Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
A.a. 2020/2021
Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro nei condomini torinesi degli anni Sessanta

Relatore:
Prof. Paolo Piantanida

Candidato:
Ester Carissimi 269711

Sommario

INTRODUZIONE 4
1. I CONDOMINI DEGLI ANNI SESSANTA 5
1.1 Le tipologie costruttive 5
1.2 Le tipologie e distribuzioni impiantistiche 7
2. I REQUISITI DELL'INVOLUCRO VERTICALE 10
3. L'ISOLAMENTO TERMICO 14
3.1 I sistemi 14
3.2 I materiali 16
4. GLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO 23
4.1 La distribuzione 23
4.2 I terminali 27
5. IL CASO STUDIO 30
5.1 L'involucro verticale non isolato 34
5.2 Gli impianti 39
6. LE SOLUZIONI 42
6.1 Soluzione 1: Il cappotto esterno 44
6.1.1 L'involucro 44
6.1.2 Gli impianti 47
6.1.3 La realizzazione 50
6.1.4 I materiali alternativi 56
6.1.5 Considerazioni finali 58
6.2 Soluzione 2: La demolizione parziale 59
7.2.1 L'involucro 59
7.2.2 Gli impianti 63
7.2.3 La realizzazione 66
7.2.4 I materiali alternativi 80

7.2.5 Considerazioni finali 81
7.3 Soluzione 3: La demolizione totale 82
7.3.1 L'involucro 82
7.3.2 Gli impianti 86
7.3.3 La realizzazione 88
7.3.4 I materiali alternativi 96
7.3.5 Considerazioni finali 97
7. CONCLUSIONI 98
8. ALLEGATI 100

INTRODUZIONE

L'edificio residenziale è costruito con l'obiettivo di offrire un involucro capace di garantire il benessere abitativo degli occupanti.

Fino agli anni Settanta, per assicurare il comfort termico era sufficiente incrementare la quantità di calore immessa nelle abitazioni, in quanto il prezzo del combustibile era basso.

Nel 1973, però, si verificò una crisi petrolifera a seguito dalla Guerra del Kippur, in cui i paesi arabi ridussero notevolmente l'esportazione in Occidente del petrolio, principale fonte di energia dell'economia degli Stati. Per la prima volta, il prezzo del riscaldamento, i consumi e in generale i costi energetici delle abitazioni iniziarono ad essere oggetto d'attenzione e si iniziò a proiettare la progettazione nell'ottica di ridurre le dispersioni termiche, per limitare gli sprechi.

A partire dai decenni successivi, seppur molto lentamente, le nuove costruzioni si sono evolute proprio su questo tema, realizzando soluzioni coibentate e sempre più performanti.

Se nelle nuove edificazioni il problema sembra risolto, rimane l'imponente parco immobiliare esistente da prima della crisi petrolifera e delle prime disposizioni in termini di risparmio energetico (*Legge 10 del 1991*), caratterizzato da dispersioni termiche elevate che gravano economicamente sugli occupanti: occorre riqualificare l'involucro e gli impianti per ridurre gli sprechi.

Questa tesi si propone come oggetto proprio lo studio di nuove soluzioni impiantistiche e di materiali isolanti tradizionali e innovativi, attraverso un approfondimento delle loro proprietà e del loro funzionamento. Lo scopo è di giungere a nuove proposte integrate di intervento, sulla base dei risultati ottenuti tramite calcoli e considerazioni effettuati su un edificio condominiale standard degli anni Sessanta e su una specifica camera al suo interno.

1. I CONDOMINI DEGLI ANNI SESSANTA

In Italia gli anni Sessanta rappresentano il periodo del *boom economico*, in cui il Paese ebbe una forte crescita economica e sviluppo tecnologico, che generarono un aumento del reddito per abitante, un incremento demografico e una migrazione della popolazione dalle zone agricole alle aree più industrializzate, come le città del Nord Italia in cui erano presenti i grandi poli industriali; questo si tradusse in un forte aumento della produzione edilizia a livello nazionale, spesso incontrollata e speculativa.

Torino era sede di alcune tra le aziende più importanti e produttive di quegli anni, come la casa automobilistica FIAT e per questo, tra il 1951 e il 1961, la popolazione della città aumentò del 46%[1]: ecco perché la maggior parte degli edifici residenziali, che tutt'ora costituiscono il tessuto urbano di Torino, appartengono agli anni Sessanta.

1.1 Le tipologie costruttive

Gli edifici di quell'epoca sono prevalentemente costituiti da una struttura a telaio in travi e pilastri in calcestruzzo armato. I solai, invece, sono in latero-cemento e le tamponature in mattoni forati. Questa tipologia costruttiva consente un notevole alleggerimento dell'edificio, che può così svilupparsi maggiormente in altezza.

La chiusura verticale esterna, su cui si concentra questa tesi, è prevalentemente *a cassa vuota*, una tipologia costituita da due corsi paralleli di laterizi forati, separati tra loro da un'intercapedine d'aria non ventilata. La faccia interna della parete è intonacata con calce e gesso, mentre quella esterna con calce e cemento. In alcuni casi, quest'ultimo strato non è presente in quanto il blocco è lasciato faccia a vista.

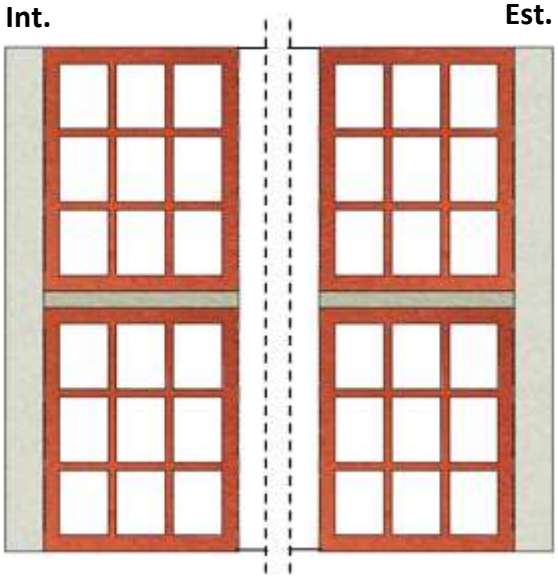


Figura 1: Stratigrafia (2+12+10÷25+12+2 cm) muratura a cassa vuota degli anni Sessanta
(Figura realizzata con Autodesk Revit)

Lo spessore totale della chiusura varia tra i 30 e i 50 cm, così distribuiti (dall'interno all'esterno):

- Intonaco di calce e gesso, sp. 2 cm;
- Laterizio forato, sp. 8-12 cm;

[1] Dati ISTAT

- Intercapedine d'aria non ventilata, sp. 10-25 cm;
- Laterizio forato, anche faccia a vista, sp. 12-15 cm;
- Intonaco di calce e cemento, sp. 0-2 cm.

Le porzioni di parete su cui sono inseriti gli infissi, invece, hanno spessore minore in quanto, nella maggior parte dei casi, sotto i davanzali delle finestre sono presenti nicchie realizzate per alloggiare i terminali impiantistici. In questo caso la muratura è caratterizzata da un singolo corso di laterizi forati oppure da due file affiancate; anche in queste soluzioni la faccia interna della parete è sempre intonacata, mentre quella esterna talvolta può essere lasciata con gli elementi faccia a vista. Lo spessore totale varia tra i 15 e i 25 cm, così distribuiti (dall'interno verso l'esterno):

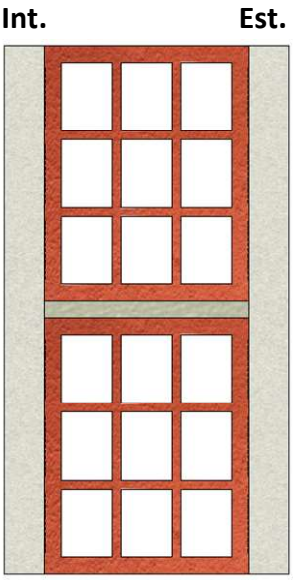


Figura 2: Stratigrafia (2+12+2 cm) muratura sottofinestra degli anni Sessanta
(Figura realizzata con Autodesk Revit)

- Intonaco di calce e gesso, sp. 2 cm;
- Laterizio forato, sp. 8-12 cm;
- Laterizio forato, anche faccia a vista, sp. 0-15 cm;
- Intonaco di calce e cemento, sp. 0-2 cm.

Gli infissi originali degli anni Sessanta presentano un telaio in legno o in ferro e una singola lastra di vetro. L'avvolgibile è in legno o materiale plastico ed è contenuto in cassonetti in materiale metallico e non isolati termicamente.

La coibentazione dell'involucro non è prevista: in quell'epoca, infatti, il costo dell'energia era contenuto e il concetto di risparmio energetico non era oggetto di interesse neanche a livello legislativo. È per questo che l'involucro presenta numerosi ponti termici (evidenziati in arancione e rosso in *Figura 3*), in particolare nelle zone di interfaccia con le strutture in calcestruzzo armato, che aumentano ulteriormente le dispersioni di calore dell'edificio, già rilevanti per gli alti valori di trasmittanza termica degli elementi.

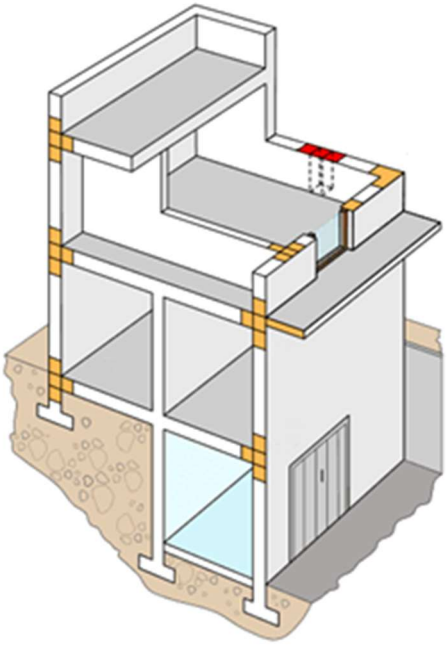


Figura 3: Ponti termici di un edificio
(www.edilclima.it)

1.2 Le tipologie e distribuzioni impiantistiche

I condomini degli anni Sessanta sono caratterizzati da un impianto di riscaldamento centralizzato a due tubi, servito da un generatore di calore a combustione alimentato da combustibili fossili come metano, GPL o gasolio. La distribuzione del fluido termovettore avviene attraverso tubazioni in ferro ed è di tipo verticale, a *colonne montanti*: uscendo dalla caldaia l'acqua calda, spinta da una pompa di circolazione, entra nella tubazione di mandata e percorre nell'area cantine un tratto orizzontale, per poi salire ai vari piani attraverso colonne che collegano ciascuna tutti i radiatori che si trovano su quella verticale. Da questi ultimi, con un percorso inverso, avranno origine le tubazioni di ritorno che scenderanno sino alla caldaia con acqua a temperatura inferiore di quella di mandata.

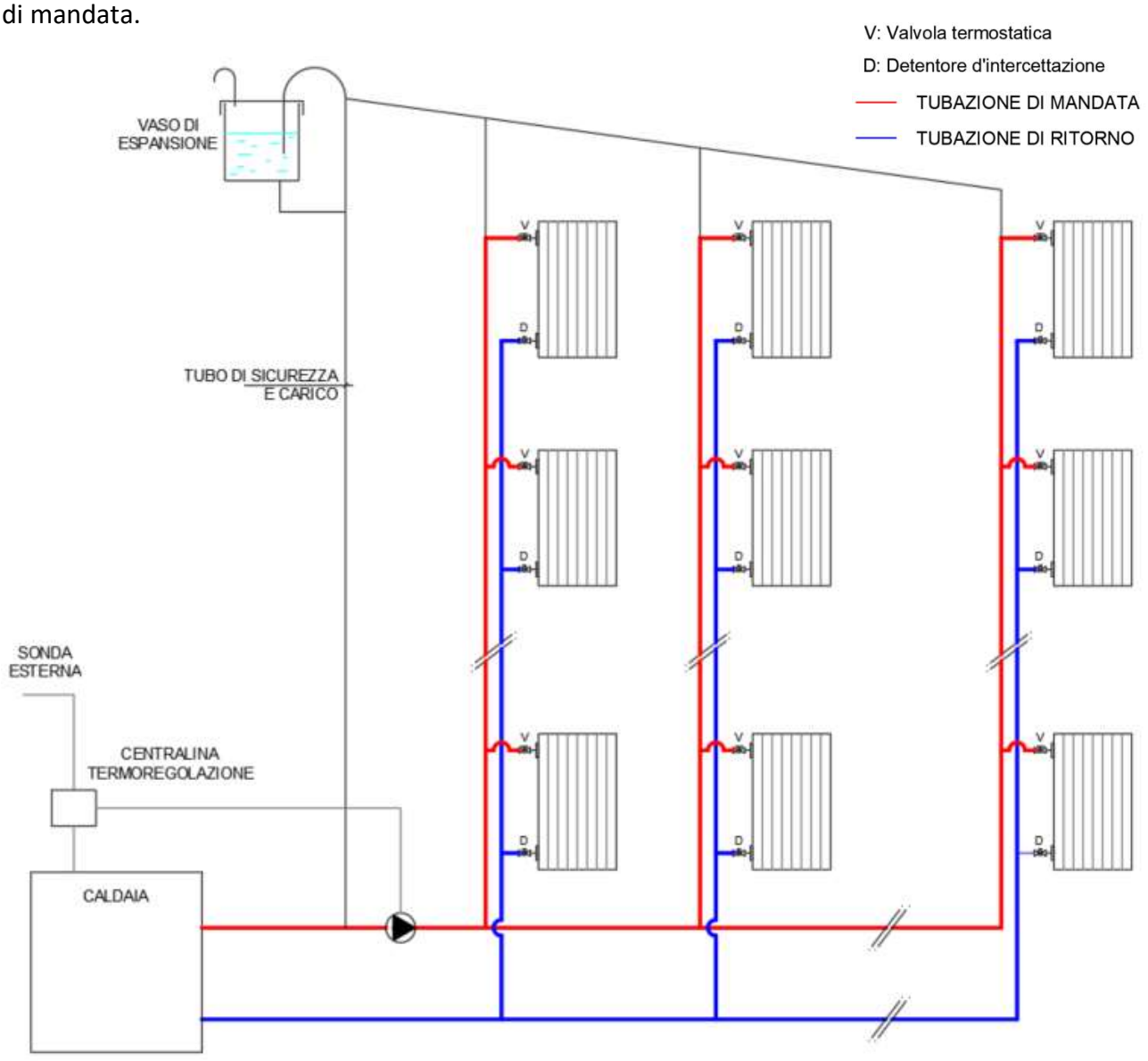


Figura 4: Schema impianto centralizzato a colonne montanti
(Figura realizzata con Autodesk Autocad)

Nello spazio sottotetto, il più alto del circuito, è collocato un vaso di espansione aperto, che ha la funzione di assorbire le dilatazioni termiche dell'acqua che si creano con il passaggio da impianto spento a funzionante, nonché di contrastare l'aumento di volume del fluido a causa del suo riscaldamento, così da proteggere le tubazioni da pressioni troppo elevate; per questo, ogni colonna montante è collegata al vaso di espansione tramite una rete di sfogo dell'aria.

I terminali impiantistici sono costituiti da radiatori per lo più in ghisa o acciaio smaltato, disposti sulle pareti perimetrali, nell'intercapedine dell'involucro non isolato. Tale posizione in passato era stata scelta per semplificare e ridurre i costi delle salite delle tubazioni, che essendo in ferro non erano facili da curvare.

L'unica regolazione della portata e quindi della temperatura dei locali occupati avveniva con il termostato di caldaia e con quello ambiente, situato all'esterno dell'edificio: a seconda della temperatura che quest'ultimo rileva, il termostato della caldaia regola la portata con cui alimentare i terminali impiantistici.

Per favorire il risparmio energetico e consentire una regolazione della temperatura per ogni singolo locale presente in un edificio, dal 2014 (*Decreto Legislativo 102/2014*) è diventato obbligo di legge installare valvole termostatiche e ripartitori di calore su ogni radiatore. Le prime sono caratterizzate da una manopola di regolazione sulla quale sono scritti dei numeri (da 0 a 5), che corrispondono a determinati valori di temperatura; l'utente seleziona il livello che desidera e la testina termostatica costituita da materiale termosensibile (bulbo) si espande o si restringe a seconda della temperatura percepita nell'ambiente, provocando la discesa o la salita dell'otturatore, che provvede a mantenere costante la temperatura impostata regolando l'afflusso dell'acqua calda all'interno del radiatore.

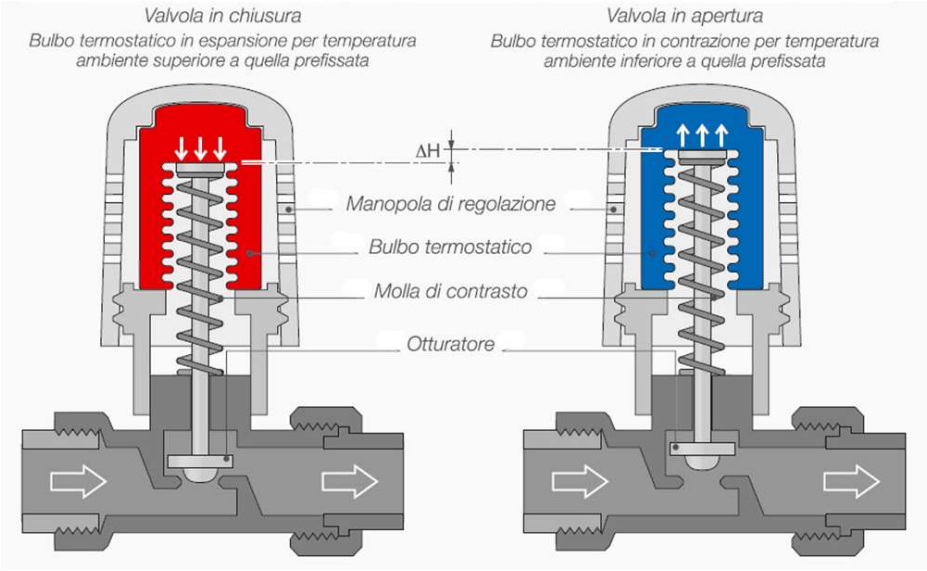


Figura 5: Dettaglio funzionamento interno valvola termostatica *(www.caleffi.com)*

Il ripartitore di calore (*Figura 6 in blu*), invece, è uno strumento elettronico che viene installato sul radiatore, in una determinata posizione a seconda della tipologia e dell'altezza del terminale; esso è dotato di un sensore che ogni mezz'ora rileva la temperatura del radiatore e, se è superiore a quella dell'ambiente interno, invia ad una centralina la differenza tra i due valori. Attraverso una formula che tiene conto anche delle dimensioni e del materiale del terminale, un tecnico abilitato ricaverà i consumi di ogni radiatore, consentendo di ripartire i costi per ogni appartamento. Oltre a questa quota individuale, concorre alla spesa totale del riscaldamento anche una quantità per la gestione comune, calcolata a seconda dei millesimi di proprietà.

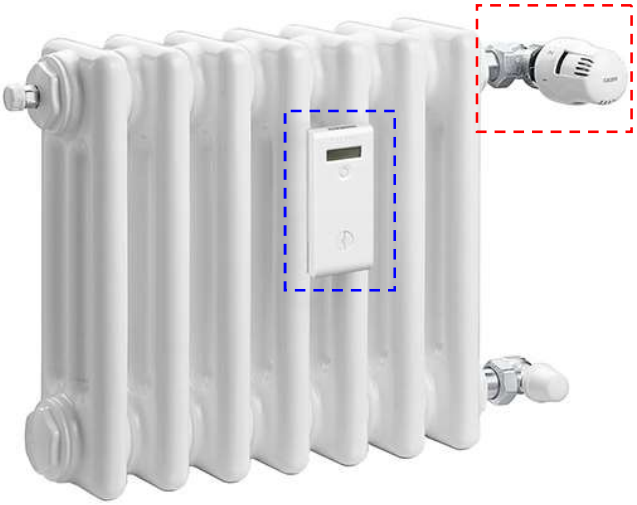


Figura 6: Manopola di regolazione (in rosso) e ripartitore di calore (in blu)
(www.caleffi.com)

La regolazione di ogni radiatore può però provocare scompensi all'impianto di distribuzione, soprattutto quando ci sono variazioni considerevoli di portata affluente ai terminali. Questo può provocare rumore e fischi all'interno dei radiatori, pertanto è necessario sostituire la pompa di regolazione tradizionale con una pompa elettronica che rileva quante valvole sono aperte e a che livello e varia la portata di immissione dell'acqua.

2. I REQUISITI DELL'INVOLUCRO VERTICALE

Le chiusure verticali svolgono un ruolo fondamentale nel mantenimento di un microclima interno idoneo a garantire lo stato di benessere necessario per lo svolgimento delle attività degli occupanti; esse, infatti, permettono di regolare gli scambi termici e dell'aria, l'irraggiamento solare, nonché i flussi luminosi, sonori e di umidità.
È dunque importante che durante la progettazione si tenga conto dei requisiti che questa unità tecnologica deve soddisfare, così da effettuare per tempo le adeguate valutazioni e di conseguenza scegliere le soluzioni e i materiali più idonei. Di seguito si descrivono più nel dettaglio queste caratteristiche, sottolineando quali potrebbero essere le situazioni più critiche.

- *Sicurezza*

Per garantirla, è necessario che le chiusure resistano meccanicamente alle diverse tipologie di carico. Esse, oltre a dover reggere il carico statico del proprio peso e carichi appesi come i pensili di una cucina, devono essere in grado di sopportare l'azione del vento e gli eventuali sismi, che generano sollecitazioni dinamiche sugli elementi. Le pareti che necessitano di maggiori verifiche sono sicuramente quelle leggere e realizzate con pannelli prefabbricati collegati all'edificio tramite una sottostruttura. Il vento, infatti, si manifesta con azioni alternate di pressione e depressione, che generano sforzi di affaticamento nei sistemi di attacco, che possono causare il distacco dei pannelli.

Affinché la sicurezza sia assicurata, inoltre, occorre verificare che le chiusure verticali posizionate in zone pubbliche di passaggio siano resistenti agli urti cosicché questi non compromettano la stabilità della parete o degli elementi che la compongono. Anche in questo caso tale requisito è soddisfatto a priori nelle pareti con strati resistenti in calcestruzzo o laterizi, mentre è più critico nelle pareti leggere. È utile valutare preventivamente questo aspetto per poter eventualmente sostituire i materiali o considerare soluzioni diverse almeno ai piani bassi dell'edificio, che sono le aree in cui può insorgere il problema.

Le chiusure devono anche conservare le proprie caratteristiche di stabilità e isolamento per un tempo stabilito in caso d'incendio, senza che i materiali contribuiscano alla propagazione del fenomeno o producano fumi tossici. Le facciate, direttamente esposte all'irraggiamento termico, sono l'elemento più soggetto all'insorgere di incendio e per questo è necessario utilizzare materiali non infiammabili e con una determinata classe di resistenza e reazione al fuoco. Quelle

che però presentano il rischio maggiore sono le facciate ventilate, perché può instaurarsi l'effetto camino al loro interno e in poco tempo le fiamme possono raggiungere l'intero edificio. È per questo che, oltre alla scelta dei materiali, è anche importante creare delle interruzioni nella parete ventilata, così da bloccare la propagazione del fuoco, come è previsto nelle attuali disposizioni legislative in tema di prevenzione incendi.

Un altro fattore che occorre tener presente è legato alle deformazioni che le chiusure possono subire, solitamente causate dalla reazione della struttura portante a sollecitazioni esterne, ma anche degli elementi con cui entrano in contatto; tra queste, una delle più frequenti è la deformazione dovuta a variazioni di temperatura. Nel caso di facciata realizzata con pannelli rigidi collegati alla struttura, è fondamentale che i giunti di collegamento assorbano le dilatazioni differenziali dei componenti. A tal proposito, sono particolarmente indicati giunti e guaine elastiche oppure collegamenti con sistemi a binario che consentano piccoli spostamenti.

- *Benessere igrotermico e acustico*

L'involucro verticale deve consentire il passaggio dell'aria per garantire un'adeguata ventilazione tramite le aperture, ma deve anche avere funzione di tenuta all'aria e alla pressione del vento per proteggere gli ambienti interni ed evitare distacchi di elementi leggeri di facciata. A tal proposito, i materiali che permettono il maggior controllo sono gli intonaci cementizi, le lastre e i prodotti sigillanti.

La scelta dello strato più esterno è fondamentale anche per garantire la tenuta all'acqua dell'involucro, che deve impedire alle acque meteoriche di penetrare negli ambienti interni o di entrare in contatto con componenti non predisposte ad essere bagnate. L'acqua può entrare nella parete perimetrale se lo strato esterno è poroso o se sono presenti fessurazioni, che possono essere causate dagli shock termici e dai movimenti differenziali. L'intonaco esterno, che è la rifinitura di facciata più utilizzata negli edifici residenziali, è l'elemento più critico sotto questo aspetto ed è per questo che bisogna sceglierlo accuratamente a seconda del tipo di materiale su cui è applicato. Nel caso di pannelli isolanti all'esterno, per esempio, è consigliabile adoperare colori chiari per la finitura e intonaci plastici, che presentano una maggiore elasticità rispetto ai classici di tipo idraulico.

Talvolta può accadere che l'acqua superi lo strato più esterno, magari deteriorato, ma è importante che questa evapori prima di raggiungere gli elementi vicini all'ambiente interno. Per questo può essere utile inserire un'intercapedine d'aria oppure un isolante non idrofilo.

Un altro aspetto molto importante per garantire il benessere degli occupanti, ma anche il contenimento dei consumi energetici, è quello del controllo delle dispersioni termiche e della temperatura. Per limitare l'evacuazione del calore dagli ambienti occorre inserire uno strato isolante nell'involucro, che deve essere il più possibile continuo affinché le temperature delle pareti interne siano uniformi e non si verifichino ponti termici, che possono causare condensa superficiale. La coibentazione che meglio si presta a soddisfare questo requisito è quella posta sullo strato esterno della parete, ma il dettaglio dei sistemi e dei materiali isolanti sarà ampiamente descritto nel paragrafo successivo.
Contribuisce al mantenimento di un'adeguata temperatura degli ambienti interni anche l'inerzia termica della chiusura, che consente l'accumulo di calore e quindi il suo lento rilascio durante le ore della giornata. Questo aspetto è rilevante negli edifici a carattere residenziale, come i condomini, in quanto i sistemi di riscaldamento hanno attenuazione notturna che può causare un abbassamento della temperatura interna, ma anche nei casi di ricambi d'aria frequenti. Involucri massivi possiedono un'alta inerzia termica, mentre le pareti leggere si mostrano soluzioni critiche sotto questo aspetto. Anche la posizione dell'isolante, però, influisce su questo parametro e consente maggior controllo se occupata negli strati più esterni.

La formazione di vapore acqueo all'interno degli ambienti occupati è un altro fattore che non va trascurato, perché se elevata può penetrare nella chiusura verticale e, in presenza di strati più freddi, condensare, causando il degrado dei materiali presenti e macchie di umidità sulle pareti. La soluzione più semplice per limitare il fenomeno è ventilare adeguatamente i locali e realizzare una chiusura permeabile al vapore, che ne permetta l'evaporazione prima che questo incontri gli strati freddi. In alternativa, in caso di produzione elevata di vapore acqueo, può essere inserito uno strato di barriera al vapore, che limita la propagazione all'interno della chiusura.
Anche in questo caso è importante scegliere la giusta posizione dell'isolante, perché è l'elemento che determina l'abbassamento della temperatura e quindi è quello che separa lo strato caldo da quello freddo, in cui può avvenire la condensa. Il sistema più critico risulta essere quello con il coibente sul lato interno, proprio perché è il primo strato che il vapore incontra nella parete, senza avere la possibilità di attraversare strati in cui possa prima evaporare. In questa configurazione la

condensazione interstiziale è praticamente sempre presente, quindi è consigliabile inserire una barriera al vapore.

Infine, affinché il comfort degli occupanti sia ottimale, occorre garantire anche benessere acustico, proteggendo gli ambienti interni dai rumori aerei provenienti dall'esterno, come il traffico, ma anche dai rumori d'impatto trasmessi attraverso gli elementi solidi, come quelli causati da pioggia, grandine e vento. In linea generale, una parete massiva contribuisce maggiormente a soddisfare questo requisito, ma risulta altrettanto efficace inserire uno strato elastico tra due masse rigide, come nel caso dell'isolamento in intercapedine. Queste configurazioni permettono, infatti, lo smorzamento dell'onda sonora, soprattutto quando i materiali degli strati hanno nature differenti tali da non innescare fenomeni di risonanza o coincidenza. Anche in questo caso le pareti leggere sono meno performanti, per questo è necessario inserire uno strato di isolamento acustico ad alta densità, che spesso può essere abbinato alla funzione di coibente termico.

- *Durabilità e manutenzione*

Le chiusure verticali, attraverso un'adeguata e programmata manutenzione, devono essere in grado di sopportare le diverse sollecitazioni a cui sono soggette senza mostrare segni di degrado che possono pregiudicare il loro funzionamento e il loro aspetto. Lo strato più soggetto a tali fenomeni è quello più esterno, direttamente esposto agli agenti atmosferici e all'irraggiamento solare. Le pareti perimetrali con isolamento all'esterno sono quelle più deboli sotto questo aspetto e per questo richiedono maggiori controllo e interventi riparatori.

3. L'ISOLAMENTO TERMICO

Uno dei requisiti su cui si concentra questa tesi è l'isolamento termico dell'edificio. Per poter effettuare una riqualificazione energetica dell'involucro, limitare i ponti termici e in generale le dispersioni di calore, infatti, è proprio su questo aspetto che occorre porre la maggiore attenzione.

3.1 I sistemi

L'involucro può essere coibentato inserendo lo strato isolante all'interno, all'esterno o nell'intercapedine della parete di tamponamento.

L'isolamento dell'involucro dall'esterno risulta il più efficace: avvolgendo l'intero edificio permette di eliminare e ridurre al minimo i ponti termici, rimuovendo così anche il rischio di condensa superficiale nei punti più freddi. La sua posizione, inoltre, consente di ottimizzare l'inerzia termica della parete, che è legata alla capacità di accumulo dei primi strati interni della parete; in questo modo, la temperatura interna raggiunta attraverso il sistema di riscaldamento nella stagione invernale o raffrescamento in quella estiva viene mantenuta più a lungo nell'ambiente dopo lo spegnimento dell'impianto.

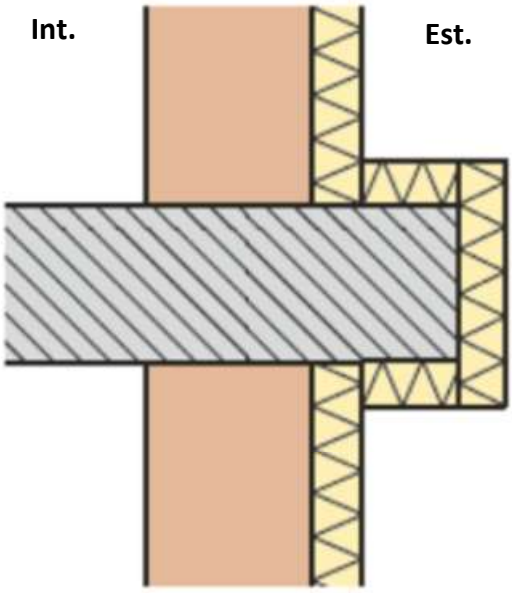


Figura 7: Isolamento termico all'esterno della parete
(Appendice UNI EN ISO 13788)

Con questo metodo di isolamento gli strati resistenti interni sono anche protetti dall'irraggiamento e dagli agenti atmosferici: non risentono di forti escursioni termiche e conseguenti dilatazioni perché la temperatura è prossima a quella dell'ambiente interno e la loro durabilità è incrementata in quanto non sono colpiti direttamente dall'acqua.

Sebbene il sistema garantisca numerosi vantaggi, presenta anche alcune criticità, tra cui la vulnerabilità rispetto agli urti esterni, in quanto non è caratterizzato da una grande resistenza meccanica. Per questo motivo è necessario scegliere un rivestimento esterno che possa soddisfare questo requisito, soprattutto ai piani bassi e di maggior passaggio, evitando soluzioni con elevata resistenza al passaggio del vapore perché in tal caso si creerebbe condensa interstiziale all'interfaccia tra i due elementi. Nel caso in cui il rivestimento sia solo costituito da uno strato

protettivo di rasante e intonaco cementizio, è fondamentale installare un'armatura in fibra di vetro per rinforzare lo strato.

Anche l'irraggiamento elevato sull'isolante può essere causa di incendio, pertanto occorre scegliere materiali ininfiammabili o con un buon comportamento al fuoco, oltre ad uno strato protettivo esterno resistente. La scelta deve anche tener conto del modulo di elasticità e del coefficiente di dilatazione termica dei due componenti, per evitare che siano troppo elevati o differenti tra loro.

L'isolamento nell'intercapedine presenta meno benefici rispetto a quello all'esterno. Nella maggior parte dei casi l'edificio presenta struttura portante intelaiata in calcestruzzo armato e pareti di tamponamento a cassa vuota, nella cui intercapedine viene inserito lo strato isolante, in forma rigida o anche in particelle sciolte, come la perlite. Questa posizione non permette di ridurre i ponti termici perché i pilastri e i solai rimangono scoperti e non coibentati, creando dei punti di elevata dispersione termica. Il sistema permette solo di ridurre la trasmittanza della parete. Inoltre, è elevata la probabilità di condensa interstiziale, soprattutto se l'isolante riempie l'intera intercapedine e il componente esterno ha maggiore resistenza alla diffusione di vapore acqueo; in questo caso è opportuno inserire una barriera al vapore. È più indicato creare una lama d'aria nell'intercapedine, tra l'isolante e lo strato esterno, così da consentire il passaggio del vapore acqueo senza che si creino condense interstiziali e in modo da proteggere il coibente dalla permeazione di acqua proveniente dall'esterno.

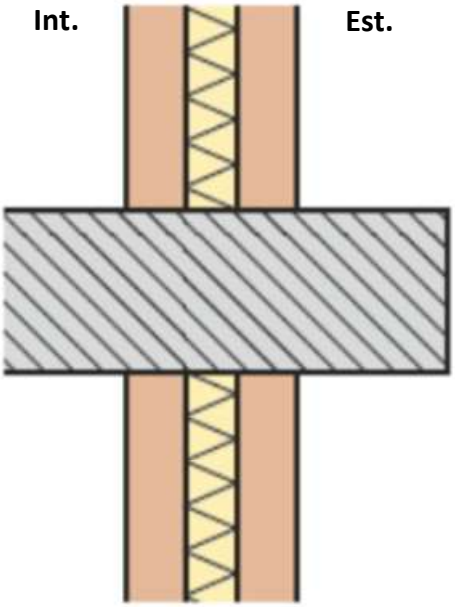


Figura 8: Isolamento termico nell'intercapedine della parete *(Appendice UNI EN ISO 13788)*

Le resistenze meccanica, agli agenti atmosferici e alle sollecitazioni termiche della parete in questo caso dipendono dallo strato resistente esterno, mentre l'inerzia termica dalla struttura interna, che dovrà essere più massiva rispetto al componente esterno; in caso di laterizio, sarebbe opportuno che quello interno fosse più spesso.

L'isolamento interno permette di ridurre i ponti termici se eseguito sulle chiusure verticali e sulle strutture orizzontali, ma presenta un elevato rischio di condensa interstiziale tra il coibente e lo strato resistente che lo segue. Il vapore acqueo accumulato nell'ambiente, infatti, se non è sufficientemente smaltito attraverso le aperture e la ventilazione, si riversa in grande quantità verso la parete, ma qui l'isolante crea subito una forte escursione termica e il vapore condensa. In questo caso, soprattutto in presenza di locali con umidità relativa elevata o alta produzione di vapore, è necessario inserire una barriera sulla faccia più fredda dell'isolante, ovvero quella rivolta verso lo strato resistente della parete.

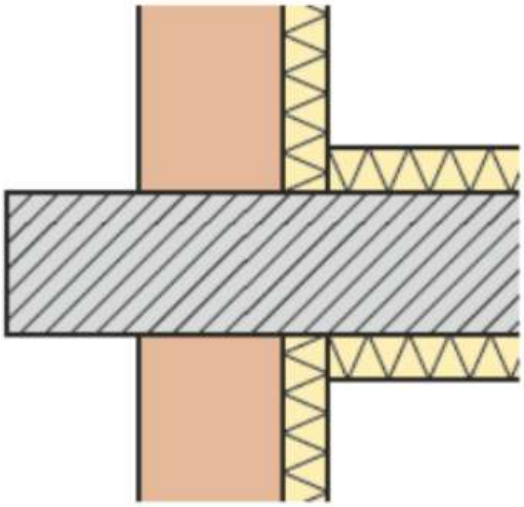


Figura 9: Isolamento dall'interno delle chiusure e delle strutture orizzontali
(Appendice UNI EN ISO 13788)

La posizione dell'isolante, inoltre, annulla quasi del tutto l'inerzia della parete, perché i primi strati interni, che dovrebbero immagazzinare calore, sono ostacolati all'assorbimento; nel momento in cui l'impianto di riscaldamento o raffrescamento viene spento, la temperatura rispettivamente si riduce o aumenta in poco tempo. Questa caratteristica si rivela utile in caso di occupazione discontinua, ma non nel caso di edifici a carattere residenziale.

Infine, l'isolamento all'interno impedisce l'attrezzabilità della parete ha scarsa resistenza agli urti, quindi necessita della realizzazione di uno strato di irrigidimento che possa soddisfare tali requisiti, come nel caso di lastre di cartongesso ad alta resistenza meccanica.

Spesso però, l'isolamento all'interno viene eseguito solo sulle pareti, lasciando scoperte le strutture orizzontali. In questo caso, si crea un incremento delle dispersioni a causa del ponte termico tra le chiusure verticali e le partizioni orizzontali.

3.2 I materiali

Le tipologie di materiali isolanti sono svariate e lo sviluppo tecnologico permette di individuare sempre più frequentemente nuove composizioni e soluzioni innovative e performanti. Idealmente il coibente migliore è quello che presenta bassa conducibilità termica, densità non modesta, traspirabilità, basso spessore, economicità, resistenza alla compressione e all'acqua. Purtroppo, non esiste un isolante capace di possedere tutte queste caratteristiche insieme, per questo è

importante cercare di capire quali sono le categorie di coibenti e conoscere i punti di forza e gli svantaggi di quelli maggiormente diffusi in edilizia, per orientarsi nella scelta.

➢ Isolanti termici naturali

È sempre più crescente l'interesse nei confronti della bioedilizia, che nella ricerca continua della sostenibilità ambientale delle sue soluzioni, propone l'utilizzo di isolanti termici di origine naturale, derivanti da fibre vegetali. In generale offrono un isolamento termico medio-alto, sono riciclabili e rinnovabili, altamente traspiranti, non sono intaccabili da insetti e muffe, garantiscono ottime performance estive grazie alla capacità di immagazzinare calore e rilasciarlo lentamente. Anche le performance di isolamento acustico sono buone, soprattutto grazie alla loro natura fibrosa. Il problema principale però è che sono tra i materiali più costosi e spesso necessitano di spessori elevati per garantire il comfort termoigrometrico in quanto i valori di conducibilità termica non sono i più performanti.

Tra i più diffusi vi sono il sughero, la fibra di canapa e di legno.

Il sughero, prodotto in pannelli o sfuso, presenta un'elevata resistenza a compressione, impermeabilità, durevolezza e proprietà di isolamento acustico, che lo rendono ideale per l'utilizzo nell'intercapedine degli elementi dell'edificio, ma anche per realizzare sottofondi praticabili isolanti.



Figura 10: Pannelli di sughero *(www.betonwood.com)*



Figura 11: Materassino isolante in fibra di canapa *(www.canapaindustriale.it)*

La fibra di canapa singolarmente è commercializzata sfusa o in materassini, pertanto il suo utilizzo è consigliabile all'interno di intercapedini. Spesso è utilizzata in associazione alla calce, in un biocomposito che permette di ottenere anche blocchi di costruzione, con resistenza meccanica maggiore, con cui può essere realizzato l'intero involucro, in abbinamento ad una struttura portante in legno, senza l'utilizzo di altri elementi isolanti.

La fibra di legno, commercializzata soprattutto in pannelli ottenuti con materiale di scarto di lavorazioni, può raggiungere maggiori densità rispetto agli altri materiali isolanti e una buona capacità di accumulo di calore che permette di ottenere alti valori di inerzia termica. Non è molto resistente all'umidità, pertanto viene trattata con sostanze idrofobizzanti.



Figura 12: Pannello in fibra di legno (www.betonwood.com)

Nella tabella seguente si raccolgono i valori medi di conducibilità termica, resistenza alla diffusione del vapore acqueo, calore specifico e densità dei materiali appena descritti, utili per il calcolo delle prestazioni energetiche dei componenti edilizi:

Proprietà	Conducibilità termica [W/mK]	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo [-]	Calore specifico [J/KgK]	Densità [kg/m^3]
Sughero	0,040-0,060	2-10	1600-1800	100-220
Fibra di canapa	0,040	1-5	2000	30-100
Fibra di legno	0,040-0,055	2-10	1600-2100	30-300

Tabella 1: Valori medi dei principali isolanti di origine naturale

(Dati ottenuti dai database di CasaClima e Namirial)

➢ Isolanti termici di origine minerale

Prima dell'avvento degli isolanti sintetici erano la tipologia più diffusa, ma ancora adesso sono ampiamente utilizzati. Come i coibenti di origine vegetale, anche questi derivanti da rocce sono rinnovabili e riciclabili e resistono alle muffe. Presentano ottime prestazioni di resistenza al fuoco ed elevata traspirabilità grazie alla struttura a celle aperte. A parità di spessore, consentono di ottenere buone prestazioni termiche sia d'estate che d'inverno.

Il costo è più basso rispetto ai materiali naturali di origine vegetale, ma più alto di quelli sintetici. Inoltre, tra gli svantaggi, alcune tipologie sono soggette a fenomeni di radioattività.

Ci sono moltissime varietà di isolanti di origine minerale, ma i più diffusi sono la lana di vetro e la lana di roccia.

La lana di vetro offre buone caratteristiche acustiche che la rendono molto utilizzata per l'isolamento dai rumori, soprattutto nelle intercapedini e nelle contropareti, grazie anche alla sua versatilità di applicazione; è infatti fornita in rotoli, pannelli o fiocchi. Le prime due forme, utilizzate anche per rivestire le tubazioni, sono più sensibili all'acqua mentre la tipologia sciolta non assorbe acqua e quindi è più indicata in presenza di umidità. Per tali motivi è sconsigliato l'utilizzo per l'isolamento dall'esterno.

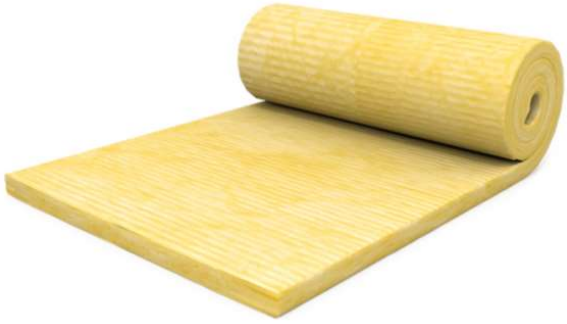


Figura 13: Rotolo di lana di vetro *(www.isover.ch)*

La lana di roccia, quando viene prodotta, è addizionata di un agente idrorepellente che la rende in grado di respingere l'acqua. In tutte le sue forme presenta questa caratteristica, oltre a non assorbire l'umidità. Anche in caso di forte presenza di acqua, come nel caso di un allagamento, il materiale non si deteriora e mantiene le sue caratteristiche dopo l'asciugatura.



Figura 14: Pannelli in lana di roccia *(www.rockwool.it)*

Nella tabella seguente si raccolgono i valori medi di conducibilità termica, resistenza alla diffusione del vapore acqueo, calore specifico e densità dei materiali appena descritti, utili per il calcolo delle prestazioni energetiche dei componenti edilizi:

Proprietà	Conducibilità termica [W/mK]	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo [-]	Calore specifico [J/KgK]	Densità [kg/m^3]
Lana di vetro	0,032-0,053	1-2	840-1030	100-220
Lana di roccia	0,033-0,054	1-2	800-1030	20-200

Tabella 2: Valori medi dei principali isolanti di origine naturale

(Dati ottenuti dai database di CasaClima e Namirial)

➢ Isolanti termici plastici

Gli isolanti termici plastici di origine fossile sono ormai sempre più diffusi in edilizia, soprattutto per la coibentazione dall'esterno. Presentano costi bassi, ottimo isolamento termico, facilità di posa e resistenza all'acqua e all'umidità. Tra gli svantaggi però vi sono una bassa resistenza al fuoco e ridotto sfasamento termico, che li rendono poco performanti nella stagione estiva. Inoltre, non sono traspiranti, quindi sono assolutamente sconsigliati per l'isolamento interno, e presentano grosse difficoltà nel riciclaggio.

I più diffusi sono il polistirene espanso sinterizzato (EPS), il polistirene espanso estruso (XPS) e il poliuretano espanso rigido (PUR).

L'EPS è composto da benzolo ed etilene, ricavati dal petrolio e dal metano, ed è realizzato espandendo granuli di polistirolo. Nel caso di pannelli, le particelle vengono unite tra loro attraverso una massa collante.



Figura 15: Pannelli in EPS
(www.isosystem.it)

È il materiale più economico, offre ottime caratteristiche isolanti ma la resistenza a compressione è molto bassa. È impermeabile all'acqua e solitamente è fornito in pannelli, che possono essere facilmente tagliati con l'utilizzo di un taglierino.

L'XPS è simile all'EPS, ma essendo estruso presenta una struttura a celle chiuse omogenea e stabile che genera una maggiore resistenza alla compressione e impermeabilità all'acqua, che lo rendono adatto all'applicazione per il cappotto esterno nelle zone di passaggio o più soggette ad urti e alla presenza di acqua. Risulta sempre più economico delle altre categorie di isolanti, ma è più costoso dell'EPS, per questo spesso vengono utilizzati insieme per realizzare l'isolamento dall'esterno.



Figura 16: Pannelli in XPS
(www.isosystem.it)

Il PUR è ricavato per espansione dal petrolio e dal metano ed è l'isolante plastico che presenta i valori più bassi di conducibilità termica, quindi assicura prestazioni migliori. Inoltre, come l'XPS, ha buona resistenza a compressione ma, al contrario di questo, non è impermeabile all'acqua quindi deve essere rivestito per l'applicazione all'esterno.

Proprietà	Conducibilità termica [W/mK]	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo [-]	Calore specifico [J/KgK]	Densità [kg/m^3]
Polistirene espanso sinterizzato EPS	0,032-0,056	20-100	1250-1500	10-50
Polistirene espanso estruso XPS	0,030-0,040	70-200	1300-1700	25-65
Poliuretano espanso rigido PUR	0,024-0,034	30-200	1400-1500	25-100

Tabella 3: Valori medi dei principali isolanti plastici
(Dati ottenuti dai database di CasaClima e Namirial)

➢ Isolanti termici di nuova generazione

Appartengono a questa categoria gli isolanti che prevedono l'utilizzo di nanotecnologie e sistemi innovativi, che consentono, in spessori ridottissimi, di ottenere prestazioni nettamente superiori rispetto a tutte le altre tipologie di coibenti tradizionali. Purtroppo però il loro processo produttivo li rende estremamente costosi e per questo sono ancora poco diffusi.

Quelli più innovativi sono i pannelli sottovuoto e gli isolanti costituiti da Aerogel. Nelle righe successiva verranno descritti più nel dettaglio, scegliendo specifici prodotti in commercio, in quanto le tecnologie e le prestazioni sono estremamente variabili a seconda della tipologia.

I pannelli sottovuoto sono costituiti da una componente minerale pressata rivestita con alluminio e vengono privati dell'aria al loro interno fino a ottenere bassissime pressioni: tale processo riduce fortemente la mobilità delle poche molecole d'aria rimaste, diminuendo la conducibilità termica. Tra questi, vi è il pannello isolante *CZ* della *Isolcore*, che è

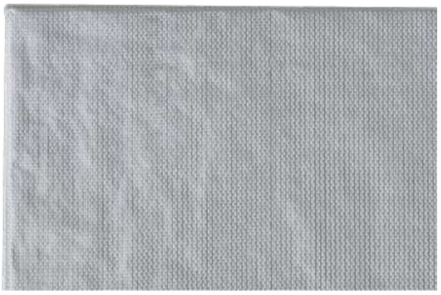


Figura 17: Pannello sottovuoto CZ della Isolcore
(www.isolcore.com)

rivestito da alluminio e fibra di vetro, materiali che lo rendono maggiormente resistente al taglio e all'erosione, nonché impermeabile al gas e al vapore.

Purtroppo, però, questa tipologia di coibente è delicato e un'eventuale scalfittura del materiale potrebbe alterare il vuoto e di conseguenza precludere le sue qualità performanti. Per questo, nell'applicazione, è sempre opportuno inserirlo in una controparete con rivestimento resistente agli urti.

I dettagli tecnici sono riportati sinteticamente nella *Tabella 4*, ma quelli più specifici possono essere consultati nella scheda tecnica allegata (*Allegato 2*).

L'altro materiale altamente performante è l'*Aerogel*, costituito dal 98% di aria e dal 2% di silice amorfa. Queste componenti lo rendono molto più pesante della sola aria ma molto meno denso rispetto al vetro, caratteristiche che gli permettono di possedere un'elevata resistenza al fuoco e di essere un ottimo isolante termico, flessibile, resistente alla compressione, idrofobico e traspirante.



Figura 18: Pannello semirigido *Aeropan* *(www.aeropan.it)*

Si può presentare sottoforma di feltro-materassino o di pannello semirigido, come nel caso del prodotto *Aeropan* prodotto dall'azienda *A.m.a. Composites*, che può essere applicato come i materiali tradizionali. Anche nel caso di soluzioni di isolamento con cappotto esterno, può essere utilizzato senza la necessità di una controparete, ma semplicemente fissato alla facciata con malta adesiva e tasselli meccanici, per poi rivestirlo con strati rasanti armati e di finitura, per garantire l'integrità. Per maggiori informazioni, può essere consultata la scheda tecnica allegata (*Allegato 3*).

Proprietà	Conducibilità termica [W/mK]	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo [-]	Calore specifico [J/KgK]	Densità [kg/m^3]
Pannello sottovuoto CZ	0,002	1688	1000	400
Pannello semirigido *Aeropan*	0,015	5	1000	230

Tabella 4: Valori medi dei principali isolanti di nuova generazione

(Dati ottenuti dalle schede tecniche dei materiali)

4. GLI IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO

Il riscaldamento e il raffrescamento dei locali possono avvenire utilizzando come fluido termovettore che raggiunge i terminali l'acqua o l'aria. In questa tesi, l'attenzione sarà posta sul primo dei due in quanto gli spazi e le caratteristiche degli edifici su cui si effettua la riqualificazione non consentono di allestire impianti ad aria, a causa dell'ingombro delle macchine e dei canali di distribuzione.

Si cerca, dunque, di individuare i sistemi di circolazione dell'acqua che sfruttano meccanismi diversi da quelli a *colonne montanti* del passato, e terminali impiantistici idonei al condizionamento, da sostituire ai radiatori in ghisa degli anni Sessanta che non permettono il controllo della temperatura nei mesi estivi.

4.1 La distribuzione

La distribuzione verticale descritta al *Paragrafo 1.2* è stata sostituita da sistemi che permettono una contabilizzazione diretta dei consumi e si basano su una distribuzione orizzontale: quelli attualmente più diffusi sono l'impianto bitubo e quello a collettori. Nella descrizione sarà considerato un circuito di riscaldamento con i termosifoni, ma è valido anche con altri terminali e nei mesi estivi, per il raffrescamento.

L'impianto bitubo prevede che dal tratto che esce dalla caldaia parta una sola colonna montante di mandata e da questa, per ogni appartamento, si dirami una tubazione che alimenta i radiatori dei locali. Allo stesso modo, da ciascun terminale uscirà la tubazione di ritorno che convoglierà nella verticale che rientra nel generatore a combustione. Anche in questo caso la pompa di circolazione è elettronica e su ogni terminale sono presenti le valvole termostatiche. Ciò che cambia è il sistema di contabilizzazione e in parte quello di termoregolazione: all'ingresso dell'appartamento, sulla tubazione, è inserito un contabilizzatore del calore, che rileva la portata dell'acqua e la differenza di temperatura tra mandata e ritorno del fluido (misurate tramite due specifiche sonde poste sui due tubi) e, moltiplicandole tra loro, fornisce il valore dell'energia termica utilizzata (in kWh), calcolando quindi i consumi in maniera diretta. Inoltre, sempre all'inizio del tubo entrante nell'appartamento viene inserita una valvola motorizzata che ha la funzione di aprire e chiudere il flusso di acqua calda del circuito; questa è collegata ad un cronotermostato posto all'interno dell'alloggio che consente agli utilizzatori di poter regolare la temperatura che si desidera mantenere nell'appartamento e gli orari. Le valvole termostatiche presenti sui singoli terminali,

descritte al *Paragrafo 1.2*, mantengono la stessa funzionalità di regolazione della temperatura del singolo locale in cui è presente il terminale, ma in questo sistema hanno un ruolo secondario poiché il primo controllo è svolto dalla valvola motorizzata dell'appartamento.

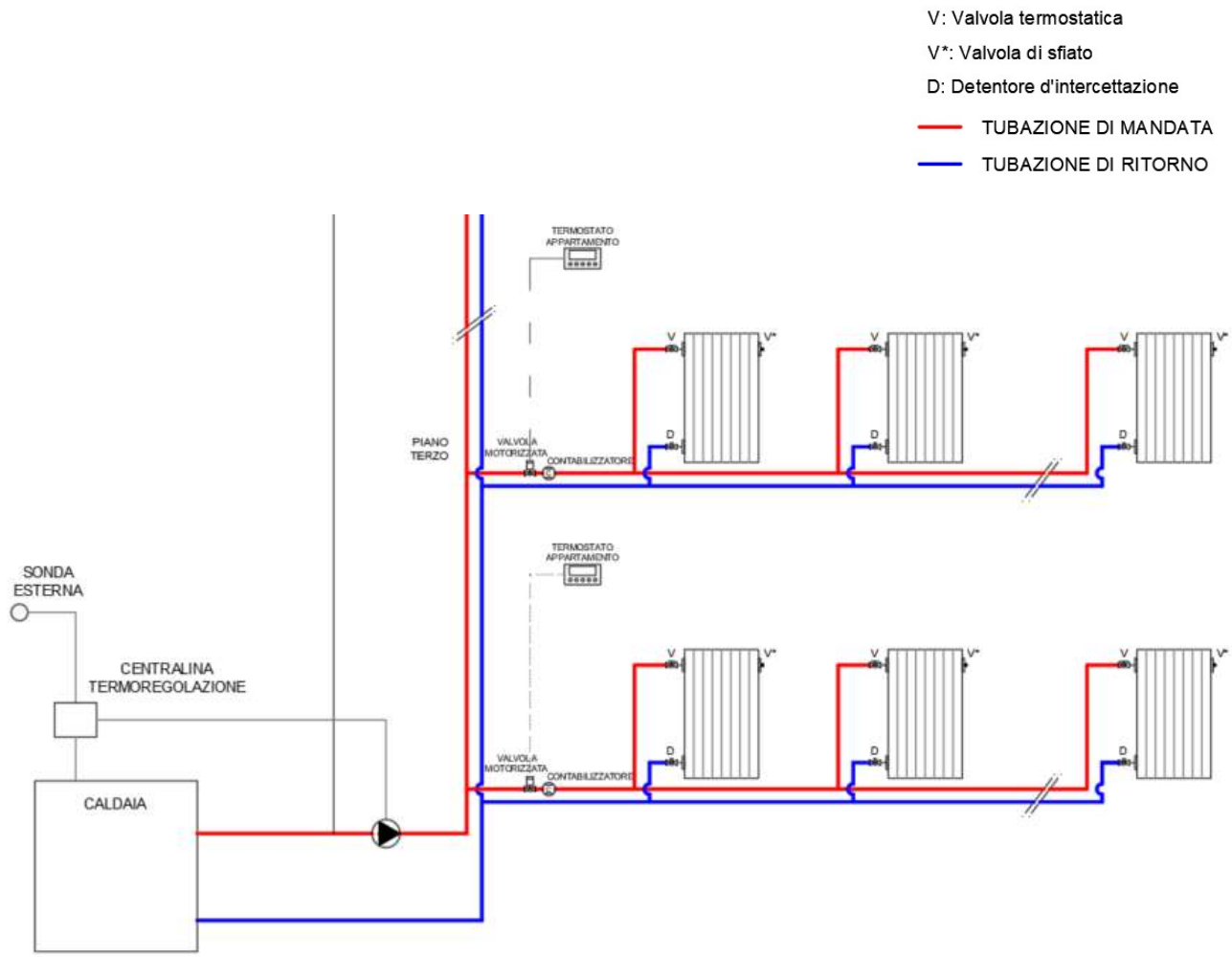


Figura 19: Schema distribuzione orizzontale dell'impianto bitubo a radiatori dell'appartamento
(Figura realizzata con Autodesk Autocad)

Nel caso di più radiatori nell'appartamento, ma soprattutto in presenza di ampie lunghezze da percorrere, le perdite di carico che si verificano possono causare squilibrio nelle portate che attraversano i terminali. Questo va corretto da un tecnico, che inserisce dispositivi specifici come le valvole di preregolazione (*Figura 20*) impostandone il livello di apertura, riducendo la sezione di passaggio dell'acqua all'ingresso del radiatore e ristabilendo quindi l'equilibrio; sono inserite sotto il comando della valvola termostatica così da consentire sempre la regolazione manuale della temperatura desiderata da parte dell'utente.

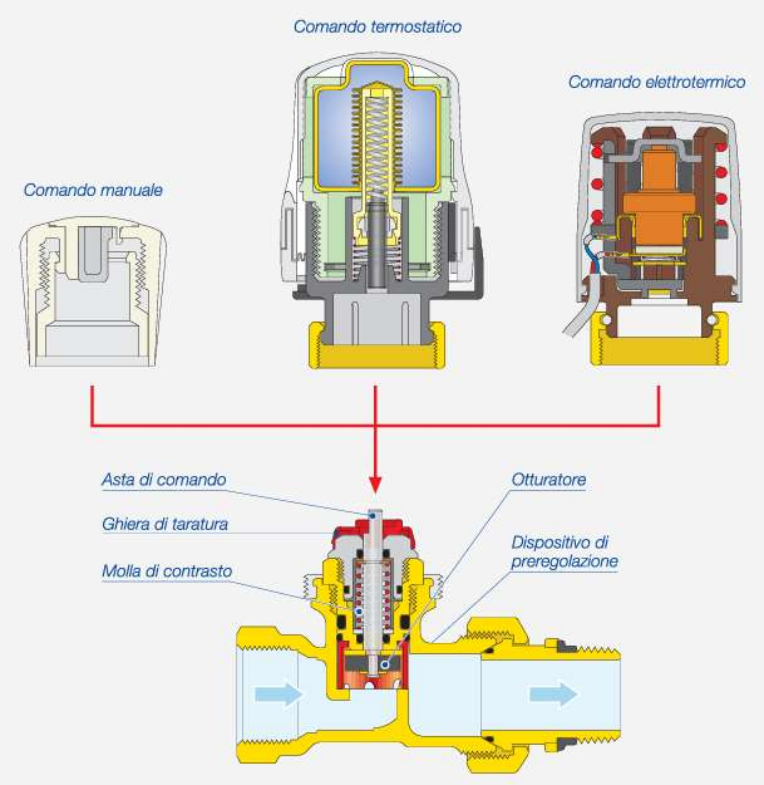


Figura 20: Dettaglio del funzionamento della valvola preregolatrice, inserita sotto il comando di quella termostatica *(www.caleffi.com)*

In alternativa si può anche installare un sistema a tre tubi: la tubazione di mandata serve i terminali in ordine di distanza, quindi partendo da quello più vicino alla colonna verticale, mentre il ritorno segue l'ordine inverso e per farlo, dovrà raddoppiare il suo percorso, aumentando le perdite di carico e quindi riportando i valori di portata a quelli corretti, risolvendo lo squilibrio (*Figura 21*). Tale soluzione è meno utilizzata perché più costosa e talvolta non realizzabile per mancanza di spazio per il doppio tratto della tubazione di ritorno.

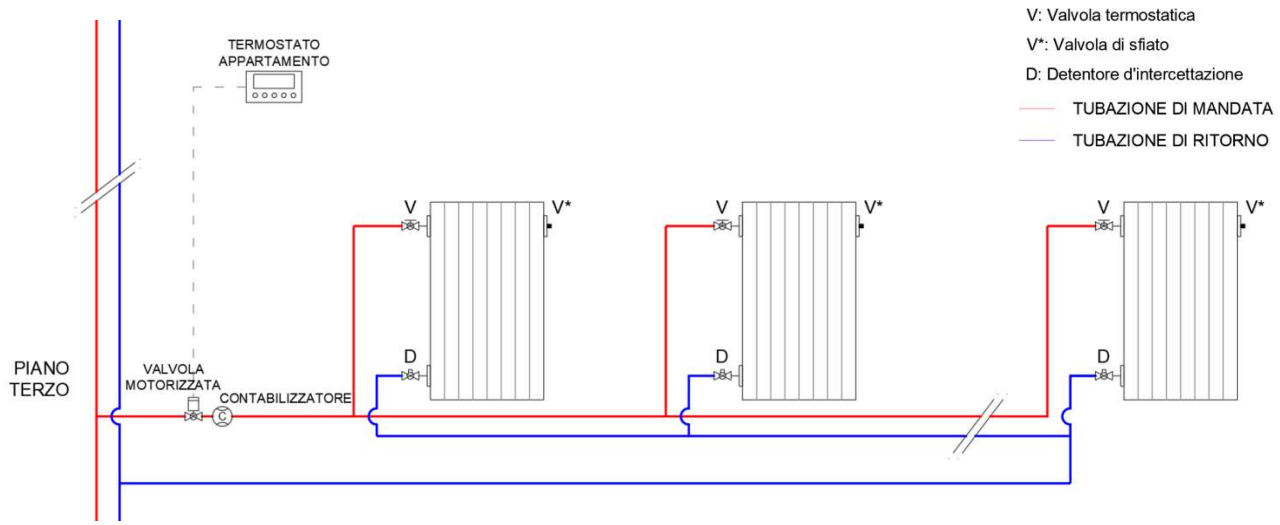


Figura 21: Schema impianto a tre tubi
(Figura realizzata con Autodesk Autocad)

L'impianto di riscaldamento a collettori, invece, ha sempre una distribuzione orizzontale, ma all'ingresso di ogni appartamento la tubazione incontra un elemento, il collettore appunto, che distribuisce l'acqua in più diramazioni, ciascuna indirizzata ad un singolo terminale. Sulla tubazione di ritorno, con lo stesso meccanismo, i vari circuiti provenienti dai radiatori raggiungono il collettore che convoglia il fluido in un unico tubo di ritorno alla colonna montante.

Come per l'impianto bitubo, anche in questo caso il contabilizzatore e la valvola motorizzata sono inseriti sulla mandata, prima del collettore; allo stesso modo sono presenti le valvole termostatiche per il controllo della temperatura di ogni ambiente e quelle di preregolazione per mantenere l'equilibrio delle portate dei terminali. Per risolvere quest'ultimo problema, in questa tipologia di distribuzione, non è invece applicabile la soluzione a tre tubi.

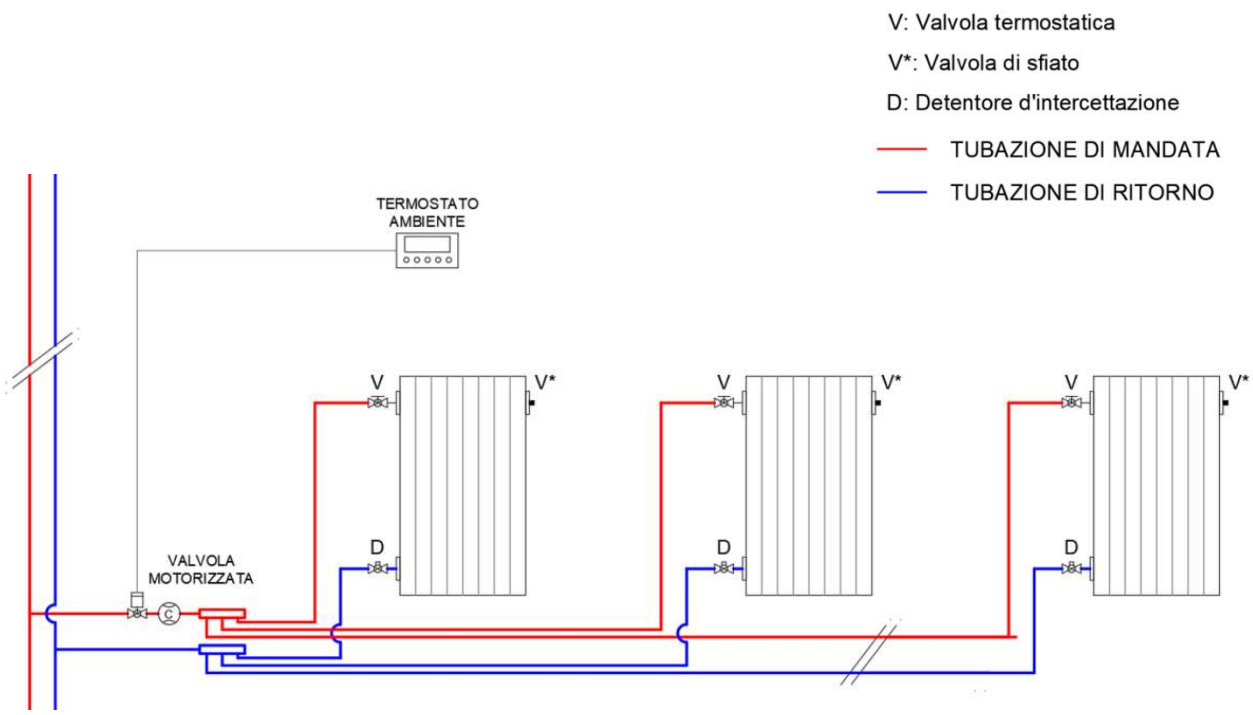


Figura 22: Schema distribuzione orizzontale con collettori
(Figura realizzata con Autodesk Autocad)

4.2 I terminali

I terminali dei sistemi ad acqua più diffusi per gli edifici residenziali sono i radiatori, i ventilconvettori e i pannelli radianti.

I radiatori sono utilizzabili solo per il riscaldamento, possono essere in ghisa, acciaio o alluminio e sono composti da elementi che, attraversati dall'acqua calda di mandata, cedono calore all'ambiente per convezione naturale ed irraggiamento. Sono serviti da un impianto ad alta temperatura in quanto la mandata è compresa nell'intervallo 60-80 °C.

I radiatori in ghisa sono ormai solo più presenti negli edifici costruiti fino alla seconda metà del Novecento; attualmente si tende a non installarli più in quanto sono quelli più costosi, hanno dimensioni e pesi elevati, nonché presentano elevata inerzia termica che può rendere meno efficienti i sistemi di regolazione.

Quelli in acciaio, invece, sono leggeri, poco ingombranti e permettono un'ampia varietà di forme e design estetici. I modelli a piastra hanno bassa inerzia termica, quindi si scaldano e raffreddano velocemente, mentre quelli a colonne e a tubi ce l'hanno più alta, situazione che può presentare interferenza con i sistemi di regolazione, come nel caso di quelli in ghisa. I terminali in acciaio, inoltre, se non rivestiti, possono essere soggetti a fenomeni di corrosione. Il costo è più contenuto rispetto a quelli in ghisa.

I radiatori in alluminio sono la soluzione più economica e più leggera, nonché la più facile da installare perché sempre componibile. Hanno bassa inerzia termica ma sono poco versatili in termini di design e possono essere soggetti a corrosione interna, soprattutto se l'acqua è molto alcalinizzata.



Figura 23: Da sx radiatore in ghisa a piastre, in acciaio a colonne e in alluminio a piastre *(www.zetaidraulica.it)*

I ventilconvettori, invece, sono terminali che cedono o sottraggono calore all'ambiente per convezione forzata. Nell'impianto a due tubi sono costituiti da una batteria alettata di scambio termico, un ventilatore, un filtro dell'aria, una bacinella di raccolta della condensa e un involucro di contenimento.

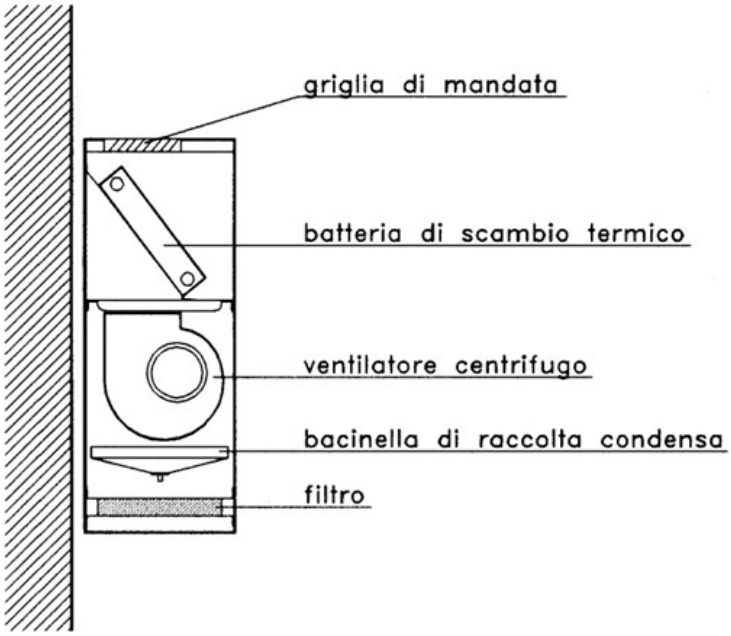


Figura 24: Componenti ventilconvettore posto a filo parete
(www.caleffi.com)

L'aria ambiente filtrata viene spinta verso la batteria di scambio termico dal ventilatore, entra in contatto con il fluido termovettore, si scalda o si raffresca e poi viene immessa di nuovo nell'ambiente attraverso la griglia di mandata. Possono essere installati in diverse posizioni, ma solitamente a parete, posti a filo (*Figura 24*) o incassati in nicchie.

Il sistema di distribuzione che li alimenta può essere a 2 o a 4 tubi: nel primo caso vi è una tubazione di mandata e una di ritorno, che nella stagione invernale sono utilizzate per il riscaldamento, mentre in quella estiva per il raffrescamento; nel secondo caso, invece, i due circuiti del caldo e del freddo sono separati e ognuno ha i propri tubi di mandata e ritorno. In generale, ma soprattutto nei condomini di Torino, viene scelto il primo sistema per ridurre i costi e anche perché i periodi di riscaldamento e raffrescamento sono ben distinti nel tempo, quindi non si verificano periodi o situazioni in cui potrebbero essere richieste contemporaneamente le due prestazioni.

Rispetto ai radiatori, questi terminali permettono il controllo della temperatura dei locali sia d'inverno, attraverso la mandata di acqua calda, sia d'estate, utilizzando quella refrigerata. Sono

inoltre sistemi che permettono la regolazione della velocità e sono subito pronti a fornire l'aria richiesta, senza necessitare del tempo di riempimento degli elementi che invece richiedono i radiatori. Rispetto a questi ultimi, però, devono essere collegati alla corrente elettrica per il funzionamento del ventilatore, quindi hanno un costo più elevato.

I pannelli radianti rappresentano un altro sistema che utilizza l'acqua come fluido termovettore, sono costituiti da sottili tubi a serpentina e scaldano o raffrescano gli ambienti interni per irraggiamento, alimentati con distribuzione a 2 o 4 tubi. Sono impianti con temperature di esercizio più basse rispetto agli altri sistemi poiché presentano elevata superficie disperdente e per questo richiedono un buon isolamento termico dell'edificio per garantire rese ottimali. Sono solitamente disposti a pavimento, ma possono essere collocati anche a soffitto e a parete, con rese inferiori.
In questa tesi non sono ulteriormente approfonditi in quanto la riqualificazione non prevede lo smantellamento delle aree interne ai locali come i pavimenti, pertanto questa soluzione non è applicabile.

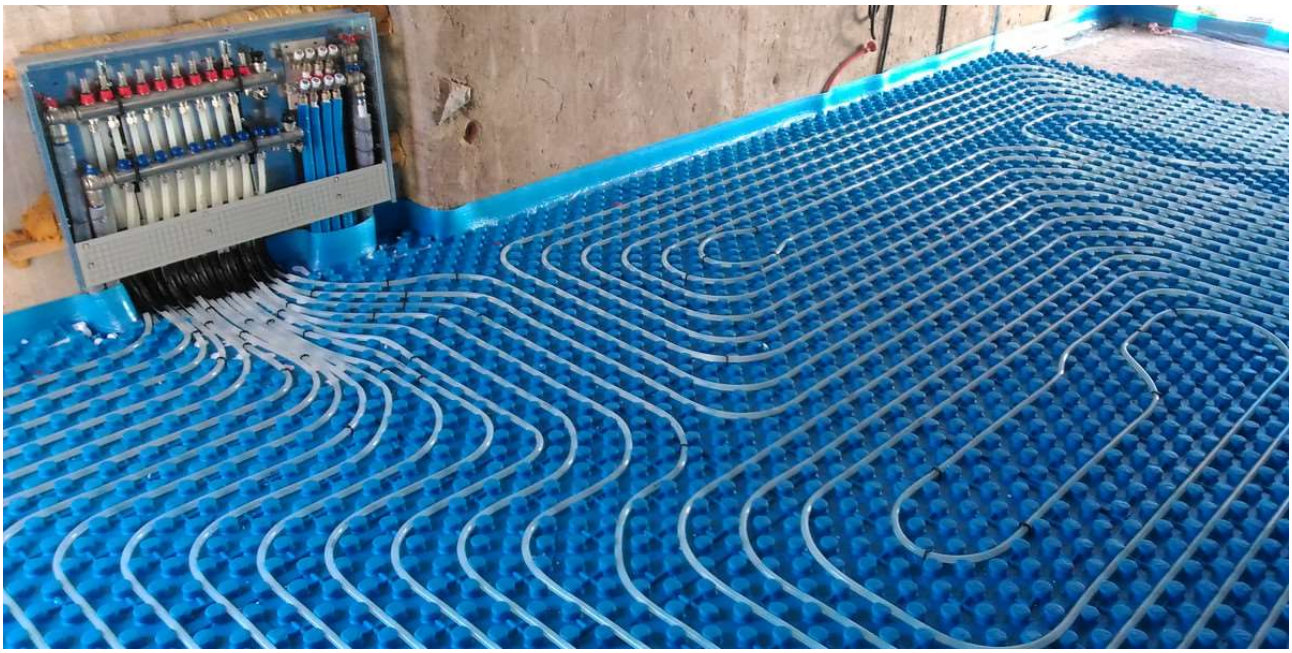


Figura 25: Impianto radiante a pavimento
www.climaimpiantisrl.com

5. IL CASO STUDIO

Per affrontare lo studio e la scelta delle diverse soluzioni di riqualificazione dell'involucro e del sistema impiantistico è necessario effettuare il calcolo di alcuni parametri energetici, il cui valore dovrà essere inferiore ai limiti di legge previsti.

Si sceglie di analizzare un edificio fittizio di riferimento, avente le caratteristiche principali dei condomini degli anni Sessanta descritte al *Capitolo 1*, ovvero struttura portante in calcestruzzo armato, muratura a cassa vuota, infissi in legno con vetro singolo e impianto a radiatori con colonne montanti.

Il piano tipo dell'edificio è composto da due alloggi simmetrici rispetto al vano scale centrale, non riscaldato, ognuno con una superficie di circa 80 m^2. Gli unici aggetti che generano ombra sull'involucro verticale degli alloggi sono i balconi.

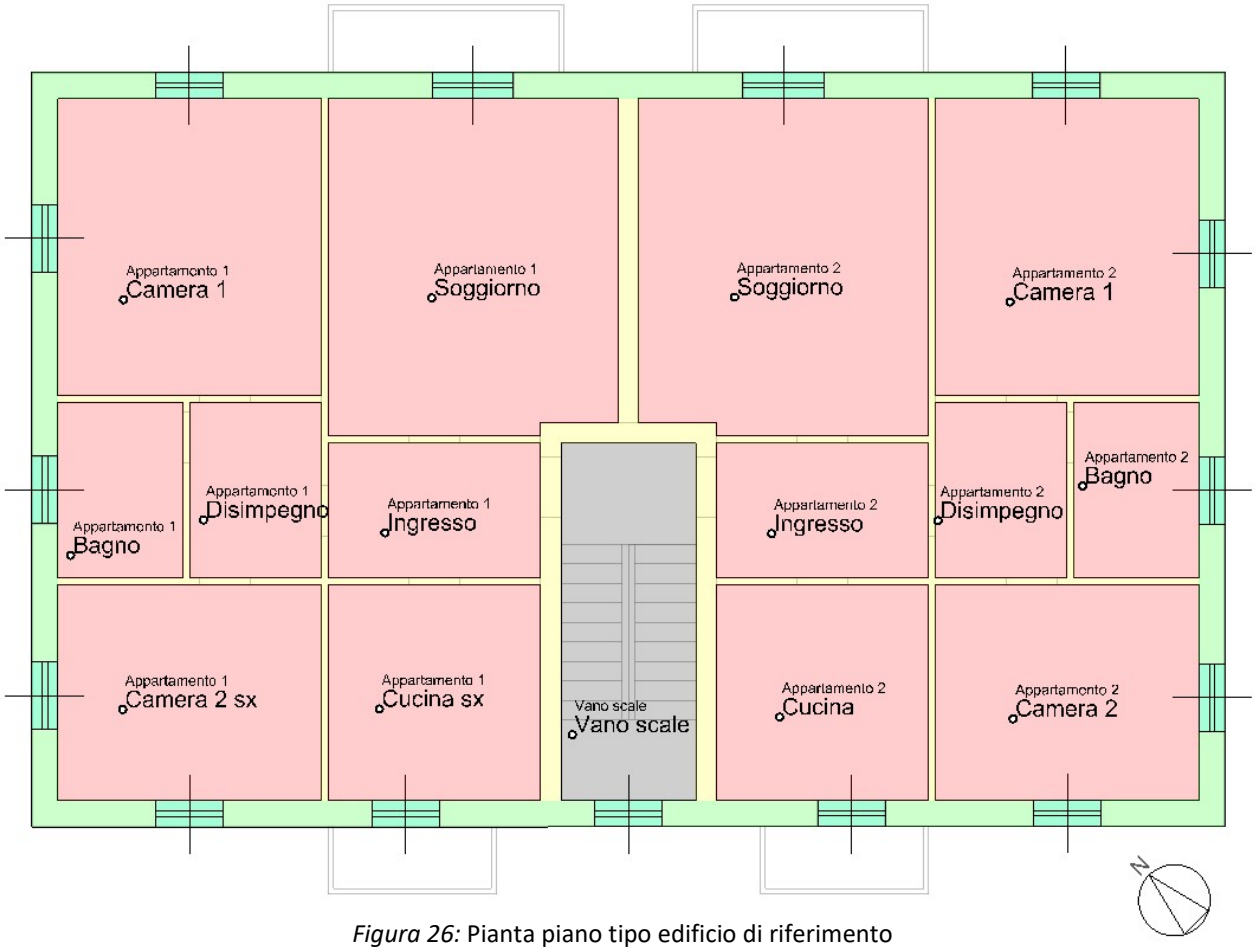


Figura 26: Pianta piano tipo edificio di riferimento

(Figura realizzata con Namirial Termo)

I calcoli più specifici si concentrano invece sulla *Camera 2* dell'appartamento 2 a destra, appositamente scelta con l'esposizione a sud-ovest, che è quella che può presentare più criticità a livello di comfort termoigrometrico per gli occupanti, soprattutto nella stagione estiva.

Come descritto nel *Capitolo 2*, l'isolamento e l'inerzia termici sono i due requisiti che più caratterizzano le prestazioni energetiche dell'involucro. I parametri principali che permettono di quantificarli e che quindi si considerano nei calcoli e nelle valutazioni sono:

- La trasmittanza termica U, che consente di calcolare il flusso termico che attraversa l'involucro verticale e dipende dalla resistenza che ciascun materiale esercita. Essa è infatti espressa come:

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad [W/m^2K]$$

  con R_T resistenza termica totale della parete. L'isolante, a seconda dello spessore e della propria conducibilità termica, determinerà le prestazioni della parete.
  Il flusso di calore scambiato sarà dato da:

$$\phi = U \cdot A \cdot (\theta_e - \theta_i) \qquad [W]$$

  Il valore è riferito a sollecitazioni termiche stazionarie, in cui la differenza di temperatura tra esterno ed interno è considerata costante, situazione che si verifica nella stagione invernale.

- La trasmittanza termica periodica Yie, che riveste un ruolo importante nella determinazione delle caratteristiche termiche della parete in seguito ad una sollecitazione variabile; essa, infatti, consente di calcolare il flusso termico areico sulla faccia interna della parete in condizioni dinamiche.
  È data da:

$$Y_{ie} = f_a \cdot U \qquad [W/m^2K]$$

  Con f_a fattore adimensionale di smorzamento.
  La sollecitazione dinamica è rappresentata da una sinusoide e in presenza di inerzia termica, la trasmittanza termica periodica Y_{ie} smorza l'oscillazione e il ritardo temporale φ_a, espresso in ore, la sfasa, riducendo l'effetto prodotto sul carico termico dell'ambiente.
- La massa superficiale (frontale) MF, espressa in kg/m^2, ottenuta dal prodotto della densità e dello spessore di ogni materiale costituente la stratigrafia della parete. Questa è considerata pesante per valori superiori a 230 kg/m^2 e in tal caso determina un involucro con maggiore inerzia termica.

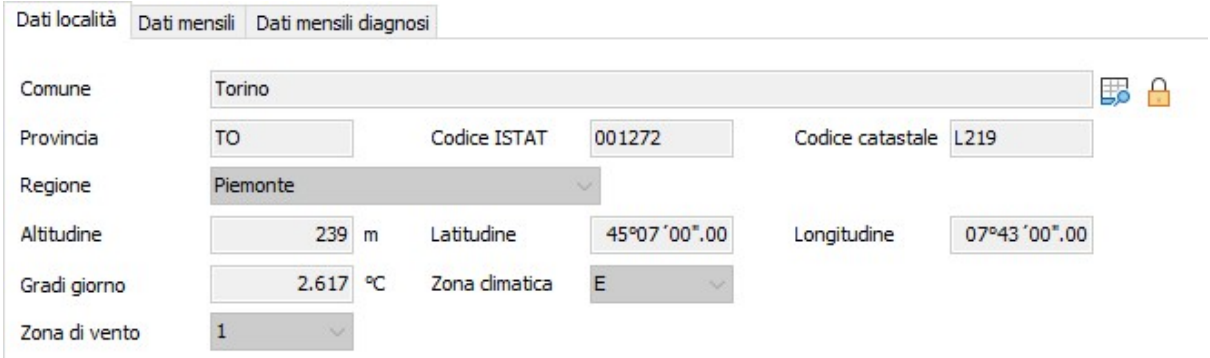
- La capacità termica interna, espressa in kJ/m^{2}K, con cui calcolare le prestazioni di accumulo di calore della parete interna in seguito ad una sollecitazione termica dinamica. Anche in questo caso il calcolo è effettuato considerando sinusoidi, ma misurando l'energia oscillante assorbita e non trasmessa come nel caso della trasmittanza termica periodica. Una parete con alti valori di capacità termica interna immagazzina più calore e lo rilascia lentamente, consentendo di non avere bruschi abbassamenti di temperatura in seguito allo spegnimento dell'impianto di riscaldamento, caratteristica di rilievo in tipologie edilizie abitate con carattere continuativo.

Oltre alle dispersioni e all'accumulo di calore calcolati mediante i parametri appena descritti, si tiene conto anche dei ponti termici, ovvero di quelle zone della parete in cui si ha un incremento del flusso termico trasmesso e una riduzione locale della temperatura della superficie interna, che possono causare la formazione di condensa e di conseguenza l'insorgenza di muffe e macchie di umidità.

Per quanto riguarda l'aspetto impiantistico, è invece importante considerare:

- Fabbisogno di Potenza termica invernale, espresso in Watt [W], per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento;
- Fabbisogno di Potenza termica estiva di raffrescamento, espresso in Watt [W], per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento;
- Temperatura di mandata [°C] dell'acqua che alimenta i terminali per determinare le prestazioni del sistema impiantistico.

I calcoli si effettuano mediante il supporto dei software *Namirial* ed *Edilclima*, all'interno dei quali è possibile selezionare o immettere manualmente diversi dati di input utili all'elaborazione dei risultati, tra cui le temperature di esercizio invernali ed estive, la località e le caratteristiche climatiche che interessano la zona (*Figure 27-28-29*). Nel caso in esame, si utilizzano le variabili climatiche previste dalla UNI 10349 per la città di Torino.



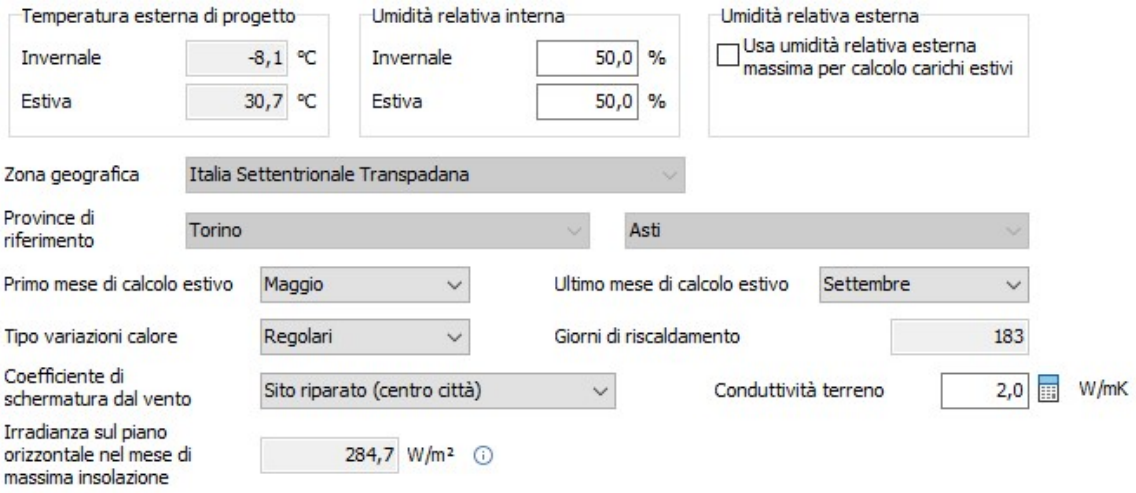


Figura 27: Dati considerati per la località
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Dati località | Dati mensili | Dati mensili diagnosi

Temperatura esterna media mensile [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
-0,2	2,5	6,7	10,2	15,8	19,9	21,8	20,7	15,9	10,8	5,0	-0,6

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

Tipo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Diretta	2,0	4,4	7,4	9,4	13,3	13,6	15,2	11,9	9,6	3,6	1,6	1,5
Diffusa	2,4	3,5	5,4	6,9	7,7	9,6	8,9	7,4	5,8	3,9	2,4	1,9
	4,4	7,9	12,8	16,3	21,0	23,2	24,1	19,3	15,4	7,5	4,0	3,4

Pressione parziale di vapore esterna [Pa]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
544	623	736	938	1.327	1.525	1.873	1.626	1.433	1.106	829	562

Velocità del vento [m/s]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,9	2,1	2,6	2,4	2,6	2,4	2,3	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6

Figura 28: Variabili climatiche della località
(Figura estrapolata dal software Namirial)

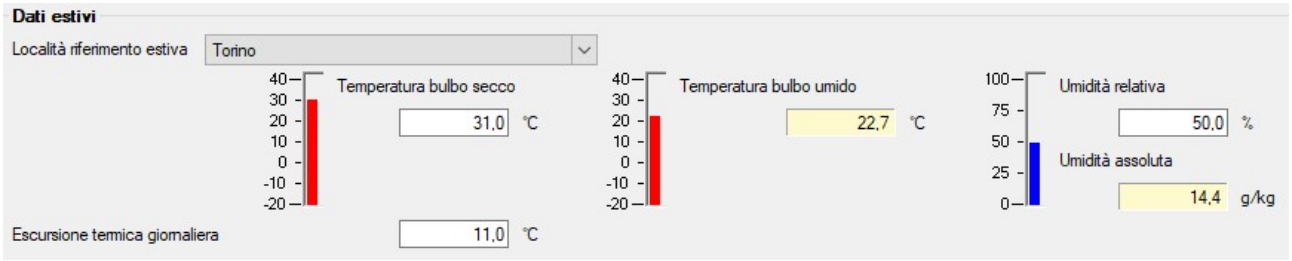
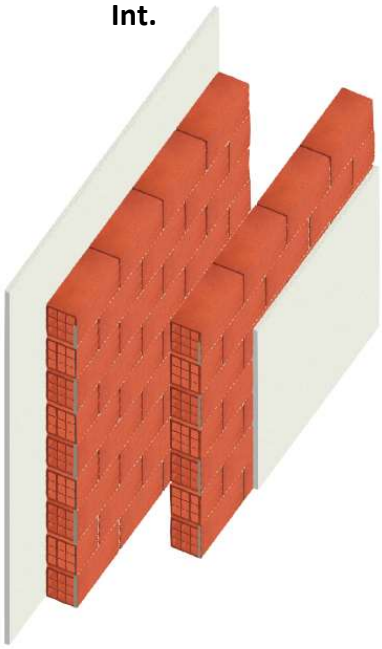


Figura 29: Dati climatici per il calcolo del fabbisogno estivo
(Figura estrapolata dal software Edilclima)

5.1 L'involucro verticale non isolato



Dall'interno all'esterno:

1. Intonaco di gesso – sp. 2 cm
2. Laterizio forato – sp. 12 cm
3. Intercapedine d'aria – sp. 11 cm
4. Laterizio forato – sp. 12 cm
5. Intonaco in malta di cemento – sp. 2 cm

Per comprendere e confrontare i nuovi valori energetici dell'ambiente in esame, ottenuti con le diverse soluzioni di riqualificazione energetica, è importante valutare la situazione e le prestazioni prima dell'intervento.

La muratura a cassa vuota non presenta un vero e proprio strato di isolante, ma ha al suo interno un'intercapedine d'aria non ventilata. Questa, fino ad uno spessore di 4-5 cm aiuterebbe a coibentare termicamente l'ambiente abitato limitando la trasmissione del calore, ma purtroppo ha sempre dimensioni maggiori negli edifici di quell'epoca, le quali causano la formazione di moti convettivi dell'aria che incrementano lo scambio termico tra le due murature, peggiorando di fatto la situazione.

Nell'intercapedine hanno però sede anche le colonne montanti del riscaldamento, che venivano realizzate in ferro e non isolate. Nei mesi invernali, il passaggio dell'acqua calda nelle tubazioni genera una dispersione di calore che aumenta la temperatura dell'intercapedine, riducendo la trasmissione del calore tra le due pareti e quindi migliorando la coibentazione dell'ambiente. È facilmente deducibile che tale apporto sia minimo e discontinuo e che pertanto la muratura a cassa vuota risulti, a tutti gli effetti, una parete non isolata, che non soddisfa i requisiti termoigrometrici necessari per garantire il comfort degli occupanti. Ecco perché è importante ricercare nuovi sistemi di coibentazione.

Dai calcoli effettuati attraverso i software si ottengono i seguenti valori:

- Involucro opaco verticale confinante con l'esterno

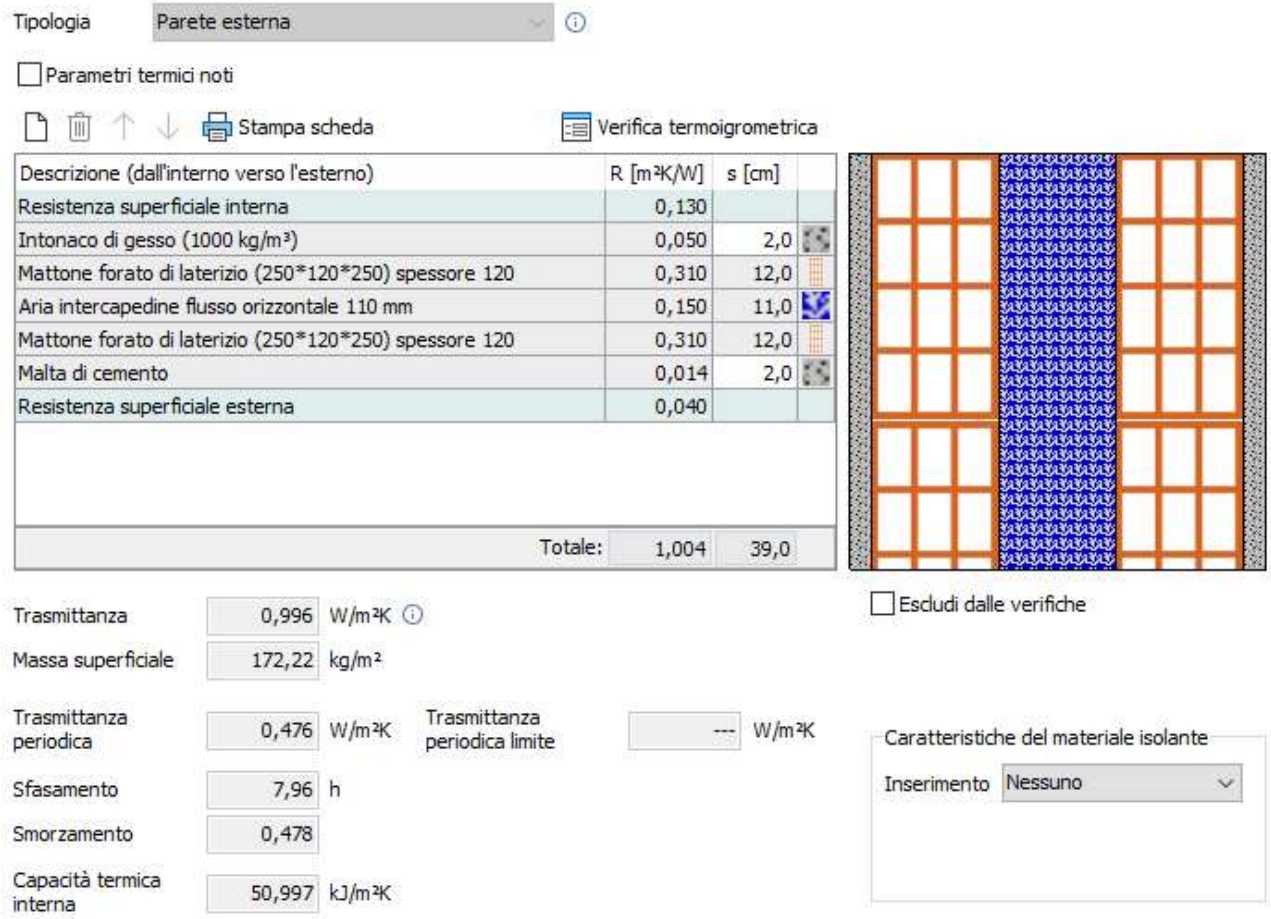


Figura 30: Parametri termici del componente opaco della parete
(Figura estrapolata dal software Namirial)

- Componenti opachi verticali e orizzontali confinanti con locali riscaldati

L'ambiente considerato è una stanza di un appartamento, pertanto i locali con cui confina internamente appartengono alla stessa zona termica e sono riscaldati alla stessa temperatura. Poiché la tesi si concentra sui risultati che si ottengono riqualificando l'involucro verticale, anche per gli elementi orizzontali di soffitto e pavimento si considerano partizioni confinanti con locali riscaldati alla stessa temperatura, così da non generare flussi ascendenti o discendenti di calore.
I componenti interni rimarranno quindi invariati in tutte le soluzioni successive.

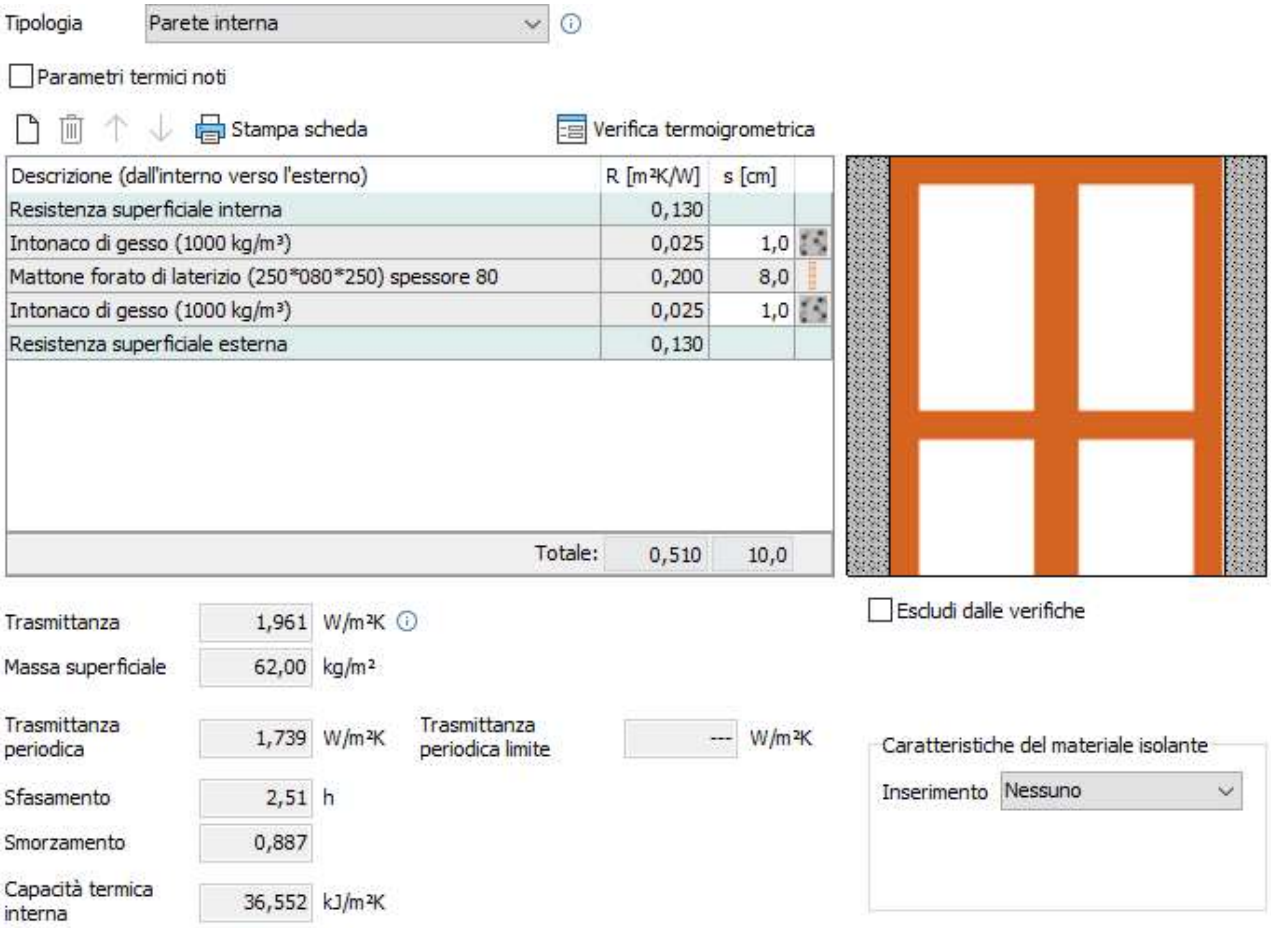


Figura 32: Parametri termici delle pareti confinanti con ambienti riscaldati alla stessa temperatura
(Figura estrapolata dal software Namirial)

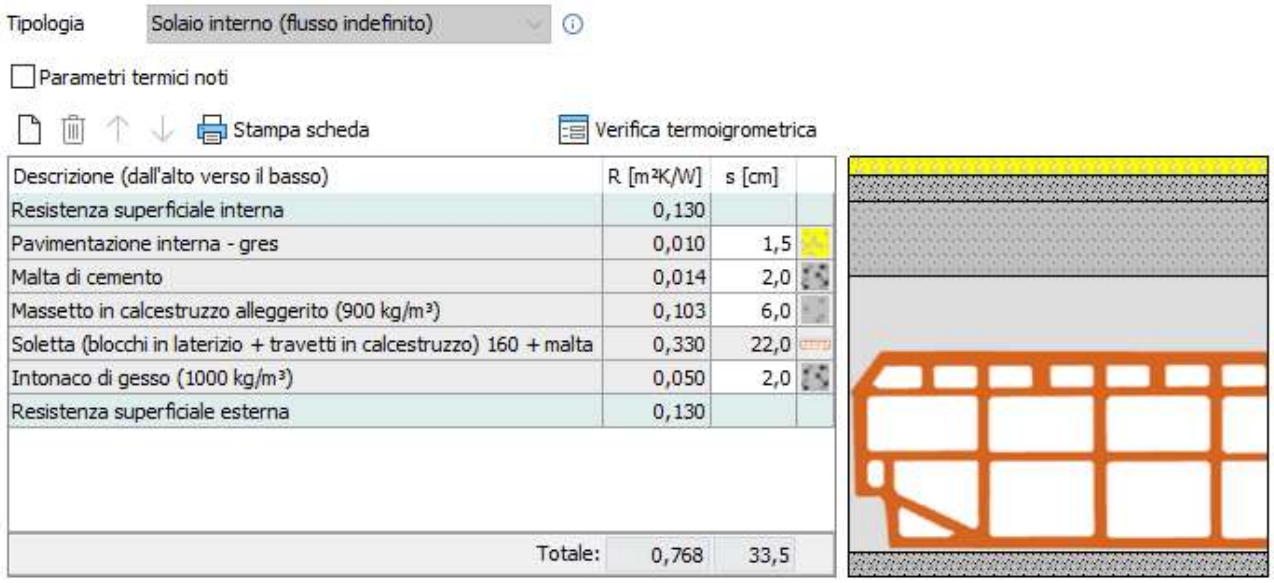


Figura 31: Parametrici termici del solaio interpiano confinante con ambienti riscaldati alla stessa temperatura
(Figura estrapolata dal software Namirial)

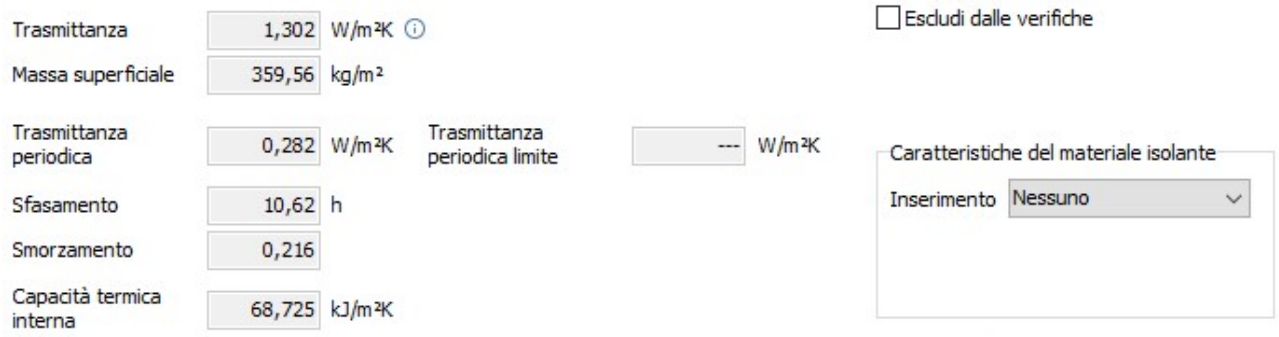


Figura 33: Parametrici termici del solaio interpiano confinante con ambienti riscaldati alla stessa temperatura
(Figura estrapolata dal software Namirial)

- <u>Componenti trasparenti</u>

L'involucro trasparente della camera è costituito da due finestre di dimensioni 1,20 x 1,00 m, aventi telaio in legno di spessore 5 cm, vetro singolo e schermature e cassonetto non coibentati, in rappresentanza dei materiali costruttivi degli anni Sessanta. Non sono presenti aggetti orizzontali o verticali su tali componenti.

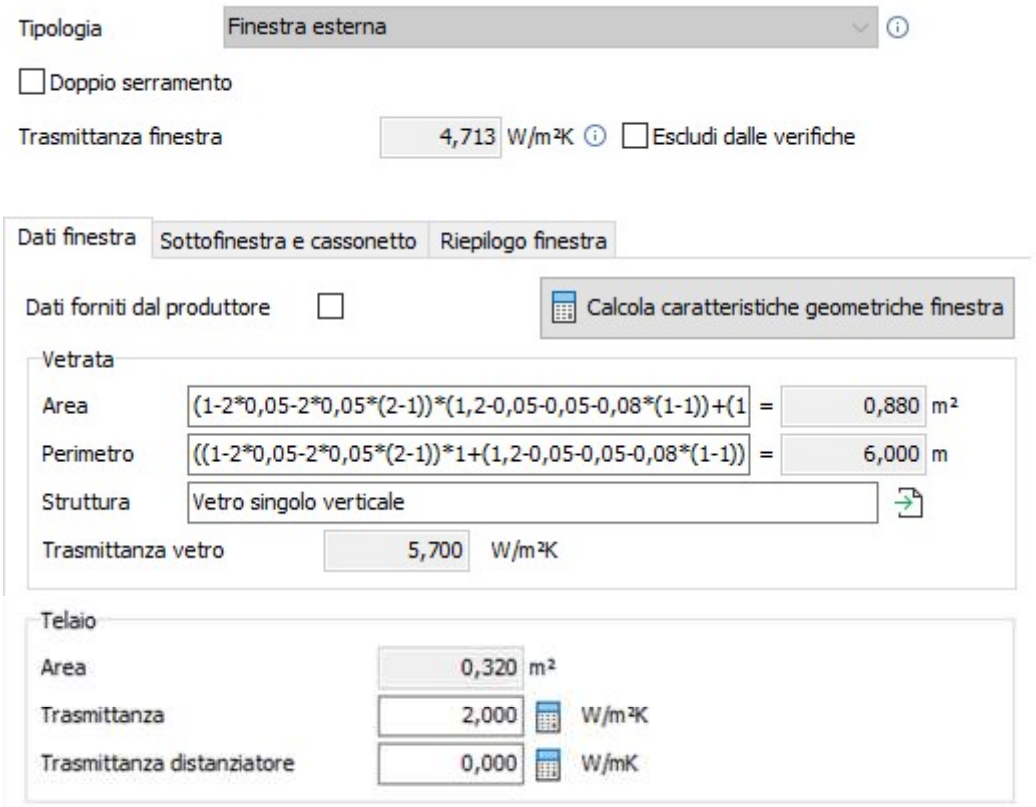


Figura 34: Caratteristiche dei componenti vetrati della parete
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Nel calcolo dei ponti termici, sono stati considerati quelli più significativi ai fini delle considerazioni effettuate con questa tesi, pertanto si è tenuto conto dell'incremento delle dispersioni all'interfaccia tra parete e infisso e all'angolo con pilastro 30x30 cm tra le due chiusure verticali.

- Ponte termico infisso-parete

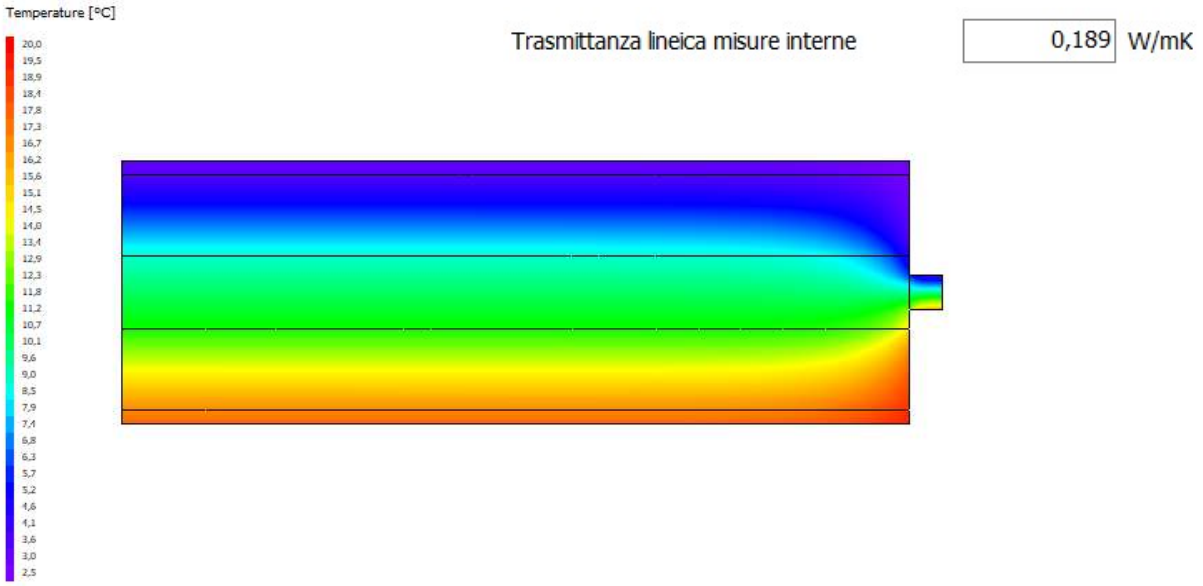


Figura 35: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico infisso-parete
(Figura estrapolata dal software Namirial)

- Ponte termico angolo pareti

Come si può notare nelle *Figure 35 e 36*, la mancanza di coibentazione genera elevate dispersioni termiche che causano un considerevole abbassamento di temperatura sin dai primi strati interni della parete. In prossimità dell'angolo tra i due elementi verticali, i valori si riducono ancora più velocemente.

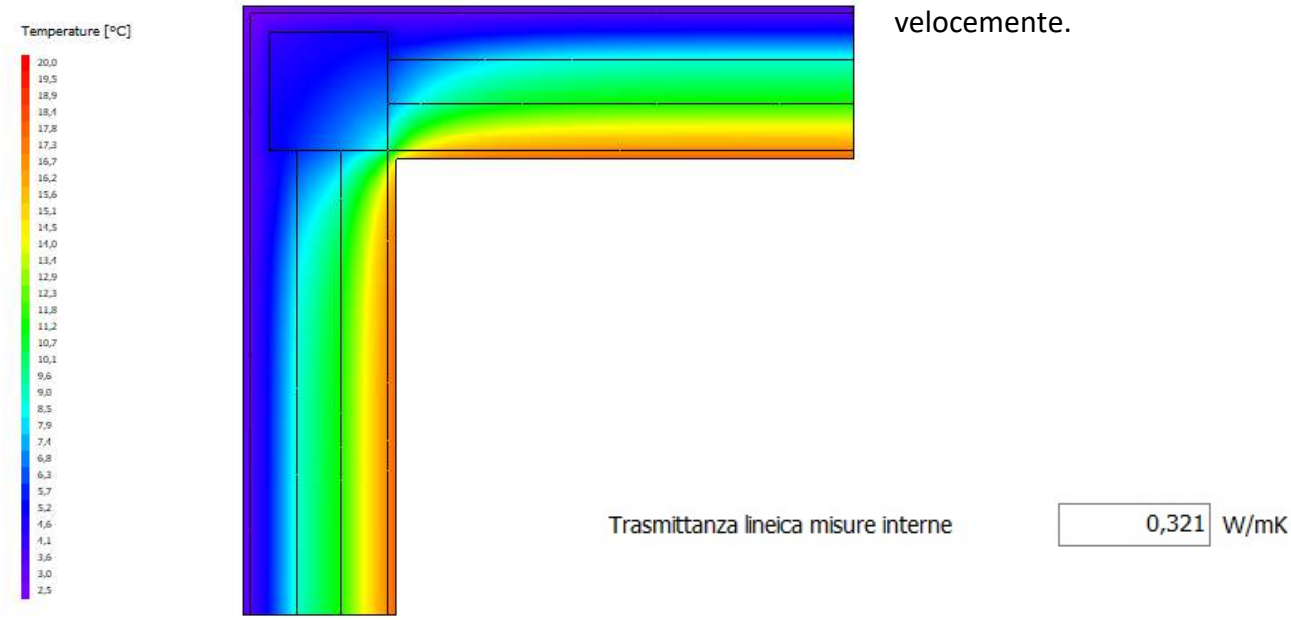


Figura 36: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico all'angolo tra le due pareti, con pilastro
(Figura estrapolata dal software Namirial)

5.2 Gli impianti

La distribuzione e i terminali impiantistici sono quelli descritti al *Paragrafo 1.2*, quindi impianto a colonne montanti con radiatori in ghisa posizionati sulle pareti esterne; solitamente questi erano alloggiati in apposite nicchie create sotto il davanzale della finestra.

Tenendo conto delle dispersioni della camera per trasmissione e ventilazione, il fabbisogno di potenza termica invernale, utile al dimensionamento dell'impianto di riscaldamento, risulta essere pari a 1369 W.

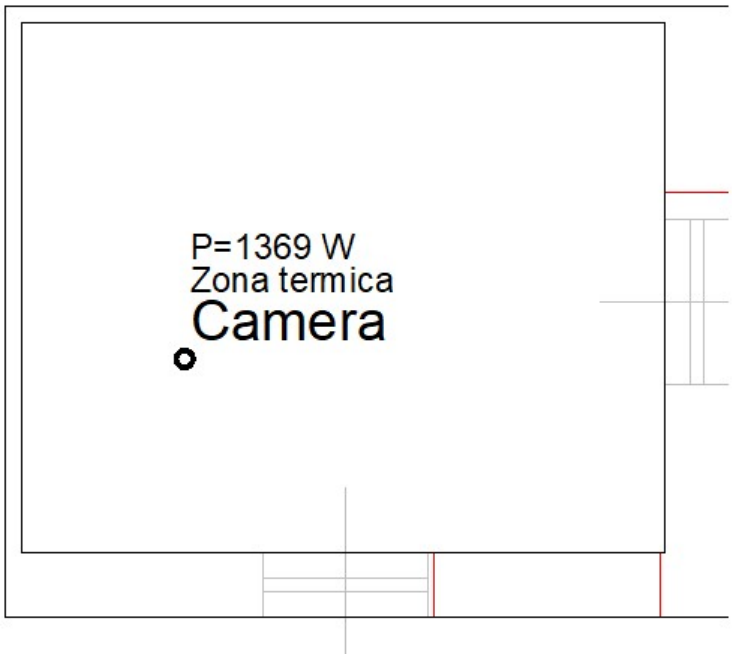


Figura 37: Fabbisogno di potenza termica invernale
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Per il calcolo del fabbisogno estivo è necessario specificare nuovi dati di input insieme a quelli relativi alla località: i carichi sensibili e latenti dovuti alla presenza delle persone e delle apparecchiature, oltre al numero di persone presenti nell'ambiente e le ore giornaliera di accensione dell'impianto.

Nel caso di un ambiente residenziale si considerano i seguenti apporti interni:

- *Persone*

  $q_{i,P,SENSIBILI}$ = 2,80 W/m^2

  $q_{i,P,LATENTI}$ = 2,12 W/m^2

- *Apparecchiature*

  $q_{i,A,SENSIBILI}$ = 3 W/m^2

$q_{i,A,LATENTI}$ = 0 W/m²

Si suppone che le persone all'interno dell'ambiente siano 2 e che l'impianto di raffrescamento sia in funzione per 12 ore (dalle 8 alle 20).

Conoscendo l'area lorda della camera e il numero di utenti, è possibile ricavare gli apporti interni in funzione di questi valori, come richiesto dal software:

$$Area\ lorda\ A\ =\ 16{,}12\ m^2$$

$$Persone\ p\ =\ 2$$

$$\boldsymbol{q_{i,P,SENSIBILI}}\ \left[\frac{W}{persona}\right] = q_{i,P,SENSIBILI}\ \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot A\ \cdot \frac{1}{p} = \mathbf{22{,}57}\ \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{persona}}$$

$$\boldsymbol{q_{i,P,LATENTI}}\ \left[\frac{W}{persona}\right] = q_{i,P,LATENTI}\ \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot A\ \cdot \frac{1}{p} = \mathbf{17{,}09}\ \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{persona}}$$

La densità di persone per unità di superficie lorda è invece ricavata dal rapporto tra i due valori:

$$densità\ occupanti\ =\ \frac{p}{A} = 0{,}12\ \frac{persone}{m^2}$$

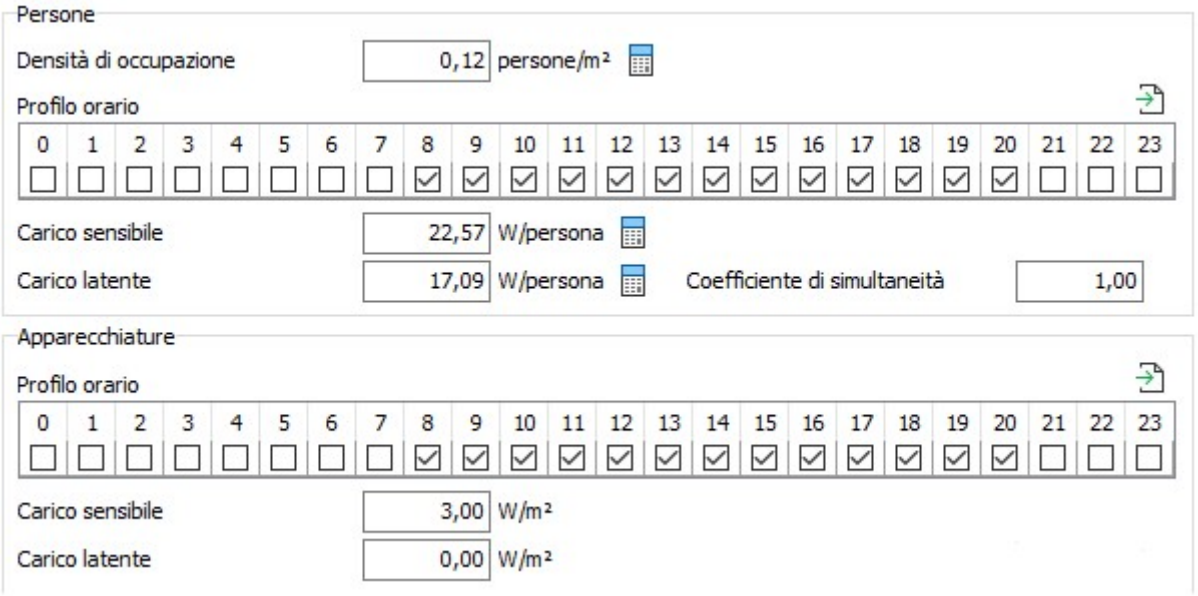


Figura 38: Dettaglio dei valori degli apporti interni e del profilo orario
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

I parametri appena descritti sono utilizzati in tutte le soluzioni proposte, per poter effettuare un confronto equilibrato tra i risultati.

Per la camera in esame, il carico totale estivo da coprire con l'impianto di raffrescamento risulta essere pari a 429 W, così suddivisi:

INFORMAZIONI TECNICHE	
Variazione Temp Int consentita [°C]	0
Carico Totale [W]	429
Carico Sensibile Totale [W]	293
Carico Latente Totale [W]	136

Figura 39: Carichi estivi latenti e sensibili camera
(Figura estrapolata dal software Namirial)

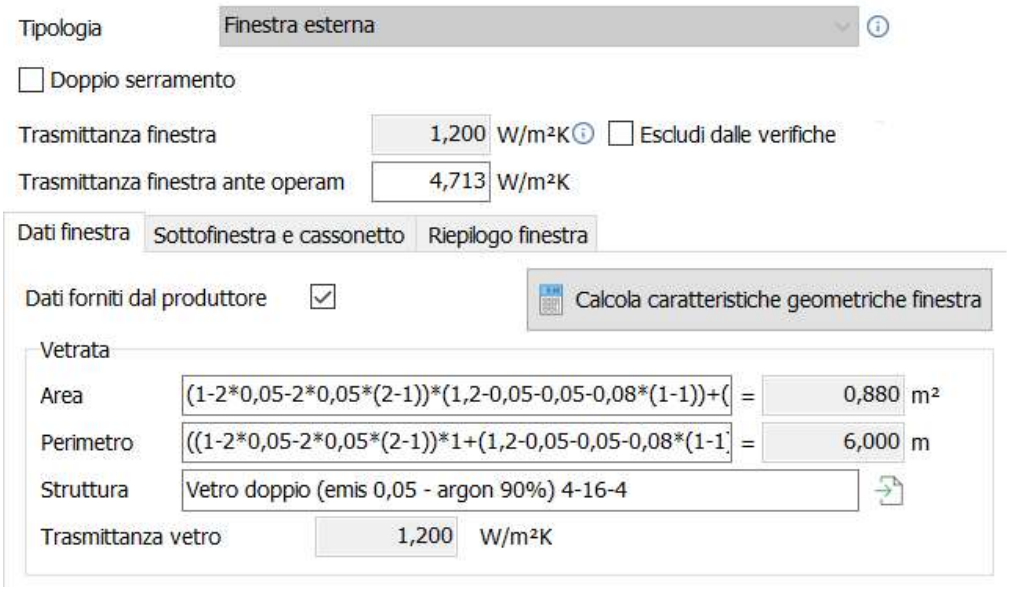
6. LE SOLUZIONI

Nelle soluzioni di riqualificazione sviluppate con questa tesi, si è intervenuti per coibentare termicamente l'involucro verticale, sia nelle componenti opache sia in quelle trasparenti, ma anche per migliorare le prestazioni energetiche del sistema di distribuzione del riscaldamento e dei terminali impiantistici presenti negli alloggi, nonché introdurre il raffrescamento.

In tutti i casi si è scelto di sostituire gli infissi con vetro singolo e i relativi cassonetti e chiusure oscuranti con finestre e portefinestre con doppio vetro, camera d'aria con gas Argon e rivestimento basso-emissivo (U_w = 1,2 W/m^{2}K), optando inoltre per davanzali con taglio termico e avvolgibili e cassonetti coibentati.

Se si analizzasse l'intero condominio di riferimento, per un isolamento ideale dell'edificio, occorrerebbe anche coibentare le pareti che separano gli alloggi dal vano scala non riscaldato, i portoni blindati delle singole abitazioni e i solai del sottotetto e del pian terreno, che generano dispersioni di calore rispettivamente ascendenti e discendenti. Dal momento che non sono questi i componenti su cui si sviluppa questa tesi, si ribadisce che è appositamente scelta una stanza non adiacente al vano scale e appartenente ad un piano intermedio dell'edificio, in modo da renderla confinante solo con ambienti riscaldati o direttamente con l'esterno.

I parametri dei nuovi infissi, che saranno comuni a tutte le soluzioni di riqualificazione, risultano quindi essere i seguenti:



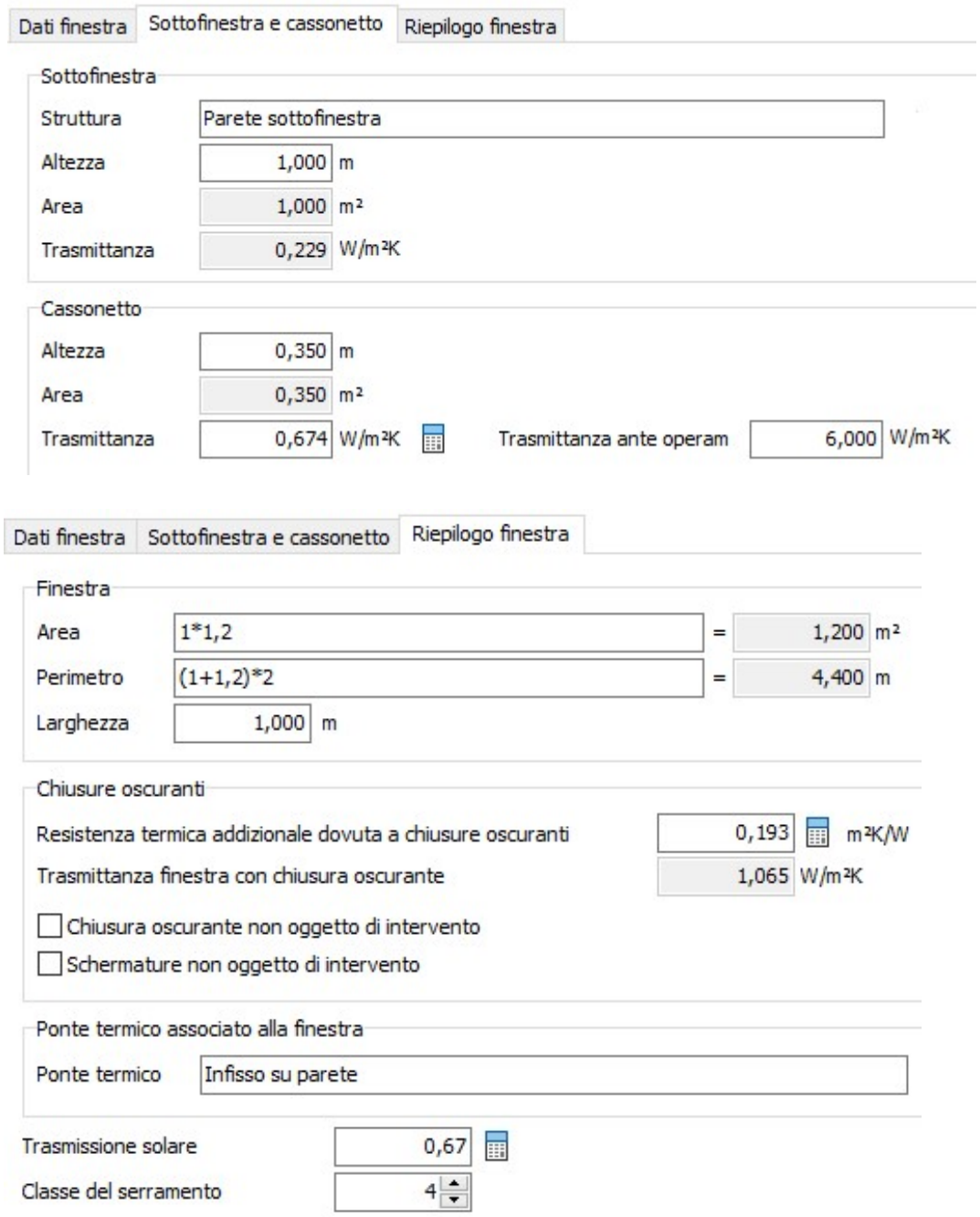
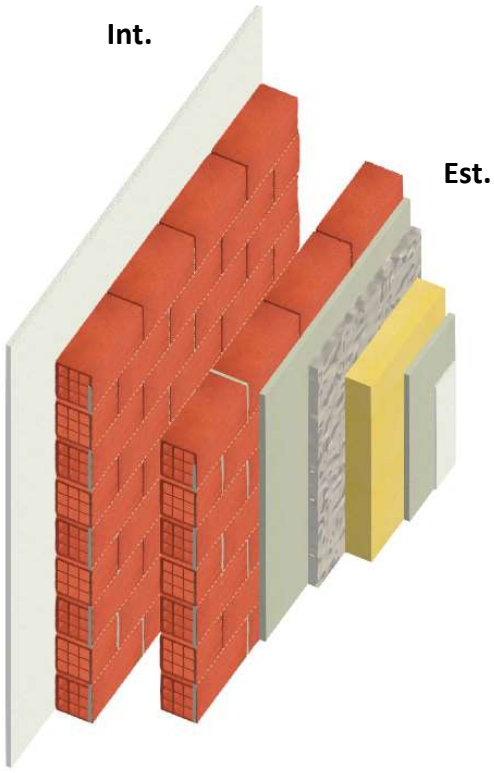


Figura 40: Parametri del nuovo infisso comune a tutte le soluzioni di riqualificazione
(Figure estrapolate dal software Namirial)

6.1 Soluzione 1: Il cappotto esterno



Dall'interno all'esterno:

6. Intonaco di gesso – sp. 2 cm
7. Laterizio forato – sp. 12 cm
8. Intercapedine d'aria – sp. 11 cm
9. Laterizio forato – sp. 12 cm
10. Malta di cemento – sp. 1 cm
11. Malta adesiva – sp. 1 cm
12. Isolante Stiferite – sp. 10 cm
13. Rasante – sp. 1 cm
14. Intonaco di finitura – sp. 0,5 cm

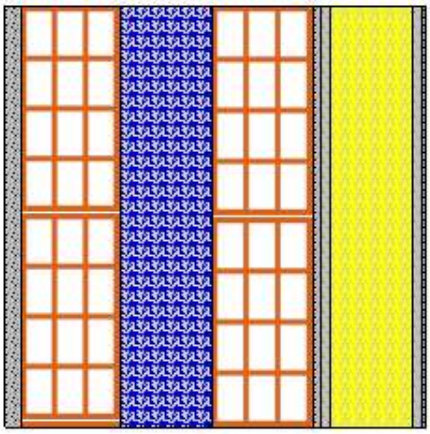
6.1.1 L'involucro

La tecnica di isolamento più diffusa negli ultimi anni, soprattutto quando si interviene su un edificio già esistente è quella di isolare le pareti dall'esterno, realizzando il cosiddetto *cappotto*.

Nel caso in esame si sceglie di applicare all'intera facciata 10 cm di schiuma polyiso, una tipologia di poliuretano espanso rigido in pannelli (*Allegato 1*), su cui vengono realizzati 1,5 cm di rivestimento costituito da doppio strato di rasante armato con fibra di vetro e intonaco esterno di finitura.

Con questo intervento l'involucro risulta coibentato e si ottengono i seguenti valori dei parametri caratteristici:

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di gesso (1000 kg/m³)	0,050	2,0
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,310	12,0
Aria intercapedine flusso orizzontale 110 mm	0,150	11,0
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,310	12,0
Malta di cemento	0,007	1,0
Rasante Collante per Cappotto SM700	0,019	1,0
Stiferite Class SK	3,846	10,0
Rasante Collante per Cappotto SM700	0,019	1,0
Malta di cemento	0,004	0,5
Totale:	4,884	50,5



Trasmittanza	0,205	W/m²K			
Massa superficiale	203,72	kg/m²			
Trasmittanza periodica	0,021	W/m²K	Trasmittanza periodica limite	---	W/m²K
Sfasamento	12,39	h			
Smorzamento	0,103				
Capacità termica interna	45,001	kJ/m²K			

Caratteristiche del materiale isolante

Inserimento	Cappotto esterno	
Spessore	10,0	cm
Tipo	Poliuretano espanso rigido	
Trasmittanza ante operam	0,996	W/m²K

Figura 41: Parametri termici chiusura verticale soluzione 1
(Figura estrapolata dal software Namirial)

I valori di trasmittanza termica stazionaria e periodica sono entrambi inferiori ai valori previsti per legge (UNI EN ISO 6946), pari a U = 0,23 W/m^{2}K e Y_{ie} = 0,10 W/m^{2}K.

Non si verificano inoltre fenomeni di condensa:

Analisi interfacce

Struttura complessiva

Mese	gc [kg/m²]	Ma [kg/m²]	fRsi,min
Gennaio	0,00000	0,00000	0,65234
Febbraio	0,00000	0,00000	0,63621
Marzo	0,00000	0,00000	0,58407
Aprile	0,00000	0,00000	0,49457
Maggio	0,00000	0,00000	
Giugno	0,00000	0,00000	
Luglio	0,00000	0,00000	
Agosto	0,00000	0,00000	
Settembre	0,00000	0,00000	
Ottobre	0,00000	0,00000	0,43991
Novembre	0,00000	0,00000	0,61118
Dicembre	0,00000	0,00000	0,66965

fRsi = 0,95004
fRsi,max = 0,66965 (a dicembre)
La struttura non presenta rischi di formazione muffe

La struttura non genera fenomeni di condensa interstiziale

La struttura è verificata

Figura 42: Verifica termoigrometrica della parete
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Con l'intervento, anche i ponti termici risultano sensibilmente ridotti e, come si può notare dai grafici, la temperatura interna si abbassa molto lentamente fino allo strato isolante, proprio grazie alla sua presenza:

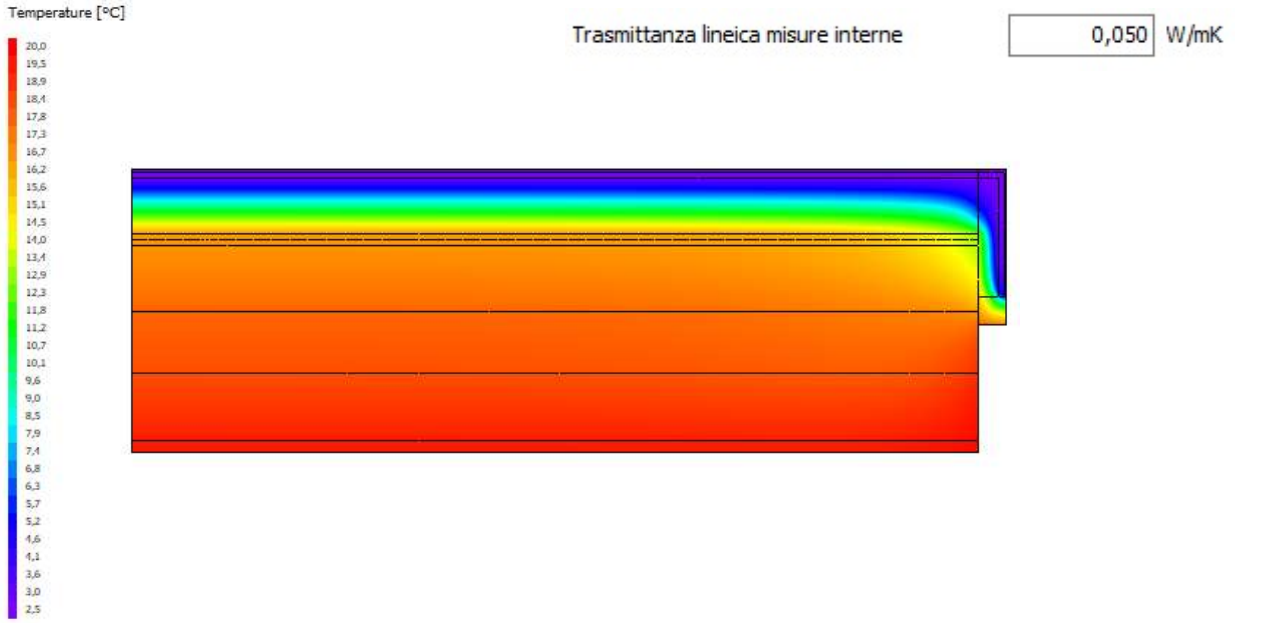


Figura 43: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico infisso-parete
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

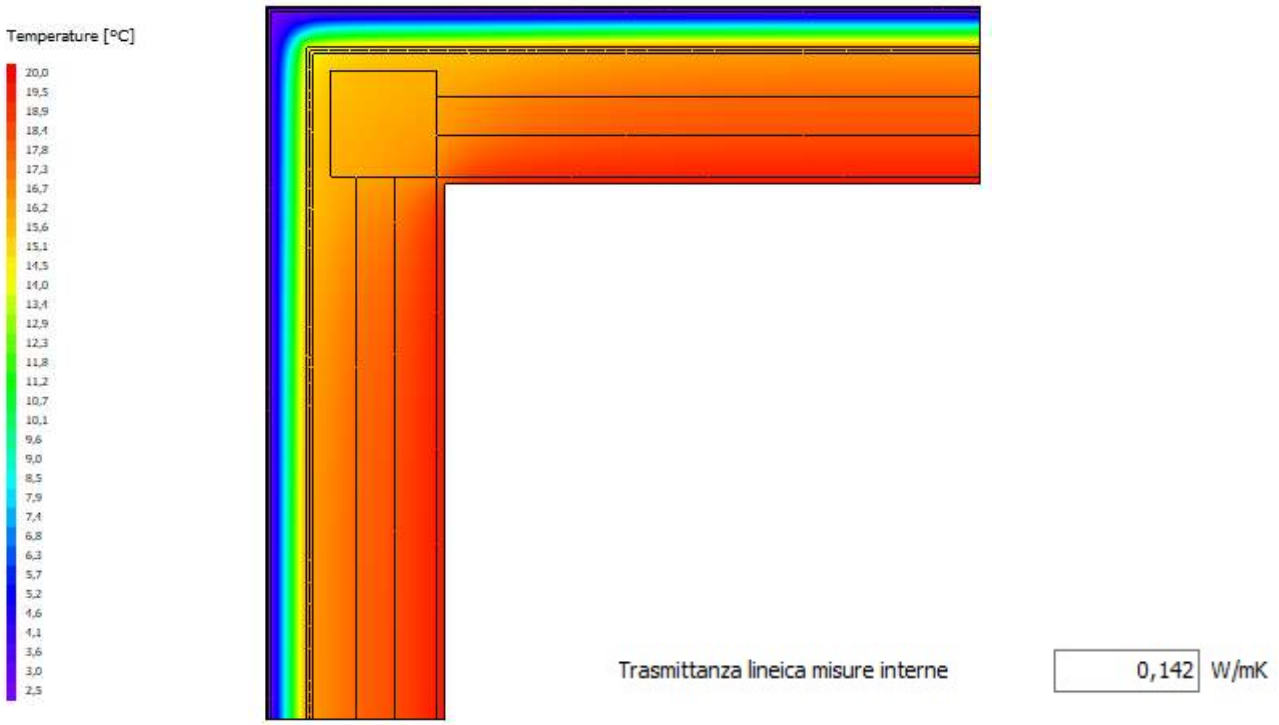


Figura 44: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico all'angolo tra le due pareti, con pilastro
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

6.1.2 Gli impianti

In questa soluzione non è prevista una differente tipologia di terminali impiantistici, che rimane quella dei radiatori, ma solo la loro sostituzione a favore dell'utilizzo di materiali più moderni e performanti (acciaio o alluminio anziché ghisa).

La distribuzione è mantenuta a colonne montanti, che però vengono rimpiazzate con tubi isolati come previsto per legge.



Figura 45: Radiatore in acciaio
(www.hudsonreed.com)

Grazie all'intervento sull'involucro, il fabbisogno di potenza termica per riscaldare la stanza in inverno risulta pari a 527 W, riducendosi di circa il 61,5% rispetto alla camera non isolata.

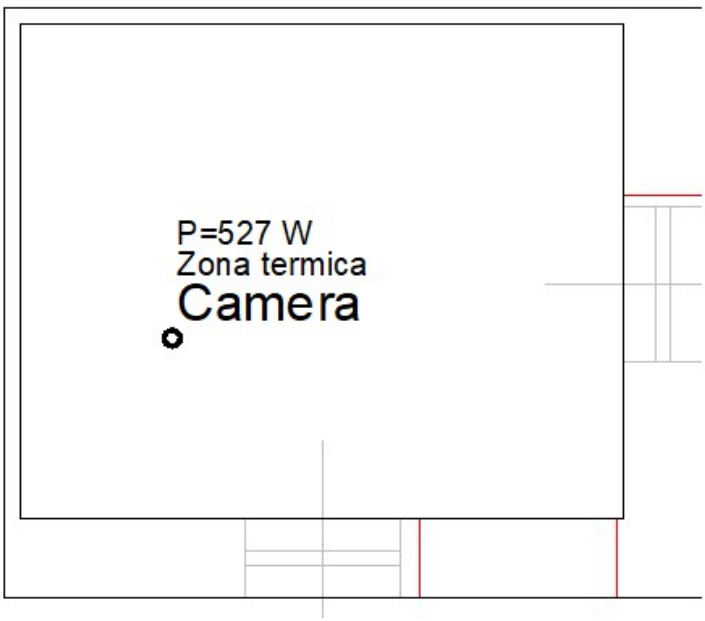


Figura 46: Fabbisogno di potenza termica invernale
(Figura estrapolata dal software Namirial)

L'impianto a radiatori, normalmente caratterizzato da alte temperature di mandata (80°C) e ritorno (60°C), può quindi trasformarsi in un sistema a basse temperature. Questo permette di sostituire anche il generatore di calore a combustione classico, con uno a pompa di calore, tipologia più moderna e meno inquinante in quanto non utilizza combustibili fossili.

Ma quali sono le nuove temperature di mandata e di ritorno dell'acqua che alimenta i radiatori? Per ottenerle occorre effettuare un ragionamento e un calcolo più dettagliati, richiamando alcuni concetti teorici.

Il software con cui si effettuano i calcoli energetici fornisce il valore della potenza termica ϕ dispersa dal locale, che nel caso in esame è data da:

$$\phi = H_{tr} \cdot (\theta_i - \theta_e) + H_{ve} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W]$$

Dove:

- H_{tr} [W/K] = coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso involucro opaco e trasparente, compresi i relativi ponti termici;
- H_{ve} [W/K] = coefficiente di scambio termico per ventilazione;
- θ_i = temperatura dell'ambiente interno, pari a 20 °C;
- θ_i = temperatura esterna di progetto, pari a -8 °C per la città di Torino.

Ipotizzando un tasso di ricambio d'aria n = 0,5 vol/h, il coefficiente di scambio termico per ventilazione H_{ve} si ottiene attraverso la seguente formula:

$$H_{ve} = \rho_{aria} \cdot c_p \cdot n \cdot V_n = 6{,}24 \text{ W/K}$$

Con

- $\rho_{aria} \cdot c_p$ = 0,33 Wh/(m^{3}K);
- $V_n = A_{locale} \cdot h_{locale}$ = 37,5 m^3.

Conoscendo il valore della potenza termica dispersa ϕ_{ante} = 1369 W nel caso di parete non isolata e $\phi_{cappotto}$ = 527 W nel caso della soluzione con cappotto esterno, si ricavano:

$$H_{tr,ante} = \frac{\phi - H_{ve} \cdot (\theta_i - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} = 42{,}65 \text{ W/K}$$

$$H_{tr,cappotto} = \frac{\phi - H_{ve} \cdot (\theta_i - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} = 12{,}58 \text{ W/K}$$

I nuovi valori di trasmittanza termica dell'involucro opaco e dell'involucro trasparente, oltre alla risoluzione dei ponti termici, hanno generato una riduzione del coefficiente di scambio termico pari a:

$$\frac{H_{tr,ante} - H_{tr,cappotto}}{H_{tr,ante}} \cdot 100 = -70{,}5\ \%$$

Come detto pocanzi, l'impianto a radiatori classico si basa su una temperatura dell'acqua di mandata di circa 80 °C e di 60 °C nel ritorno, per una temperatura media pari a 70 °C. L'aria dell'ambiente interno si considera invece a 20 °C. Si ottiene:

$$\Delta T = T_{media\ acqua} - T_{amb.interno} = 50\ °C$$

Il miglioramento del coefficiente di scambio termico per trasmissione genera una riduzione di ΔT, pari a:

$$\Delta T'[\%] = -70{,}5\% \cdot \frac{H_{tr,cappotto}}{H_{tr,cappotto} + H_{ve}} \cdot 100 = -47{,}12\ \%$$

e quindi un nuovo $\Delta T' = 50 - 47{,}12\% = 26{,}5\ °C \cong 27\ °C$

Ne consegue che la nuova temperatura media dell'acqua dei radiatori è:

$$T_{media\ acqua} = T_{amb.interno} + \Delta T' = 47\ °C$$

L'intervallo tra le temperature di mandata e di ritorno, in un impianto a bassa pressione, si aggira intorno ai 10 °C pertanto, si ottengono i seguenti valori:

$$\boldsymbol{T_{mandata}} = T_{media\ acqua} + 5 = 52\ °C \cong \mathbf{55\ °C}$$

$$\boldsymbol{T_{ritorno}} = T_{media\ acqua} - 5 = 42\ °C \cong \mathbf{45\ °C}$$

Le temperature di esercizio dell'impianto a cui si è giunti sono decisamente più basse rispetto a quelle dell'ambiente prima dell'intervento di riqualificazione dell'involucro.

L'impianto a radiatori e la caldaia dell'edificio non permettono di raffrescare i locali durante i mesi estivi e per questo l'utente dovrà provvedere autonomamente ad inserire un altro sistema di distribuzione. In tal caso, il carico totale estivo utile per il dimensionamento dell'impianto è pari a 329 W, così suddivisi:

INFORMAZIONI TECNICHE	
Variazione Temp Int consentita [°C]	0
Carico Totale [W]	329
Carico Sensibile Totale [W]	193
Carico Latente Totale [W]	137

Figura 47: Carichi estivi latenti e sensibili camera
(Figura estrapolata dal software Namirial)

6.1.3 La realizzazione

Dopo aver allestito il ponteggio attorno all'edificio, avviene la rimozione dei davanzali e degli stipiti delle porte e delle finestre presenti in facciata, nonché degli infissi esistenti, comprensivi di telaio, controtelaio e cassonetto.

Installazione dei nuovi infissi

Per la sostituzione degli infissi si sceglie un sistema monoblocco (*Allegato 6*), che giunge in cantiere già preassemblato e coibentato lungo tutti i 4 lati, così da consentire una rapida posa e ridurre al minimo i ponti termici all'interfaccia tra infisso e parete.

Dopo aver rimosso tutti gli elementi del vecchio serramento, si crea un provvisorio supporto ligneo sottile sulla base del foro e si inserisce il sistema monoblocco che dovrà sporgere dalla parete di una misura pari a quella del cappotto esterno che verrà realizzato. Si realizza un corretto allineamento mediante l'utilizzo di cunei provvisori e stadia.

Successivamente si procede fissando con specifici tasselli il cassonetto al solaio superiore, mentre il sistema monoblocco viene ancorato alla parete esterna attraverso staffe angolari e specifiche viti, in numero di tre per spalla nel caso di finestra e quattro per spalla se in presenza di porta finestra, oltre che sui lati orizzontali. In ogni caso, è consigliabile rispettare un interasse massimo tra le staffe pari a 50 cm.

Sul lato interno, invece, sarà fissato alla muratura tramite turbo viti.

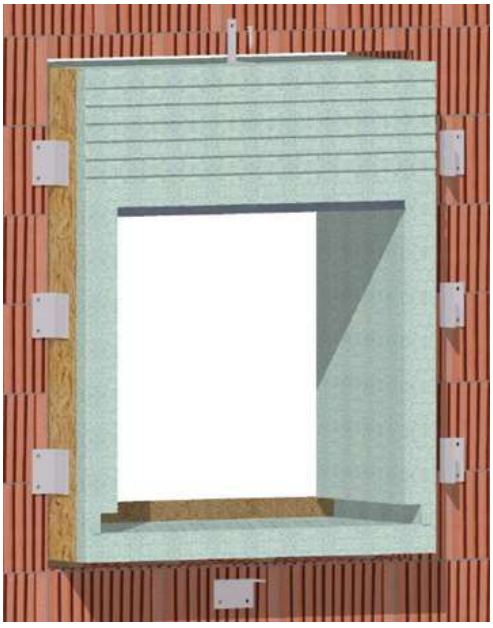


Figura 3: Fissaggio del sistema monoblocco sul lato esterno della parete
(www.monoblocco.eu)

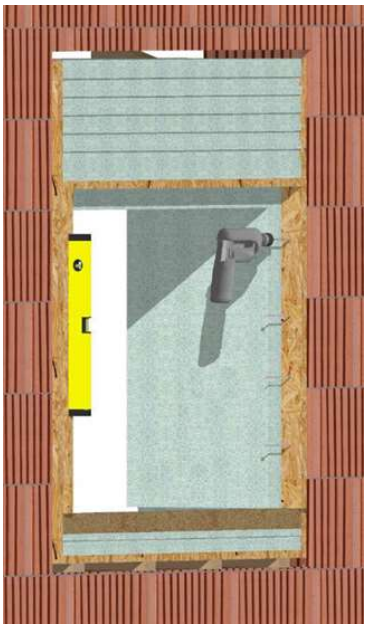


Figura 4: Fissaggio del sistema monoblocco sul lato interno della parete
(www.monoblocco.eu)

A questo punto si procede con la sigillatura di tutti i giunti dell'interfaccia monoblocco-parete interni ed esterni attraverso schiuma isolante.

Si prosegue con l'installazione dell'infisso, che dovrà solo essere inserito e ancorato alla struttura.

Successivamente si eseguono lo strato rasante con armatura in fibra di vetro, la posa dei davanzali e l'intonacatura finale, ma queste lavorazioni devono essere eseguite dopo aver installato i pannelli isolanti del cappotto esterno. La trattazione è riservata al paragrafo *Rinforzo e finitura*.

Preparazione del supporto

Si procede eliminando l'eventuale rivestimento (es. marmo, pietra, piastrelle), raggiungendo il substrato in malta di cemento. A questo punto, così come nel caso in cui la facciata sia intonacata, occorre verificare la compattezza dell'intonaco e l'idoneità del supporto, attraverso la picozzatura e, in caso di esito negativo, rimuovere le parti di intonaco che non soddisfano i requisiti. Deve essere controllata anche la planarità della facciata e intervenire per renderla tale mediante riporti di malta o asportazione superficiale del materiale, affinchè la successiva applicazione delle lastre risulti *a piombo*. Al termine di queste operazioni occorre pulire il supporto per rimuovere polveri e prodotti residui delle lavorazioni effettuate.



Figura 48: Verifica della compattezza dell'intonaco e dell'idoneità del supporto tramite picozzatura con martello.
(www.rockwool.it)

Applicazione e fissaggio dei pannelli isolanti

Per prima cosa si posizionano i profili metallici di partenza, provvisti di gocciolatoio, ad un'altezza di circa 15 cm dal suolo, oltre che sopra le aperture degli infissi, avendo cura di controllare sempre la loro planarità. La distanza dal pavimento preserva il materiale dal contatto diretto con il terreno e di conseguenza dalla risalita capillare dell'umidità e dalle piogge atmosferiche. I profili vengono fissati alla parete attraverso specifici tasselli, posti ad un interasse di circa 25-30 cm.



Figura 49: Fissaggio del profilo di partenza con gocciolatoio mediante tasselli
(www.fassabortolo.it)

Si posizionano quindi le lastre dal basso verso l'alto, per file orizzontali e ben accostate (massimo 2 mm di distanza), a partire dal livello dei profili appena installati, avendo cura di sfalsare i giunti tra un corso e l'altro di almeno 25 cm e di non farli congiungere agli spigoli degli infissi, poiché questi ultimi costituiscono le zone più critiche.

Per incollare i pannelli occorre applicare la malta adesiva sul retro di ciascuno di essi, attraverso la tecnica a cordoni perimetrali e punti centrali (coprendo almeno il 40% della superficie totale), oppure stendendo il materiale in maniera uniforme mediante spatola dentata. In ogni caso, lo spessore del collante deve essere inferiore ad 1 cm.



Figura 5: Distribuzione uniforme della malta adesiva a sx e tecnica di applicazione a cordoni perimetrali e punti centrali a dx
(www.fassabortolo.it)

Nelle zone d'angolo, degli infissi e di altri eventuali componenti in facciata, le lastre possono essere facilmente ridimensionate attaverso l'utilizzo di un taglierino. Le eventuali fughe createsi tra i pannelli devono essere sigillate con lo stesso materiale isolante oppure attraverso schiume poliuretaniche, mentre all'interfaccia tra il cappotto e gli altri elementi edilizi, che deve sempre garantire la tenuta all'acqua e all'aria, occorre inserire del nastro autoadesivo di guarnizione per soddisfare questi requisiti. Con l'avanzare dell'installazione dei pannelli, occorre inoltre sempre verificare la planarità della superficie attraverso una staggia.

Oltre all'utilizzo della malta adesiva, dopo 24 ore è necessario eseguire un fissaggio meccanico dei pannelli attraverso un avvitatore elettrico, mediante specifici tasselli di lunghezza tale da raggiungere la parete in laterizi forati e penetrarla di almeno 25 mm, disponendoli secondo uno schema a T o a W, come illustrato in figura 51. In ogni caso, si consiglia di disporre almeno 6 tasselli per ogni metro quadrato di parete.

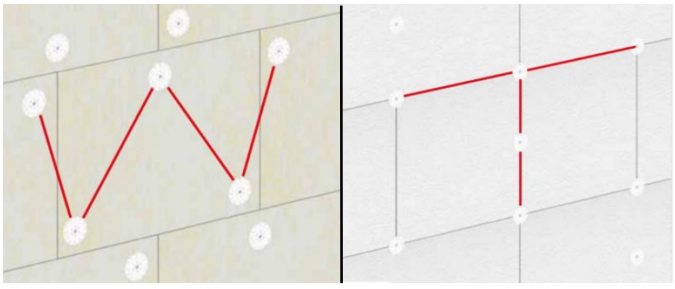


Figura 50: Fissaggio dei pannelli con tecnica a W a sx e a T a dx
(www.fassabortolo.it)

Ogni fissaggio dovrà essere posizionato con la testa a filo con la superficie esterna del pannello (complanare) oppure potrà penetrare all'interno ed essere coperto da uno specifico tappo dello stesso materiale isolante del *cappotto*.

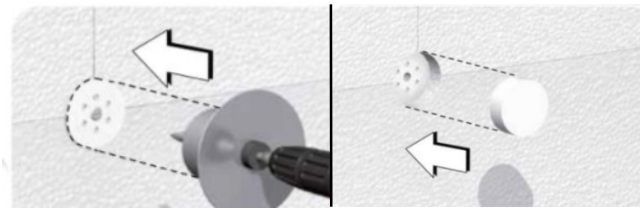


Figura 8: Tassellatura complanare a sx e incassata con tappo isolante a dx
(www.calameo.com)

Rinforzo e finitura

Dopo almeno 48 ore dal posizionamento dei pannelli, si procede con il rinforzo del cappotto tramite una rete di armatura in fibra di vetro con trattamento antialcalino e specifici paraspigoli con rete preincollata per gli angoli della facciata e delle aperture degli infissi, nonché per altri eventuali punti di discontinuità; in prossimità dei punti di scolo dell'acqua piovana dovranno essere posizionati i paraspigoli dotati di gocciolatoio.

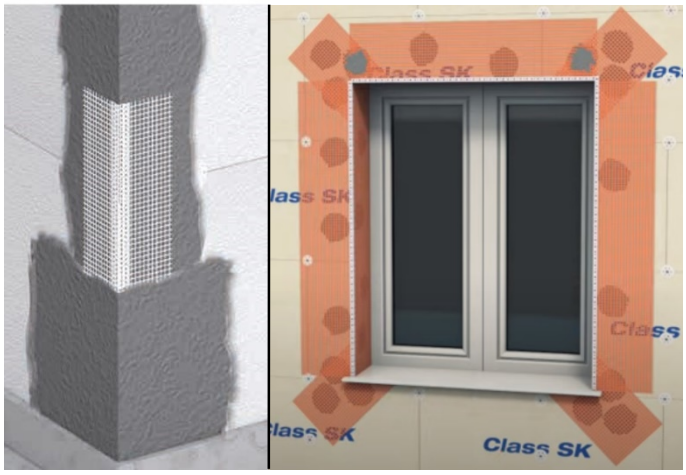


Figura 9: Rinforzi specifici con paraspigoli e rete di armatura in corrispondenza di un pilastro (a sx) e di un'apertura (a dx)
(www.stiferite.it)

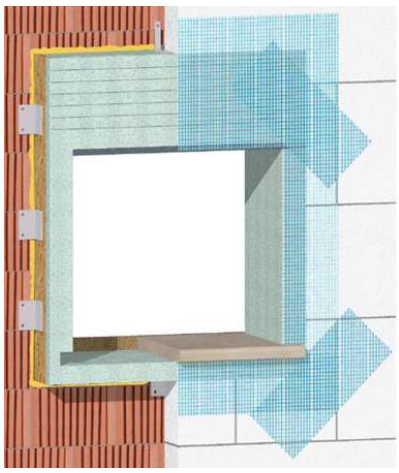


Figura 51: Dettaglio del sistema monoblocco con rinforzo con rete di armatura anche sul cassonetto
(www.monoblocco.eu)

Per fissare il rinforzo occorre distribuire sulla zona interessata uno strato di rasante, un collante elastico a base cementizia, annegare in esso la rete di armatura e successivamente procedere al secondo strato di rasante, per uno spessore totale di circa 6 mm.

Al termine dei rinforzi specifici, si esegue lo stesso processo anche su tutta la superficie del cappotto, avendo cura di disporre la rete in fibra di vetro dall'alto verso il basso sovrapponendo gli strati contigui di almeno 10 cm, di stendere il rasante in maniera uniforme e di verificare la planarità della parete. In corrispondenza della parte bassa dell'edificio o nelle zone in cui si necessiti una maggiore resistenza agli urti, è consigliabile installare due strati di rete di armatura, applicando un terzo strato di rasante.

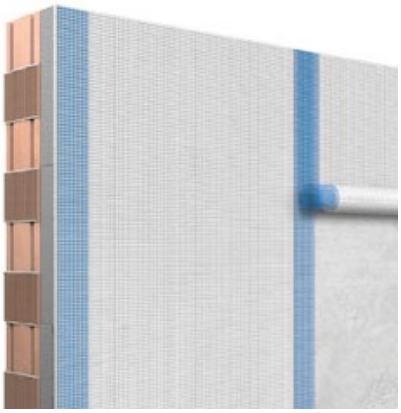


Figura 52: Stesura della rete in fibra di vetro dall'alto verso l'alto, annegandola nel primo strato di rasante e sovrapponendo le zone contigue di almeno 10 cm *(www.knauf.it)*

La presenza della rete è fondamentale in quanto assorbe le sollecitazioni di trazione che si creano a causa delle continue variazioni climatiche esterne, ma anche perché garantisce un'adeguata resistenza meccanica ad urti e colpi accidentali, evitando che questi fenomeni danneggino il rivestimento e il cappotto stesso.

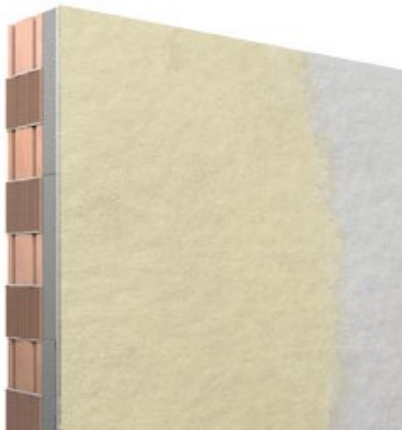


Figura 53: Applicazione del primer e del successivo strato finale di finitura, preferibilmente di colore chiaro. *(www.knauf.it)*

Dopo circa 2-3 settimane dall'applicazione del rasante, si procede con l'applicazione di un fissativo sull'intera superficie della facciata, per preparare e favorire l'adesione dello strato finale di finitura. Trascorse 24-48 ore si esegue la posa in opera di quest'ultimo attraverso frattazzo liscio ed eseguendo movimenti circolari, avendo cura di stendere uno strato continuo e uniforme, con spessore sottile di circa 2 mm. Nel caso in cui si voglia ottenere una particolare resa cromatica si può procedere ad un ulteriore strato di tinteggiatura superficiale, anche se l'intonaco è già formulato per l'impiego esterno finale.

Durante tutte le operazioni di realizzazione del cappotto è necessario che la temperatura esterna sia compresa tra 5 e 20 °C e che la parete sia protetta dall'irraggiamento diretto del sole, dalle precipitazioni e dal vento, affinchè i diversi strati di malta adesiva, rasante e intonaco di finitura possano maturare e/o asciugare correttamente; pertanto, si consiglia di predisporre il ponteggio di opportuno rivestimento in teli, adatto a soddisfare tali esigenze.

Negli anni occorrerà eseguire una corretta manutenzione del rivestimento della facciata, verificando l'integrità dello strato di finitura e la presenza di eventuali danneggiamenti alla rasatura armata, che andranno prontamente risolti, in modo da garantire il mantenimento nel tempo del sistema a cappotto, che ha una vita utile compresa tra i 25 e i 50 anni.

L'isolamento del balcone

Uno dei nodi più critici della facciata è la presenza del balcone a sbalzo, che crea un notevole ponte termico. Nelle realizzazioni tradizionali degli edifici degli anni '60-'70, questo era realizzato come prosecuzione del solaio del piano, facendo fuoriuscire i ferri di armatura, dai quali veniva realizzata la soletta armata del balcone e i successivi strati di riempimento e di finitura superficiale con piastrelle. Nonostante in commercio attualmente esistano particolari giunti isolanti portanti, che possono essere disposti tra la soletta armata del solaio interno e la struttura del balcone a sbalzo, non sono soluzioni di facile applicazione nel caso di un edificio già esistente. Il modo più semplice ed efficace per risolvere il ponte termico è rivestire con l'isolamento a cappotto l'intradosso, l'estradosso e la testa della soletta del balcone.

Per il fissaggio dei pannelli, la rasatura e la finitura finale si procederà come nel caso della parete, ad eccezione dell'estradosso del solaio. Esso è infatti calpestabile, pertanto lo strato di isolante andrà inserito all'interno della soletta. Prima di iniziare le operazioni di coibentazione del balcone sarà dunque necessario rimuovere tramite demolitore elettrico la pavimentazione, lo strato di massetto in calcestruzzo e la guaina impermeabilizzante, fino a raggiungere il livello della soletta armata. Si procederà quindi con la pulizia del supporto e con l'incollaggio dei pannelli di isolante bituminati superiormente aventi spessore di almeno 3-5 cm, a seconda della distanza disponibile dalle soglie delle porte finestre. Successivamente sarà installata la guaina impermeabilizzante attraverso cannello, avendo cura di sovrapporre gli strati contigui di almeno 10 cm, per poi proseguire con la realizzazione del nuovo massetto e della pavimentazione, mentendosi ad un livello di estradosso inferiore alla quota della soglia delle porte finestre. La pendenza del balcone dovrà sempre essere del 2-4% affinché sia garantito il corretto scolo delle acque piovane. Il cannello può essere utilizzato nonostante la natura infiammabile del materiale isolante,



Figura 54: Installazione della guaina impermeabilizzante su pannelli accoppiati a strato bituminoso. *(www.weber.it)*

grazie alla presenza dello strato bituminoso accoppiato al pannello, che lo tutela dal ritiro e dal danneggiamento nel caso in cui entrasse in contatto diretto con la fiamma.

6.1.4 I materiali alternativi

Nell'ottica di ridurre il più possibile lo strato di coibentazione mantenendo però le caratteristiche performanti della parete, si può scegliere di sostituire i pannelli di poliuretano espanso rigido a favore di un materiale afferente ai nuovi isolanti tecnologici a spessore ridotto, come i pannelli sottovuoto e l'*Aerogel* descritti al *Paragrafo 3.2*.

Nel caso si scelga la prima tipologia, il componente deve essere integrato in una sottostruttura metallica rivestita di cemento fibrorinforzato (*Aquapanel outdoor*) per proteggerlo da eventuali urti che potrebbero compromettere la tecnologia a sottovuoto. I valori di trasmittanza termica scendono notevolmente grazie alle alte proprietà termiche del materiale, la verifica a condensa è soddisfatta e, grazie alla presenza della lastra di rivestimento si ha anche un incremento della massa superficiale. Si ottiene, inoltre, una riduzione della trasmittanza termica periodica e del valore di smorzamento, che determinano un incremento dell'inerzia termica. Lo sfasamento si mantiene su valori soddisfacenti mentre la capacità termica interna rimane invariata.

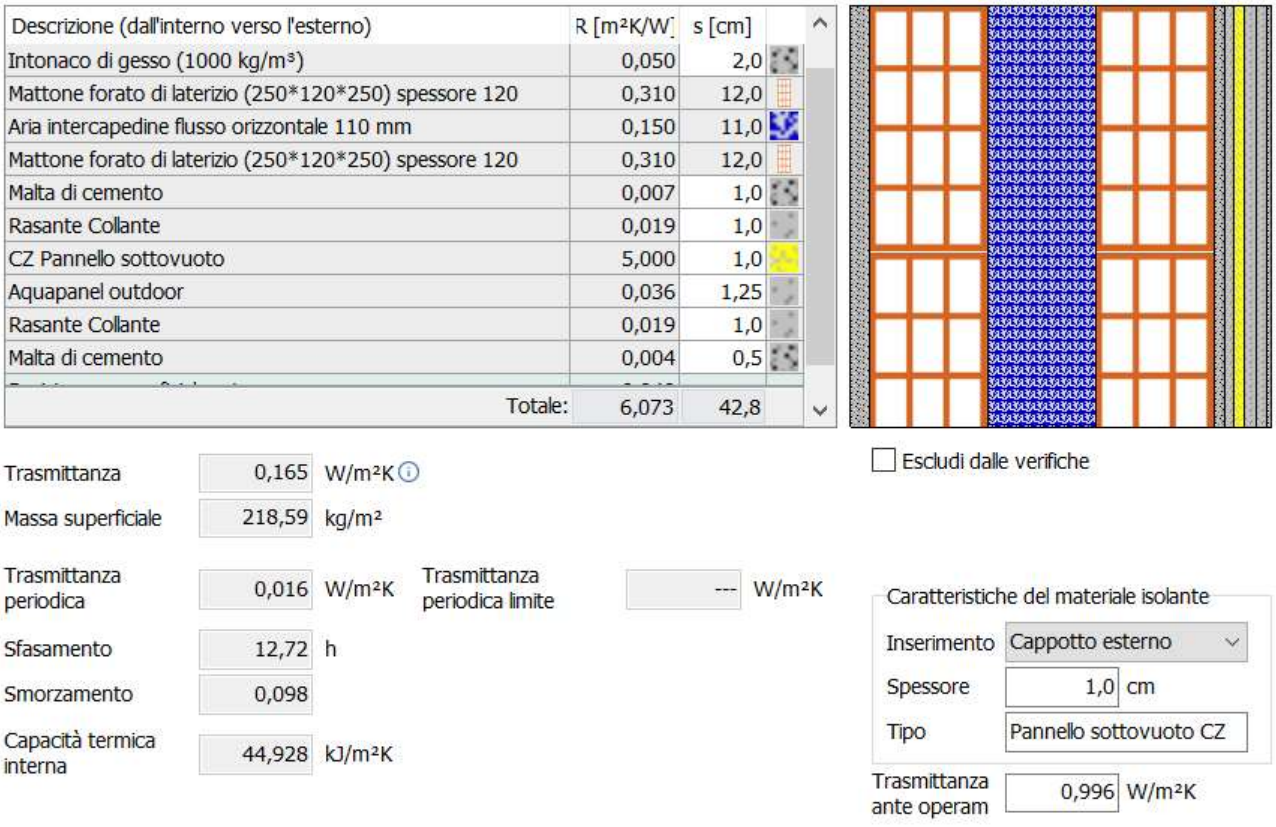
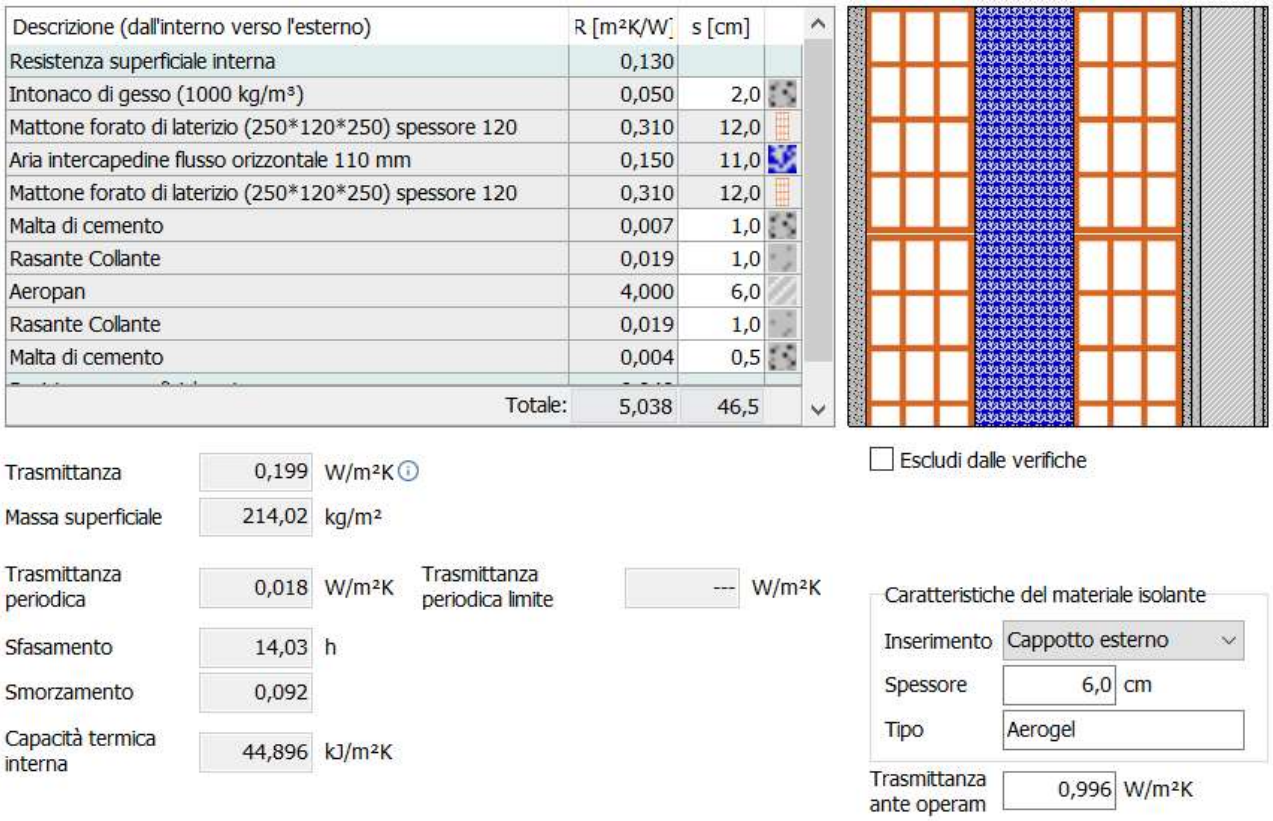


Figura 55: Parametri termici chiusura verticale isolata con pannello sottovuoto *CZ*
(Figura estrapolata dal software Namirial)

L'*Aeropan* può essere utilizzato invece singolarmente come i sistemi a cappotto esterno tradizionale, senza l'utilizzo di una sottostruttura.



Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco di gesso (1000 kg/m³)	0,050	2,0
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,310	12,0
Aria intercapedine flusso orizzontale 110 mm	0,150	11,0
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,310	12,0
Malta di cemento	0,007	1,0
Rasante Collante	0,019	1,0
Aeropan	4,000	6,0
Rasante Collante	0,019	1,0
Malta di cemento	0,004	0,5
Totale:	5,038	46,5

Escludi dalle verifiche

Trasmittanza	0,199	W/m²K			
Massa superficiale	214,02	kg/m²			
Trasmittanza periodica	0,018	W/m²K	Trasmittanza periodica limite	---	W/m²K
Sfasamento	14,03	h			
Smorzamento	0,092				
Capacità termica interna	44,896	kJ/m²K			

Caratteristiche del materiale isolante

Inserimento	Cappotto esterno	
Spessore	6,0	cm
Tipo	Aerogel	
Trasmittanza ante operam	0,996	W/m²K

Figura 56: Parametri termici chiusura verticale isolata con *Aeropan*
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Come si può notare, nonostante l'Aerogel sia un materiale performante, non permette di raggiungere le prestazioni termiche che offre il pannello sottovuoto in solo 1 cm di spessore. È infatti necessario inserire pannelli Aeropan spessi 6 cm, la misura massima prodotta, per poter ottenere risultati soddisfacenti e inferiori ai limiti di legge ($U \leq 0{,}23$ W/m^{2}K).

La massa superficiale aumenta leggermente e si riducono la trasmittanza termica periodica e il fattore di smorzamento, incrementando leggermente l'inerzia della parete. La capacità termica interna rimane pressochè invariata, ma lo sfasamento aumenta di circa 1 h e 20 minuti rispetto alla soluzione con cappotto esterno in poliuretano espanso, in cui il valore è di 12,39 h. Quest'incremento, seppur non eccessivo, non è molto apprezzabile perché d'estate provoca il rilascio del calore delle ore più calde (es. ore 15-18), nelle prime ore del mattino del giorno successivo (5-8), che sebbene non abbiano temperature elevate, iniziano già ad essere soggette ad un innalzamento dovuto all'irraggiamento solare. Rispetto alla soluzione con il pannello sottovuoto, l'Aerogel risulta quindi meno vantaggioso.

6.1.5 Considerazioni finali

Questo tipo di coibentazione circonda il fabbricato, permettendo di limitare notevolmente le dispersioni di calore d'inverno e il surriscaldamento degli ambienti d'estate, ma soprattutto di eliminare o ridurre al minimo i ponti termici, che le altre tecniche di isolamento (dall'interno o nell'intercapedine muraria) non riescono a risolvere. Permette inoltre di proteggere le strutture in calcestruzzo armato dal degrado causato dalle infiltrazioni nella matrice cementizia dovute all'esposizione agli agenti atmosferici.

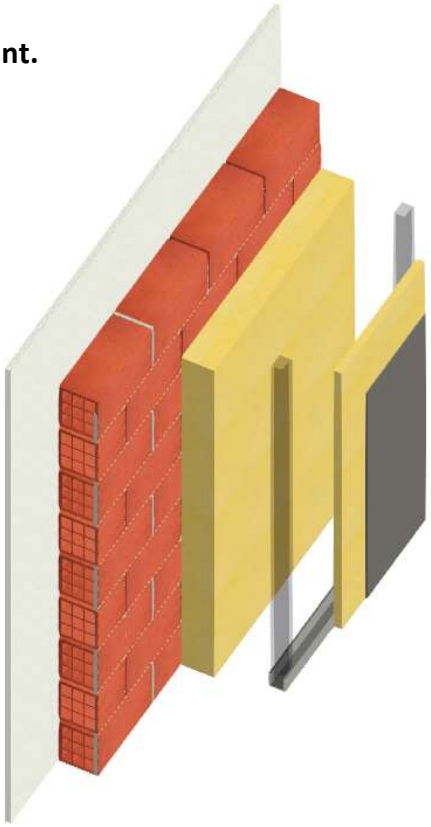
Ha il vantaggio di poter essere realizzata senza arrecare disturbo all'interno delle abitazioni, non richiede particolari opere di demolizione, ad eccezione dell'intervento sui balconi.

È sicuramente una soluzione rapida, ma necessita della sostituzione di tutte le soglie e dei davanzali degli infissi, la manutenzione dello strato rasante armato nel tempo, nonché di particolare attenzione alle condizioni climatiche durante la sua realizzazione. Genera inoltre un ispessimento della parete di circa 12 cm nella soluzione con 10 cm di isolante, che talvolta può creare problemi in quanto riduce la profondità dei balconi e può interferire con le zone di passaggio al pian terreno. Proprio per questi motivi, in alcuni casi la soluzione con il cappotto esterno non è percorribile.

I nuovi materiali a ridotto spessore possono risolvere in parte il problema, ma il loro costo risulta ancora elevato. Come descritto nel paragrafo precedente, inoltre, se si utilizzassero pannelli di Aerogel, meno proibitivi di quelli sottovuoto, sarebbero comunque necessari 6 cm di isolante, che sommati a 1,5 cm di rasatura e finitura, generano un ispessimento della parete di 7,5 cm. Tale valore è sì più ridotto della soluzione con cappotto tradizionale, ma non è neanche così basso.

La soluzione migliore risulta essere proprio quella con i pannelli sottovuoto che però, oltre ad essere molto costosi, richiedono anche la realizzazione di una sottostruttura metallica e il rivestimento in lastre di fibrocemento, che generano un incremento ulteriore del prezzo di realizzazione.

6.2 Soluzione 2: La demolizione parziale



Dall'interno all'esterno:

1. Intonaco di gesso – sp. 2 cm
2. Laterizio forato – sp. 12 cm
3. Intercapedine d'aria – sp. 14 cm
4. Malta adesiva – sp. 1 cm
5. Isolante Stiferite – sp. 8 cm
6. Orditura metallica – sp. 5 cm
7. Pannello metallico coibentato – sp. 2,5 cm

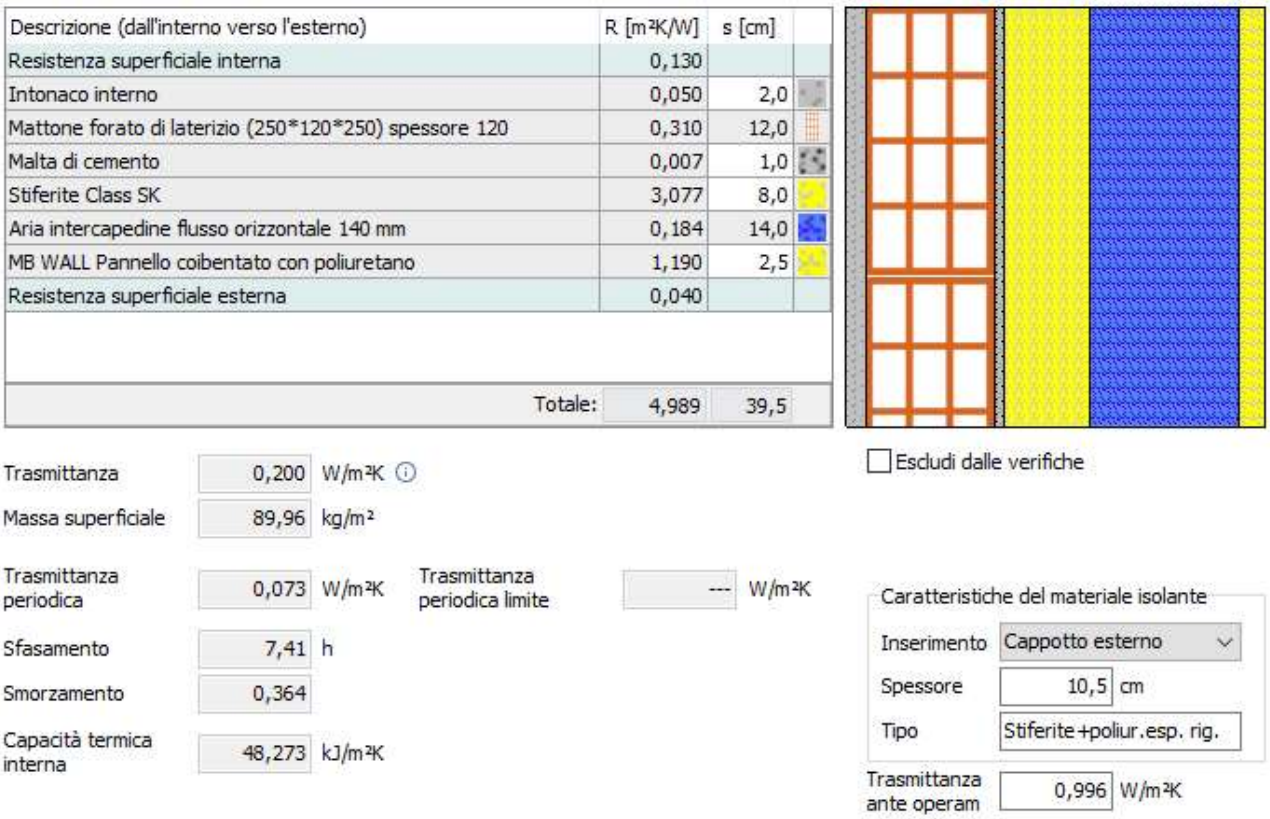
7.2.1 L'involucro

Si propone di demolire la muratura esterna della cassa vuota, ovvero il laterizio forato da 12 cm insieme ai 2 cm di intonaco esterno. In questo modo, lo spazio degli elementi rimossi e lo spessore dell'intera intercapedine possono essere utilizzati per coibentare e riqualificare l'involucro.

Il primo strato isolante, costituito da schiuma in poliuretano espanso rigido (*Allegato 1*) e spesso 8 cm, viene realizzato a ridosso del lato esterno della muratura interna rimasta, avvolgendo le pareti esattamente come se fosse un cappotto. Si realizza, inoltre, un ulteriore strato isolante di 2,5 cm, che ricopre l'intera facciata, attraverso pannelli in schiuma poliuretanica con rivestimento in lamiera metallica (*Allegato 4*), fissati a montanti verticali in lamiera d'acciaio posti a filo con il bordo esterno del solaio. Questa ulteriore coibentazione permette di eliminare anche i ponti termici dei solai, mentre non risolve quelli dei balconi a sbalzo, che vengono infatti demoliti e ricostruiti con una soluzione indipendente e ancorata alla facciata tramite tiranti e piastre metalliche solo in specifici punti, non continui, riducendo sensibilmente la lunghezza del ponte termico.

La demolizione del corso esterno della muratura causa anche la perdita della porzione di parete che sorregge l'infisso. L'intero sistema parete-infisso viene ricostruito, realizzando nuovi supporti in pannelli truciolari bilaminati, ancorati ai solai e alla parete esistente, che sorreggono la struttura delle nuove finestre e porte finestre. Anche in questo caso, lo strato isolante riveste i pannelli di legno con tecnica a cappotto esterno, in continuità con la coibentazione della parete in muratura.

Con questa soluzione si ottengono i seguenti valori dei parametri caratteristici:



Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
Intonaco interno	0,050	2,0
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,310	12,0
Malta di cemento	0,007	1,0
Stiferite Class SK	3,077	8,0
Aria intercapedine flusso orizzontale 140 mm	0,184	14,0
MB WALL Pannello coibentato con poliuretano	1,190	2,5
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	4,989	39,5

Figura 57: Parametri termici chiusura verticale soluzione 2
(Figura estrapolata dal software Namirial)

I valori delle trasmittanze, ovviamente, rientrano nei limiti di legge previsti dalla UNI EN ISO 6946. La massa superficiale invece si riduce di oltre la metà rispetto al valore di 172,22 kg/m2 della parete non isolata, ma avendo eliminato un corso di muratura rimpiazzandola solo con del materiale isolante non ci si aspettava un risultato diverso. Lo smorzamento e la trasmittanza termica periodica si riducono sensibilmente, riducendo gli apporti di calore estivi. La capacità interna e lo sfasamento rimangono pressochè invariati, ma sono più che soddisfacenti. In questo caso il ritardo temporale di 7,41 ore sfasa il flusso di calore delle ore più calde (es. ore 15) oltre le 22.30, nel momento della giornata in cui le temperature esterne scendono e gli ambienti interni

possono usufruire del free cooling semplicemente aprendo le finestre. È un valore ottimale per il comfort degli occupanti.

Anche la parete sottofinestra, realizzata con la nuova struttura lignea, è isolata con 8 cm di materiale che permettono di limitare le dispersioni, che in questo elemento più debole della parete, aumentano a causa delle ridotte massa e inerzia termica.

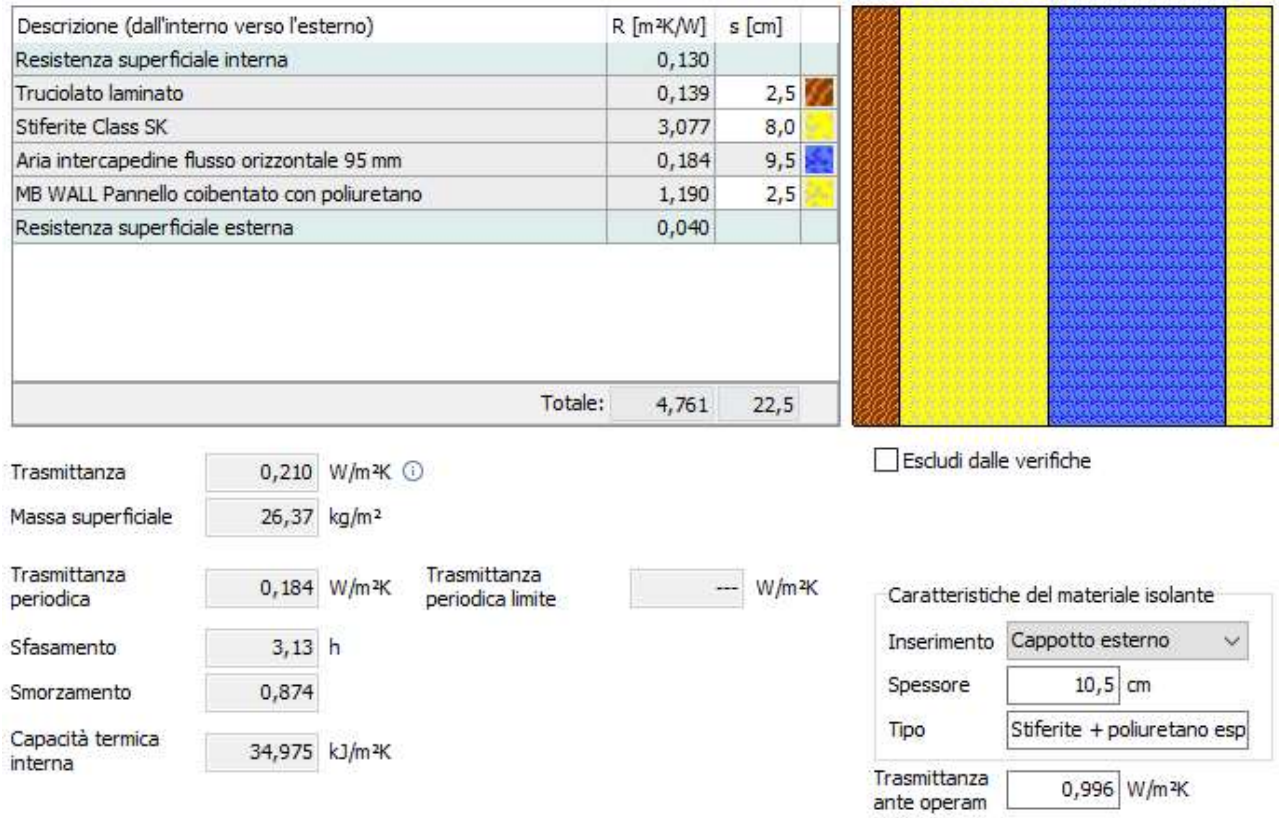
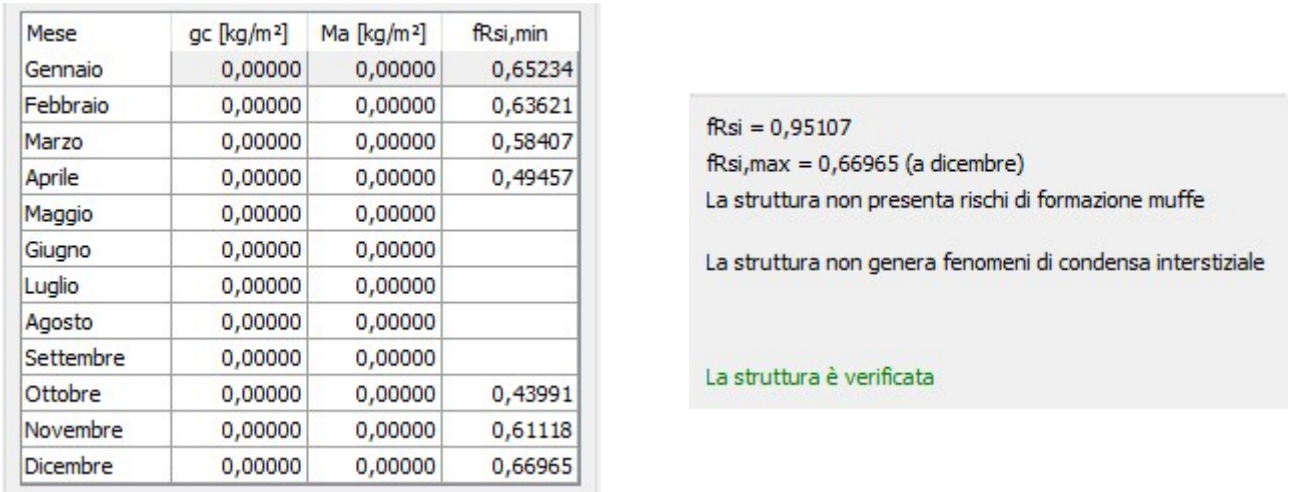


Figura 58: Parametri termici chiusura verticale sottofinestra soluzione 2
(Figura estrapolata dal software Namirial)

La verifica della condensa della parete è soddisfatta.



Mese	gc [kg/m²]	Ma [kg/m²]	fRsi,min
Gennaio	0,00000	0,00000	0,65234
Febbraio	0,00000	0,00000	0,63621
Marzo	0,00000	0,00000	0,58407
Aprile	0,00000	0,00000	0,49457
Maggio	0,00000	0,00000	
Giugno	0,00000	0,00000	
Luglio	0,00000	0,00000	
Agosto	0,00000	0,00000	
Settembre	0,00000	0,00000	
Ottobre	0,00000	0,00000	0,43991
Novembre	0,00000	0,00000	0,61118
Dicembre	0,00000	0,00000	0,66965

fRsi = 0,95107
fRsi,max = 0,66965 (a dicembre)
La struttura non presenta rischi di formazione muffe

La struttura non genera fenomeni di condensa interstiziale

La struttura è verificata

Figura 59: Verifica termoigrometrica della parete sottofinestra
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Anche in questo caso, coibentando l'involucro, i ponti termici risultano sensibilmente ridotti e la temperatura interna si mantiene pressochè costante fino allo strato isolante.

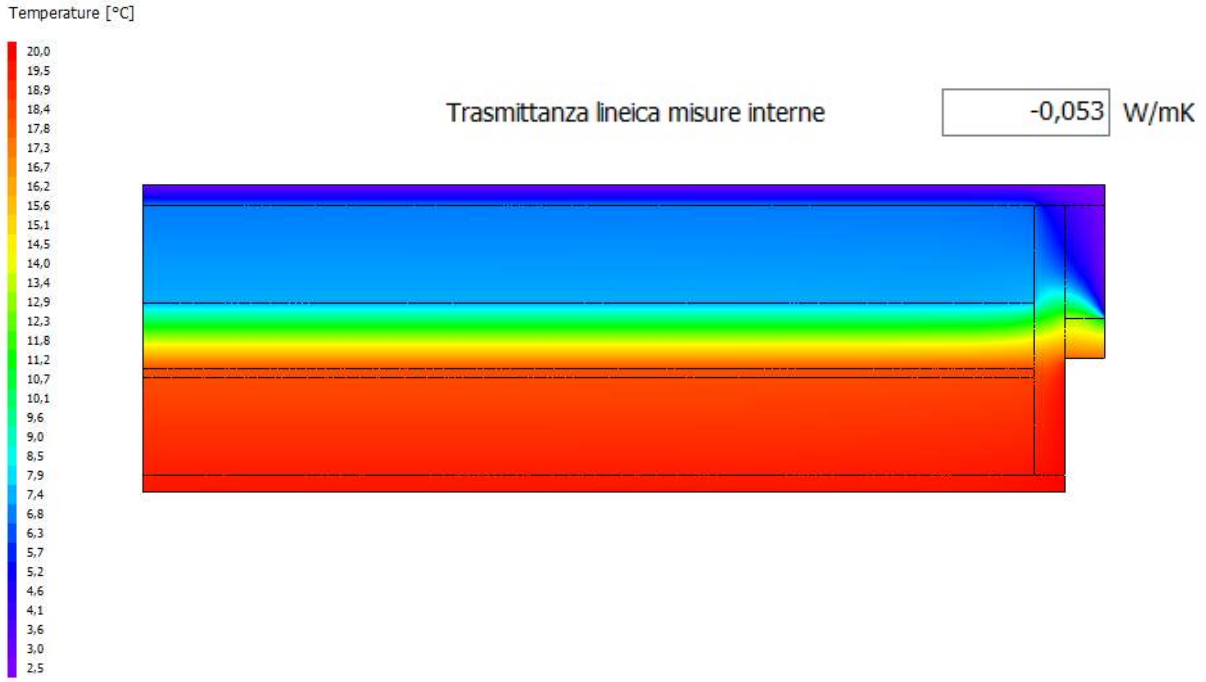


Figura 61: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico infisso-parete
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

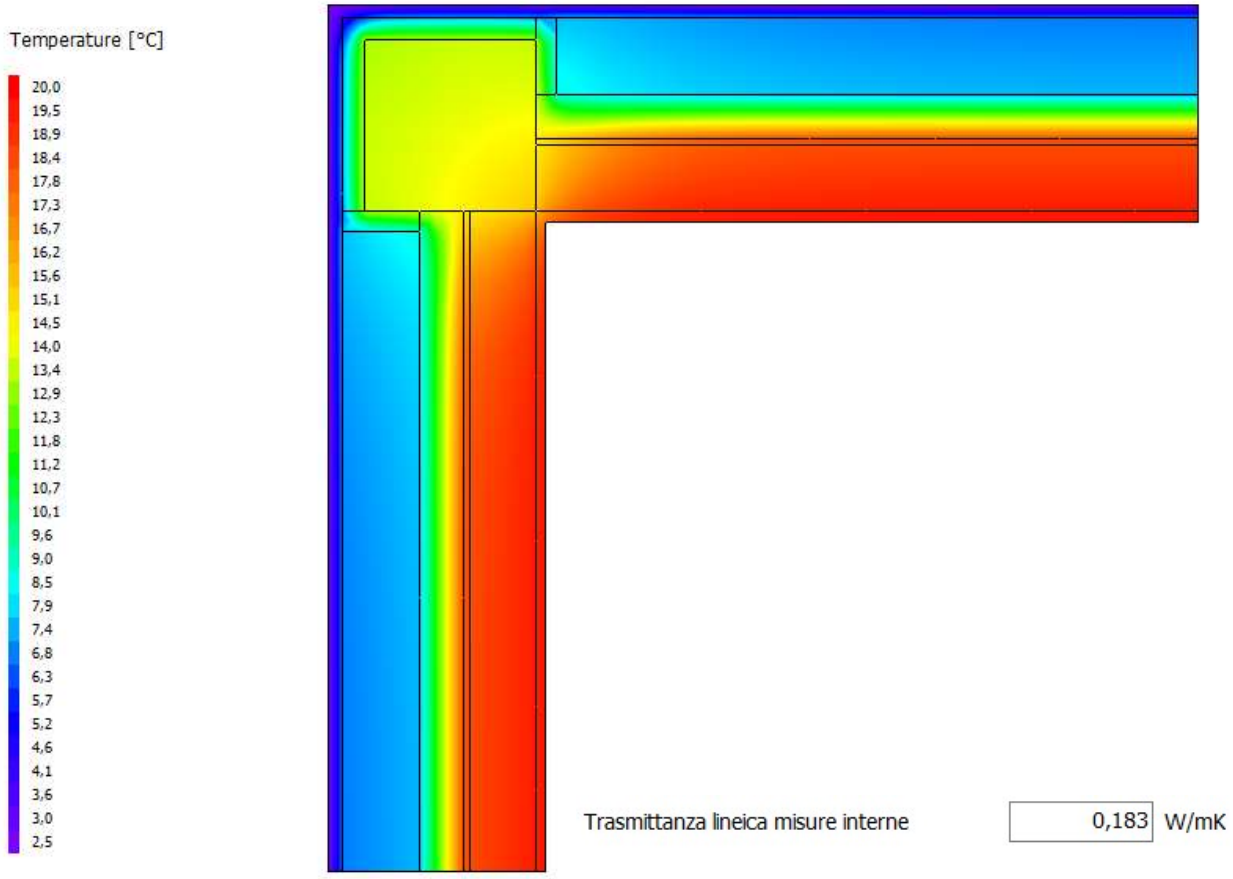


Figura 60: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico all'angolo tra le due pareti, con pilastro
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

7.2.2 Gli impianti

La soluzione appena presentata propone di demolire il corso esterno della muratura esistente e quindi è necessario smontare il radiatore esistente. Anziché rimontarlo, si sceglie di sostituirlo inserendo un'altra tipologia di terminale impiantistico: il ventilconvettore a due tubi, che può funzionare d'inverno per il riscaldamento, ma anche d'estate per il raffrescamento, garantendo il comfort termico degli occupanti in tutte le stagioni.



Figura 62: Ventilconvettore ad incasso con pannello frontale ad effetto radiante *(www.rielloclima.it)*

Tale scelta è innovativa nei sistemi condominiali in quanto nella maggior parte dei casi la climatizzazione estiva non è centralizzata e spetta agli abitanti dei singoli appartamenti provvedere all'installazione di impianti di raffrescamento individuali.

Il terminale è fornito all'interno di una cassaforma metallica ed è ad incasso, pertanto non occupa spazio aggiuntivo nella parete. Climatizza l'ambiente non solo tramite l'effetto convettivo e ventilante, ma anche grazie all'effetto radiante del pannello anteriore e, inoltre, le alette di espulsione dell'aria sono regolabili di 160° dal basso verso l'alto così da garantire sempre un comfort ottimale nel locale.

Al contrario della soluzione a cappotto, in questo caso si sceglie di intervenire anche sul sistema di distribuzione, che sarà di tipo orizzontale e non più a montanti verticali. Nel sistema classico di riscaldamento, come descritto al *Paragrafo 1.2*, ogni appartamento era servito da più colonne, una in corrispondenza di ogni radiatore, che correvano nell'intercapedine della muratura a cassa vuota. Con la distribuzione orizzontale, invece, la verticale sarà solo una e la tubazione dell'appartamento circolerà nella nuova intercapedine, passando sopra i pannelli isolanti posti sul solaio, all'interno del massetto del pavimento in corrispondenza delle aperture delle porte-finestre e, sempre sul lato esterno, attorno ai pilastri. Questi ultimi sono rivestiti da isolante come il resto della muratura, ma non vi è un'intercapedine d'aria; pertanto, sarà inserito un profilo scatolato 50x120 mm in PVC a ridosso del pilastro per il passaggio dei tubi della climatizzazione e il pannello isolante sarà opportunamente sagomato per potersi adattare alla presenza del componente.



Figura 63: Profilo scatolato per il passaggio dei tubi dell'impianto di riscaldamento *(www.climacal.it)*

Come descritto al *Paragrafo 4.1*, anche con l'utilizzo dei ventilconvettori sarà necessario inserire il sistema di termoregolazione primario (valvola motorizzata generale) e il contabilizzatore all'ingresso della mandata nell'appartamento, ma dovranno anche essere alloggiati i dispositivi per il controllo della temperatura nei singoli ambienti e per l'equilibrio delle perdite di carico. Su ogni terminale sarà installata un'elettrovalvola, che comunica con il termostato del ventilconvettore che misura la temperatura dell'aria ambiente; quando questa è inferiore al valore richiesto, l'elettrovalvola regola la portata dell'acqua e agisce sulla velocità del ventilconvettore, che sarà massima quando il differenziale energetico è alto. Se l'aria ambiente soddisfa già le temperature richieste, l'elettrovalvola può anche chiudere l'ingresso dell'acqua nel terminale. In ogni caso l'utente può effettuare una regolazione della temperatura e della velocità del ventilconvettore attraverso le manopole presenti su di esso, ma sarà comunque sempre secondaria alle scelte impostate con il cronotermostato sulla valvola motorizzata generale dell'appartamento.

Le valvole di preregolazione sono invece installate per regolare l'equilibrio delle portate dei ventilconvettori causato dalle perdite di carico.

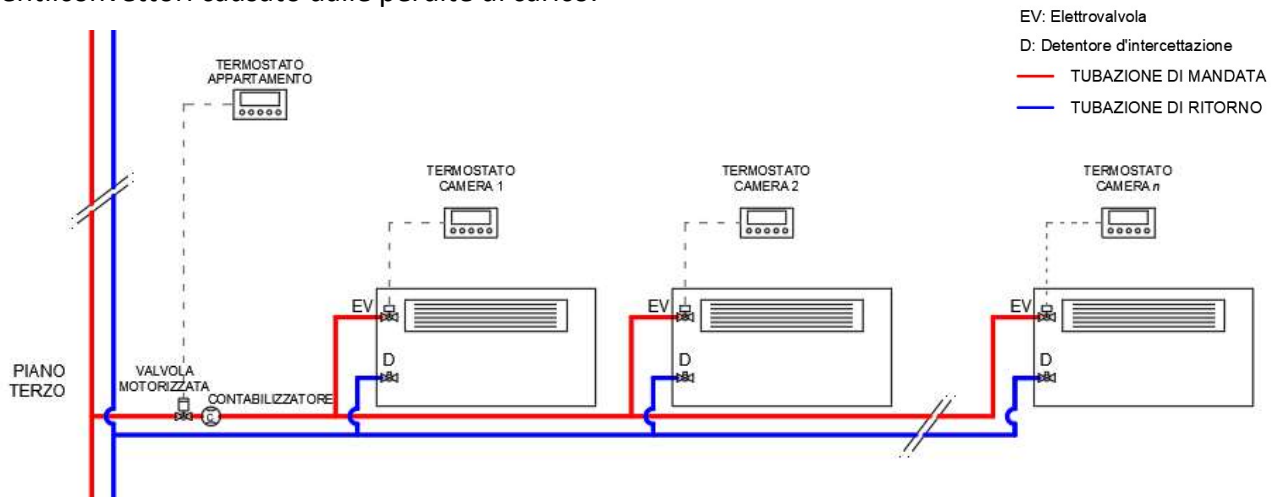


Figura 64: Schema distribuzione orizzontale dell'impianto dell'appartamento *(Figura realizzata con Autodesk Autocad)*

Grazie all'intervento sull'involucro, il fabbisogno di potenza termica per riscaldare la stanza in inverno risulta pari a 468 W, riducendosi del 64,8% rispetto alla camera non isolata.

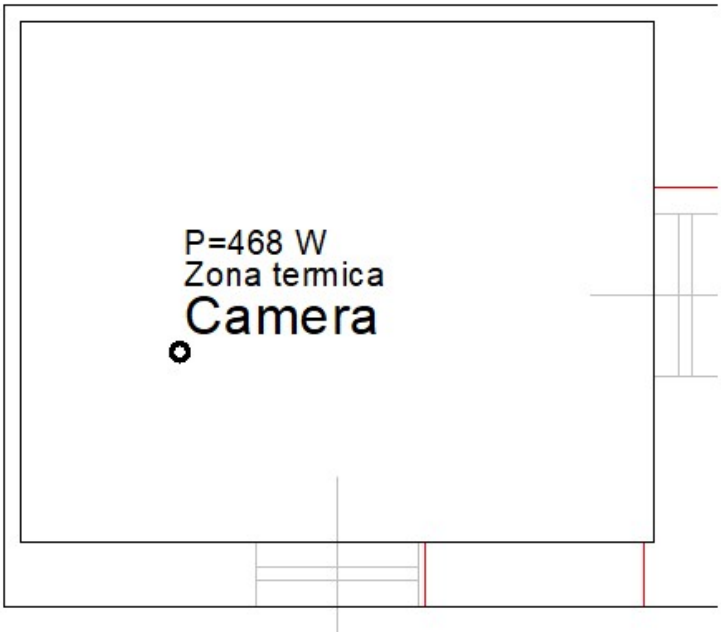


Figura 65: Fabbisogno di potenza termica invernale
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Il carico totale estivo da coprire con l'impianto di raffrescamento risulta invece essere pari a 333 W, così suddivisi:

INFORMAZIONI TECNICHE	
Variazione Temp Int consentita [°C]	0
Carico Totale [W]	333
Carico Sensibile Totale [W]	197
Carico Latente Totale [W]	137

Figura 66: Carichi estivi latenti e sensibili camera
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Per la scelta del modello di ventilconvettore adatto al riscaldamento invernale e al raffrescamento estivo, si ricerca quello capace di soddisfare i fabbisogni operando alla minima velocità. Poiché i carichi non sono elevati, si sceglie il ventilconvettore ad incasso della linea MIDI dell'azienda *Aernova*, modello 1, che alla velocità minima garantisce 470 W di potenza frigorifera, con temperatura di mandata di 7 °C, e 610 W di potenza termica, con temperatura di mandata a 50°C.
Le specifiche del terminale sono riportate nella scheda tecnica allegata (*Allegato 7*), mentre i principali valori utili alla scheda sono presenti in *Figura 68*.

SERIE - *SERIES*			MINI		
Modelli / *Models*			1	2	3
Potenzialità Termica (2) *Heating capacity (2)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	1530 1320	2480 2135	3430 2950
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	990 850	1610 1390	2540 2185
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	610 525	1030 890	1580 1360
Potenzialità frigorifera nominale (calore totale) (3) *Nominal cooling capacity (total heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	800 690	1320 1135	2190 1885
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	630 545	870 750	1660 1430
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	470 405	660 570	960 830

(2) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 50° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 50° C, hot water rise 5° C.

(3) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 27° C, 50% U.R.; temperatura acqua entrante 7° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 27° C, 50% R.H.; entering water temperature 7° C., hot water rise 5° C.

Figura 67: Caratteristiche del ventilconvettore modello 1 serie MINI dell'azienda Aernova
(Figura estrapolata dalla scheda tecnica del terminale)

7.2.3 La realizzazione

La soluzione prevede la demolizione di alcune parti dell'involucro pertanto, all'avvio del cantiere, è opportuno installare all'interno di ogni abitazione una parete provvisoria parallela a tutte le chiusure verticali oggetto d'intervento, ad una distanza di almeno 1 m, per proteggere gli occupanti e l'arredo dall'ingresso di eventuali frammenti di materiale rimosso e per preservare la privacy degli ambienti interni. Contemporaneamente a questa realizzazione, viene allestito il ponteggio attorno all'edificio.

Realizzazione di parete provvisoria interna a protezione dei locali

La nuova parete provvisoria interna è costituita da pannelli autoportanti in fibra di vetro resistenti all'umidità e agli urti, legati al loro interno da uno scheletro ignifugo in ABS e caratterizzati dalla presenza di fori quadrati 4,72x4,72 cm, che possono essere utilizzati per il passaggio di cavi o strisce luminose a LED. Le dimensioni dei pannelli sono determinate dall'altezza e dalla larghezza totale che si raggiungono, ma in ogni caso non superano i 130x130 cm. Sono forniti specifici accessori che consentono l'impilamento e la congiunzione dei pannelli, oltre ad offrire la possibilità di inserire finestre e porte a soffietto.

Per assemblare la parete occorre iniziare posizionando il connettore di bloccaggio tra pannelli, a due vie, sotto la prima fila che si vuole realizzare. A questo punto, si inclina il primo pannello e si fa scorrere il connettore sotto di esso fino a che non scatta nella giusta posizione. Si ripete la stessa operazione di incastro al medesimo connettore anche con il pannello adiacente. Al termine di questa prima giunzione, si uniscono i due pannelli superiormente, sempre con un connettore di blocco (*Figura 69* a dx).



Figura 68: Inserimento del primo pannello nel connettore a due vie a sx e del giunto di bloccaggio tra due pannelli a dx *(www.everblocksystems.it)*



Figura 69: Aggiunta di una *colonna* anti-ribaltamento tra due pannelli mediante connettore a 3 vie *(www.everblocksystems.it)*

Si prosegue così per tutta la prima fila; in caso di variazioni di direzioni basterà ruotare il pannello di 90°. Per conferire maggiore stabilità alla parete, almeno ogni 2-3 pannelli occorre inserire, perpendicolarmente all'orditura, l'elemento *colonna*, tramite connettore a 3 vie (*Figura 70*). Questo presenta le stesse caratteristiche dei pannelli, ma ha dimensione ridotta e la sua presenza evita che la struttura si ribalti, rendendola autoportante.

Si prosegue con la seconda fila di pannelli. Per poterli impilare è necessario installare specifiche *alette del connettore* sulla parte superiore dei pannelli già posizionati, almeno ogni 2-3 fori. Successivamente si posizionano i pannelli della seconda fila incastrandoli alle alette, unendoli superiormente con i connettori di bloccaggio come eseguito con il primo corso e inserendo gli elementi colonna per proseguire quelli creati al livello inferiore. Proseguendo in questo modo si realizzano le intere pareti.



Figura 70: Installazione delle *alette* per l'impilamento dei pannelli *(www.everblocksystems.it)*



Figura 71: Inserimento inserto in policarbonato negli appositi *cappucci di montaggio*
(www.everblocksystems.it)

Per realizzare un inserto finestrato, è sufficiente utilizzare i *cappucci di montaggio*, da inserire sempre ogni 2-3 fori. La lastra trasparente in policarbonato sarà alloggiata all'interno dei dispositivi e fissata con vite predisposta al loro interno.

Per inserire una porta, invece, occorre disporre l'elemento *architrave* sui due pannelli confinanti con il vano dell'apertura, attraverso le *alette dei connettori* e successivamente alloggiare i binari sotto l'architrave e la porta a soffietto, assicurandola lateralmente mediante clip di bloccaggio e viti in dotazione.



Figura 72: Installazione dell'architrave e della porta a soffietto
(www.everblocksystems.it)

Al termine dell'impilamento i fori rimasti liberi e/o a vista possono essere chiusi attraverso tappi di finitura, semplicemente incastrandoli al loro interno.

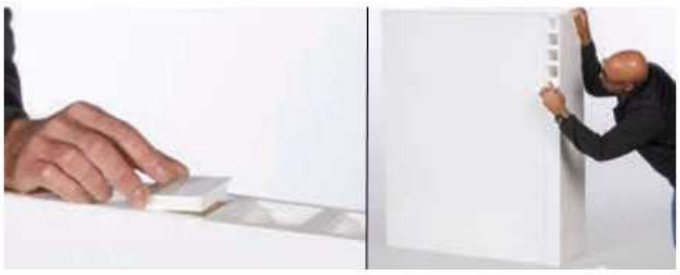


Figura 73: Posizionamento dei tappi di finitura nei fori a vista
(www.everblocksystems.it)

Demolizione dei balconi in calcestruzzo armato

Come già spiegato nel *Paragrafo 6.1* relativo alla *soluzione 1*, i balconi dei condomini degli anni '60 venivano realizzati in calcestruzzo armato, in continuità con i ferri di armatura del solaio. La presenza genera un ponte termico per tutta la loro lunghezza, pertanto si sceglie di demolirli e di ricostruirli con struttura indipendente da quella del solaio, ma ancorata alla testa di quest'ultimo.

Per evitare che le operazioni di demolizione possano creare danni alla facciata a causa di vibrazioni dovute all'utilizzo di attrezzi tradizionali a percussione come i martelli demolitori, si sceglie di effettuare una demolizione controllata, attraverso seghe da parete a disco diamantato. Questo metodo permette anche di limitare quasi completamente la formazione di polveri, di ridurre la rumorosità prolungata e di ottenere maggiore precisione nel taglio.

Per prima cosa, affinché i balconi rimangano in posizione durante le operazioni, occorre sostenerli dal basso attraverso puntelli telescopici con testa a croce, 2 ogni metro lineare di soletta, che consentono una base d'appoggio più larga (50 cm a puntello) rispetto a quelli tradizionali a piastra piana (12 cm a puntello). Successivamente si fissa meccanicamente il profilo guida su cui scorre il dispositivo che aziona il disco diamantato e si effettuano i collegamenti idraulici necessari all'operazione. Tramite comando a distanza si aziona la macchina che effettua il taglio. Può raggiungere una profondità massima di 1 m, pertanto si demolirà il balcone a blocchi, eseguendo un taglio di 1 m a filo muro e un altro in senso trasversale per ognuno di essi. Se la profondità della soletta è maggiore di 1 m, si eseguirà un secondo taglio in quella direzione.



Figura 74: Sega da parete a disco diamantato e profilo guida. *(www.balliutagli.it)*

I singoli blocchi vengono successivamente rimossi dalla sede tramite braccio semovente e correttamente demoliti nei centri di raccolta; i puntelli possono ora essere tolti.

L'area della parete in cui è stato rimosso il balcone verrà ripristinata con malta cementizia così da non presentare disgiunzioni con il resto della facciata.

Demolizione parziale della muratura a cassa vuota

Prima delle opere di demolizione del corso esterno della muratura a cassa vuota, si rimuovono i terminali impiantistici, con le tubazioni da sostituire, e gli infissi, comprensivi di telaio, controtelaio, cassonetti, davanzali e stipiti. Questa prima operazione è fondamentale per suddividere e smaltire correttamente i differenti materiali che caratterizzano l'involucro.

Si prosegue con la demolizione della muratura esterna. Poiché il corso interno di mattoni è posto ad una distanza di soli 11 cm dalla parete da rimuovere, occorre prestare estrema attenzione a questa fase per evitare che vibrazioni, urti involontari o calcinacci possano danneggiarlo. Per questo motivo, anche in questo caso, si sceglie di eseguire una demolizione di tipo controllato, mediante troncatrici manuali a disco diamantato, utilizzabili dal singolo operaio senza necessità di binari per lo scorrimento automatico come quelli adoperati per il taglio dei balconi. Con questa metodologia sarà inoltre più facile trasportare le macerie perché si mantengono più compatte.



Figura 75: Troncatrice manuale a disco diamantato per il taglio netto della muratura *(www.rurmec.it)*

Se la parete presenta un'apertura per l'infisso, si comincia col rimuovere l'eventuale muro sottofinestra e successivamente la spalletta in laterizio forato che unisce trasversalmente i due corsi della muratura, tracciando un taglio netto e preciso di separazione a partire dalla parte più in alto (*Figura 77*).

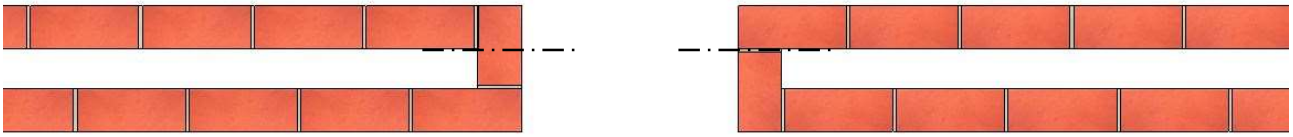


Figura 76: Taglio della muratura con apertura per infisso, in corrispondenza del laterizio posto trasversalmente *(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)*

In caso contrario, se la muratura non ha fori, si esegue l'incisione iniziando dall'angolo superiore sinistro o destro, in corrispondenza dell'incontro con il pilastro, proseguendo per strisce orizzontali e realizzando tagli netti di porzioni di parete (*Figura 78*) di dimensioni variabili a seconda di quelle più adatte alla movimentazione successiva per il trasporto al cassone delle macerie.

Per facilitare la rimozione del primo blocco di muratura sezionato, è necessario creare un piccolo varco con scalpello e mazzetta manuali prima del taglio, così da poter direzionare la caduta degli elementi sempre verso l'esterno dell'edificio e non verso il corso interno di laterizi.

Si procederà analogamente per la rimozione della muratura sottile forata che riveste i pilastri, utilizzando anche i mezzi manuali dove possibile.

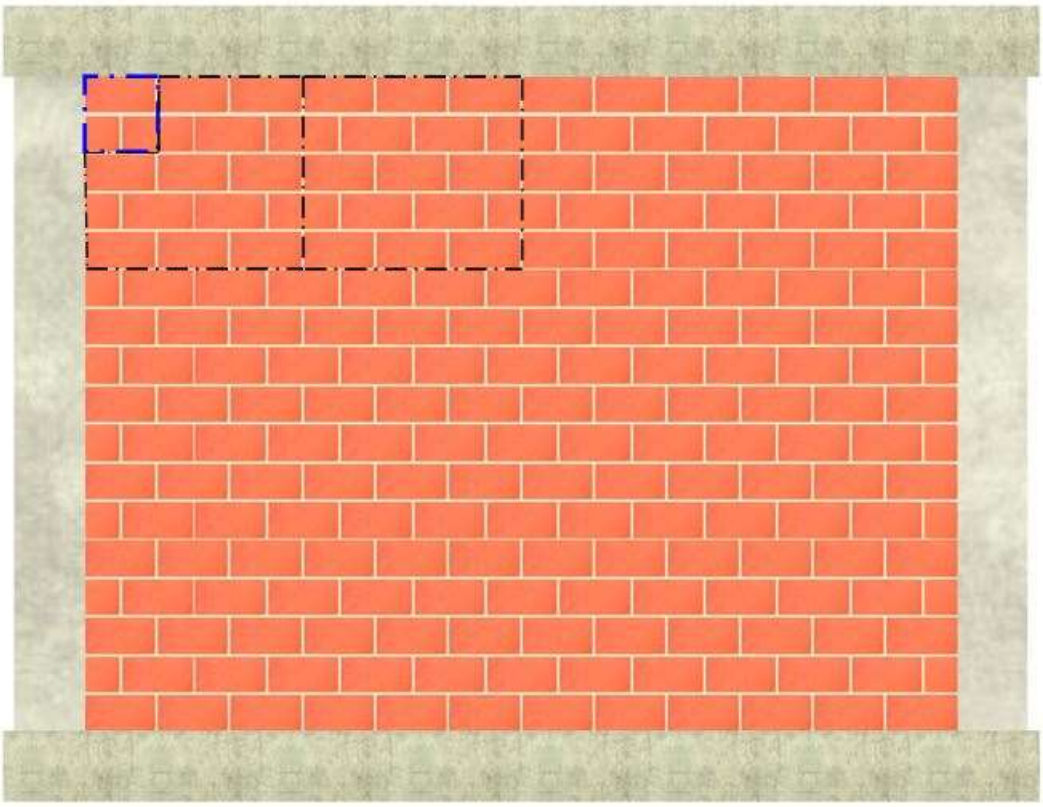


Figura 77: Prima demolizione (in blu) con mezzi manuali, seguita da tagli netti (in nero) con troncatrice manuale a disco diamantato, proseguendo per file orizzontali
(Vista prospettica realizzata con Autodesk Revit)

Installazione del telaio in profili metallici per la facciata coibentata

I pannelli in lamiera metallica coibentata che rivestono la facciata sono sorretti da una sottostruttura in acciaio anticorrosione costituita da profili guida metallici orizzontali a U, rivestiti da guaina isolante adesiva in polietilene espanso che garantisce la tenuta all'aria, alla polvere e ai rumori provenienti dall'esterno.

I profili vengono fissati ogni 30 cm all'intradosso e all'estradosso del solaio tramite tasselli per calcestruzzo, e da montanti verticali posti ad interasse variabile a seconda della larghezza del pannello, ma si consiglia circa 60 cm.

I montanti sono collegati ai profili orizzontali tramite viti autofilettanti e squadrette angolari (*Figura 79*), per conferire maggiore rigidezza e stabilità alla struttura.

In prossimità del pilastro i profili possono essere ulteriormente ancorati attraverso l'utilizzo di piastre angolari e tasselli specifici.



Figura 78: Squadretta angolare per la connessione del montante con il profilo orizzontale a sx e piastra angolare per la connessione tra pilastro e montante a dx
(www.milper.it)

In corrispondenza delle aperture per le finestre, il montante non raggiungerà il soffitto superiore, ma si fermerà sotto il davanzale, dove sarà posizionato un traverso orizzontale di chiusura, di larghezza pari a quella dell'infisso (*Figura 80*).

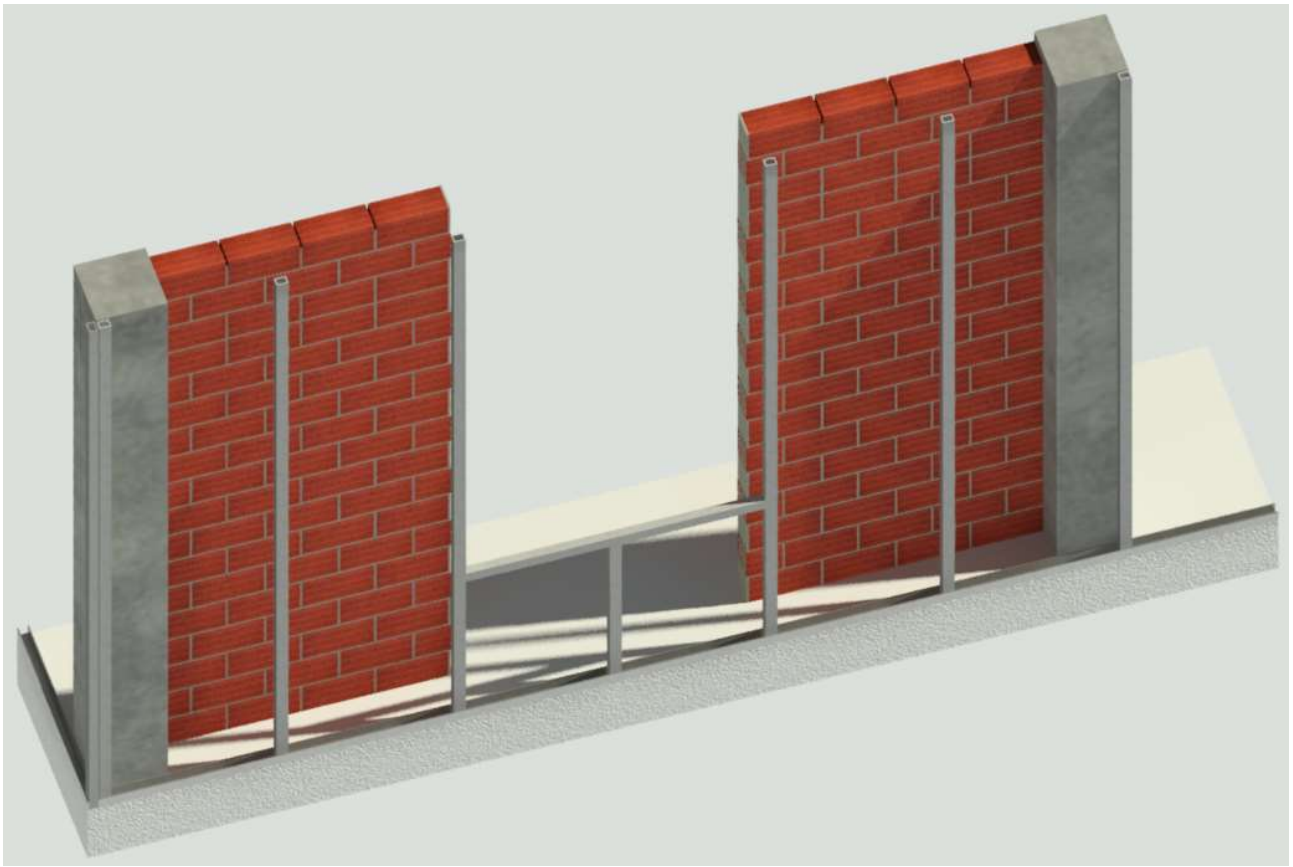


Figura 79: Realizzazione orditura metallica di facciata con traverso orizzontale per il vano infisso
(Figura realizzata tramite Autodesk Revit)

Creazione della struttura lignea sottofinestra e di parete nelle aperture per gli infissi

Con la demolizione della muratura esterna della cassa vuota, sono state rimosse anche la parete sottofinestra e la spalletta in laterizio forato a cui erano ancorati gli infissi; pertanto, occorre ricostruire tali elementi. Per farlo si sceglie di utilizzare pannelli in legno truciolare bilaminato dello spessore di 2,5 cm, di altezza pari a 3 m (altezza netta del piano) per gli elementi della spalletta e pari a 0,85 m per il sottofinestra. Sarà inoltre installato un pannello in orizzontale, a copertura della nicchia del ventilconvettore.

Si comincia con l'installazione del primo pannello di altezza 3 m e larghezza 0,35 m, spessore 2,5 cm, che viene fissato all'estradosso del solaio di pavimento e all'intradosso del solaio del soffitto attraverso piastre angolari (*Figura 81*) e specifici tasselli. Lo stesso collegamento avviene anche con i montanti metallici. In prossimità del profilo a U ancorato all'estradosso del solaio, il pannello sarà privato di un quadrato 5x5 cm per compenetrare e incastrarsi adeguatamente con l'elemento metallico.

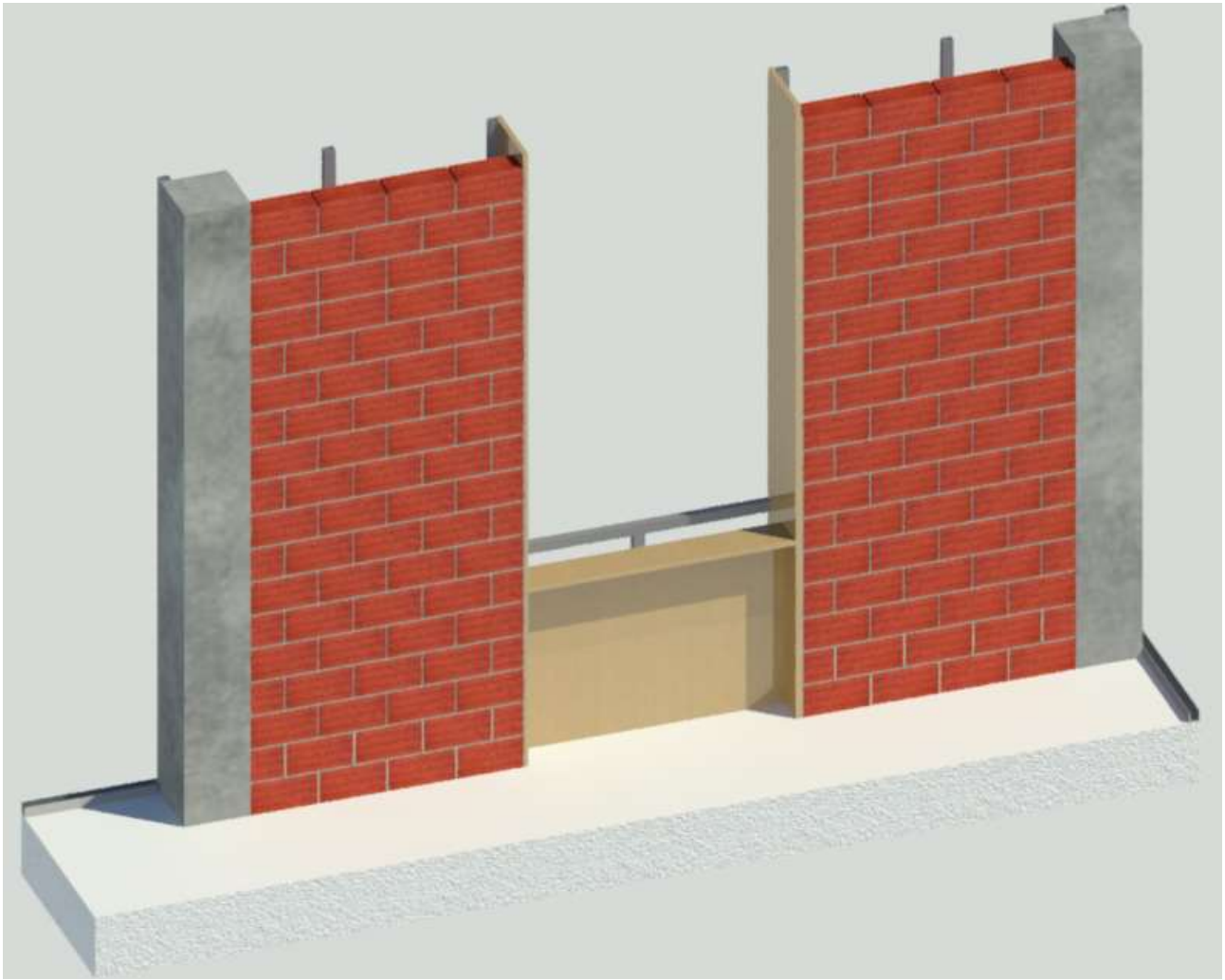


Figura 80: Vista dall'interno dell'abitazione della struttura lignea sottofinestra
(Figura realizzata con Autodesk Revit)

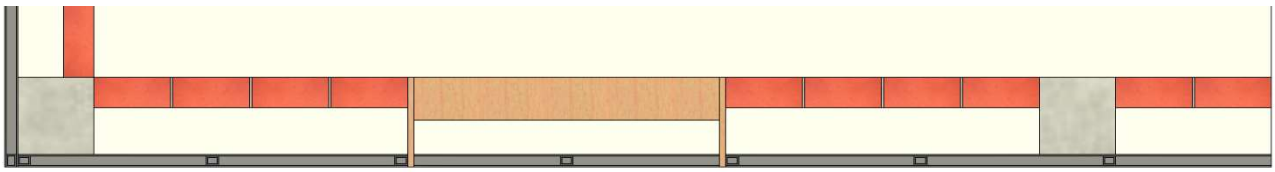


Figura 81: Realizzazione della struttura lignea sottofinestra e di parete
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Coibentazione della parete e delle strutture orizzontali

Si fissa l'isolante in poliuretano espanso (sp. 8 cm) alla parete in laterizio forato, ai pannelli in legno e sui lati interni dei pilastri, attraverso malta autoadesiva e tasselli meccanici, eseguendo le stesse operazioni indicate per la *Soluzione 1*. Sulle facce del pilastro rivolte all'esterno, lo spessore del coibente è ridotto a 4 cm e i pannelli vengono incastrati tra i montanti e i profili orizzontali, con sagomatura tramite taglierino per adattare la forma se necessario. È inoltre consigliabile inserire all'interno del montante, che è cavo, una colonna di materiale isolante, prima che il profilo venga installato, quindi nella fase *Installazione del telaio in profili metallici per la facciata coibentata*, ma viene riportato solo qui per coerenza con il tema trattato.

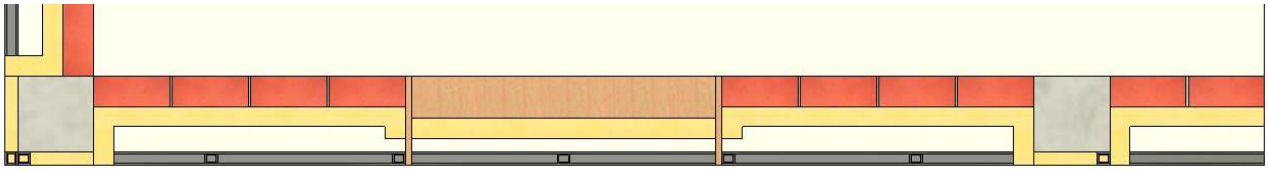


Figura 82: Coibentazione delle pareti e dei pilastri
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Con lo stesso processo si coibentano anche l'intradosso del solaio del soffitto, utilizzando puntelli per sostenere i pannelli durante il fissaggio, e l'estradosso del solaio del pavimento.
Su quest'ultimo strato di isolante si può posizionare un pannello di legno, tipologia OSB, spessore 2,5 cm, per facilitare le operazioni di posa delle tubazioni del condizionamento e lo sporadico accesso all'area da parte dei tecnici della manutenzione, ma non viene mostrato nell'immagine.

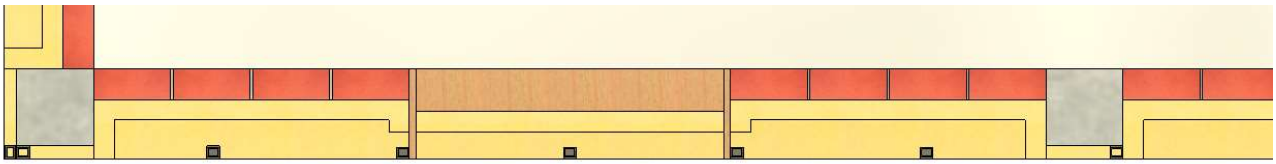


Figura 83: Coibentazione del pavimento
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Posa delle tubazioni dell'impianto di condizionamento

Dopo aver realizzato la coibentazione verticale e orizzontale, si procede con la posa delle tubazioni che alimentano i ventilconvettori dell'ambiente interno. Queste vengono raggruppate verticalmente in un apposito canale a sezione rettangolare in PVC, che correrà sopra i pannelli isolanti installati a pavimento, parallelamente ai traversi metallici. Nello spazio davanti alle facce esterne del pilastro le tubazioni passeranno attraverso lo strato isolante, già sagomato per poter integrare al suo interno il canale degli impianti, ancorato al pilastro.
In prossimità del terminale impiantistico, i tubi di mandata e ritorno presentano una derivazione che alimenterà il ventilconvettore passando attraverso i fori dell'isolante e del pannello di legno già realizzati durante le fasi di montaggio di questi elementi.

L'immagine seguente rappresenta qualitativamente il passaggio delle tubazioni dell'impianto. Per permettere la visualizzazione del percorso non sono stati rappresentati il pannello di legno orizzontale e la canalina in PVC, le dimensioni dei diametri delle tubazioni sono ridotte (nella realtà sono state inserite tubazioni con DN 26 mm) e si nota solo la mandata in quanto i due circuiti sono sovrapposti e la mandata è superiore.

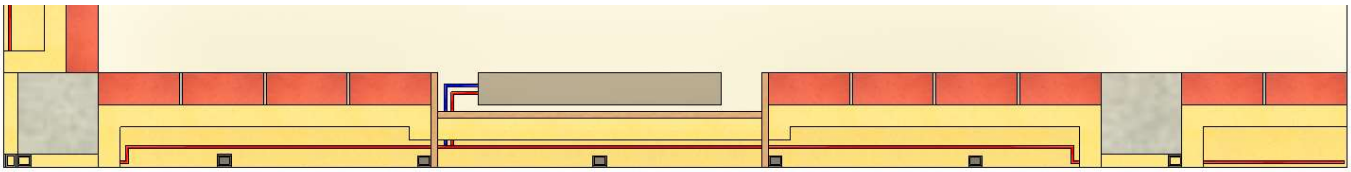


Figura 85: Posizionamento delle tubazioni dell'impianto con derivazione verso il convettore della camera
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

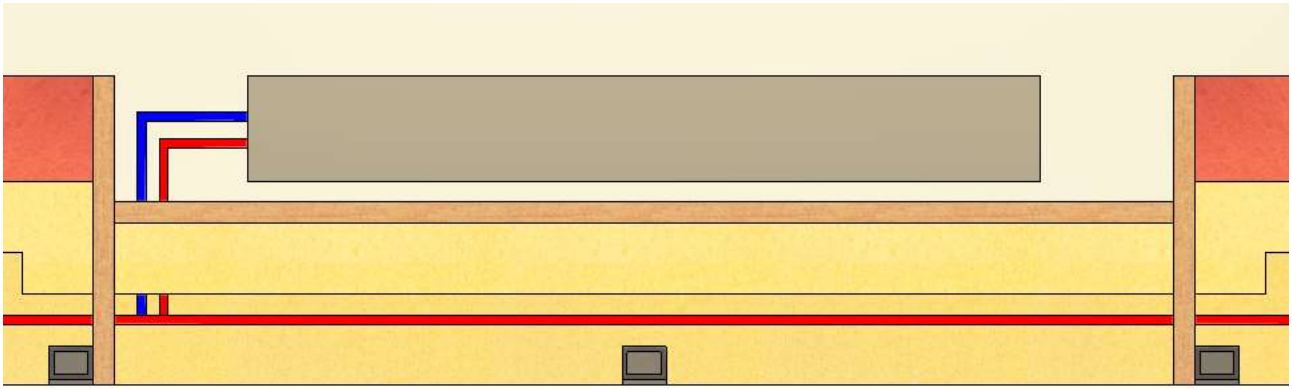


Figura 84: Ingrandimento sulla derivazione delle tubazioni verso il ventilconvettore
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Installazione dei nuovi balconi

Per ridurre i ponti termici causati dalla presenza dei balconi, si sceglie di realizzare una struttura autoportante, ancorata alla facciata tramite piastre in acciaio con tirafondi.

Essa verrà appositamente creata tramite un profilo in acciaio con sezione variabile a T, che si ridurrà progressivamente all'aumentare della profondità del balcone, così da risparmiare materiale e alleggerire il carico in facciata. Nell'ultimo tratto del profilo si realizza anche un foro in cui verrà agganciato il tirante proveniente dal balcone sottostante.

I tirafondi di ancoraggio alla facciata si inseriscono all'interno della trave armata del solaio e lavorano per attrito (*Figura 87*). Essi generano momento torcente causato dal peso dei materiali che devono sorreggere, ma questo ha un valore inferiore rispetto a quello esercitato dai ferri della soletta in calcestruzzo armato del balcone preesistente; non ci sono quindi problemi legati al nuovo componente.

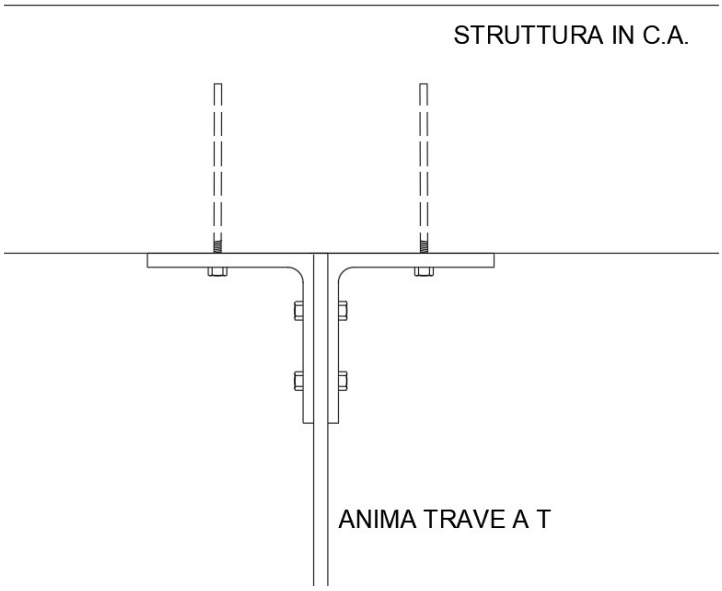


Figura 86: Schema qualitativo per chiarire le modalità di ancoraggio del profilo
(Figura realizzata con Autodesk Autocad)

Per limitare il peso del carico sui profili si sceglie un rivestimento in doghe di legno che sarà fissato alla struttura in acciaio sottostante mentre il parapetto del balcone potrà essere costituito da elementi metallici o anche in vetro, fissati ai profili e nella parte alta alla parete.



Figura 87: Esempio di balcone autoportante realizzato con profili a T variabile e doghe in legno
(www.balconizanon.com)

Nella figura a lato (*Figura 88*) è rappresentata una soluzione con caratteristiche comuni a quella che si vuole realizzare, come la sezione a T variabile, i fori e la scelta del materiale della pavimentazione.

Posa dei pannelli di facciata

Ciascun pannello è dotato di un lato maschio con nastro adesivo e di un lato femmina con guarnizione, per migliorare l'ermeticità del giunto e renderlo più resistente alle dilatazioni termiche.

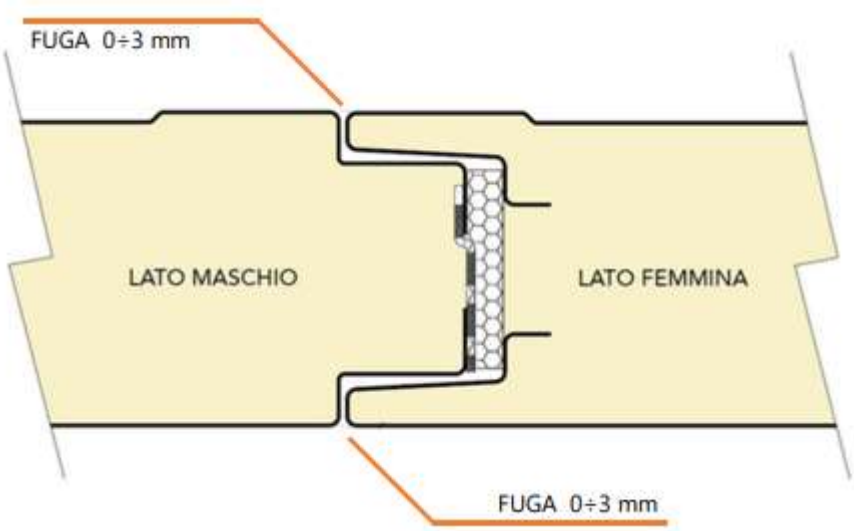


Figura 88: Dettaglio del giunto maschio-femmina tra due pannelli contigui *(www.marcegagliabuildtech.it)*

Dopo la posa della scossalina di base, per realizzare la parete si comincia dal basso installando il primo pannello con il lato maschio rivolto verso l'alto, così da impedire l'ingresso di acqua piovana e umidità dall'esterno. Si verifica la perfetta planarità del pannello e lo si fissa ai montanti sottostanti con viti autoperforanti con doppio filetto, di lunghezza minima pari a 45 mm e interasse di circa 50 cm.

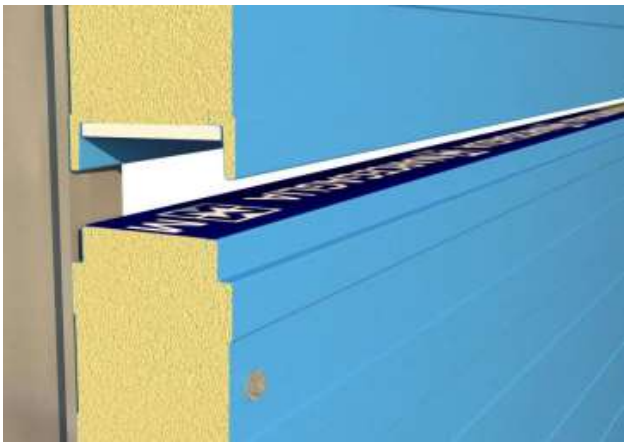
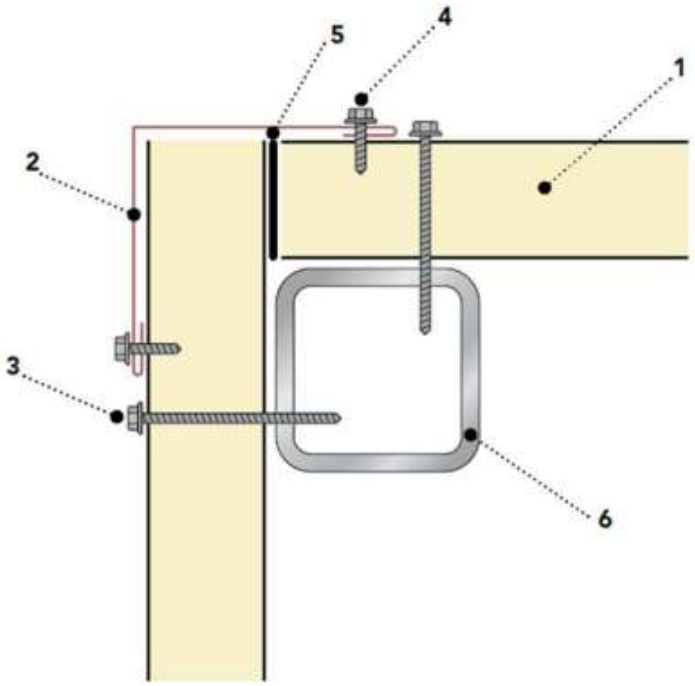


Figura 89: Incastro tra due pannelli contigui (www.marcegagliabuildtech.it)

Si prosegue con la posa del secondo pannello, incastrando il giunto femmina al lato maschio dell'elemento già fissato. Anche qui si effettuano la verifica della planarità e il fissaggio meccanico al montante tramite viti. Si costruirà così tutta la facciata, utilizzando schiuma poliuretanica in presenza di fessure tra pannelli contigui o di elementi di discontinuità.

Nelle zone d'angolo della facciata, di interfaccia con le aperture delle finestre e di raccordo tra primo/ultimo pannello e muro, si inseriscono specifici accessori forniti dalla casa produttrice dei pannelli, con apposite viti.



1. Pannello metallico coibentato
2. Scossalina d'angolo
3. Vite di fissaggio del pannello al montante
4. Vite di fissaggio della scossalina al pannello
5. Guarnizione flessibile in schiuma poliuretanica
6. Montante metallico

Figura 90: Dettaglio raccordo d'angolo tra pannelli (www.marcegagliabuildtech.it)

Si consiglia di scegliere sempre colorazioni chiare per la finitura superficiale dei pannelli, così da evitare eccessivi surriscaldamento e dilatazioni termiche dei supporti metallici.

In ogni caso, è opportuno valutare i valori finali di temperatura e di lunghezza che questi possono raggiungere.

Considerando i seguenti valori forniti dal produttore:

Colore	Temperatura superficiale [°C]	
	Minima	Massima
Molto chiaro	-20	+55
Chiaro	-20	+65
Scuro	-20	+80

Materiale	Coefficiente di dilatazione termica lineare [°C-1]
Acciaio	12,0 x 10-6
Acciaio Inox AISI 304	17,0 x 10-6
Alluminio	23,6 x 10-6

Figura91-2: Valori di temperatura superficiale e coefficienti di dilatazione termica lineare del supporto metallico *(www.marcegagliabuildtech.it)*

si può calcolare la dilatazione termica che il montante di acciaio subirebbe a seconda delle colorazioni del pannello.

Si considera una lunghezza l_0 = 1 m, pari all'altezza di ciascun pannello, per valutare se la dimensione finale raggiunta dal profilo è sopportata dal giunto maschio-femmina.

L'allungamento del montante è dato da:

$$\Delta L = \lambda \cdot l_0 \cdot \Delta T \qquad [m]$$

Nel caso dell'acciaio il coefficiente di dilatazione termica lineare λ è pari a 12,0 x 10^{-6}.

Per la variazione di temperatura si considera l'escursione massima a favore di sicurezza, anche se è inverosimile che si verifichi.

Si ottengono i seguenti allungamenti:

- Finitura pannello molto chiara:

$$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot [55 - (-20)] = 0{,}0009 \text{ m} \rightarrow 0{,}9 \text{ mm}$$

- Finitura pannello chiara:

$$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot [65 - (-20)] = 0{,}00102 \text{ m} \rightarrow 1{,}02 \text{ mm}$$

- Finitura pannello scura:

$$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot [80 - (-20)] = 0{,}0012 \text{ m} \rightarrow 1{,}2 \text{ mm}$$

Utilizzando montanti in acciaio, tutte e tre le tipologie di finitura generano una dilatazione termica compensabile dal giunto maschio-femmina tra pannelli, avente fuga pari a 3 mm, quindi la struttura risulta stabile anche in caso di surriscaldamento.

L'azienda fornisce numerosi rivestimenti con finiture speciali come quelle in finto legno, ma se si desidera raggiungere l'aspetto estetico dell'intonaco tipico degli edifici residenziali, si può sottoporre i pannelli ad un trattamento (*Polystone*) che prevede l'applicazione a spruzzo di una resina acrilica ad alta adesione, in emulsione acquosa, additivata con resine plastificanti ad elevata elasticità e additivi battericidi. La finitura che si ottiene può avere aspetto più o meno rugoso, infinite colorazioni come quando si sceglie l'intonaco tradizionale e garantisce una protezione antiossidante dei supporti metallici. Gli agenti plastificanti al suo interno, inoltre, permettono al materiale di resistere a torsioni e sbalzi termici.



Figura 92: Risultato del trattamento *Polystone* applicato ai pannelli metallici coibentati. *(www.poly-energy.it)*

Installazione dei nuovi infissi

L'ultima fase della realizzazione prevede l'installazione del sistema monoblocco e dell'infisso, la cui procedura è già stata descritta nella ***Soluzione 1***. In questo caso, però, il componente non poggerà più sulla muratura, ma sui diversi elementi che compongono la stratigrafia; in particolare, sulla nuova struttura lignea sottofinestra e sul profilo orizzontale metallico, oltre che sui due strati isolanti, interno ed esterno.

Al contrario della soluzione a cappotto, qui il fissaggio avviene solo tramite turbo viti che collegheranno i pannelli in OSB del sistema monoblocco ai pannelli in truciolato laminato della nuova parete, realizzati nelle fasi precedenti.

Infine, si posizionano i davanzali e si eseguono le opere di finitura delle spallette. Poiché la facciata è realizzata in pannelli bilamiera coibentati, è consigliabile installare a tale scopo profili in acciaio preverniciato forniti dal produttore appositamente per rivestire quel ruolo. Oltre ad essi, è sempre opportuno sigillare i giunti a vista tra elementi di facciata attraverso guaine a matrice elastica resistenti ai forti shock termici e agli agenti atmosferici.



Figura 93: Profilo davanzale in acciaio preverniciato *(www.davanzale.it)*

7.2.4 I materiali alternativi

In questa soluzione il materiale isolante utilizzato è il poliuretano espanso rigido, sia sottoforma di pannelli da applicare alla parete non demolita, con la tecnica del cappotto esterno tradizionale, sia come rivestimento di facciata accoppiandolo a lamiera metallica, che in questo modo non lo espone direttamente agli agenti atmosferici; il PUR, si ricorda, non ha una buona tenuta all'acqua.

Demolendo un corso della muratura di tamponamento, lo spazio ricavato permette di poter utilizzare diverse tipologie di materiali isolanti, anche quelle che richiedono spessori più elevati, come quelli naturali. Ma anche solo rimanendo sulla tipologia plastica, si sarebbe potuto utilizzare l'EPS, più economico rispetto al poliuretano espanso rigido.

Per questi motivi non sono necessari materiali ad alte prestazioni con spessori ridotti.

Gli unici elementi della struttura che richiedono maggiore isolamento termico in poco spazio sono le teste dei solai, che con questa soluzione sono isolate solo dalla facciata coibentata in pannelli

isolanti. A tal proposito, si potrebbe inserire un sottile strato di *Aerogel* lungo tutte le fasce marcapiano, distanziando l'attacco dei pannelli di facciata di al massimo 2 cm, così da ridurre notevolmente le dispersioni termiche dei solai.

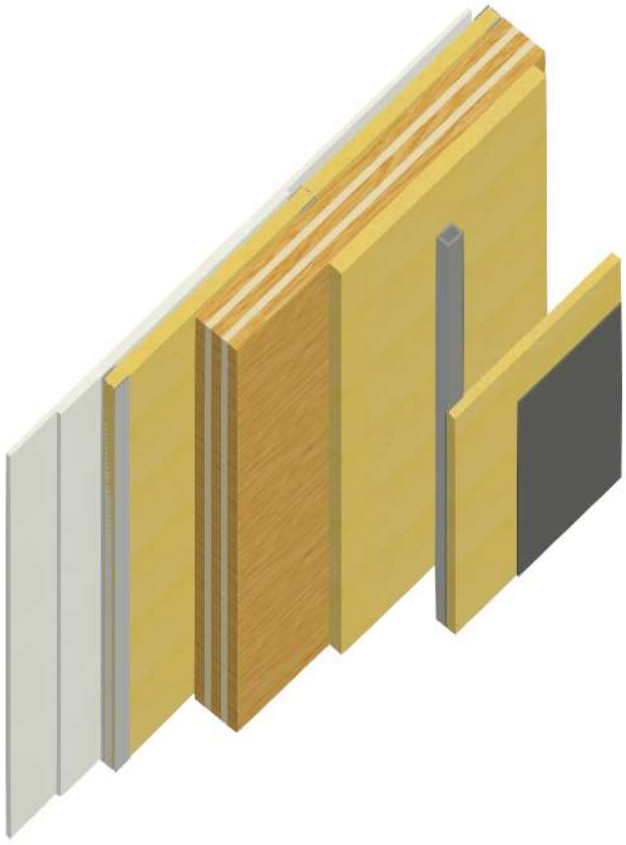
7.2.5 Considerazioni finali

La soluzione ha permesso di ottenere ottime prestazioni isolanti, paragonabili a quelle ottenute con il cappotto esterno della *Soluzione 1*.
Come appena specificato nel paragrafo precedente, il rivestimento di facciata in pannelli di lamiera coibentata non permette di ottenere un elevato isolamento sulle teste dei solai ma, seppur con spessore ridotto, crea continuità nello strato di coibentazione, che è uno dei principali requisiti per ridurre i ponti termici; sono infatti le zone di discontinuità tra gli elementi e i materiali che possono causare incrementi locali di dispersione termica.

Il processo di realizzazione della soluzione è sicuramente più invasivo della sola applicazione del cappotto in facciata, ma nonostante preveda una demolizione, non arreca eccessivo disturbo agli occupanti interni perché i lavori vengono svolti dall'esterno e perché si scelgono mezzi che limitano il più possibile rumori continui e lavorazioni altamente impattanti.
La realizzazione della controparete, poi, tutela e protegge gli abitanti dell'edificio, che non sono obbligati a dover lasciare l'abitazione durante il cantiere. Gli unici momenti di maggior disagio sono costituiti dalle fasi di rimozione degli infissi, creazione della nuova struttura lignea e fissaggio del nuovo serramento monoblocco.

Questa soluzione permette di riqualificare energeticamente l'edificio senza la necessità di ispessire notevolmente l'impronta di base dell'edificio e consente l'utilizzo di quasi tutte le tipologie isolanti per la parte di coibentazione della muratura senza quasi modificare le caratteristiche degli ambienti dall'interno, ad eccezione del nodo dell'infisso; la parete interna, quindi, mantiene le sue proprietà di attrezzabilità, sia in termini di resistenza meccanica, sia in termini di possibilità di spostare le tracce e le tubazioni degli impianti a parete senza eccessivi vincoli.
Certamente, però, i costi di realizzazione sono più elevati, così come le tempistiche, nonostante la soluzione preveda quasi esclusivamente soluzioni a secco e con elementi prefabbricati come i pannelli di facciata.

7.3 Soluzione 3: La demolizione totale



Dall'interno all'esterno:

8. Lastra di cartongesso – sp. 1,5 cm
9. Lastra di cartongesso – sp. 1,5 cm
10. Intercapedine coibentata con lana di vetro – sp. 5 cm
11. XLAM – sp. 12,4 cm
12. Malta adesiva – sp. 1 cm
13. Lana di roccia – sp. 4 cm
14. Intercapedine d'aria – sp. 11 cm
15. Orditura metallica – sp. 5 cm
16. Pannello metallico coibentato – sp. 2,5 cm

7.3.1 L'involucro

In questa soluzione si propone di demolire l'intera parete di tamponamento a cassa vuota, mantenendo esclusivamente le partizioni verticali interne e la struttura portante dell'edificio, costituita da solai e pilastri in calcestruzzo armato. La parete esterna dovrà essere quindi completamente ricostruita, con sistema a secco.

A partire dal lato interno della nuova chiusura verticale, si realizza una controparete con struttura in profilati metallici e doppia lastra di cartongesso ad alta resistenza (*Allegato 8*), intonacata e rifinita per soddisfare le esigenze estetiche degli occupanti. Tra i montanti si inserisce il primo coibente termoacustico della parete, costituito da pannelli morbidi in lana di vetro, spessore 5 cm. Lo strato successivo è invece quello che conferisce maggiore massa e resistenza meccanica alla parete ed è realizzato con pannelli XLAM (*Allegato 5*), compensati di 5 tavole di legno massiccio disposte e incollate a strati incrociati.

Si prosegue con un altro componente isolante, costituito da 4 cm di pannelli di lana di roccia. Questo svolge la funzione di cappotto esterno delle strutture verticali poiché avvolge la parete

lignea e le facce dei pilastri. Infine, come per la *Soluzione 2*, si realizza un ulteriore strato isolante rivestendo la facciata con pannelli di poliuretano espanso rigido, di spessore pari a 2,5 cm, ricoperti sui due lati da lamiera metallica (*Allegato 4*) e sorretti da una sottostruttura in profilati metallici, ancorata in ogni piano all'intradosso del solaio superiore e all'estradosso di quello inferiore.

Anche in questo caso, questa ulteriore coibentazione permette di eliminare i ponti termici dei solai ma non risolve quelli dei balconi a sbalzo, che vengono infatti demoliti e ricostruiti con una soluzione indipendente e ancorata alla facciata tramite tirafondi e piastre metalliche solo in specifici punti, non continui, riducendo sensibilmente la lunghezza del ponte termico.

Lo spazio sottofinestra necessario per l'inserimento del terminale impiantistico viene ricavato dalla nuova stratigrafia, al posto dei primi strati di controparete in cartongesso con coibentazione in lana di vetro; la mancanza di quest'ultima causerebbe maggiore dispersione dell'involucro, pertanto il secondo strato isolante presente all'esterno del pannello XLAM viene ispessito fino alla dimensione di 10 cm anziché solo di 5 cm.

Con questa soluzione si ottengono i seguenti valori dei parametri caratteristici:

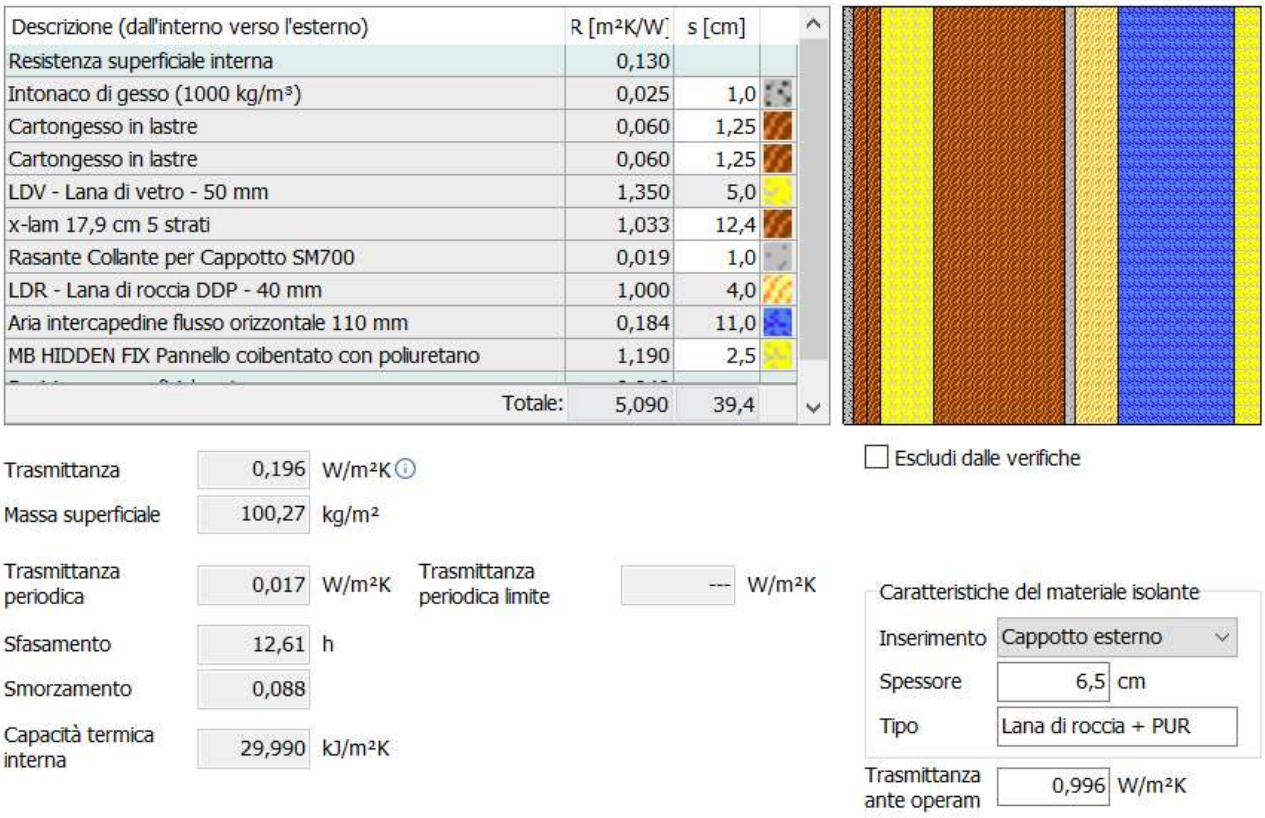


Figura 94: Parametri termici chiusura verticale soluzione 3

(Figura estrapolata dal software Namirial)

I valori di trasmittanza termica stazionaria e periodica sono entrambi inferiori ai valori previsti per legge (UNI EN ISO 6946), pari a U = 0,23 W/m^{2}K e Y_{ie} = 0,10 W/m^{2}K.

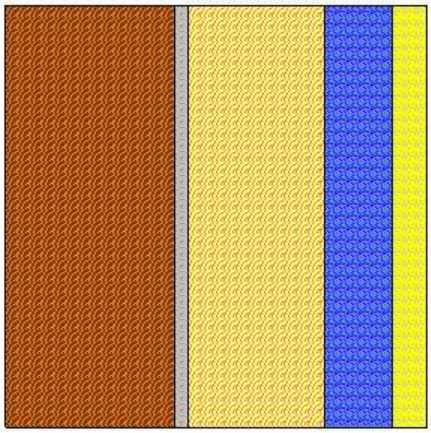
La massa superficiale si riduce, ma avendo inserito il pannello massivo di legno XLAM il valore è ancora soddisfacente ed è maggiore della soluzione 2 relativa alla demolizione parziale.

La capacità termica quasi si dimezza, ma questo è comprensibile in quanto è stato inserito uno strato isolante di 5 cm sul lato interno della parete, limitando l'assorbimento di calore.

Ciò che sorprende sono invece i valori di sfasamento e smorzamento. Il primo, pari a 12,61 ore potrebbe sembrare elevato in quanto sfasa il maggiore flusso di calore nelle prime ore del mattino, quando le temperature esterne stanno iniziando ad innalzarsi; ma non deve essere letto da solo, perché il valore del fattore di smorzamento è pari a solo 0,088, ben più basso di 0,478 ottenuto nella camera non isolata, ma anche rispetto alle altre due soluzioni proposte. Questo implica che, nonostante il flusso di calore sia ritardato di più di 12 ore, viene smorzato moltissimo e quindi i suoi effetti saranno poco percepibili. Valori così alti di inerzia termica sono sicuramente dovuti alla presenza degli isolanti minerali, molto performanti sotto questo aspetto, ma anche dalla presenza del pannello di legno.

Anche la parete sottofinestra, costituita da XLAM, è isolata, ma con coibente in lana di roccia spesso 10 cm per sopperire alla mancanza di lana di vetro che nel resto della parete è situata sul lato interno. Le dispersioni sono dunque limitate, non creando punti di debolezza.

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]
Resistenza superficiale interna	0,130	
x-lam 17,9 cm 5 strati	1,033	12,4
Rasante Collante per Cappotto SM700	0,019	1,0
LDR - Lana di roccia DDP - 100 mm	2,500	10,0
Aria intercapedine flusso orizzontale 50 mm	0,184	5,0
MB HIDDEN FIX Pannello coibentato con poliuretano	1,190	2,5
Resistenza superficiale esterna	0,040	
Totale:	5,097	30,9



☐ Escludi dalle verifiche

Trasmittanza	0,196	W/m²K			
Massa superficiale	83,59	kg/m²			
Trasmittanza periodica	0,036	W/m²K	Trasmittanza periodica limite	---	W/m²K
Sfasamento	11,56	h			
Smorzamento	0,185				
Capacità termica interna	27,317	kJ/m²K			

Caratteristiche del materiale isolante

Inserimento	Cappotto esterno	
Spessore	12,5	cm
Tipo	Lana di roccia + PUR	

Non si verificano fenomeni di condensa:

Mese	gc [kg/m²]	Ma [kg/m²]	fRsi,min
Gennaio	0,00000	0,00000	0,65234
Febbraio	0,00000	0,00000	0,63621
Marzo	0,00000	0,00000	0,58407
Aprile	0,00000	0,00000	0,49457
Maggio	0,00000	0,00000	
Giugno	0,00000	0,00000	
Luglio	0,00000	0,00000	
Agosto	0,00000	0,00000	
Settembre	0,00000	0,00000	
Ottobre	0,00000	0,00000	0,43991
Novembre	0,00000	0,00000	0,61118
Dicembre	0,00000	0,00000	0,66965

fRsi = 0,95202
fRsi,max = 0,66965 (a dicembre)
La struttura non presenta rischi di formazione muffe

La struttura non genera fenomeni di condensa interstiziale

La struttura è verificata

Figura 95: Verifica termoigrometrica della parete
(Figura estrapolata dal software Namirial)

La demolizione completa a favore di una nuova costruzione che include la coibentazione dell'involucro permette di ridurre i ponti termici. In questa soluzione, la presenza di uno strato isolante sulla faccia interna della parete, genera una riduzione della temperatura più repentina. Dall'immagine si nota come si verifichi un primo abbassamento dopo il primo strato di coibente e una seconda brusca discesa dopo il secondo in lana di roccia.

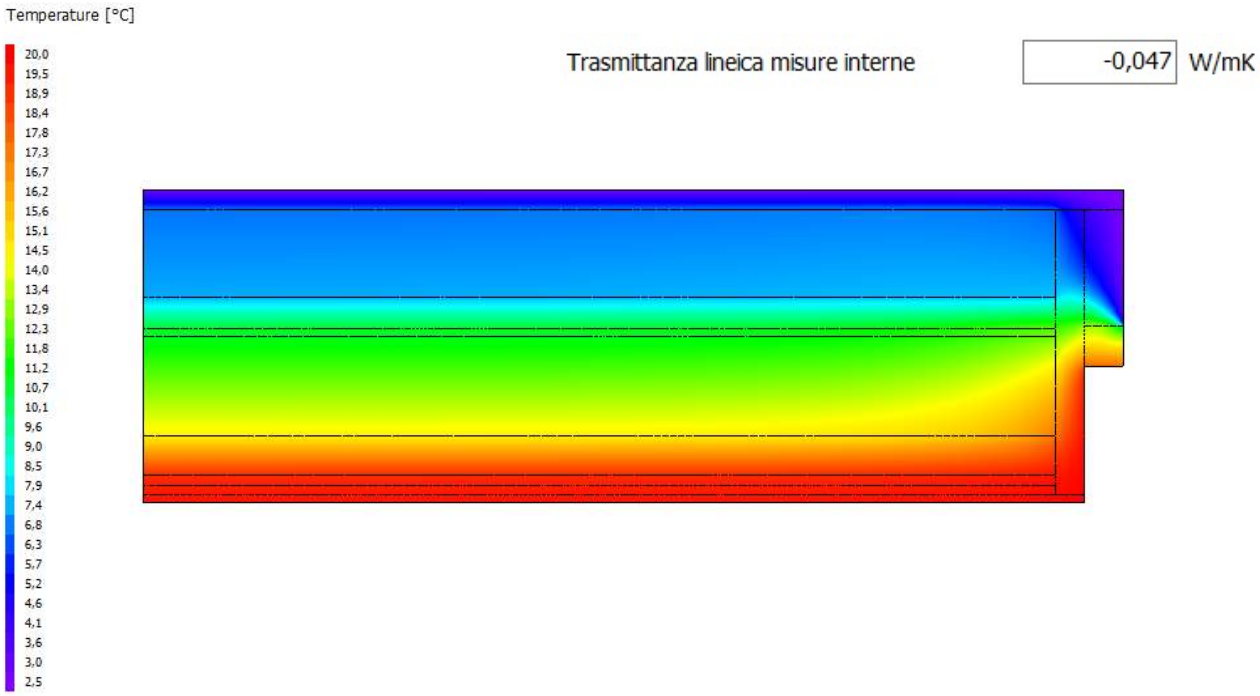


Figura 96: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico infisso-parete
(Immagine estrapolata dal software Namirial)

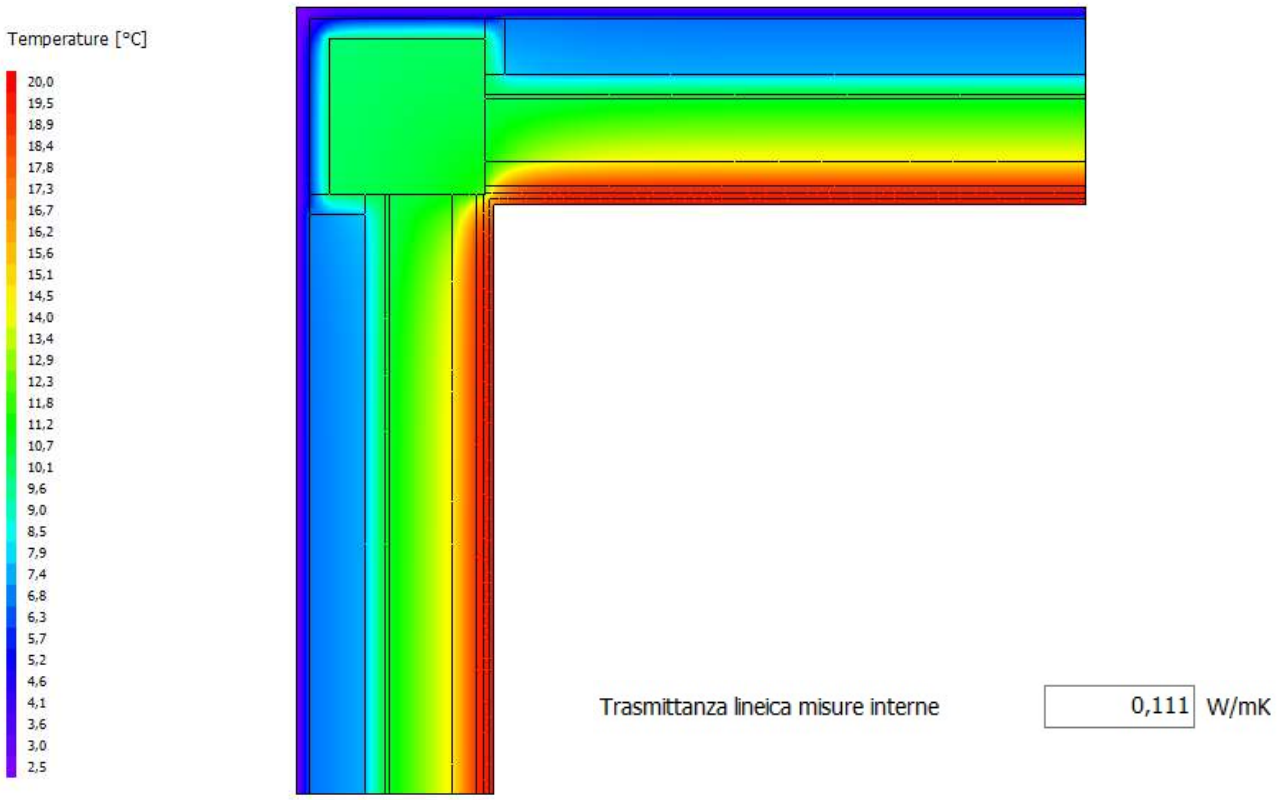


Figura 97: Variazione della temperatura e parametri del ponte termico all'angolo tra le due pareti, con pilastro *(Immagine estrapolata dal software Namirial)*

7.3.2 Gli impianti

Anche in questa soluzione, demolendo l'intera parete, è necessario rimuovere i radiatori esistenti e le tubazioni ad essi collegati. Pertanto, si sceglie di rinnovare l'impianto optando per un sistema di distribuzione orizzontale e per un nuovo terminale impiantistico: il ventilconvettore a due tubi, che può funzionare d'inverno per il riscaldamento, ma anche d'estate per il raffrescamento, garantendo il comfort termico degli occupanti in tutte le stagioni.

Le caratteristiche e i dettagli del nuovo impianto, ma anche i sistemi di regolazione con valvole, sono gli stessi descritti per la *Soluzione 2*.

Nella nuova parete che si realizza, però, la cassaforma metallica contenente il ventilconvettore, profonda 14,2 cm, non può essere completamente ad incasso in quanto lo spazio utile sottofinestra è di soli 8,5 cm. Per questo motivo, la parte eccedente verrà rivestita con una struttura dello stesso materiale del davanzale, così da caratterizzare il componente come se fosse un camino scenografico; la piastra frontale radiante della cassaforma, d'altronde, ricorda proprio quel metodo di diffusione del calore.

Grazie all'intervento sull'involucro, il fabbisogno di potenza termica per riscaldare la stanza in inverno risulta pari a 461 W, riducendosi del 66,3% rispetto alla camera non isolata.

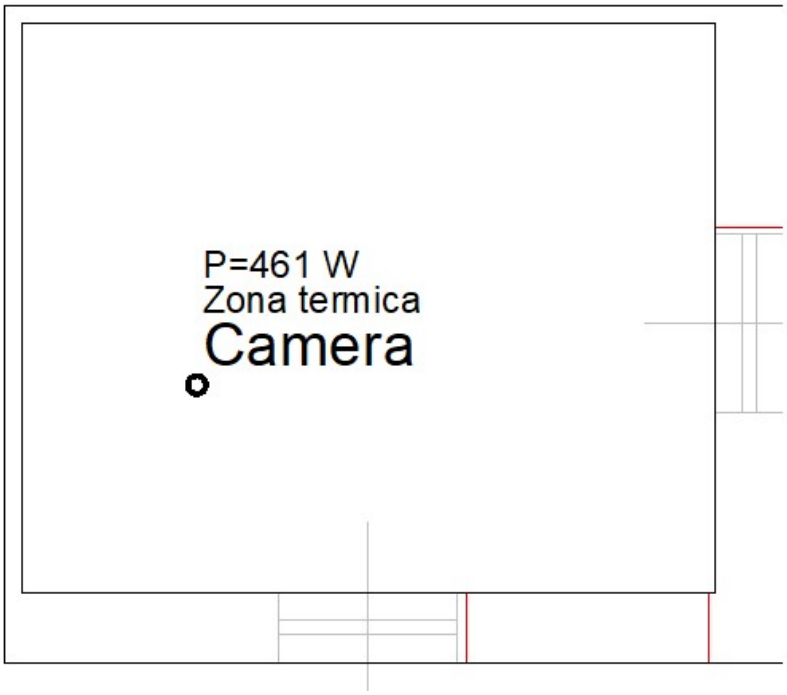


Figura 98: Fabbisogno di potenza termica invernale
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Il carico totale estivo da coprire con l'impianto di raffrescamento risulta invece essere pari a 333 W, così suddivisi:

INFORMAZIONI TECNICHE	
Variazione Temp Int consentita [°C]	0
Carico Totale [W]	333
Carico Sensibile Totale [W]	197
Carico Latente Totale [W]	137

Figura 99: Carichi estivi latenti e sensibili camera
(Figura estrapolata dal software Namirial)

Anche in questo caso, per la scelta del modello di ventilconvettore si ricerca quello in grado di soddisfare i bisogni operando alla minima velocità. I carichi estivi e invernali non sono elevati, quindi la scelta ricade sul ventilconvettore della linea MIDI dell'azienda *Aernova*, modello 1, che alla velocità minima garantisce 470 W di potenza frigorifera, con temperatura di mandata a 7 °C, e 610 W di potenza termica, con temperatura di mandata a 50°C.

Le specifiche del terminale sono riportate nella scheda tecnica allegata (*Allegato 7*), mentre i principali valori utili sono presenti in *Figura 101*.

SERIE - *SERIES*			MINI		
Modelli / *Models*			1	2	3
Potenzialità Termica (2) *Heating capacity (2)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	1530 1320	2480 2135	3430 2950
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	990 850	1610 1390	2540 2185
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	610 525	1030 890	1580 1360
Potenzialità frigorifera nominale (calore totale) (3) *Nominal cooling capacity (total heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	800 690	1320 1135	2190 1885
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	630 545	870 750	1660 1430
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	470 405	660 570	960 830

(2) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 50° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 50° C, hot water rise 5° C.

(3) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 27° C, 50% U.R.; temperatura acqua entrante 7° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 27° C, 50% R.H.; entering water temperature 7° C., hot water rise 5° C.

Figura 100: Caratteristiche del ventilconvettore modello 1 serie MINI dell'azienda Aernova
(Figura estrapolata dalla scheda tecnica del terminale)

7.3.3 La realizzazione

La soluzione prevede la demolizione completa dell'involucro pertanto, all'avvio del cantiere, è opportuno installare all'interno di ogni abitazione una parete provvisoria parallela a tutte le chiusure verticali oggetto d'intervento, ad una distanza di almeno 1 m, per proteggere le componenti interne agli appartamenti; per lo stesso motivo, il pavimento viene rivestito di teli in tessuto con sovrapposte tavole di legno. Contemporaneamente a questa realizzazione, viene allestito il ponteggio attorno all'edificio.

Durante tutte le operazioni di demolizione e sino alla posa del primo strato resistente della nuova parete, è necessario che gli occupanti non risiedano all'interno degli alloggi perché la parete provvisoria che viene realizzata non può garantire gli adeguati spazi e indici di resistenza e di comfort termoigrometrico idonei all'abitabilità dei locali interni.

Assemblaggio di parete provvisoria interna a protezione dei locali

Si realizza la parete provvisoria in pannelli autoportanti in fibra di vetro resistenti all'umidità e agli urti, legati al loro interno da uno scheletro ignifugo in ABS, seguendo le modalità descritte nel paragrafo relativo alla *Soluzione 2*.

In alternativa, se fosse necessario garantire la permanenza degli occupanti all'interno dell'abitazione, si potrebbe realizzare una parete provvisoria in pannelli metallici coibentati, della stessa tipologia di quelli utilizzati per il rivestimento della facciata. Il problema è che per installarli e sostenerli in posizione verticale e antiribaltamento occorrerebbe una sottostruttura costituita da specifici puntelli tridimensionali (*Figura 102*) che richiedono un fissaggio meccanico a pavimento; quest'ultimo sarebbe causa di successivi interventi di ripristino interni all'abitazione. Inoltre, il puntello occuperebbe in senso orizzontale almeno 1 m, che sommandosi allo spessore della parete provvisoria e alla distanza minima (1 m) che questa deve mantenere dalla chiusura da demolire, causerebbe un ingombro totale superiore ai 2 m; questa dimensione non è sempre disponibile in un alloggio in quanto ci sono locali, come il bagno e la cucina, il cui spazio utile è più ridotto e pertanto non sufficiente per l'installazione di tali supporti.

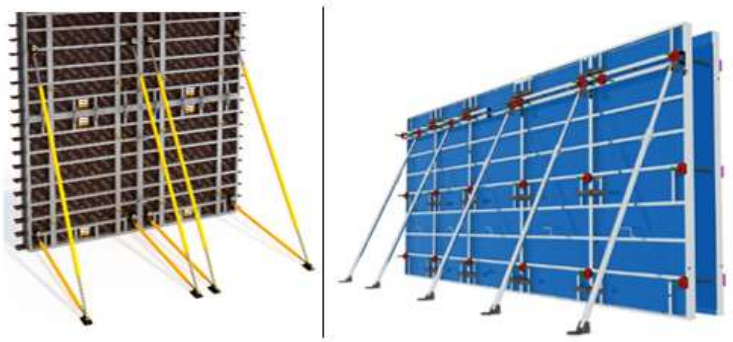


Figura 101: Esempi di puntelli tridimensionali *(www.ulmaconstruction.it)*

Demolizione dei balconi in calcestruzzo armato e della muratura a cassa vuota

Anche per la demolizione dei balconi si procede come descritto nella *Soluzione 2*, attraverso l'utilizzo di seghe da parete a disco diamantato automatiche, che consentono di ottenere una precisione millimetrica nel taglio a filo muro di facciata.

Come già sottolineato in precedenza, la demolizione tradizionale con strumenti a percussione genera forti vibrazioni che possono danneggiare anche gravemente la struttura. Poiché in questa soluzione si rimuovono integralmente tutte le chiusure verticali, utilizzare questa tipologia di intervento comprometterebbe la stabilità dell'edificio, oltre al fatto che si genererebbe un ingente quantitativo di polvere e macerie da smaltire. Pur necessitando di mezzi più costosi, anche in questo caso la demolizione controllata risulta essere la più adeguata.

Anche in questo caso si procederà utilizzando troncatrici manuali a disco diamantato, usufruibili dal singolo operaio. Al contrario della soluzione descritta al capitolo precedente, in questo caso si deve demolire l'intera muratura a cassa vuota; sarebbe più veloce poter rimuovere entrambi i corsi di mattoni insieme, ma nella rimozione gli elementi cadrebbero nella vecchia intercapedine formando polvere, calcinacci e creando sollecitazioni alla struttura, seppur trascurabili. Pertanto, è preferibile continuare a demolire la parete procedendo per corsi: prima quello esterno e poi quello interno, seguendo lo schema a blocchi orizzontali descritto nella *Soluzione 2*.

Installazione dei pannelli XLAM

Il primo strato della parete ad essere installato è quello in legno XLAM in quanto è costituito da elementi prefabbricati ingombranti e che necessitano di spazio libero di manovra per poterli posizionare correttamente.

Il legno XLAM ha una densità pari a 500 kg/m^3, pertanto non è possibile sollevarlo manualmente. Considerando le seguenti dimensioni di un pannello:

- Altezza: 3 m;
- Profondità: 0,124 m;
- Larghezza: 2 m,

si ottiene una massa m complessiva pari a:

$$m = densità \cdot volume = 500 \cdot (3 \cdot 0{,}124 \cdot 2) = 372\ kg$$

Tale valore non può essere sostenuto né fisicamente dal lavoratore né tramite sollevatori manuali a ventose (Carico max 250 kg). Per questo, è necessario utilizzare una gru con braccio telescopico con specifiche ventose per sollevamento sottovuoto, per movimentare il singolo pannello e posizionarlo ad una profondità pari a 5,5 cm dal filo del pilastro sul lato interno. Il mezzo è lo stesso che si adopera per l'installazione di grosse lastre di vetro (*Figura 103*), ma in questo caso è sostituita la tipologia di ventose scegliendone una specifica per legno. Grazie a questa tecnologia è garantita massima precisione nel posizionamento al piano di ogni pannello XLAM.



Figura 102: Movimentazione di lastre tramite braccio telescopico con ventose *(www.jekko-cranes.com)*

Prima dell'installazione del componente, esso viene ricoperto ai bordi da una guaina isolante adesiva in polietilene che garantisce la tenuta dell'elemento all'aria, alla polvere e ai rumori anche nei giunti.

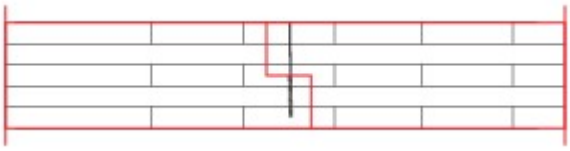


Figura 103: Giunzione a mezzo legno tra due pannelli contigui
(www.xlamdolomiti.it)

Successivamente i pannelli vengono incastrati tra loro attraverso una giunzione mezzo legno fissata con specifiche viti scelte in base alla profondità e al numero di strati del materiale.

L'ancoraggio della struttura ai solai, invece, avviene tramite piastre angolari per forze di trazione e per forze di taglio, abbinate a specifici ancoranti e viti. L'elemento che garantisce la resistenza a taglio viene anche utilizzato per i collegamenti tra pilastro e pannello, così da garantirne maggiormente la stabilità in tutte le direzioni.



Figura 104: Piastre angolari per forze di trazione a sx e per forze di taglio a dx
(www.rothoblaas.it)

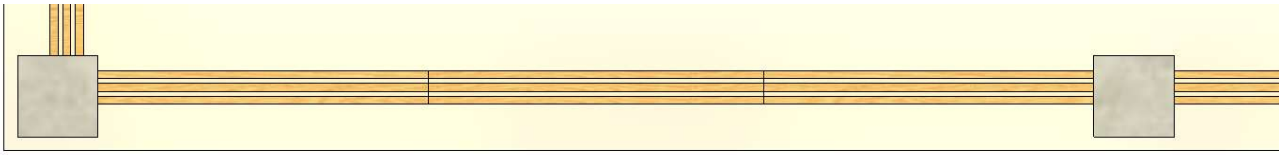


Figura 105: Posa dei pannelli XLAM
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Creazione della controparete in lastre di cartongesso e isolante in lana di vetro

A partire dal lato interno del pannello XLAM si realizza una controparete in doppia lastra di cartongesso ad alta resistenza isolata con lana di vetro, dello spessore totale di 5 cm.

Per prima cosa si installa la struttura in profilati di acciaio zincato.

I profili a U orizzontali sono rivestiti in nastro di polietilene per isolarli acusticamente dalle vibrazioni della struttura e sono ancorati al pavimento e al soffitto per mezzo di opportuni tasselli adatti al calcestruzzo.

I montanti, di tipologia a C, vengono inseriti nelle guide orizzontali appena installate, con interasse massimo di 60 cm, e ancorati ad esse tramite punzonatrice, mentre quelli ai lati, appoggiati ai pilastri, sono rivestiti in nastro di polietilene e fissati anche all'elemento portante tramite specifici tasselli.



Figura 106: Fissaggio dei montanti a C al profilo guida a U tramite punzonatrice *(www.gyproc.it)*

Nel caso del passaggio di tubazioni all'interno della struttura, i profili possono essere forati a seconda delle necessità e, nel caso in cui l'impianto dovesse distribuirsi orizzontalmente per tutta la lunghezza della parete, si dispongono traversi orizzontali così da garantire la resistenza della struttura ai carichi. Questa tipologia di profili viene anche installata sopra e sotto le aperture per le finestre o sopra le porte.

Successivamente si prosegue con l'inserimento dei materassini di lana di vetro, che essendo morbidi possono essere incastrati manualmente tra i montanti così da riempire al meglio gli spazi.

A questo punto si può procedere con il fissaggio delle lastre di cartongesso. Poiché la controparete costituirà la superficie finale interna di ciascun alloggio, è opportuno che abbia una resistenza sufficiente a poter sostenere anche pesi più elevati come quelli dei pensili della cucina. Per questo motivo si sceglie una tipologia di lastre ad alta resistenza (*Allegato 8*), sovrapponendole in numero pari a due, così da aumentarne ulteriormente il valore.



Figura 107: Inserimento dei materassini in lana di vetro tra i montanti *www.gyproc.it*

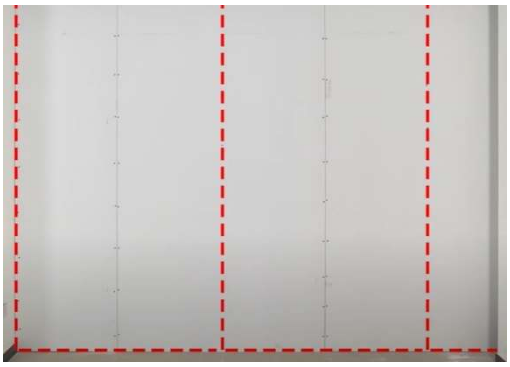


Figura 108: Installazione del secondo strato di lastre (in rosso) a giunti sfalsati rispetto al primo
(www.gyproc.it)

A circa 1 cm dal pavimento si posiziona la prima lastra, di larghezza pari all'interasse o ad un suo multiplo e la si fissa alla struttura metallica con apposite viti per cartongesso ad alta densità, partendo dall'alto, con un interasse di circa 30 cm; in presenza di impianti o vani porte o finestre, la lastra sarà dimensionata e sagomata correttamente tramite taglierino.

Si prosegue fino a completare l'intera parete. Successivamente sarà installato il secondo strato di lastre, avendo cura di sfalsarle rispetto a quelle sottostanti (*Figura 109*), così da non sovrapporre giunti e creare punti di minor resistenza.

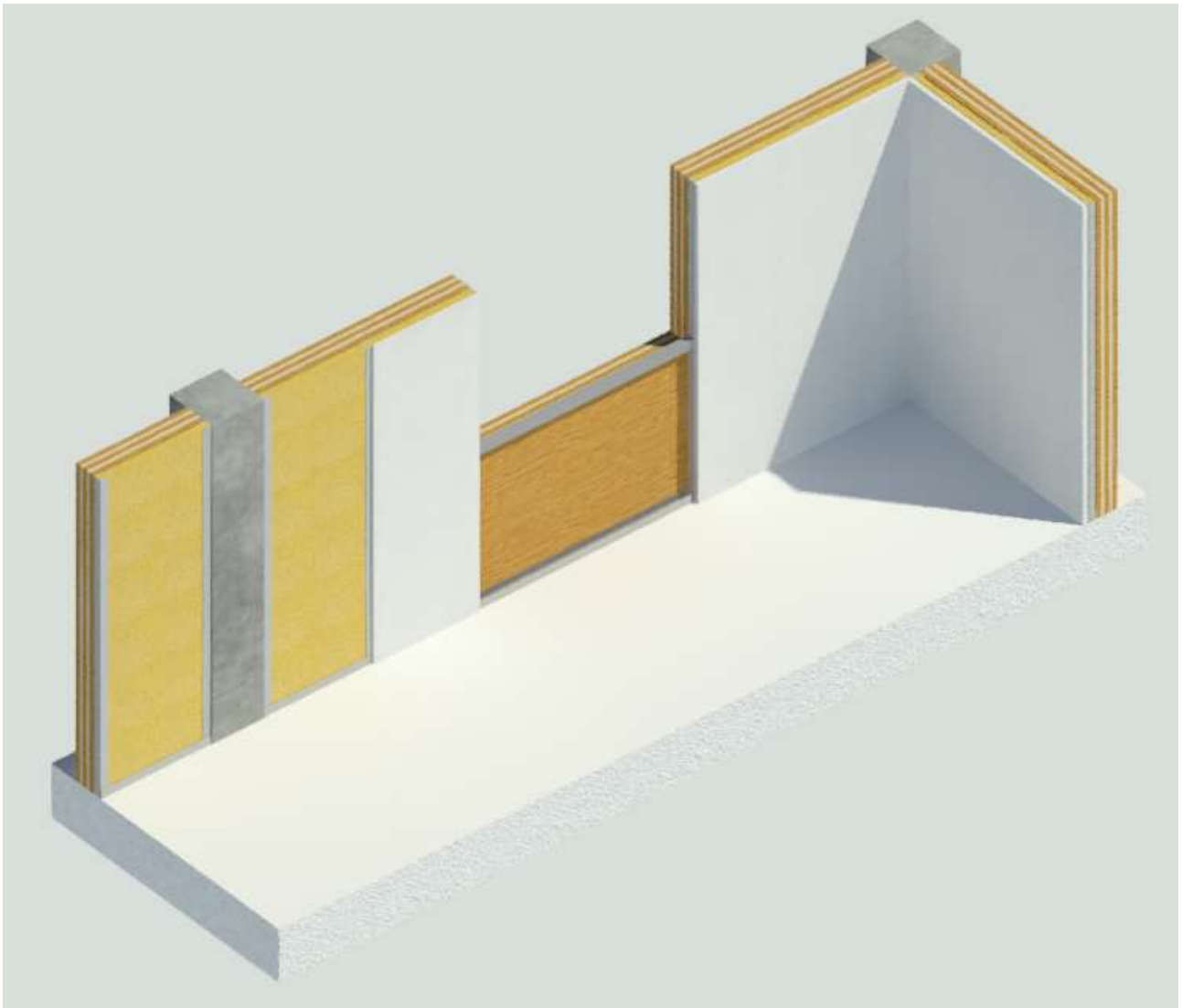


Figura 109: Controparete con orditura metallica, isolante in lana di vetro e prime lastre di cartongesso, vista dall'interno
(Figura realizzata con Autodesk Revit)

Dopo aver ricoperto l'intera parete, si esegue la stuccatura: i giunti verticali e orizzontali vengono ricoperti da una prima mano di stucco, poi si inserisce il nastro di armatura in carta microforata e lo si fa aderire bene alla superficie mediante una spatola. Dopo l'essicazione del primo strato (3-5 ore), si procede a ricoprire i giunti e l'armatura con la seconda mano di stucco, esattamente come il procedimento che si svolge per lo strato rasante di un cappotto esterno. Nel caso in cui siano presenti spigoli, questi saranno protetti da paraspigoli forati in lamiera zincata fissati meccanicamente o con sistemi a colla e poi ricoperti da uno strato di stucco, così come anche le teste delle viti di fissaggio. Infine, si realizza l'intonaco di finitura, che può essere preceduto dalla stesura di un primer sintetico che rende uniforme il grado di assorbimento della parete, che allo stato grezzo presenta zone stuccate e zone di cartongesso non rivestito. In ogni caso, le opere estetiche finali della parete, è consigliabile eseguirle al termine di tutte le lavorazioni e dell'installazione degli infissi.



Figura 110: Stesura della seconda mano di stucco sul nastro di armatura tra giunti
(www.knauf.it)

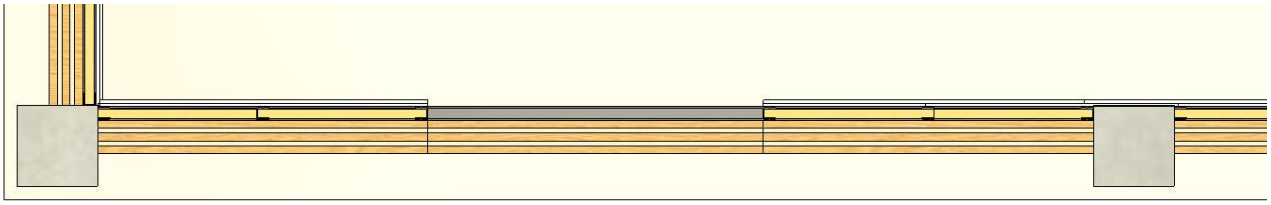


Figura 111: Realizzazione completa della controparete
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Realizzazioni finali

Le lavorazioni che si susseguono sono comuni a quelle descritte nella *Soluzione 2*, pertanto sono solo riassunte e rappresentate tramite immagini.

Si procede con l'installazione del telaio in profili metallici per la facciata.

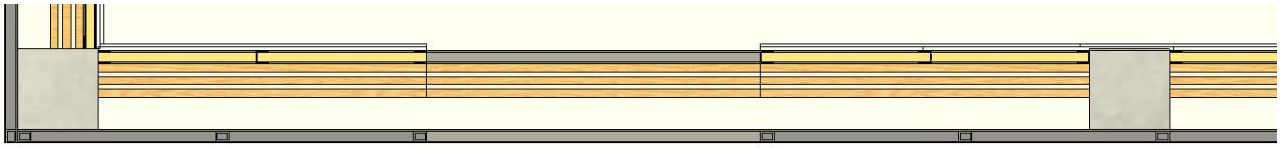


Figura 112: Installazione della struttura metallica per la facciata
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Successivamente si esegue il cappotto esterno alle pareti e alle strutture verticali (pilastri) e orizzontali (intradosso ed estradosso dei solai). In questo caso, anziché utilizzare pannelli in poliuretano espanso rigido, si opta per un isolante in lana di roccia ad alta densità, in quanto di origine vegetale e più adatto all'abbinamento con le proprietà termiche e fisiche del legno.
La tecnica per l'installazione del coibente è la stessa utilizzata per le altre soluzioni, tramite malta adesiva e fissaggio meccanico con tasselli di tipologia adatta per le applicazioni su legno.

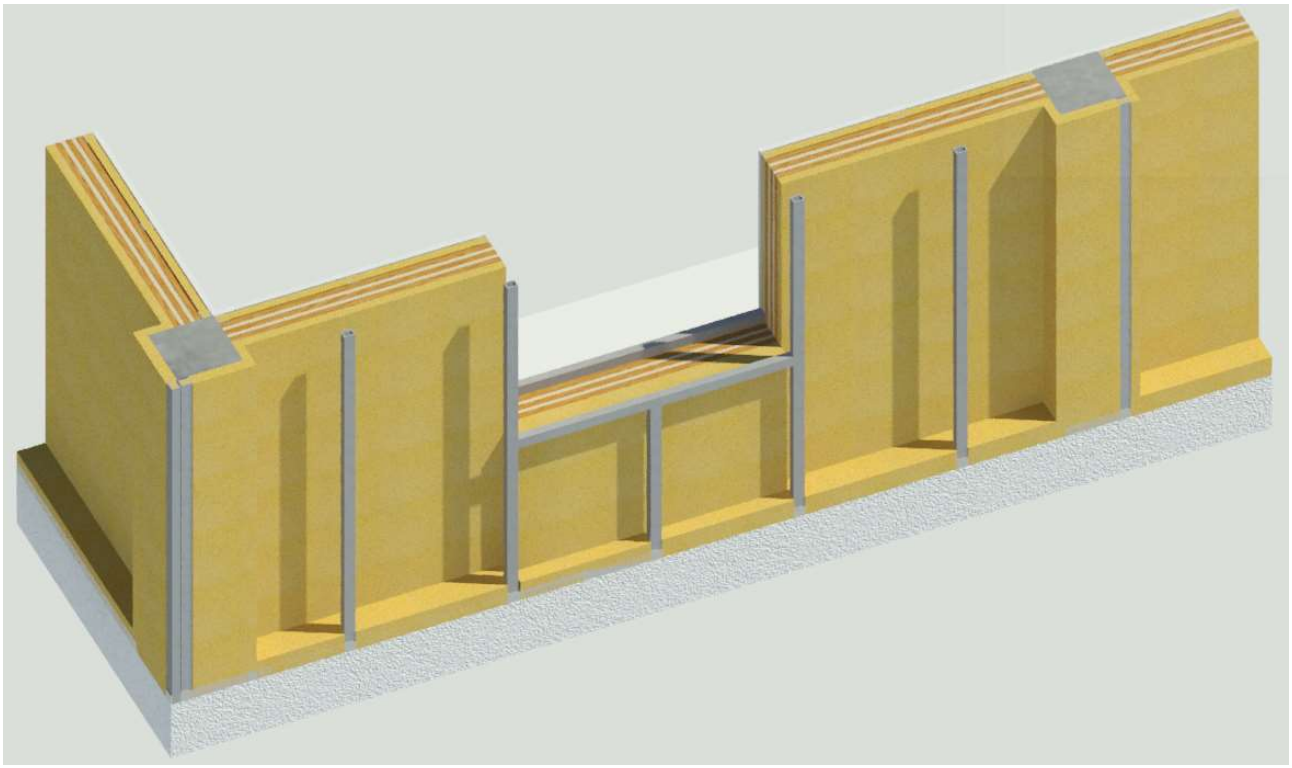


Figura 113: Isolamento della parete, dei pilastri e dell'estradosso del solaio, con lana di roccia
(Figura realizzata con Autodesk Revit)

Infine, si posano e allacciano le tubazioni dell'impianto di condizionamento e si realizza la facciata finale esterna isolante, seguendo il procedimento descritto nella *Soluzione 2*.

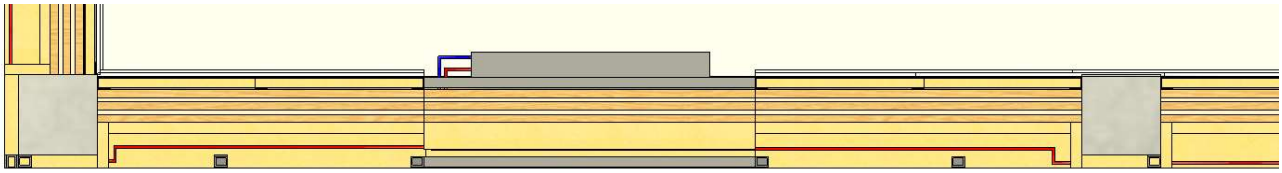


Figura 113: Percorso tubazioni dell'impianto di condizionamento
(Vista in pianta realizzata con Autodesk Revit)

Anche per i balconi si realizza la struttura autoportante con profili a sezione T variabile, con attacco in facciata tramite piastre e tirafondi.

Per l'installazione della finestra monoblocco si esegue lo stesso procedimento descritto già nella *Soluzione 1* a cappotto, ma utilizzando il modello specifico X-BLOK per la posa in pannelli XLAM, prodotto e fornito direttamente dalla casa madre. È possibile richiederlo con diverse tipologie di oscuranti, ma nel caso dell'edificio condominiale la scelta ricade sull'avvolgibile.

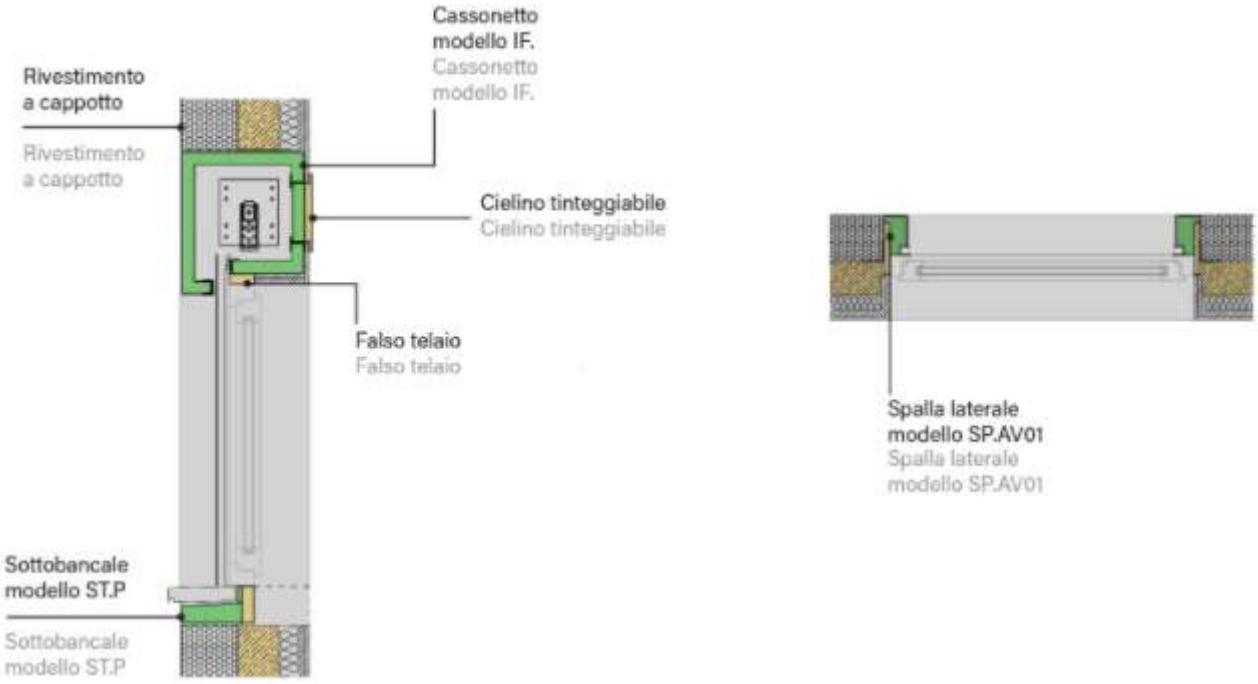


Figura 114: Sezione verticale e orizzontale del monoblocco X-Blok con dettagli sui componenti *(www.xlamdolomiti.it)*

7.3.4 I materiali alternativi

La lana di roccia utilizzata per la coibentazione della parete dall'esterno e la lana di vetro come isolante della controparete interna forniscono ottime prestazioni, soprattutto per quanto riguarda l'inerzia termica.

Pertanto, la sostituzione di questi materiali in favore di altri a basso spessore o di altra natura non è necessaria ma, come nel caso della demolizione parziale, anche qui le teste del solaio sono isolate solo da 2,5 cm di pannello metallico coibentato; per questo potrebbe essere utile inserire un pannello-feltro di Aerogel e avanzare di circa 2 cm l'installazione dei materiali di facciata, così da offrire maggiore isolamento e ridurre ulteriormente i ponti termici.

7.3.5 Considerazioni finali

La soluzione proposta consente di ottenere ottime prestazioni isolanti, garantendo anche un'inerzia termica elevata.
Il rivestimento di facciata in pannelli di lamiera coibentata non permette di ottenere un alto isolamento delle teste dei solai ma, seppur con spessore ridotto, crea continuità nello strato di coibentazione, che è uno dei principali requisiti per limitare le dispersioni locali di calore.

La demolizione totale richiesta da questa soluzione rappresenta sicuramente un intervento drastico e crea notevoli disagi agli occupanti, che durante questa fase devono allontanarsi dalle proprie abitazioni. Permette però di riqualificare completamente l'involucro, ricostruendolo sin dal primo strato interno.

L'utilizzo del pannello XLAM risulta vantaggioso in quanto, essendo un elemento prefabbricato, può essere realizzato su misura, in base alla configurazione che si desidera. Adoperando anche per la facciata elementi prodotti industrialmente su progetto, la combinazione risulta vincente e permette di ottenere alta precisione, soprattutto nei vani per l'alloggiamento degli infissi.

I pannelli di legno possono anche essere realizzati con i sistemi impiantistici integrati, ma questo li rende poco adattabili in caso di successive modifiche al sistema di distribuzione o nel caso si vogliano spostare le tracce dei tubi. Per questo motivo è utile utilizzare i pannelli XLAM in combinazione con la controparete in doppia lastra di cartongesso per alti carichi, isolata con lana di vetro. In questo modo, si sfrutta la precisione dell'elemento prefabbricato per massimizzare la tenuta dei vani infissi agli agenti esterni, ma anche l'attrezzabilità e la flessibilità di soluzione della controparete, realizzabile rapidamente e senza costi elevati; sarà infatti sufficiente modificare con strumenti di taglio il cartongesso e stuccarlo oppure sostituirlo.

Tra le soluzioni proposte sicuramente questa risulta la più invasiva e costosa, oltre a richiedere tempistiche più elevate. La demolizione totale, però, permette di scoprire la struttura portante dell'edificio e controllare lo stato di salute degli elementi, che a distanza di anni possono presentare fessurazioni o fenomeni di corrosione causati da carbonatazione, soprattutto negli edifici, come quelli degli anni Sessanta, che hanno superato il periodo di vita utile pari a 50 anni. Accorgendosi delle problematiche si può intervenire per tempo ed evitare disastri o instabilità futuri.

7. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti mostrano che con tutte le soluzioni si raggiungono condizioni di benessere termico e ambientale, grazie ad una corretta coibentazione dell'involucro e riduzione delle dispersioni di calore. Con l'intervento possono essere integrati anche nuovi sistemi impiantistici e il raffrescamento, che consente di controllare il comfort abitativo anche nella stagione estiva.

Resta allora da capire quale sia la soluzione migliore tra quelle proposte.
Non c'è una risposta univoca, perché la scelta dipende da molti fattori, tra cui il costo, le tempistiche, l'ingombro in termini di spazio, lo stato dell'edificio su cui si interviene.

Riassumendo, il cappotto esterno è la soluzione che arreca meno disturbo agli occupanti, è più rapida e meno costosa, ma con gli isolanti tradizionali provoca un notevole ispessimento delle pareti esterne (almeno 12 cm), che riduce la profondità dei balconi. Se l'edificio si trova in una zona di passaggio non può avanzare con la linea della facciata quindi la soluzione non è applicabile. Il cappotto, inoltre, è più sensibile agli urti in quanto protetto solo dallo strato rasante armato. Quest'ultimo però limita la penetrazione degli agenti esterni all'interno della matrice cementizia, che potrebbero intaccarla e degradare la struttura portante.
Questo tipo di intervento non permette la sostituzione dell'impianto di distribuzione, che può quindi svolgere solo funzione di riscaldamento. Per il raffrescamento ciascun alloggio dovrà prevedere un sistema autonomo di produzione.
In alternativa la soluzione può essere realizzata con pannelli isolanti a basso spessore, ma il loro costo è elevato e nel caso dell'Aerogel, sono comunque necessari 6 cm, che non rendono così interessante il suo utilizzo. I pannelli sottovuoto sono altamente performanti, ma necessitano di una sottostruttura metallica in quanto la tecnologia potrebbe essere resa vana in caso di urti.

La demolizione parziale permette di mantenere le caratteristiche del corso interno della muratura a cassa vuota, come l'attrezzabilità, e isola le strutture senza ispessimenti elevati.
La realizzazione, che avviene con mezzi non a percussione, non disturba eccessivamente gli occupanti, ad eccezione dei momenti in cui il lavoro si concentra sugli infissi.
La soluzione prevede la sostituzione dei terminali impiantistici e del sistema di distribuzione, consentendo la realizzazione dell'impianto di raffrescamento e un miglior controllo delle temperature grazie alla doppia regolazione, dell'appartamento e del singolo ambiente.

L'intercapedine è sufficientemente larga per poter utilizzare diverse tipologie di isolanti, tra cui anche quelle che richiedono spessori più elevati.
Inoltre, i pannelli coibentati di facciata garantiscono migliore resistenza agli urti e protezione delle strutture dell'edificio dagli agenti esterni ed atmosferici.

La demolizione totale ha lo svantaggio di causare elevato disagio agli occupanti poiché necessita che durante le prime fasi della realizzazione non siano presenti nelle abitazioni, ma permette una sostituzione globale dell'involucro verticale e del sistema impiantistico.
Lo scorporo di tutte le murature di tamponamento consente di osservare lo stato di salute della struttura ed intervenire tempestivamente, come nel caso di fessurazioni o degrado.
L'utilizzo del pannello prefabbricato XLAM insieme agli elementi coibentati di facciata, massimizza i benefici dei prodotti ottenuti industrialmente, ma la presenza della controparete in lastre di cartongesso ad alta densità, isolate con lana di vetro, garantisce attrezzabilità e flessibilità della parete.

Sulla base delle caratteristiche appena riassunte, nel caso di intervento rapido e senza particolari esigenze impiantistiche può essere utilizzata la tecnologia a cappotto, ma fortemente sconsigliata nei casi in cui la profondità dei balconi sia già ridotta a valori inferiori ai 90 cm.

Se invece si ha la necessità di coibentare l'edificio contenendo gli spessori della facciata, mantenere intatte le caratteristiche dell'ambiente interno e si desidera un sistema impiantistico più performante e con la possibilità di avere il raffrescamento centralizzato, è consigliabile optare per la demolizione parziale.

La demolizione totale invece è fortemente indicata per quegli edifici ammalorati o in disuso da anni, che presentano anche segni di degrado, perché permette una riqualificazione globale di tutto il sistema dell'involucro e degli impianti.

Sono tutte soluzioni percorribili, ma sicuramente i materiali isolanti a basso spessore, se saranno soggetti ad un abbassamento del loro prezzo, potrebbero costituire una risorsa preziosa e ampiamente utilizzata in futuro.

8. ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Scheda tecnica Stiferite Class SK

ALLEGATO 2 – Scheda tecnica Isolcore CZ

ALLEGATO 3 – Scheda tecnica Aeropan

ALLEGATO 4 – Scheda tecnica MB WALL

ALLEGATO 5 – Scheda tecnica XLAM

ALLEGATO 6 – Finestra monoblocco

ALLEGATO 7 – Scheda tecnica ventilconvettore Aernova

ALLEGATO 8 – Cartongesso Gyproc Habito Forte

TAV. 1 – Stratigrafie e nodi Soluzione 1

TAV. 2 – Stratigrafie Demolizione parziale

TAV. 3 – Nodo pilastro Demolizione parziale

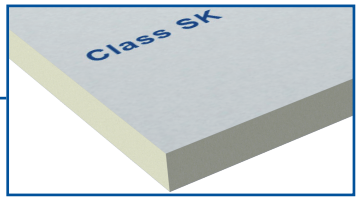
TAV. 4 – Nodo attacchi solaio Demolizione parziale

TAV. 5 – Sezione orizzontale infisso Demolizione parziale

TAV. 6 – Stratigrafie Demolizione totale

TAV. 7 – Nodo attacchi solaio Demolizione totale

Class SK



Descrizione

STIFERITE CLASS SK è un pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato.

Linee Guida per la stesura di capitolati tecnici

Isolante termico **STIFERITE CLASS SK** in schiuma polyiso espansa rigida (PIR) di spessore …(*), con rivestimenti di velo vetro saturato su entrambe le facce, avente:

Resistenza Termica Dichiarata: R_D= … m^2K/W (EN 13165 Annessi A e C)

... **(si consiglia di completare la voce di capitolato indicando le caratteristiche e prestazioni più rilevanti per la specifica applicazione)**

Prodotto da azienda certificata con: sistema di gestione qualità **UNI EN ISO 9001:2015**, sistema di gestione ambientale **UNI EN ISO 14001:2015**, sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori **OHSAS 18001:2007**, avente la marcatura di conformità CE su tutta la gamma.
Disponibile la **Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)** verificata da Ente terzo e la valutazione dei **Criteri Minimi Ambientali (CAM)** previsti dal **Green Public Procurement (GPP)**.

(*) I parametri variano in funzione dello spessore. Per inserire i valori corrispondenti allo spessore utilizzato si utilizzino i dati riportati nella presente scheda tecnica.

Formato standard

lunghezza e larghezza:
600 x 1200 mm
spessori nominali [d] EN 823:
da 20 a 200 mm

Principali applicazioni

Isolamento di pareti con soluzioni a "cappotto" (ETICS)
Correzione di ponti termici, zoccolature e controsoffitti

PRINCIPALI CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI - rilevanti ai fini della marcatura CE [UNI EN 13165]

Conducibilità Termica Dichiarata - λ_D [W/mK]
UNI EN 13165 Annessi A e C
Valore determinato alla temperatura media di 10° C
v. tabella valori in funzione dello spessore

Resistenza Termica Dichiarata - $R_D = d/\lambda_D$ - [m^2K/W]
v. tabella valori in funzione dello spessore

Trasmittanza Termica Dichiarata - $U_D = \lambda_D/d$ [W/m^2K]
v. tabella valori in funzione dello spessore

d mm	λ_D W/mK	R_D m^2K/W	U_D W/m^2K
20	0,028	0,71	1,40
30		1,07	0,93
40		1,43	0,70
50		1,79	0,56
60		2,14	0,47
70		2,50	0,40
80	0,026	3,08	0,33
100		3,85	0,26
120	0,025	4,80	0,21
140		5,60	0,18
160		6,40	0,16
180		7,20	0,14
200		8.00	0,12

Reazione al fuoco
EN 13501-1, EN 11925-2, EN 13823
EUROCLASSE E

Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento - σ_{10} [kPa]
EN 826
> 150 codice etichetta CE [CS(10/Y)150]

Resistenza a trazione perpendicolare alle facce - σ_{mt} [kPa]
EN 1607
> 80 codice etichetta CE [TR80]

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore - μ
EN 12086
56 ± 2 codice etichetta CE [MU56]

Assorbimento d'acqua per immersione parziale, breve periodo [kg/m^2]
EN 1609
< 0,2 codice etichetta CE [WS(P)0,2]

Assorbimento d'acqua per immersione totale, lungo periodo [% in peso]
EN 12087
<2 per d < 120 mm codice etichetta CE [WL(T)2]
<1 per d ≥ 120 mm codice etichetta CE [WL(T)1]

Planarità dopo bagnatura da una faccia [mm]
EN 13165
≤ 10 mm codice etichetta CE [FW10]

Planarità S_{max} [mm]
EN 825
≤ 5

Stabilità dimensionale [Livello]
EN 1604
48 h, 70° C, 90% UR
3 per d < 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)3]
4 per d ≥ 40 mm codice etichetta CE [DS(70;90)4]
48 h, -20° C
2 codice etichetta CE [DS(-20;0)2]

Tolleranze [mm]
EN 13165
Lunghezza e Larghezza
± 5 < 1000 mm codice etichetta CE [T2]
± 7,5 da 1001 a 2000 mm codice etichetta CE [T2]

Spessore [mm]
± 2 < 50 mm codice etichetta CE [T2]
± 3 da 50 a 75 mm codice etichetta CE [T2]
+ 5/-2 ≥75 mm codice etichetta CE [T2]

ALTRE CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI

- **Massa volumica pannello - ρ [kg/m³]**
  Valore medio comprensivo del peso dei rivestimenti
  35 ± 1,5
- **Calore Specifico - Cp [J/kg° K]**
  Valore medio
  1464
- **Resistenza alla compressione, 2 % di schiacciamento - σ_2 [kg/m²]**
  EN 826
  > 5000
- **Resistenza Pull through - [N]**
  EN 16382
  > 750
- **Fattore di sicurezza per resistenza al carico di vento - γ_m**
  EN 13165
  1,5
- **Modulo al taglio [kPa]**
  EN 12090
  1656
- **Resistenza al taglio [kPa]**
  EN 12090
  109
- **Resistenza alla diffusione del vapore d'acqua - Z [m²hPa/mg]**
  EN 12086
  4,2 - 8,0
- **Stabilità dimensionale - [% variazione dimensionale]**
  EN 1604
  48 h, 70° C
  < 1
- **Stabilità dimensionale - [% variazione dimensionale]**
  EN 1603
  28 giorni, 23° C e 50 % UR
  ≤ 0,01
- **Percentuale in peso di materiale riciclato - [%]**
  Valore medio
  2,57

CERTIFICAZIONI & RAPPORTI DI PROVA AGGIUNTIVI

- **Certificazioni aziendali di sistema:**
  - Sistema di gestione qualità UNI EN ISO 9001:2015,
  - Sistema di gestione ambientale UNI EN ISO 14001: 2015,
  - Sistema di gestione a tutela della Sicurezza e della Salute dei Lavoratori OHSAS 18001: 2007
- **Benestare tecnico Europeo EOTA - ETAG 04**
  ETICS - Sistema a cappotto:
  - ETA 09/0060
  - ETA 10/0027
  - ETA 12/0377
  - ETA 13/0320
  - ETA 13/0871
- **Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD verificata da Ente terzo**
  ISO 14025 e EN 15804
- **Fonoisolamento acustico a parete - R_w [dB]**
  UNI EN ISO 140-3, UNI EN ISO 717-1
  52
  I dati relativi alla stratigrafia valutata sono riportati nel Quaderno Tecnico "Isolamento Acustico"
- **Emissioni di composti organici volatili**
  UNI EN ISO 16000
  Classe Francese A



NOTE

- **Stabilità alla temperatura**
  I pannelli Stiferite sono utilizzabili in un campo di temperature continue normalmente comprese fra -40° C e +110° C. Per brevi periodi possono sopportare anche temperature fino a + 200° C, o equivalenti alla temperatura del bitume fuso, senza particolari problemi. Lunghe esposizioni a temperature superiori a +110° C potranno causare deformazioni alla schiuma o ai rivestimenti, ma non provocare sublimazioni o fusioni.
- **Aspetto**
  Eventuali piccole zone di non adesione tra i rivestimenti e la schiuma o bolle hanno origine dal processo produttivo e non pregiudicano in modo alcuno le proprietà fisico-meccaniche dei pannelli. Per garantire una corretta adesione a rasanti ed adesivi si consiglia di rimuovere le piccole zone di non adesione tra rivestimento e schiuma. Un'esposizione prolungata della schiuma poliuretanica ai raggi UV può causarne l'ossidazione superficiale, il fenomeno non pregiudica le caratteristiche e prestazioni fondamentali del pannello
- **Imballo & Stoccaggio**
  I pannelli STIFERITE di misure standard vengono normalmente confezionati in termoretraibile, in pacchi chiusi e provvisti di etichetta CE.
  Stoccare i pacchi sollevati da terra. Per lunghi periodi ricoverarli al coperto e all'asciutto.
- **Avvertenze**
  I dati riportati nella presente scheda sono vincolanti per le caratteristiche e prestazioni previste dalla marcatura CE.
  Altre caratteristiche e informazioni aggiuntive potranno essere modificate anche in assenza di specifica segnalazione.
- **Altre informazioni**
  Per ottenere dati tecnici non contemplati nella presente Scheda Tecnica contattare l'Ufficio Tecnico STIFERITE

ISOLCORE L'isolamento più sottile e performante al mondo - CZ Pannello isolante

Dati tecnici

Spessori disponibili ***(altri su richiesta)***	10-13-20-30 mm
Densità	400 kg/m3
Peso	4 kg/m2
Resistenza alla compressione	140 - 180 kPa
Conducibilità termica λD	0,002 W/mK *
Resistenza caldo/ freddo	da -50 a +90°C
Resistenza al vapore acqueo	1688 μ +/- 253 **
Classe di reazione al fuoco	classe A2 fl -S1***
Calore specifico	1000 J/kgK
Formati standard (in mm) ***(altri su richiesta)***	1000x550 600x550 350x550 350x250 1000x350 550x350 250x350 150x350 (+ formato speciale 50 x 350; 2 pz coprono la distanza tra i 2 distanziatori, posti sotto la struttura.*Sotto la struttura è utilizzabile per pacchetti con spessore totale a partire da 5 cm. Su pacchetti da 3 o 3,5 cm di spessore sotto la struttura viene utilizzato il Nanofelt in aerogel.*)

Spessore (mm)	λD W/mK	Rd m2K/W	Ud W/m2K
CZ 10 (10mm)	0,002	5,00	0,20
CZ 13 (13mm)		6,50	0,15
CZ 20 (20mm)		10,00	0,10
CZ 30 (30mm)		15,00	0,07

* Valore certificato da laboratorio **CMR (ACCREDIA),**rapporto tecnico n° 1992-1-21 .Resistenza termica e conduttività termica testata con il metodo della piastra calda con anello di guardia secondo la norma UNI EN 12667:2002**:** test eseguiti su più prove (da Ist. Giordano e CMR)**.** Il valore di conducibilità termico dichiarato è conforme alla **UNI EN 10456:2008**

a.m.a. composites S.r.l.
Tel. +39 - 059 - 851754
Fax +39 - 059 - 5221161
www.aeropan.it
www.amacomposites.it

AEROPAN

Minimo spazio, massimo isolamento

Aeropan è un pannello studiato per l'isolamento termico di quelle strutture edilizie che necessitano del maggior grado di coibentazione nel minor spazio possibile. È composto da un isolante nanotecnologico in Aerogel accoppiato a una membrana traspirante in polipropilene armato con fibra di vetro ed è pensato per la realizzazione di isolamenti termici a basso spessore.

Con uno spessore di 10 mm - e una conducibilità termica pari a 0,015 W/mK - Aeropan permette di ridurre la dispersione energetica recuperando spazio negli edifici civili, commerciali e residenziali. Le proprietà del pannello - minima conduttività termica, flessibilità e resistenza alla compressione, idrofobicità e facilità di posa - ne fanno un prodotto indispensabile per garantire il massimo isolamento termico sia nelle strutture nuove che da riqualificare.

È il prodotto ideale per applicazioni su pareti perimetrali esterne e pareti interne, intradossi, imbotti delle finestre, solai e per la risoluzione dei ponti termici. Aeropan si pone quale scelta ottimale per le ristrutturazioni esterne e interne, nonché nel recupero edilizio e negli edifici storici sottoposti a vincoli architettonici che abbiano bisogno del massimo comfort abitativo.

LE PRESTAZIONI

Aeropan è un pannello isolante semi-rigido formato da fibre rinforzate ad alta densità, completamente saturate di Aerogel nanoporoso a bassissima conducibilità termica e un finitura in PP armato con fibra di vetro. In soli 10 mm di spessore il pannello è in grado di offrire un isolamento termico da -50°C a + 450°C. Queste caratteristiche rendono Aeropan **estremamente adatto all'utilizzo nelle più svariate condizioni ambientali,** senza che queste possano alterare le prestazioni e la durabilità nel tempo.

CAPITOLATO PER CAPPOTTO ESTERNO/INTERNO

Realizzazione di isolamento termico del tipo a cappotto esterno/interno, per superfici verticali ed orizzontali, quali aggetti di balconi o simili, costituito da un pannello semirigido, formato da uno strato di Aerogel di silice rinforzata con fibre in PET (feltro), del tipo Aeropan , idrorepellente e traspirante, fornito in pannelli da mm 1400x720, per uno spessore nominale di mm 10 (o in pannelli aventi spessore di 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm) con densità volumetrica pari a 230 kg/m³, conduttività termica pari a 0,015 W/mK, resistenza termica Rd pari a 0,67 m²K/W a cm di spessore, temperatura di impiego compresa fra -50°C /+450°C, permeabile alla diffusione del vapore (μ 5), impermeabile all'acqua di superficie e/o di immersione con angolo di contatto all'acqua non inferiore a 150°, steso su superfici piane o curve, verticali o orizzontali, previo incollaggio, posato assicurandosi che il fondo sia liscio, asciutto, non polveroso, perfettamente integro e privo di asperità acuminate.

CARATTERISTICHE TECNICHE

DATI TECNICI	VALORI	UNITÀ	METODO DI PROVA
Formato pannello	1400x720	mm	
Spessori	6/10/20/30/40/50/60	mm	
Conducibilità termica (λ) a 10 °C	0,015	W/m·K	EN12667
Permeabilità al vapore acqueo	0,07	m	EN12086
Temperature limite di impegno	-50 +450	°C	
Resistenza alla compressione (per una deformazione del 10%)	80	KPa	EN826
Calore specifico	1.000	J/kgK	ASTM E 1269
Densità nominale	230 ± 10%	kg/m³	
Classe di reazione al fuoco	$B_{S1}D_0$		EN-13501-1
Assorbimento di acqua a lungo termine per immersione parziale	Wp ≤ 0,01	kg/m²	EN 1609
Colore	bianco		

RESISTENZA TERMICA

SPESSORE	6	10	20	30	40
R (m² K/W)	0,40	0,67	1,34	2,01	2,68

*test di reazione al fuoco realizzati su sistema a cappotto integrale

Specifiche tecniche

	MB WALL
Larghezza utile	1000 mm
Lunghezza	Variabile secondo le necessità costruttive relative alle dimensioni delle pareti da realizzare. Lunghezza produttiva massima 15 m. Limiti per trasporto standard 13,5 m.
Spessore pannello	25 / 30 / 35 / 40 / 50 / 60 / 80 / 100 / 120 / 150
Coibentazione	Sono utilizzate **formulazioni poliuretaniche esenti da CFC e HCFC** che producono schiume isolanti anigroscopiche, antimuffa e ad alto contenuto di celle chiuse (>95%). Per le richieste di prestazione al fuoco, possono essere impiegate schiume con reazione al fuoco particolarmente performanti.
Densità media totale	38 kg/m^3 ± 3
Conducibilità termica λ	λ = 0,021 W/mK
Tolleranze	Spessore pannello: ± 2 mm se ≤ 100 mm; ± 2 % se > 100 mm Lunghezza pannello: ± 5 mm se L ≤ 3 m, ± 10 mm se L > 3 m Larghezza (passo) pannello: ± 2 mm Incurvamento longitudinale: ≤ 0,5% della lunghezza Incurvamento trasversale: ± 8,5 mm per metro Scostamento dalla rettilineità: ≤ 1 mm per metro Scostamento dalla planarità: ≤ 1,5 mm per L >700 mm Scostamento dall'ortogonalità: ± 3 mm Disallineamento dei supporti: ≤ 3 mm
	Vengono considerate nella norma leggere fuoriuscite di schiuma dai giunti ed eventuali lievi mancanze o irregolarità nella posizione delle guarnizioni.

CARATTERISTICHE DELLE TAVOLE IN LEGNO DI ABETE UTILIZZATE PER LA PRODUZIONE DEI PANNELLI

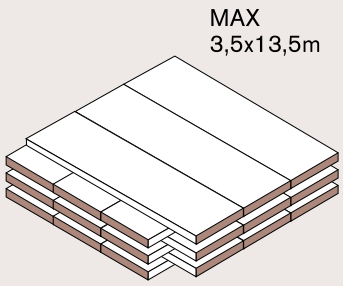
Classe di resistenza delle tavole C24 (riferimento standard europeo UNI-EN338 del 2009) Massa volumica caratteristica 350 kg/m3, massa volumica media: 420 kg/m3

CHARACTERISTIC VALUES OF SPRUCE BOARDS USED FOR PRODUCTION OF PANELS

Minimum strength class of C24 boards (European standard reference UNI-338/2009) Characteristic density: 350 kg/m³, mean density: 420 kg/m³

Modulo elastico Modulus of elasticity		
Modulo elastico medio parallelo alle fibre Mean modulus of elasticity parallel to fibres	$E_{0,mean}$	11.000 Mpa
Modulo elastico caratteristico parallelo Characteristic parallel modulus of elasticity	$E_{0,05}$	7.400 Mpa
Modulo elastico medio perpendicolare Mean perpendicular modulus of elasticity	$E_{90,mean}$	370 Mpa
Modulo di taglio medio Mean shear modulus	G_{mean}	690 Mpa

Valori di resistenza Strength values		
Flessione Bending strength	$f_{m,k}$	24 Mpa
Trazione parallela alla fibratura Tension parallel to grain	$f_{t,0,k}$	14 Mpa
Trazione perpendicolare alla fibratura Tension perpendicular to grain	$f_{t,90,k}$	0,4 Mpa
Compressione parallela alla fibratura Compression parallel to grain	$f_{c,0,k}$	21 Mpa
Compressione perpendicolare alla fibratura Compression perpendicular to grain	$f_{c,90,k}$	2,5 Mpa
Taglio Shear	$f_{v,k}$	4 Mpa



Per il campo di applicazione dei valori riportati e le relative note, fare riferimento alla sopracitata normativa.

Refer to the above standards for the field of application of the values given and the relevant notes.

CARATTERISTICHE DEL PANNELLO XLAM DOLOMITI

Nell'ETA-12/0347 sono reperibili tutte le caratteristiche proprie del pannello XLAM DOLOMITI, compresi i valori meccanici (resistenze, moduli elastici etc).

CHARACTERISTIC VALUES OF XLAM DOLOMITI PANELS

ETA-12/0347 contains all characteristics of the XLAM DOLOMITI panels, including mechanical values (strengths, modulus of elasticity, etc.).

Esempio di valori tabellati nell'ETA Example of values in ETA tables		
Conducibilità termica Thermal conductivity	λ	0,12 W/(mK)
Calore specifico Cp Specific heat Cp	Cp	1600 J/(kgK)

Velocità di carbonizzazione consigliata per il calcolo Charring rate suggested for calculation		0,7* mm/min

*Quando lo spessore residuo dello strato in fase di carbonizzazione è uguale a 3mm va considerato che questo si stacchi completamente e non vanno quindi considerati tali mm nel calcolo della sezione residua. Questo vale sia per lo strato esterno che per gli strati interni al procedere della combustione.

*When the residual thickness of the layer during carbonization is equal to 3 mm it is considered that this will become completely detached and these mm will not thus be considered as such when calculating the residual cross-section. This applies to both the outer and inner layers during the combustion process.

Caratteristiche geometriche Geometrical characteristics

Pannello XLAM DOLOMITI XLAM DOLOMITI panel											A sezione piena A Full section	A sezione netta A net section	I sezione piena I Full section	I eff I eff	I eff /I sezione piena I Eff Full section
spessore thickness	strati layers	composizione laying-up									[mm²]	[mm²]	[mm⁴]	[mm⁴]	%
57	3	19	19	19							57000	38000	15432750	14878790	96,4
83	3	33	17	33							83000	66000	47648917	47252124	99,2
90	3	30	30	30							90000	60000	60750000	58575700	96,4
100	3	33	34	33							100000	66000	83333333	80168200	96,2
120	3	40	40	40							120000	80000	144000000	138831111	96,4
100	5	17	17	32	17	17					100000	66000	83333333	62760509	75,3
124	5	30	17	30	17	30					124000	90000	155072250	136899943	88,3
137	5	33	19	33	19	33					137000	99000	214279417	188275544	87,9
158	5	40	19	40	19	40					158000	120000	328692667	295534891	89,9
172*	5*	33	33	40	33	33					172000	132000	424037333	418868444	98,8
179	5	33	40	33	40	33					179000	99000	477944917	364313356	76,2
186	5	40	33	40	33	40					186000	120000	536238000	445215805	83,0
200	5	40	40	40	40	40					200000	120000	666666667	532275556	79,8
200*	5*	40	40	40	40	40					200000	160000	666666667	661497778	99,2
217	7	40	19	40	19	40	19	40			217000	160000	851526083	721664776	84,7
240*	7*	40	40	20	40	20	40	40			240000	200000	1152000000	1115817778	84,7
252	7	33	40	33	40	33	40	33			252000	132000	1333584000	904902200	67,9
297	9	33	33	33	33	33	33	33	33	33	297000	165000	2183272750	1474984253	67,6

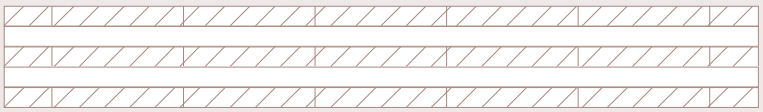
Tutti i dati si riferiscono ad una striscia di pannello di larghezza pari a 1m. In grassetto gli strati di tavole orientate parallelamente alla direzione delle tavole degli strati esterni.
All data refers to a panel strip of 1 metre in width. The layers of boards oriented in parallel to the direction of the boards of the outer layers are marked in bold.

Legenda dei simboli
A sezione piena: area trasversale della sezione piena di pannello.
A sezione netta: area trasversale della sezione netta di pannello da considerare per la verifica di compressione parallela alla fibratura esterna del pannello sollecitato in compressione semplice [area degli strati paralleli alla direzione delle tavole dello strato esterno].
I sezione piena: momento di inerzia della sezione trasversale piena [valore di confronto da non impiegare nella verifica di resistenza a flessione del pannello]
I effettivo: momento di inerzia effettivo della sezione trasversale di pannello calcolato come sopra indicato.
I effettivo / I sezione piena: rapporto che quantifica la diminuzione di rigidezza flessionale trasversale fuori piano del pannello dovuta al comportamento del pannello a sezione composta.

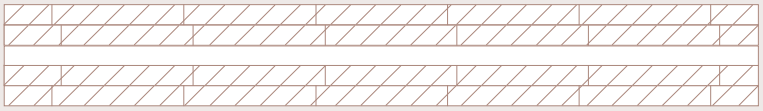
KEY to symbols
A full section: transverse area of the full section of the panel.
A net section: transverse area of the net section of the panel considered for the testing of compression parallel to the outer grain of the panel subject to simple compression [area of layers parallel to the direction of the boards of the outer layer].
I full section: moment of inertia of the full transverse section [not to be used in the bending strength test of the panel].
I eff: effective moment of inertia of the transverse section of the panel calculated as above.
I eff / I full section: relationship quantifying the decrease in transverse bending strength out of plane of the panel owing to the behaviour of the panel with the composed section.

Si propongono delle nuove stratigrafie con i 2 strati esterni orditi nella stessa direzione, indicate nella tabella con un asterisco accanto allo spessore totale del pannello ad esempio 200*.

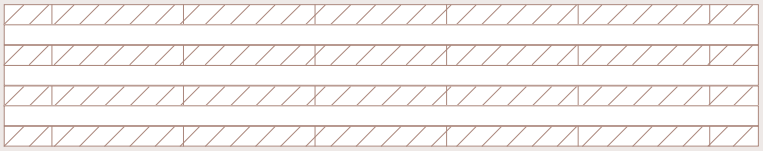
New stratigraphies are available with 2 outer layers warped in the same direction marked in the table with an asterisk next to the total thickness of the panel (e.g. 200*).



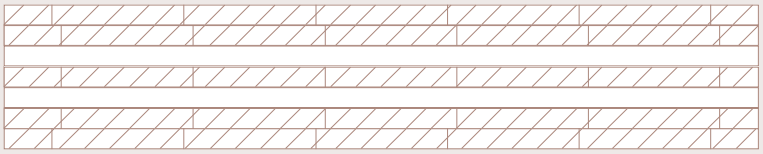
Pannello 5S
Panel 5S



Pannello 5S*
Panel 5S*



Pannello 7S
Panel 7S



Pannello 7S*
Panel 7S*

MONOBLOCCO
SISTEMA ISOLANTE INTEGRATO

MONOBLOCCO TP2

con serramento a centro muro
con spalla interna coibentata e
tapparella.

Caratteristiche

ispezione frontale dall'interno;
inserimento zanzariera;
predisposizione per comando motore;
paraspigolo con rete su contorno telaio;
inserimento quarto lato (opzionale);
parti in vista da rasare in cantiere;
spessore marmo variabile;



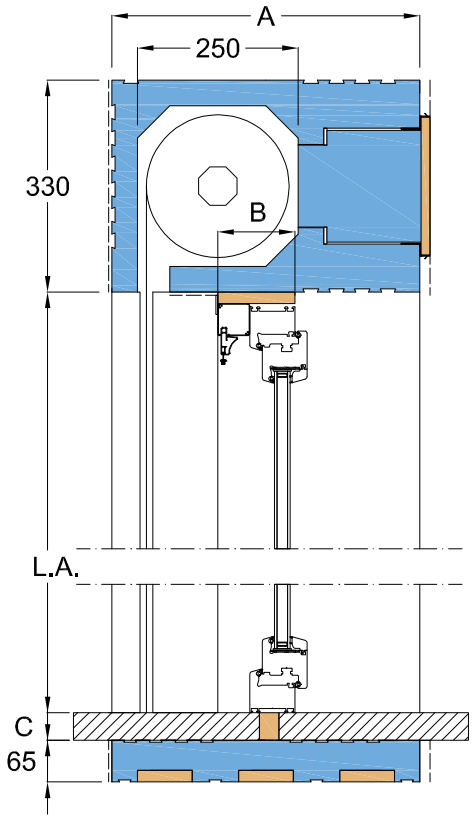
vista interna



vista esterna

Riferimenti e misure

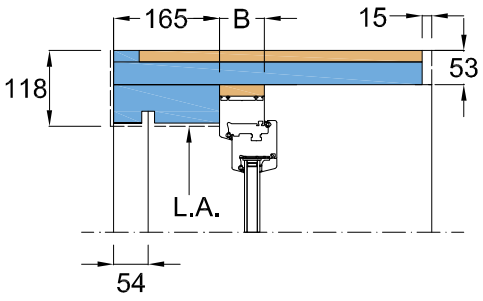
sezione verticale



legenda

A: spessore muro
(senza rasature)
B: spessore telaio infisso
C: spessore marmo
L.A.: luce architettonica

sezione orizzontale



Dimensioni massime e minime

per dimensioni non rientranti nella tabella dimensionale richiedere fattibilità in azienda.

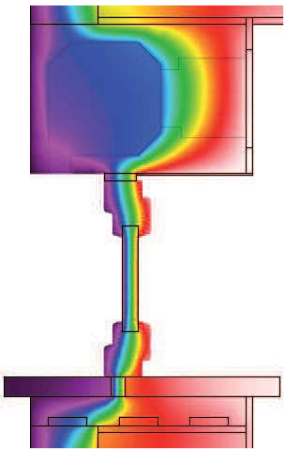
misura luce architettonica (mm)

Larghezza	**tapparella in PVC**	**tapparella in alluminio**
Minima	500	500
*Massima**	2200	3000
Altezza		
Minima	500	500
*Massima**	2500	2500

* = da verificare in base al modello tapparella e zanzariera

Prestazioni energetiche

sezione verticale

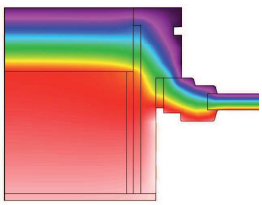


lato superiore
U = 0.19 W/m2K

lato inferiore
U = 0.39 W/m2K

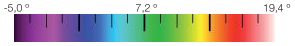
spalle
U = 0.20 W/m2K

sezione orizzontale



valori trasmittanza calcolati secondo norma EN14351-1, in situazione di installazione su muro interno costituito da latterizio da 30cm, cappotto esterno da 15cm e marmo da 4 cm posato su sottobancale.

legenda



MONOBLOCCO è un marchio registrato di I.S.I. srl Industria Serramenti Italiana
www.monoblocco.eu - info@isi-italia.it - T.049 9461910

REALIZZA IL TUO MICROCLIMA IDEALE

VENTILCONVETTORI
FAN CONVECTORS

SERIE - *SERIES*			MINI spessore 166 mm			MAXI spessore 220 mm				
Modelli / *Models*			**1**	**2**	**3**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**
Potenzialità Termica nominale (1) *Nominal heating capacity (1)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	2520 2170	4100 3530	5660 4870	4330 3725	4980 4285	7190 6185	9030 7770	13030 11205
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	1640 1410	2660 2290	4190 3605	3350 2885	3790 3260	5320 4750	6670 5740	9100 7825
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	1020 880	1720 1480	2620 2255	2450 2110	2730 2350	3420 2940	4230 3640	4880 4200
Portata acqua nominale (1) *Nominal water flow (1)*		l/h	221	360	497	380	438	632	793	1144
Perdita di carico (1) *Pressure drop (1)*		kPa	0,8	2,2	5,5	2,7	4,5	10,7	2,9	6,2
Potenzialità Termica (2) *Heating capacity (2)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	1530 1320	2480 2135	3430 2950	2640 2270	3030 2610	4360 3750	5480 4715	7910 6810
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	990 850	1610 1390	2540 2185	2040 1755	2300 1980	3350 2885	4040 3475	5520 4750
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	610 525	1030 890	1580 1360	1490 1285	1650 1420	2070 1780	2560 2205	2950 2540
Portata acqua nominale (2) *Nominal water flow (2)*		l/h	267	434	600	460	528	762	957	1380
Perdita di carico (2) *Pressure drop (2)*		kPa	1,1	3,3	8,2	4,1	6,7	16,1	4,4	9,3
Potenzialità frigorifera nominale (calore totale) (3) *Nominal cooling capacity (total heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	800 690	1320 1135	2190 1885	1410 1215	2010 1730	3060 2630	3920 3370	5590 4810
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	630 545	870 750	1660 1430	1060 915	1550 1335	2430 2090	2860 2460	4040 3475
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	470 405	660 570	960 830	890 765	1040 895	1560 1340	1650 1420	1870 1610
Potenzialità frigorifera nominale (calore sensibile) (3) *Nominal cooling capacity (sensible heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	650 560	1050 905	1650 1420	1170 1010	1580 1360	2250 1935	2970 2555	4320 3715
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	480 415	680 585	1220 1050	870 750	1180 1015	1740 1500	2130 1835	2990 2575
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	330 285	480 415	710 610	690 595	800 690	1080 930	1240 1670	1420 1220
Portata acqua nominale (3) *Nominal water flow (3)*		l/h	137	227	376	243	346	525	673	960
Perdita di carico (3) *Pressure drop (3)*		kPa	0,4	1,4	4,3	1,4	4,0	10,7	2,8	6,2

Caratteristiche - *Characteristics*

Portata aria - *Air flow*	**vel. Max.** *Max. speed*	m^3/h l/s	200 56	280 78	430 119	390 108	390 108	550 153	690 192	1000 278
	vel. Med. *Med. speed*	m^3/h l/s	120 33	170 47	300 83	280 78	280 78	400 111	480 133	650 180
	vel. Min. *Min. speed*	m^3/h l/s	70 19	105 29	175 49	190 53	190 53	230 64	285 79	320 89
Livello di pressione (4) e potenza (5) sonora *Sound pressure (4) and sound power (5) level*	**vel. Max.** *Max. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	43 53	40 49	40 50	35 44	36 45	38 47	41 51	44 53
	vel. Med. *Med. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	35 45	32 41	32 41	28 37	27 37	29 38	31 40	31 40
	vel. Min. *Min. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	25 35	22 32	25 34	24 33	23 32	24 34	25 35	26 36
Potenza max. assorbita *Max. power input*	**vel. Max.** *Max. speed*	W	23	25	39	39	23	41	80	142
Tensione di alimentazione *Power supply*			230 Volt / 1 Ph / 50 Hz			230 Volt / 1 Ph / 50 Hz				
Contenuto acqua batteria *Coil water contents*		l.	0,38	0,64	1,89	0,51	0,85	1,20	1,53	1,87
Attacchi idraulici filettati *Threaded hydr. connections*		Ø	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"

Dimensioni e pesi con mantello - *Dimensions and weights with covering*

Larghezza - *Width*		mm	600	800	1000	600	800	1000	1200	1400
Profondità - *Depth*		mm	166	166	166	220	220	220	220	220
Altezza - *Height*		mm	450	450	450	450	450	450	450	450
Altezza piedini - *Pedestal height*		mm	120	120	120	120	120	120	120	120
Peso - *Weight*		kg	16	18	23	19	21	25	30	32

Legenda - *Legend*

(1) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 70° C con Δt 10° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 70° C, hot water rise 10° C.

(2) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 50° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 50° C, hot water rise 5° C.

(3) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 27° C, 50% U.R.; temperatura acqua entrante 7° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 27° C, 50% R.H.; entering water temperature 7° C., hot water rise 5° C.

(4) Pressione sonora rilevata in ambiente di 85 m^3 e tempo di riverbero 0,5 secondi.
Sound pressure level, measured in a room of 85 m^3 volume, reverberating time of 0,5 seconds.

(5) Potenza sonora rilevata secondo UNI EN ISO 3744.
Sound power level, measured at UNI EN ISO 3744.

AERNOVA Srl • Via Vignale 29/31 • 35014 Fontaniva (PD) • Tel. +39 049 9401990 r.a. Fax +39 049 5974877 • info@aernovagroup.it • **www.aernovagroup.it**

VENTILCONVETTORI
FAN CONVECTORS

SERIE - *SERIES*			SUPERMAXI spessore 270 mm	
Modelli / *Models*			**5**	**6**
Potenzialità Termica nominale (1) *Nominal heating capacity (1)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	21210 18240	28500 24510
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	16260 13990	21580 18560
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	10440 8980	13470 11585
Portata acqua nominale (1) *Nominal water flow (1)*		l/h	1865	2505
Perdita di carico (1) *Pressure drop (1)*		kPa	10,7	25,0
Potenzialità Termica (2) *Heating capacity (2)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W kCal/h	12920 11115	17360 14930
	vel. Med. *Med. speed*	W kCal/h	9890 8510	13120 11290
	vel. Min. *Min. speed*	W kCal/h	6340 5455	8170 7030
Portata acqua nominale (2) *Nominal water flow (2)*		l/h	2256	3030
Perdita di carico (2) *Pressure drop (2)*		kPa	16,0	37,5
Potenzialità frigorifera nominale (calore totale) (3) *Nominal cooling capacity (total heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	9420 8100	13490 11600
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	7460 6420	10570 9090
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	4980 4285	6900 5940
Potenzialità frigorifera nominale (calore sensibile) (3) *Nominal cooling capacity (sensible heat) (3)*	**vel. Max.** *Max. speed*	W Frig/h	6840 5885	9620 8275
	vel. Med. *Med. speed*	W Frig/h	5290 4550	7350 6325
	vel. Min. *Min. speed*	W Frig/h	3420 2940	4640 3990
Portata acqua nominale (3) *Nominal water flow (3)*		l/h	1617	2316
Perdita di carico (3) *Pressure drop (3)*		kPa	12,5	27,5

Caratteristiche - *Characteristics*

Portata aria - *Air flow*	**vel. Max.** *Max. speed*	m^3/h l/s	2000 560	2600 720
	vel. Med. *Med. speed*	m^3/h l/s	1400 390	1800 500
	vel. Min. *Min. speed*	m^3/h l/s	800 220	1000 280
Livello di pressione (4) e potenza (5) sonora *Sound pressure (4) and sound power (5) level*	**vel. Max.** *Max. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	56 66	58 68
	vel. Med. *Med. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	47 57	50 59
	vel. Min. *Min. speed*	pressione dB(A) potenza dB(A)	43 52	44 52
Potenza max. assorbita *Max. power input*	**vel. Max.** *Max. speed*	W	350	370
Tensione di alimentazione *Power supply*			230 Volt / 1 Ph / 50 Hz	
Contenuto acqua batteria *Coil water contents*		l.	2,55	3,57
Attacchi idraulici filettati *Threaded hydr. connections*		Ø	3/4"	3/4"

Dimensioni e pesi con mantello - *Dimensions and weights with covering*

Larghezza - *Width*	mm	1100	1400
Profondità - *Depth*	mm	270	270
Altezza - *Height*	mm	650	650
Altezza piedini - *Pedestal height*	mm	160	160
Peso - *Weight*	kg	70	90

Legenda - *Legend*

(1) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 70° C con Δt 10° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 70° C, hot water rise 10° C.

(2) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 20° C; temperatura acqua entrante 50° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 20° C; entering water temperature 50° C, hot water rise 5° C.

(3) Alle seguenti condizioni: temperatura ambiente 27° C, 50% U.R.; temperatura acqua entrante 7° C con Δt 5° C.
Under following conditions: indoor temperature 27° C, 50% R.H.; entering water temperature 7° C., hot water rise 5° C.

(4) Pressione sonora rilevata in ambiente di 85 m^3 e tempo di riverbero 0,5 secondi.
Sound pressure level, measured in a room of 85 m^3 volume, reverberating time of 0,5 seconds.

(5) Potenza sonora rilevata secondo UNI EN ISO 3744.
Sound power level, measured at UNI EN ISO 3744.

Lastra in gesso rivestito fibrato Gyproc HABITO™ FORTE 13

Norma EN 520
DoP: LA-HabitoForte V1

	Cartone della superficie a vista di colore bianco
	Cartone della superficie non a vista di colore avorio





Lastra in gesso rivestito di tipo speciale (tipo **D F I R** secondo EN 520), con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è inoltre additivato con un quantitativo elevato di fibre di vetro; tali caratteristiche conferiscono al prodotto un eccezionale grado di durezza superficiale, di resistenza meccanica e di portata ai carichi, anche con semplici viti da legno truciolari. Inoltre contribuisce ad incrementare la resistenza al fuoco e il potere fonoisolante nei sistemi in cui è installata. La speciale carta dalla colorazione particolarmente bianca agevola le operazioni di finitura.
La lastra può essere impiegata per la realizzazione di sistemi in cui sia richiesta un'elevata resistenza meccanica, portata ai carichi, e resistenza agli urti. È idonea per tutti gli ambiti costruttivi (residenziale, terziario, ecc.).

Principali caratteristiche fornite dai sistemi in cui le Habito™ Forte sono installate

RESISTENZA AI CARICHI ANCHE CON NORMALI VITI DA LEGNO

Portata ai carichi per l'attrezzabilità dei sistemi – resistenza a taglio (fattore sicurezza 2)

Vite da legno truciolare ∅ 6 mm	1 x Habito™ Forte 13	Tassello a gabbia in acciaio	1 x Habito™ Forte 13
	**40 kg** per singolo punto di fissaggio		**160 kg** per singolo punto di fissaggio

SOSTENIBILITÀ



- **VOC:** Habito™ Forte non contiene formaldeide e altre sostanze dannose per la salute - classificazione **A+** (EN ISO 16000-9:2006).
- **CAM:** i **sistemi costruttivi** a secco Gyproc che utilizzano le lastre **Habito™ Forte** rispondono ai **requisiti minimi ambientali** imposti dal nuovo **Decreto sui CAM (D.M. 11 Ottobre 2017)**.

Habito™ Forte è prodotto in Italia con materiali di origine naturale.

Applicazione delle lastre Habito™ Forte

POSA: FACILITÀ E RIDUZIONE TEMPI

Lavorabilità di una normale lastra in gesso rivestito standard

Taglio con semplice cutter, trattamento dei giunti per ottenere superficie pronta per ricevere la finitura. Taglio agevolato "Incidi-piega-strappa" che riduce le operazioni di posa.
Vincolo alla struttura metallica mediante le speciali viti Gyproc per lastre ad alta densità. Vincolo alla struttura in legno mediante le speciali viti Gyproc per lastre ad alta densità o graffe in acciaio. Possibilità di vincolo "lastra su lastra"

Milano, 14/09/2018

Le informazioni contenute in questa scheda sono il risultato delle conoscenze disponibili alla data di pubblicazione. Saint-Gobain PPC Italia non si assume alcuna responsabilità per danni a persone o cose derivanti da un uso improprio di tali informazioni e si riserva il diritto di modificare i dati senza preavviso.

Saint-Gobain PPC Italia S.p.A.
Sede in Milano - Via Ettore Romagnoli, 6
Capitale Sociale Euro 77.305.082,40 i.v. - Iscritta alla C.C.I.A.A. di MILANO
Codice Fiscale e N. iscrizione Registro Imprese 08312170155 - Partita IVA: 08312170155 - N. Rea: 1212939
Soggetta ad attività di direzione e coordinamento di SAINT-GOBAIN PRODUITS POUR LA CONSTRUCTION S.A.S.

Gyproc SAINT-GOBAIN

SCHEDA TECNICA

Caratteristiche	Norme di riferimento	Valore
Tipo	**EN 520 – 5.2**	**D F I R**
Bordi	**Longitudinale**	**Bordo assottigliato**
	Trasversale	**Bordo dritto**
Spessore	**EN 520 – 5.4**	**12,5 mm**
Tolleranza spessore		**± 0,5 mm**
Larghezza	**EN 520 – 5.2**	**1200 mm**
Tolleranza larghezza		**0/- 4 mm**
Lunghezza	**EN 520 – 5.3**	**2000 – 2800 – 3000 mm**
Fuori squadro	**EN 520 – 5.5**	**≤ 2,5 mm/m**
Peso		**12,3 ± 0,2 kg/m²**
Densità		**985 ± 15 kg/m³**
Reazione al fuoco	**EN 13501-1**	**A2-s1,d0**
Carico di rottura a flessione longitudinale	**EFFETTIVO MISURATO***	**> 1400 N**
(limite carico di rottura a flessione longitudinale)	EN 520 – 4.1.2	≥ 725 N
Carico di rottura a flessione trasversale	**EFFETTIVO MISURATO***	**> 600 N**
(limite carico di rottura a flessione trasversale)	EN 520 – 4.1.2	≥ 300 N
Durezza superficiale	**EN 520 – 5.12**	**Ø impronta ≤ 15 mm**
Conducibilità termica λ	**EN 10456**	**0,25 W/mK**
Fattore di resistenza igroscopica μ	**EN 10456**	**Campo secco: 10**
		Campo umido: 4

* Valore medio effettivo misurato durante la produzione

Marcatura della superficie a vista	Bordo ribassato: Logo Habito™ Forte
Marcatura della superficie non a vista	Habito™ Forte 13 – CE – DFIR – EN 520 – A2-s1,d0 – Data e ora di produzione – Paese di produzione

Sistemi costruttivi certificati – www.gyproc.it/habito-forte

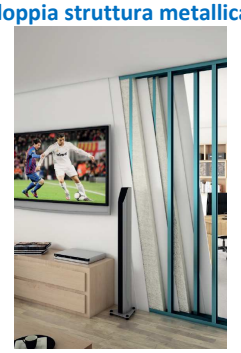
HF1

Pareti divisorie interne a singola struttura metallica



HF2

Pareti divisorie interne a doppia struttura metallica



HF3

Contropareti interne



HF4

Pareti divisorie interne a singola struttura in legno



Milano, 14/09/2018

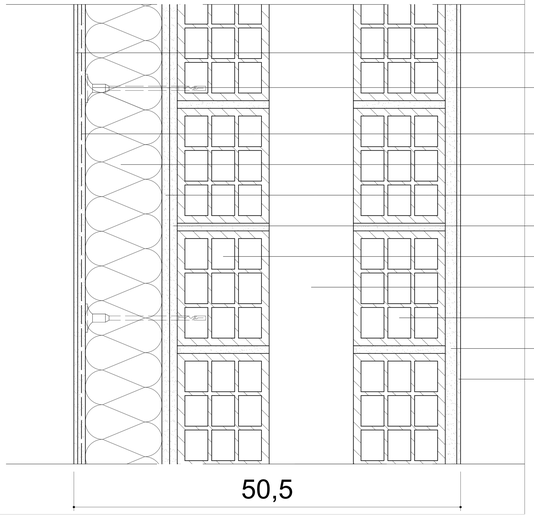
Le informazioni contenute in questa scheda sono il risultato delle conoscenze disponibili alla data di pubblicazione. Saint-Gobain PPC Italia non si assume alcuna responsabilità per danni a persone o cose derivanti da un uso improprio di tali informazioni e si riserva il diritto di modificare i dati senza preavviso.

Saint-Gobain PPC Italia S.p.A.
Sede in Milano - Via Ettore Romagnoli, 6
Capitale Sociale Euro 77.305.082,40 i.v. - Iscritta alla C.C.I.A.A. di MILANO
Codice Fiscale e N. iscrizione Registro Imprese 08312170155 - Partita IVA: 08312170155 - N. Rea: 1212939
Soggetta ad attività di direzione e coordinamento di SAINT-GOBAIN PRODUITS POUR LA CONSTRUCTION S.A.S.

Gyproc SAINT-GOBAIN

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

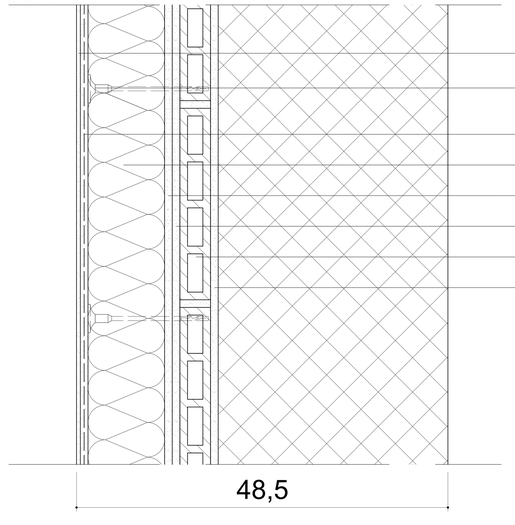
EST. INT.



- Intonaco esterno di finitura - sp. 0,5 cm
- Tassello per fissaggio meccanico
- Rasante - sp. 1 cm
- Isolante termico in poliuretano espanso rigido - sp. 10 cm
- Malta adesiva per cappotto - sp. 1 cm
- Malta di cemento - sp. 1 cm
- Laterizio forato - sp. 12 cm
- Intercapedine d'aria - sp. 11 cm
- Laterizio forato - sp. 12 cm
- Intonaco interno - sp. 1,5 cm
- Intonaco di finitura - sp. 0,5 cm

50,5

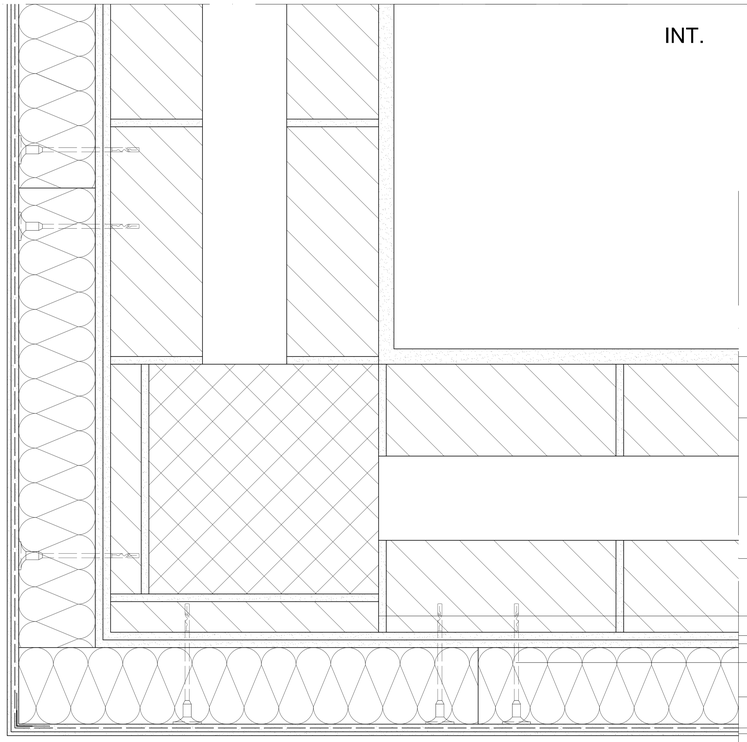
EST. INT.



- Intonaco esterno di finitura - sp. 0,5 cm
- Tassello per fissaggio meccanico
- Rasante - sp. 1 cm
- Isolante termico in PUR - sp. 10 cm
- Malta adesiva per cappotto - sp. 1 cm
- Malta di cemento - sp. 1 cm
- Tavella forata - sp. 4 cm
- Malta di cemento - sp. 1 cm

48,5

INT.



- Intonaco interno - sp. 2 cm
- Laterizio forato - sp. 12 cm
- Intercapedine d'aria - sp. 11 cm
- Laterizio forato - sp. 12 cm
- Tavella forata - sp. 4 cm
- Malta di cemento - sp. 1 cm
- Malta adesiva per cappotto - sp. 1 cm
- Tassello per fissaggio meccanico
- Isolante termico in poliuretano espanso rigido - sp. 10 cm
- Rasante - sp. 1 cm
- Intonaco esterno di finitura - sp. 0,5 cm

EST.

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro
nei condomini torinesi degli anni Sessanta

Politecnico di Torino

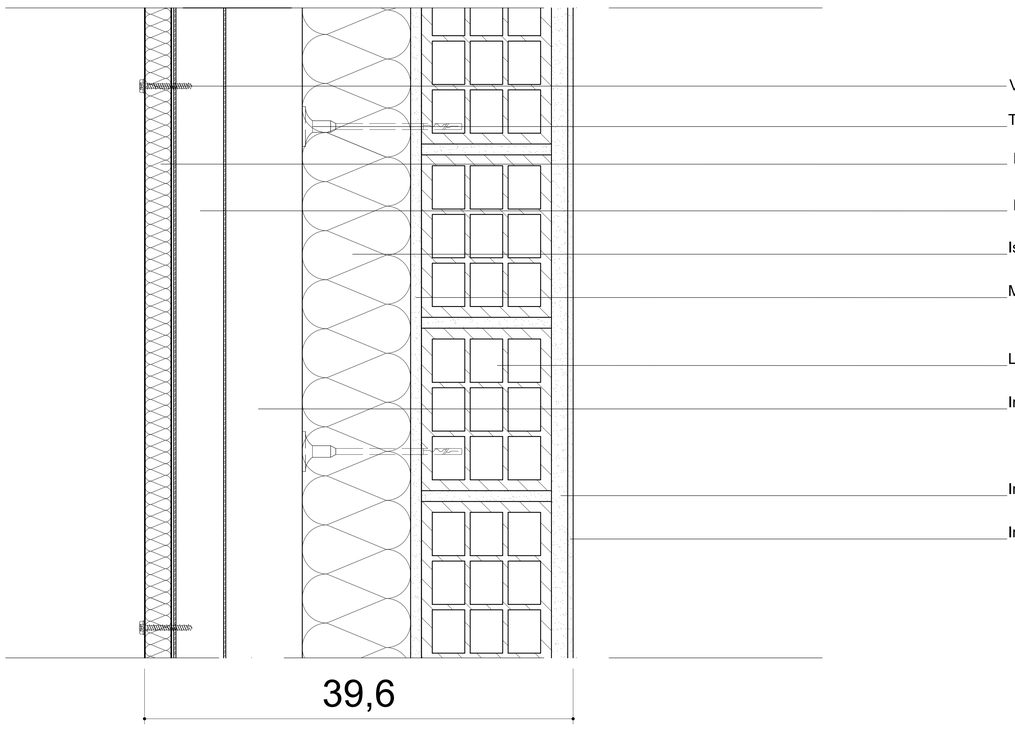
Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi
Tavola 1: Stratigrafie e nodi Soluzione 1
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

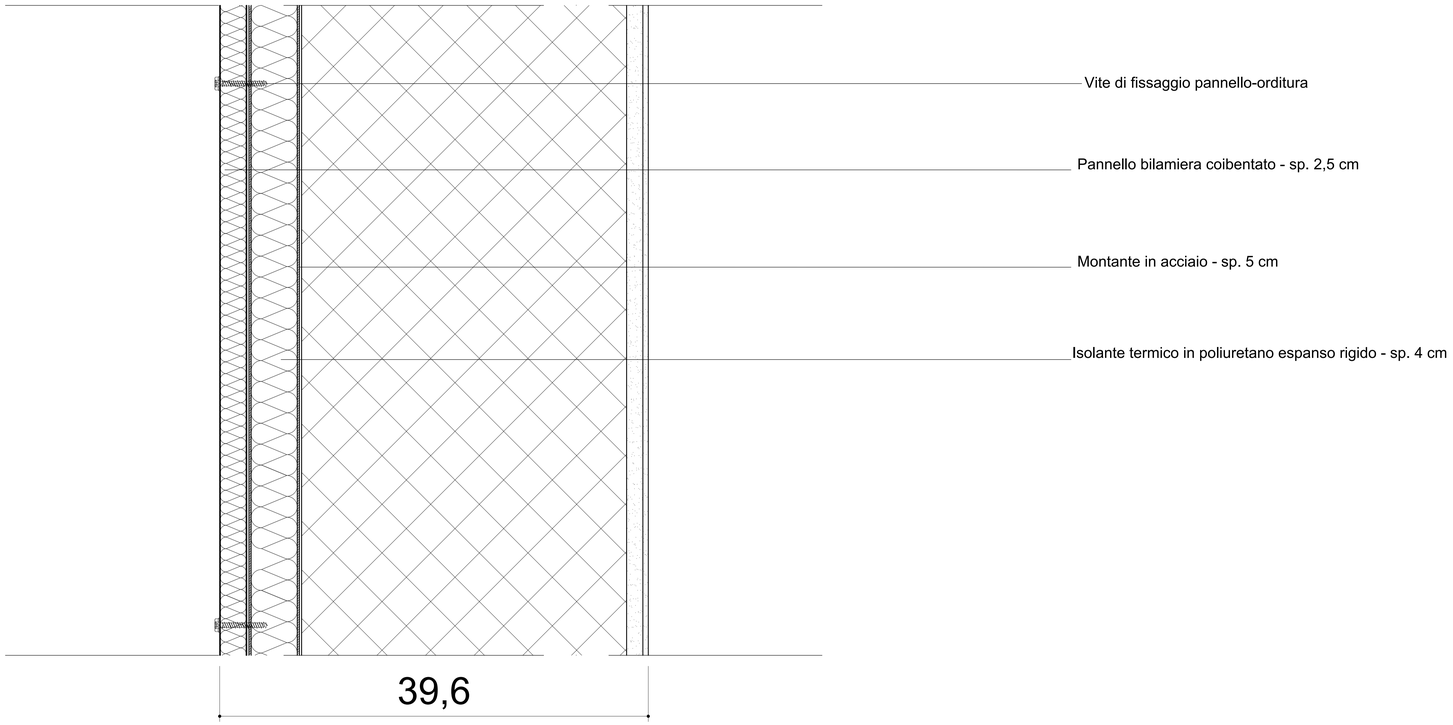
EST.

INT.



EST.

INT.



Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro
nei condomini torinesi degli anni Sessanta

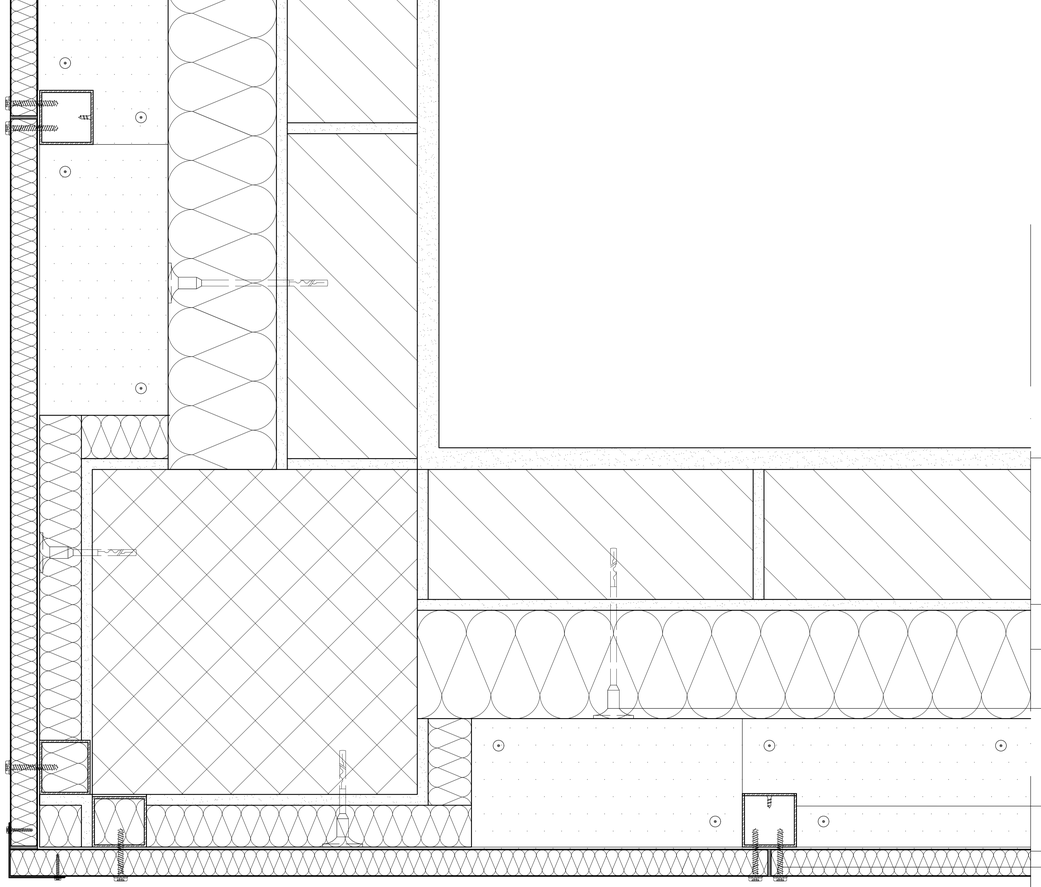
Politecnico di Torino

Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 2: Stratigrafie Demolizione parziale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

INT.



EST.

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro

nei condomini torinesi degli anni Sessanta

Politecnico di Torino

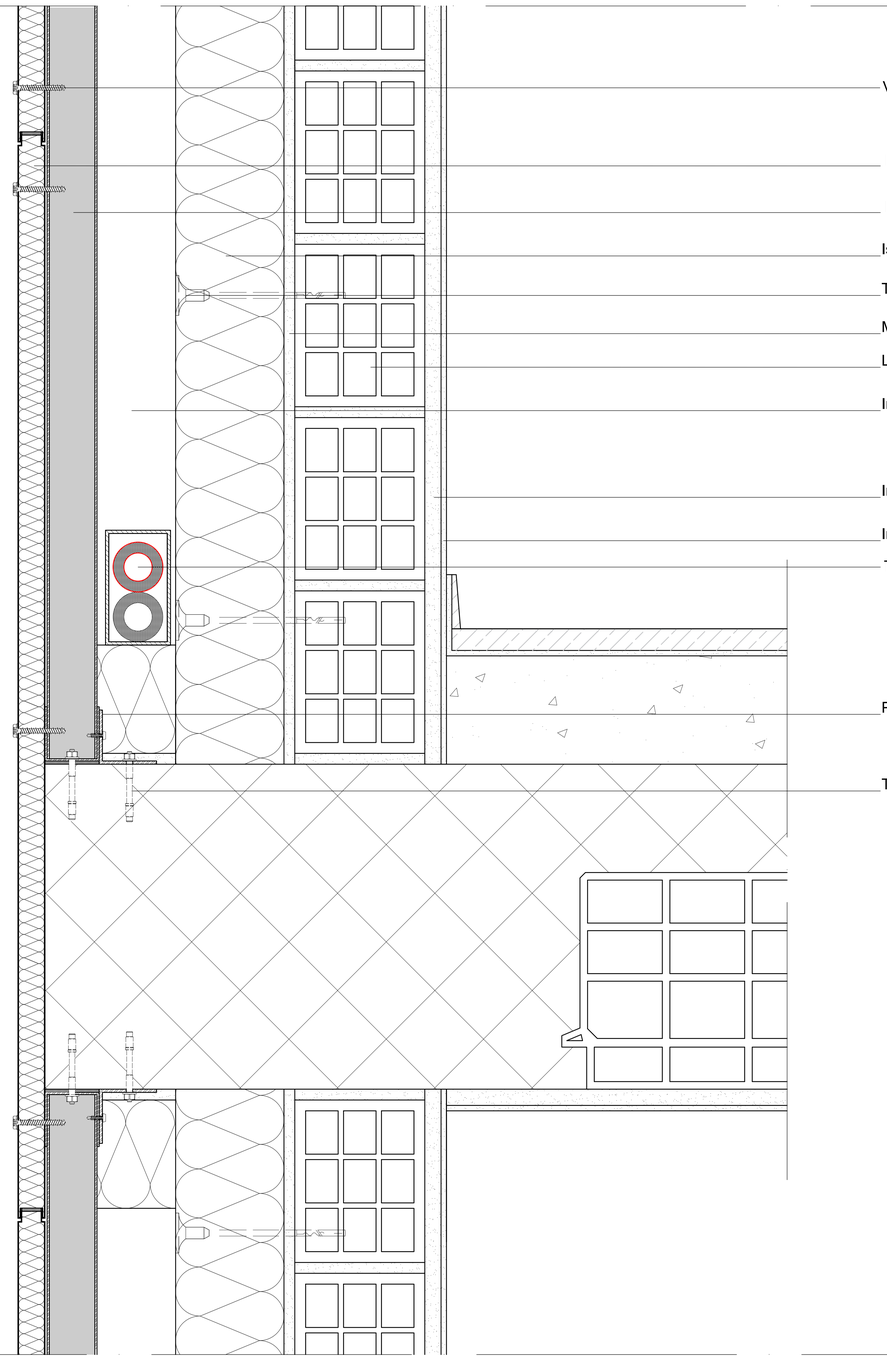
Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 3: Nodo pilastro Demolizione parziale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

EST.

INT.



Vite di fissaggio pannello-orditura

Pannello bilamiera coibentato - sp. 2,5 cm

Montante in acciaio - sp. 5 cm

Isolante termico in poliuretano espanso rigido - sp. 8 cm

Tassello per fissaggio meccanico

Malta adesiva per cappotto - sp. 1 cm

Laterizio forato - sp. 12 cm

Intercapedine d'aria - sp. 14(senza montante) / 9(con montante) cm

Intonaco interno - sp. 1,5 cm

Intonaco di finitura - sp. 0,5 cm

Tubazioni impianto riscaldamento/raffrescamento

Piastra angolare 5x5 cm

Tasselli per fissaggio nel calcestruzzo

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro

nei condomini torinesi degli anni Sessanta

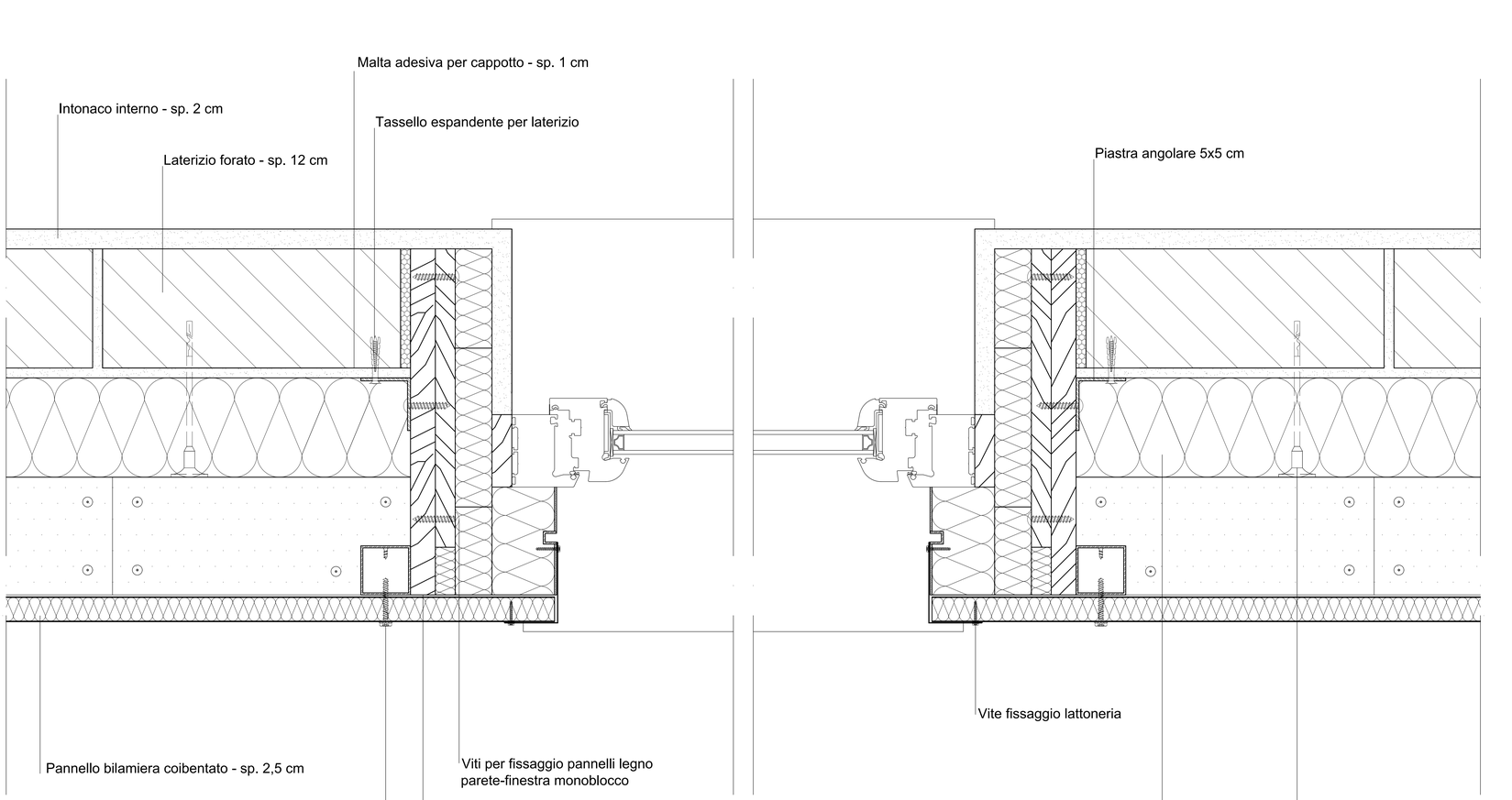
Politecnico di Torino

Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 4: Nodo attacchi solaio Demolizione parziale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

INT.



EST.

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro
nei condomini torinesi degli anni Sessanta

Politecnico di Torino

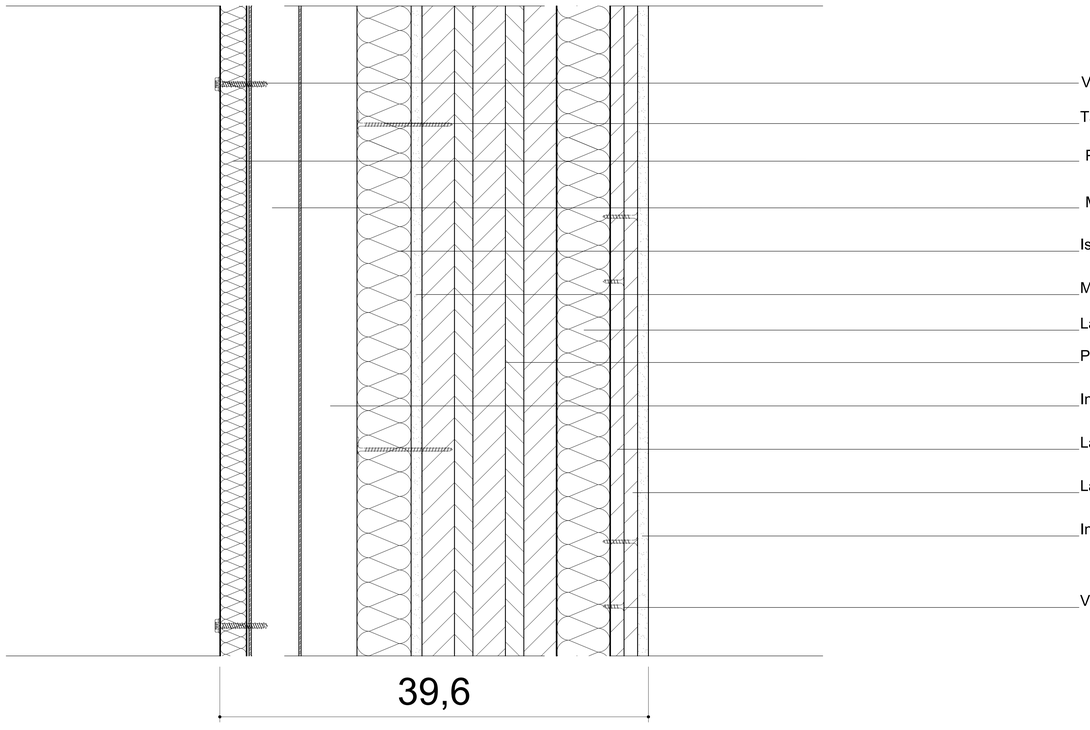
Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 5: Sez. orizz. infisso Demolizione parziale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

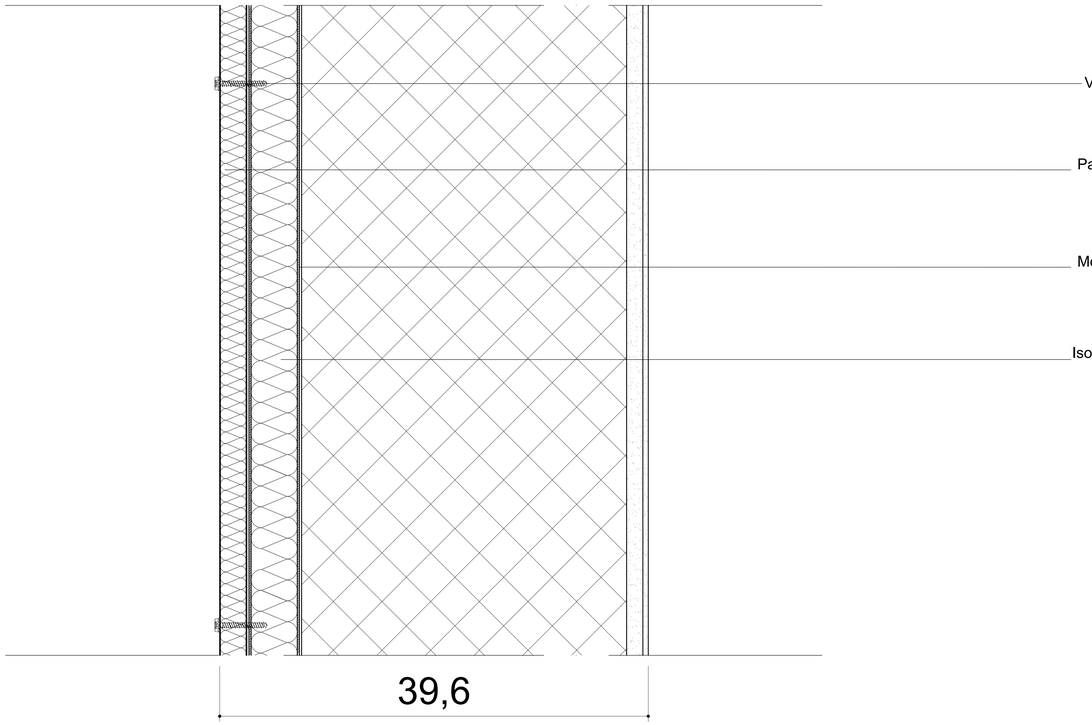
EST.

INT.



EST.

INT.



Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro
nei condomini torinesi degli anni Sessanta

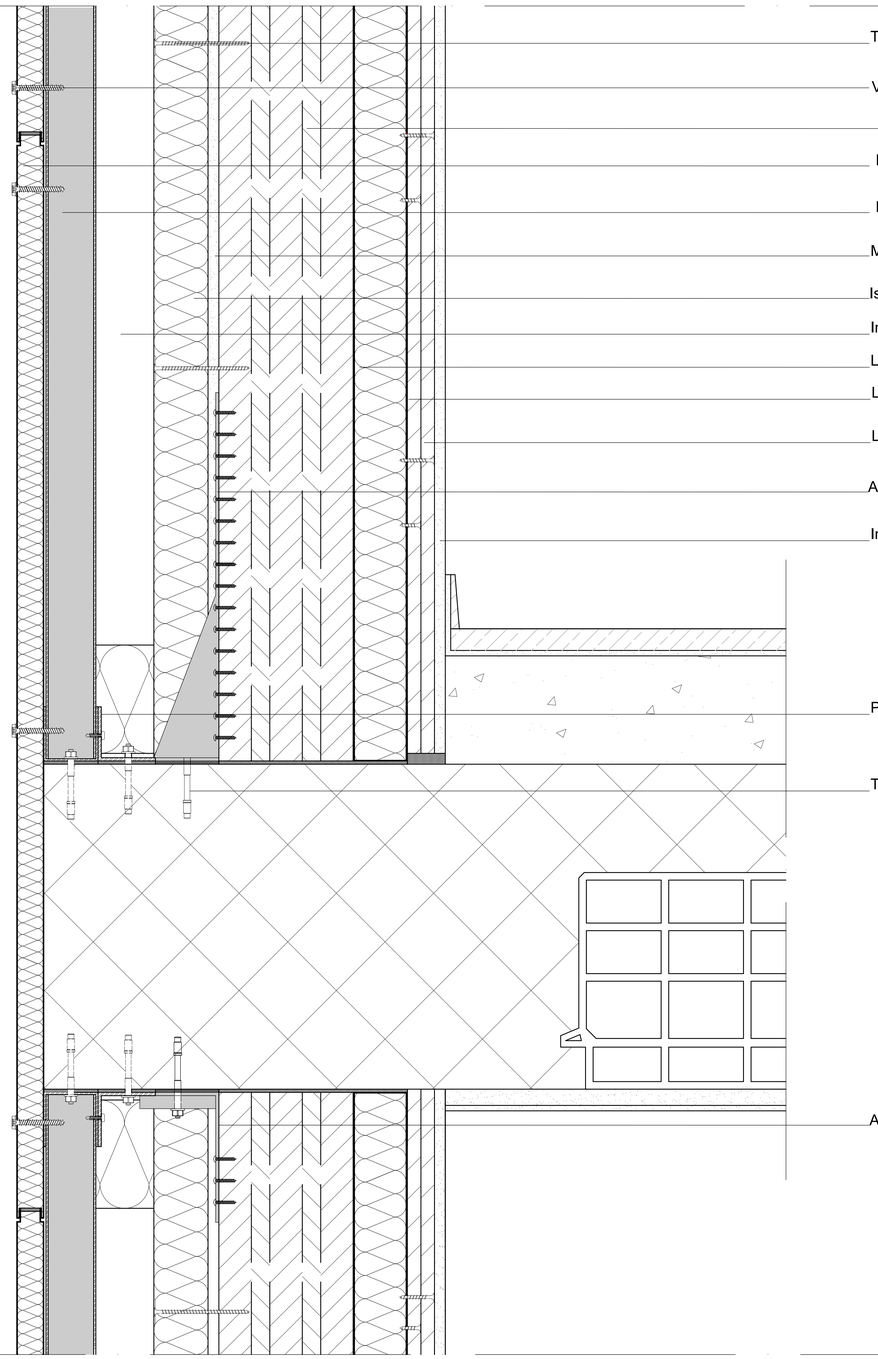
Politecnico di Torino

Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 6: Stratigrafie Demolizione totale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI

EST. INT.



Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile

A.A. 2020-2021

Sessione di Laurea Dicembre 2021

La riqualificazione dell'involucro

nei condomini torinesi degli anni Sessanta

Politecnico di Torino

Relatore: Prof. Paolo Piantanida
Candidato: Ester Carissimi 269711
Tavola 7: Nodo attacchi solaio Demolizione totale
Scala 1:2

REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI
REALIZZATO CON UN PRODOTTO AUTODESK VERSIONE PER STUDENTI