430x390	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	390,0	430,0	5,091	5,463	-5,0	13,502	14,720
W270	T	Porta vetrata corridoio Tipo 2	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	230,0	200,0	5,091	5,360	-5,0	5,670	18,000
W280	T	FIN 2 410x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	410,0	5,091	5,458	-5,0	6,952	11,280
W281	T	FIN 2 430x200	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	200,0	425,0	5,091	5,466	-5,0	6,828	11,380
W282	T	FIN 2 250x195	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	195,0	250,0	5,091	5,455	-5,0	3,944	8,020
W298	T	FIN 2 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,091	5,464	-5,0	4,506	8,640
W300	T	FIN 3 440x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	440,0	5,014	5,398	-5,0	9,582	12,840
W301	T	FIN 3 220x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	220,0	5,014	5,388	-5,0	4,822	8,840
W302	T	FIN 3 430x310	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	310,0	430,0	5,014	5,412	-5,0	10,662	13,280
W303	T	FIN 3 500x140	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	140,0	500,0	5,014	5,400	-5,0	5,640	11,920
W304	T	FIN 3 250x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	250,0	5,014	5,392	-5,0	5,466	9,360
W305	T	FIN 3 218x273	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	273,0	218,0	5,014	5,418	-5,0	4,742	8,780
W306	T	FIN 3 430x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	430,0	5,014	5,402	-5,0	9,346	12,640
W308	T	FIN 3 200x230	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	230,0	200,0	5,014	5,402	-5,0	3,702	7,720
W331	T	FIN 3 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,014	5,402	-5,0	4,506	8,640
W332	T	FACCIATA CONT 3 365x725	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	725,0	365,0	5,014	5,547	-5,0	19,367	68,600
W333	E	FIN 3 torre 540x120	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	540,0	5,014	5,570	-5,0	4,666	17,400
W334	T	PORTA FIN 3 100x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	100,0	5,014	5,406	-5,0	1,686	5,640

W335	T	PORT FIN 3 90x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	90,0	5,014	5,377	-5,0	1,544	5,520
W336	T	PORT FIN 3 140x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	140,0	5,014	5,375	-5,0	2,406	6,360
W400	T	FIN 4 195x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	195,0	5,014	5,413	-5,0	4,207	8,340
W401	T	FIN 4 200x230	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	230,0	200,0	5,014	5,402	-5,0	3,702	7,720
W402	T	FIN 4 250x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	250,0	5,014	5,364	-5,0	5,560	9,440
W501	T	FIN 5 480x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	480,0	2,574	2,894	-5,0	5,386	24,240
W502	T	FIN 5 200x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	200,0	2,574	2,760	-5,0	3,346	7,320
W504	T	PORTA FIN 5 300x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	300,0	2,574	2,868	-5,0	4,437	20,720
W505	T	FIN 5 300x150	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	150,0	300,0	2,574	2,763	-5,0	3,640	8,200
W506	T	PORTA FIN 5 280x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	273,0	2,574	2,878	-5,0	3,929	19,640
W507	T	PORTA FIN 5 200x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	200,0	2,574	2,869	-5,0	2,933	13,760
W600	T	FIN 6 100x30 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	30,0	100,0	5,143	2,080	-5,0	0,000	0,000
W601	T	FIN 6 210x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	210,0	5,143	4,583	-5,0	4,762	8,840
W602	T	FIN 6 210x280 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	210,0	5,143	2,038	-5,0	0,000	0,000
W603	T	FIN 6 340x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	340,0	5,143	2,043	-5,0	0,000	0,000
W604	T	FIN 6 200x100 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	200,0	5,143	2,040	-5,0	0,000	0,000
W605	T	FIN 6 36x57 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	57,0	36,0	5,143	2,081	-5,0	0,000	0,000
W606	T	FIN 6 200x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,143	4,545	-5,0	3,346	7,320
W607	T	FIN 6 180x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	180,0	5,143	4,513	-5,0	2,970	6,920
W608	T	FIN 6 210x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	210,0	5,143	4,559	-5,0	3,534	7,520
W609	T	FIN 6 200x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	200,0	5,143	2,050	-5,0	0,000	0,000
W610	T	FIN 6 125x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	125,0	5,143	2,060	-5,0	0,000	0,000
W611	T	FIN 6 90x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	90,0	5,143	2,037	-5,0	0,000	0,000
W614	T	FIN 6 235x120 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	120,0	235,0	5,143	2,024	-5,0	0,000	0,000
W616	T	FIN 6 200x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	200,0	5,143	4,401	-5,0	3,740	7,800
W617	T	FIN 6 200x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	200,0	5,143	4,560	-5,0	4,330	8,440
W618	T	FIN 6 200x270 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	200,0	5,143	2,040	-5,0	0,000	0,000
W620	T	FIN 6 100x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	100,0	5,143	4,255	-5,0	1,466	5,320
W701	T	FIN 7 80x280	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	80,0	2,821	2,726	-5,0	1,310	6,080
W702	T	FIN 7 200x210 OP	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	200,0	2,821	2,800	-5,0	3,346	7,320
W703	T	FIN 7 440x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	440,0	2,821	2,802	-5,0	10,234	13,240
W705	T	FIN 7 100x280	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	100,0	2,821	2,742	-5,0	1,814	6,480
W706	T	FIN 7 200x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	200,0	2,821	2,792	-5,0	4,330	8,440
W707	T	FIN 7 430x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	430,0	2,821	2,766	-5,0	9,346	12,640
W709	T	FIN 7 200x280 OP	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	200,0	2,821	2,430	-5,0	0,000	0,000
W711	T	FIN 7 210x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	210,0	2,821	2,793	-5,0	4,576	8,640

W712	T	FIN 7 200x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	200,0	2,821	2,800	-5,0	3,346	7,320
W713	T	FIN 7 400x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	400,0	2,821	2,771	-5,0	8,758	12,120
W714	T	FIN 7 200x280	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	200,0	2,821	2,751	-5,0	4,166	8,320
W716	T	FIN 7 370x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	370,0	2,821	2,770	-5,0	8,044	11,520
W717	T	FIN 7 200x270 OP	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	200,0	2,821	2,436	-5,0	0,000	0,000
W720	T	FIN 7 90x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	90,0	2,821	2,861	-5,0	1,946	6,640
W800	T	FIN 8 200x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	200,0	5,091	4,518	-5,0	4,330	8,440
W802	T	FIN 8 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,091	4,526	-5,0	4,506	8,640
W806	T	FIN 8 200x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	200,0	5,091	4,518	-5,0	4,330	8,440
W807	T	FIN 8 200x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,091	4,453	-5,0	3,274	7,240
W809	T	FIN 8 315x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	315,0	5,091	4,524	-5,0	5,318	9,460
W810	T	FIN 8 200x280 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,091	2,039	-5,0	0,000	0,000
W811	T	FIN 8 370x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	370,0	5,091	4,539	-5,0	8,382	11,720
W900	T	FIN 9 145x245	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	245,0	145,0	5,091	4,372	-5,0	2,438	13,900
W901	T	FIN 9 280x245	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	245,0	280,0	5,091	4,493	-5,0	5,070	24,700
W902	T	FIN 9 440x245	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	245,0	440,0	5,091	4,620	-5,0	8,567	12,340
W903	T	FIN 9 370x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	370,0	5,091	4,635	-5,0	6,224	10,480
W904	T	FIN 9 440x220	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	220,0	435,0	5,091	4,642	-5,0	7,695	11,900
W905	T	FIN 9 440x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	440,0	5,091	4,648	-5,0	9,582	12,840
W906	T	FIN 9 370x50	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	50,0	370,0	5,091	4,248	-5,0	1,170	8,240
W907	T	FIN 9 180x50	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	50,0	180,0	5,091	4,639	-5,0	0,722	4,280
W908	T	FIN 9 210x50	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	50,0	210,0	5,091	4,651	-5,0	0,848	4,880
W999	T	FIN 1 250x270	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	270,0	250,0	5,143	5,418	-5,0	5,750	9,600
W1000	T	FIN 10 200x280 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,197	2,039	-5,0	0,000	0,000
W1001	T	FIN 10 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,197	4,611	-5,0	4,506	8,640
W1002	T	FIN 10 200x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	200,0	5,197	4,611	-5,0	4,506	8,640
W1003	T	FIN 10 100x100	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	100,0	100,0	5,197	4,627	-5,0	0,810	3,600
W1004	T	FIN 10 200x210	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	210,0	200,0	5,197	4,588	-5,0	3,346	7,320
W1005	T	FIN 10 80x280 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	80,0	5,197	2,037	-5,0	0,000	0,000
W1006	T	FIN 10 100x280 OP	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	100,0	5,197	2,037	-5,0	0,000	0,000
W1007	T	FIN 10 100x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	100,0	5,197	4,648	-5,0	2,288	7,040
W1008	T	FIN 10 200x250	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	250,0	200,0	5,197	4,632	-5,0	4,058	8,120
W1009	T	FIN 10 80x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	80,0	5,197	4,638	-5,0	1,822	6,720
W1102	T	FIN 11 46x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	46,0	3,073	4,220	-5,0	0,540	3,720
W1103	T	FIN 11 200x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	200,0	3,073	3,947	-5,0	2,520	6,400
W1104	T	FIN 11 135x240	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	240,0	135,0	3,073	3,894	-5,0	2,597	6,780

W1105	T	FIN 11 140x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	140,0	3,073	3,530	-5,0	3,380	7,800
W1106	T	FIN 11 96x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	96,0	3,073	3,763	-5,0	1,290	4,720
W1107	T	FIN 11 95x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	95,0	3,073	3,887	-5,0	1,228	4,620
W1108	T	FIN 11 210x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	210,0	3,073	3,431	-5,0	5,200	9,200
W1110	T	FIN 11 135x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	135,0	3,073	3,642	-5,0	1,875	5,500
W1113	T	FIN 11 77x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	77,0	3,073	3,867	-5,0	1,005	4,340
W1114	T	FIN 11 90x160	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	160,0	90,0	3,073	3,791	-5,0	1,200	4,600
W1200	T	FIN 12 200x200	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	200,0	200,0	2,574	2,761	-5,0	3,240	7,200
W1300	T	PORTA FIN 13 240x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	240,0	5,091	6,125	-5,0	3,520	7,600
W1301	T	PORTA FIN 13 200x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	200,0	5,091	6,141	-5,0	2,880	6,800
W1302	T	PORTA FIN 13 420x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	420,0	5,091	6,148	-5,0	6,000	11,000
W1303	T	PORTA FIN 13 133x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	133,0	5,091	6,189	-5,0	1,808	5,460
W1304	T	PORTA FIN 13 280x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	280,0	5,091	6,114	-5,0	4,160	8,400
W1316	T	PORTA FIN 13 410x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	410,0	5,091	6,092	-5,0	6,240	11,000
W1320	T	PORTA FIN INGRESSO	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	430,0	900,0	4,940	5,293	-5,0	31,080	24,200
W1400	T	FIN 14 140x70	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	70,0	140,0	2,692	2,799	-5,0	0,670	3,560
W1401	T	FIN 14 132x132	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	132,0	132,0	2,692	2,770	-5,0	1,346	4,640
W1403	T	FIN 14 200x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	200,0	2,692	2,749	-5,0	3,346	7,320
W1404	T	FIN 14 200x132	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	132,0	200,0	2,692	2,758	-5,0	2,134	6,000
W1405	T	FIN 14 132x132 vano scala	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	132,0	132,0	2,692	2,770	-5,0	1,346	4,640
W1407	T	FIN 14 144x132	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	132,0	144,0	2,692	2,767	-5,0	1,485	4,880
W1410	T	FIN 14 116x132	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	132,0	116,0	2,692	2,775	-5,0	1,160	4,320
W1411	T	PORTA FIN 14 80x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	80,0	2,692	2,807	-5,0	0,930	5,560
W1412	T	FIN 14 395x110	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	110,0	395,0	2,692	2,759	-5,0	3,375	9,300
W1413	T	FIN 14 180x225	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	225,0	175,0	2,692	2,750	-5,0	3,178	7,200
W1414	T	FIN 14 196x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	185,0	2,692	2,780	-5,0	2,970	10,200
W1415	T	FIN 14 200x200	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	200,0	200,0	2,692	2,750	-5,0	3,168	7,120
W1416	T	FIN 14 200x150	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	150,0	200,0	2,692	2,757	-5,0	2,340	6,200
W1417	T	PORTA FIN 14 200x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	200,0	2,692	2,761	-5,0	4,590	12,200
W1418	T	FIN 14 135x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	135,0	2,692	2,758	-5,0	2,246	6,180
W1421	T	PORTA FIN 14 120x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	120,0	2,692	2,789	-5,0	1,800	7,600
W1422	T	FIN 14 75x130	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	130,0	75,0	2,692	2,794	-5,0	0,708	3,540
W1423	T	FIN 14 150x200	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	200,0	150,0	2,692	2,757	-5,0	2,340	6,200
W1426	T	PORTA FIN 14 150x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	150,0	2,692	2,795	-5,0	2,047	9,900
W1427	T	PORTA FIN 14 110x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	110,0	2,692	2,788	-5,0	1,575	7,100
W1428	T	FIN 14 115x290	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	290,0	115,0	2,692	2,761	-5,0	2,565	7,300
W1429	T	FIN 14 655x290	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	290,0	655,0	2,692	2,726	-5,0	16,250	17,700
W1430	T	FIN 14 195x320	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	320,0	195,0	2,692	2,747	-5,0	4,785	9,100
W1431	T	FIN 14 145x280	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	145,0	2,692	2,752	-5,0	3,250	7,700
W1432	T	FIN 14 215x280	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	280,0	215,0	2,692	2,744	-5,0	4,801	8,860
W1433	T	FIN 14 255x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	255,0	2,692	2,746	-5,0	4,214	8,260
W1434	T	FIN 14 245x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	245,0	2,692	2,747	-5,0	4,030	8,060
W1435	T	FIN 14 360x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	360,0	2,692	2,742	-5,0	5,940	10,200
W1436	T	FIN 14 160x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	160,0	2,692	2,754	-5,0	2,660	6,600
W1440	T	PORTA FIN 14 100x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	100,0	2,692	2,832	-5,0	1,096	9,280
W1441	T	FIN 14 130x100	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	100,0	130,0	2,692	2,779	-5,0	0,998	4,040
W1442	T	FIN 14 180x275	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	275,0	180,0	2,692	2,745	-5,0	4,080	8,300
W1443	T	FIN 14 160x275	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	275,0	150,0	2,692	2,751	-5,0	3,315	7,700
W1444	T	FIN 14 350x210	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	210,0	350,0	2,692	2,779	-5,0	4,880	18,600
W1445	T	PORTA FIN 14 477x355	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	355,0	470,0	2,692	2,803	-5,0	1,575	10,600
W1500	T	FIN 1/5 237x255	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	255,0	237,0	2,548	2,763	-5,0	4,920	8,880
W1501	T	FIN 1/5 270x255	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	255,0	270,0	2,548	2,752	-5,0	5,683	9,540
W1503	T	FIN 1/5 125x270 senza mont dx	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	140,0	2,548	2,854	-5,0	2,990	7,400
W1505	T	FIN 1/5 125x270 senza mont sx	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	140,0	2,548	2,854	-5,0	2,990	7,400
W1506	T	FIN 1/5 428x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	255,0	430,0	2,548	2,772	-5,0	8,815	12,500
W1507	T	FIN 1/5 430x255	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	255,0	430,0	2,548	2,766	-5,0	8,815	12,740
W1508	T	FIN 1/5 461x270	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	255,0	461,0	2,548	2,768	-5,0	9,481	13,120
W1510	T	FIN 3/3 365x270	Singolo	0,837	0,750	1,00	1,00	-	270,0	365,0	4,798	5,560	-5,0	7,935	25,300
W1511	T	FIN 5/3 500x140	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	140,0	500,0	2,516	2,857	-5,0	4,800	11,920
W1512	T	FIN 5/3 100x230 senza montante sx	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	230,0	90,0	2,516	2,855	-5,0	1,642	5,840
W1515	T	FIN 11/5 200x207	Doppio	0,837	0,750	1,00	1,00	-	207,0	200,0	2,172	2,197	-5,0	3,221	7,180
W1516	T	VETRATA ENT. 65x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	65,0	5,039	5,393	-5,0	1,705	7,300
W1517	T	VETRATA ENT. 73x280	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	280,0	73,0	5,039	5,368	-5,0	1,701	6,660
W1518	T	VETRATA CONT. ENT. 112x665	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	665,0	112,0	5,039	5,241	-5,0	6,681	15,140
W1519	T	VETRATA CONT. ENT. 92x665	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	665,0	92,0	5,039	5,279	-5,0	5,371	14,740
W1520	T	PORTA FIN 160x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	160,0	5,039	5,392	-5,0	4,200	8,800
W1521	T	FIN 15 100x150	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	150,0	100,0	5,039	5,641	-5,0	1,040	4,200
W1522	T	FIN 15 275x150	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	150,0	270,0	5,039	5,535	-5,0	3,026	7,360
W1600	T	PORTA FIN 343x320	Singolo	0,837	0,850	1,00	1,00	-	320,0	343,0	4,940	5,062	-5,0	10,323	12,860

4.3.4 – Confronto con trasmittanze limite

In conclusione, dopo aver analizzato i componenti dell'involucro e le loro caratteristiche, è interessante confrontare le trasmittanze medie risultate dalla modellazione con i valori massime ammissibili delle trasmittanze riportati dall'ultimo aggiornamento del "Decreto Requisiti Minimi" del 2015 per la zona climatica E di cui fa parte la città di Bologna (Fig.38). Il Decreto Requisiti Minimi del 26 Giugno 2015 è stato redatto in attuazione del D.Lgs 192/2005 in riferimento alla prestazione energetica degli edifici. Tale Decreto specifica i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici di nuova costruzione e per i vari livelli di ristrutturazione. In particolare, introduce tra i vari punti, l'edificio di riferimento, ovvero un modello virtuale identico a quello reale in termini di geometria, orientamento, ubicazione, destinazione d'uso e condizioni al contorno e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati.

(15)

Componente	U di progetto [W/m ² K]	U limite [W/m ² K]
Chiusure opache vert.	1,375	0,28
Chiusure opache oriz.	1,63	0,24
Chiusure trasparenti	6,1	1,4

Figura 38 - Trasmittanze limite dei componenti secondo Decreto Requisiti Minimi 2015

4.4 – Creazione Zone e locali

Una fase fondamentale è la suddivisione dei locali climatizzati e non interni all'edificio e l'attribuzione di essi alle zone termiche, questa fase è essenziale per ottenere dei risultati accurati per quanto riguarda il comportamento energetico dell'edificio. Un locale rappresenta un singolo ambiente con caratteristiche omogenee al suo interno in termini di utilizzo e condizioni termiche. La zona termica rappresenta l'insieme di locali con caratteristiche energetiche simili aventi stesse esigenze termiche. Nel software ogni locale è caratterizzato dalle condizioni al contorno che influiscono notevolmente sulle dispersioni e sugli apporti. Infatti, le dispersioni termiche rappresentano un fattore incisivo sull'analisi dei risultati che riguardando il comportamento di un edificio, esse possono avvenire per:

- Trasmissione attraverso le superfici opache o trasparenti e verso locali adiacenti con temperature diverse.

$$\Phi_t = \sum_i (U_i \cdot A_i \cdot \Delta T)$$

- Ventilazione.

$$\Phi_t = \frac{V \cdot n \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600}$$

Il volume moltiplicato per il coefficiente n di ricambio d'aria rappresenta il $q_{ve.0_p.H}$ ovvero, la portata volumetrica di ventilazione nel periodo H, indicando quanta aria viene ricambiata per ventilazione o infiltrazioni presenti negli infissi in un'ora.

Quindi ogni elemento che costituisce il locale crea una condizione tale da influenzare sui locali vicini e sull'edificio interno (Eq.1). Ad ogni singolo locale non vengono solo attribuite le dispersioni ma anche gli apporti interni; perciò, il software permette di attribuire ai locali, secondo la UNI10339, la categoria di edificio e la sottocategoria.

$$(Eq. 1) \quad \Phi_{int} = \Phi_{solare} + \Phi_{persone} + \Phi_{apparecchiature}$$

In questo caso studio, come anticipato nel paragrafo iniziale, si è attribuita la categoria E.7 “Edifici adibiti ad attività scolastiche” mentre come sottocategorie sono state utilizzate:

- Servizi (locali tecnici e bagni);
- Sale insegnati;
- Laboratori;
- Aule universitarie.

Successivamente si sono associati i locali dell'edificio in zone termiche secondo le destinazioni d'uso come in figura:

Nr.	Cat. DPR 412	Descrizione	Sup. netta [m ²]	Vol. lordo [m ³]	Sup. lorda [m ²]	S / V [m ⁻¹]
1	E.7	Attività didattiche	13483,37	66593,77	19617,91	0,29
2	E.7	Biblioteca	528,07	2746,84	810,44	0,30
3	E.7	Uffici	10552,59	61543,39	12621,79	0,21
4	E.7	Servizi	2438,98	13773,19	3181,38	0,23
5	E.7	Ristoro	583,53	2673,22	526,72	0,20

Figura 39 - Suddivisione zone termiche

Tale attribuzione, oltre a dividere i risultati per zone e locali, permette al software di calcolare le prestazioni del locale tenendo in considerazione l'indice di affollamento e la portata d'aria esterna. Inoltre, influisce sul calcolo della potenza termica necessaria per mantenere le condizioni di comfort. La potenza termica, infatti, dipende anch'essa da dispersioni per trasmissione dei componenti, per ventilazione e apporti (Eq.2).

$$(Eq. 2) \quad \Phi = \sum_i (U_i \cdot A_i \cdot \Delta T) + \frac{V \cdot n \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600}$$

Dove:

U_i = trasmittanza termica dell'elemento disperdente i [W/m^2K]

A_i = superficie dell'elemento disperdente i [m^2]

ΔT = differenza di temperatura tra interno ed esterno [K]

V = volume del locale [m^3]

n = ricambi d'aria orari [h^{-1}]

ρ = densità dell'aria (circa $1.2 \text{ kg}/m^3$)

C_p = calore specifico dell'aria (circa $1005 \text{ J}/\text{kgK}$)

Sui dati del locale e della zona sono presenti tutte le informazioni inserite in precedenza nella scheda dati generali, da cui il software esegue i suoi calcoli delle temperature, del comportamento dell'aria, delle geometrie e dei comportamenti termici come riportato in seguito (Fig.41), stessa cosa per le zone (Fig.42).

The screenshot displays a software interface for entering local data. The window title is "Attività didattiche - 129 - Locale". The interface is divided into several sections:

- Località:** "Locale 129", "Descrizione Locale", "Calcolo I+E".
- Tabella:** "Data locale", "Strutture disperdenti", "Illuminazione", "Profilo orario", "EC701 Dati CAM", "EC706 Dati potenza estiva".
- Geometria:** "Altezza netta" (3,35 m), "Volume netto" (37,89 m³).
- Temperature interne:** "Potenza invernale" (20,0 °C), "Energia invernale" (20,0 °C), "Energia estiva" (26,0 °C).
- Apporti interni aggiuntivi:** "Energia invernale" (0,0 W), "Energia estiva" (0,0 W).
- Ventilazione:** "Ventilazione" (Naturale), "Metodo di calcolo" (Calcolo portate secondo UNI 10339), "Categoria edificio" (Edifici adibiti ad attività scolastiche), "Sottocategoria" (Servizi), "Indice di affollamento" (-1,00 pers / m²), "fve,t" (0,08).
- Portate di aria esterna di riferimento:** "Potenza invernale" (303,12 m³/h), "Energia invernale" (24,25 m³/h), "Energia estiva" (24,25 m³/h).
- Calcolo orario:** "Portata d'aria" (24,25 m³/h).

Figura 40 - Schermata dati locale esempio

Zona 1 Descrizione Attività didattiche

Dati zona | Illuminazione | Profilo orario

Categoria DPR 412/93 E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli ed assimilabili.

Apporti interni 4,00 W/m²

Numero di appartamenti 1

Caratteristiche dimensionali (**rendi modificabile**)

Superficie in pianta	netta	13483,37	lorda	15042,44	m ²
Volume	netto	47620,56	lordo	66593,77	m ³
Superficie esterna lorda		38331,50			m ² (con strutture tipo N)
Superficie esterna lorda		19617,91			m ² (senza strutture tipo N)
Superficie esterna lorda		19617,91			m ² (con strutture tipo A)
Rapporto S/V		0,29			m ⁻¹

Capacità termica areica

Capacità termica 2253427 kJ/K

Superficie totale 36237,14 m²

Dati potenza invernale

Fattore di ripresa fRH 23 W/m²

Rendimento recuperatore nr 0,00

Figura 41 - Schermata dati zona termica esempio

4.5 – Inserimento ombreggiamenti

Per analizzare realisticamente il comportamento energetico di un edificio, è essenziale valutare gli apporti termici derivanti dalla radiazione solare sui componenti opachi e trasparenti dell'involucro edilizio durante le stagioni. La quantità di radiazione solare proiettata su una superficie dipende da diversi fattori, come la località climatica, la morfologia del territorio, l'orientamento e l'inclinazione della superficie stessa. Durante la fase di modellazione dell'edificio, quindi, è essenziale considerare anche la presenza di ombreggiamenti dovuti a edifici vicini ed alberi. Nel modello sono stati inseriti gli alberi attorno all'edificio e gli edifici presenti nelle vicinanze con le loro corrette dimensioni. Per quantificare l'irraggiamento che colpisce una determinata superficie, è necessario distinguere tre componenti della radiazione solare:

- Radiazione diretta: la porzione di radiazione solare che raggiunge direttamente la superficie con un unico angolo incidente, senza subire riflessioni o dispersioni.
- Radiazione diffusa: la quota di radiazione che, attraversando l'atmosfera, viene diffusa in più direzioni (scattering) prima di raggiungere la superficie.

- Radiazione riflessa (albedo): la frazione di radiazione diretta e diffusa che viene riflessa dal terreno o da altre superfici circostanti e incide sulla superficie considerata.

Le condizioni di soleggiamento e ombreggiamento possono essere analizzate attraverso il diagramma solare, uno strumento che permette di determinare l'altezza del sole, l'azimut e il percorso solare specifico per qualsiasi località in qualsiasi momento. Avendo note tali informazioni il software calcola l'irraggiamento effettivo al netto degli ostacoli che ricevono i componenti dell'involucro e quindi gli apporti solari. Le normative tecniche relative all'efficienza energetica degli edifici, come la UNI/TS 11300 e la EN ISO 13790 per il calcolo del fabbisogno energetico invernale, e la UNI 10375 per l'analisi in regime non stazionario della temperatura interna durante il periodo estivo, introducono il fattore di ombreggiamento come parametro di riduzione della radiazione solare incidente. Questo fattore tiene conto della presenza di elementi schermanti esterni, quali aggetti, bande verticali o schermi misti, ed è definito come il rapporto tra la radiazione solare totale (diretta, diffusa e riflessa) che incide sulla superficie vetrata in presenza di ombreggiamenti e quella che inciderebbe in loro assenza. Con F_0 (Eq.3) viene calcolata la percentuale di irraggiamento che arriva effettivamente sulla finestra considerando gli ombreggiamenti. (16)

$$(Eq. 3) \quad F_0 = (F_{S_{dir}} \cdot I_{dir} \cdot A + F_{S_{diff}} \cdot I_{diff} \cdot A + I_{rifl} \cdot A) / (A \cdot (I_{dir} + I_{diff} + I_{rifl}))$$

dove:

$F_{S_{dir}}$ = fattore ombreggiamento relativo alla radiazione diretta dache dipende dall'area dell'infisso esposto al sole

$F_{S_{diff}}$ = fattore ombreggiamento relativo alla radiazione diffusa dato dalla % di volta celeste vista dalla finestra

A = area della finestra (m^2)

I_{dir} = radiazione diretta incidente sulla superficie (W/m^2)

I_{diff} = radiazione diffusa incidente sulla superficie (W/m^2)

I_{rifl} = radiazione riflessa incidente sulla superficie (W/m^2)

4.6 – Risultati grafici modello energetico

Nelle viste sottostanti sono riportate le planimetrie del modello energetico realizzato (Fig.43-44-45-46-47). Inoltre, è possibile individuare le diverse tipologie costruttive e il loro impatto dal punto di vista termico (Fig.49-51). È particolarmente interessante come l'edificio più recente risulti interamente evidenziato in giallo, ciò significa che è costituito da componenti con una trasmittanza più elevata. Questo risultato non è dovuto a errori di modellazione, ma evidenzia il diverso approccio costruttivo adottato negli anni '70, senza un approccio che

mirasse all'efficienza termica. Infatti, la struttura in cemento armato presenta valori di trasmittanza significativamente più alti rispetto all'edificio principale, realizzato negli anni '30 con un sistema a telaio in cemento armato e tamponature in laterizio a doppia parete, che nonostante sia una costruzione più datata evidenzia un interessamento alla questione termica risultando avere un involucro con prestazioni termiche migliori.



Figura 42 - Input grafico, piano interrato



Figura 43 - Input grafico, piano terra



Figura 44 - Input grafico, piano primo



Figura 45 - Input grafico, piano secondo

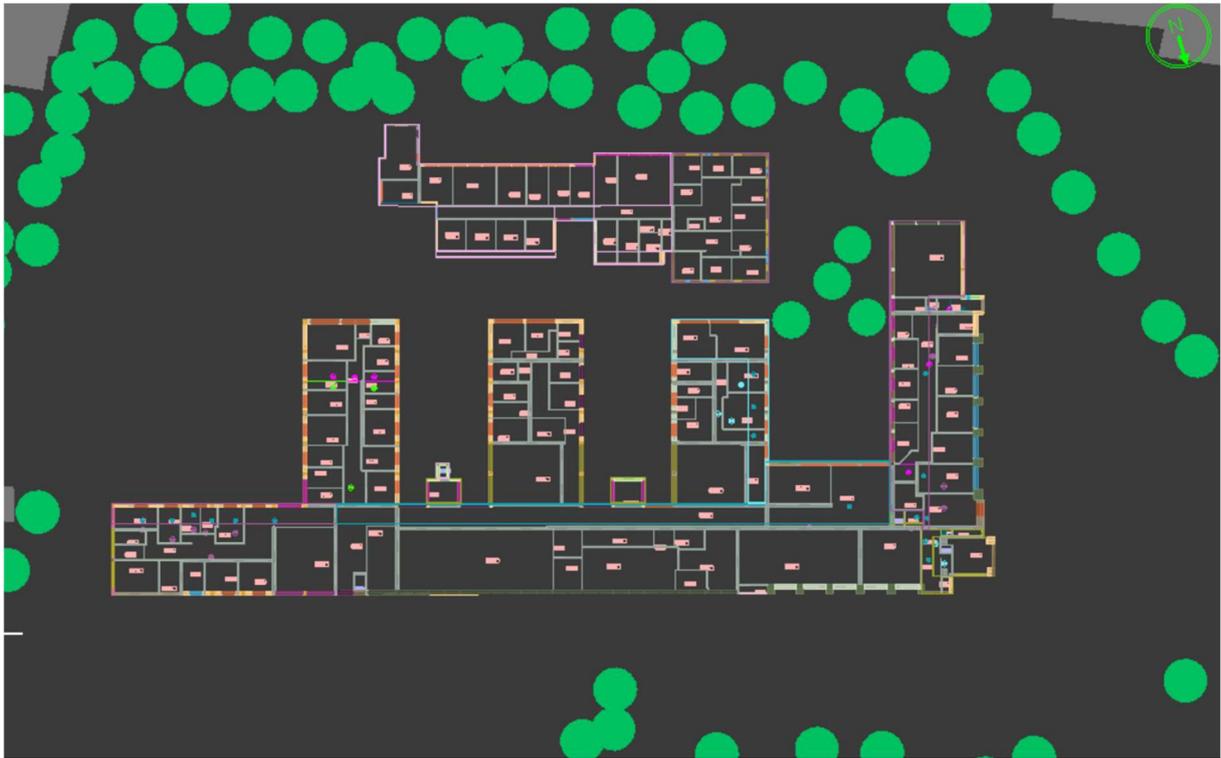


Figura 46 - Input grafico, piano terzo

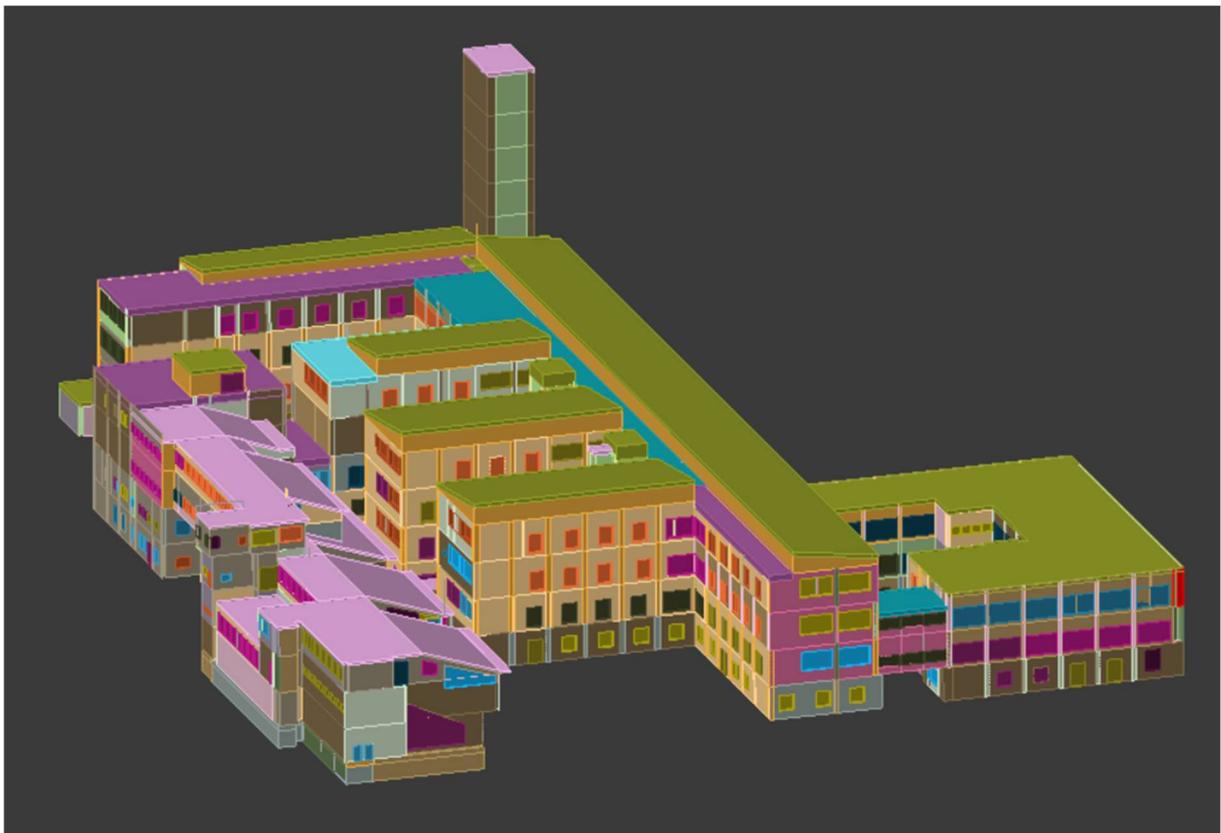


Figura 47 – Modello 3D vista sud-est

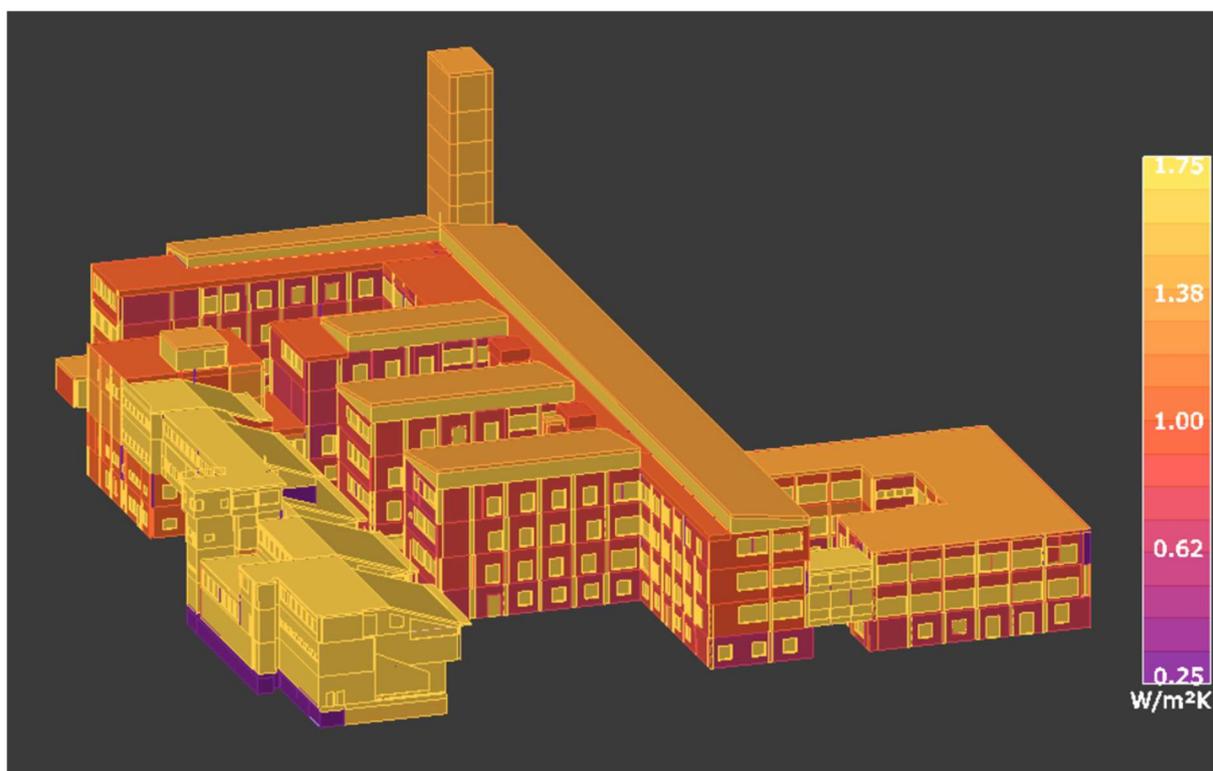


Figura 48 - Vista termografica sud-est

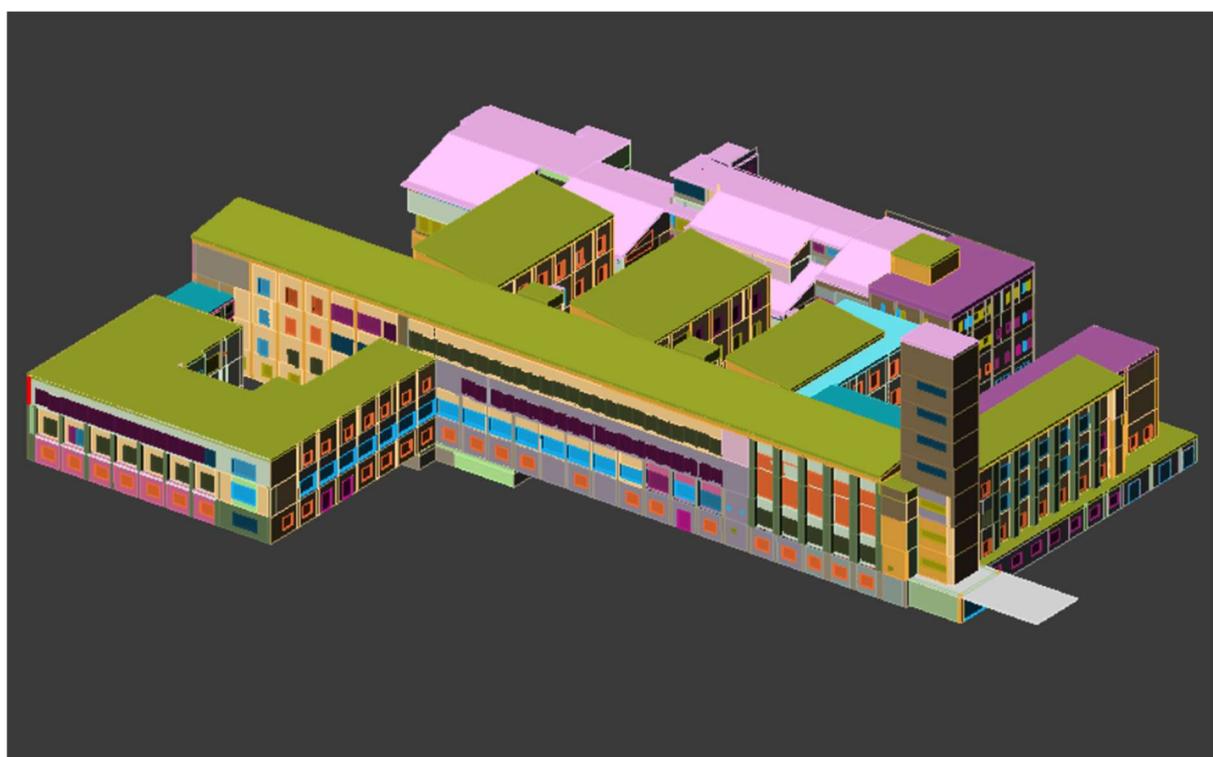


Figura 49 - Modello 3D vista nord-ovest

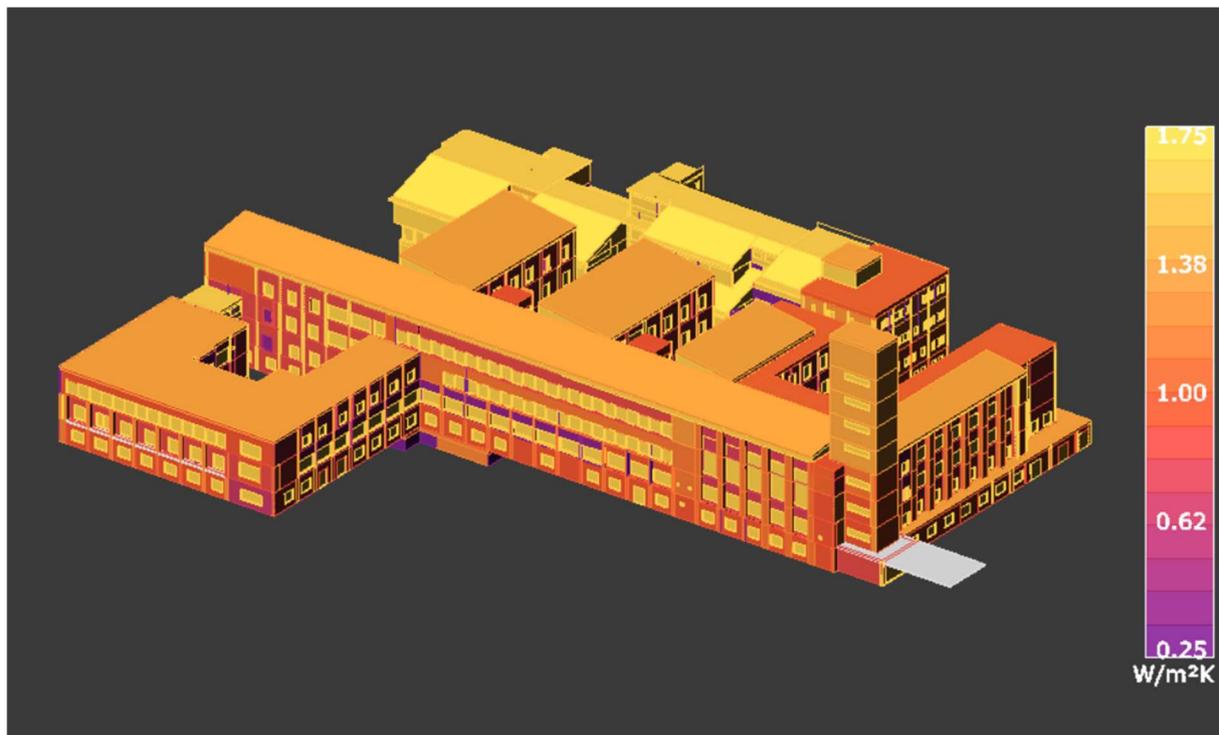


Figura 50 - Vista termografica nord-ovest

Dal punto di vista degli apporti solari, l'edificio risulta essere orientato non in maniera ottimale in quanto le facciate principali con le aule più frequentate sono poste verso nord con il sole durante l'arco dell'anno non incide mai con apporti significativi. Inoltre, il lato sud è coperto da fitta vegetazione ed edifici di grosse dimensioni che in inverno non permettono un adeguato irraggiamento solare, a questo si aggiunge anche una forma geometrica a pettine in cui ogni pettine apporta le sue ombre sul resto dell'edificio (Fig.52). Nella stagione estiva il sole essendo più alto irraggia in modo incisivo tutto la zona retrostante dell'edificio provocando surriscaldamento degli ambienti interni soprattutto ai piani più elevati (Fig.53).

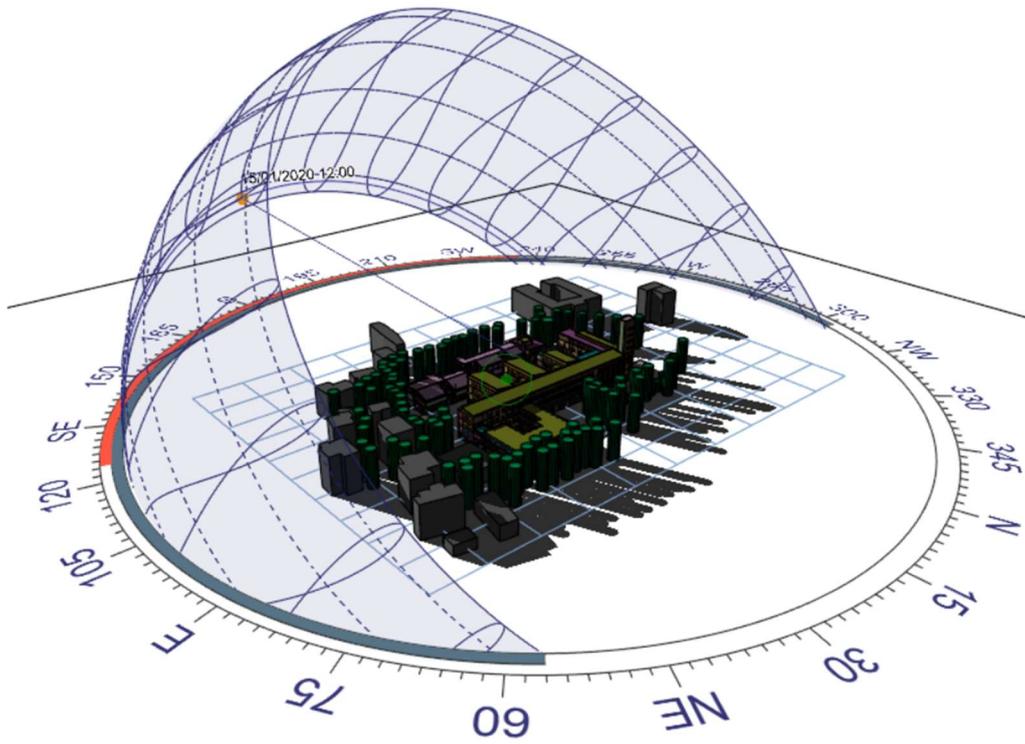


Figura 51 - Condizione solare in data 15 Gennaio ore 12:00

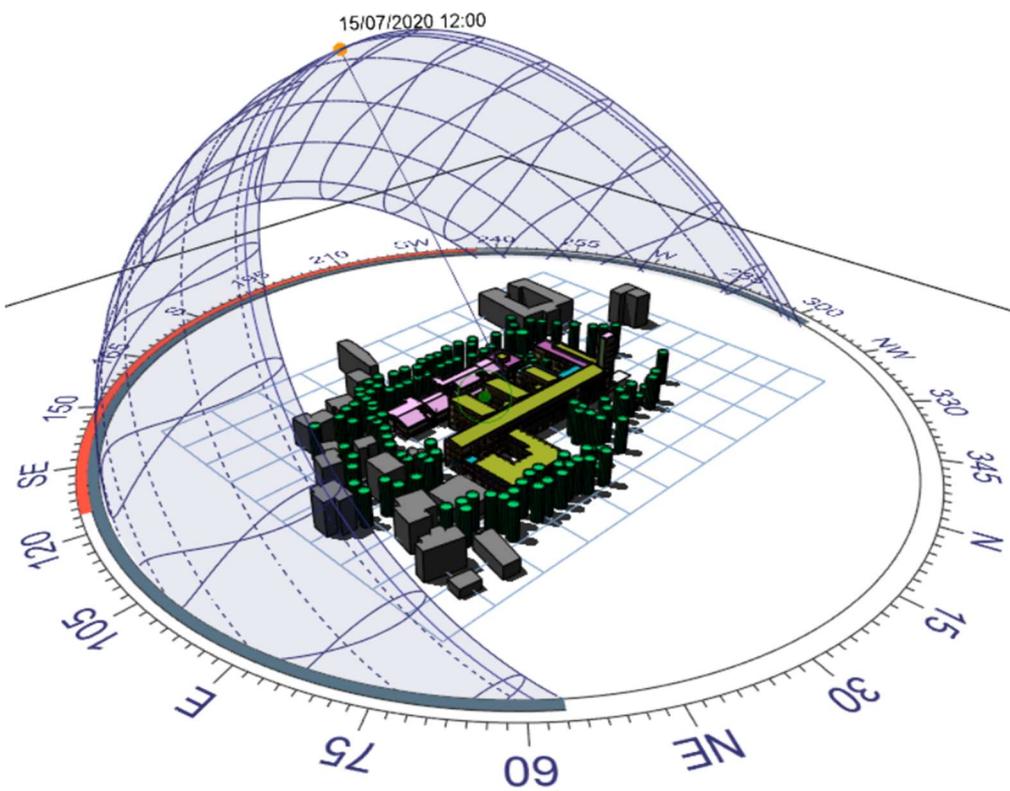


Figura 52 - Condizione solare in data 15 Luglio ore 12:00

5 – MODELLAZIONE PONTI TERMICI

5.1 – Fondamenti teorici del ponte termico

Per procedere alla corretta valutazione delle prestazioni energetiche di un edificio e più in particolare del suo involucro, è fondamentale considerare attentamente il contributo dei ponti termici. Per poter eseguire un calcolo corretto è fondamentale capire definizione e caratteristiche, che in seguito verranno analizzate. Il calore fluisce da un corpo a temperatura maggiore a uno con temperatura minore per il secondo principio della termodinamica. Questo comportamento influisce notevolmente nelle prestazioni degli edifici, più in particolare nel comportamento dell'involucro edilizio; perciò, è necessario analizzare e calcolare in che modo il flusso termico attraversa i componenti dell'involucro. Il calore fluisce lungo la direzione perpendicolare alle facce dei muri esterni in maniera omogenea (cioè, con la stessa densità in ogni punto) e continua (con differenza di temperatura interno-esterno costante) per cui le isoterme che sono le linee che uniscono i punti alla medesima temperatura, seguono un andamento sempre ortogonale alla direzione del flusso e saranno parallele tra loro ed equidistanti dalle facce esterne del muro (Fig.54). Se la parete fosse composta da sole pareti continue omogenee e rettilinee la situazione sarebbe semplice, con un flusso lineare indisturbato chiamato monodimensionale. Gli edifici sappiamo che non presentano queste situazioni per via forme diversificate, elementi con spessori e materiali differenti, interruzioni con pilastri e travi, aperture per contenere finestre, presenza di cornicioni, balconi spigoli e quant'altro. Pertanto, non possiamo definire gli edifici omogenei in tutti i suoi punti però è facilmente immaginabile che l'andamento del flusso termico e delle isoterme possano essere disturbate da queste discontinuità. Man mano che ci si avvicina alla discontinuità l'andamento del flusso termico subisce una distorsione perdendo linearità, incurvandosi e aumentando la sua densità. In tal modo in corrispondenza delle discontinuità l'isoterma non segue in modo continuo ma essendoci temperature differenti varia il suo andamento. (17)

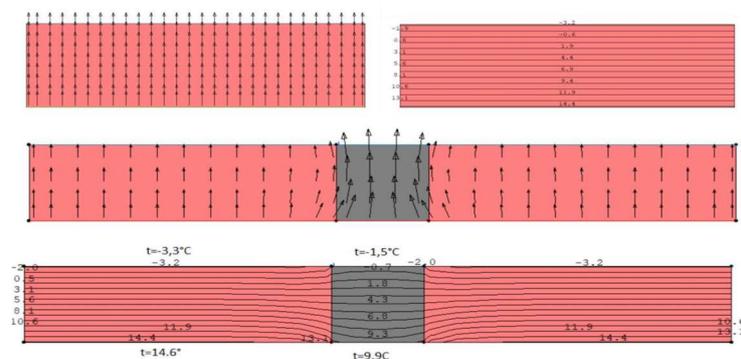


Figura 53 - Differenze andamento del flusso termico tra parete omogenea e parete con discontinuità, fonte: Sergio Pesaresi, "Ponti termici: valutazione e correzione. Calcolo, verifica e strategia per la correzione" 2022, Maggioli. P.19-20-22

Questo fenomeno è causato dal cosiddetto ponte termico, associabile alla presenza di ogni discontinuità, materica e geometrica, presente nell'involucro. Il ponte termico è importante analizzarlo e correggerlo in quanto le conseguenze non sono trascurabili, incidendo sul comfort abitativo, sull'ambiente e sui consumi, le principali cause sono:

- Diminuzione della salubrità degli ambienti: in corrispondenza dei ponti termici può presentarsi condensa superficiale andando a peggiorare il comfort abitativo;
- Rischio igienico-sanitario e biologico: la bassa temperatura superficiale in corrispondenza della discontinuità, se protratta per un lungo periodo, può causare un ambiente umido facilitando la creazione di muffe, mettendo quindi in pericolo la salute delle persone;
- Diminuzione del comfort abitativo: la bassa temperatura superficiale in corrispondenza del ponte termico crea situazioni di malessere, in quanto il nostro corpo percepisce le differenze di temperatura tra i punti freddi dell'involucro e l'aria dell'ambiente;
- Aumento della perdita di calore: il raffreddamento della superficie interna in corrispondenza del ponte termico causa un aumento del fabbisogno energetico necessario al riscaldamento dell'ambiente, aumentando spreco energetico, costi e inquinamento ambientale.

A questo punto, si può dire che l'obiettivo dell'analisi è verificare numericamente (nel caso di edifici già esistenti), che nell'involucro dell'edificio non si determini una temperatura superficiale inferiore a quella critica (17°) dovuta ai ponti termici presenti. (17)

5.1.1 – Caratteristiche fisiche del ponte termico

Il trasferimento del calore, come già descritto si attiva ogni qualvolta si è in presenza di due corpi che hanno temperature differenti e può avvenire secondo tre meccanismi:

- Conduzione termica: trasferimento energia cinetica dalle molecole poste in zone a temperatura maggiore verso altre molecole poste in zone a temperatura minore per via dei loro moti di vibrazione e senza spostamento delle molecole stesse;
- Convezione termica: quando uno dei due corpi a temperatura diversa è fluido in movimento e viene a contatto con un corpo a temperatura diversa, varia la propria densità determinando moti convettivi che scaldano raffreddano il fluido;
- Irraggiamento termico: si innesca attraverso la radiazione elettromagnetica emessa dalla superficie di un corpo verso un corpo a temperatura inferiore, il trasferimento avviene

senza alcun contatto tra i due corpi e senza alcun mezzo di propagazione della radiazione (può avvenire anche nel vuoto).

Approfondendo il meccanismo per trasmissione di calore per conduzione possiamo scrivere l'equazione di trasferimento per conduzione (equazione di Fourier, Eq.4):

$$(Eq. 4) \quad \frac{Q}{t} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

Dove:

Q = quantità di calore trasferita [J]

t = tempo in secondi [s]

λ = conduttività del materiale di cui è composto lo strato [W/mK]

ΔT = differenza di temperatura tra le due pareti [K°] o [C°]

d = spessore dello strato [m]

A = superficie della parete [m²]

Quindi si può definire Q/t come la quantità di calore trasferita nel tempo t che equivale a q , ovvero il flusso di energia specifico nell'unità di tempo detto flusso di calore [W] (Eq.5).

Riscrivendo la formula si avrà:

$$(Eq. 5) \quad q = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \quad [\text{W}]$$

d/λ è una grandezza riconducibile alla resistenza al passaggio del flusso di calore; quindi, tale rapporto si definisce come resistenza termica, andando a sostituire si ottiene:

$$(Eq. 6) \quad q = A \cdot \frac{\Delta T}{R}$$

Infine, definendo la trasmittanza come l'inverso della resistenza si può definire tale grandezza come:

$$(Eq. 7) \quad U = 1 / R \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Ovvero il flusso di calore che in condizioni stazionarie attraversa 1 m² di strato che separa due ambienti con differenza di temperatura pari a 1 K. A questo punto possiamo riformulare la funzione di Fourier (Eq.8), trovando il flusso di calore totale q che, in regime stazionario, per convezione e irraggiamento sulle superfici e per conduzione interna, attraversa uno strato:

$$(Eq. 8) \quad q = A \cdot \frac{\Delta T}{R} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [W]$$

(17)

Si definisce quindi ponte termico, la porzione di involucro di un edificio in cui si presenta una deviazione del flusso termico e, quindi, dell'andamento delle isoterme, con conseguente modifica della temperatura superficiale interna e della portata termica, andando a decadere le ipotesi di flusso termico monodimensionale in regime stazionario. Si è in presenza di ponte termico quando si riscontra una modifica della temperatura superficiale interna o del flusso termico (Fig.55). Le ipotesi su cui si basano queste definizioni sono le seguenti:

- Trasmissione di calore in regime stazionario (la differenza di temperatura rimane costante nel tempo);
- I materiali sono continui, uniformi e isotropi;
- Non ci sono sorgenti di calore all'interno del componente edilizio.

Si può affermare quindi, che un ponte termico si presenta quando incontra:

- Compenetrazione totale o parziale di materiali aventi diversa conduttività;
- Variazione di spessore;
- In corrispondenza di angoli fra elementi costruttivi.

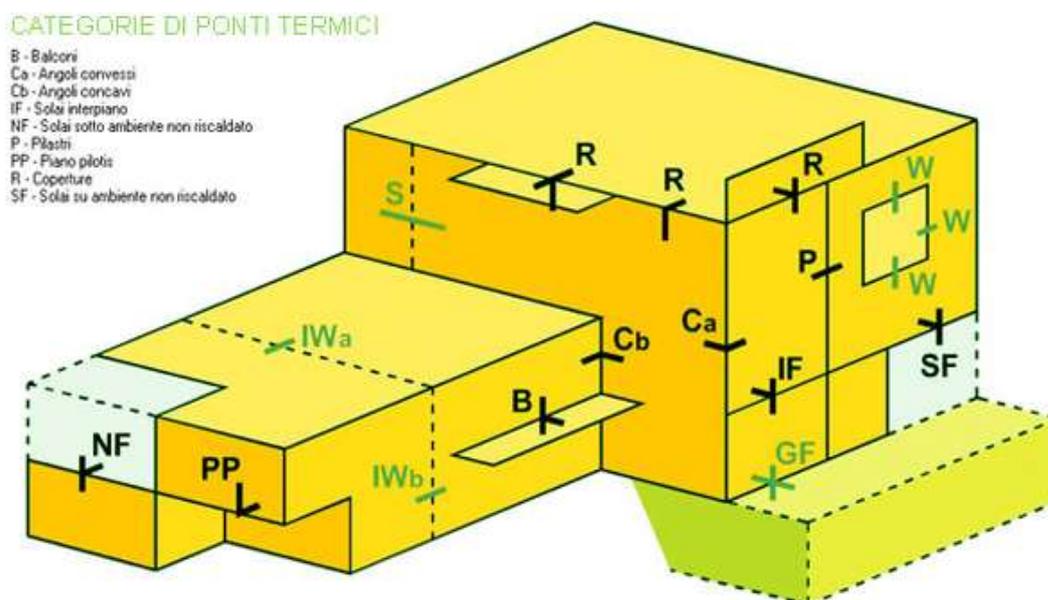


Figura 54 - Categorie di ponti termici, Fonte: <https://www.architetturaecosostenibile.it/normative/leggi-decreti/calcolo-ponti-termici-uni-338>

Qt oltre a rappresentare le perdite calore attraverso l'involucro (per trasmissione), è anche il termine che contiene l'apporto (in questo caso perdita energetica) determinato dalla presenza di ponti termici, quindi ripartendo dalla legge di Fourier:

$$\begin{aligned} Q_t &= U \cdot A \cdot \Delta T \quad [\text{W}] \\ \text{(Eq. 9)} \quad Q_t &= U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad [\text{Wh}] \end{aligned}$$

Se la si applica non più ad una parete omogenea ma alla dispersione di calore che generata dal ponte termico presente nella parete si ha che:

$$\begin{aligned} Q_t &= \sum_i U_i \cdot A_i \cdot \Delta T \cdot t \quad [\text{Wh}] \\ \text{(Eq. 10)} \quad Q_t &= H_t \cdot \Delta T \cdot t \quad [\text{Wh}] \end{aligned}$$

Con H_t coefficiente di dispersione per trasmissione equivalente a:

$$\text{(Eq. 11)} \quad H_t = \sum U_m \cdot A_m + \sum U_W \cdot A_W + \sum \psi_i \cdot L_i + \sum X$$

Dove:

$U_m \cdot A_m$ = dispersioni attraverso i componenti opachi;

$U_W \cdot A_W$ = dispersioni attraverso infissi e serramenti;

$\psi_i \cdot L_i$ = dispersioni attraverso ponti termici lineari;

X = dispersioni attraverso ponti termici puntuali.

Riscrivendo la formula nel seguente modo:

$$\text{(Eq. 12)} \quad H_t = \sum_i U_i \cdot A_i + \sum \psi_j \cdot L_j$$

$$\text{(Eq. 13)} \quad Q_t = \frac{H_t \cdot 24 \cdot GG}{1000} = 0,024 H_t GG \quad [\text{kWh/anno}]$$

5.1.2 – Parametri ψ e L_{2D}

I software di calcolo schematizzano l'involucro modellato come $\sum_i U_i \cdot A_i$, ovvero come se fosse una semplice superficie piana senza alcun riferimento ai ponti termici. L'utente deve quindi individuare tali punti critici analizzandoli con software dedicati (o abachi) per ricavare la seconda parte della formula ψ , che poi verrà moltiplicato per la loro estensione L , infine

inserire tali valori nel software di modellazione e calcolo energetico ottenendo così Ht come nella fig. 56.

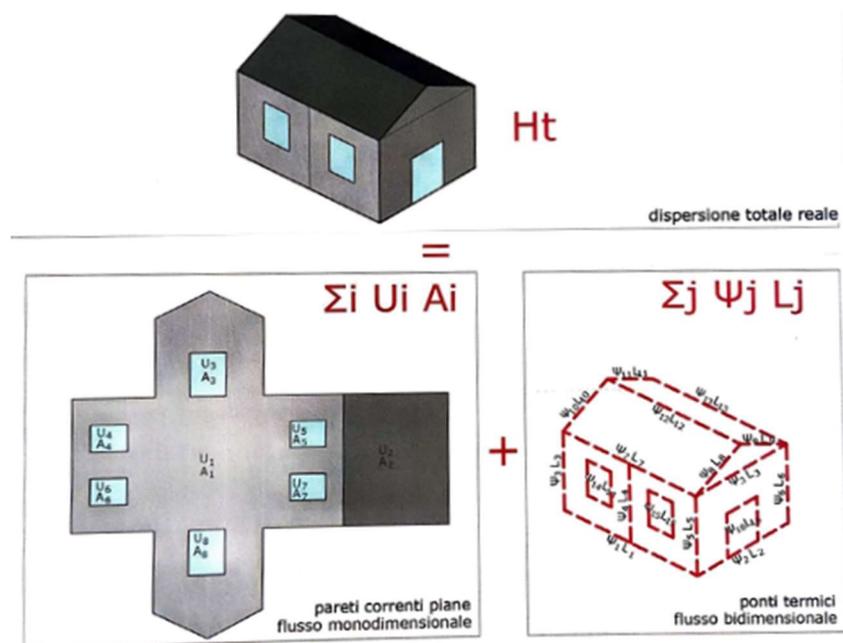


Figura 55 - Coefficiente di dispersione per trasmissione Ht fonte: Sergio Pesaresi, “Ponti termici: valutazione e correzione. Calcolo, verifica e strategia per la correzione” 2022, Maggioli. P.87

Per ottenere ψ si analizza il comportamento del ponte termico per una fascia di altezza unitaria, di conseguenza non si parlerà di area A ma di una superficie di base moltiplicata per un'altezza unitaria, ovvero $L \cdot 1$, quindi L (Fig.57). Tramite software di calcolo agli elementi finiti è possibile calcolare la dispersione di calore effettiva che avviene nell'area limitata a flusso bidimensionale (Eq.14). Tale dispersione è chiamata L_{2D} , “coefficiente d'accoppiamento termico”:

$$(Eq. 14) \quad L_{2D} = \sum U_i \cdot L_i + \psi \quad [W/mK]$$

Questa formula tiene in considerazione il calore che passa attraverso la parete corrente sia l'incremento del flusso derivato dal ponte termico ψ (Eq.15). Avendo, come noto, il coefficiente d'accoppiamento bidimensionale fornito dal software e avendo noto il flusso che attraversa la parete, è possibile ricavare l'incremento di flusso causato dal ponte termico:

$$(Eq. 15) \quad \psi = L_{2D} - \sum U \cdot L \quad [W/mK]$$

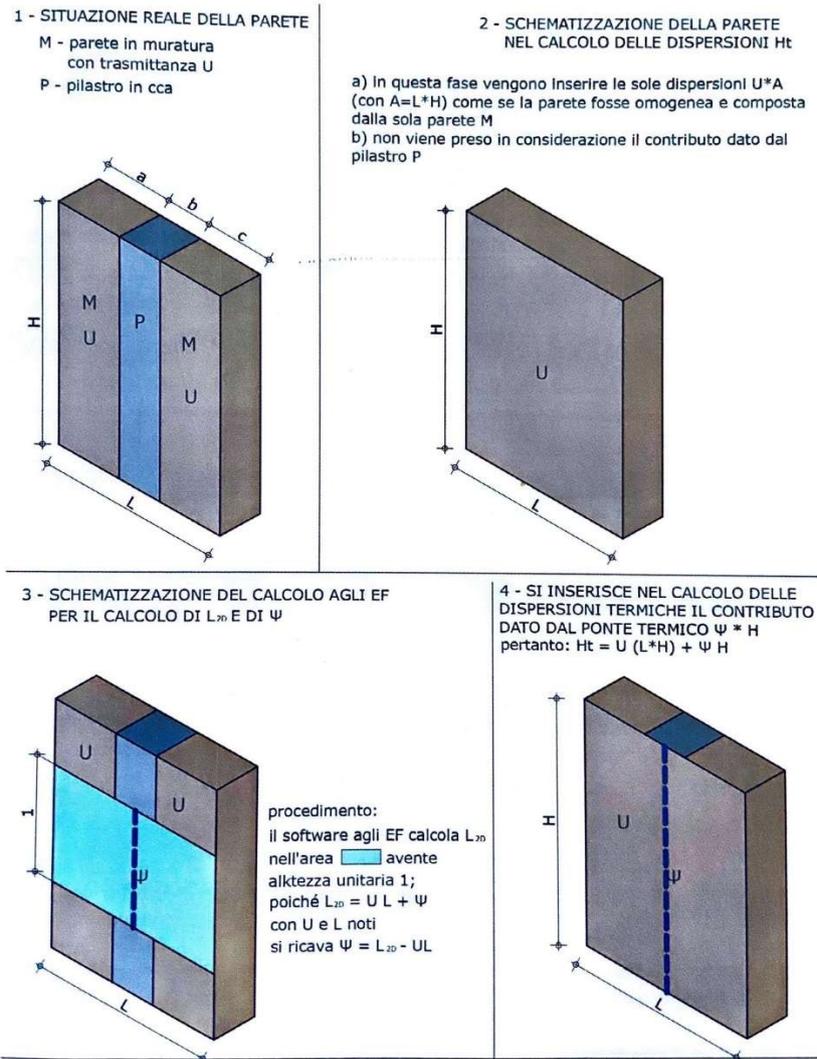


Figura 56 – Esempio schematizzazione procedimento per il calcolo del coeff. di trasmittanza lineica

Tale coefficiente è detto “Coefficiente di trasmittanza lineica” o anche “Ponte termico lineare” e rappresenta il contributo dato dal ponte termico alla dispersione termica per trasmissione (H_t). Il coefficiente di trasmittanza lineica non possiede significati dal punto di vista fisico ma rappresenta solamente un rimedio numerico volto a rendere realistico il calcolo delle dispersioni dell’edificio o dell’elemento. Rappresenta un rapporto di reciprocità, in quanto, più è grande la differenza tra la resistenza R della sezione e la R del ponte termico, maggiore sarà il suo valore. Riassumendo, è un parametro che descrive l’influenza del ponte termico lineare sul flusso termico totale.

(17)

5.2 – Normativa di riferimento

Per la loro caratterizzazione esistono diverse metodologie. La norma europea UNI EN ISO 14683:2018 è la norma di riferimento per la progettazione e il calcolo dei ponti termici. Tale norma, chiamata “*Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento*”, al capitolo 6.4 descrive 4 metodologie per il calcolo dei ponti termici assegnando ad essi un grado di incertezza:

- calcolo numerico agli Elementi Finiti, svolto secondo la norma UNI EN ISO 10211 – incertezza sul valore $\Psi \pm 5\%$;
- atlanti dei ponti termici, con riferimento alla UNI EN ISO 14683 – incertezza sul valore $\Psi \pm 20\%$;
- metodi di calcolo manuale conformi alla UNI EN ISO 14683 – incertezza sul valore $\Psi \pm 20\%$;
- utilizzo dei valori standard riportati nell’appendice A della norma stessa – incertezza sul valore $\Psi 0\% \div 50\%$.

Secondo il punto 11.1.3 della norma, il contributo dato dal ponte termico alla dispersione termica per trasmissione deve essere calcolato in conformità al punto 5 della UNI EN ISO 14683:2008. In caso di valutazione preliminare di un nuovo edificio il valore della trasmittanza termica lineare può essere calcolato solamente mediante calcolo numerico conforme alla UNI EN ISO 10211 o con atlanti conformi alla UNI EN ISO 14683. Nel caso di edifici esistenti, come nel presente caso studio, la valutazione dei ponti termici va calcolata sempre con il calcolo numerico agli elementi finiti conforme alla UNI EN ISO 10211 con l’atlante dei ponti termici conformi alla UNI EN ISO 14683, ma in tal caso è ammesso anche l’utilizzo di metodi di calcolo manuali conformi alla UNI EN ISO 14683. Rimane sempre vietato il calcolo tramite valori standard di trasmittanza termica lineare ricavati dall’allegato A della UNI EN ISO 14683:2008, ora allegato C nella versione 2018. (18)

La norma UNI EN ISO 14683:2018 definisce il ponte termico come “*parte dell’involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto della compenetrazione totale o parziale di materiale con conduttività termica diversa nell’involucro edilizio e/o la variazione dello spessore della costruzione e/o la differenza tra l’area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno, come avviene in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto*”.

Il calcolo agli elementi finiti conforme alla UNI EN ISO 14683:2018 è l'approccio utilizzato per il caso studio in oggetto. È il metodo più efficace per il calcolo dei ponti termici, l'unico ammesso che dia temperature superficiali dei nodi calcolandone con precisione il coefficiente di trasmittanza termica lineica Ψ . È un metodo più lungo in quanto richiede l'inserimento di dati geometrici e dimensionali dei materiali e delle condizioni al contorno attraverso l'uso di software specifici. Ciò significa che la reale stratigrafia degli elementi che delimitano il ponte termico, deve essere schematizzata con elementi omogenei o ipotizzabili tali come prestazioni e materiali. La norma UNI EN ISO 10211 consente e definisce le regole per determinare il flusso termico totale disperso da un edificio suddividendolo in più sezioni. Ciascuna di queste sezioni può essere soggetta a flussi termici monodimensionali o tridimensionali, grazie all'impiego di piani di taglio adiabatici, ovvero superfici ideali attraverso le quali il flusso di calore è nullo. La norma stabilisce che la lunghezza minima di ciascun lato del nodo debba corrispondere al valore maggiore tra 1 m e tre volte lo spessore dell'elemento dell'involucro edilizio interessato. Questo dato garantisce che il campo su cui il ponte termico calcolato agisce, alterando le prestazioni termiche, sia correttamente dimensionato, evitando di sottostimare la superficie di influenza e di conseguenza il flusso termico che lo attraversa. (19)

Secondo quanto definito nella norma UNI EN ISO 10211, *“le procedure numeriche forniscono soluzioni approssimate che convergono alla soluzione analitica, se esistente. Per potere giudicare l'affidabilità dei risultati dovrebbe essere stimato l'errore residuo”*. Per fare questo, il programma discretizza lo schema del nodo costruttivo in una serie di elementi (celle o nodi), realizzando una mesh poligonale. Maggiore è il numero delle celle più la soluzione del metodo converge alla soluzione analitica, se una soluzione esiste. La norma UNI EN ISO 10211 definisce inoltre i criteri per definire la stima dell'errore dovuto ad un insufficiente numero di celle: *“Il numero di suddivisioni deve essere determinato come segue: la somma dei valori assoluti di tutti i flussi termici che entrano nell'oggetto considerato è calcolata due volte, per n nodi (o celle) e per $2n$ nodi (o celle). La differenza tra questi due risultati non deve essere maggiore dell'1%. Se ciò non succede occorre aumentare il numero di suddivisioni fino a che il criterio non è soddisfatto. Se la tecnica di soluzione adottata è iterativa, le iterazioni devono proseguire finché la somma di tutti i flussi termici (positivi o negativi) entranti nell'oggetto, divisa per la metà della somma dei valori assoluti dei medesimi flussi termici, è minore di 0,0001”*. (19)

5.3 – Modellazione ponte termico infisso W77-muro M230 agli elementi finiti

5.3.1 – Descrizione superficie disperdente in oggetto

Il ponte termico all'interno dell'edificio risorgimento che si andranno a calcolare in seguito agli elementi finiti sarà quello composto dall'infisso e parete e il pilastro che separa la sequenza di tali infissi. In particolare, è stato scelto l'infisso presente nelle aule in pendenza rivolte a nord presenti nell'edificio secondario in cemento armato (Fig.58-59). Tale scelta ci permette di valutare l'intera facciata di tutte le aule essendo costruite nel medesimo modo ed avendo il medesimo tipo di infisso. Inoltre, essendo a facciata rivolta a nord e facendo parte di aule con alto tasso di frequentazione, è parso subito un ponte termico di significativa importanza.

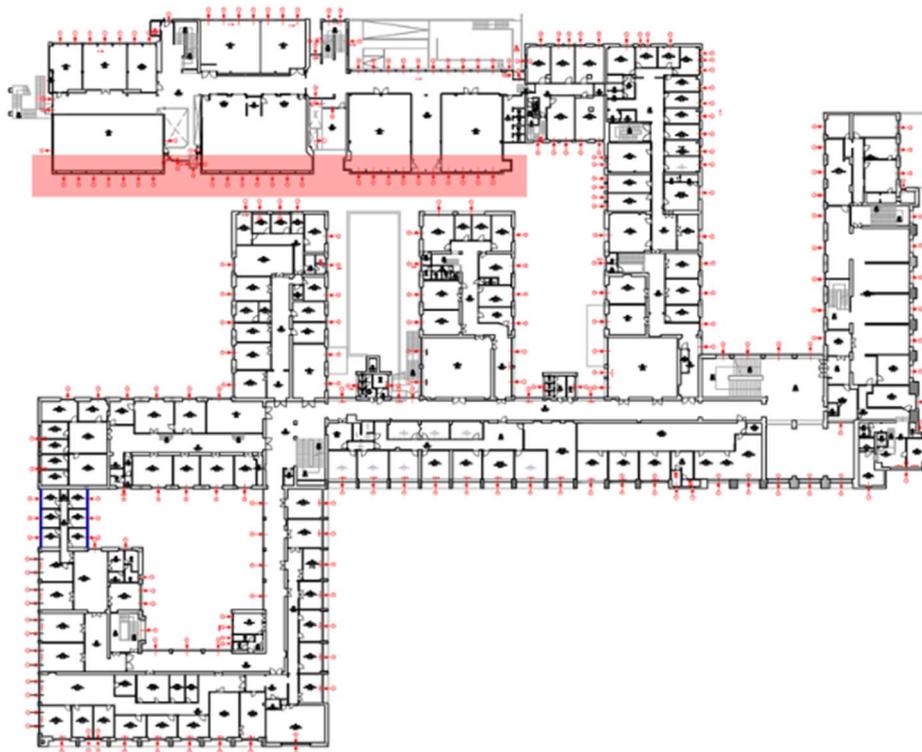


Figura 57 – Indicazione posizione ponte termico su planimetria con maschera in rosso

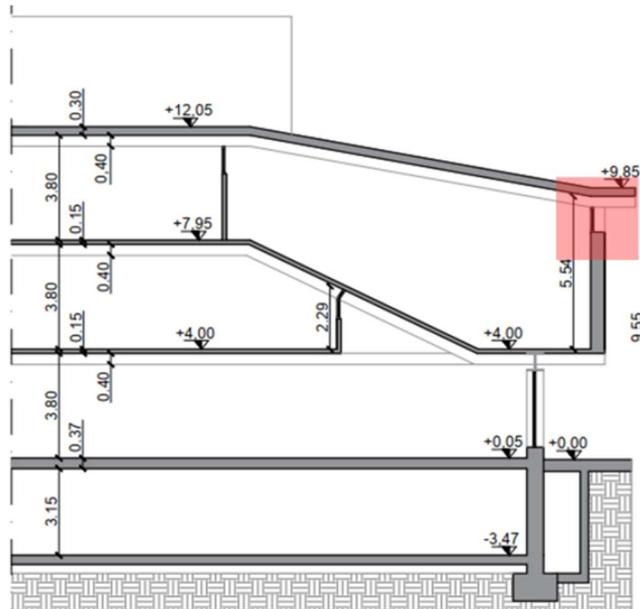


Figura 58 - Indicazione posizione ponte termico su sezione



Figura 59 – Foto zona ponte termico

Sul modello energetico la superficie è rappresentata dal componente M230 (muro), in cui al paragrafo 5.3.1 ne sono descritte caratteristiche fisiche e termiche che verranno brevemente riportate in seguito:

Muri:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m ² K]
M230	T	Ca esterna 30	300,0	540	0,657	-8,781	78,206	0,90	0,60	-5,0	2,216

Dove:

Sp - Spessore struttura.

Ms - Massa superficiale della struttura senza intonaci per unità di superficie.

Y_{IE} - Trasmittanza termica periodica della struttura, ovvero la capacità di attenuare e ritardare il passaggio del calore attraverso la struttura nell'arco di un periodo equivalente a 24 ore.

Sfasamento	- Sfasamento dell'onda termica indica il tempo in ore che l'onda termica impiega ad attraversare la struttura dall'esterno all'interno.
C_T	- Capacità termica areica, misura la capacità della struttura di accumulare calore per unità di superficie.
E	- Emissività indica la capacità di un materiale di emettere radiazione termica rispetto a un corpo nero ideale.
A	- Fattore di assorbimento indica la capacità di una superficie di assorbire la radiazione solare incidente espresso con un valore da 0 a 1 (assorbimento totale).
Θ	- Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
U_e	- Trasmittanza di energia della struttura è la capacità di trasmettere energia sotto forma di calore per unità di superficie e differenza di temperatura.

L'infisso in oggetto è il W77 del modello, fa parte della categoria di infissi n.1, ovvero infisso con telaio in ferro e vetro monostrato di spessore 0,4cm. L'infisso ha dimensioni 220x100 cm. Al paragrafo 5.5.3 ne sono riportate le caratteristiche fisiche e termiche, in seguito verrà riportata una breve sintesi:

Stratigrafia del pacchetto vetrato

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	4,0	1,00	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,060

Legenda simboli

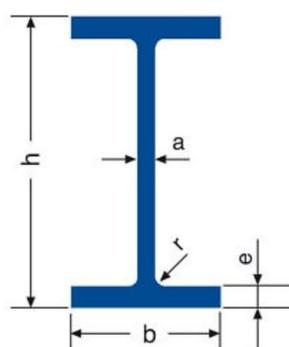
s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	5,650	W/m ² K
---------------------------------	---	-------	--------------------

Infine, la parete presenta una chiusura opaca orizzontale composta da una trave in metallo tipo IPE 150x300 mm su cui appoggia la copertura S9 del modello realizzato. La trave IPE ha le seguenti caratteristiche:

- trave in metallo IPE 120x240mm



b = 120 mm	Peso = 30,70 kg/m
h = 240 mm	
a = 6,20 mm	
e = 9,80 mm	
r = 15 mm	
sezione 39,10 cm ²	

- Copertura

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	U _e [W/m ² K]
S9	T	COPERTURA C.A.	301,0	691	0,912	-7,728	109,667	0,90	0,60	-5,0	3,107

Pilastro in metallo IPE 150x300mm posizionato tra gli infissi:

$b = 150 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$, $a = 7,10 \text{ mm}$, $e = 10,70 \text{ mm}$

$r = 15 \text{ mm}$, sezione $53,81 \text{ cm}^2$, Peso= $42,20 \text{ kg/m}$

Possiamo schematizzare quindi il nodo nel seguente modo:

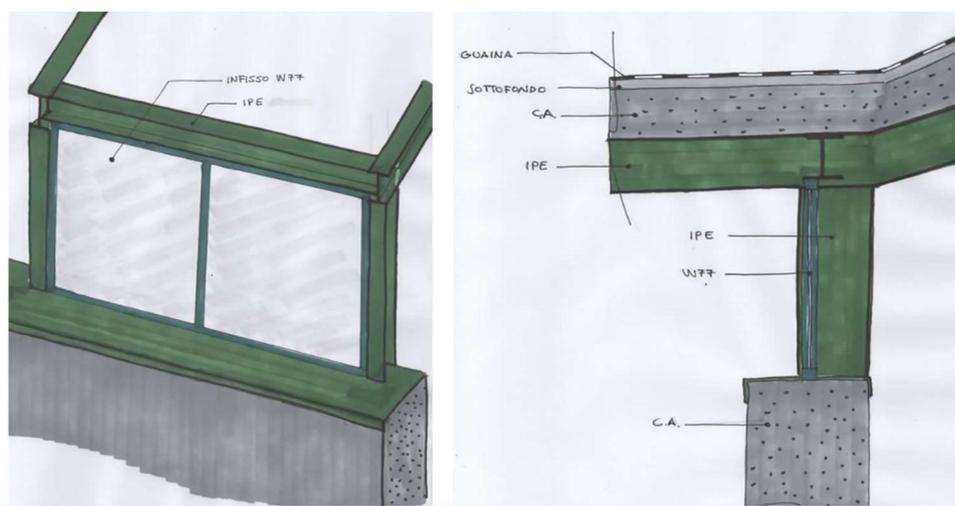


Figura 60 - Bozza nodo, infisso W77-muro M230-copertura S9

La complessità del nodo che genera il ponte termico richiede una modellazione più accurata che non può essere rappresentata dagli abachi di base consentiti dalla normativa.

5.3.2 – Metodo di modellazione

Vista la complessità e discontinuità della geometria si è modellato il ponte termico agli elementi finiti in quanto, tali geometrie e peculiarità non sono associabili ai ponti termici di base presenti negli abachi consentiti dalla normativa. Il calcolo agli elementi finiti consiste nell'utilizzare un metodo numerico avanzato per analizzare in modo dettagliato i parametri necessari suddividendo la geometria in piccoli elementi discreti (mesh di elementi finiti) su cui sono eseguiti i calcoli. Per modellare il dettaglio costruttivo agli elementi finiti con l'obiettivo di calcolare la dispersione di potenza termica dell'intera superficie disperdente si hanno due strade, tramite modellazione tridimensionale o attraverso la suddivisione in tre ponti termici

bidimensionali (Fig.62), in questo caso si è optato per la seconda soluzione considerando i seguenti ponti termici:

- Posa infisso con sezione verticale e orizzontale (p.t. viola);
- IPE verticale di separazione degli infissi con sezione verticale (p.t. giallo).

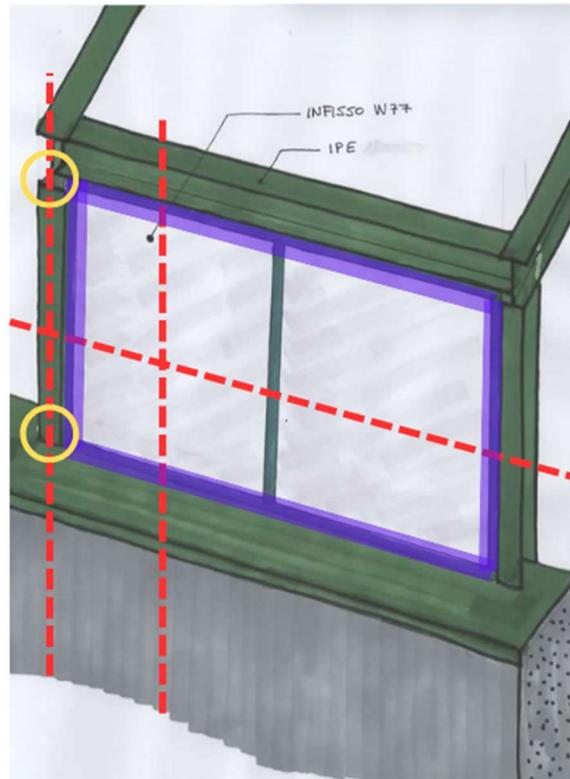


Figura 61 - Sezioni verifica ponti termici parete M230

Il software include una serie di modelli parametrici predefiniti, utili per l'analisi di ponti termici semplici, personalizzabili tramite la configurazione di parametri quali spessori, stratigrafie, materiali e condizioni al contorno. Tuttavia, quando il ponte termico reale da studiare non corrisponde ai modelli disponibili, il programma consente di importare un disegno dettagliato o disegnarlo direttamente in Mold Simulator. Selezionando il template di lavoro appropriato, è possibile inserire tutti i dati necessari ed eseguire la simulazione in modo accurato.

5.3.3 – Sezione verticale serramento

Il primo passo è stato quello di disegnare un dettaglio costruttivo (Fig.63) che rappresentasse in termini dettagliati la sezione verticale dell'infisso considerando anche le condizioni al contorno fino ai tagli adiabatici. La normativa consente di porre i tagli adiabatici considerando

in tre modi: considerando la distanza esterna, interna o in mezzeria del componente, in questo caso sono state posizionate considerando la distanza esterna, in quanto il software di modellazione energetica richiede tale approccio.

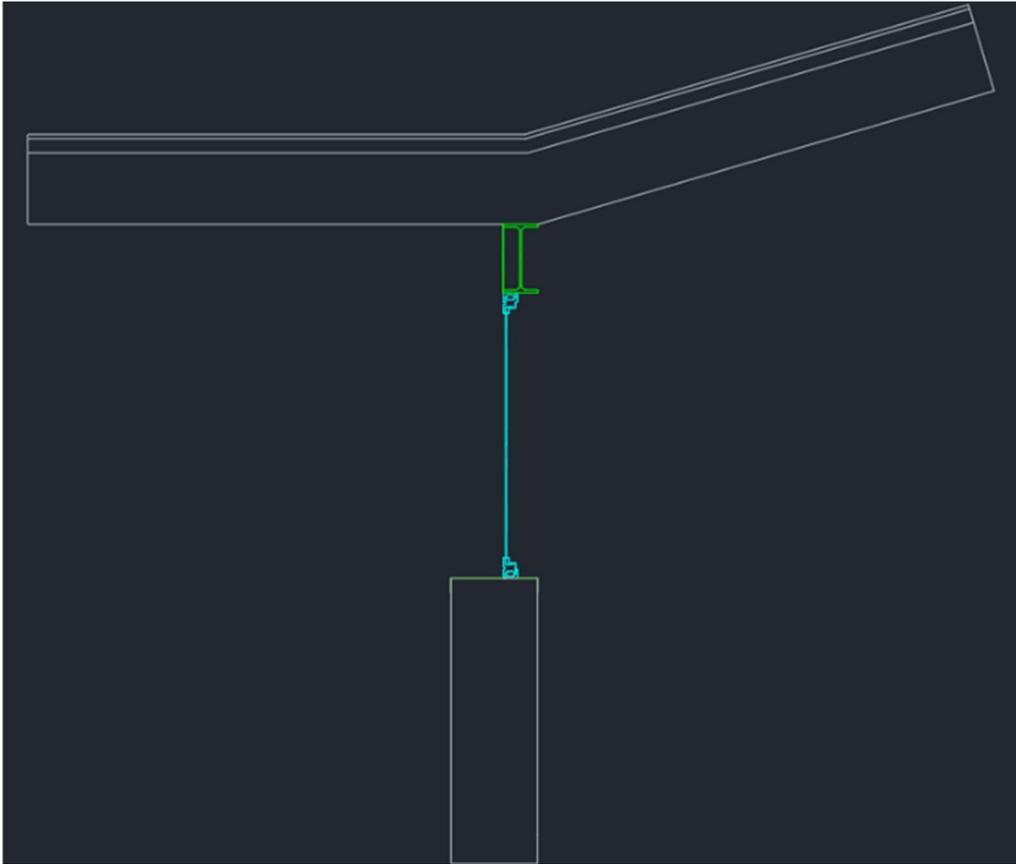


Figura 62 - Disegno CAD sezione verticale infisso

Successivamente, va indicato al programma la direzione del flusso, in questo caso da destra verso sinistra, la direzione del flusso all'interno delle cavità impostato in modalità automatica e si imposterà il vettore di gravità verso il basso se si sta lavorando sulla sezione verticale. Nella scheda "elementi" vanno inseriti gli elementi sezione (Fig.64), tali strumenti permettono al software di sottrarre la trasmittanza U di ogni elemento disperdente per la loro lunghezza dal valore contabilizzato L_{2D} , ricavando quindi il parametro ψ con la formula precedentemente riportata al paragrafo 6.1.2. In questo modo avremo un valore della sola trasmittanza termica lineare di posa molto preciso, ovvero la quantità di calore che si disperde solo per via delle interazioni termiche tra il giunto parete-serramento.

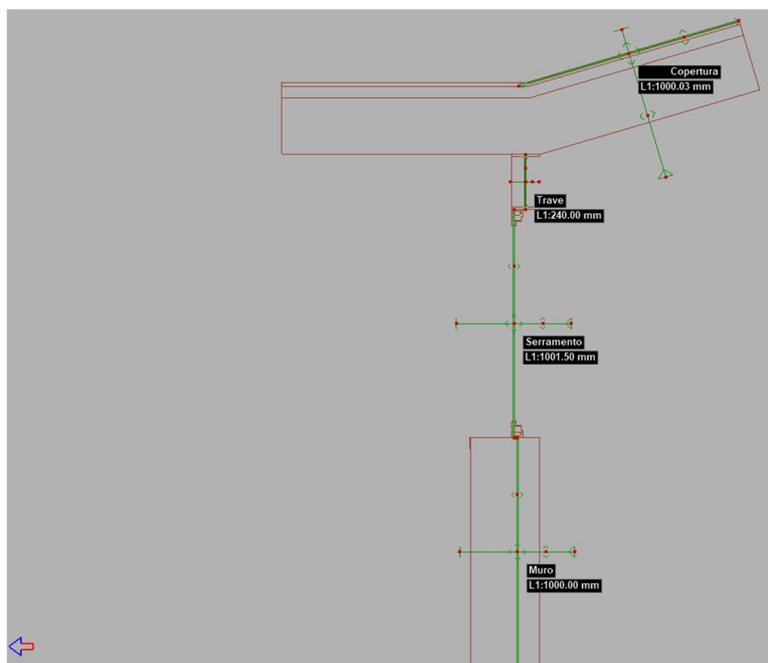


Figura 64 – Elementi sezione

La fase seguente consiste nell'attribuzione dei materiali agli elementi che compongono la sezione importata sul software Mold. Il software consente di associare i medesimi materiali utilizzati su Edilclima, grazie all'interoperabilità dei due software, infatti, è possibile scegliere i materiali filtrando tra la libreria di Edilclima. Questo ci permette di avere un'ottima precisione lavorando con due software differenti.

Nome	Tipo	Tipo cavità	λ [W/mK]	λ_y [W/mK]	λ_z [W/mK]	ϵ	Massa volumetrica [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	μ	Qamm [g/m ²]	Colore	δ_x [m]	δ_y [m]
Acciaio	Standard		52.0000	52.0000	52.0000	0.900	7800.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.6383	0.6383
C.i.s. armato (2% acciaio)	Standard		2.5000	2.5000	2.5000	0.900	2400.0000	1000.0000	80.000	500.000		0.1693	0.1693
EN ISO 6946 D4 non ventilata	Cavità	EN ISO 6946 D4 non ventilata	-	-	-	0.900	1.0000	1000.0000	5.000	500.000		-	-
Ferro puro	Standard		80.0000	80.0000	80.0000	0.900	7870.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.7882	0.7882
Impermeabilizzazione con bitume	Standard		0.1700	0.1700	0.1700	0.900	1200.0000	1000.0000	50000.000	500.000		0.0624	0.0624
Sottofondo di cemento magro	Standard		0.9000	0.9000	0.9000	0.900	1800.0000	880.0000	30.000	500.000		0.1250	0.1250
Vetro per finestre	Standard		1.0000	1.0000	1.0000	0.900	2500.0000	1000.0000	9999999.000	500.000		0.1049	0.1049

Figura 65 – Materiali

Associati i materiali (Fig.65) vanno associati i contorni, questa operazione va eseguita nella scheda "contorni" in cui è possibile indicare al software le superfici interne, interne vetrate, esterne e adiabatiche (Fig.66-67). Le superfici adiabatiche, come già descritto al paragrafo 6.2, sono le superfici in cui il flusso termico è influente e quindi dove è possibile porre fine al disegno dell'elemento che compone il nodo con un taglio. In questo caso, nel muro verticale sottostante è posta a un metro di distanza con la copertura che si estende anch'essa per un metro.

ID	Nome	Tipo	Col.	Gruppo	Tipo di temperatura	T contorno [°C]	Fattore T	R [m²K/W]	Gruppo di analisi	Tipo di flusso	Flusso [W/m²]	Tipo R
0	Interno	Temperatura ambiente	Red	0	Costante	20.000	-	0.1300	muro	Costante	0.000	Costante
1	Serramento Interno	Temperatura ambiente	Green	0	Costante	20.000	-	0.1300		Costante	0.000	Costante
2	Esterno	Temperatura ambiente	Blue	0	Costante	-5.000	-	0.0418	muro	Costante	0.000	Costante
3	Adiabatico	Adiabatico	Black				-	-			-	

Figura 66 - Condizioni al contorno utilizzate

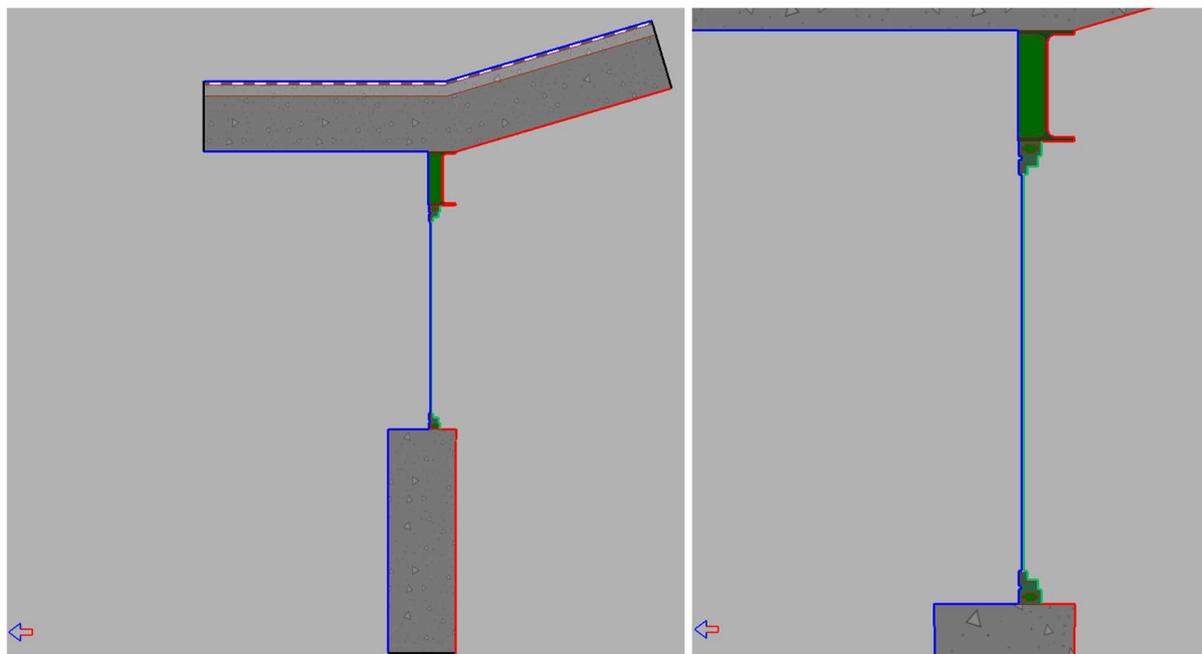


Figura 67 - Sezione verticale infisso con assegnati materiali e contorni

In questa scheda è possibile inserire le temperature di progetto esterna che verrà impostata a -5°C e interna 20°C. Inoltre, La UNI EN ISO 6946 riporta i valori di resistenza dello strato “laminare” del materiale a diretto contatto con l’aria, in relazione alla direzione del flusso di calore. Tale valore che dipende dalla viscosità, densità, conduttività e dal calore specifico del fluido nonché alla configurazione geometrica. Esternamente con un flusso che abbiamo inserito con verso orizzontale, la resistenza detta anche resistenza superficiale esterna R_{si} , è 0,042 m²k/W. All’interno, sia in prossimità del serramento che del muro e della copertura inclinata è di 0,13 m²k/W. Per il calcolo della muffa sono assegnate le temperature medie mensili di Bologna definite dalla UNI 10349:2016, anche le umidità medie mensili sono prese da tali dati climatici, l’umidità di saturazione viene considerata all’80%. Per il calcolo della condensa è stato impostato un valore di umidità dell’ambiente interno pari a 65%.

Infine, è possibile effettuare la simulazione avviando il calcolo. Mold simulator esegue tre simulazioni: simulazione dei flussi, del rischio condensa superficiale e del rischio di formazione di muffa.

Con la simulazione del flusso si ottiene il valore ψ che rappresenta l'influenza del ponte termico lineare sul flusso termico totale e dipende dalla differenza che c'è tra la R della sezione corrente e il ponte termico, perciò non esprime un giudizio di qualità. Il parametro significativo è L_{2D} che quantifica il flusso di calore disperso nella zona investigata, per questo un suo valore elevato indica che la trasmittanza termica lineica del ponte termico è elevata, ciò significa che la dispersione di calore in quella zona critica è elevata. Questo è avvenuto perché si è in presenza di un dettaglio costruttivo costituito da componenti con trasmittanza molo elevata con con assenza totale di alcun isolamento dei materiali. La Fig.68 riporta i risultati del calcolo compresi i flussi termici totali e parziali espressi in W calcolati lungo il ponte termico.

Simulazione flussi	Cond. Sup.	Muffa	
ψ			2.36083 W/mK
L_{2D} , con ponte			14.53462 W/mK
L_{1D} , senza ponte			12.17379 W/mK
Φ med., con ponte			363.36550 W/m
Φ , senza ponte			304.34472 W/m
Umedia			5.14091 W/m ² K
Misura per Umedia			2827.245 mm
Errore flusso 10211 C2 e			0.000001
Errore flusso 10211 C2 d			0.010993 %
Errore residuale			0.000968
Triangoli			12717
ΔT			25.00 °C

Figura 68 - Valori ottenuti dalla simulazione sezione verticale

Il grafico delle isoterme, oltre a mostrare le temperature di ogni componente, ci permette di eseguire una prima verifica, ovvero verificare che in prossimità dei tagli di piano adiabatici le isoterme abbiano andamento perfettamente parallelo alle facciate, monodimensionale e che non vi sia alcuna perturbazione. In questo caso la verifica è soddisfatta e possiamo ritenere il dettaglio disegnato nel modo corretto. È visibile un andamento discontinuo delle isoterme che si addensano nelle giunzioni, questo denota la presenza di un ponte termico importante, infatti, anche le temperature superficiali risultano molto ridotte confermando una presenza notevole di dispersioni termiche (Fig.69).

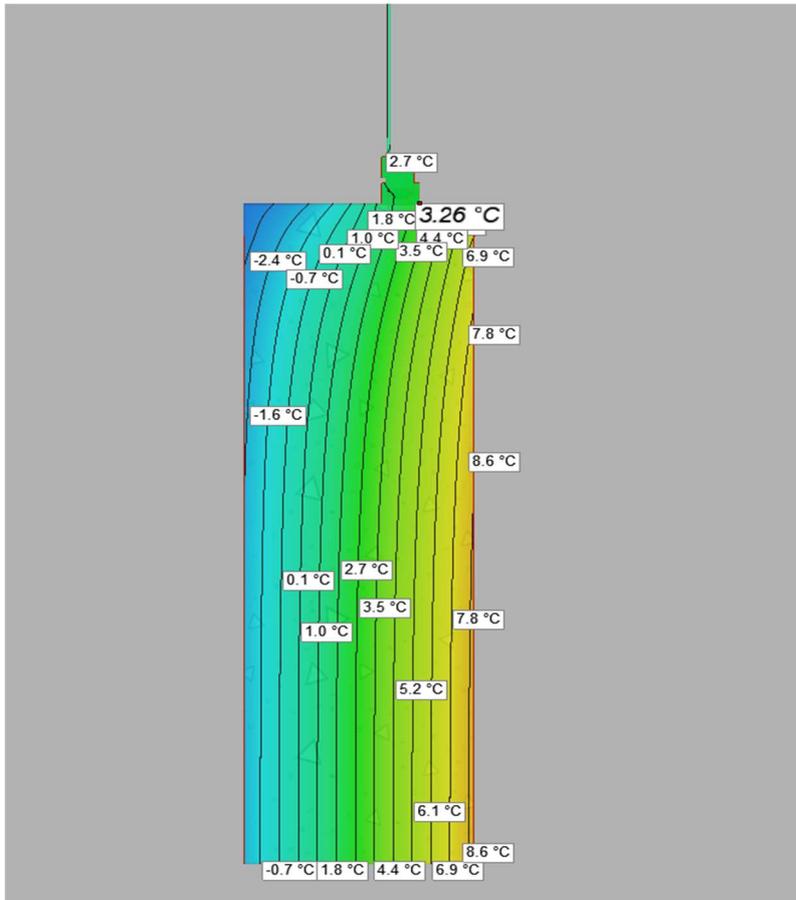
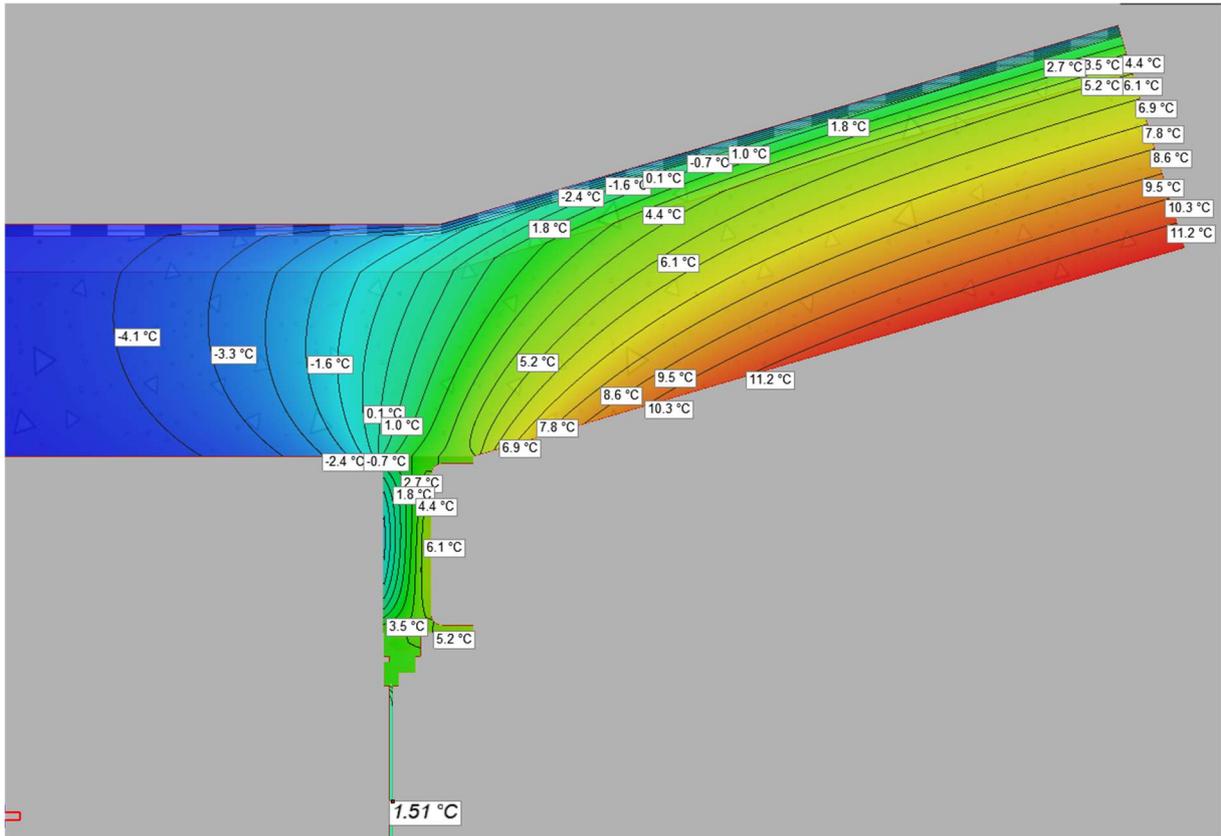


Figura 69 - Andamento isoterme, parte superiore e parte inferiore

Nei grafici seguenti (Fig.70) sono riportati i risultati riguardanti i flussi termici. La prima immagine rappresenta l'intensità dei flussi termici. Il colore rappresenta l'intensità del flusso termico secondo la scala in alto, che varia da blu (basso flusso termico) a rosso/magenta (alto flusso termico, fino a 30 W/m²). L'immagine rappresenta una dispersione con alta intensità lungo tutti gli elementi nella loro interezza. Questo perché le stratigrafie presenti possiedono discontinuità geometriche e costruttive importanti che creano un flusso intenso verso l'esterno mentre la pensilina esterna viene contaminata dal flusso solo in prossimità del ponte termico.

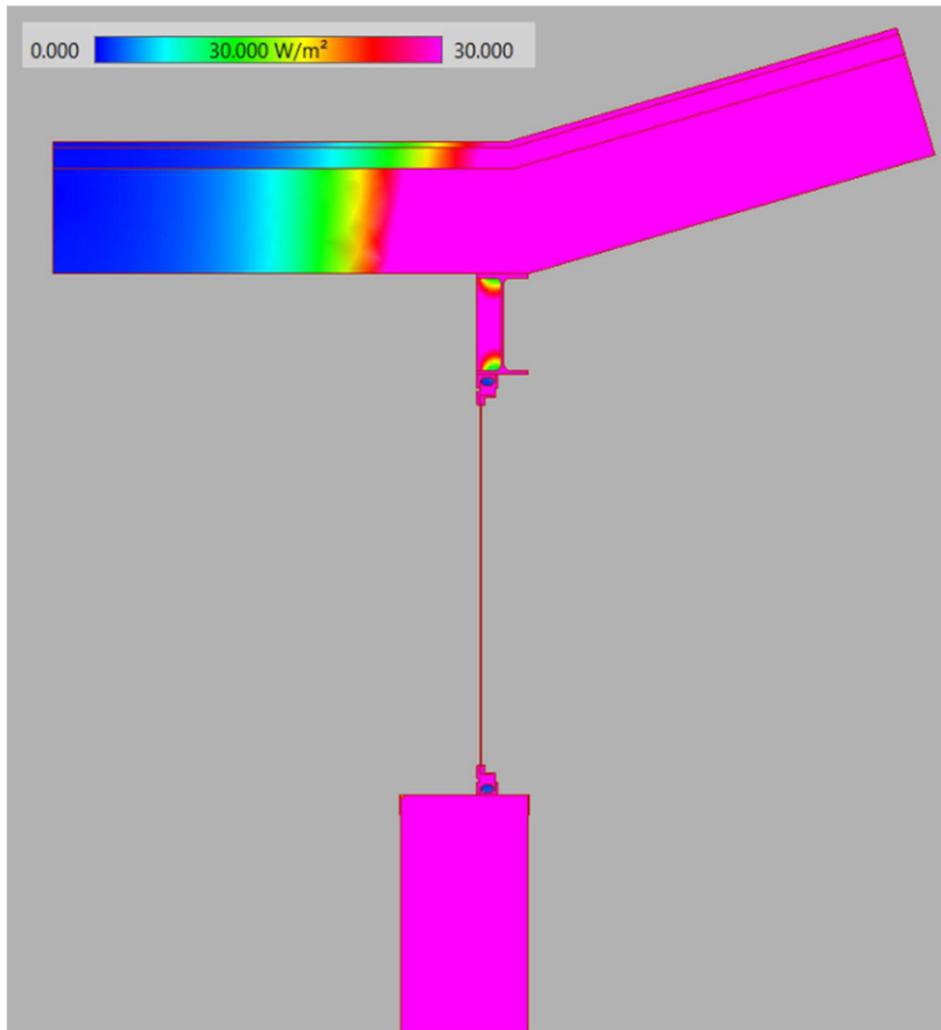


Figura 70 – Intensità del flusso termico

Nell'immagine che rappresenta le direzioni dei flussi interni (Fig.71) sono presenti frecce che sono inclinate e deviate, questo fenomeno si verifica in presenza del ponte termico, le linee di flusso seguono il gradiente di temperatura e più sono inclinate e deviate più è turbolenta la situazione dei flussi in quel punto. Dall'immagine seguente è evidente la presenza del ponte

termico in quanto vediamo la direzione del flusso termico girare attorno e oltre passare i giunti della finestra disperdendo il calore all'esterno senza essere ostacolato. Questo fa comprendere come le tecniche costruttive non siano adeguate, giustificando gli elevati consumi analizzati nel capitolo precedente.

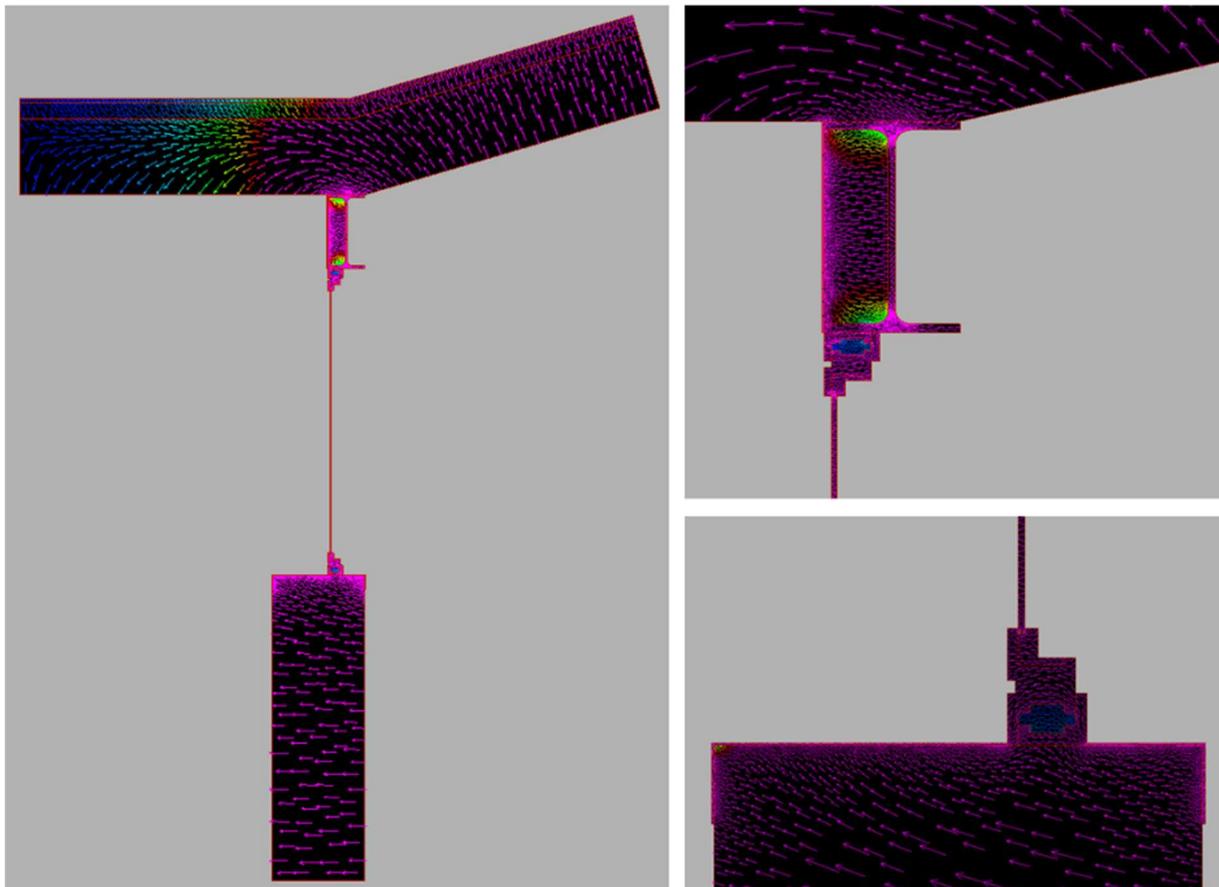


Figura 71 - Direzione dei flussi termici

Oltre a una situazione di discomfort da parte di chi presenzia tali ambienti è bene verificare la presenza di condensa e di muffe che risultano anche dannosi per la salute. Infatti, il D.M. del 26/06/2015 impone la verifica della formazione di muffa e condensa interstiziale sulle strutture secondo la norma UNI EN ISO 13788. Come abbiamo visto a inizio capitolo, le muffe e condense iniziano a formarsi nei punti di minima temperatura che sono sempre in corrispondenza dei ponti termici. La condizione al contorno (Fig.72) in cui si sta analizzando il ponte termico è rappresentata internamente da $T_i=20^{\circ}\text{C}$, $U_r=65\%$ ed esternamente $T_e=-5^{\circ}\text{C}$ e $U_r=70\%$ (zona climatica di Bologna).

Nome	Col.	Gruppo	Tipo. temp. aria	T Aria [°C]	T contorno [°C]	R [m²K/W]	Tipo umidità	H [%]	φ sat. [%]	Gruppo di analisi	Flusso [W/m²]	Tipo R
Interno		0	Costante	20.000	-	0.2500	Costante	65.0	100.0	muro	0.000	Costante
Serramento Interno		0	Costante	20.000	-	0.1300	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante
Esterno		0	Per Zona Climatica	-5.000	-	0.0400	Costante	70.0	100.0	muro	0.000	Costante
Adiabatico		0	Costante	-	-	-	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante

Figura 72 – Condizione al contorno per verifica condensa superficiale

Come rappresentato dalle isoterme, la temperatura superficiale è notevolmente inferiore alla temperatura di rugiada di progetto pari a 13,22°C su ogni superficie. Inoltre, un parametro importante è l' $fR_{si,min}$ (Fig.73) (Eq.16) che rappresenta l'indice minimo di temperatura superficiale per evitare la formazione di muffa o condensa superficiale dei componenti. Nello specifico il parametro è il rapporto tra la temperatura superficiale interna e la differenza di temperatura tra i due ambienti (interno ed esterno).

$$(Eq. 16) \quad fR_{si, \min} = \frac{T_{s, \min} - T_e}{T_i - T_e}$$

Accoppiamento mensile - Interno / Esterno									
Periodo #	Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. Pv [Pa]	Ex. Pv [Pa]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min
1	-	20.000	-5.000	1519.02	280.83	65.0	70.0	13.22	0.729

Accoppiamento mensile - Serramento Interno / Esterno									
Periodo #	Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. Pv [Pa]	Ex. Pv [Pa]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min
1	-	20.000	-5.000	1519.02	280.83	65.0	70.0	13.22	0.729

Figura 73 - Temperatura di rugiada e fattore di temperatura minimo di riferimento

Il valore varia tra 1 (nessuna dispersione termica) e 0 (totale dispersione termica). Se fR_{si} di progetto risulta maggiore o uguale all' $fR_{si,min}$, il rischio che si crei condensa superficiale o muffa è nullo o trascurabile, se fR_{si} di progetto risulta minore, come in questo caso, significa che la temperatura superficiale è troppo bassa e potrebbe verificarsi la formazione di condensa o muffa. Secondo la UNI EN ISO 13788 il valore critico $fR_{si,min}$ in ambienti con $T_e=20^\circ\text{C}$ e $U_r=65\%$ per evitare muffa deve essere approssimativamente superiore o al più uguale a 0,7, questo perché la muffa può formarsi in modo non visibile già con un'umidità superficiale pari al 75%, quindi con temperature superficiali più alte rispetto a quelle di condensa che necessitano l'umidità di saturazione. Risultati verifica rischio condensa e muffa (Fig.74):

Simulazione flussi Cond. Sup. Muffa		Simulazione flussi Cond. Sup. Muffa	
Min Simulazione fRsi (-)	0.247	Min Simulazione fRsi (Gennaio)	0.247
fRsi,min	0.729	fRsi,min	1.000
Tsi,min simulata	1.18 °C	Tsi,min simulata	5.92 °C
RHsi,min simulato (65.0%)	100.0 %	RHsi,min simulato (80.4%)	100.0 %
H,max interna senza cond.	28.4 %	H,max interna senza muffa	27.8 %
Te,min senza cond.	11.00 °C	Te,min senza muffa	22.99 °C
Min Simulazione fRsi muro (-)	0.256	Min Simulazione fRsi muro (Gennaio)	0.255
Tsi,min simulata muro	1.39 °C	Tsi,min simulata muro	6.07 °C
Te,min muro senza cond.	10.90 °C	Te,min muro senza muffa	23.02 °C
Errore flusso 10211 C2 e	0.000000	Errore flusso 10211 C2 e	0.000004
Errore flusso 10211 C2 d	0.010527 %	Errore flusso 10211 C2 d	0.007588 %
Errore residuale	0.000857	Errore residuale	0.001000
Triangoli	12736	Triangoli	12736
Lunghezza cond. sup.	3564 mm	Lunghezza muffa	2488 mm

Figura 74 - Risultati simulazione verifica condensa (sx) e verifica muffa (dx)

Gennaio risulta il mese con il fattore temperatura più alto, con una temperatura minima accettabile di 14,29°C. Questo provoca la formazione di condensa su tutta la superficie come ben visibile dall'immagine seguente (Fig.75):

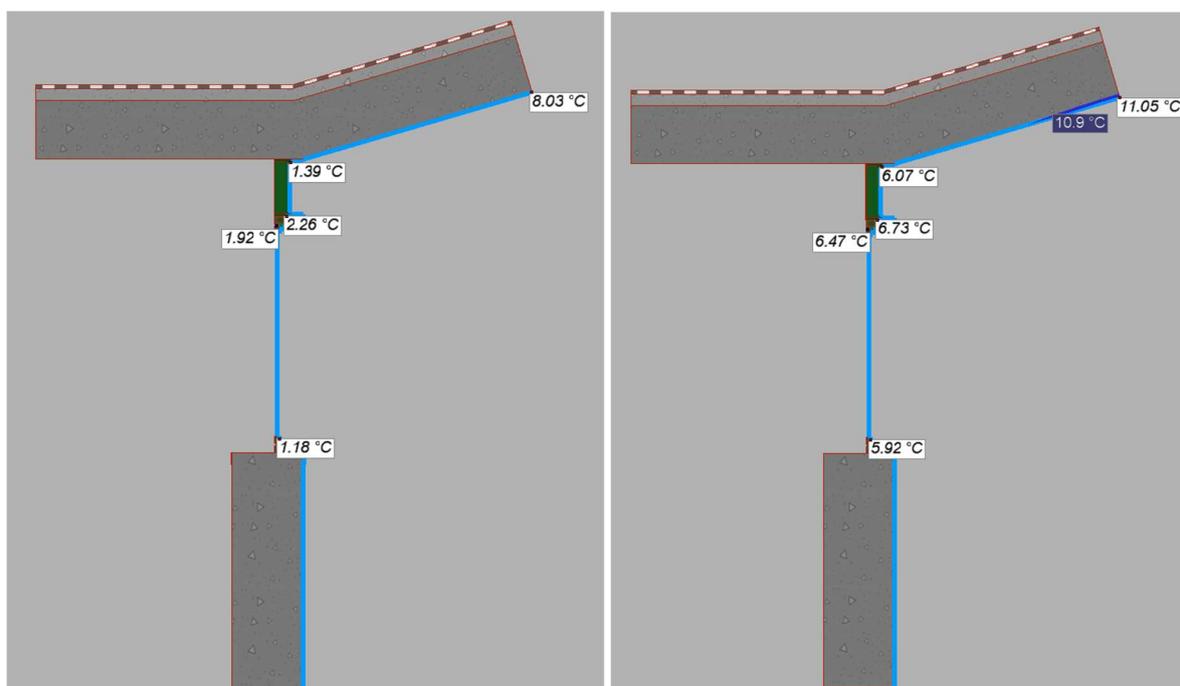


Figura 75 - Verifica condensa superficiale e muffa

In seguito, sono riepilogati i risultati del report che Mold elabora:

Calcolo del ponte termico lineare UNI-EN-ISO 10211:2018	Trasmittanza lineare $\psi = 2.3608 \text{ W/mK}$
--	---

Calcolo ψ

$$\psi = [\Phi / \Delta T] - \sum [U_{xL}] - L2d \text{ serramento}$$

$$\psi = [363.36550 \text{ W/m} / 25.00 \text{ }^\circ\text{C}] - 12.17379 \text{ W/mK} - 0.00000 \text{ W/mK} = 2.36083 \text{ W/mK}$$

Risultati della simulazione

L2D, con con ponte:	14.53462 W/mK
L1D, senza ponte:	12.17379 W/mK
L2d serramento:	0.00000 W/mK
ΔT :	25.00 $^\circ\text{C}$
Flusso medio, con ponte:	363.36550 W/m
Flusso, senza ponte:	304.34472 W/m
Errore flusso 10211-c2e:	0.000001

Calcolo U_{xL}

$U1*11 = [3.4271 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1.0000 \text{ m}] = 3.4271 \text{ W/mK}$
$U2*12 = [5.6886 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1.0015 \text{ m}] = 5.6971 \text{ W/mK}$
$U3*13 = [2.8029 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.2400 \text{ m}] = 0.6727 \text{ W/mK}$
$U4*14 = [2.3491 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1.0118 \text{ m}] = 2.3768 \text{ W/mK}$

ANALISI DELLE ISOTERME - REQUISITO 5.1.1 UNI 11673-1			
Temperatura di rugiada	13.2 $^\circ\text{C}$	Verifica non superata	
Tsi,min simulata sul giunto	1.4 $^\circ\text{C}$	Tsi,min simulata sul serramento	1.2 $^\circ\text{C}$
Condensa superficiale sul giunto	2488.0 mm	Condensa superficiale sul serramento	1076.0 mm

Verifica condensa superficiale secondo ISO 13788:2013	ATTENZIONE Condensa superficiale: 3564 mm
--	--

Risultati della simulazione	totale interno	su giunto		
Tsi,min simulata:	1.18 $^\circ\text{C}$	1.39 $^\circ\text{C}$	Tsi di condensa:	13.22 $^\circ\text{C}$
RHsi nel punto Tsi,min:	100.0 %	100.0 %	fRsi minimo reale:	0.247

Valori limite di formazione condensa	totale interno	su giunto
Te,min - temperatura esterna min senza condensa:	11.00 $^\circ\text{C}$	10.90 $^\circ\text{C}$
RH interna max senza condensa:	28.4 %	28.9 %

Verifica muffa su giunto di posa UNI-EN-ISO 13788:2013	Mese di simulazione: Gennaio (peggiore) ATTENZIONE Formazione muffa sul giunto: 2488 mm
---	--

ANALISI DELLA Tmin ACCETTABILE PER EVITARE LA CREAZIONE DI MUFFE REQUISITO 5.1.2 UNI 11673-1	Mese di simulazione: Gennaio (peggiore) ATTENZIONE Formazione muffa sul giunto: 2488 mm
---	--

Te,min senza muffa: 12.34 $^\circ\text{C}$

Risultati della simulazione

Tsi minima accettabile:	14.29 $^\circ\text{C}$
Tsi minima reale su giunto:	6.07 $^\circ\text{C}$
fRsi minimo accettabile:	0.695
fRsi minimo reale su muro:	0.255

Limiti formazione muffa su giunto

T esterna minima senza muffa:	12.34 $^\circ\text{C}$
RH max interna senza muffa:	31.82 %

Calcolo fRsi min						
Interno / Esterno						
Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min
Gennaio	20.000	1.300	55.7	80.4	14.29	0.695
Febbraio	20.000	5.400	48.8	58.3	12.27	0.470
Marzo	20.000	9.600	49.6	57.8	12.52	0.280
Aprile	20.000	13.600	55.8	62.8	14.31	0.111
Maggio	18.000	17.700	64.7	57.0	14.67	-10.107
Giugno	22.200	22.200	56.6	52.9	16.65	0.000
Luglio	24.800	24.800	48.5	45.3	16.67	0.000
Agosto	21.600	21.600	60.1	56.3	17.02	0.000
Settembre	19.300	19.300	73.0	67.4	17.83	0.000
Ottobre	20.000	15.600	68.4	75.8	17.50	0.432
Novembre	20.000	9.300	59.3	77.4	15.25	0.556
Dicembre	20.000	3.800	56.6	80.7	14.52	0.662

5.3.4 – Sezione orizzontale serramento

Con questa sezione si vuole analizzare il comportamento del serramento nelle due giunzioni verticali. Per eseguire ciò si è impostato il calcolo analizzando la sezione orizzontale con la quale il calcolo ci fornirà i parametri utili in tali zone. Le fasi di calcolo sono le medesime affrontate nel calcolo della sezione verticale.

L'infisso è posizionato tra due pilastri in acciaio come in Fig.76. Disegno CAD:



Figura 76 - Schermata particolare costruttivo CAD

Elementi sezione area ponte (Fig.77): oltre agli elementi sezione già descritti nel calcolo della sezione verticale, in questo caso va tracciata anche l'area ponte che consente di isolare il serramento permettendo al software un calcolo più preciso del parametro ψ andando a isolare il serramento. Lo strumento permette di calcolare a parte i parametri riguardanti i flussi del serramento mantenendo la parte grafica nella sua completezza e potendo così tener conto delle iterazioni tra i componenti.

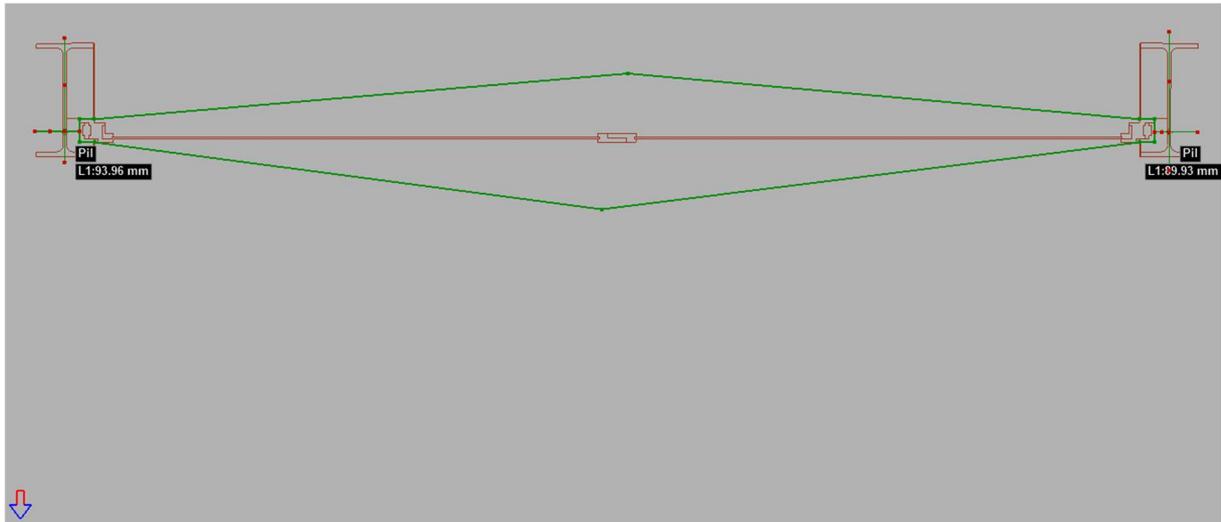


Figura 77 - Elementi sezione

Materiali e contorni (Fig.78) : come in precedenza si devono associare al disegno i materiali e contorni andando quindi a definire la condizione al contorno del particolare importato. A differenza della sezione precedenti che era verticale, in questa sezione orizzontale si dovrà impostare il flusso dall'alto verso il basso e la gravità di esso "entrante allo schermo".

Nome	Tipo	Tipo cavità	λ [W/mK]	λ_y [W/mK]	λ_z [W/mK]	ϵ	Massa volumetrica [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	μ	Qamm [g/m ²]	Colore	δ_x [m]	δ_y [m]
Acciaio	Standard		52.0000	52.0000	52.0000	0.900	7800.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.6383	0.6383
Acciaio	Standard		52.0000	52.0000	52.0000	0.900	7800.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.6383	0.6383
EN ISO 6946 D2 intercapedine non ventilata	Cavità	EN ISO 6946 D2 intercapedine non ventilata	-	-	-	0.900	1.0000	1000.0000	5.000	500.000		-	-
EN ISO 6946 D4 non ventilata	Cavità	EN ISO 6946 D4 non ventilata	-	-	-	0.900	1.0000	1000.0000	5.000	500.000		-	-
Ferro puro	Standard		80.0000	80.0000	80.0000	0.900	7870.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.7882	0.7882
Legno di abete flusso perpend. alle fibre	Standard		0.1200	0.1200	0.1200	0.900	450.0000	1600.0000	208.000	500.000		0.0677	0.0677
Segmento	Segmento standard		-	-	-	0.900	1.0000	1000.0000	5.000	500.000		-	-
Vetro per finestre	Standard		1.0000	1.0000	1.0000	0.900	2500.0000	1000.0000	9999999.000	500.000		0.1049	0.1049

Nome	Tipo	Col.	Gruppo	Tipo di temperatura	T contorno [°C]	Fattore T	R [m ² K/W]	Gruppo di analisi	Tipo di flusso	Flusso [W/m ²]	Tipo R	Superficie Fattore-U
Interno	Temperatura ambiente	Red	0	Costante	20.000	-	-	muro	Costante	0.000	Interno ISO 6946	Usa impostazioni segmento
Serramento Interno	Temperatura ambiente	Green	0	Costante	20.000	-	0.1300		Costante	0.000	Costante	Usa impostazioni segmento
Esterno	Temperatura ambiente	Blue	0	Costante	-5.000	-	0.0400	muro	Costante	0.000	Costante	Usa impostazioni segmento
Adiabatico	Adiabatico	Black			-	-	-			-		-

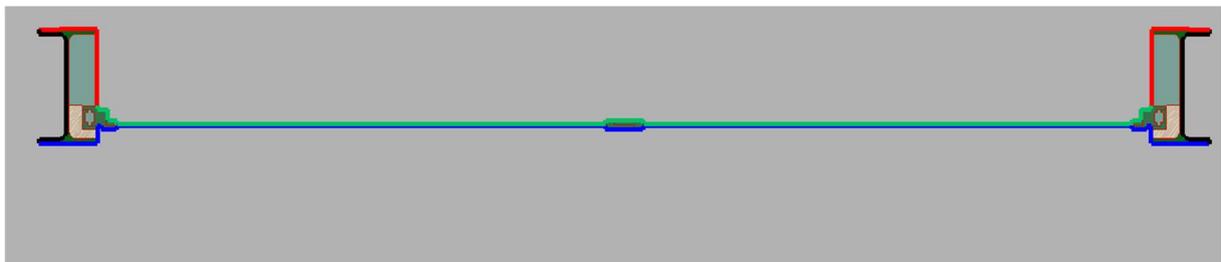


Figura 78 - Schermate: in alto materiali associati, in mezzo contorni assegnati, sotto restituzione grafica

Avviando la simulazione di calcolo si ottengono i valori del flusso in seguito riportati (Fig.79). Il valore di ψ è più ridotto rispetto alla sezione verticale perché si hanno meno iterazioni e discontinuità di materiale ma la dispersione sul giunto risulta simile.

Simulazione flussi	Cond. Sup.	Muffa	Solo serramento	
ψ				0.89591 W/mK
L2D, con ponte				15.06183 W/mK
L1D, senza ponte				14.16593 W/mK
di cui L2D, serramento				13.14847 W/mK
Φ med., con ponte				376.54587 W/m
Φ , senza ponte				354.14819 W/m
Umedia				6.15964 W/m ² K
Misura per Umedia				2445.246 mm
Errore flusso 10211 C2 e				0.000000
Errore flusso 10211 C2 d				0.008848 %
Errore residuale				0.000991
Triangoli				29186
ΔT				25.00 °C

Figura 79 - Valori simulazione dispersioni su sezione orizzontale

Grafico isoterme (Fig.80-81): possiamo ritenere corretto il calcolo avendo le isoterme parallele in prossimità dei tagli adiabatici ma le superfici risultano con temperature molto basse soprattutto nella zona dell'infisso.

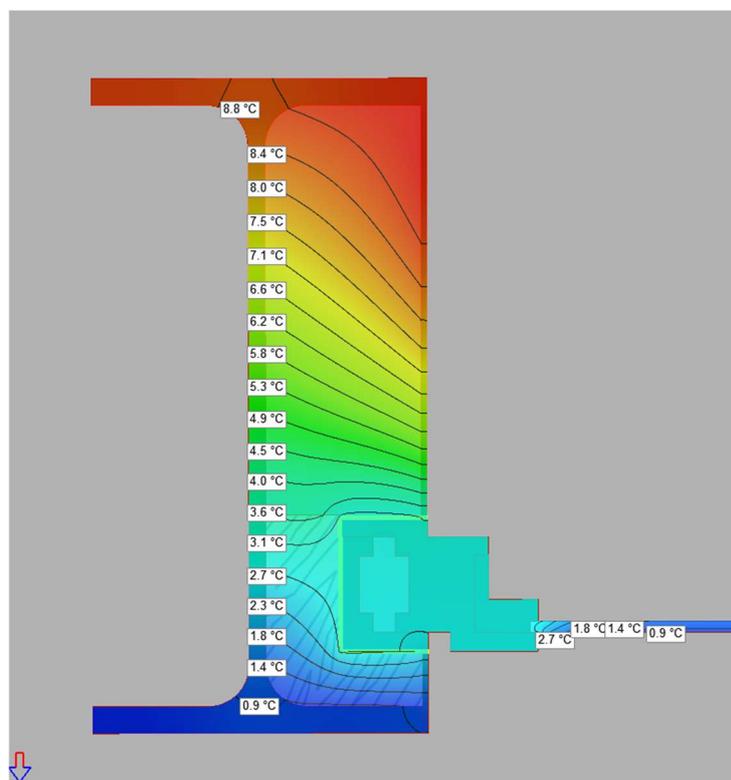


Figura 80 – Andamento isoterme giunto di sinistra

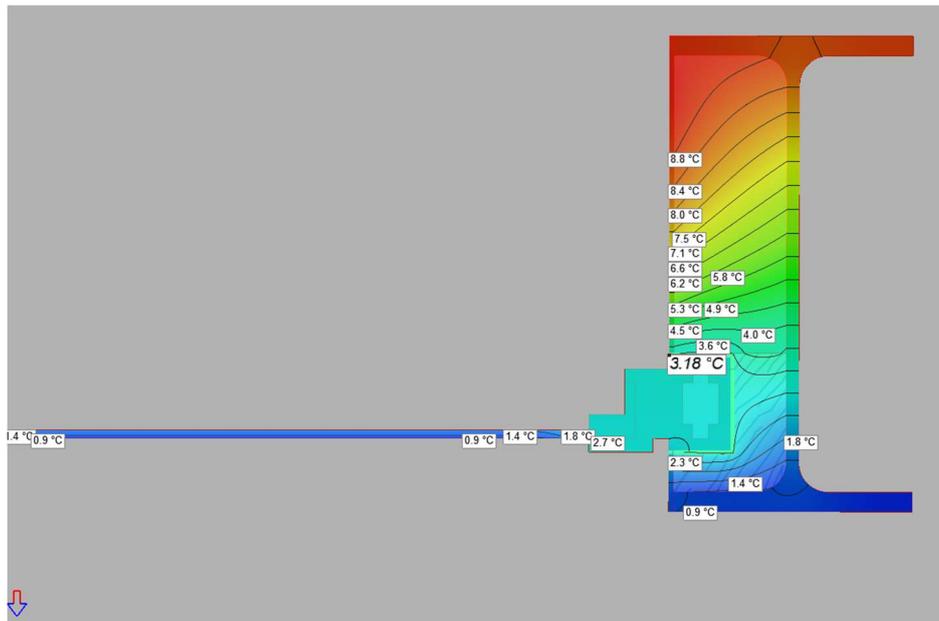


Figura 81 – Andamento isoterme giunto di destra

Intensità (Fig.82) e direzione del flusso termico (Fig.83): anche in questo caso tutta la sezione riporta intensità elevate del flusso termico che dall'ambiente riscaldato va verso l'ambiente esterno più freddo, indice di materiali con trasmittanze elevate e di un serramento non adeguato.

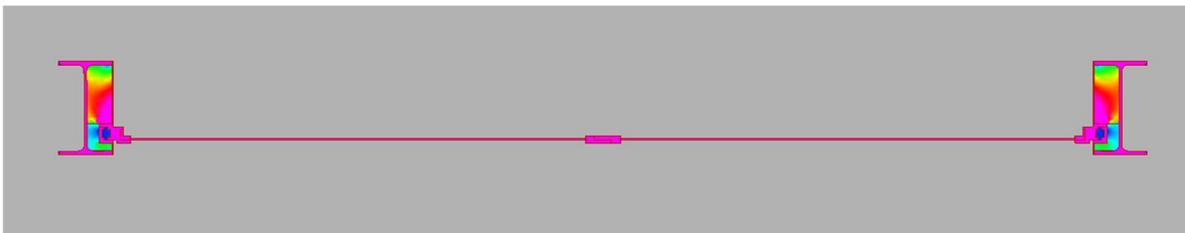


Figura 82 - Intensità del flusso termico su sezione orizzontale

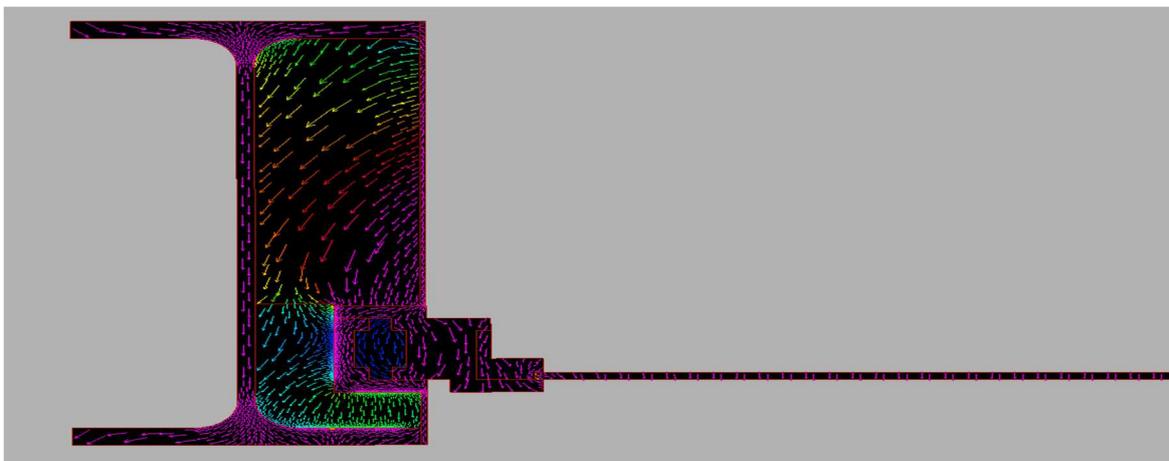


Figura 83 – Direzione dei flussi sul giunto della sezione orizzontale

Come nel caso precedente, la verifica viene eseguita considerando all'interno il 65% di umidità relativa a una temperatura costante di 20°C e all'esterno si è considerato la temperatura di progetto per zona climatica nel nostro caso Bologna con un'umidità relativa costante del 70%. Da questi valori il software calcola il seguente $fR_{si,min}$ che essendo inferiore a 1 indica la presenza di dispersioni nella sezione (Fig.84).

Nome	Col.	Gruppo	Tipo. temp. aria	T Aria [°C]	T contorno [°C]	R [m²K/W]	Tipo umidità	H [%]	ϕ sat. [%]	Gruppo di analisi	Flusso [W/m²]	Tipo R
Interno	Red	0	Costante	20.000	-	0.2500	Costante	65.0	100.0	muro	0.000	Costante
Serramento	Green	0	Costante	20.000	-	0.1300	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante
Esterno	Blue	0	Per Zona Climatica	-5.000	-	0.0400	Costante	70.0	100.0	muro	0.000	Costante
Adiabatico	Black	0	Costante	-	-	-	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante

Accoppiamento mensile - Interno / Esterno										
Periodo #	Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. Pv [Pa]	Ex. Pv [Pa]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min	
1	-	20.000	-5.000	1519.02	280.83	65.0	70.0	13.22	0.729	

Accoppiamento mensile - Serramento Interno / Esterno										
Periodo #	Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. Pv [Pa]	Ex. Pv [Pa]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min	
1	-	20.000	-5.000	1519.02	280.83	65.0	70.0	13.22	0.729	

Figura 84 - Calcolo condizioni al contorno (sopra) e indice di temperatura (sotto)

Con i seguenti risultati (Fig.85) si conferma il rischio di formazione di condensa e muffa anche in questa sezione, in quanto il valore fR_{si} di simulazione è notevolmente inferiore a quello di progetto, così come le temperature minime:

Simulazione flussi	Cond. Sup.	Muffa	Solo serramento
Min Simulazione fRsi (-)			0.241
fRsi,min			0.729
Tsi,min simulata			1.01 °C
RHsi,min simulato (65.0%)			100.0 %
H,max interna senza cond.			28.1 %
Te,min senza cond.			11.08 °C
Min Simulazione fRsi muro (-)			0.270
Tsi,min simulata muro			1.74 °C
Te,min muro senza cond.			10.72 °C
Errore flusso 10211 C2 e			0.000000
Errore flusso 10211 C2 d			0.003693 %
Errore residuale			0.000832
Triangoli			29185
Lunghezza cond. sup.			2859 mm

Simulazione flussi	Cond. Sup.	Muffa	Solo serramento
Min Simulazione fRsi (Gennaio)			0.241
fRsi,min			1.000
Tsi,min simulata			5.80 °C
RHsi,min simulato (80.4%)			100.0 %
H,max interna senza muffa			31.6 %
Te,min senza muffa			20.10 °C
Min Simulazione fRsi muro (Gennaio)			0.270
Tsi,min simulata muro			6.34 °C
Te,min muro senza muffa			20.10 °C
Errore flusso 10211 C2 e			0.000000
Errore flusso 10211 C2 d			0.003696 %
Errore residuale			0.000911
Triangoli			29185
Lunghezza muffa			566 mm

Figura 85 - Risultati simulazione verifica condensa (sx) e verifica muffa (dx)

Grafici condensa e muffa (Fig.86): nei grafici seguenti è evidenziata la zona in cui è presente il rischio di formazione di condensa e muffa.

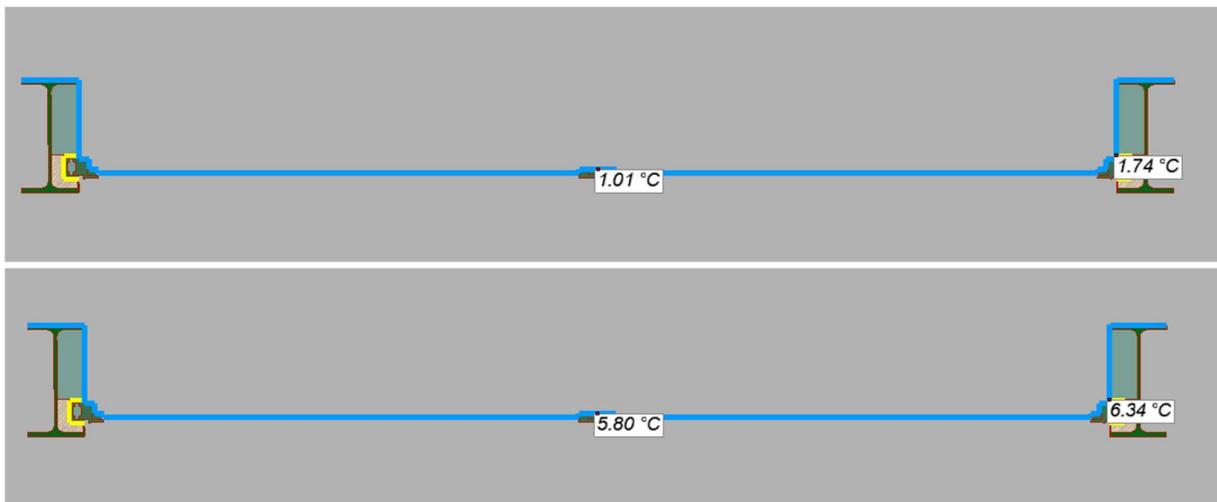


Figura 86 – Rischio condensa superficiale (sopra) e grafico muffa (sotto)

Riassunto dei risultati di calcolo:

Calcolo del ponte termico lineare UNI-EN-ISO 10211:2018	Trasmittanza lineare $\psi = 0.8960 \text{ W/mK}$
--	---

Calcolo ψ	
$\psi = [\Phi/\Delta T] - \Sigma [U \times L] - L2d \text{ serramento}$	
$\psi = [376.54587 \text{ W/m} / 25.00 \text{ °C}] - 1.01741 \text{ W/mK} - 13.14847 \text{ W/mK} = 0.89596 \text{ W/mK}$	
Risultati della simulazione	Calcolo UxL
L2D, con con ponte:	15.06183 W/mK
L1D, senza ponte:	14.16588 W/mK
L2d serramento:	13.14847 W/mK
ΔT :	25.00 °C
Flusso medio, con ponte:	376.54587 W/m
Flusso, senza ponte:	354.14697 W/m
Errore flusso 10211-c2e:	0.000000
	$U1 \times l1 = [5.5327 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.0940 \text{ m}] = 0.5199 \text{ W/mK}$
	$U2 \times l2 = [5.5327 \text{ W/m}^2\text{K} \times 0.0899 \text{ m}] = 0.4975 \text{ W/mK}$

ANALISI DELLE ISOTERME - REQUISITO 5.1.1 UNI 11673-1			
Temperatura di rugiada	13.2 °C	Verifica non superata	
Tsi,min simulata sul giunto	1.7 °C	Tsi,min simulata sul serramento	1.0 °C
Condensa superficiale sul giunto	566.3 mm	Condensa superficiale sul serramento	2292.8 mm

**Verifica condensa superficiale
secondo ISO 13788:2013**

ATTENZIONE
Condensa superficiale: 2859 mm

Risultati della simulazione	totale interno	su giunto		
Tsi,min simulata:	1.01 °C	1.74 °C	Tsi di condensa:	13.22 °C
RHsi nel punto Tsi,min:	100.0 %	100.0 %	fRsi minimo reale:	0.241

Valori limite di formazione condensa	totale interno	su giunto
Te,min - temperatura esterna min senza condensa:	11.08 °C	10.72 °C
RH interna max senza condensa:	28.1 %	29.6 %

**Verifica muffa su giunto di posa
UNI-EN-ISO 13788:2013**

Mese di simulazione: Gennaio (peggiore)
ATTENZIONE
Formazione muffa sul giunto: 566 mm

ANALISI DELLA Tmin ACCETTABILE PER EVITARE LA CREAZIONE DI MUFFE REQUISITO 5.1.2 UNI 11673-1	Mese di simulazione: Gennaio (peggiore) ATTENZIONE Formazione muffa sul giunto: 566 mm
---	--

Te,min senza muffa: 15.47 °C

Risultati della simulazione		Limiti formazione muffa su giunto	
Tsi minima accettabile:	14.29 °C	T esterna minima senza muffa:	12.19 °C
Tsi minima reale su giunto:	6.34 °C	RH max interna senza muffa:	31.55 %
fRsi minimo accettabile:	0.695		
fRsi minimo reale su muro:	0.270		

Calcolo fRsi min
Interno / Esterno

Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min
Gennaio	20.000	1.300	55.7	80.4	14.29	0.695
Febbraio	20.000	5.400	48.8	58.3	12.27	0.470
Marzo	20.000	9.600	49.6	57.8	12.52	0.280
Aprile	20.000	13.600	55.8	62.8	14.31	0.111
Maggio	20.000	17.700	57.1	57.0	14.67	-1.318
Giugno	20.000	22.200	64.8	52.9	16.65	0.000
Luglio	20.000	24.800	64.9	45.3	16.67	0.000
Agosto	20.000	21.600	66.4	56.3	17.02	0.000
Settembre	20.000	19.300	69.9	67.4	17.83	-2.098
Ottobre	20.000	15.600	68.4	75.8	17.50	0.432
Novembre	20.000	9.300	59.3	77.4	15.25	0.556
Dicembre	20.000	3.800	56.6	80.7	14.52	0.662

5.3.5 – Sezione verticale pilastro tra serramenti

Oltre al calcolo dei ponti termici di posa del serramento si è calcolato il ponte termico generato dal pilastro che separa la serie di infissi così da poter definire sul software EC700 il ponte termico di tutta la zona superiore della parete composta da infissi e pilastri uguali ripetuti in serie. Nella figura seguente (Fig.87) è riportata la sezione verticale CAD eseguita nell'anima del pilastro importata sul software di modellazione:

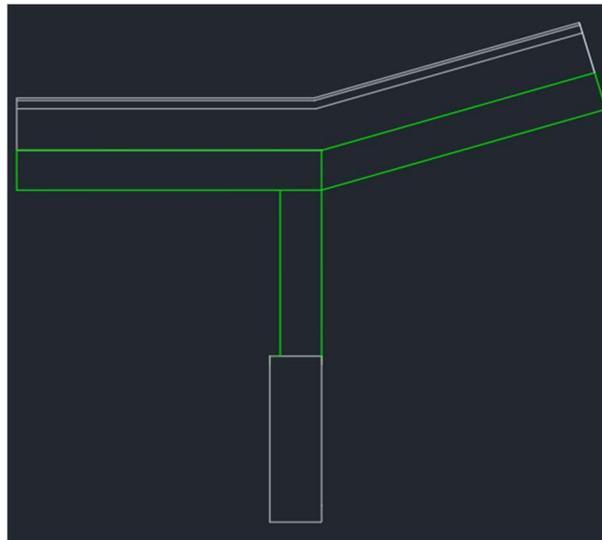


Figura 87 - Schermata CAD sezione verticale su pilastro

Elementi sezione creati sui componenti per il calcolo della dispersione (Fig.88):

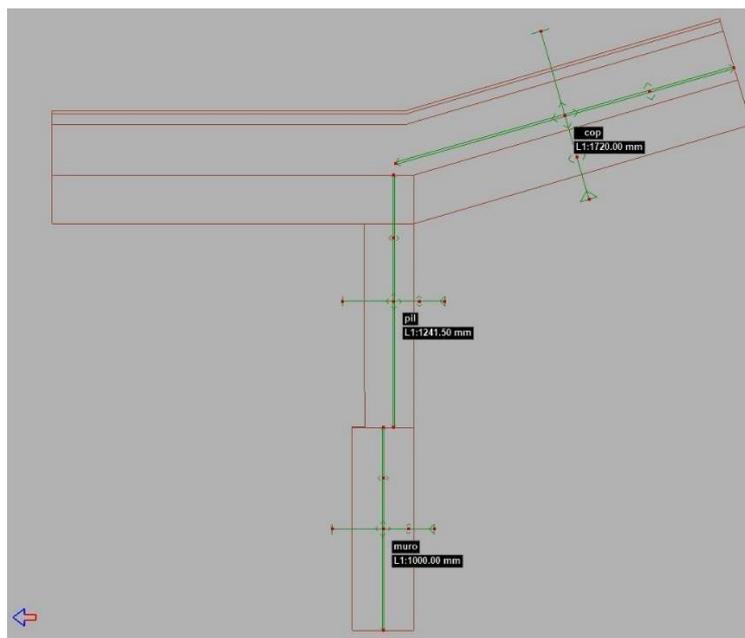


Figura 88 - Elementi sezione

Associazione dei materiali e definizione dei contorni (Fig.89):

Nome	Tipo	Tipo cavità	λ [W/mK]	λ_y [W/mK]	λ_z [W/mK]	ϵ	Massa volumetrica [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	μ	Qamm [g/m ²]	Colore	δ_x [m]	δ_y [m]
Acciaio	Standard		52.0000	52.0000	52.0000	0.900	7800.0000	450.0000	9999999.000	500.000		0.6383	0.6383
C.l.s. armato (2% acciaio)	Standard		2.5000	2.5000	2.5000	0.900	2400.0000	1000.0000	80.000	500.000		0.1693	0.1693
Impermeabilizzazione con bitume	Standard		0.1700	0.1700	0.1700	0.900	1200.0000	1000.0000	50000.000	500.000		0.0624	0.0624
Sottofondo di cemento magro	Standard		0.9000	0.9000	0.9000	0.900	1800.0000	880.0000	30.000	500.000		0.1250	0.1250

Nome	Tipo	Col.	Gruppo	Tipo di temperatura	T contorno [°C]	Fattore T	R [m ² K/W]	Gruppo di analisi	Tipo di flusso	Flusso [W/m ²]	Tipo R
Interno	Temperatura ambiente		0	Costante	20.000	-	-	muro	Costante	0.000	Interno ISO 6946
Serramento Interno	Temperatura ambiente		0	Costante	20.000	-	0.1300		Costante	0.000	Costante
Esterno	Temperatura ambiente		0	Costante	-5.000	-	0.0400	muro	Costante	0.000	Costante
Adiabatico	Adiabatico					-	-			-	

Figura 89 - Tabelle materiali e contorni sezione pilastro

Come nella precedente sezione verticale il flusso impostato va da destra verso sinistra con gravità verso il basso (Fig.90).

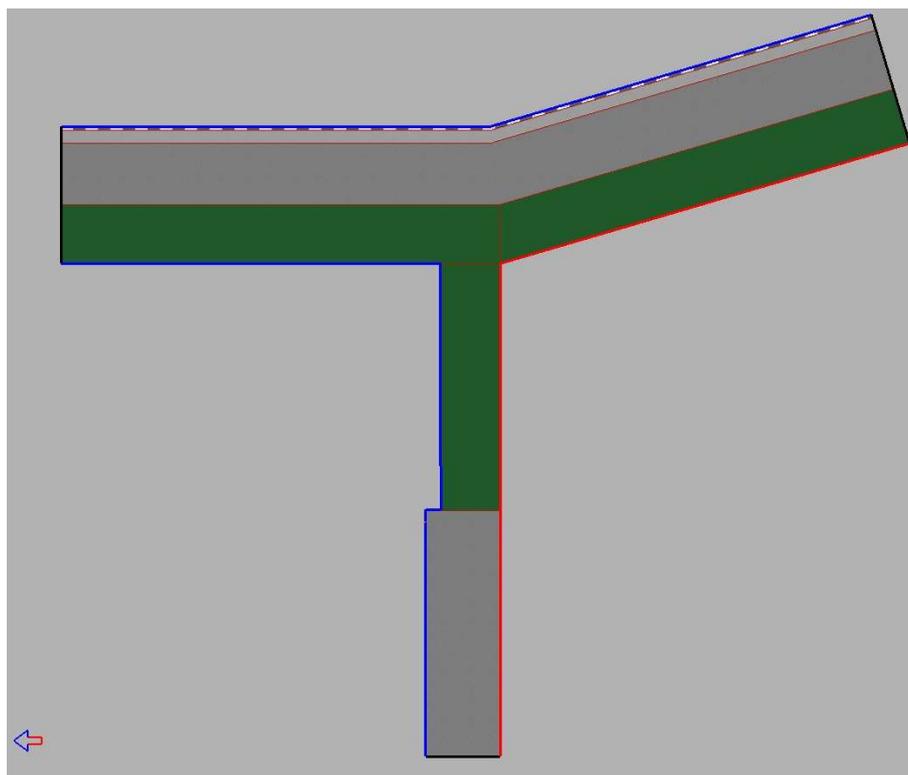


Figura 90 - Sezione riepilogativa con materiali e contorni assegnati

Calcolo dei parametri di dispersione (Fig.91): L2D ha un valore moto alto come nei casi precedenti per via dei materiali con alta trasmittanza e una tecnica costruttiva disomogenea.

Simulazione flussi		Cond. Sup.	Muffa
ψ		2.51883	W/mK
L2D, con ponte		17.13255	W/mK
L1D, senza ponte		14.61373	W/mK
Φ med., con ponte		342.65108	W/m
Φ , senza ponte		292.27457	W/m
Umedia		5.68949	W/m ² K
Misura per Umedia		3011.261	mm
Errore flusso 10211 C2 e		0.000002	
Errore flusso 10211 C2 d		0.067396	%
Errore residuale		0.000979	
Triangoli		5159	
ΔT		20.00	°C

Figura 91 - Valori simulazione dispersioni su pilastro

Calcolo isoterme (Fig.92): il pilastro e la trave in in acciaio conferiscono nelle zone di giunzione e e sulla superficie del pilastro temperature superficiali molto ridotte deviando le isoterme ed evidenziando la presenza del ponte termico.

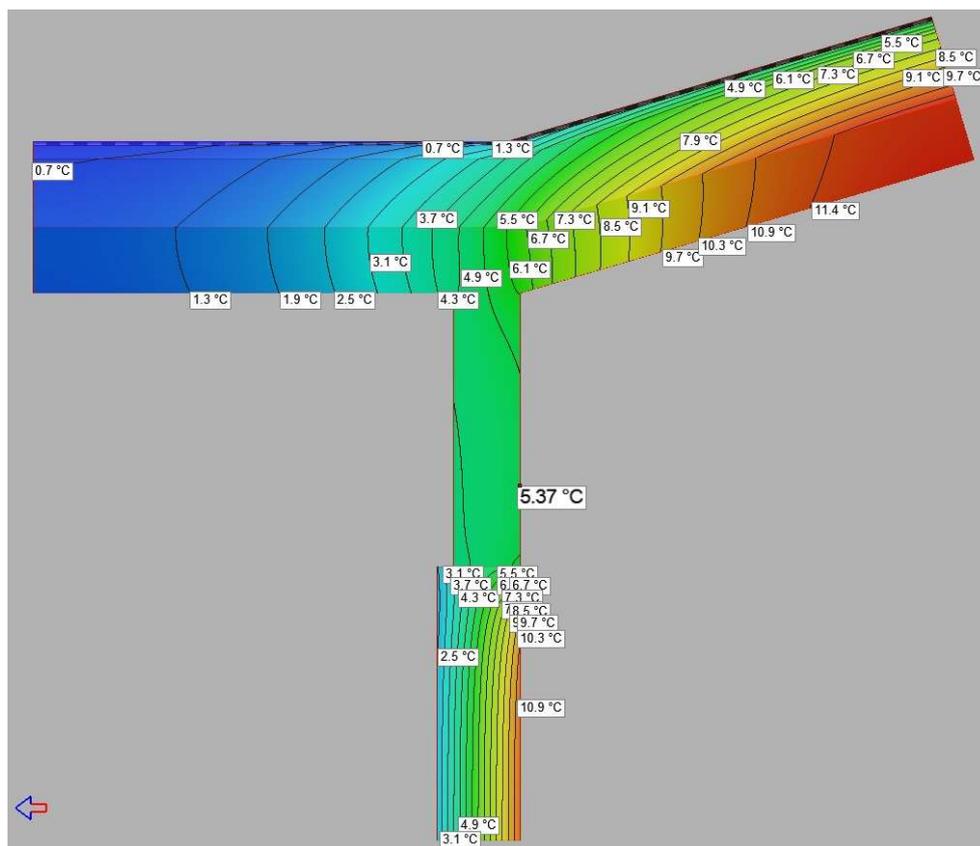


Figura 92 - Andamento isoterme

Il grafico dell'intensità (Fig.93) e della direzione del flusso termico (Fig.94) mostra come il flusso sia maggiormente intenso deviato nelle giunzioni, in particolare in quella superiore dove è presente una maggior discontinuità di materiale e geometrica rispetto al giunto inferiore:

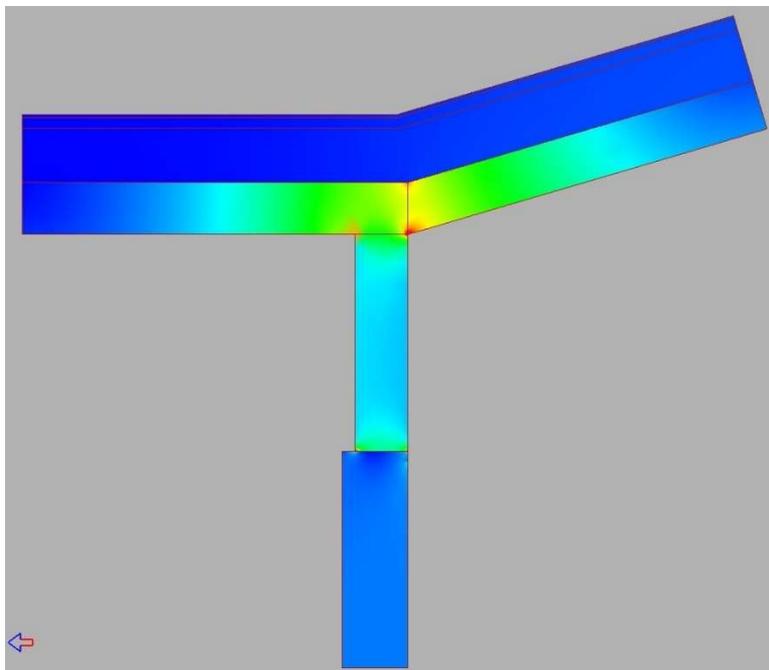


Figura 93 – Intensità flusso termico su pilastro

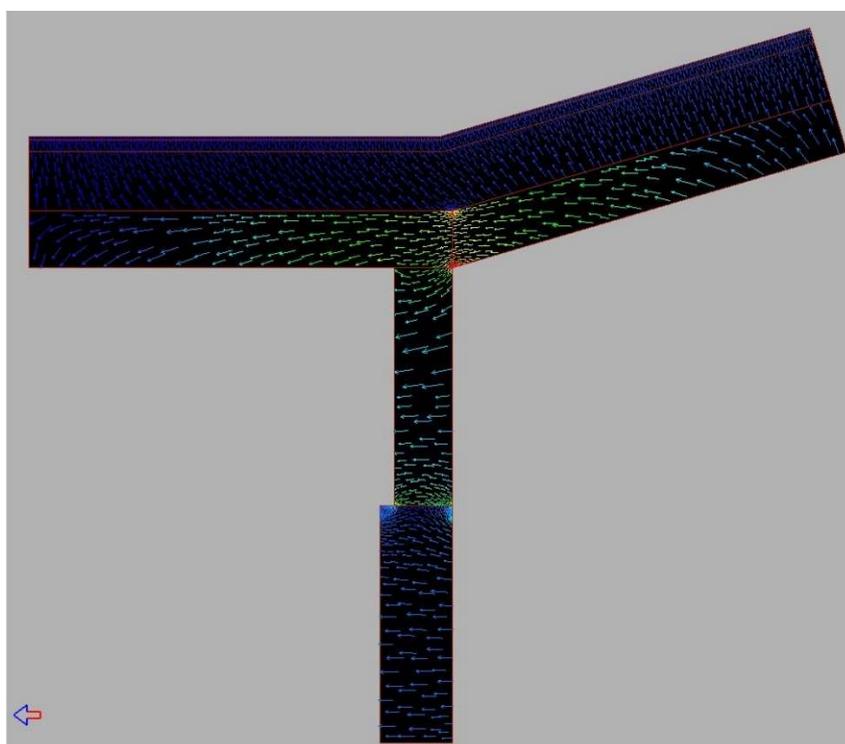


Figura 94 - Grafico direzione flusso termico su pilastro

Calcoli condizioni al contorno (Fig.95):

Nome	Col.	Gruppo	Tipo. temp. aria	T Aria [°C]	T contorno [°C]	R [m²K/W]	Tipo umidità	H [%]	φ sat. [%]	Gruppo di analisi	Flusso [W/m²]	Tipo R
Interno	Red	0	Costante	20.000	-	0.2500	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante
Esterno	Blue	0	Per Zona Climatica	-5.000	-	0.0400	Costante	70.0	100.0		0.000	Costante
Adiabatico	Black	0	Costante	-	-	-	Costante	65.0	100.0		0.000	Costante

Accoppiamento mensile - Interno / Esterno										
Periodo #	Periodo	In. T [°C]	Ex. T [°C]	In. Pv [Pa]	Ex. Pv [Pa]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [°C]	fRsi,min	
1	-	20.000	-5.000	1519.02	280.83	65.0	70.0	13.22	0.729	

Figura 95 - Calcoli condizioni al contorno (sopra) e indice di temperatura (sotto)

Con i risultati riportati in seguito (Fig.96), risulta presente il rischio di formazione di condensa e muffa anche sul pilastro:

Simulazione flussi Cond. Sup. Muffa	
Min Simulazione fRsi (-)	0.166
fRsi,min	0.729
Tsi,min simulata	-0.85 °C
RHsi,min simulato (65.0%)	100.0 %
H,max interna senza cond.	24.4 %
Te,min senza cond.	11.87 °C
Errore flusso 10211 C2 e	0.000001
Errore flusso 10211 C2 d	0.005611 %
Errore residuale	0.000814
Triangoli	5159
Lunghezza cond. sup.	3724 mm

Simulazione flussi Cond. Sup. Muffa	
Min Simulazione fRsi (Gennaio)	0.166
fRsi,min	1.000
Tsi,min simulata	4.41 °C
RHsi,min simulato (80.4%)	100.0 %
H,max interna senza muffa	28.6 %
Te,min senza muffa	20.09 °C
Errore flusso 10211 C2 e	0.000001
Errore flusso 10211 C2 d	0.005541 %
Errore residuale	0.000895
Triangoli	5159
Lunghezza muffa	3724 mm

Figura 96 - Risultati simulazione verifica condensa (sx) e verifica muffa (dx)

Nei grafici sottostanti (Fig.97) son segnalate le zone in cui appare il rischio di formazione condensa e muffa:

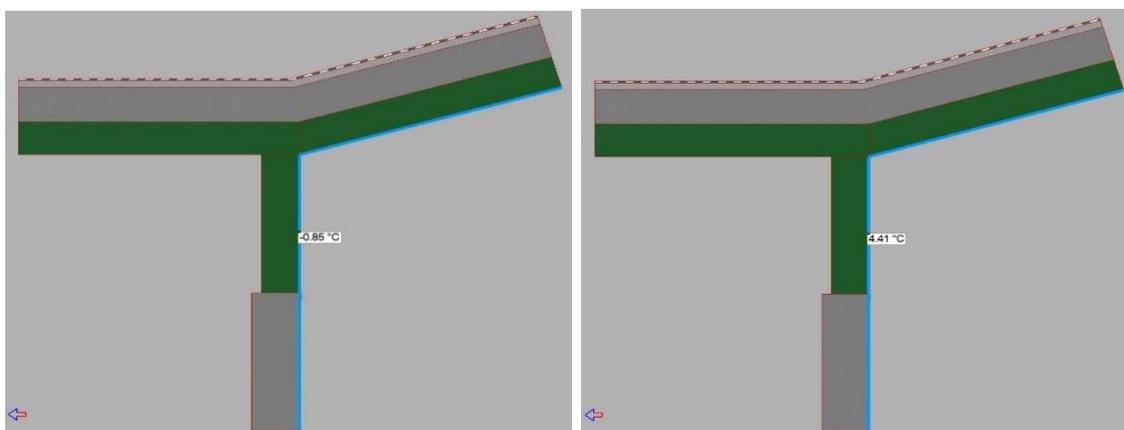


Figura 97 - Rischio condensa superficiale (sopra) e grafico muffa (sotto)

Riepilogo risultati ponte termico su pilastro:

**Calcolo del ponte termico lineare
UNI-EN-ISO 10211:2018**

**Trasmittanza lineare
 $\psi = 2.5188 \text{ W/mK}$**

Calcolo ψ

$$\psi = [\Phi / \Delta T] - \sum [UxL]$$

$$\psi = [342.65108 \text{ W/m} / 20.00 \text{ }^\circ\text{C}] - [14.61373 \text{ W/mK}] = 2.51883 \text{ W/mK}$$

muro

Trasmittanza U = 3.3869 W/m²K
Lunghezza = 1000 mm

pil

Trasmittanza U = 5.4842 W/m²K
Lunghezza = 1241 mm

Risultati simulazione

L2D, con con ponte:	17.13255 W/mK
L1D, senza ponte:	14.61373 W/mK
ΔT :	20.00 $^\circ\text{C}$
Flusso medio, con ponte:	342.65108 W/m
Flusso, senza ponte:	292.27457 W/m
Errore flusso ISO10211 C2e:	0.000002
Errore flusso ISO10211 C2d:	0.067396 %

cop

Trasmittanza U = 2.5687 W/m²K
Lunghezza = 1720 mm

**Verifica condensa superficiale
UNI-EN-ISO 13788:2013**

ATTENZIONE
Condensa superficiale: 3724 mm

Risultati della simulazione

Tsi di condensa:	13.22 $^\circ\text{C}$
Tsi,min simulata:	-0.85 $^\circ\text{C}$
fRsi minimo reale:	0.166
RH max int. senza condensazione:	24.36 %
Te min senza condensazione:	11.87 $^\circ\text{C}$

**Verifica muffa
UNI-EN-ISO 13788:2013**

Mese di simulazione: Gennaio (peggiore)

ATTENZIONE
Formazione muffa: 3724 mm

Risultati della simulazione

Tsi minima accettabile:	14.29 $^\circ\text{C}$
Tsi minima interna reale:	4.41 $^\circ\text{C}$
fRsi minimo accettabile:	0.695
fRsi minimo reale:	0.166

Limiti per formazione muffa

RH max int. senza muffa:	28.63 %
Te min senza muffa:	13.16 $^\circ\text{C}$

**Calcolo fRsi min
Interno / Esterno**

Periodo	In. T [$^\circ\text{C}$]	Ex. T [$^\circ\text{C}$]	In. H [%]	Ex. H [%]	Ti,min [$^\circ\text{C}$]	fRsi,min
Gennaio	20.000	1.300	55.7	80.4	14.29	0.695
Febbraio	20.000	5.400	48.8	58.3	12.27	0.470
Marzo	20.000	9.600	49.6	57.8	12.52	0.280
Aprile	20.000	13.600	55.8	62.8	14.31	0.111
Maggio	18.000	17.700	64.7	57.0	14.67	-10.107
Giugno	22.200	22.200	56.6	52.9	16.65	0.000
Luglio	24.800	24.800	48.5	45.3	16.67	0.000
Agosto	21.600	21.600	60.1	56.3	17.02	0.000
Settembre	19.300	19.300	73.0	67.4	17.83	0.000
Ottobre	20.000	15.600	68.4	75.8	17.50	0.432
Novembre	20.000	9.300	59.3	77.4	15.25	0.556
Dicembre	20.000	3.800	56.6	80.7	14.52	0.662

5.3.6 – Importazione ponte termico W77-M230 nel modello energetico

Una volta importati i ponti termici sul software di modellazione energetica vanno associati ai componenti dell'involucro in oggetto. All'infisso è possibile associare i ponti termici calcolati relativi ai giunti verticali e orizzontali con la differenza che per i giunti orizzontali il software lo associa diviso per davanzale e architrave, dovendo quindi dividere per due il valore di trasmittanza lineica come in rappresentato in Fig.98. Questo perché il software presuppone che il giunto verticale non vari all'interno dell'infisso dando invece la possibilità di variazione ai giunti orizzontali.

Dati modulo			
<input type="checkbox"/> Cassonetto			
Struttura	-		
Altezza	H _{cass}	0,0	cm
Larghezza	L _{cass}	0,0	cm
Profondità	P _{cass}	0,0	cm
			Area frontale 0,00 m ²
Dimensioni serramento			
Larghezza	L	220,0	cm
Altezza	H	100,0	cm
			Area 2,20 m ²
<input checked="" type="checkbox"/> Ponte termico			
			Trascura nei calcoli della trasmittanza media <input checked="" type="checkbox"/>
Ponte termico	Struttura	ψ lineica W/mK	Lunghezza m
<input type="checkbox"/>	Z4 - PT infisso W77 spallette	2,329	2,0
<input checked="" type="checkbox"/>	Z3 - PT infisso W77 davanzale	1,165	2,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Z2 - PT infisso W77 architrave	1,165	2,2

Figura 98 - Associazione ponti termici all'infisso W77

Per associare il ponte termico sui giunti delle estremità dei pilastri l'operazione avviene diversamente, il software permette di inserire tale ponte termico attraverso il posizionamento di esso direttamente dall'input grafico (Fig.99). Il pilastro viene inserito in automatico da cielo a terra e non essendo rappresentativo del nostro particolare, il cui pilastro è presente solo nella parte superiore della parete in cui è presente l'infisso, i valori calcolati sono stati ridimensionati rapportandoli alle metrature effettive del componente.

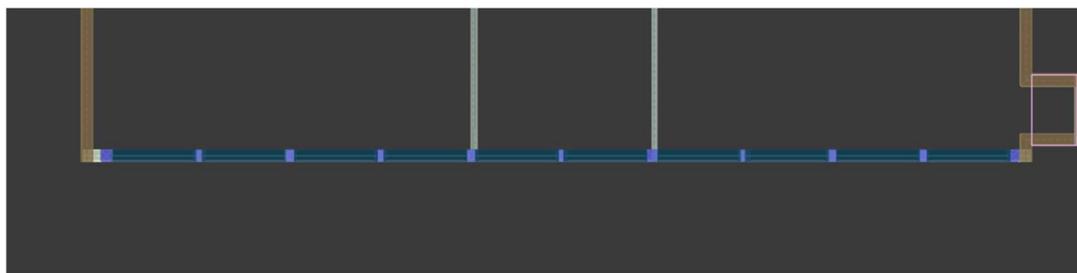


Figura 99 - Inserimento del ponte termico pilastro nell'input grafico

5.4 – Modellazione ponti termici da abachi

I ponti termici inerenti alla posa del serramento su superfici omogenee, ovvero gli infissi posti su semplici aperture di murature, possono essere calcolati correttamente tramite gli abachi consentiti dalla normativa. Il software di modellazione energetica permette la modellazione di tali ponti termici attraverso una semplice configurazione. Una volta inserita la tipologia W, associata al ponte termico parete-telaio, va configurato attraverso le informazioni principali:

- Presenza dello strato isolante;
- Posizionamento del telaio;
- Muro in cui è posto l'infisso;
- Trasmittanza termica del telaio.

Il Software ne calcola la trasmittanza lineica con la rappresentanza grafica del flusso termico come in Fig.100.

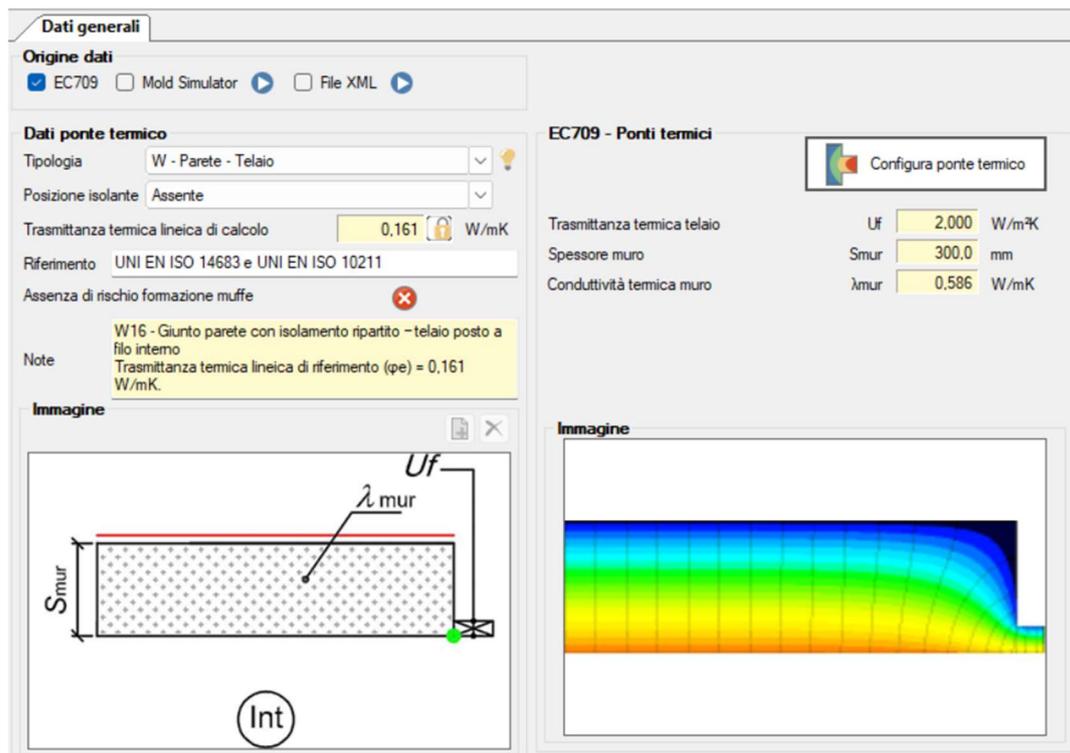


Figura 100 - Calcolo ponti termici con abachi

Il calcolo è stato eseguito per due tipologie di telai: metallico e in legno. I risultati portano una variazione di trasmittanza lineica che varia da 0,15 W/mK a 0,35 W/mK.

6 – ANALISI DEI RISULTATI

In questo capitolo verranno analizzati i risultati provenienti dalla modellazione dell'involucro dell'edificio Risorgimento in EC700 e quelli provenienti dal calcolo dei ponti termici. In seguito all'importazione dei ponti termici da Mold a EC700 verrà analizzata la muratura col ponte termico pre e post calcolo di esso, cercando anche di eseguire una stima su tutto l'edificio in rapporto a tale risultato.

6.1 – Analisi risultati della modellazione energetica dell'involucro

6.1.1 – Dispersioni potenza invernale

Le dispersioni termiche di un edificio sono rappresentate principalmente da tre tipologie di dispersione:

- Per trasmissione che rappresenta il calore che viene disperso attraverso l'involucro edilizio per via della differenza di temperatura tra interno ed esterno, dipende dalla trasmittanza termica di ogni componente dell'involucro e determinato dalla formula $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$, dove U rappresenta la trasmittanza del componente, A l'area e ΔT la differenza di temperatura:
- Per ventilazione che descrive il calore disperso a causa del ricambio d'aria provocato sia dalle infiltrazioni non controllate sia per ventilazione meccanica e naturale. Dipende dai coefficienti di ricambio d'aria inseriti nei dati di default (cap.5.2);
- Per intermittenza, ovvero la dispersione termica che avviene a causa di impianti di riscaldamento che hanno attivazione discontinua, quindi, dopo un periodo di spegnimento o riduzione di potenza si necessita di energia utile sia al mantenimento della temperatura interna sia a ristabilire la temperatura delle strutture nel frattempo raffreddate. Tal valore dipende dal fattore di ripresa inserito in fase di modellazione nei dati di default inizialmente e in ciascuna zona in seguito (cap. 5.2).

I risultati seguenti rappresentati in Fig.101 sottolineano l'importanza che hanno i componenti dell'involucro e gli infissi nella dispersione totale. Nel modello realizzato, la dispersione della potenza invernale risulta 5.440,33 kW suddivisa nel seguente modo:

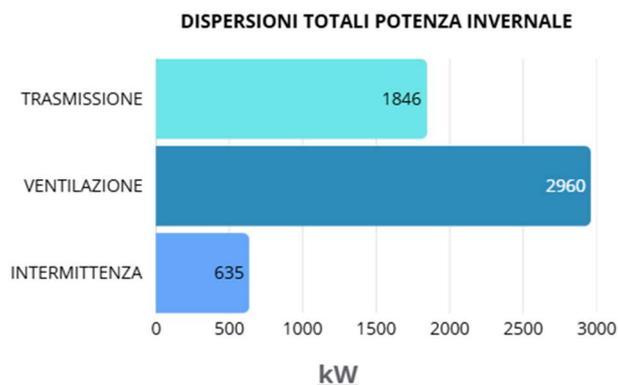


Figura 101 - Dispersioni totali potenza invernale senza influenza dei ponti termici

Analizzando le zone termiche create in fase di modellazione è possibile notare l'andamento delle dispersioni secondo le destinazioni d'uso. I grafici seguenti (Fig.102) rappresentano dispersioni in termini assoluti per gli ambienti più frequenti e frequentati, ma in relazione al proprio volume la tendenza si inverte in quanto servizi e ristoro presentano un ricambio d'aria più costante e duraturo durante l'arco della giornata.

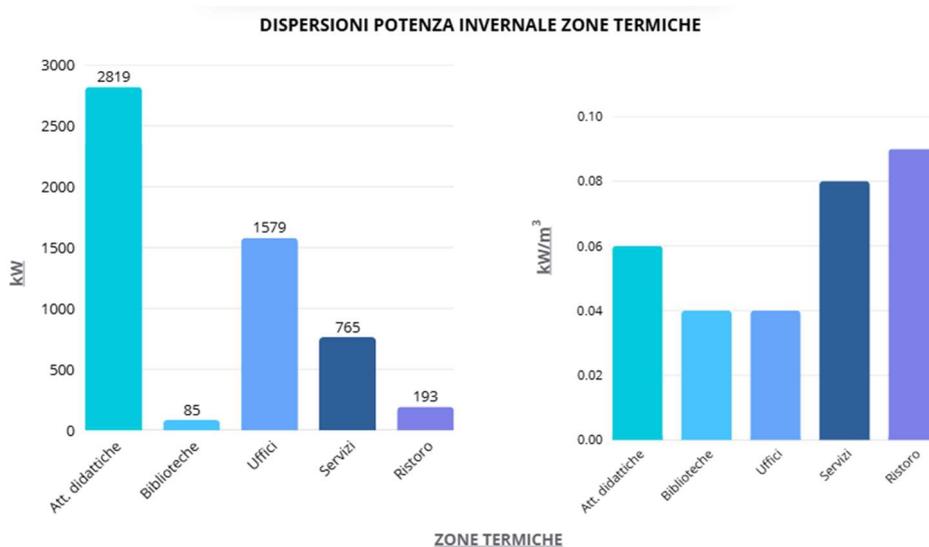


Figura 102 -Grafico dispersioni totali divise per zone termiche

I grafici alla Fig.103 rappresentano le ripartizioni delle dispersioni per ventilazione nelle diverse zone termiche. Il grafico conferma l'analisi effettuata dai grafici superiori, in quanto risulta evidente come nelle zone "servizio" e "ristoro" la dispersione al metro cubo per ventilazione è maggiore rispetto alle altre zone. La dispersione totale risulta 2.959,93 kW ripartita nel seguente modo:

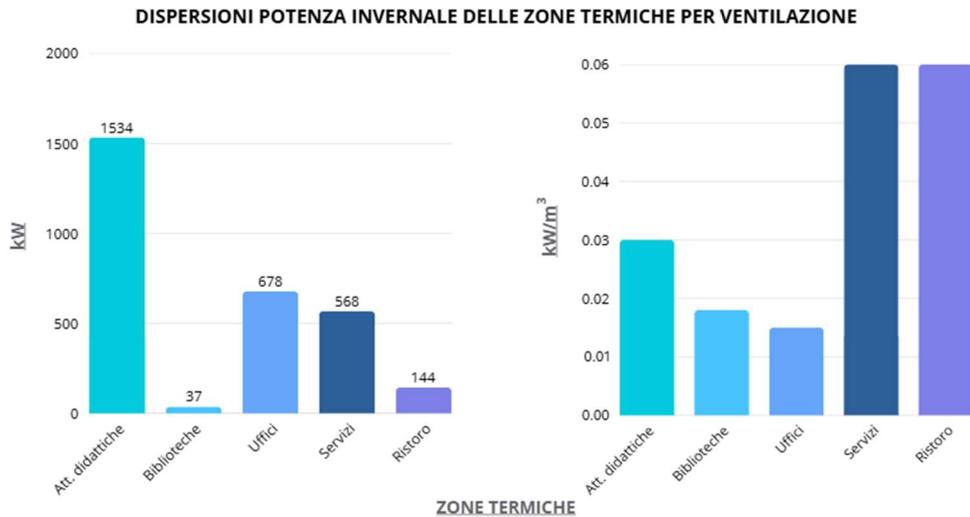


Figura 103 - Grafico dispersione potenza invernale per ventilazione divisa per zone termiche

Le dispersioni di potenza invernale per intermittenza in valore assoluto risultano dominanti per quanto riguarda le zone più con superfici maggiori all'intero dell'edificio, nel grafico delle dispersioni in relazione ai metri cubi risale all'occhio una eccessiva dispersione nelle zone ristoro in cui, sempre per via di una ventilazione più preponderante, l'impianto necessita di più dispendio per portare in temperatura l'ambiente e i componenti, mentre per il resto delle zone si ha una situazione omogenea. La dispersione totale per intermittenza risulta 934,49 kW ripartita nel seguente modo:

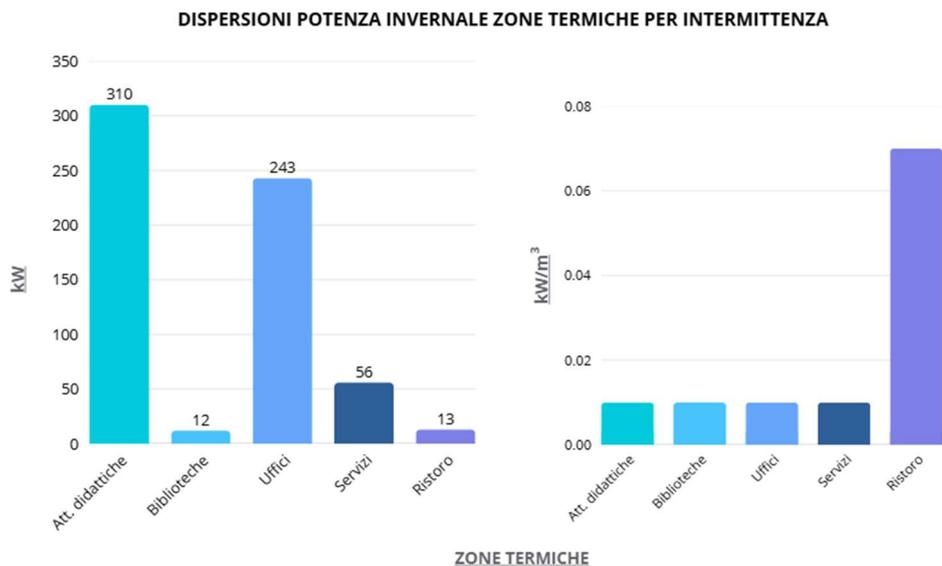


Figura 104 - Grafico dispersione potenza invernale per intermittenza divisa per zone termiche

Nei grafici rappresentati di seguito (Fig.105) sono descritte le ripartizioni delle dispersioni per trasmissione tra i diversi componenti dell'involucro e i componenti finestrati. Tale analisi è stata ritenuta più opportuna eseguirla focalizzandosi sui componenti dell'involucro piuttosto che per zone, in quanto la dispersione per trasmissione dei componenti non dipende dall'uso dell'ambiente. I grafici riportano un'incidenza notevole degli infissi in rapporto alla loro superficie, mentre la distribuzione delle dispersioni diversificate per esposizione rimane omogenea in rapporto alle dispersioni totali. La dispersione totale risulta 1845,911 kW ripartita nel seguente modo:

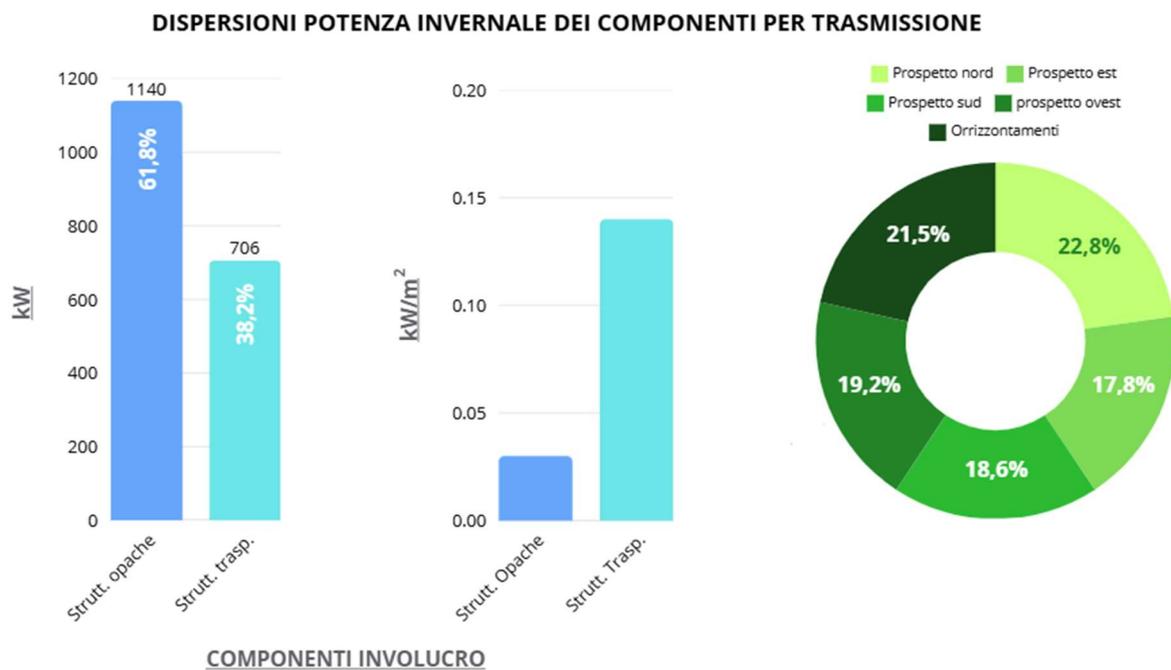


Figura 105 - Grafici dispersioni potenza invernale per trasmissione divisa per componenti involucro

6.1.2 – Bilancio energia invernale

Tramite le analisi di energia invernale è possibile ricavare il bilancio energetico stagionale dei mesi più freddi (Fig.106-107), è rappresentato come gli apporti gratuiti (Q_{gn}) sono notevolmente inferiori alle dispersioni totali ($Q_{h,ht}$) e di conseguenza l'edificio necessita di energia elevata ($Q_{h,nd}$) per portare a temperatura gli ambienti. A seguire verranno riportate le tabelle riassuntive:

Dispersioni, apporti ed energia utile			Dispersioni				Apporti			
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ [°C]	Qh.tr [kWh]	Qh.r [kWh]	Qh.ve [kWh]	Qh.ht [kWh]	Qsol.w [kWh]	Qint [kWh]	Qgn [kWh]	Qh.nd [kWh]
ottobre	17	14,0	130526	24500	83821	238847	30710	45021	75731	169850
novembre	30	9,3	466868	52476	262743	782087	32772	79449	112221	672524
dicembre	31	3,8	757059	53641	411115	1221816	19420	82098	101517	1121182
gennaio	31	1,3	867019	54346	474576	1395942	31868	82098	113965	1282966
febbraio	28	5,4	583861	67207	334646	985714	56819	74153	130972	857577
marzo	31	9,6	417389	75873	263886	757148	93284	82098	175381	591325
aprile	15	12,7	116127	31071	89650	236847	56295	39725	96020	152975

Figura 106 - Andamento dispersioni e apporti gratuita stagione invernale

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)											
Dispersioni				Apporti				Bilancio energetico			
Dispersioni per trasmissione	Qh.tr	3338849	kWh	Apporti solari	Qsol.w	321168	kWh	Energia utile	Qh.nd	4848399	kWh
Dispersioni per extraflusso	Qr	359113	kWh	Apporti interni	Qint	484640	kWh	Consumo specifico		175,75	kWh / m ²
Dispersioni per ventilazione	Qh.ve	1920438	kWh	Apporti aggiuntivi	Qi	0	kWh	Consumo specifico		32,91	kWh / m ²
Dispersioni totali	Qh.ht	5618400	kWh	Apporti totali	Qgn	805808	kWh	Stagione di riscaldamento			
								dal	15 ottobre	al	15 aprile
										giorni	183

Figura 107 - Bilancio energetico stagione invernale

Nella figura seguente (Fig.108) è rappresentato il rapporto tra dispersioni e apporti gratuiti che sono notevolmente inferiori alle dispersioni durante la stagione invernale, infatti essi ricoprono solamente il 14% del fabbisogno di energia termica. Inoltre, gennaio risulta il mese peggiore.

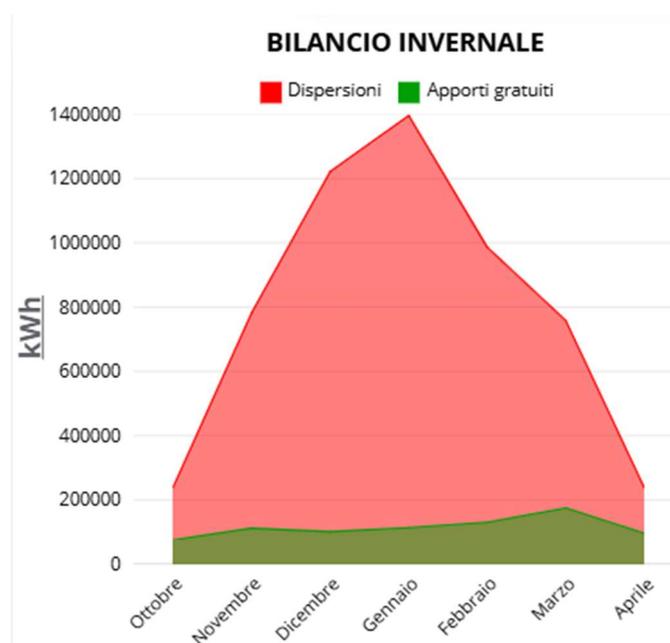


Figura 108 - Andamento rapporto dispersioni/apporti stagione invernale

L'andamento delle dispersioni durante la stagione invernale segue l'andamento complessivo annuale, ovvero le dispersioni per trasmissione e ventilazione sono i due parametri che incidono di più, mentre per gli apporti sono più elevati quelli interni di quelli attraverso i componenti finestrati (fig.109).

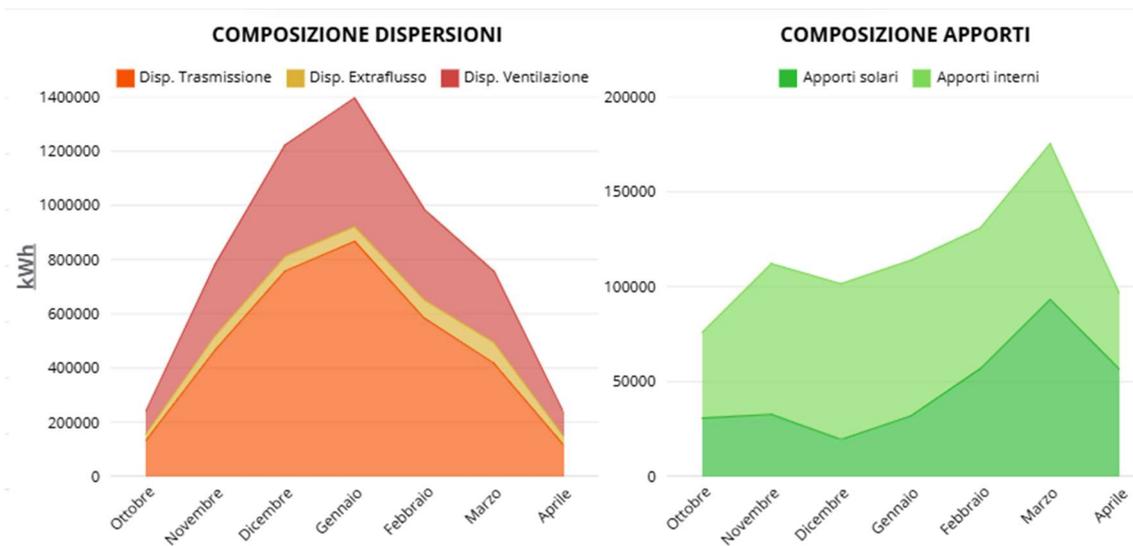


Figura 109 – Andamento composizione dispersioni e apporti stagione invernale

I grafici seguenti (Fig.110) dimostrano che durante la stagione invernale i componenti opachi incidono maggiormente rispetto ai componenti finestrati in termini assoluti, con gli apporti che rimangono al quanto insufficienti. In rapporto alle superfici invece gli infissi incidono di più avendo trasmittanza più elevata.

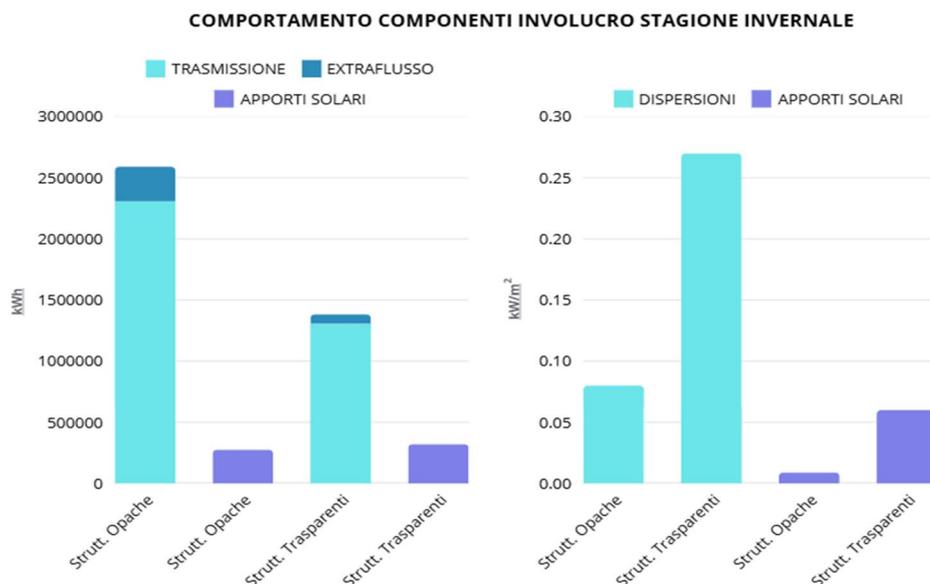


Figura 110 – Grafici dispersioni e apporti assoluti (sx), dispersioni e apporti in rapporto alla superficie (dx), Stagione invernale

6.1.3 – Bilancio energia estiva

Con l'analisi dell'energia durante la stagione estiva si studia il bilancio energetico nei mesi più caldi (Fig.111-112). Durante la stagione estiva l'energia da apportare agli ambienti è quella necessaria al raffrescamento che è notevolmente inferiore a quella utile per il riscaldamento nel periodo invernale. L'impegno maggiore risulta essere chiaramente nei mesi più caldi, mentre per quanto riguarda gli altri mesi, il rapporto dispersioni-apporti è sufficientemente bilanciato. A seguire verranno riportate le tabelle riassuntive:

Dispersioni, apporti ed energia utile			Dispersioni				Apporti			
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ [°C]	Qc.tr [kWh]	Qc.r [kWh]	Qc.ve [kWh]	Qc.ht [kWh]	Qsol.w [kWh]	Qint [kWh]	Qgn [kWh]	Qc.nd [kWh]
marzo	18	10,6	137083	14953	71260	223297	29106	18235	47341	1
aprile	30	13,6	267284	40548	167521	475353	79832	48029	127861	27
maggio	31	17,7	254593	73376	201882	529851	125072	78595	203667	653
giugno	30	22,2	48631	79127	92124	219882	124361	79005	203366	26516
luglio	31	24,8	-95321	95642	29963	30283	146107	81638	227745	197462
agosto	31	21,6	84889	76607	110248	271745	128208	81638	209846	16155
settembre	30	19,3	219391	59604	162536	441531	97879	79005	176883	765
ottobre	31	15,6	236417	29678	133277	399372	40059	46243	86302	4
novembre	7	11,5	53057	4693	25975	83724	4597	7091	11688	0

Figura 111 - Andamento dispersioni e apporti gratuita stagione estiva

Risultati stagionali (raffrescamento estivo)											
Dispersioni			Apporti			Bilancio energetico					
Dispersioni per trasmissione	Qc.tr	1206023 kWh	Apporti solari	Qsol.w	775220 kWh	Energia utile	Qc.nd	241583 kWh			
Dispersioni per extraflusso	Qr	474229 kWh	Apporti interni	Qint	519480 kWh	Consumo specifico	8,81 kWh / m ²				
Dispersioni per ventilazione	Qc.ve	994786 kWh	Apporti aggiuntivi	Qi	0 kWh	Consumo specifico	1,64 kWh / m ³				
Dispersioni totali	Qc.ht	2675038 kWh	Apporti totali	Qgn	1294700 kWh	Stagione di raffrescamento					
						dal	14 marzo	al	7 novembre	giorni	239

Figura 112 - Bilancio energetico stagione estiva

Nell'immagine successiva (Fig.113) è riportato in modo grafico il rapporto tra dispersioni e apporti gratuiti, in questo caso a differenza della stagione invernale, si ha un andamento sinusoidale, infatti si nota il comportamento dell'inerzia termica dell'edificio che nei primi mesi della stagione estiva disperde meno calore accumulato dalle strutture rispetto ai mesi seguenti dove accumula più calore da disperdere con l'esterno fino ad arrivare ai mesi centrali della stagione dove il flusso totale viene quasi invertito in quanto il calore accumulato viene disperso verso gli ambienti interni che hanno temperatura inferiore all'esterno, creando così un andamento ciclico. Gli apporti gratuiti aumentano con la stagione estiva coprendo notevolmente le dispersioni e diminuiscono nei mesi più freddi, questo è dovuto al fatto che nella stagione estiva l'irraggiamento del sole ha meno ostacoli essendo in posizione più alta e ha potenze maggiori.

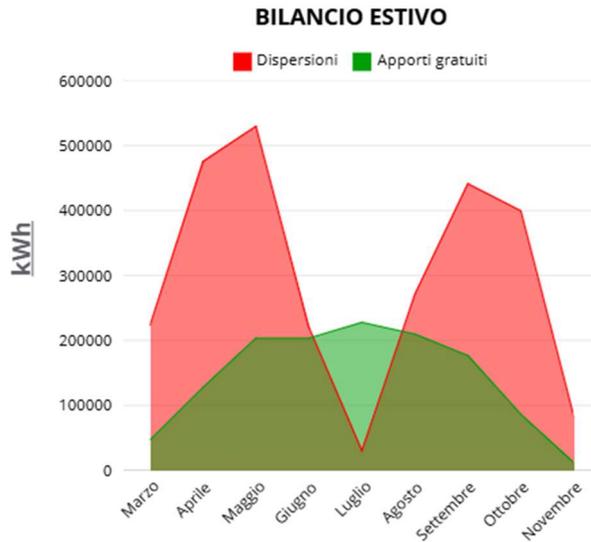


Figura 113 - Andamento rapporto dispersioni/apporti stagione estiva

Nella rappresentazione delle composizioni di dispersioni e apporti (Fig.114), salta all'occhio come nella composizione delle dispersioni, durante il mese di luglio, si ha che la dispersione per trasmissione è negativa, questo perché la temperatura interna è inferiore a quella esterna invertendo il flusso di scambio termico. L'inversione del flusso avviene, come precedentemente descritto, per l'entrata in gioco dell'inerzia termica dell'edificio. A luglio le pareti iniziano a scambiare l'energia termica accumulata durante il giorno con l'ambiente interno che ha temperatura più bassa anziché con quello esterno invertendo il flusso termico. Per lo stesso motivo le dispersioni per extraflusso e per ventilazione sono quasi nulle. Riguardo gli apporti gratuiti in estate, gli apporti solari sono più influenti degli apporti interni, a differenza della stagione invernale.

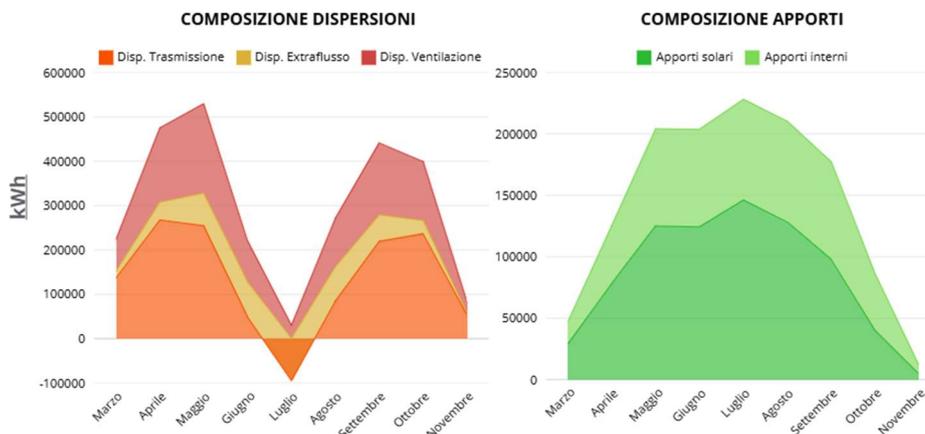


Figura 114 - Andamento composizione dispersioni e apporti stagione estiva

Gli apporti durante la stagione estiva sono molto più incisivi della stagione invernale, inoltre i componenti finestrati confermano un ruolo notevolmente influente sia in materia di dispersioni che di apporti per via della loro trasmittanza elevata (Fig.115).

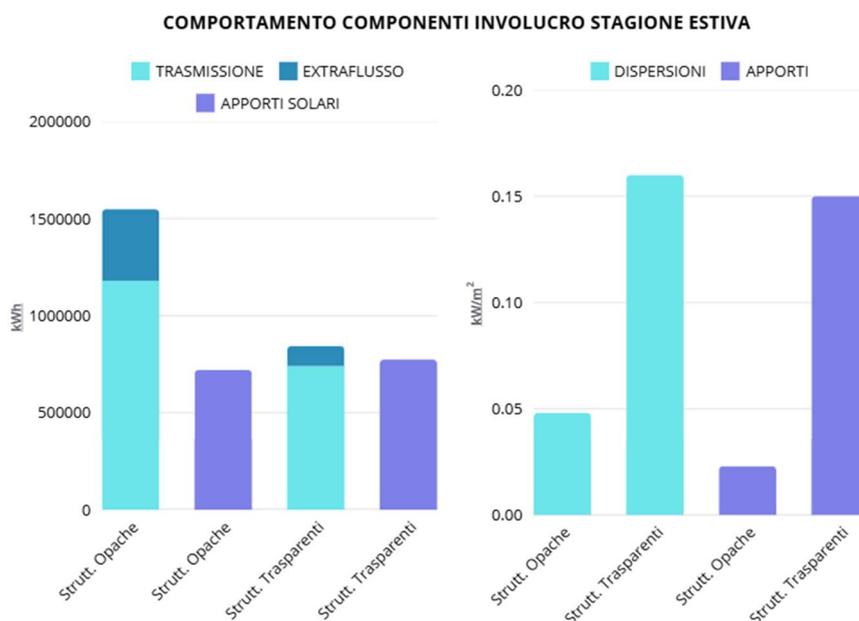


Figura 115 – Grafici dispersioni e apporti assoluti (sx), dispersioni e apporti in rapporto alla superficie (dx), Stagione estiva

6.2 – Analisi risultati modellazione dei ponti termici parete-infisso

6.2.1 – Influenza sull’involucro del ponte termico W77-M230

Dal punto di vista globale, viste la dimensione dell’edificio, il singolo ponte termico non ha alcuna incidenza nonostante sia uno dei ponti termici più influenti dell’edificio, nonostante ciò, valutarlo in rapporto all’edificio interno può aiutarci a capirne la portata e l’influenza in termini numerici che esso possiede. Infatti, il ponte termico risulta disperdere una potenza termica pari a circa 7,6 kW che rappresenta lo 0,38% sulle dispersioni globali. A tal proposito, in seguito, sono riportate le valutazioni appena descritte (Fig.116-117):

CONFRONTO DISPERSIONE POTENZA TERMICA P.T.

Ponte termico	CON P.T. [kW/m]	SENZA P.T. [kW/m]	LUNGHEZZA [m]	Δ [kW/m]	Disp. [kW]
Sez. vert. infisso	0,36	0,3	105,6	0,06	6,336
Sez. oriz. infisso	0,37	0,35	48	0,02	0,96
Sez. vert. pilastro	0,34	0,29	7,2	0,05	0,36
Tot.					7,656

Figura 116 - Flussi di potenza termica in termini assoluti del ponte termico

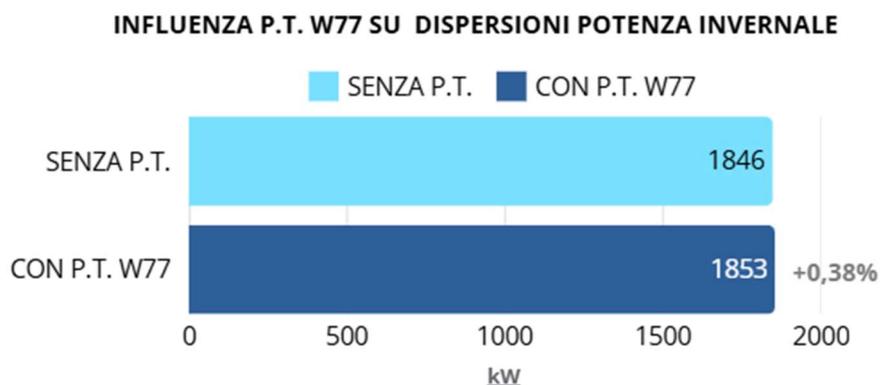


Figura 117 – Grafico dispersione totale con e senza il ponte termico W77

Dal punto di vista locale la situazione è differente, nei grafici a seguire è stata valutata l’influenza del ponte termico sulla superficie disperdente di cui ne fa parte (Fig.118), in tal senso è stata considerata l’intera parete disperdente composta da muro in cemento armato e infisso descritti al capitolo precedente (Fig.119). La posa dell’infisso, influenzando sul ponte termico con i suoi quattro lati, ha un’incidenza significativa sulla dispersione totale, mentre il pilastro che causa i ponti termici alle sue estremità ha un’influenza ridotta per via delle dimensioni trascurabili dei giunti rispetto al muro intero.



Figura 118 - Identificazione superficie disperdente su modello energetico

INFLUENZA PONTE TERMICO SU SUPERFICIE DISPERDENTE

Dispersioni [kW]	Senza p.t.	Pilastro	Spallette infisso	Davanzale	Architrave	Somme
Muro M230	19,81	0,36				20,17
Infisso W77	9,65		0,96	3,168	3,168	16,946
	29,46					Tot. 37,116

Figura 119 - Calcolo dispersioni superficie disperdente con infisso W77

Col grafico seguente (Fig.120) viene descritto su che componente vanno ad influire i tre ponti termici bidimensionali calcolati e in che termini. Il ponte termico causato dal pilastro in acciaio incide poco sulla dispersione del muro mentre il ponte termico causato dall'infixo rappresenta la dispersione principale del ponte termico complessivo che agisce sulla superficie disperdente.

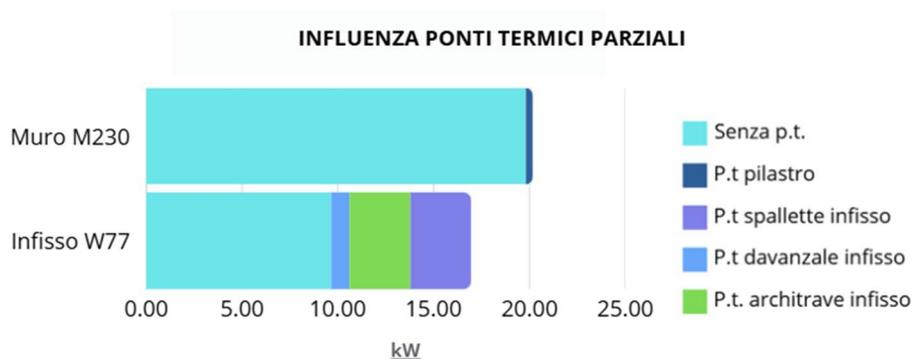


Figura 120 – Grafico influenza ponti termici su componenti involucro

Nonostante ciò, il ponte termico che è costituito quasi esclusivamente dalla posa dell'infixo, rappresenta il 20% (Fig.121) della dispersione totale della superficie disperdente. Infatti, un'incidenza del 20% rappresenta un valore superiore alla media, in quanto una superficie con alte trasmittanze come in questo caso dovrebbe ridurre l'influenza del ponte termico in rapporto con i componenti, ma trattandosi di un ponte termico molto critico dal punto di vista geometrico essendo composto da una geometria molto discontinua. La presenza dell'infixo in ferro non isolato, putrelle su tre lati (lineari e inclinate in copertura), muro in cemento armato, rendono la zona del ponte molto disomogenea non solo materialmente ma anche geometricamente. Per questo il ponte termico influisce più del normale sulla superficie disperdente, nonostante le trasmittanze alte dei componenti.

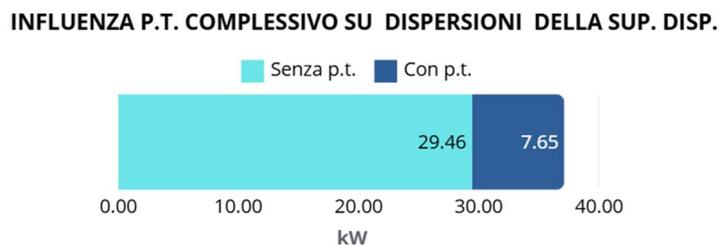


Figura 121 – Grafico influenza ponte termico complessivo su superficie disperdente

6.2.2 – Influenza sull’involucro dei ponti termici W parete-telaio da abachi

I valori dei ponti termici parete-telaio calcolati senza il bisogno di ricorrere ad un calcolo agli elementi finiti risultano trascurabili rispetto alle trasmittanze delle superfici disperdenti dell’involucro. Per determinare ciò, essendo il modello composto da centinaia di infissi differenti ripetuti anche più volte su differenti murature, si sono considerati i valori medi delle trasmittanze e si ha che la trasmittanza lineica del ponte termico è pari a $0,25 \text{ W/mK}$, mentre la media delle trasmittanze delle murature e degli infissi riportate al capitolo 5.3.4 risultano rispettivamente $1,375$ e $5,52 \text{ W/m}^2\text{K}$. In seguito, è noto che le murature sono presenti per una superficie di 31.415 m^2 e gli infissi per una superficie di 5.034 m^2 . Infine, calcolando l’altezza media di tutte le finestre si ha un valore di 2 metri. Ora è possibile ricavare il perimetro per poter calcolare i valori delle dispersioni, considerando una differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno di 25°C :

$$A_{fin,tot} = 5.034 \text{ m}^2$$

$$h_{fin,med} = 2 \text{ m}$$

$$b_{fin,tot} = 2.517 \text{ m}$$

$$\text{Perimetro} = 2 \cdot (h + b) = 2 \cdot (2 + 2.517) = 5.038 \text{ m}$$

Calcolando le dispersioni (Fig.122), si conferma che i ponti termici dovuti alla posa degli infissi (escluso il W77) hanno un’incidenza sull’involucro edilizio trascurabile, pari a circa $1,70\%$.

INCIDENZA PONTE TERMICO POSA INFISSI

Elementi	U	u.m.	Dimensione	u.m.	Disp. [w]	somme [KW]
Murature	1,375	W/m ² K	31.415,00	m ²	1.079.890,63	1.846,32
Infissi	6,1	W/m ² K	5.034,00	m ²	767.685,00	
ponte termico	0,25	W/mK	5.038,00	m	31.487,50	31,49 1,7%

Figura 122 - Calcolo influenza ponti termici totali posa infisso dell’edificio

6.3 – Dispersioni totali dell’involucro con tutti i ponti termici causati dagli infissi

Dalle analisi eseguite in precedenza è possibile ricavare le dispersioni finali (Fig.123) dovute alla posa degli infissi valutandone l’incidenza sulle dispersioni totali dell’involucro come riportato alla figura seguente.

INCIDENZA TOTALE PONTE TERMICO DA POSA INFISSI

Elementi	Disp. [kW]	Incidenza
Dispersione involucro senza P.T.	1.846,32	97,9%
Dispersione p.t. infisso W77	7,65	2,1%
Dispersioni p.t. altri infissi	31,49	
Tot.	1.885,46	

Figura 123 - Dispersioni totali e influenze del ponte termico parete-infisso su tutto l'edificio

Nel diagramma finale (Fig.124) è rappresentata l'incidenza dei ponti termici complessivi causati dalla posa degli infissi su tutta la superficie disperdente dell'edificio Risorgimento. Il diagramma descrive e evidenzia la poca influenza di tale ponte termico sullo stato attuale dell'involucro.

INFLUENZA DI TUTTI I PONTI TERMICI DELL'EDIFICIO PARETE-SERRAMENTO SU SUPERFICIE DISPERDENTE TOTALE

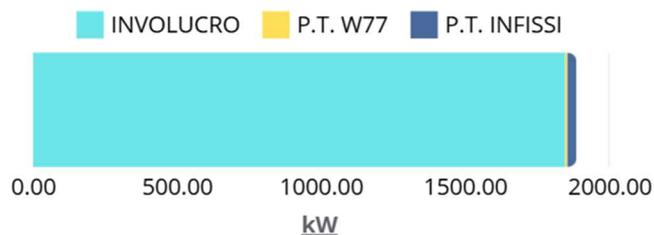


Figura 124 - Grafico incidenza p.t. da posa infissi complessivo dell'edificio

CONCLUSIONI

Lo scopo del lavoro di tesi è stato quello di produrre un modello energetico accurato dell'edificio esistente fornendo un'analisi critica del suo stato utile per la valutazione delle migliori strategie da adottare nell'ambito del Piano Energetico d'Ateneo, più nello specifico per le strategie riguardanti la sostituzione degli infissi dell'edificio Risorgimento.

Il lavoro di tesi si è sviluppato in tre fasi. La prima fase ha riguardato l'analisi conoscitiva dell'edificio, includendo lo studio del contesto attraverso documentazione storica e articoli relativi al progettista e all'edificio stesso. Inoltre, è stato eseguito un rilievo dettagliato, con particolare attenzione ai componenti dell'involucro, agli infissi presenti, alle altezze degli ambienti riscaldati e alle tecniche costruttive adottate. Successivamente, si è proceduto con la modellazione energetica dell'involucro mediante il software Edilclima EC700 e con la valutazione dei ponti termici associati agli infissi, utilizzando gli abachi previsti dalla normativa vigente e, ove necessario, il calcolo agli elementi finiti tramite il software Mold Simulator. Infine, è stata condotta un'analisi dei risultati ottenuti, finalizzata a fornire indicazioni utili per le future scelte di intervento.

Dai risultati ottenuti, si può affermare che l'edificio presenta un'elevata dispersione termica per trasmissione, dovuta all'alta trasmittanza dei componenti dell'involucro. Questo aspetto è riconducibile alla tipologia costruttiva dell'edificio, risalente alla seconda metà del Novecento, quando non venivano ancora adottati criteri progettuali orientati all'efficienza energetica. In termini assoluti, il 62% delle dispersioni è attribuibile alle chiusure opache, mentre il 38% è dovuto alle chiusure trasparenti. Tuttavia, rapportando queste dispersioni alle rispettive superfici, emerge che gli infissi, composti prevalentemente da telai in ferro, disperdono in rapporto con la loro superficie circa cinque volte di più rispetto agli altri elementi dell'involucro, a causa della loro elevata trasmittanza. Gli apporti energetici derivanti dall'irraggiamento solare e dalle attività interne risultano di lieve entità pari a solo il 14% del fabbisogno di energia termica. Un dato significativo riguarda il confronto tra i differenti corpi di fabbrica appartenenti allo stesso plesso: paradossalmente, la struttura più recente, realizzata negli anni '70 interamente in cemento armato e acciaio, si dimostra termicamente meno efficiente rispetto all'edificio degli anni '30. Quest'ultimo, nonostante l'età, presenta murature in laterizio con intercapedini, garantendo trasmittanze inferiori e quindi minori dispersioni ma che risulta ugualmente penalizzato dalla grande estensione delle superficie esterne.

Come già descritto, tra le strategie previste dal Piano Energetico d'Ateneo per la riduzione dei consumi, rientra l'intervento di sostituzione degli infissi. Sarà quindi fondamentale prima valutare le ripercussioni di tale intervento sui ponti termici, rendendo necessaria un'analisi approfondita della loro incidenza nello stato attuale dell'edificio.

Per quanto riguarda i ponti termici dovuti alla posa degli infissi, il calcolo agli elementi finiti, eseguito per le zone con geometria più complessa, ha evidenziato un incremento delle dispersioni dello 0,38% sulle superfici disperdenti. Gli altri infissi, corrispondenti alla parte restante dell'edificio, valutati attraverso gli abachi normativi, hanno mostrato un incremento dell'1,7%, incrementando la dispersione complessiva su tutto l'edificio al 2,1%. In termini energetici, i ponti termici modellati corrispondono a 31,5 kW dispersi sui 1885 kW totali delle superfici disperdenti. I ponti termici parete-infisso risultano trascurabili nel contesto generale, poiché le condizioni al contorno sono caratterizzate dalla presenza di componenti con prestazioni energetiche nettamente peggiori. Di conseguenza, l'intero edificio si comporta come un grande ponte termico, annullando l'influenza specifica dei singoli ponti termici sulle dispersioni complessive. Nel contesto specifico, il ponte termico dell'infisso posto nelle aule dell'edificio più recente, simulato con calcolo agli elementi finiti, rappresenta il 20% sulla dispersione totale della superficie disperdente.

Queste conclusioni potranno essere d'aiuto per definire le migliori strategie energetiche da adottare nel Piano Energetico d'Ateneo, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂ e contenere i costi energetici. Inoltre, sarà interessante confrontare le dispersioni termiche attuali con quelle che si otterrebbero sostituendo le trasmittanze attuali con quelle limite previste dalla normativa, verificando così la differenza tra lo stato di fatto e il valore massimo consentito. Tale valutazione sarà strumento utile per la firma energetica dell'edificio ma comunque penalizzato dalla grande estensione delle superfici esterne.

BIBLIOGRAFIA

1. *Lantschner N. La mia CasaClima: progettare, costruire e abitare nel segno della sostenibilità. Raetia; 2009.*
2. *Barbabella A, Bienati M, Montanini C. Italy Climate Report 2021 - La performance dell'Italia sui temi del clima e dell'energia. 2021 Dec.*
3. *Consiglio dell'Unione Europea S generale. Direttiva sulla prestazione energetica degli edifici: una spiegazione. 2023.*
4. *La Redazione. INFOBUILD: il portale per l'edilizia e l'architettura. 2024.*
5. *Commissione Europea. Raccomandazione (UE) 2024/2395 della Commissione, del 2 settembre 2024, che stabilisce orientamenti per l'interpretazione dell'articolo 26 della direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la fornitura di riscaldamento e raffrescamento. 2024 Sep 2; Available from: https://doi.org/10.2908/NRG_IND_REN.*
6. *Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica. 2017.*
7. *Edilportale [Internet]. [cited 2025 Feb 25]. Available from: <https://www.edilportale.com/>*
8. *Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali. Decreto interministeriale 16 febbraio 2016 aggiornamento conto termico [Internet]. 2016 Feb [cited 2025 Feb 25]. Available from: https://www.mimit.gov.it/images/stories/normativa/decreto_interministeriale_16_febbraio_2016_aggiornamento_conto_termico.pdf*
9. *Rinnovabili.it [Internet]. [cited 2025 Feb 25]. Available from: Rinnovabili.it*
10. *Alma Mater Studiorum Università di Bologna. PIANO ENERGETICO DI ATENEO. 2024.*
11. *Gulli R, Predari G, Boiardi L. Criteri e metodi per l'adeguamento prestazionale del patrimonio architettonico degli anni trenta del Novecento. La Facoltà di Ingegneria di Bologna [Internet]. Bologna; 2012 Dec. Available from: http://in_bo.unibo.it*
12. *Amadei A. Conoscenza e conservazione del moderno: progetto di recupero della torre della facoltà di ingegneria di Bologna. [Bologna]: Alma Mater Studiorum Università di Bologna; 2019.*
13. *Meloni E. Infobuildenergia: il portale per l'architettura sostenibile, il risparmio energetico, le fonti rinnovabili in edilizia. 2021 [cited 2025 Feb 25]. Zone climatiche, gradi giorno e periodo di riscaldamento: il DPR 412/93 e s.m.i. Available from: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/zone-climatiche-gradi-giorno-periodo-riscaldamento-dpr-412-93/>*
14. *Edilclima. Manuale d'uso. 2024 Nov.*

15. *Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti. Decreto Requisiti Minimi. 2015 Jun.*
16. *Renieri P. Ombreggiamenti [Internet]. [cited 2025 Feb 25]. Available from: <https://www.renieriarchitetto.com/riqualificazione-energetica/it/servizi/calcoli-fisica-tecnica/ombreggiamenti.html>*
17. *Pesaresi S. Ponti termici: valutazione e correzione. Calcolo, verifica e strategie per la correzione. Maggioli Editore, editor. Santarcangelo di Romagna; 2022.*
18. *Redazione Tecnica - Ediltecnico. Calcolo di un ponte termico: metodi ammessi e non ammessi [Internet]. 2022 [cited 2025 Feb 25]. Available from: <https://ediltecnico.it/calcolo-ponte-termico-metodi-ammessi-e-non-ammessi/>*
19. *Lorenzati A. Analisi dei ponti termici agli elementi finiti (FEM): procedura ed esempi di calcolo.*

Desidero ringraziare il Professore Luca Barbaresi per la sua guida con grande competenza, la disponibilità e il prezioso supporto durante questo percorso. Un sincero ringraziamento anche agli Ingegneri Corrado Camponeschi e Maurizio Goni per la loro professionalità, disponibilità e il supporto prezioso che mi hanno offerto.