

Confronto fra chiusure verticali edilizie

Lo studio intende analizzare, nell'ambito dell'esigenza del benessere, la rispondenza ai requisiti di comfort termoigrometrico delle chiusure verticali, effettuando un confronto tra alcune soluzioni di uso corrente. L'intera analisi riguarderà apparecchiature murarie ritenute preferenziali da un punto di vista funzionale e chiusure la cui superficie esterna sia costituita da mattoni pieni di laterizio o da blocchi di laterizio porizzato

I requisiti relativi al benessere, inteso come stato oggettivo di neutralità e pertanto d'assenza di disturbo fisiologico, sono stati valutati separatamente attraverso le grandezze proposte dalla letteratura specialistica e successivamente esaminati nella loro globalità seguendo il principio prestazionale, con la finalità di porgere utili indicazioni di carattere esclusivamente progettuale. L'intento è di stabilire giudizi attendibili attraverso il confronto comportamentale fra diverse chiusure verticali edilizie e considerando le numerose interconnessioni che nella realtà del progetto tecnologico sempre si manifestano. Nella ricerca condotta, le capacità di comfort vengono, dunque, nel seguito esaminate per le tipologie di chiusura verticali, semplici e composte prese in considerazione, tramite un confronto diretto grafico-analitico, come esemplificato nelle schede conclusive, basato sui metodi di calcolo standard proposti dalla normativa.

Classificazione delle chiusure Prima di effettuare una classificazione dei diversi sistemi di chiusura secondo un'analisi funzionale, occorre premettere alcune definizioni per una migliore comprensione dell'iter progettuale conseguente:

- *schema funzionale*: è la schematizzazione di un modello attraverso la descrizione del suo meccanismo di funzionamento rispetto a fenomeni dominanti; nell'ambito d'ogni sistema si individuano quindi diversi schemi funzionali;
- *soluzione conforme*: è la definizione, all'interno di un preciso schema funzionale, di ogni sequenza ordinaria d'elementi o strati funzionali tali da assicurare il corretto funzionamento d'ogni singolo elemento o di tutta la chiusura nel suo complesso;

- *soluzione tecnologica*: è la traduzione di una determinata soluzione conforme, in prescrizioni capitolari sui materiali, riferita alle condizioni progettuali determinate dai requisiti ambientali e tecnologici richieste nel caso specifico. Per ogni soluzione conforme si possono, quindi, individuare più soluzioni tecnologiche, che ne descrivono l'attuazione pratica nei singoli casi.

Una classificazione attendibile dei sistemi di chiusura deve quindi svilupparsi attraverso tre distinti passaggi corrispondenti ai tre livelli d'analisi: un'analisi degli schemi funzionali a partire dalle variabili più significative, la compilazione di un abaco o matrice di possibili soluzioni conformi derivate da questa e l'individuazione delle corrispondenti soluzioni tecnologiche. Quest'ultima fase deve necessariamente articolarsi in un esame dei requisiti riferiti al sistema di chiusura considerato ed in una corrispondente valutazione delle prestazioni e successivamente nella individuazione delle prescrizioni capitolari (caratteristiche dei materiali). La classificazione degli schemi funzionali nei sistemi di chiusura si articola a partire da un quadro d'esigenze funzionali specifiche per gli edifici con tipologia edilizia residenziale e per i quali le soluzioni tecnologiche corrispondenti necessitano di una particolare complessità di realizzazione. Tali esigenze sono principalmente riconducibili alla necessità di difesa dagli agenti atmosferici e contemporaneamente alla realizzazione di condizioni microclimatiche interne controllate. Pertanto, assumono rilievo determinante le esigenze d'isolamento termico nonché quelle di tenuta all'aria e all'acqua.

Benché nella gran parte delle regioni italiane non vi siano problemi suscitati dalle caratteristiche climatico-meteoro-

logiche (in genere non si hanno lunghi periodi di piogge con vento, per cui l'acqua eventualmente assorbita può evaporare; vanno anche considerate le protezioni sovente fornite dalle falde di tetto sporgente, dai balconi e dagli edifici circostanti), in analogia con quanto contenuto nel francese DTU 20.II (codice di pratica per la realizzazione di pareti in muratura) la classificazione dei diversi sistemi murari può essere effettuata tenendo conto della differente capacità o attitudine ad impedire la penetrazione dell'acqua meteorica, dato il ruolo decisivo giocato dalla presenza d'umidità in termini di decadimento complessivo delle prestazioni della chiusura.

Vengono dunque individuate quattro classi di sensibilità all'azione della pioggia battente e del vento:

- *ad elevata sensibilità*
- *a media sensibilità*
- *a bassa sensibilità*
- *non sensibili*.

Da ciascuna di queste classi discendono poi altrettanti schemi funzionali e varianti relative.

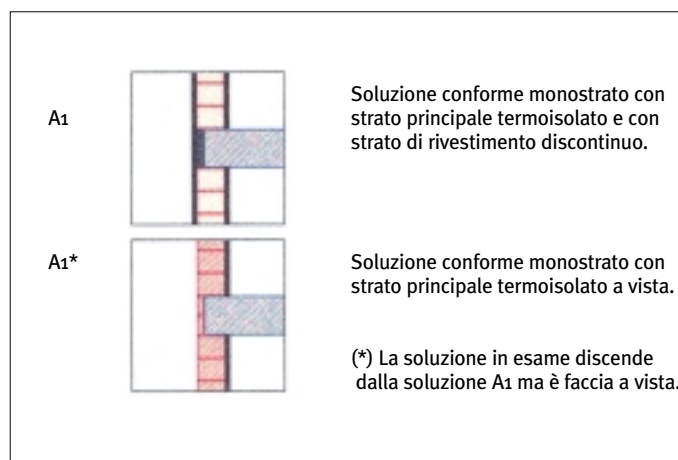
Chiusure monostrato Le chiusure appartenenti a questo schema funzionale sono essenzialmente costituite da un unico strato, portante o di semplice tamponamento, che supporta strati di finitura esterni ed interni.

Lo strato può assolvere, a seconda dei materiali impiegati, anche la funzione di strato termoisolante.

Le maggiori condizioni di rischio per la penetrazione d'acqua piovana sono rappresentate in questo schema funzionale dalle condizioni di contiguità esistenti tra le stratificazioni costituenti i diversi corsi. Contiguità che, in assenza di opportuni accorgimenti (giunti interrotti, incastri, ricoprimenti fra i blocchi, ecc.), consente di attivare penetrazioni per capillarità che possono raggiungere direttamente la faccia interna della chiusura (come sarà precisato più avanti è necessario adeguare le misure protettive alla effettiva situazione meteorologica-climatica del sito; si sottolinea che le normative dei Paesi europei sono influenzate da situazioni più gravose di quelle generalmente riscontrabili in Italia). Da ciò la necessità di controllare i fenomeni di eventuale deformazione cui può andare soggetto un sistema murario, che possono essere innescati dalla ciclicità dei fenomeni termici o semplicemente da fessurazioni conseguenti a ritiri degli strati di rivestimento (sarà opportuno evitare intonaci a forte ritiro preferendo malte bastarde). La sola soluzione conforme è la soluzione conforme monostrato con strato portante, o di semplice tamponamento, termoisolato e con strato di rivestimento discontinuo.

Chiusura pluristrato termoisolata con isolante idrofilo¹

Per molti versi questo tipo di chiusura può essere assimilato alle pareti di tipo monostrato ed è anch'esso da ascrivere agli



schemi funzionali della classe di sistemi ad elevata sensibilità. Esso risulta costituito da uno strato portante, o di semplice tamponamento, che supporta uno strato di protezione e rivestimento esterno.

Completano il sistema una stratificazione termoisolante ed uno strato di protezione e finitura interni contigui fra di loro e vincolati direttamente allo strato principale. Anche in questo caso i rischi di penetrazione idrica per capillarità sono favoriti dalla continuità esistente tra i vari strati, a meno di opportuni accorgimenti.

Da tali penetrazioni e dalla natura idrofila del materiale termoisolante discende, inoltre, la possibile perdita di prestazioni di isolamento termico dello strato isolante, oltre ad eventuali degradi conseguenti alla presenza di acqua nel sistema.

È soprattutto utilizzato in interventi sugli edifici esistenti perché ne consente il mantenimento delle caratteristiche esterne e risulta certamente meno costoso e più facilmente eseguibile rispetto all'isolamento dall'esterno, in quanto non sono necessarie protezioni agli agenti atmosferici e l'uso di impalcatura. È inoltre la soluzione più idonea nel caso di recupero di edifici la cui facciata sia sottoposta a particolari vincoli architettonici (per esempio mattoni faccia a vista, bugnato, ecc.). Per contro questo tipo di intervento presenta un certo numero di svantaggi quali:

- non elimina alcuni ponti termici dovuti alle connessioni della struttura (parete-solaio, parete-tramezzo, parete-serramento);
- comporta una riduzione del volume interno abitabile;
- non consente di sfruttare l'inerzia termica della chiusura;
- nel caso di intervento sull'esistente richiede lo spostamento e l'adattamento di numerosi elementi, quali corpi scaldanti, impianti elettrici o idrici, ecc.;
- rende necessario il rifacimento del rivestimento interno della chiusura.

L'isolamento dall'interno può essere realizzato secondo due tecnologie: la prima consiste nell'inserimento del materiale isolante tra la chiusura e un rivestimento interno costituito da cartongesso, intonaco (su rete porta-intonaco) o perlinatura in

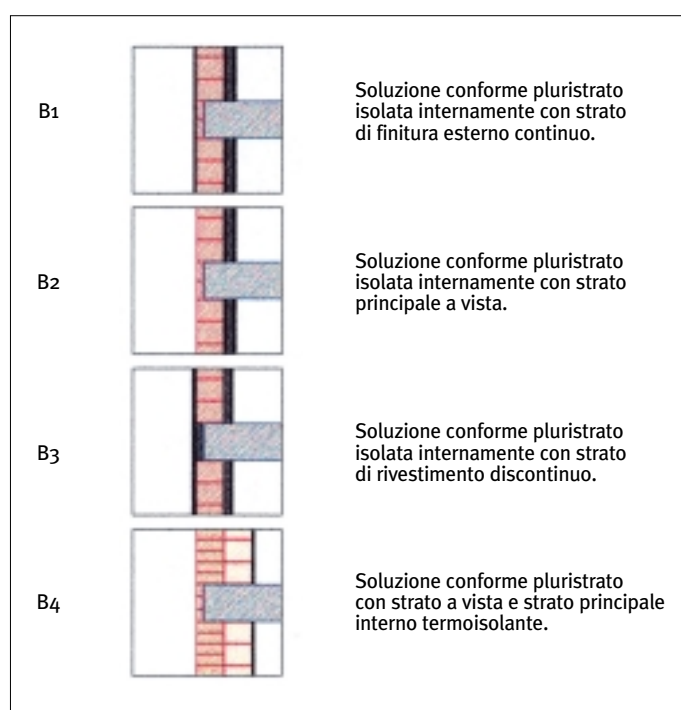
legno; la seconda prevede l'applicazione diretta di un complesso isolante-cartongesso già assemblati. Il fissaggio è generalmente eseguito mediante incollaggio ma, qualora le condizioni e le caratteristiche della chiusura impediscano tale soluzione, è possibile ricorrere ad un fissaggio meccanico disponendo sulla chiusura una maglia di listelli in legno sui quali si può inchiodare l'isolante. Il materiale isolante, in pannelli, può essere costituito da polistirene espanso o estruso, poliuretano, pvc espanso, resina fenolica, fibra minerale, sughero, e può essere utilizzato in uno spessore variabile tra 1 e 10 cm. Le relative soluzioni conformi pluristrato sono:

B1. isolata internamente con strato di finitura esterno continuo

B2. isolata internamente con strato a vista

B3. isolata internamente con strato di rivestimento discontinuo

B4. con strato esterno a vista e strato principale interno termoisolante.



Chiusura pluristrato termoisolata con isolante non idrofilo¹ Lo schema funzionale si riconduce alla classe dei sistemi a bassa sensibilità.

Pur essendo, infatti, costituito dalle stesse stratificazioni contigue tra di loro dello schema funzionale precedente, il comportamento in relazione alla tenuta all'acqua è migliorato dalla presenza di uno strato termoisolante che costituisce un'interruzione di continuità nel sistema impedendo all'acqua meteorica di penetrare all'interno del sistema murario.

Con questo tipo di isolante sono possibili soluzioni "a cappotto", una soluzione di isolamento per esterni molto utilizzata nella comune pratica costruttiva in molti Paesi nord-europei ed è oggetto di una normativa specifica che ne definisce componenti, prestazioni e prove.

Le *Direttive Comuni per l'Agreement* dei sistemi "a cappotto" definiscono in particolare le regole generali di qualità del com-

plesso nel suo insieme, quali sicurezza, comportamento igrotermico, comportamento alle sollecitazioni meccaniche da uso normale, comportamento ai movimenti della struttura, durabilità, costanza di qualità, posa in opera, planarità e aspetto, fissaggio di oggetti, manutenzione, nonché la determinazione delle caratteristiche dei singoli prodotti che compongono il sistema e delle loro specificazioni.

La conformità del sistema alle Direttive Europee UEAtc è certificata in Italia dall'ICITE, Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia del Consiglio Nazionale delle Ricerche; attualmente sono 11 i sistemi presenti sul mercato nazionale che hanno ottenuto tale certificazione.

Il sistema è composto da un componente isolante fissato alla chiusura, rivestito da un intonaco sottile rinforzato da un'armatura e completato con uno strato di finitura.

Il sistema non partecipa in alcun caso alla stabilità della chiusura sulla quale è applicato e deve avere una resistenza termica propria elevata (almeno superiore a $1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$).

A differenza dell'isolamento termico dall'interno, l'intervento di isolamento dall'esterno della chiusura consente di:

- eliminare i ponti termici dovuti alle connessioni della struttura;
- garantire un comportamento termoigrometrico corretto della chiusura;
- incrementare l'inerzia termica della chiusura;
- proteggere le pareti dagli agenti atmosferici;
- non arrecare disagi agli occupanti durante la posa in opera;
- migliorare un aspetto esterno mediocre dell'edificio.

Per contro, negli edifici esistenti comporta la risoluzione di alcuni problemi, come ad esempio l'avanzamento dei davanzali, l'allargamento dei cornicioni, lo spostamento delle canalizzazioni, ed è inoltre un intervento economicamente più oneroso perché comporta la realizzazione di un'impalcatura esterna.

L'isolamento termico dall'esterno di una chiusura può essere realizzato utilizzando pannelli in fibra di vetro orientata, polistirene espanso, polistirene estruso, poliuretano, pvc espanso, vetro cellulare, calcestruzzo in fibra di legno.

Il materiale impiegato deve comunque possedere alcune specifiche caratteristiche, quali:

- idonea massa volumica
- elevata resistenza meccanica
- insensibilità alle variazioni di temperatura
- bassissimo coefficiente di dilatazione
- assenza di variazioni dimensionali.

Il fissaggio alla muratura, portante o di semplice tamponamento, può avvenire sia per incollaggio, sia meccanicamente, predisponendo in tal caso un'orditura metallica di supporto su cui si avvitano i pannelli con rivetti inossidabili. Il rivestimento esterno, che in questo tipo di intervento assume la massima importanza perché deve garantire una completa protezione all'isolante, può essere costituito da un intonaco, applicato su rete porta-intonaco, oppure da lastre. Nel primo caso l'intonaco deve garantire l'aderenza, l'assorbimento, senza altera-

zioni, delle possibili dilatazioni lineari dell'isolante e la protezione alle variazioni di temperatura, assicurando nello stesso tempo una completa impermeabilizzazione all'acqua e un'adeguata protezione agli urti. In generale è superfluo prevedere una barriera al vapore; soltanto nel caso di impiego di pannelli in fibra minerale è necessario uno specifico studio sulla migrazione verso l'esterno del vapore attraverso la chiusura, per determinare se si rende indispensabile la posa della barriera sul lato caldo dell'isolante. L'intervento di isolamento dall'esterno può anche essere realizzato con un intonaco isolante composto da un impasto plastico di particelle di polistirolo espanso o di vetro cellulare. È applicato alla chiusura manualmente, come un comune intonaco, o mediante pompe da malta e, infine, ricoperto con uno strato di intonaco di finitura.

La sua preparazione e applicazione deve seguire precise regole (la quantità di acqua nell'impasto, la massa volumica dell'intonaco secco, ecc.); lo spessore massimo che si può raggiungere con questo tipo di intervento è di 4 cm.

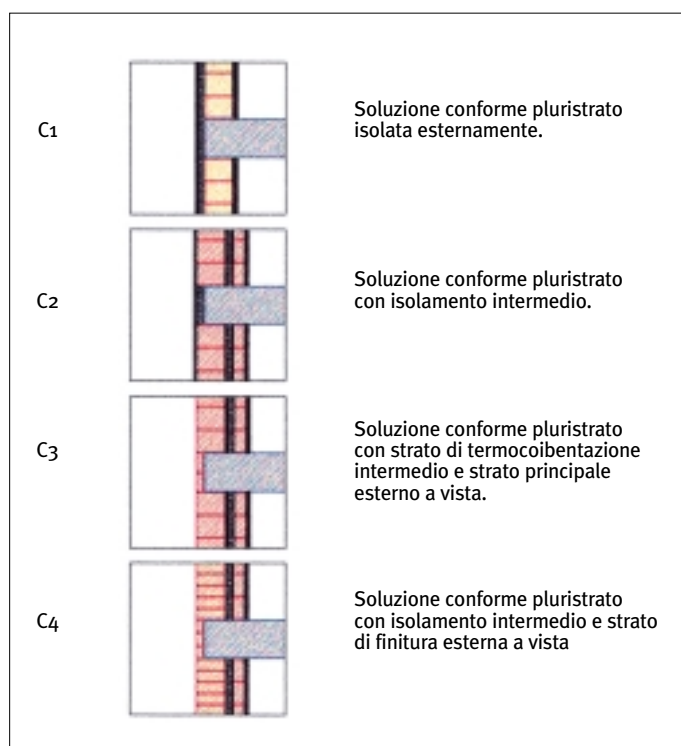
Non costituisce, quindi, una soluzione con caratteristiche d'isolamento paragonabili agli altri tipi dall'esterno, ma è certamente un intervento di più facile realizzazione e minore costo. Le relative soluzioni conformi pluristrato sono:

C1. isolata esternamente

C2. con isolamento intermedio

C3. con strato di termocoibentazione intermedio e strato principale esterno a vista

C4. con isolamento intermedio e strato di finitura esterno a vista.



Chiusura pluristrato termoisolata con intercapedine I sistemi di chiusura appartenenti a questo schema funzionale sono costituiti da una doppia stratificazione di elementi murari tra loro

separati da un'intercapedine ed entrambi rivestiti esternamente. Completa, generalmente, il sistema uno strato termoisolante collocato sulla faccia esterna dello strato interno. Risulta chiaro che in un sistema siffatto, appartenente alla classe dei sistemi a bassa sensibilità, la presenza di un'intercapedine annulla ogni eventuale rischio connesso alla penetrazione di acqua piovana indipendentemente dalla natura e dal tipo di isolante impiegato.

Per questo tipo di intervento si deve operare, inoltre, una netta distinzione tra edifici di nuova costruzione e edifici esistenti. Nel primo caso, si realizzano delle murature "sandwich", costituite da due pareti in laterizio con interposto il materiale isolante. Per questo impiego si deve utilizzare un isolante assolutamente idrofugo e imputrescibile quale il polistirene, il poliuretano, la fibra minerale (in pannelli) o la resina poliuretanica e formo fenolica (messa in opera per iniezione).

La posa di una barriera al vapore continua è possibile nelle murature in laterizio, mentre è praticamente impossibile nei sistemi prefabbricati: in questo caso dovrà essere considerata con molta cura la scelta dell'intonaco esterno di finitura, che dovrà essere permeabile al vapore, pur garantendo l'impermeabilizzazione all'acqua piovana.

Negli edifici esistenti l'intervento consiste invece nel riempimento dell'intercapedine d'aria tra i due paramenti che costituiscono la muratura.

Questo tipo di isolamento è possibile quando:

- lo spessore del paramento esterno è sufficiente;
- le condizioni di impermeabilità della chiusura all'acqua piovana sono sufficientemente garantite;
- lo spessore della intercapedine d'aria è almeno pari a 3 cm;
- la resistenza a compressione del paramento interno è tale da sopportare la pressione causata dalla iniezione di materiale isolante;
- il comportamento igrotermico della chiusura è sufficientemente verificato.

I materiali impiegati possono essere sughero, vermiculite, polistirene, vetro cellulare, argilla espansa (usati sfusi, facendoli cadere per gravità all'interno dell'intercapedine attraverso un certo numero di fori opportunamente ricavati nella chiusura). L'iniezione del materiale deve avvenire in più stadi al fine di ottenere un riempimento completo dello spazio interno.

Queste operazioni sono particolarmente difficoltose e devono essere effettuate da operatori specializzati in quanto, da un lato, deve essere evitato un riempimento incompleto che non garantirebbe l'isolamento termico previsto e, dall'altro, deve essere evitato un eccessivo riempimento perché una pressione troppo elevata del materiale in espansione potrebbe creare fessurazioni sul paramento interno della chiusura.

L'isolamento termico dell'intercapedine d'aria di una chiusura esistente comporta in ogni caso alcune operazioni preliminari quali la chiusura delle parti di rivestimento degli avvolgibili a contatto con l'intercapedine, il manicottaggio delle griglie di

aerazione, lo smontaggio delle prese elettriche e la loro chiusura, per evitare contatti tra l'isolante e i fili elettrici.

Le relative soluzioni conformi pluristrato sono:

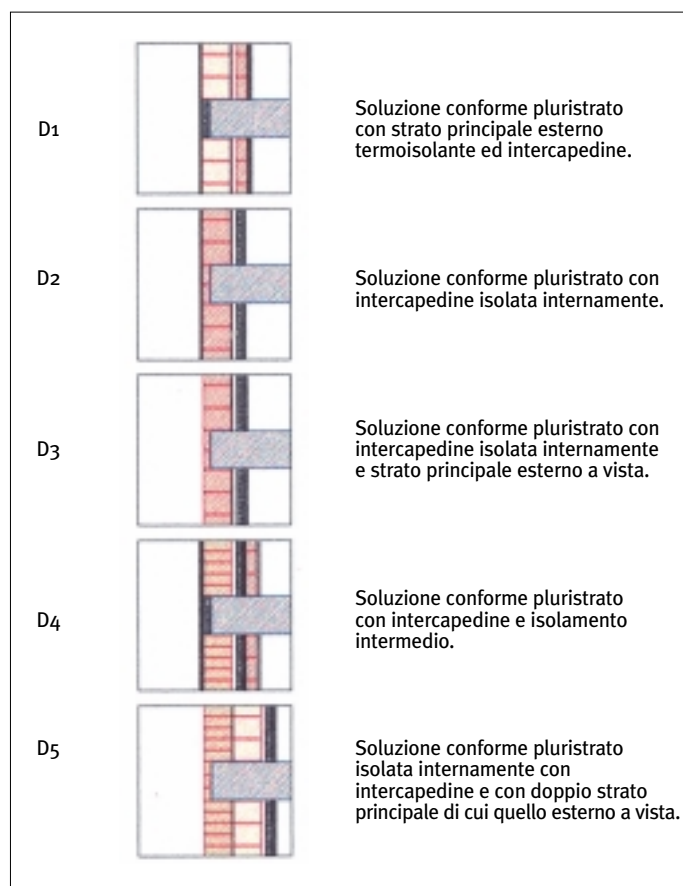
D1. con strato esterno termoisolante ed intercapedine

D2. con intercapedine isolata internamente

D3. con intercapedine isolata internamente e strato esterno a vista

D4. con intercapedine e isolamento intermedio

D5. isolata internamente, con intercapedine e doppio strato principale di cui quello esterno a vista.



Chiusura pluristrato con strato di tenuta ed intercapedine esterna

Gli schemi funzionali appartenenti a questa classe possono ritenersi insensibili all'azione dell'acqua meteorica grazie alla presenza di uno schermo costituito da uno strato di tenuta esterno al sistema e da un'eventuale strato di ventilazione che annulla gli effetti di penetrazioni dovute a discontinuità dello strato di tenuta stesso.

Il sistema "a facciata ventilata" rappresenta un antico sistema di protezione delle strutture perimetrali nei confronti dell'ambiente esterno.

Già agli inizi del 1700 era impiegato, soprattutto in Italia settentrionale, per proteggere gli edifici nella stagione estiva.

Veniva, a tale scopo, applicato esternamente un rivestimento alle pareti lasciando una lama d'aria che, aperta in basso ed in alto, consentiva una ventilazione naturale, per effetto camino, capace verso l'esterno di ridurre il carico termico dovuto all'irraggiamento solare. La lama d'aria, oltre ad attenuare gli

sbalzi termici, permette l'eliminazione del vapore acqueo migrato attraverso la chiusura e il materiale isolante.

In alcuni casi è, però, necessario prevedere ugualmente una barriera al vapore sul lato "caldo" della chiusura al fine di limitare la condensazione che può venirsi a creare sul lato interno del rivestimento col rischio di un sensibile raffreddamento sui punti di fissaggio e di penetrazione dell'acqua nell'isolante. Il fissaggio delle lastre di rivestimento avviene mediante la costituzione di un'ossatura metallica o in legno posta davanti al materiale isolante, sufficientemente discostata per creare la lama d'aria ventilata.

È possibile realizzare il sistema a facciata ventilata anche con rivestimento di intonaco mediante l'impiego di una speciale rete porta - intonaco distanziata. La stratigrafia è semplice: la struttura portante, in mattoni o blocchi di laterizio con i consueti rivestimenti interni, il materiale isolante fissato alla struttura, la lama d'aria ventilata e infine il rivestimento esterno di finitura e protezione.

La chiusura ventilata è, a tutti gli effetti, un isolamento dall'esterno e ne ha, quindi, tutti i vantaggi: protezione della struttura muraria, eliminazione dei ponti termici, incremento dell'inerzia termica della chiusura, possibilità di controllo dei fenomeni di condensa.

Poiché le tecnologie utilizzabili per la costituzione di una facciata ventilata sono numerose, si pone il problema di individuare dei corretti criteri di classificazione. Dette tecnologie si possono diversificare, oltre che in base al materiale isolante impiegato, che nel sistema a facciata ventilata non riveste il ruolo di fattore determinante, anche in relazione al tipo di fissaggio del rivestimento esterno ed alla natura del rivestimento stesso. Nei confronti del fissaggio del rivestimento esterno, le tecniche costruttive delle facciate ventilate possono essere suddivise in due tipologie:

- tecniche con fissaggio a vista
- tecniche con fissaggio non a vista.

La natura poi del rivestimento esterno può essere diversificata e classificata:

- di tipo tradizionale
- di tipo non tradizionale.

Per quanto riguarda espressamente i problemi tecnologici connessi con la realizzazione di un sistema a facciata ventilata, essi riguardano:

- la scelta e la posa in opera del materiale isolante
- la natura del supporto del rivestimento esterno
- la natura del rivestimento esterno
- la ventilazione della lama d'aria ottenuta tra il materiale isolante e il rivestimento esterno
- le prestazioni del sistema completo.

Affinché il materiale isolante svolga il suo ruolo in modo efficace e con continuità nel tempo è necessario che esso abbia specifiche caratteristiche prestazionali quali:

- elevata resistenza termica

- ottimo comportamento al fuoco
- imputrescibilità ed inalterabilità chimica
- minimo assorbimento d'acqua
- buona resistenza meccanica
- elasticità ed adattabilità.

I materiali isolanti utilizzabili, in pannelli, sono le fibre minerali, il polistirene espanso ed estruso, il poliuretano, il pvc espanso e il vetro cellulare.

Le funzioni del rivestimento esterno consistono nel proteggere la struttura edilizia ed il materiale isolante dagli agenti atmosferici e nel conferire all'involucro edilizio forma e colore. Esso deve, quindi, possedere precise caratteristiche funzionali e decorative, quali:

- elevata resistenza meccanica ed alle sollecitazioni termiche
- impermeabilità all'acqua
- incombustibilità
- inalterabilità delle caratteristiche estetiche nel tempo.

La lama d'aria che si viene a creare fra il materiale isolante ed il rivestimento esterno deve essere di dimensioni tali da consentire una buona circolazione dell'aria (larghezza di almeno 3 cm).

Inoltre, poiché la permeabilità all'aria del rivestimento esterno non consentirebbe una ventilazione naturale sufficiente nell'intercapedine, deve sempre essere prevista l'apertura, nelle parti superiore e inferiore della facciata, di apposite bocche di entrata e uscita dell'aria di sezione adeguata.

Queste devono essere provviste di griglie per impedire l'intrusione di insetti o roditori che potrebbero provocare sensibili danni al materiale isolante od ostruire la lama d'aria.

Le prestazioni del sistema completo, esaminate e determinate le prestazioni peculiari dei singoli elementi che lo compongono, riguardano essenzialmente:

- stabilità e resistenza meccanica
- comportamento al fuoco
- isolamento termico
- tenuta all'acqua
- durabilità.

Infine, per quanto riguarda l'affidabilità del sistema, occorre considerare principalmente le modalità di esecuzione.

Mentre il montaggio degli elementi in chiusura corrente non comporta accorgimenti e difficoltà particolari, speciale cura deve essere posta nella realizzazione di alcuni punti singolari della costruzione, quali il contorno dei serramenti e degli aggetti, il profilo di base, il profilo d'angolo, sia quando si ha prosecuzione della chiusura ventilata, sia al termine della chiusura stessa.

Le relative soluzioni conformi pluristrato sono:

E1. con strato di ventilazione ed isolamento intermedio

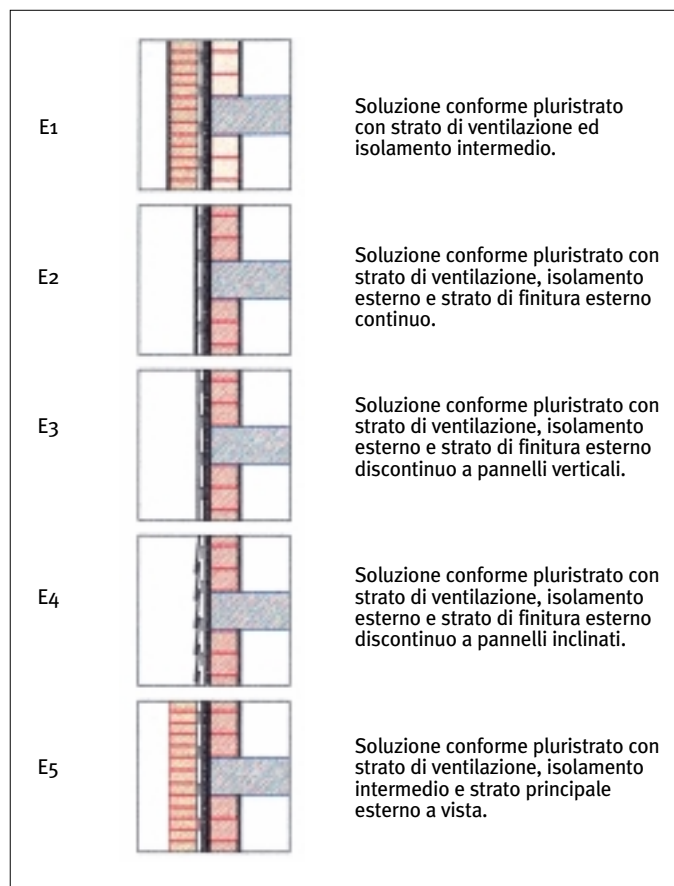
E2. con strato di ventilazione, isolamento esterno e strato di finitura esterno continuo

E3. con strato di ventilazione, isolamento esterno e strato di finitura esterno discontinuo a pannelli verticali

E4. con strato di ventilazione, isolamento esterno e strato di finitura

esterno discontinuo a pannelli inclinati

E5. con strato di ventilazione, isolamento intermedio e strato principale esterno a vista.



Valutazione economica In questo quadro sono state identificate alcune voci rappresentative degli oneri connessi sia alla realizzazione dell'oggetto, sia alla funzionalità durante la sua vita utile. È perciò necessario riprendere i contenuti dell'articolo 31 della legge 457 del 1978, la quale classifica gli interventi che si possono eseguire sul patrimonio edilizio, tra cui:

- la manutenzione ordinaria (s'intende con essa il rifacimento delle finiture ed il mantenimento in esercizio di impianti esistenti con eventuali integrazioni);
- la manutenzione straordinaria (s'intende con essa ogni opera necessaria per rinnovare e sostituire parti, anche strutturali).

La modalità con cui si è quantificata la spesa necessaria per la realizzazione di ognuna delle chiusure verticali prese in considerazione si è basata sulle quote d'incidenza per le principali categorie di lavori e composizione delle rispettive squadre tipo fornite all'interno del Decreto Ministeriale 11.12.1978, e sui costi dei singoli materiali forniti all'interno del Bollettino di Informazione Tecnica - Elenco Prezzi dei Materiali e delle Opere dell'Associazione Regionale Ingegneri ed Architetti di Puglia. La vita utile del fabbricato presa per riferimento è di 20 anni (tale parametro è prettamente indicativo), ed è al suo interno che è prevista l'erogazione delle somme economiche necessarie per l'esecuzione di manutenzione ordinaria,

che occorre periodicamente alla fine di un certo numero di anni (i quali variano con la tipologia di chiusura considerata), e somme necessarie per l'esecuzione di manutenzione straordinaria (è prevista l'erogazione di una sola somma di danaro, peraltro prevista alla fine dei 20 anni di vita utile presi in considerazione).

Al fine di quantificare la spesa per la manutenzione ordinaria si elencano le opere che saranno eseguite sui paramenti murari faccia a vista:

- opere di presidio statico e ponteggi – s'intende la realizzazione di impalcatura metallica a telai prefabbricati, di facciate esterne, della larghezza non inferiore ad 1,10 m, occorrente per l'esecuzione di qualsiasi categoria di opera e fornita per tutta la durata dei lavori (massimo 12 mesi), compresi i ponti per la formazione dei piani di servizio, i corrimani ed i fermapiedi, gli eventuali sottoponti, le mantovane di protezione, le controventature, la messa a terra e quant'altro occorra in ottemperanza alle norme impartite dall'E.N.P.I.. Da eseguire a qualunque altezza;

- opere di pulizia dei paramenti murari – s'intende l'uso di detergente caustico per la pulizia di facciate di mattoni, di facile aderenza su superfici verticali, biodegradabile al 90% al risciacquo, specifico per pareti annerite da ossidi di carbonio. L'applicazione avviene attraverso lo spruzzo airless su predisposte superfici inumidite;

- rincocciatura e stilatura di giunti molto aperti su paramenti murari faccia a vista – s'intende la realizzazione di un primo strato profondo di malta cementizia additivata con sostanze antiritiro e scaglie di pietra ed un secondo strato superficiale di almeno due centimetri di spessore con malta di calce spenta, cemento bianco, sabbia di frantoio o di fiume, pozzolana e/o frammenti di laterizio pestato, nelle proporzioni che indicherà la D.L. per l'ottenimento di malte simili a quelle esistenti per composizione e tonalità cromatica. Si comprende ora anche la scarificazione e pulitura dei setti, l'estirpamento di eventuale flora spontanea presente e la lavorazione alla spugna della superficie finita.

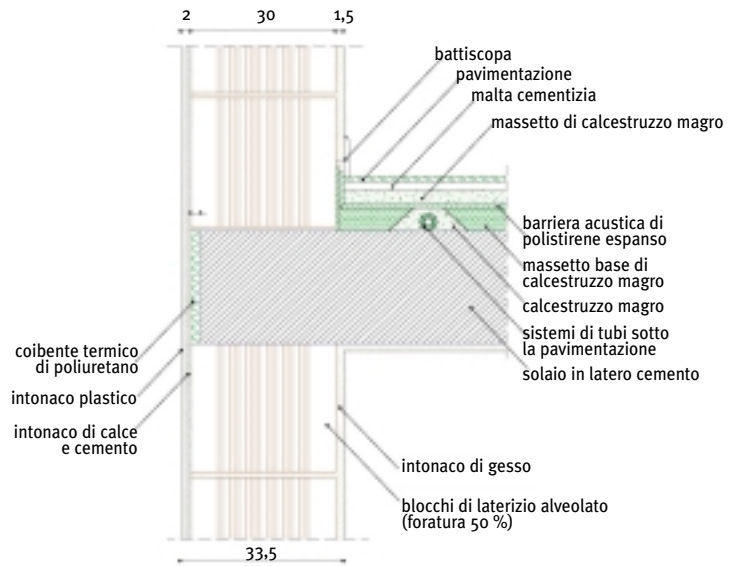
Nel caso in cui si abbia a che fare con pareti ventilate, la manutenzione ordinaria comprenderà le seguenti voci:

- opere di presidio statico e ponteggi;
- pulizia dei pannelli in cotto – s'intende l'uso di detergente disincrostante acido con capacità di asportare macchie di unto ed incrostazioni, biodegradabile al 90%;
- pulizia dei pannelli in alluminio – s'intende l'uso di disossidante con effetto brillante, in altre parole un composto di agenti ossidanti in grado di garantire una perfetta brillantezza al manufatto trattato, dato in opera a pennello, spruzzo o possibilmente con immersione del supporto da trattare, nel prodotto, biodegradabile al 90% circa – PH (SoL. 1% = 1.6 ± 0.2).

In entrambe i casi vanno presi in considerazioni gli oneri relativi a:

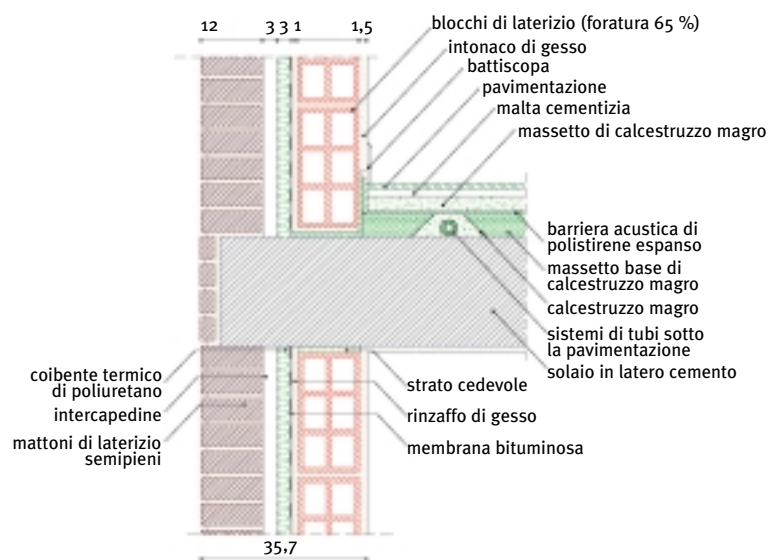
- mano d'opera

Caratteristiche geometriche ed economiche della soluzione A e condizioni al contorno per un corretto funzionamento: parete monostrato in porizzato e intonaco esterno



Parametri economici CVE	
Costo di realizzazione (€/m²)	
Inferiore a 154,94 €/m ²	
Rata annua per manutenzione (€/m²)	
Compreso tra 15,49 € 25,82 €/m ²	

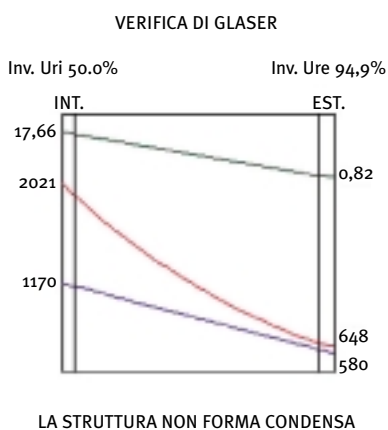
Caratteristiche geometriche ed economiche della soluzione B e condizioni al contorno per un corretto funzionamento: parete pluristrato con intercapedine non ventilata e mattoni faccia a vista



Parametri economici CVE	
Costo di realizzazione (€/m²)	
Inferiore a 154,94 €/m ²	
Rata annua per manutenzione (€/m²)	
Inferiore a 15,49 €/m ²	

Analisi caratteristiche termoigrometriche della soluzione A: parete monostrato in porizzato e intonaco esterno

Tipo materiale (descrizione)	Conduttanza (W/m ² °C)	Conducibilità (W/m °C)	Calore specifico (J/kg °C)	Peso (kg/m ³)	μ 10 ⁻¹² (kg/m s Pa)	Spessore (cm)
Coefficiente liminare esterno	23,0	–	–	–	–	–
1 Intonaco di calce e cemento	–	0,900	910	1800,0	19,00000	2,00
2 Blocchi di laterizio (foratura 50%)	–	0,360	840	1000,0	21,00000	30,00
3 Intonaco di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,50
Coefficiente liminare interno	8,0	–	–	–	–	–



Dati termoigrometrici al contorno in periodo invernale

Temperatura esterna (°C)	0,00
Temperatura interna (°C)	20,00
Pressione vapore parziale esterna (Pa)	580
Pressione vapore parziale interna (Pa)	1170
Umidità relativa esterna (%)	94,9
Umidità relativa interna (%)	50

Parametri tecnici della chiusura in esame

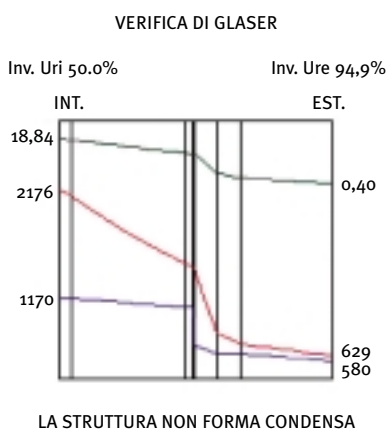
Spessore (cm)	33,5
Peso (kg/m ²)	354,0

Parametri termoigrometrici della chiusura in esame

Resistenza termica (m ² °C/W)	1,053
Conduttanza (W/m ² °C)	1,131
Trasmittanza (W/m ² °C)	0,950
Capacità termica frontale (kJ/m ² °C)	297,840
Costante tempo termica TTCl (ore)	42,760

Analisi caratteristiche termoigrometriche della soluzione B: parete pluristrato con intercapedine non ventilata e mattoni faccia a vista

Tipo materiale (descrizione)	Conduttanza (W/m ² °C)	Conducibilità (W/m °C)	Calore specifico (J/kg °C)	Peso (kg/m ³)	μ 10 ⁻¹² (kg/m s Pa)	Spessore (cm)
Coefficiente liminare esterno	23,0	–	–	–	–	–
1 Mattoni in laterizio semipieni	–	0,500	840	1400,0	21,00000	12,00
2 Intercapedine d'aria	–	0,150	1213	1,3	193,00000	3,00
3 Poliuretano espanso	–	0,025	1600	35,0	4,80000	3,00
4 Membrana bituminosa	–	0,170	1470	1200,0	0,06300	0,20
5 Rinzaffo di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,00
6 Blocchi di laterizio (foratura 65%)	0,250	840	600,0	21,00000	15,00	
7 Intonaco di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,50
Coefficiente liminare interno	8,0	–	–	–	–	–



Dati termoigrometrici al contorno in periodo invernale

Temperatura esterna (°C)	0,00
Temperatura interna (°C)	20,00
Pressione vapore parziale esterna (Pa)	580
Pressione vapore parziale interna (Pa)	1170
Umidità relativa esterna (%)	94,9
Umidità relativa interna (%)	50

Parametri tecnici della chiusura in esame

Spessore (cm)	35,7
Peso (kg/m ²)	292,1

Parametri termoigrometrici della chiusura in esame

Resistenza termica (m ² °C/W)	2,152
Conduttanza (W/m ² °C)	0,504
Trasmittanza (W/m ² °C)	0,465
Capacità termica frontale (kJ/m ² °C)	253,427
Costante tempo termica TTCl (ore)	87,593

- materiali
- trasporti
- nolo.

Per quanto concerne la manutenzione straordinaria, si prevede che le possibili opere che saranno eseguite sui paramenti murari faccia a vista possano essere:

- opere di presidio statico e ponteggi;
- interventi di consolidamento su elementi di fabbrica murari – s'intende ora l'inserimento a cucisciuci dei mattoni del paramento eventualmente fratturati o lesionati.

Nel caso in cui si abbia a che fare con pareti ventilate la manutenzione ordinaria comprenderà le seguenti voci:

- opere di presidio statico e ponteggi;
- interventi di sostituzione di elementi di fabbrica – s'intende ora l'inserimento di nuovi pannelli a sostituzione di altri lesionati, fessurati, deformati o fratturati.

In entrambe i casi vanno presi, anche ora, in considerazione gli oneri relativi a:

- mano d'opera
- materiali
- trasporti
- nolo.

Tutte le valutazioni prese in considerazione costituiscono somme di danaro erogate negli anni; di conseguenza, per un più rapido confronto degli oneri relativi al garantire un corretto funzionamento della vita utile dell'oggetto in esame, sono adottate delle relazioni che permettono di quantificare l'incidenza della spesa se questa si definisce annualmente, tenendo conto dei relativi interessi.

La relazione atta a determinare il fattore di capitalizzazione è:

$$q = 1 + i$$

dove i costituisce il saggio o tasso d'interesse, mentre la formula che permette di anticipare, in regime di capitalizzazione composto, un capitale investito dopo n anni è:

$$C_0 = C_n / q^n$$

La formula che, in conclusione, ripartisce il capitale R anticipato in n rate annuali, noto il tasso di capitalizzazione r , è:

$$C_0 = R_n \frac{q^n - 1}{r q^n}$$

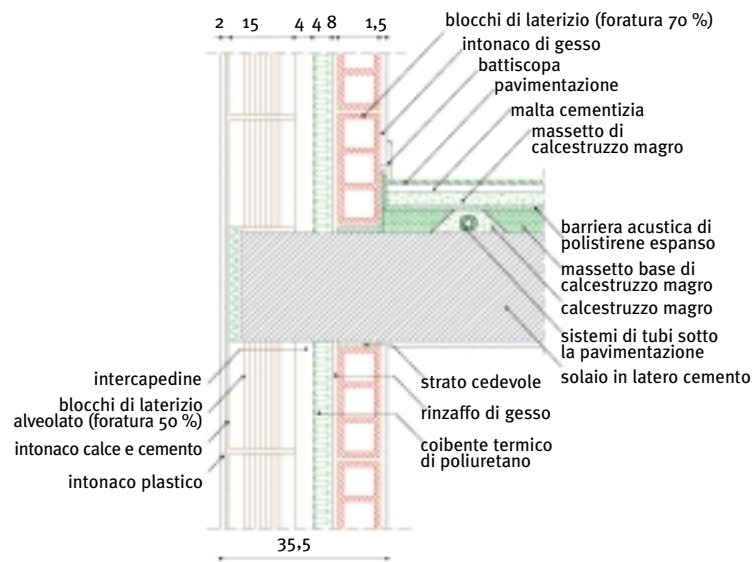
Schede di confronto Di seguito si riportano le schede tecniche relative alle soluzioni ritenute più comuni nei diversi contesti italiani, all'interno delle quali sono quantificati i principali parametri termofisici che ne dettano il comportamento. ¶

Nota

1. Nel DTU 20.11 citato sono precisati i criteri ed i metodi di prova cui sottoporre i materiali isolanti per determinare le caratteristiche di igroscopicità o meno. A titolo indicativo appartengono alla categoria degli isolanti non idrofili la maggior parte dei pannelli isolanti in schiuma di poliuretano e in lane minerali.

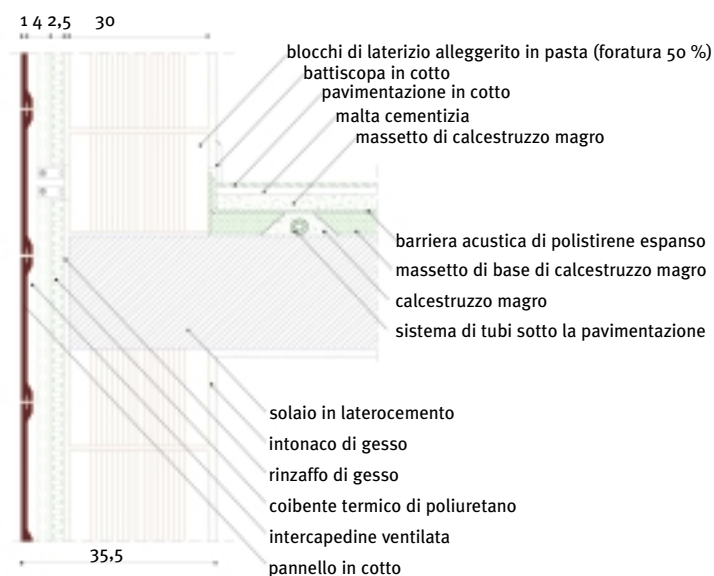
* Università di Lecce.

Caratteristiche geometriche ed economiche della soluzione C e condizioni al contorno per un corretto funzionamento: parete pluristrato con intercapedine non ventilata e mattoni faccia a vista



Parametri economici CVE
Costo di realizzazione (€/m ²)
Inferiore a 154,94 €/m ²
Rata annua per manutenzione (€/m ²)
Compreso tra 15,49 € 25,82 €/m ²

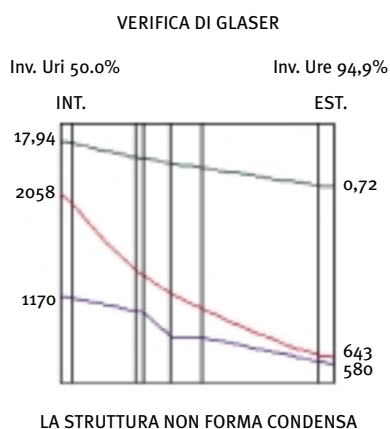
Caratteristiche geometriche ed economiche della soluzione D e condizioni al contorno per un corretto funzionamento: parete pluristrato con poliuretano, intercapedine ventilata e pannelli in cotto



Parametri economici CVE
Costo di realizzazione (€/m ²)
Superiore a 180,76 €/m ²
Rata annua per manutenzione (€/m ²)
Compreso tra 15,49 € 25,82 €/m ²

Analisi caratteristiche termoigrometriche della soluzione C: parete pluristrato con intercapedine non ventilata e intonaco esterno

Tipo materiale (descrizione)	Conduttanza (W/m ² °C)	Conducibilità (W/m °C)	Calore specifico (J/kg °C)	Peso (kg/m ³)	$\mu \cdot 10^{-12}$ (kg/m s Pa)	Spessore (cm)
Coefficiente liminare esterno	23,0	–	–	–	–	–
1 Intonaco di calce e cemento	–	0,900	910	1800,0	19,00000	2,00
2 Blocchi di laterizio (foratura 50%)	–	0,360	840	1000,3	21,00000	15,00
3 Intercapedine d'aria	–	0,190	1213	1,3	193,00000	4,00
4 Poliuretano espanso	–	0,025	1600	35,0	4,80000	3,00
5 Rinzaffo di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,00
6 Blocchi di laterizio (foratura 70%)	–	0,250	840	600,0	21,00000	8,00
7 Intonaco di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,50
Coefficiente liminare interno	8,0	–	–	–	–	–



Dati termoigrometrici al contorno in periodo invernale

Temperatura esterna (°C)	0,00
Temperatura interna (°C)	20,00
Pressione vapore parziale esterna (Pa)	580
Pressione vapore parziale interna (Pa)	1170
Umidità relativa esterna (%)	94,9
Umidità relativa interna (%)	50

Parametri tecnici della chiusura in esame

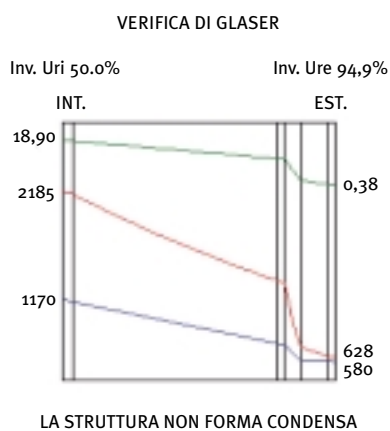
Spessore (cm)	34,5
Peso (kg/m ²)	265,1

Parametri termoigrometrici della chiusura in esame

Resistenza termica (m ² °C/W)	2,324
Conduttanza (W/m ² °C)	0,464
Trasmittanza (W/m ² °C)	0,430
Capacità termica frontale (kJ/m ² °C)	221,003
Costante tempo termica TTCl (ore)	92,538

Analisi caratteristiche termoigrometriche della soluzione D: parete pluristrato con intercapedine ventilata e pannelli in cotto

Tipo materiale (descrizione)	Conduttanza (W/m ² °C)	Conducibilità (W/m °C)	Calore specifico (J/kg °C)	Peso (kg/m ³)	$\mu \cdot 10^{-12}$ (kg/m s Pa)	Spessore (cm)
Coefficiente liminare esterno	23,0	–	–	–	–	–
1 Pannelli in cotto	–	0,800	840	2000,0	21,00000	1,00
2 Intercapedine d'aria	–	0,190	1213	1,3	193,00000	4,00
3 Poliuretano espanso	–	0,025	1600	35,0	4,80000	2,50
5 Rinzaffo di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,00
3 Blocchi di laterizio (foratura 50%)	–	0,360	840	1000,0	21,00000	30,00
4 Intonaco di gesso	–	0,350	1090	1200,0	32,00000	1,50
Coefficiente liminare interno	8,0	–	–	–	–	–



Dati termoigrometrici al contorno in periodo invernale

Temperatura esterna (°C)	0,00
Temperatura interna (°C)	20,00
Pressione vapore parziale esterna (Pa)	580
Pressione vapore parziale interna (Pa)	1170
Umidità relativa esterna (%)	94,9
Umidità relativa interna (%)	50

Parametri tecnici della chiusura in esame

Spessore (cm)	40
Peso (kg/m ²)	359,9

Parametri termoigrometrici della chiusura in esame

Resistenza termica (m ² °C/W)	2,011
Conduttanza (W/m ² °C)	0,543
Trasmittanza (W/m ² °C)	0,497
Capacità termica frontale (kJ/m ² °C)	302,963
Costante tempo termica TTCl (ore)	101,250