

Efficienza energetica nell'edilizia

Manuale parte "b"
Sezione tecnico-illustrativa



Unione Europea



Regione Marche



GAL Flaminia Cesano



Comunità Montana
del Metauro



Comunità Montana
Catria e Cesano

Indice

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ENERGIA E COMFORT | 3 |
| 1.1 | Bilancio energetico invernale | 3 |
| 1.2 | Bilancio energetico estivo | 3 |
| 1.3 | Comfort Termico e variabili di progetto | 4 |
| 1.3.1 | Temperatura dell'aria | 4 |
| 1.3.2 | Temperatura media radiante | 4 |
| 1.3.3 | Simmetria termica | 4 |
| 1.3.4 | Temperatura Operante | 4 |
| 1.3.5 | Umidità Relativa | 4 |
| 1.3.6 | Velocità dell'aria | 5 |
| 1.4 | Protezione termica estiva | 6 |
| 1.4.1 | Sfasamento - ϕ [H] | 6 |
| 1.4.2 | Fattore di attenuazione - F_A (variabile da 0 a 1) | 6 |
| 2 | PROGETTAZIONE DELL'INVOLUCRO | 7 |
| 2.1 | Il corretto orientamento | 7 |
| 2.2.1 | Conseguenze energetiche invernali | 7 |
| 2.2.2 | Conseguenze energetiche estive | 7 |
| 2.2.3 | Disposizione dei locali | 7 |
| 2.3 | Rapporto Superficie/Volume | 8 |
| 2.4 | Fondazioni con Vespaio Aerato | 9 |
| 2.5 | Termointonaci | 10 |
| 2.6 | Tetto Ventilato | 11 |
| 2.6.1 | Vantaggi del tetto ventilato | 11 |
| 2.6.2 | Limiti del tetto ventilato | 11 |
| 2.6.3 | Convezione ed irraggiamento | 11 |
| 2.6.3 | Inerzia termica | 11 |
| 2.7 | Ponti termici | 12 |
| 2.7.1 | Ponte Termico Geometrico | 12 |
| 2.7.2 | Ponte Termico Strutturale costituito da trave e pilastro | 12 |
| 2.7.3 | Ponte Termico Strutturale costituito da balcone ed aggetti | 13 |
| 2.7.4 | Mensola passante | 14 |
| 2.7.5 | Cassonetto tapparella avvolgibile | 15 |
| 2.8 | Le chiusure trasparenti | 16 |
| 2.8.1 | bilancio energetico invernale e posizionamento degli infissi | 16 |
| 2.8.2 | bilancio energetico estivo e posizionamento degli infissi | 17 |
| 2.8.3 | Schema riassuntivo degli orientamenti delle superfici vetrate | 17 |
| 3 | GLI IMPIANTI | 18 |
| 3.1 | Riscaldamento a pavimento - Corretta gestione | 18 |
| 3.2 | Riscaldamento a parete | 19 |
| 3.3 | Riscaldamento a battiscopa | 20 |
| 3.4 | Impianto a radiatori "sovradimensionati" | 21 |
| 3.5 | Impianto di riscaldamento ad accumulo termico | 22 |
| 3.6 | Caldaia a condensazione | 23 |
| 4 | FRA TRADIZIONE E INNOVAZIONE | 24 |
| 4.1 | Case in legno a tronchi sovrapposti | 24 |
| | (Blockhaus o Blockbau nel mondo di lingua germanica) | 24 |
| 4.1.1 | La storia | 24 |
| 4.1.2 | Limiti | 24 |
| 4.1.3 | Sviluppi | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Case in legno a telaio - Costruzione leggera a telaio..... | 26 |
| | (a ossatura in legno, ballon frame, platform frame, Fachwerkhaus, colombage) | 26 |
| 4.2.1 | Pannelli portanti | 26 |
| 4.2.3 | Limiti | 26 |
| 4.3 | Parete massiccia in legno con tavole incrociate e inchiodate..... | 28 |
| 4.3.1 | vantaggi tecnici della parete | 28 |
| 5 | GLI ISOLANTI TERMICI | 30 |
| 5.1 | Classificazione..... | 30 |
| 5.1.1 | Isolanti minerali..... | 30 |
| 5.1.2 | Isolanti vegetali | 30 |
| 5.1.3 | Isolanti sintetici | 30 |
| 5.2 | Isolanti minerali..... | 32 |
| 5.2.1 | Pomice | 32 |
| 5.2.2 | Perlite espansa | 32 |
| 5.2.3 | Vermiculite espansa..... | 32 |
| 5.2.4 | Argilla espansa | 33 |
| 5.2.5 | Pannelli minerali espansi a temperatura medio-bassa..... | 33 |
| 5.2.6 | Lane di roccia | 34 |
| 5.2.7 | Fibre di vetro | 35 |
| 5.3 | Isolanti vegetali | 36 |
| 5.3.1 | Pannelli in fibra di legno naturale | 36 |
| 5.3.2 | Pannelli in fibra di legno e cemento | 36 |
| 5.3.3 | Sughero..... | 37 |
| 5.3.4 | Materassini in fibre vegetali | 38 |
| 5.4 | Isolanti sintetici | 39 |
| 5.4.1 | Polistirene espanso (EPS)..... | 39 |
| 5.4.2 | Polistirene estruso (XPS)..... | 39 |
| 5.4.3 | Poliuretano espanso | 40 |
| 6 | APPENDICE | 41 |

1 ENERGIA E COMFORT

1.1 Bilancio energetico invernale

$$\text{FABBISOGNO ENERGETICO} = \text{dispersione per trasmissione} + \text{dispersioni per ventilazione} - \text{guadagni solari} - \text{apporti interni gratuiti}$$

Nel cercare di ridurre il fabbisogno energetico invernale un passo molto importante è quello di ridurre le dispersione che si verificano attraverso le strutture.

Tali perdite sono strettamente legate sia alle dimensione delle superfici disperdenti che alle loro prestazioni termiche.

Per quanto riguarda il primo aspetto è da sottolineare che le trasmissioni di energia posso essere contenute innanzitutto riducendo al minimo le superfici disperdenti dell'edificio, ovvero adottando soluzioni architettoniche più compatte (ovvero caratterizzate da un basso valore S/V).

Rispetto alle prestazioni termiche delle singole strutture va sottolineato il fatto che una componente tutt'altro che trascurabile è quella relativa ai ponti termici.

Le perdite di energia per ventilazione possono essere contenute in maniera conveniente mediante l'adozione di sistemi di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore.

Mediante tali impianti il calore viene ceduto dall'aria espulsa a quella in ingresso senza che si verifichi un miscelamento fra le due.

Discorso degno di approfondimenti particolari è quello delle superfici trasparenti per le quali, se da un lato risulta particolarmente impegnativo ridurre le perdite per trasmissione, dall'altro se posizionati in maniera corretta, consentono di sfruttare gli apporti solari gratuiti e di offrire quindi un bilancio energetico positivo. In tal caso non deve sfuggire al progettista che una riduzione del fabbisogno energetico mediante lo sfruttamento dei guadagni solari deve tener comunque conto della necessità di non creare problemi di surriscaldamento nel periodo estivo.

1.2 Bilancio energetico estivo

Vista la complessità della problematiche termiche estive, il progettista attento rivolge la sua attenzione sia agli aspetti geometrici dell'involucro edilizio atti ad ostacolare il surriscaldamento al suo interno che a quegli accorgimenti che favoriscono il raffrescamento passivo (es. ventilazione naturale).

In tale contesto, particolare importanza viene assunta dalle cosiddette caratteristiche termiche dinamiche delle singole strutture, ovvero lo sfasamento e l'attenuazione dell'onda termica.

1.3 Comfort Termico e variabili di progetto

Fra le numerose variabili oggettive che concorrono alla determinazione della situazione di Comfort o DisComfort Termico, una progettazione corretta non può prescindere dai seguenti parametri fondamentali:

1.3.1 Temperatura dell'aria

È solitamente l'unico parametro cui solitamente si fa riferimento nella progettazione convenzionale. Pur essendo molto importante, tale parametro, preso singolarmente, è poco significativo.

In ambito residenziale si prende come riferimento un valore di 20° C.

Come vedremo, con una progettazione attenta, è possibile ottenere, con una temperatura dell'aria pari a 18°C, situazioni di Comfort addirittura superiori rispetto a numerose condizioni caratterizzate da una temperatura dell'aria pari a 20° C.

1.3.2 Temperatura media radiante

Questo parametro rappresenta la temperatura media delle superfici che racchiudono l'ambiente, o meglio di tutti quegli elementi che ci circondano e che si trovano ad una temperatura diversa da quella del nostro corpo.

Poiché il calore si trasmette dai corpi più caldi a quelli più freddi anche per irraggiamento (mettendo una mano vicino ad un blocco di ghiaccio proviamo una sensazione di freddo anche senza toccarlo) risulta di estrema importanza non essere attorniti da superfici fredde in inverno e, viceversa, da superfici calde in estate.

1.3.3 Simmetria termica

All'interno di un ambiente, oltre ad avere una temperatura media radiante idonea, risulta importante che vi sia anche una certa omogeneità nella sua distribuzione.

Immaginiamo ad esempio di trovarci fra un caminetto da un lato ed un blocco di ghiaccio dall'altro. Malgrado la temperatura media radiante possa essere magari di 20°C, in questa situazione difficilmente ci troveremo a nostro agio.

Venendo ad un caso concreto: se all'interno di un locale ci sono ampie superfici fredde (es. finestre) non è detto che riusciremo a compensare la sensazione di parete fredda con un semplice innalzamento della temperatura (maggiore isolamento) delle altre superfici.

Una progettazione attenta deve tenere conto di tale aspetto.

1.3.4 Temperatura Operante

È la media fra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante.

Rappresenta una sintesi dei vari parametri di temperatura e, con buona approssimazione, è un indice di quello che il nostro fisico percepisce come temperatura.

1.3.5 Umidità Relativa

Ad ogni livello di temperatura corrisponde un valore massimo di umidità che un volume d'aria può contenere. Più l'aria è calda, maggiore sarà la quantità di vapore acqueo che essa potrà contenere.

Per umidità relativa si intende quindi il tasso di vapore acqueo, espresso in percentuale, rispetto a tale valore massimo.

L'umidità relativa ricopre un ruolo molto importante nel determinare sensazioni di Comfort o di disagio. Sappiamo infatti per esperienza che, a parità di temperatura dell'aria, un "freddo secco" è tollerato meglio rispetto ad un "freddo umido".

Ciò dimostra che non conta solo la temperatura dell'aria, ma anche il tasso di umidità che essa presenta.

Affinché si provi benessere, a temperature diverse devono cioè seguire opportuni valori di umidità relativa. Quando ciò non accade il nostro fisico ci invia dei segnali (ad esempio in caso di carenza di umidità andiamo incontro a secchezza della gola e delle mucose).

Esistono appositi diagrammi (diagrammi psicrometrici) sui quali è possibile individuare le coppie di valori temperatura dell'aria e umidità relativa che determinano situazioni di comfort.

Anche non conoscendo l'esistenza di tali diagrammi e dei valori che essi indicano, è del tutto spontaneo, in situazioni di disagio, aspirare al ripristino di condizioni più favorevoli ricorrendo ad esempio alle vaschette umidificatrici che vengono applicate ai caloriferi (per ripristinare il giusto tasso di umidità).

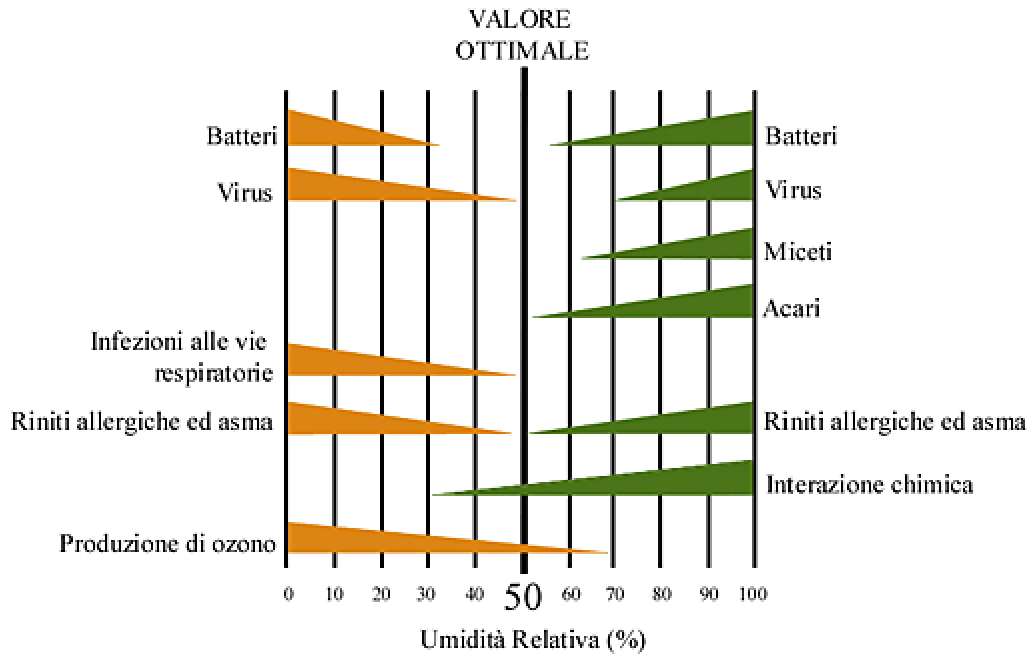
Sebbene con tali metodi sia possibile riportare il tasso di umidità relativa nell'intervallo di tolleranza del nostro organismo (dal 30% al 70%) è bene che l'umidità relativa sia mantenuta costante intorno al 50%.

Discostandoci da tale valore si va infatti incontro al rischio di insorgenza di numerose problematiche di ordine salutistico in quanto si vengono a creare situazioni microclimatiche favorevoli all'azione di microrganismi e ad altri fenomeni dannosi per la salute umana.

Virus e batteri, rafforzano la propria azione, sia in ambienti troppo secchi che troppo umidi.

Acari e Miceti (funghi) invece proliferano in condizioni di elevata umidità relativa.

La situazione si aggrava in condizioni di condensa dell'umidità (caso molto frequente nell'edilizia convenzionale che, come noto, è caratterizzata da bassi livelli di isolamento termico).



1.3.6 Velocità dell'aria

Come è facile intuire, in inverno un movimento di aria fredda contribuisce in maniera considerevole alla sensazione di freddo.

È pertanto fondamentale che i moti di aria siano il più basso possibile in inverno, mentre in estate movimenti di aria possono invece contribuire alla sensazione di comfort (nel caso di caldo umido).

Una progettazione attenta può agire anche su tale aspetto.

1.4 Protezione termica estiva

Per quanto riguarda la protezione termica estiva, la scelta del materiale isolante risulta determinante soprattutto nelle strutture caratterizzate da una massa ridotta, o meglio, caratterizzate da una ridotta Inerzia Termica (strettamente legata alla Capacità Termica dei materiali adottati).

In un tetto (soprattutto se caratterizzato da una massa ridotta), i vantaggi derivanti dall'adozione di una eventuale camera di ventilazione possono essere mortificati dall'utilizzo di isolanti caratterizzati da bassa Capacità Termica Volumica e viceversa enfatizzati dall'adozione di isolanti caratterizzati da una Capacità Termica Volumica adeguata.

1.4.1 Sfasamento - ϕ [H]

Indica la differenza di tempo fra l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura e l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna della stessa.

Il valore ottimale dello sfasamento per un tetto è solitamente di 12 ore ed è importante avere uno sfasamento di almeno 8 ore e non minore di 10 ore in quelle con climi estivi più impegnativi.

Con tali valori di sfasamento, il calore entrerà nelle ore notturne durante le quali può essere smaltito con ricambi di aria.

1.4.2 Fattore di attenuazione - F_A (variabile da 0 a 1)

È un indice di quanto un incremento di temperatura che si registra sul lato esposto di una struttura si traduce in un incremento di temperatura anche sul lato non esposto.

F_A varia da 0 a 1. Per $F_A = 0$ non si hanno incrementi sul lato non esposto, ovvero l'attenuazione dell'incremento di temperatura è totale. Per $F_A = 1$ gli incrementi di temperatura sul lato esposto al calore si ripercuotono integralmente anche su quello non esposto, ovvero l'attenuazione è nulla.

2 PROGETTAZIONE DELL'INVOLUCRO

2.1 Il corretto orientamento

Mediante il corretto orientamento dell'edificio, delle sole superfici vetrate e con un'accurata disposizione dei vari locali è possibile ottenere senza costi aggiuntivi importanti risultati in termini di Efficienza Energetica e Comfort Termico.

2.2.1 Conseguenze energetiche invernali

Alcune semplici considerazioni:

- I locali che vengono maggiormente sfruttati nelle ore diurne devono poter godere della maggior quantità possibile di luce naturale
- Su una parete esposta a sud, un oggetto (di sporgenza media) posto sopra una finestra non impedisce l'ingresso dei raggi solari poiché il sole è tutto sommato "basso" sull'orizzonte.
- Le pareti est ed ovest sono colpite dai raggi del sole per poche ore (rispettivamente le prime e le ultime ore della giornata) quando la loro intensità è minima. Gli apporti di energia attraverso le finestre poste su tali pareti risultano essere pertanto molto limitati.

2.2.2 Conseguenze energetiche estive

Alcune semplici considerazioni:

- Su una parete esposta a sud, un oggetto (di sporgenza media) posto sopra una finestra può far ombra alla stessa in estate (quando il sole è alto sull'orizzonte) senza per questo far ombra in inverno (quando il sole è più basso sull'orizzonte). Su tale parete è tutto sommato facile proteggere le finestre dall'eccesso di radiazione solare.
- Il discorso è ben diverso sulla parete ovest sulla quali il sole picchierà quasi perpendicolarmente in estate per molte ore fino al tardo pomeriggio. Gli apporti di energia attraverso le finestre poste su tale parete risultano essere pertanto considerevoli ed è inoltre impossibile proteggere con oggetti (poiché il sole è basso) le finestre dall'eccesso di radiazione solare.
- Discorso del tutto analogo riguarda il mattino sulla parete est.
- Poiché le zone ad ovest sono colpite dai raggi del sole fino al tardo pomeriggio, risultano essere spesso quelle più critiche nel periodo estivo (anche in assenza di superfici vetrate) in quanto in esse al calore dovuto alla radiazione del sole dovrà sommarsi anche quello relativo all'incremento della temperatura dell'aria esterna.
- Malgrado la simmetria geometrica rispetto al sud, le zone ad est invece saranno meno critiche poiché la radiazione solare sarà in parte mitigata dalla freschezza dell'aria mattutina. L'edificio infatti si sarà parzialmente raffreddato durante la notte e l'aria non sarà così calda come nelle ore del primo pomeriggio).
- Poiché il sole in estate è presente per un maggior numero di ore e compie un arco più ampio e più alto sull'orizzonte, la copertura è investita da una grande quantità di energia solare. Di conseguenza l'ambiente sottotetto è a forte rischio di surriscaldamento.

2.2.3 Disposizione dei locali

In base a quanto sopra descritto viene da sé che l'errore peggiore che si possa fare è quello di mettere le camere da letto ad ovest.

Infatti ciò si tradurrebbe in un accumulo di calore nel periodo estivo, fino a poche ore prima dell'utilizzo della stanza.

2.3 Rapporto Superficie/Volume

Uno dei modi migliori per ottenere un buon rapporto fra prestazioni energetiche e costo di realizzazione è quello di progettare edifici compatti, ovvero caratterizzati da un valore S/V contenuto.

Tutto ciò non vuol dire necessariamente limitarsi all'edificio di forma cubica, anzi...

Un edificio a pianta quadrata infatti non è l'ideale per quanto riguarda l'esposizione al sole poiché offrirà prospetti di pari superficie sia sul fronte ovest che su quello sud.

In tal proposito va sottolineato infatti che il fronte ovest è particolarmente critico nel periodo estivo in quanto esposto al rischio surriscaldamento (e pertanto dovrebbe essere piuttosto contenuto), mentre quello sud dovrebbe essere più esteso poiché è attraverso questo che l'edificio può sfruttare gli apporti solari gratuiti nel periodo invernale senza particolari controindicazioni in quello estivo.

La pianta ideale pertanto dovrebbe essere quella di un rettangolo (comunque non troppo "schiacciato") con lato maggiore esposto a sud.

La monotonia architettonica può poi essere evitata con un intelligente posizionamento di volumi o strutture "accessorie" (scale, locali tecnici, balconi, aggetti, ecc...) che, oltre ad offrire il pretesto per movimentare un po' l'edificio, possono anche fungere da cuscinetto termico (esposti ad ovest per una protezione estiva o a nord per quella invernale) o da elemento ombreggiante.

Se invece si deve o si vuole mantenere una forma evidentemente compatta, la personalizzazione dell'edificio può passare attraverso la cura della facciata come elemento architettonico significativo.

2.4 Fondazioni con Vespaio Aerato

L'umidità di risalita è un problema che da sempre l'uomo ha dovuto affrontare nella realizzazione degli edifici.

Una delle tecniche adottate fin dalla notte dei tempi è stata quella della realizzazione del solaio di terra sopra una superficie fortemente drenante.

Con l'evoluzione delle tecniche costruttive si è giunti a sviluppare (già in epoca romana) la cosiddetta tecnica del vespaio, poi evolutasi nel cosiddetto vespaio aerato, ovvero della costruzione del primo solaio al di sopra di un'intercapedine aperta su più lati.

Grazie ad aperture opportunamente posizionate e dimensionate, l'intercapedine può essere attraversata con facilità dall'aria che entrando si carica dell'umidità di risalita proveniente dal sottosuolo per poi portarla fuori attraverso i fori di uscita.

Ciò consente di mantenere costantemente asciutto non solo il solaio del piano terra, ma anche il pavimento di un eventuale interrato qualora lo stesso sia realizzato su un solaio aerato.

Con una tecnica del tutto analoga a quella del vespaio aerato è poi possibile creare delle pareti interrato.

Negli ambienti interrati realizzati con tale soluzione, con buona probabilità non si manifesteranno le problematiche di umidità che solitamente caratterizzano gli ambienti interrati o semi interrati o realizzati al piano terra su semplice basamento.

Allo stato attuale, la tecnica più utilizzata è quella di realizzare uno strato continuo di casseri a perdere in plastica riciclata (che hanno la forma di cupole) sopra i quali viene gettato un solaio in cemento armato.

Al di sotto dello strato di "cupolotti" ci sarà un'intercapedine che, tramite opportuni fori, comunicherà con l'ambiente esterno.

Lo strato di casseri accostati permette un reale distacco del solaio che poggerà a terra solamente su numerosi pilastri (che si vengono a creare nelle convergenze dei "cupolotti") di dimensioni ridotte.

Questa tecnica è molto apprezzata anche nel campo delle Ristrutturazioni in quanto molti edifici del passato soffrono in maniera considerevole del problema di umidità di risalita

Altri vantaggi del solaio su vespaio aerato realizzato con casseri a perdere in plastica riciclata - rigenerata, sono:

- smaltimento del Gas Radon attraverso la ventilazione naturale
- riduzione considerevole della quantità di cemento utilizzata per la realizzazione del solaio
- drastica riduzione dei costi relativi alla manodopera
- possibilità di agevole alloggiamento nel vespaio di condotti tecnici

2.5 Termointonaci

Si tratta di intonaci (costituiti da leganti idraulici ed inerti spesso inorganici) caratterizzati da un valore di conduttività termica inferiore rispetto agli intonaci convenzionali.

Per le loro prestazioni di isolamento termico i termointonaci si utilizzano prevalentemente nella realizzazione di isolamenti “a cappotto” dell’edificio senza l’adozione di pannelli isolanti.

L’intonaco può essere applicato fino ad uno spessore di 5 cm per volta.

Visti gli spessori comunque “limitati” e le prestazioni solitamente non paragonabili con quelle di isolanti a pannello, nonché a causa della tendenza normativa all’incremento delle prestazioni termiche invernali, i termointonaci risultano difficilmente utilizzabili nel caso di climi rigidi a meno che non vengano applicati su pareti già caratterizzate da ottime prestazioni termiche.

Sull’intonaco termoisolante si applicano solitamente rivestimenti traspiranti di tipo minerale, ai silicati e silossanici.

Come inerti si usa principalmente la vermiculite che è una particolare variazione della mica.

Questo minerale, mediante trattamento termico, perde l’acqua combinata e si espande, dando origine ad un ottimo isolante in forma granulare, esente da impurità, sterile e chimicamente inerte.

Data la sua origine minerale è incombustibile e imputrescibile e mantiene inalterate nel tempo le proprie caratteristiche.

Esistono in commercio termointonaci nei quali l’inerte è invece di origine organica (sughero granulare) o fossile (diatomite).

2.6 Tetto Ventilato

2.6.1 Vantaggi del tetto ventilato

Prevedere una ventilazione del tetto risulta di estrema importanza in quanto favorisce:

- il mantenimento entro valori accettabili dell'umidità all'interno della struttura tetto
- l'eliminazione dell'umidità che condensa sulla superficie inferiore del manto di copertura (e di seguito che può cadere sopra lo strato isolante)
- il defluire di eventuali infiltrazioni di acqua che possono essere convogliate in gronda senza incontrare ostacoli
- l'eliminazione di eventuali ristagni d'acqua sul manto di copertura dovuti a scioglimenti differenziali della neve
- l'incremento della longevità del manto di copertura che risulta sottoposto a minori stress dovuti a surriscaldamento, stati tensionali differenziali e cicli gelo-disgelo
- l'incremento della longevità dell'intero tetto che risulta essere maggiormente protetto dai problemi legati allo smaltimento dell'umidità e dai rischi di danneggiamento dovuti alle infiltrazioni di acqua
- rendere più confortevole l'ambiente sottotetto

2.6.2 Limiti del tetto ventilato

Sebbene l'adozione di un tetto ventilato comporti i vantaggi sopra citati, è bene "sfatare" un "luogo comune".

La sola ventilazione del tetto è sì in grado di apportare grandi migliorie del Comfort Termico dell'ambiente sottotetto, ma, da sola, raramente garantisce il conseguimento di condizioni tali che permettano di evitare il ricorso alla climatizzazione artificiale dell'ambiente sottotetto.

Ciò può essere facilmente chiarito analizzando i seguenti aspetti.

2.6.3 Convezione ed irraggiamento

Nei periodi di elevata insolazione, sul manto di copertura la temperatura può raggiungere ed anche oltrepassare gli 80°C.

Ciò fa sì che solo una parte del calore venga smaltita tramite l'espulsione di aria calda grazie appunto alla ventilazione (*convezione naturale - effetto camino*).

Una parte di calore viene infatti trasmessa dal manto di copertura allo strato isolante sottostante mediante re-irraggiamento. Tale componente, vista l'elevata temperatura del corpo emettente (manto di copertura) e vista la minima distanza che lo separa dall'isolante, è tutt'altro che trascurabile.

2.6.3 Inerzia termica

Isolare contro il freddo non significa automaticamente proteggere contro il caldo.

Isolanti caratterizzati da un analogo comportamento contro il freddo possono infatti mostrare prestazioni assai differenti nei confronti dello Sfasamento e dell'Attenuazione dell'onda termica e quindi nella protezione contro il caldo.

Per quanto riguarda questo ultimo aspetto, la scelta del tipo di materiale isolante risulta determinante.

In un tetto in legno infatti, i vantaggi derivanti dalla ventilazione possono essere mortificati dall'utilizzo di isolanti caratterizzati da bassa Capacità Termica Volumica e viceversa enfatizzati dall'adozione di isolanti caratterizzati da una Capacità Termica Volumica adeguata.

2.7 Ponti termici

2.7.1 Ponte Termico Geometrico

Per Ponti Termici Geometrici si intendono quei punti in cui, per conformazione geometrica la struttura favorisce, indipendentemente dal materiale o di isolante utilizzato per la costruzione, un flusso preferenziale per il calore.

Un'analogia particolarmente efficace nell'illustrazione del fenomeno è quella con il nostro naso che, essendo una punta, si raffredda molto facilmente proprio a causa della sua conformazione.

Negli edifici sono ad esempio Ponti Termici Geometrici tutti gli spigoli e tutti i vertici.

La situazione, di per sé critica, può essere inoltre aggravata dal fatto che negli spigoli si possono anche riscontrare elementi strutturali le cui caratteristiche termiche favoriscono la dispersione del calore (Ponti Termici Strutturali) come ad esempio travi e pilastri in cemento armato.

In corrispondenza di Ponti Termici Geometrici si riscontra quindi - anche in presenza di isolamento - un calo della temperatura in superficie ed all'interno della struttura.

Attraverso alcuni accorgimenti costruttivi ed un corretto dimensionamento dell'isolamento è possibile evitare il fenomeno di condensa accompagnata spesso dalla comparsa di muffa.

2.7.2 Ponte Termico Strutturale costituito da trave e pilastro

Oltre agli accorgimenti da prendere in fase di progettazione architettonica finalizzati al contenimento dei Ponti Termici Geometrici, ad oggi esistono anche numerose tecniche di risoluzione dei Ponti Termici Strutturali.

In assenza di isolamento esterno degli elementi strutturali (es. trave e pilastro), appena al di sotto dell'intonaco si ha la presenza di un corpo altamente conduttore. Il cemento è infatti di per sé un buon conduttore. A questo va poi aggiunta la presenza del ferro di armatura che favorisce ulteriormente il passaggio di calore.



Ponte termico dovuto a trave non protetta termicamente

Questo problema può essere parzialmente ridotto applicando un pannello isolante sulla facciata esterna dell'elemento strutturale prima dell'applicazione dell'intonaco. Ciò attenua il Ponte Termico ma in maniera limitata in quanto la "rientranza" della trave può essere minima per motivi pratici e/o strutturali. Questa soluzione tecnica consente infatti l'applicazione solo di un sottile strato di isolante che, anche nei climi non troppo rigidi, non garantisce assolutamente un'adeguata compensazione del Ponte Termico indispensabile per evitare la formazione di condensa.

Nei punti in cui si verifica la convergenza di travi e pilastri la situazione diventa particolarmente critica, soprattutto se si tratta di spigoli. In questo caso abbiamo infatti sia la presenza di Ponti Termici Strutturali che di Ponte Termico Geometrico.

2.7.3 Ponte Termico Strutturale costituito da balcone ed aggetti

I balconi, come vengono comunemente realizzati, costituiscono dei considerevoli Ponti Termici Strutturali tipici dell'edilizia realizzata senza prestare attenzione alle esigenze di Risparmio Energetico. Al lato pratico il balcone si comporta come un'aletta di raffreddamento proprio come quelle che servono a smaltire il calore dei motori per evitarne il surriscaldamento.



Da queste immagini di una demolizione è possibile notare la considerevole presenza di ferri di armatura della soletta a sbalzo che costituisce il balcone

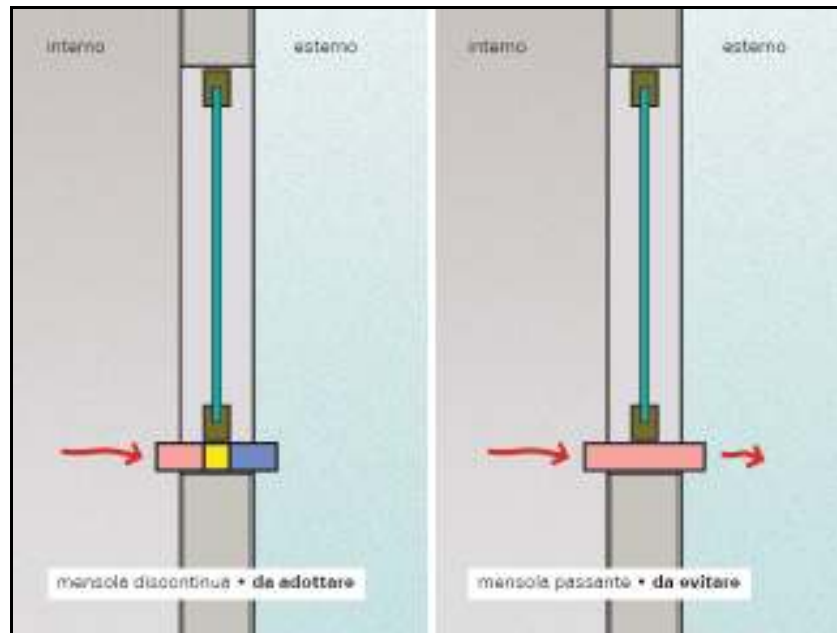
Nel contesto dell'Edilizia a Basso Consumo vengono oggi applicate delle tecniche che consentono di realizzare balconi evitando o riducendo notevolmente il Ponte Termico ad esso dovuto.

Una di queste consiste nell'avvolgere con un isolamento a cappotto l'elemento aggettante.

Altra soluzione particolarmente interessante è quella che prevede l'utilizzo di elementi strutturali (realizzati anche su misura da ditte specializzate) a taglio termico.

2.7.4 Mensola passante

Nella posa delle finestre, in molte aree d'Italia purtroppo è prassi radicata quella di montare prima la mensola (in un unico pezzo) e di posarvi sopra l'infisso. In questo modo si realizza un considerevole Ponte Termico facilmente evitabile.



Eliminazione del ponte termico dovuto a mensola passante

Con qualche accorgimento (effettuando il taglio termico della mensola) si può infatti eliminare questo Ponte Termico e quindi sfruttare a pieno le prestazioni energetiche offerte dagli infissi.

Tutto ciò è veramente paradossale in quanto per motivi legati alla normativa si spendono somme non trascurabili in infissi e vetrocamere e poi non si presta attenzione a questo particolare.

La cosa viene poi aggravata dal fatto che sotto molte finestre viene posizionato il radiatore. In questo modo, avendo un Ponte Termico proprio sopra un elemento che fornisce calore si registra un considerevole spreco di energia.

Da sottolineare inoltre che spesso l'elemento scaldante viene inoltre posizionato in nicchie che, essendo di spessore minore rispetto al resto della parete, costituiscono già un Ponte Termico in quanto oppone una minore resistenza al passaggio del calore.

2.7.5 Cassonetto tapparella avvolgibile

Il cassonetto porta tapparella di comune concezione rappresenta un considerevole Ponte Termico e Ponte Acustico in quanto, con varie dinamiche, offre una via preferenziale al flusso sia di calore che del rumore.

Una di queste dinamiche è quella dell'isolamento termoacustico insufficiente o comunque inadeguato.

Quando il cassonetto porta tapparella è di bassa qualità si possono inoltre riscontrare dei veri e propri flussi di aria. Anche se ciò può comportare il vantaggio di favorire un ricambio spontaneo di aria, in tale circostanza, soprattutto nei bagni e nelle cucine, si può talvolta riscontrare la presenza di muffa in corrispondenza delle fessure.

Anche in caso di buona tenuta all'aria il cassonetto porta tapparella va comunque ad interrompere la continuità dell'isolante termo-acustico.

Ad aggravare la situazione gioca poi il fatto che i cassonetti porta tapparella sono ovviamente posizionati in alto, ovvero in corrispondenza delle travi che, se non isolate in maniera opportuna, rappresentano di per sé un altro Ponte Termico.

Lo stato delle cose diviene ancor più grave quando i cassonetti porta tapparella sono posizionati in uno spigolo dove di avrà anche un pilastro. In tal caso si andranno a sommare i Ponti Termici dovuti a: cassonetto porta tapparella, trave, pilastro, nonché al Ponte Termico Geometrico (di spigolo e/o vertice).



Ponte termico dovuto a cassonetto tapparella avvolgibile

Fatto salvo che, nel limite del possibile, è sempre da evitare la sovrapposizione di fattori negativi, ad oggi esistono anche in questo caso delle soluzioni tecniche al problema del Ponte Termico.

Nel contesto dell'Edilizia a Basso Consumo vengono utilizzati appositi cassonetti dalle elevate prestazioni di isolamento che vengono posizionati nello spessore della parete in maniera tale da garantire la continuità dell'isolamento termico.

Tali cassonetti sono solitamente ispezionabili non dalla loro facciata che da sull'interno interno del locale (facciata fra l'altro attentamente coibentata), bensì sul loro lato inferiore aprendo la finestra.

In alcuni casi, per garantire la completa tenuta all'aria, la cinghia per l'avvolgimento manuale viene sostituita da un motore elettrico.

Con tale soluzione il Risparmio Energetico è assicurato così come Comfort Termico ed anche quello acustico.

2.8 Le chiusure trasparenti

2.8.1 bilancio energetico invernale e posizionamento degli infissi

Innanzitutto dobbiamo considerare che, anche se la luce diffusa è portatrice di energia, solo quella diretta, cioè i raggi del sole, porta con sé quantitativi energetici apprezzabili.

Nord

Viene da sé che per le superfici vetrate posizionate sulle pareti esposte a nord, il bilancio energetico sarà negativo.

A fronte di un ingresso di energia estremamente ridotto (luce diffusa) si registreranno infatti notevoli dispersioni (legate alla Trasmittanza del sistema vetro-telaio).

Sud

Il discorso diventa diametralmente opposto per gli elementi vetrati esposti a sud (purché non siano all'ombra di altri edifici, alberi, ecc...) quando la Trasmittanza dell'elemento non è troppo elevata.

In pratica, infissi moderni dotati di vetrocamera, esposti a sud, possono "catturare" più energia di quanta ne possano disperdere.

Ovviamente al ridursi della Trasmittanza dell'infisso (al quale è però correlato un incremento del costo) segue un miglioramento del bilancio energetico in quanto vengono ridotte le dispersioni di calore.

Est ed Ovest

Per le pareti est ed ovest il discorso diventa più complesso in quanto in pieno inverno il sole descrive sull'orizzonte un arco più ristretto rispetto all'estate. Ciò fa sì che il periodo più freddo dell'anno "coincida" con quello in cui le superfici vetrate esposte ad Est ed Ovest siano colpite dal sole per poche ore al giorno e con un minimo apporto di energia dovuto all'inclinazione rispetto queste dei raggi solari. L'apporto energetico solare attraverso gli infissi caratterizzati da tali esposizioni risulta quindi molto limitato in inverno e cresce via via che ci si discosta dal solstizio invernale.

Come sopra accennato, essendo comunque necessario (oltre che obbligatorio) fornire ad ogni locale abitato una certa quantità di luce naturale, per un locale esposto con un lato a Sud ed uno ad Est, la superficie vetrata dovrà essere di preferenza posizionata sul lato sud (in abbinamento ad un sistema di schermatura). Analogamente per un locale esposto a Nord-Est, la superficie vetrata dovrà essere di preferenza esposta ad Est.

| parete | inverno | estate |
|--------|---|--|
| nord | sempre in ombra | sempre in ombra |
| est | al sole per poche ore al mattino | al sole per molte ore al mattino |
| sud | al sole nel mezzo della giornata con il sole "basso" | al sole nel mezzo della giornata con il sole "alto" |
| ovest | al sole per poche ore al pomeriggio | al sole per molte ore al pomeriggio |

Relazione fra posizionamento degli infissi ed esposizione al sole

2.8.2 bilancio energetico estivo e posizionamento degli infissi

Sud

In estate a mezzogiorno il sole si trova nel punto più alto sull'orizzonte a Sud e manifesta il massimo della sua potenza. Contrariamente a quanto ci si possa aspettare, tutto ciò rappresenta un problema affrontabile per le superfici vetrate esposte a Sud. Esse infatti possono essere messe in ombra (schermate) con degli aggetti, ovvero con delle sporgenze opportunamente dimensionate. Ad esempio una finestra del piano terra può godere dell'ombra di un balcone del primo piano, così come un infisso dell'ultimo piano può essere in ombra grazie alla sporgenza del tetto.

Gli aggetti, se opportunamente dimensionati, non fanno ombra in inverno poiché in tale periodo, alla stessa ora, il sole sarà più basso sull'orizzonte.

Le sporgenze presentano inoltre la comodità di "proteggere" le aperture dalla pioggia (ovviamente se non piove a vento).

Est ed Ovest

Nel periodo estivo il sole colpisce tali pareti quasi perpendicolarmente (al mattino ad Est e al pomeriggio ad Ovest), per cui, pur essendo in tali orari l'irradiazione inferiore rispetto al mezzogiorno, la quantità di energia che colpirà ogni centimetro quadrato di superficie sarà comunque considerevole.

In questo caso gli aggetti orizzontali (balconi, sporgenze del tetto, ecc...) non sono efficaci poiché il sole è basso sull'orizzonte, mentre risultano utili elementi verticali portatori di ombra (es. alberi).

Sebbene siano geometricamente simmetriche rispetto all'asse Nord - Sud e quindi rispetto al moto del sole, la parete Ovest è nettamente più critica di quella Est. Ciò è dovuto al fatto che la parete Ovest, a differenza di quella Est, verrà colpita dai raggi del sole nelle ore pomeridiane.

Nel pomeriggio si dovrà infatti affrontare non solo il problema del calore ceduto dal sole con i suoi raggi, ma anche quello ceduto dall'aria che sarà oramai surriscaldata. Ovviamente i due effetti andranno a sommarsi.

La parete Est invece viene colpita dai raggi al mattino quando godrà ancora dei benefici termici del fresco notturno.

Copertura

Essendo alto sull'orizzonte, nell'arco della giornata il sole è in grado di colpire tutte le superfici di una copertura di pendenza comune.

Particolarmente critiche saranno le falde esposte a Sud che verranno colpite pressoché perpendicolarmente proprio nelle ore di maggior irraggiamento (intorno a mezzogiorno).

2.8.3 Schema riassuntivo degli orientamenti delle superfici vetrate

Di seguito vengono indicate in maniera schematica, alcune valutazioni di massima che tengono conto sia del periodo invernale che di quello estivo.

| ESPOSIZIONE | Nord | Sud | Est | Ovest | Falda Nord | Falda Sud | Falda Est | Falda Ovest |
|--------------------|------|-----|-----|-------|------------|-----------|-----------|-------------|
| superficie vetrata | .. | + * | · | .. | · | .. | · | .. |

.. da evitare

· da evitare per quanto possibile

+ da favorire

* con aggetti

3 GLI IMPIANTI

3.1 Riscaldamento a pavimento - Corretta gestione

Il sistema di riscaldamento a pavimento a causa di una certa lentezza nel portare a temperatura un locale freddo viene talvolta sconsigliato quando l'abitazione non viene vissuta in maniera continuativa nell'arco della giornata.

Se è vero che il sistema a pavimento è piuttosto lento, nella realtà, anche in caso di assenza limitata a pochi giorni, non conviene lasciar raffreddare completamente l'abitazione poiché dal punto di vista energetico far ciò non sarebbe neppure conveniente.

L'impianto è infatti caratterizzato da rendimenti molto elevati, ma alla condizione di un funzionamento di tipo continuo (proprio grazie alla notevole massa riscaldata). Per questo motivo, l'energia risparmiata in un eventuale spegnimento non sarebbe infatti in grado di compensare quella necessaria nel riportare l'ambiente alla temperatura ottimale.

In caso di brevi assenze conviene quindi non lasciar raffreddare completamente l'abitazione, ma, al più far calare la temperatura di un paio di gradi (o poco più). In tal caso, l'impianto riporterà tranquillamente l'ambiente a temperatura nel giro di poco tempo e con un minimo dispendio di energia.

In base a quanto sopra citato, questo tipo di impianto non è indicato per abitazioni ad uso fortemente discontinuo (es. casa per brevi villeggiature o week-end).

3.2 Riscaldamento a parete

A differenza del riscaldamento a pavimento, che lascia libero all'arredo anche le porzioni di parete solitamente destinate ai comuni radiatori, nel caso di riscaldamento a parete possono insorgere alcune difficoltà nel disporre o nel modificare il mobilio in quanto questo tipo di soluzione necessita ovviamente di alcune pareti libere.

Il problema può essere molto rilevante nel caso di edifici male isolati nei quali, per compensare le dispersioni è effettivamente necessario destinare considerevoli superfici al riscaldamento.

Quando l'edificio è caratterizzato da discrete o buone prestazioni dell'involucro, allora il numero di metri quadri di parete da destinarsi al riscaldamento e/o raffrescamento, cala in maniera considerevole, rendendo quindi la soluzione applicabile senza difficoltà. A differenza della soluzione a pavimento per la quale, per motivi anche di ordine normativo, il fluido convettore non può essere troppo caldo, nella parete un innalzamento (entro certi limiti) della temperatura non genera alcun inconveniente. In tal caso sarà quindi possibile ridurre la superficie necessaria allo scambio termico.

Il riscaldamento a parete, a differenza di quello a pavimento offre una risposta molto rapida, per cui è indicato anche indicato per uffici, ed abitazioni ad uso fortemente discontinuo (es. casa per villeggiatura o week-end).

3.3 Riscaldamento a battiscopa

Il sistema funziona bene dal punto di vista energetico ed è piuttosto rapido nel riscaldare gli ambienti. Ci sono comunque delle “controindicazioni” che possono favorire l’adozione di altre soluzioni.

Inserimento estetico:

Sebbene i produttori forniscano elementi speciali, finiture di pregio, ecc... il suo inserimento presenta in alcuni casi delle difficoltà come ad esempio in prossimità di mobili; soprattutto in cucina e bagno. La cucina dovrà ad esempio prevedere una zoccolatura di dimensioni opportune. Questi aspetti rischiano di far innalzare i costi globali del riscaldamento a battiscopa in quanto possono aumentare gli oneri dovuti ad un arredo particolare o fuori standard.

Polvere:

In condizioni normali un impianto a battiscopa lavora a temperatura media (50-55°C), ciò muove relativamente poco l’aria, per cui il battiscopa si “mangia” poca polvere e, cosa particolarmente importante, non la brucia.

Può accadere però, in condizioni di picco di dover fronteggiare il freddo esterno innalzando la temperatura di esercizio portandola a 70-80°C. Allora il battiscopa può diventare un “aspirapolvere” che si brucia le polveri e poi le rimette in giro.

Per evitare che ciò accada bisogna provvedere all’installazione di elementi particolari (con alette sovradimensionate o doppio circuito) o con un’integrazione con altri sistemi (tipo “termosifoni” in modo tale da evitare di dover innalzare le temperature di esercizio del battiscopa).

In un edificio con prestazioni termiche note è possibile far ciò in maniera abbastanza agevole, ma in un edificio dove le incognite sulle prestazioni termiche globali sono elevate (come nel caso di ristrutturazioni) si corre il rischio o di sovradimensionare eccessivamente i “termosifoni” (annullando quindi i benefici economici legati alla semplicità di installazione) o, in alternativa, di dover poi lavorare a temperatura elevata e ritrovarsi quindi con un sistema tutt’altro che salutare.

In ogni caso il riscaldamento a battiscopa si mangia un po’ di polvere, tant’è che quasi tutti i prodotti in commercio prevedono la possibilità di smontare agevolmente la parte frontale per la pulizia.

E’ in ogni caso difficile pensare che si dedichi costantemente del tempo a tale operazione.

Rumore:

Sono noti casi di riscaldamento a battiscopa che, in fase di riscaldamento, a causa della dilatazione termica delle lamelle, fanno un po’ di rumore metallico in fase di accensione e di spegnimento.

3.4 Impianto a radiatori “sovradimensionati”

Premessa

Qualora non sia stato previsto o non sia più possibile adottare un impianto radiante, una soluzione intelligente è quella di ricorrere ad un impianto a radiatori progettato per lavorare il più possibile in modo radiante e il meno possibile sulla temperatura dell'aria.

Come è noto infatti nessun radiatore lavora solo per convezione (ovvero scaldando l'aria), come d'altra parte nessun sistema radiante lavora esclusivamente in maniera radiante (anche un impianto a parete radiante scalderebbe un po' l'aria). In altri termini ogni sistema ha sia una componente calore radiante (quella piacevole della superficie calda) ed una convettiva (quella a volte fastidiosa dell'aria calda).

Il sistema

Un comune sistema a radiatori solitamente viene dimensionato con pochi elementi (“tubi”) e di conseguenza, essendo limitata la superficie di scambio termico fra radiatore ed ambiente, viene fatto lavorare con una temperatura elevata dell'acqua. Ciò determina un comportamento spiccatamente convettivo.

Se invece, in fase di progettazione, si procede consapevolmente ad un “sovradimensionamento” dei radiatori (ovvero se ogni radiatore avrà un maggior numero di elementi e quindi una superficie maggiore), sarà possibile, entro certi limiti, farlo lavorare ad una temperatura inferiore.

Nella pratica, il radiatore cercherà di comportarsi un po' come una parete radiante e ciò si tradurrà in una riduzione della componente convettiva. Si avrà quindi un maggior benessere che sarà inoltre associato ad un minor fabbisogno energetico (poiché l'acqua verrà scaldata ad una temperatura inferiore).

Questo tipo di impianto offre numerosi vantaggi fra cui la possibilità di essere abbinato in maniera estremamente efficace con generatori di calore a condensazione (caldaie a condensazione) e di trovare un felice accoppiamento con pannelli solari termici che possono agevolmente scaldare l'acqua alla temperatura di esercizio dell'impianto.

Un ulteriore vantaggio è che, in caso di situazioni climatiche eccezionalmente rigide, innalzando la temperatura dell'acqua di mandata della caldaia di alcuni gradi i corpi scaldanti sono in grado di erogare il calore sufficiente a mantenere gli ambienti in condizioni ottimali. Nel contesto attuale caratterizzato da “scherzi” del clima questo aspetto non è affatto da sottovalutare, infatti in più zone d'Italia, negli ultimi anni si sono spesso verificate situazioni in cui, impianti dimensionati convenzionalmente non riuscissero, in condizioni climatiche NON usuali, a svolgere il loro compito causando grave disagio per gli utenti.

3.5 Impianto di riscaldamento ad accumulo termico

L'adozione di un accumulo a valle del generatore di calore comporta numerosi vantaggi sotto vari aspetti.

Maggiore Rendimento

La presenza di un accumulo fa sì che il generatore non funzioni ad intermittenza (accendi-spegni).

Il generatore infatti nell'arco dell'intera giornata, si accende un minor numero di volte, ma per il tempo necessario a riscaldare tutto il volume di acqua presente in esso.

Ciò comporta un notevole incremento del rendimento in quanto un generatore che lavora ad intermittenza svolge solo una parte minima della sua attività a regime di massima prestazione.

Possibilità di integrazione con fonti rinnovabili

Altro importante vantaggio derivante dall'adozione di un serbatoio di accumulo per l'acqua calda è la possibilità di collegare ad esso più di un generatore di calore.

In questo modo il generatore a combustibile convenzionale (Metano, GPL, gasolio, ecc...) può essere affiancato, anche in un secondo momento, ad esempio da pannelli solari termici.

Con l'adozione di caldaie a biomasse, termocamini, stufe a pellets, magari abbinati a pannelli solari termici, si può addirittura eliminare il ricorso ai combustibili fossili (cari ed inquinanti).

Qualora sia disponibile lo spazio sufficiente (non necessariamente in prossimità del generatore di calore), è fortemente auspicabile l'adozione di un sistema di accumulo termico anche nel caso di impianti preesistenti che, con qualche modifica, possono trarre benefici considerevoli dall'adozione della tecnica dell'accumulo termico.

Comfort

Non avendo una presa diretta dell'acqua calda sanitaria, si evita il tipico inconveniente dello sbalzo di temperatura da caldo a freddo degli impianti convenzionali.

A differenza del piccolo accumulo interno al generatore (pochissimi litri), il considerevole quantitativo di acqua calda non finisce in maniera pressoché istantanea.

Quando la disponibilità di acqua calda scende al di sotto di un certo limite, il generatore entra automaticamente in funzione senza che l'utente possa in alcun modo percepire cali di temperatura.

La riserva a disposizione consente infatti al generatore di avere tutto il tempo necessario per compensare il prelievo.

Ambiente

Un impianto dotato di accumulo termico comporta un minor impatto ambientale grazie a:

- minor numero di accensioni (nella fase di accensione, la combustione non è ottimale)
- riduzione dei consumi (grazie ad un funzionamento a regime di massima prestazione)
- possibilità di integrazione (o addirittura sostituzione completa) con fonti di energia rinnovabile.

Adeguamento ed integrazione

Poiché nell'accumulo può confluire l'energia termica prodotta da più fonti di calore (es. pannelli solari termici, generatore di calore a biomasse, ecc...), l'adozione di questa soluzione impiantistica è fortemente auspicabile.

In ogni caso nei nuovi impianti dovrebbe essere perlomeno prevista la predisposizione per tale soluzione da realizzarsi magari in un secondo momento.

Anche se comporta alcuni indubbi vantaggi, l'accumulo non deve essere necessariamente posizionato in prossimità del generatore di calore.

3.6 Caldaia a condensazione

Qualora si ritenga opportuno o si debba far ricorso a combustibili convenzionali, quali ad esempio il metano, una soluzione particolarmente interessante è quella della caldaia a condensazione.

Si tratta infatti di un generatore di calore caratterizzato da rendimenti particolarmente elevati.

Oltre a presentare una costruzione mediamente di qualità superiore rispetto ai generatori comuni, le caldaie a condensazione recuperano energia termica dal calore dei gas di scarico riducendone sensibilmente il calore sensibile.

Di fatto i fumi vengono espulsi ad una temperatura notevolmente ridotta (anche inferiore ai 50° C) dopo aver ceduto parte del loro calore che andrà così ad incrementare il rendimento del generatore. Durante questo processo, parte del vapore acqueo contenuto nei fumi condensa (da qui il nome di caldaia a condensazione).

Per quanto riguarda il rendimento, bisogna tener conto del fatto che, per convenzione, questo viene calcolato considerando come valore di riferimento il potere calorifico inferiore (che non include il calore di evaporazione dell'acqua presente nei gas di combustione), e non quello superiore (che invece ne tiene conto). È proprio la possibilità di recuperare parte del calore di evaporazione dell'acqua presente nei gas di combustione che spiega una caldaia a condensazione possa vantare un rendimento superiore anche al 100%.

Un ruolo determinante nel garantire un pieno sfruttamento della potenzialità di questa tecnica è dato dalla temperatura di funzionamento dell'impianto. Più è bassa la temperatura di ritorno, maggiore calore verrà sottratto ai fumi e, di conseguenza, maggiore sarà il rendimento del generatore.

Viene da sé che la soluzione migliore è quella di abbinare una caldaia a condensazione ad impianti radianti essendo questi solitamente concepiti per lavorare proprio a temperature medio-basse.

Una caldaia a condensazione rappresenta comunque un'ottima soluzione anche nel caso di impianti a radiatori volutamente "sovradimensionati", ovvero per quegli impianti a radiatori progettati per ridurre al minimo il comportamento convettivo a vantaggio di quello radiante.

Sebbene la caldaia a condensazione in alcuni suscita qualche perplessità (fra l'altro del tutto immotivata), questa tecnica viene non rappresenta affatto una novità essendo sfruttata con pieno successo ormai da svariati anni.

4. FRA TRADIZIONE E INNOVAZIONE

4.1 Case in legno a tronchi sovrapposti

(Blockhaus o Blockbau nel mondo di lingua germanica)

4.1.1 La storia

La soluzione a tronchi sovrapposti si è sviluppata e radicata in quei contesti geografici caratterizzati da grandi disponibilità di legname nelle immediate vicinanze dei luoghi di costruzione.

Tale soluzione è radicata quindi in Scandinavia, Russia, alcune aree dell'Europa dell'est e in generale nell'architettura di montagna, non solo dell'arco alpino. In Italia è presente soprattutto nel Sud Tirolo - Alto Adige.

La costruzione a Blockhaus o Blockbau è nota a tutti perché caratterizza i paesaggi della Svizzera, dell'Austria e del Sud Tirolo - Alto Adige.

In molte valli della provincia di Bolzano è possibile vedere numerose costruzioni Blockhaus realizzate alcuni secoli fa.

Molte di queste case in legno, il cui tetto in legno è addirittura coperto non da tegole o coppi in laterizio, bensì da scandole in larice, sono tuttora abitate.

Ciò è una chiara dimostrazione della possibile durata di una casa legno ben realizzata ed inoltre mette in chiara evidenza che quella di trattare ogni pezzo di legno che entra in casa (con prodotti che oltretutto spesso sono nocivi per la salute e per l'ambiente) è un'abitudine moderna totalmente evitabile.

4.1.2 Limiti

Instabilità dimensionale

Una semplice sovrapposizione dei tronchi non garantisce nel tempo una perfetta chiusura dei giunti (infatti il legno è sempre un materiale "vivo" e pertanto può muoversi o deformarsi).

Molti rivenditori di case in legno proprio per ovviare a questo inconveniente propongono oggi case in legno a tronchi sovrapposti con lavorazioni particolari nella zona di contatto fra i tronchi (fresature, accoppiamenti maschio-femmina, ecc...).

Queste lavorazioni, se ben realizzate, e soprattutto se il legno utilizzato è un buon legno, possono avere una certa efficacia, ma non eliminano del tutto il rischio di dover intervenire per chiudere eventuali fessure e, soprattutto non risolvono un problema ben più grave, quello dell'inevitabile abbassamento della struttura.

Alcuni costruttori di case in legno propongono poi soluzioni con tronchi ricostruiti con legno lamellare che possono presentare una buona stabilità dimensionale (ottenibile fra l'altro anche con un buon legno opportunamente stagionato)

Ovviamente queste soluzioni in legno lamellare contengono dei collanti che possono essere di vario genere (a seconda del produttore).

Tutto sommato quella del legno lamellare è una tecnologia "nuova" e, mentre si conosce benissimo il legno naturale, il comportamento ad invecchiamento delle colle rappresenta ancora un'incognita sia dal punto di vista meccanico che da quello del rilascio di sostanze nocive.

Molte colle inoltre sono notoriamente nocive per la salute già in fase di produzione e di applicazione e le normative redatte per salvaguardare la salute degli operatori del settore lo dimostrano (es. rilascio di formaldeide).

Abbassamento della struttura

Il legno nel tempo, per sua natura, si ritira.

Ciò avviene solo in senso ortogonale alle fibre. In altre parole: un tronco non si accorcia, ma si restringe.

Questo comportamento inevitabile in una costruzione Blockhaus si traduce in un abbassamento (anche di alcuni centimetri) dell'intera struttura.

Questo fenomeno è insito in questo tipo di costruzione (a dimostrazione della gravità di questo problema, alcuni produttori di case in legno Blockhaus adottano la soluzione a tronchi disposti non in orizzontale, bensì in verticale).

Infiltrazioni di aria e manutenzione

Ancor più grave è il fatto che il restringimento dei tronchi, e quindi l'abbassamento, è legato anche al livello di umidità contenuta nel legno.

Più il legno è umido, meno si ritira (il legno bagnato addirittura si gonfia). Quindi più si essicca, più la sezione del tronco si restringe. Il risultato è che le pareti esposte al sole (sud, est e ovest) si abbassano di più rapidamente di quelle in ombra (o esposte a nord).

Ovviamente ciò comporta gravi conseguenze nei giunti, soprattutto in corrispondenza degli infissi ed ancor più nell'attacco fra parete di legno e tetto in legno.

Il Blockhaus nel tempo, per sua natura, genera infiltrazioni di aria e continui piccoli assestamenti, pertanto possono essere necessari nel corso della sua vita (che può essere lunghissima) ripetuti interventi di manutenzione.

Infiltrazioni di aria e umidità

Con le attuali abitudini e standard di vita, le nostre abitazioni sono caratterizzate da elevati livelli di umidità (una famiglia media produce 10-14 litri di vapore acqueo al giorno).

Più l'aria è calda, più elevata è la quantità di vapore acqueo che può contenere.

Se dell'aria calda e molto umida entra in contatto con una superficie fredda, si verifica il fenomeno di condensa in quanto l'aria, raffreddandosi, non è più in grado di contenere il vapore acqueo che aveva in origine (infatti si ha pioggia quando correnti calde di aria umida incontrano correnti di aria fredda).

In una casa in legno la condensa si può manifestare soprattutto in corrispondenza di fessure (che sono fredde) attraverso le quali l'aria calda ed umida tende ad uscire. Un rischio analogo lo si corre in corrispondenza di tutti i ponti termici.

Poiché il degrado del legno è strettamente legato a condizioni di umidità (indispensabili per la vita degli agenti degradatori del legno), la condensa rappresenta uno dei pericoli maggiori per le case in legno.

Ciò ovviamente rappresenta un problema nel Blockhaus di oggi, mentre un tempo non comportava grossi rischi.

Agli spifferi infatti si era abituati e le fessure erano talmente tante da permettere un continuo ricambio di aria e quindi un efficace smaltimento dell'umidità in eccesso.

Ciò si traduceva ovviamente anche in una temperatura interna all'abitazione molto più bassa; improponibile per il nostro standard di Comfort Termico. Tutto ciò comunque favoriva la conservazione delle case a tronchi tradizionali.

Da ciò ne consegue che una casa in legno a tronchi sovrapposti deve essere lasciata libera di smaltire l'umidità in eccesso tramite consistenti ricambi di aria e che il legno non deve essere trattato con prodotti che ne inibiscano la possibilità di respirare (ovvero assorbire umidità quando l'aria è carica di vapore acqueo e rilasciarla quando invece l'aria è troppo secca).

4.1.3 Sviluppi

Attualmente, con tecniche costruttive innovative (ovvero con numerosi strati di tavole inchiodate), è possibile la realizzazione di case in legno caratterizzate dalla longevità del Blockhaus superando i limiti di questa tecnica tradizionale.

Per quanto riguarda invece il Comfort Termico ed il Risparmio Energetico queste nuove tecnologie sono in grado di coniugare elevate prestazioni termiche invernali (tipiche delle case in legno a telaio) con il Comfort Termico estivo (che caratterizza invece le case in legno a Blockbau e costituisce spesso uno dei limiti delle costruzioni in legno a telaio).

4.2 Case in legno a telaio - Costruzione leggera a telaio (a ossatura in legno, ballon frame, platform frame, Fachwerkhaus, colombage)

4.2.1 Pannelli portanti

La soluzione costruttiva a pannelli portanti è concettualmente l'evoluzione industriale del platform frame (che viene ancora largamente utilizzato nel nord America). La soluzione a pannelli portanti prevede molte fasi di lavorazione in stabilimento e poche in cantiere. La costruzione platform frame invece è interamente realizzata in cantiere.

La differenza sta quindi nella industrializzazione del prodotto e nel conseguente, almeno dal punto di vista teorico, innalzamento della qualità.

I pannelli costituiti da un telaio vengono realizzati in stabilimento e lì viene applicato anche il paramento (solitamente quello esterno) che svolge anche la funzione di controventamento. In alcuni casi in stabilimento vengono applicati anche l'isolamento ed il secondo paramento. La filosofia costruttiva è quella di ridurre al minimo il lavoro in cantiere. Lavorare di più in stabilimento e meno in cantiere permette infatti di ridurre drasticamente i tempi di realizzazione di una casa in legno e, se si lavora bene, di innalzare la qualità del prodotto.

In alcuni casi si giunge addirittura alla predisposizione dell'impiantistica.

Grazie a processi di industrializzazione è poi possibile costruire case di legno in serie riducendo quindi i costi. Molti produttori offrono quindi un vero e proprio catalogo tramite il quale è possibile scegliere e comprare case in legno. Trattandosi di case da catalogo spesso all'acquirente non è lasciata alcuna possibilità di personalizzazione (almeno a livello architettonico), ma vi sono anche costruttori di case in legno a telaio che operano esclusivamente in base alle esigenze dell'acquirente e non mancano le soluzioni intermedie.

La soluzione a telaio, soprattutto nelle versioni più economiche, può presentare parecchi limiti soprattutto sotto i seguenti aspetti:

4.2.3 Limiti

Scarsa inerzia termica

L'adozione della tecnica costruttiva a telaio, a differenza del Blockhaus (nel quale tutta la struttura è in legno massiccio) comporta la costruzione di case in legno leggere. Se un'abitazione ha poca "massa" avrà anche una bassa inerzia termica e ciò si traduce in bassi livelli di comfort termico.

Per questo motivo alcuni produttori di case in legno a telaio adottano soluzioni per introdurre "massa" all'edificio. Se non vengono raggiunti livelli adeguati di inerzia termica, l'edificio sarà caratterizzato da un "clima da baracca" malgrado l'elevato isolamento termico che spesso caratterizza questo tipo di costruzione. In tal caso il problema è soprattutto estivo in quanto isolare contro il freddo è piuttosto semplice, mentre per proteggere contro il caldo è necessario un buon isolamento termico abbinato ad una certa "massa". Purtroppo non è raro il caso di case in legno a telaio, acquistate magari da persone sensibili al tema del risparmio energetico, che, sebbene consumino pochissimo in inverno per il riscaldamento debbono poi essere climatizzate a causa del bassissimo comfort termico estivo.

Il fatto che dotare di massa un edificio risulta piuttosto costoso, fa sì che il prezzo di una casa in legno a telaio realizzata pensando non solo al periodo invernale, ma anche a quello estivo, sia piuttosto elevato rispetto quello di una soluzione a telaio con poca massa. In ogni caso, a meno che non si tratti di seconda abitazione ad uso non estivo o di un luogo di realizzazione in cui il caldo non è assolutamente un problema, è bene optare per le soluzioni con una buona inerzia termica.

Umidità

Con le attuali abitudini e standard di vita, le nostre abitazioni sono caratterizzate da elevati livelli di umidità (una famiglia media produce 10-14 litri di vapore acqueo al giorno). Più l'aria è calda, più elevata è la quantità di vapore acqueo che può contenere. Se dell'aria calda e molto umida entra in contatto con una superficie fredda, si verifica il fenomeno di condensa in quanto l'aria, raffreddandosi, non è più in grado di contenere il vapore acqueo che aveva in origine.

Per questo fenomeno fisico, la condensa in un'abitazione può manifestarsi quando dell'aria calda ed umida incontra una superficie fredda (dovuta magari ad un ponte termico) o quando trova una "fessura" attraverso la quale si può infiltrare o raggiungere, all'interno di una parete, una zona fredda.

Quello delle infiltrazioni di aria umida nelle pareti rappresenta uno dei pericoli maggiori per le case in legno in quanto la condensa può portare a rapido degrado della struttura. Poiché nelle soluzioni a telaio standard lo strato di isolamento termico non è continuo (l'isolante viene posto all'interno del telaio a tamponamento dello stesso) possono crearsi nelle pareti sia dei ponti termici che delle "fessure" dovute alla non perfetta adesione fra telaio e isolante.

Siccome l'umidità passa anche attraverso le porosità delle pareti, può accadere che una eventuale "fessura" non sia effettivamente visibile, ma sia comunque raggiungibile da aria umida che corre così il

rischio di condensare sul lato freddo della parete. I produttori di case in legno a telaio di un certo livello, consapevoli del rischio insito in questo tipo di costruzione, adottano vari stratagemmi per ridurre il rischio che ciò accada. Ciò ovviamente si ripercuote sui costi.

4.3 Parete massiccia in legno con tavole incrociate e inchiodate

4.3.1 vantaggi tecnici della parete

La particolare tecnica costruttiva della parete (strati incrociati di tavolato di abete) garantisce numerosi vantaggi strutturali rispetto ad altre tecniche utilizzate nella costruzione di case in legno. Innanzitutto ogni setto (elemento realizzato non in cantiere, ma in stabilimento) è caratterizzato, di per sé, da una ottima stabilità dimensionale.

Come è noto il legno è un materiale vivo a dimensione variabile: l'umidità lo fa aumentare di volume (basti pensare ai parquet che si gonfiano o si alzano a causa di un eccesso di umidità, infiltrazioni di acqua o perdite nelle tubature), mentre l'essiccazione lo fa ridurre di volume.

Ogni pezzo di legno inoltre, in base alla sua posizione originaria all'interno del tronco ed alla conformazione stessa dell'albero di origine, può tendere ad assestarsi in certe posizioni.

Grazie alla composizione incrociata del tavolato le dilatazioni e deformazioni delle pareti di legno si riducono al minimo in quanto le variazioni dimensionali di ogni tavola sono ostacolate dai vincoli che le sono imposti dalle tavole adiacenti alle quali è saldamente inchiodata.

La situazione è ben diversa nelle case in legno a Blockhaus nelle quali ogni tronco, essendo vincolato esclusivamente dal tronco sottostante e quello sovrastante, può muoversi abbastanza liberamente.

Con la parete a tavole inchiodate non si ha inoltre il tipico problema dell'abbassamento della struttura che invece caratterizza il Blockhaus.

Questo inevitabile comportamento di una costruzione Blockhaus si traduce in un abbassamento (anche di alcuni centimetri) dell'intera struttura.

Nella parete a tavole incrociate il legname posizionato con le fibre in verticale (tavole verticali) evita ogni rischio di abbassamento della struttura in quanto tali fibre con l'essiccazione non subiscono variazioni dimensionali in tale direzione.



Spaccato di parete a tavole inchiodate
con cappotto esterno intonacato

Anche nei confronti delle case in legno a telaio si hanno dei vantaggi considerevoli, infatti gli elementi lignei che costituiscono il telaio hanno un numero di vincoli nettamente inferiori rispetto le singole tavole che compongono la parete. Le soluzioni a telaio infatti devono fare largo affidamento sulle sezioni dei singoli elementi che costituiscono il telaio e sui vincoli di tali elementi.



In circa una settimana l'edificio grezzo è solitamente completato.
In caso di prefabbricazione spinta le pareti possono già essere dotate di infissi ed isolamento termico

Rispetto alla casa in legno a telaio, la robustezza della parete offre inoltre il vantaggio di rendere meno rischiose le fasi di posa in opera durante le quali è possibile che una parete subisca un qualche urto (cosa deleteria nel caso delle soluzioni a telaio).

In caso di terremoto la parete a tavole incrociate è paragonabile a una parete tradizionale di mattoni, e, rispetto agli edifici convenzionali, unisce a questo comportamento tutti vantaggi di una costruzione leggera (minore massa = minore sollecitazione).

Di conseguenza, la casa in legno realizzata con questa tecnica si rivela adatta alla costruzione in zona sismica e fornisce un altissimo fattore di sicurezza.

5 GLI ISOLANTI TERMICI

5.1 Classificazione

I criteri di classificazione dei materiali isolanti possono basarsi su diversi parametri. Essi sono solitamente classificati secondo la loro natura (minerale, vegetale o sintetica), secondo la loro struttura (fibrosa, cellulare) o anche in base alla tecnica di applicazione.

Si riporta di seguito una classificazione basata sulla natura del materiale

5.1.1 Isolanti minerali

Sono caratterizzati da una densità variabile da 10 a 500 kg/m³, da una conduttività termica solitamente compresa tra 0,035 e 0,12 W/m . K e da un buon comportamento al fuoco.

Il comportamento nei confronti dell'umidità è piuttosto variegato. In alcuni casi (es. vetro cellulare) non vi è alcun problema di impiego anche in condizioni di umidità estremamente elevata o addirittura di acqua. In altri invece, poiché il valore della conduttività termica di questi materiali è legata più alla microporosità (e quindi alla presenza al loro interno di aria) che alla materia costituente, si registra solitamente un crollo delle prestazioni quando l'isolante si inumidisce. Talvolta in tali situazioni si verificano anche forme di grave degrado.

5.1.2 Isolanti vegetali

Sono caratterizzati da una conduttività termica piuttosto bassa, con valori compresi solitamente 0,038 e 0,13 W/m . K.

Le caratteristiche dei vari prodotti sono in larga misura legate alla densità del materiale ed alla pianta d'origine.

Il comportamento al fuoco è variabile in base alla loro composizione.

Aspetto particolarmente importante, è che se non sono trattati con sostanze nocive, in caso di incendio risultano essere meno pericolosi rispetto agli isolanti sintetici in quanto non rilasciano solitamente sostanze pericolose.

Poiché sono biodegradabili devono essere garantite condizioni di umidità contenuta entro certi limiti. Alcuni di questi sono in grado comunque di sopportare senza alcun problema particolare esposizioni ad elevati tassi di umidità. Il sughero, come noto, tollera benissimo anche il contatto prolungato con l'acqua.

Essendo caratterizzati da un'elevata permeabilità al vapore sono caratterizzati solitamente da una facile asciugatura.

Essendo il valore della conduttività termica di questi legata non solo alla microporosità (e quindi alla presenza al loro interno di aria), ma anche alla materia costituente, essi manifestano inoltre una buona tenuta delle prestazioni quando si inumidiscono.

Il comportamento degli isolanti vegetali nei confronti della protezione termica estiva è piuttosto differenziato. Quelli a densità maggiore (soprattutto se derivanti dal legno) presentano sotto tale aspetto prestazioni nettamente superiori rispetto agli isolanti appartenenti ad altre categorie.

5.1.3 Isolanti sintetici

All'interno di questi, il panorama è molto ampio.

Sono prodotti che derivano in genere dall'espansione di un polimero. Presentano una struttura cellulare, vengono utilizzati sia sotto forma di pannelli rigidi, sia sotto forma di schiume. Rispetto agli altri tipi di isolanti sono caratterizzati da valori molto bassi sia della densità che del coefficiente di conduttività termica.

Per tale motivo sono di solito particolarmente prestanti nei confronti del freddo e altrettanto carenti nel garantire un'adeguata protezione nei confronti del caldo.

Solitamente presentano una bassa permeabilità al vapore che, se da un lato, sotto alcuni aspetti può rappresentare un vantaggio, dall'altro comporta una difficoltà nell'asciugatura quando l'isolante si bagna o si inumidisce.

Ciò rappresenta uno dei punti deboli per molti isolanti appartenenti a questa categoria.

Essendo il valore della conduttività termica di questi materiali legata più alla microporosità (e quindi alla presenza al loro interno di aria) che alla materia costituente, essi manifestano inoltre un crollo delle prestazioni quando si inumidiscono.

Salvo alcuni materiali particolari, molto modeste sono in genere la resistenza a compressione e la temperatura massima di impiego. Il comportamento rispetto al fuoco risulta eterogeneo, ma comunque

problematico rispetto all'infiammabilità, alla propagazione della fiamma, alla produzione di gas tossici. Comportamenti differenziati si hanno anche rispetto agli attacchi chimici, mentre buona è la resistenza agli attacchi biologici.

| Natura | Struttura alveolare o granulare | Struttura fibrosa |
|---------------|---|--|
| Minerale | Pomice Perlite espansa Vermiculite espansa Argilla espansa Vetro cellulare | Fibre di amianto Fibre di vetro Lana di roccia |
| Vegetale | Sughero | Fibre di legno Fibre di canapa Fibre di lino |
| Sintetica | Polistirene espanso Poliuretano espanso Polivinilcloruro espanso Resine fenoliche espanse Polietilene espanse | |

Classificazione sommaria di alcuni materiali isolanti

5.2 Isolanti minerali

5.2.1 Pomice

Caratteristiche

L'isolante si ottiene dalla semplice frantumazione e selezione di granuli di una roccia di origine vulcanica, che viene proposta sul mercato in diverse classi granulometriche e utilizzata senza subire ulteriori trattamenti.

Il coefficiente di conduttività termica della pomice è circa $0,08 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, mentre la resistenza a compressione si aggira intorno ai 20 N/mm^2 .

La densità può variare da 400 a 800 kg/m^3 .

La temperatura massima di impiego è $1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

La pomice assorbe acqua al massimo per il 40% del suo volume ed è incombustibile.

Impieghi

La pomice può essere utilizzata sia come materiale sfuso di riempimento che per la preparazione di malte e cls leggeri.

In questo caso, per le varie applicazioni si fa ricorso a granulometrie differenti.

Quelle più basse (0-3 e 0-6 mm) vengono utilizzate per intonaci, malte isolanti e per elementi prefabbricati di piccole dimensioni.

Quelle medie (0-8, 0-12, 0-15 mm) si utilizzano solitamente per cls leggeri con cui realizzare blocchi, tavelle, ecc...

Quelle maggiori sono invece utilizzate per la preparazione di magroni da impiegare come sottofondi isolanti, per lastrici, o per getti in opera aventi particolari caratteristiche di isolamento termoacustico.

Come materiale sfuso di riempimento di intercapedini si utilizzano invece le classi granulometriche 8-15 e 8-20.

5.2.2 Perlite espansa

Caratteristiche

La perlite espansa si ottiene dall'espansione della perlite, una roccia vulcanica della famiglia delle rioliti perlitiche. Questa roccia viene prima frantumata e poi fatta espandere in appositi forni alla temperatura di circa $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, senza l'aggiunta di altri componenti.

In questa maniera si ottengono dei granuli costituiti da microalveoli, che conferiscono al materiale potere isolante.

Il coefficiente di conduttività termica della perlite espansa si aggira intorno ai $0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ nel materiale sfuso e ai $0,065 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ nei pannelli.

La perlite è chimicamente inerte e non assorbe umidità. È imputrescibile e inattaccabile da organismi viventi. Non emette fumi, né vapori tossici ed è completamente incombustibile.

Impieghi

Può essere utilizzata sia come materiale sfuso in intercapedine di murature, nella formazione di sottotetti, che come aggregato nella composizione di cls leggeri e di malte per intonaci o come materiale di base per la costituzione di pannelli isolanti rigidi.

5.2.3 Vermiculite espansa

Caratteristiche

Si tratta di un prodotto ottenuto mediante l'espansione della vermiculite, un minerale lamellare costituito principalmente da un silicato idrato di alluminio, magnesio e ferro.

Dopo la frantumazione, il materiale grezzo viene essiccato in appositi forni ad una temperatura massima inferiore agli $82 \text{ }^\circ\text{C}$. Tale limite non deve essere superato, onde evitare il processo di disidratazione dell'acqua di cristallizzazione, che servirà per le successive operazioni di espansione.

Dopo depurazione da scorie di argilla, il materiale ottenuto viene sottoposto a sfibratura in appositi impianti e convogliato in serbatoi nei quali, tramite ventilazione, viene selezionato e separato da ulteriori impurità di origine magnesiaca. A questo punto avviene la macinazione, la vagliatura ed infine l'espansione per via termica.

Questa avviene a circa $850 \text{ }^\circ\text{C}$ grazie all'acqua di cristallizzazione che, trasformandosi in vapore, permette l'aumento di volume dei granuli, che si manifesta con un aumento di spazio tra le singole lamelle.

Il coefficiente di conduttività termica della vermiculite espansa varia tra $0,05$ e $0,06 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Una miscela di cls e vermiculite espansa, in caso di densità di $400-600 \text{ kg/m}^3$, ha una conduttività termica compresa fra $0,18$ a $0,23 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Essendo chimicamente inerte e inattaccabile da agenti biologici. Per quello che riguarda il fuoco, è completamente incombustibile e non emette fumi, né vapori tossici.

La vermiculite espansa tende ad assorbire umidità e, una volta bagnata asciuga molto lentamente.

Per tale motivo, in caso di utilizzo con il cls, è necessario considerare che tratterrà umidità per molto tempo.

Si trovano in commercio diverse classi granulometriche (da 1 a 12 mm).

Impieghi

Come accennato, può essere utilizzata come aggregato nei cls. leggeri.

Questi, oltre ad avere buone caratteristiche di isolamento termico invernale, saranno caratterizzati da alta resistenza agli agenti biologici e chimici.

Grazie alle sue caratteristiche di refrattarietà, la vermiculite espansa è particolarmente indicata come ingrediente per intonaci di protezione al fuoco.

La vermiculite espansa può inoltre essere utilizzata sfusa per l'isolamento termico di sottotetti non praticabili e di intercapedini.

5.2.4 Argilla espansa

Caratteristiche

Si tratta di granuli rotondeggianti di colore bruno costituiti da una superficie esterna dura. All'interno il materiale ha una struttura alveolare a cellule chiuse e vetrificate.

I granuli vengono prodotti mediante l'espansione di argille opportunamente scelte e preparate.

Per favorire il processo di espansione, che avviene ad alte temperature (circa 1200 °C), possono venire utilizzati anche additivi e correttivi.

Dopo l'espansione, che avviene in appositi forni, il prodotto viene raffreddato tramite ventilazione.

In seguito lo si lascia riposare e lo si vaglia ottenendo così diverse classi granulometriche per la commercializzazione.

In relazione al livello di espansione l'argilla espansa è caratterizzata da un coefficiente di conduttività termica compreso fra 0,09 e 0,11 W/m . K.

È leggera e indeformabile, resiste ottimamente agli agenti chimici e biologici, non assorbe umidità.

L'argilla espansa è inoltre completamente incombustibile, resiste a temperature di impiego molto elevate e non emette fumi o gas tossici.

Nell'utilizzo come aggregato è necessario considerare che la densità e la resistenza sono in stretto rapporto con il grado di espansione. Esistono quindi in commercio prodotti diversi in base alle possibili applicazioni.

Ad esempio, nel caso di utilizzo in un cls strutturale, i granuli di argilla espansa devono presentare caratteristiche costanti in tutta la gamma come granulometria, densità, resistenza, modulo elastico.

In tal caso si fa quindi uso di granuli di dimensioni modeste e non molto differenziati.

Impieghi

Può essere utilizzata come aggregato di cls leggeri a diversa densità, con funzione isolante o strutturale. Le gettate presenteranno anche buone caratteristiche di isolamento acustico.

È possibile anche un utilizzo come materiale sfuso per l'isolamento di intercapedini e sottotetti non praticabili.

5.2.5. Pannelli minerali espansi a temperatura medio-bassa

Caratteristiche

Si tratta di prodotti realizzati partendo da sabbia quarzosa, cemento Portland, idrato di calce, anidride, ecc... e acqua.

I vari ingredienti vengono miscelati e fatti espandere grazie ad una schiuma proteica che provvede all'incamerazione di aria che conferisce al prodotto finale le caratteristiche di isolante termico.

Dopo l'espansione che avviene all'interno di apposite vasche, il materiale, una volta raggiunta la consistenza, viene tagliato in blocchi e lastre che subiscono poi un processo di asciugatura.

Sotto l'aspetto ecologico e sanitario, questi prodotti sono molto interessanti in quanto caratterizzati da un basso inquinamento in fase di produzione ed un consumo di energia inferiore rispetto agli isolanti minerali espansi con processo termico.

Anche lo smaltimento non genera problematiche particolari.

Impieghi

Questi prodotti sono particolarmente indicati per l'isolamento di controsoffitti e di pareti anche per il rivestimento esterno (isolamento a cappotto).

5.2.6 Lane di roccia

Caratteristiche

Con l'espressione lane di roccia si intendono prodotti isolanti ottenuti mediante la fusione e la filatura di rocce naturali, di scorie d'alto forno e di miscele vetrificabili.

La tecnica di produzione è simile a quella utilizzata per ottenere le fibre di vetro.

I materiali utilizzati vengono fusi a circa 1600 °C. A questo punto o vengono sottoposti a centrifugazione grazie alla quale si ottengono le fibre, oppure introdotti in filiere, al termine delle quali esce una fibra lunga e sottile.

Avvengono poi una fase di trattamento con leganti (es. resina fenolica) una formatura ed una polimerizzazione.

Il coefficiente di conducibilità termica, in base al tipo di lavorazione, è solitamente incluso fra un minimo di 0,033 ed un massimo di 0,062 W/m . K.

Questo materiale sopporta temperature molto elevate (fino a 700 °C) senza subire variazioni dimensionali. Malgrado la fibra non bruci, è necessario prestare attenzione bisogna prestare attenzione alla sua destinazione d'uso in quanto spesso viene confezionata in abbinamento con supporti infiammabili.

Impieghi

Esistono in commercio numerosi prodotti, quali:

- pannelli resinati;
- materassini trapuntati su rete metallica;
- materassini su supporto di carta o cartone catramato;
- prodotti per isolamento di tubazioni;

5.2.7 Fibre di vetro

Caratteristiche

Per molti aspetti si tratta di prodotti molto simili alle lane di roccia.

A differenza di queste ultime però manifestano una maggiore omogeneità dimensionale delle fibre che, in base al tipo di lavorazione, possono avere un diametro variabile da 3 a 12 μ .

I prodotti ottenuti utilizzando le fibre più fini sono caratterizzati da un elevato potere isolante termoacustico e ridotti pesi specifici. Per tale motivo vengono utilizzati per usi specifici (principalmente nel settore dei trasporti).

In campo edilizio invece si utilizzano solitamente prodotti realizzati con fibre di diametro maggiore, che risultano essere quindi particolarmente resistenti alla compressione.

Il valore della conduttività termica dei diversi prodotti in fibra di vetro è incluso fra 0,34 e 0,54 W/m . K.

Impieghi

Esistono in commercio numerosi prodotti per vari campi di applicazione.

Molti di questi sono degli accoppiamenti di fibra di vetro con altri materiali o supporti quali carta kraft, cartone catramato, velo di vetro, ecc...

Esistono poi prodotti resinati dove le fibre sono legate grazie all'utilizzo di resine termoindurenti polimerizzate ad alta temperatura.

5.2.8 Vetro cellulare

Caratteristiche

Commercializzato prevalentemente in lastre e blocchi, si tratta di un prodotto particolarmente interessante per le sue intrinseche caratteristiche.

È costituito da vetro che con trattamento termico ed iniezione di carbonio subisce un'espansione e quindi ingloba aria che gli conferisce prestazioni da isolante.

A differenza degli altri prodotti a base vetrosa (lane e fibre di vetro), essendo la sua struttura non a filamento, bensì compatta e continua, risulta mostrare un ottimo comportamento nei confronti dell'umidità.

Sebbene sia teoricamente riciclabile, di fatto non lo è poiché nell'applicazione, le lastre devono essere incollate.

Impieghi

È di fatto impermeabile all'acqua e stagno al vapore acqueo. Per questa sua caratteristica e per le ottime prestazioni di resistenza a compressione, è un materiale particolarmente adatto a tutti quegli impieghi in condizioni di elevata umidità. Risulta quindi essere particolarmente affidabile per l'isolamento termico di fondazioni, muri contro terra, tetti piani, ecc...

5.3 Isolanti vegetali

5.3.1 Pannelli in fibra di legno naturale

Caratteristiche

Si tratta di pannelli ottenuti partendo dal legno di abete rosso o di pino.

La materia prima viene sfibrata mediante una lavorazione termo-meccanica. Le fibre vengono poi pressate ed infeltrite.

Non è necessario l'utilizzo di collanti poiché durante la lavorazione si hanno sia un intreccio delle fibre che un incollaggio ottenuto grazie alla secrezione di una resina naturale liberata durante la lavorazione.

Se da un lato il costo energetico di lavorazione non è insignificante, dall'altro, il materiale non trattato è biodegradabile. Lo smaltimento inoltre può avvenire anche utilizzandolo come combustibile. In tal caso restituisce buona parte dell'energia consumata per produrlo.

Il materiale è inoltre altamente traspirante.

Questo materiale risulta quindi rispondere ai criteri della BioEdilizia.

Il valore della conducibilità termica è allineato a quello dei comuni isolanti, mentre rispetto a questi dimostra avere una massa ed capacità termica nettamente superiore che lo rende particolarmente idoneo all'isolamento estivo ed acustico.

Impieghi

Viste le loro caratteristiche, i pannelli in fibra di legno naturale possono essere usati in molte applicazioni di isolamento termico ed acustico.

Per il primo va sottolineata l'elevata prestazione di protezione termica estiva legata alla massa dei pannelli ed alla Capacità termica del materiale. Questo è uno dei numerosi motivi per i quali i pannelli in fibra di legno si stanno affermando come soluzione ideale di isolamento dei tetti in legno anche al di fuori del contesto della BioEdilizia.

Per quanto riguarda l'acustica, i pannelli in fibra di legno uniscono massa ed elasticità, per cui vengono utilizzati anche in edilizia convenzionale per l'isolamento acustico di solai e di pareti divisorie (sia in intercapedine che abbinati a cartongesso).

5.3.2 Pannelli in fibra di legno e cemento

Caratteristiche

Si tratta di prodotti ottenuti mediante un impasto di lana o fibre di legno con magnesite o cemento e additivi mineralizzanti e ignifuganti.

In alcuni casi le fibre, ricavate generalmente da abeti, vengono trattate chimicamente e rese inerti e poi miscelate con l'agente mineralizzante (cemento Portland, magnesite, ecc...).

La conduttività termica varia solitamente da 0,06 a 0,08 W/m . K.

Il materiale, in base al tipo di agente mineralizzante può essere altamente resistente al fuoco e non sviluppare né fumi né gas tossici in caso di incendio. Solitamente si ha anche una buona resistenza al gelo.

Pur trattandosi di un isolante e non di un materiale strutturale, le caratteristiche meccaniche sono molto interessanti. Il pannello infatti si deforma solo sotto carichi di notevole entità e, in alcuni casi ha una buona resistenza a flessione.

Impieghi

I pannelli, di spessori variabili, possono venire impiegati come casseri a perdere, come controsoffittature, o come isolante di copertura, ecc...

Grazie alla densità considerevole ed alla elevata capacità termica, conferiscono una maggiore inerzia termica alle strutture su cui vengono applicati.

Il loro utilizzo risulta pertanto interessante anche per quanto riguarda la protezione termica estiva.

I pannelli in fibra di legno-cemento rappresentano un buon supporto per l'intonaco.

Con lo stesso impasto che utilizzato per la fabbricazione dei pannelli vengono prodotti anche blocchi cassero con i quali è possibile la costruzione di murature portanti (da armarsi con ferri).

5.3.3 Sughero

Caratteristiche

Il sughero è un materiale naturale utilizzato dall'uomo per le sue importanti caratteristiche fin dall'antichità.

Viene estratto dalla quercia da sughero (*quercus suber*) senza che la quercia madre venga abbattuta o danneggiata: essa ha infatti la prerogativa di riformare il suo rivestimento protettivo tutte le volte che ne venga spogliata, purché se ne rispettino i tempi.

La prima asportazione della corteccia, detta anche demaschiatura o scorzatura viene, viene effettuata verso i 15 - 30 anni di vita dell'albero, ed in seguito viene l'operazione di decortica ripetuta ogni 8 - 10 anni.

Dalla prima decortica si ottiene il cosiddetto sugherone (sughero maschio o sughero vergine) che, inadatto alla lavorazione a causa della sua forte rugosità, è utilizzato soprattutto per ricavarne granulato spesso usato in edilizia sia come materiale sfuso che in pannelli isolanti (a volte ottenuti tramite incollaggio con resine sintetiche ed in tal caso non propriamente idonei per la BioEdilizia).

In seguito alla prima decortica la quercia impiega 8- 10 anni per rigenerare la nuova corteccia che produrrà il cosiddetto sughero gentile o femmina o sughero di riproduzione. Questo nuovo sughero è di qualità migliore rispetto al sugherone ed ha quindi un maggiore valore economico. Il nome sughero gentile o femmina o sughero di riproduzione è dovuto al fatto che, rispetto al sugherone (sughero maschio o sughero vergine) è molto liscio.

Il sughero femmina inoltre è compatto, leggero, elastico ed impermeabile, ed anche per questo molto più adatto alle lavorazioni.

In Italia la decortica viene effettuata tra maggio e agosto-settembre, poichè in tale periodo questa operazione non danneggia la scorzella (o madre del sughero) ovvero lo strato inferiore delle corteccia.

Il sughero espanso si ottiene mediante processo termico durante il quale il granulato di sughero (corteccia sminuzzata e ripulita tramite ventilazione) viene riscaldato a una temperatura di circa 380 °C, in assenza di aria.

Grazie a questa lavorazione la suberina (resina naturale contenuta nel sughero) si libera in superficie, permettendo il processo di saldatura tra i singoli granuli talvolta perfezionata con particolari trattamenti fisici (onde alta frequenza) talaltra con l'aggiunta di resine o collanti.

Il prodotto può essere inoltre compresso fortemente con una pressa idraulica al fine di ottenere blocchi o lastre di materiale compatto.

Il coefficiente di conducibilità termica dei vari prodotti di sughero varia a seconda della densità e della lavorazione e solitamente è compreso tra 0,04 e 0,06 W/m . K.

Il sughero è un materiale elastico che subisce variazioni dimensionali sensibili in relazione a sbalzi termici e igrometrici. È inoltre impermeabile all'acqua e permeabile al vapore.

Impieghi

Nella versione granulata può essere impiegato come aggregato per cls, per riempire intercapedini o per isolare sottotetti non praticabili.

Come pannello, essendo intonacabile, può essere utilizzato anche per la realizzazione di isolamento a cappotto.

I pannelli di sughero, grazie alla densità piuttosto elevata ed alla buona capacità termica, conferiscono una maggiore inerzia termica alle strutture su cui vengono applicati.

Il loro utilizzo risulta pertanto interessante anche per quanto riguarda la protezione termica estiva.

5.3.4 Materassini in fibre vegetali

Caratteristiche

Esistono numerosi prodotti ottenuti con fibre vegetali di vario genere (lino, canapa, cocco, ecc...).

Caratteristica comune di tali materassini è il basso impatto ambientale di produzione.

Il giudizio positivo sull'aspetto ecologico, seppur ridimensionato, rimane anche su quelli non al 100% vegetali.

Esistono infatti alcuni materassini nei quali è presente una certa percentuale (solitamente piuttosto contenuta) di fibre sintetiche il cui scopo è dare stabilità meccanica al prodotto. Si tratta solitamente di materiale riciclato.

Il fatto che il prodotto finale non sia smaltibile tramite biodegradazione o combustione è comunque compensato dal bassissimo costo energetico di produzione e dall'origine delle materie utilizzate.

Esistono poi alcuni prodotti altamente ecologici in quanto al 100% vegetali con materia prima proveniente da agricoltura biologica.

Tutti i prodotti di questo tipo sono caratterizzati da un'elevata permeabilità al vapore acqueo.

Impieghi

Sono quelli caratteristici dei materassini isolanti. Avendo i materassini una densità ridotta, come tutti gli isolanti con tale caratteristica, risultano essere poco efficaci nella protezione termica estiva.

5.4 Isolanti sintetici

5.4.1 Polistirene espanso (EPS)

Caratteristiche

Questo materiale viene prodotto utilizzando come ingredienti base benzolo ed etilene ricavati da petrolio e metano.

Da questi si ottiene lo stirene che, con l'aggiunta di pentano ed altre sostanze antinfiammabili, viene trasformato in polistirolo o polistirene (PS) mediante polimerizzazione.

In seguito, con altri processi particolari avviene l'espansione.

Durante il processo di lavorazione si verificano emissioni di idrocarburi.

Il coefficiente di conducibilità termica dei vari prodotti di polistirene espanso (EPS) varia a seconda della densità e della lavorazione e solitamente è compreso tra 0,034 a 0,056 W/m . K.

L'EPS presenta dei limiti nelle applicazioni per vari motivi. Ad esempio la temperatura di utilizzo non deve essere maggiore di 75 °C. Alla fiamma si autoestingue.

Se da un lato è efficiente nell'isolamento termico invernale, dall'altro, essendo caratterizzato da densità e capacità termica estremamente contenute, manifesta scarse prestazioni nella protezione termica estiva.

Sotto l'aspetto acustico spesso risulta comportare un peggioramento delle prestazioni dell'elemento su cui viene applicato.

Impieghi

Grazie ai contenuti costi di produzione, l'EPS è largamente utilizzato in vari settori, compreso quello edilizio.

Diverso è l'aspetto ambientale per il quale l'EPS, come molti prodotti convenzionali, manifesta un costo non trascurabile.

5.4.2 Polistirene estruso (XPS)

Caratteristiche

Il processo di produzione è in parte analogo a quello del polistirolo o polistirene (PS).

Le perle di polistirene in questo caso subiscono sia un'espansione che un'estruizione.

L'espansione avviene facendo ricorso a vari propellenti, fra cui gli H-CFC. Fino a pochi anni fa, per l'espansione si utilizzava addirittura CFC.

Attualmente vengono prodotte anche lastre di XPS realizzate senza il ricorso a H-CFC o H-FC. In tal caso il gas espandente utilizzato è la CO₂.

Come l'EPS, l'XPS è efficiente nell'isolamento termico invernale, ma, essendo caratterizzato da densità e capacità termica estremamente contenute, manifesta scarse prestazioni nella protezione termica estiva.

Sotto l'aspetto acustico spesso risulta comportare un peggioramento delle prestazioni dell'elemento su cui viene applicato.

Impieghi

L'XPS, per le sue caratteristiche meccaniche ed idrometriche trova largo utilizzo in ambienti umidi ed in caso di elevate sollecitazioni di compressione.

In alcune applicazioni l'unica alternativa è quella costituita dal vetro cellulare.

5.4.3 Poliuretano espanso

Caratteristiche

Gli ingredienti di base per la produzione di poliuretani sono i poliisocianati e gli alcoli polivalenti. Partendo da questi, per ottenere prodotti finali con diverse caratteristiche (es. reazione al fuoco), vengono addizionati composti chimici differenti.

Alcuni di questi risultano essere nocivi per la salute come ad esempio il fosgene.

Per quanto riguarda l'espansione, quando è stato messo al bando l'utilizzo di idrocarburi alogenati (CFC) si ricorre a propellenti H-CFC, pentano e CO₂.

Il poliuretano sopporta temperature fino a 100°C e sotto l'azione di una fiamma subisce decomposizione e brucia.

Il coefficiente di conducibilità termica dei vari prodotti di poliuretano espanso varia a seconda della densità e della lavorazione e solitamente è molto basso.

Per contro, essendo caratterizzato da densità e capacità termica estremamente contenute, manifesta scarse prestazioni nella protezione termica estiva.

Altro aspetto importante è la tendenza del prodotto a perdere le sue proprietà con l'invecchiamento.

La rapidità con cui le prestazioni calano dipende da vari fattori fra cui: temperatura, spessore del materiale, densità, condizioni superficiali.

Il calo prestazionale è infatti legato alla tendenza del gas racchiuso negli alveoli (a cui è dovuta la resistenza termica del materiale) a scambiarsi con l'aria.

Impieghi

Il poliuretano espanso viene proposto come isolante nel settore delle costruzioni sia sotto forma di pannelli che di schiuma. Per le sue caratteristiche diffusamente impiegato per la produzione di pannelli sandwich, generalmente con supporto metallico (acciaio, alluminio e rame).

6 APPENDICE

Vengono di seguito proposti i principali aspetti e parametri che sono alla base della protezione contro il freddo e di quella contro il caldo.

Capacità termica

c [J/kg.K]

È un indice di quanta energia può accumulare un chilogrammo di materiale sotto forma di calore.

Dal punto di vista numerico indica la quantità di calore necessaria per riscaldare 1 kg di un determinato materiale di 1°K (equivalente a 1°C).

Coefficiente di accumulo del calore o Capacità termica volumica

$\rho \cdot c$ [kJ/m³.K]

Indica quanta energia può accumulare un metro cubo di materiale sotto forma di calore.

Tiene conto sia della densità che della capacità termica. Esistono infatti materiali caratterizzati da una buona capacità termica, ma da una scarsa massa e viceversa.

A parità di Trasmissanza U, più il Coefficiente di accumulo del calore è alto, meno le variazioni di temperatura esterna si ripercuotono all'interno dell'edificio.

È importante quindi, soprattutto per la protezione contro il caldo, avere strutture con elevati valori di Coefficiente di accumulo del calore.

Conduttività termica λ [W/m.K]

Questo parametro è molto importante soprattutto nel determinare il "potere isolante" di una struttura nel periodo invernale.

Per quanto riguarda la protezione contro il freddo, a parità di spessore, più il valore di λ è basso, meno calore passa attraverso il materiale. Nella protezione contro il caldo, invece, altri parametri svolgono un ruolo molto importante, per cui un basso valore di λ da solo non garantisce una protezione nei confronti del caldo.

Dal punto di vista numerico, λ indica quanta energia (sotto forma di calore) ogni secondo passa attraverso 1 m² di materiale dello spessore di un metro quando la differenza di temperatura fra le due superfici che lo delimitano è di un grado. Essendo riferito allo spessore standard (un metro) di materiale, ai fini dell'isolamento non ha importanza solo il valore λ del materiale, ma ovviamente anche il suo spessore.

Densità

ρ [kg/m³]

Indica il peso di un metro cubo di materiale.

Ad esso sono legati sia la possibilità di accumulare calore (in linea di massima, i materiali pesanti accumulano più calore di quelli leggeri) che di isolare acusticamente.

Diffusività termica

$a = \lambda / \rho \cdot c$ [m²/s]

È il rapporto fra la conduttività e la capacità termica volumica.

Indica la rapidità con la quale il calore si diffonde in profondità nel materiale (nella Trachite è piuttosto alta).

Quanto più è basso il suo valore, tanto più lentamente il calore esterno si propagherà all'interno dell'edificio.

È particolarmente importante avere bassi valori diffusività termica delle strutture in modo tale che il calore in estate entri nell'edificio con uno sfasamento di almeno 10 ore. In tal modo il calore entrerà nelle ore notturne durante le quali può essere smaltito con ricambi di aria.

"Potere isolante"

Non si tratta di un parametro fisico, ma di un'espressione verbale utilizzata nel linguaggio comune e che indica l'attitudine di una struttura (o di un materiale) ad opporsi al freddo in inverno o al caldo in estate.

Il "potere isolante" di una struttura dipende da numerosi parametri ed è diverso nei confronti del freddo e del caldo. In altre parole, un materiale (o una struttura) valido contro il freddo, non lo è necessariamente nei confronti del caldo.

Smorzamento

$\Delta T_e / \Delta T_i$

A parità di Trasmittanza U, più elevato è il livello dello smorzamento, minore sarà all'interno dell'edificio la ripercussione della variazione della temperatura esterna, ovvero la temperatura interna tenderà a rimanere costante. Viceversa, a bassi livelli di smorzamento, soprattutto se abbinati a sfasamenti minimi, si registra il "cosiddetto clima da baracca", ovvero ogni variazione all'esterno si ripercuote rapidamente, e pressoché integralmente, anche all'interno dell'edificio. Questa situazione caratterizza le strutture leggere.

Dal punto di vista numerico, questo parametro, indica di quanto, all'interno dell'edificio, viene ridotta la temperatura esterna in relazione alla temperatura media della superficie interna.

Resistenza alla diffusione del vapore

μ

Questo parametro indica la resistenza che il materiale oppone al passaggio del vapore.

Più μ è elevato, maggiore è la resistenza opposta dal materiale al passaggio del vapore.

Indica quante volte in meno, rispetto ad uno strato d'aria dello stesso spessore, il materiale permette il passaggio del vapore. Dal punto di vista numerico μ corrisponde quindi allo spessore (espresso in metri) dello strato di aria che oppone alla diffusione del vapore la stessa resistenza opposta da 1 metro di materiale.

Ad esempio, uno spessore di 1 cm di materiale con $\mu = 10$ oppone al passaggio del vapore la stessa resistenza che oppone uno strato di 10 cm di aria.

Trasmittanza

U [W/ m².K]

Indica l'attitudine di struttura a lasciarsi attraversare dal calore.

Indica cioè quanta energia (sotto forma di calore) passa attraverso un metro quadro di struttura (indipendentemente dal suo spessore e dalla sua composizione) nell'unità di tempo quando la differenza di temperatura dell'aria a contatto sulle due superfici che la delimitano è di un grado.

Quanto più il valore è basso, più l'effetto isolante della struttura è elevato.

Sfasamento

ϕ [H]

Indica la differenza di tempo fra l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura e l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna della stessa. Il valore ottimale dello sfasamento per un tetto è solitamente di 12 ore ed è importante avere uno sfasamento di almeno 8 ore e non minore di 10 ore in quelle con climi estivi più impegnativi.

Con tali valori di sfasamento, il calore entrerà nelle ore notturne durante le quali può essere smaltito con ricambi di aria.

Fattore di attenuazione

F_A (variabile da 0 a 1)

È un indice di quanto un incremento di temperatura che si registra sul lato esposto di una struttura si traduce in un incremento di temperatura anche sul lato non esposto.

F_A varia da 0 a 1. Per $F_A = 0$ non si hanno incrementi sul lato non esposto, ovvero l'attenuazione dell'incremento di temperatura è totale. Per $F_A = 1$ gli incrementi di temperatura sul lato esposto al calore si ripercuotono integralmente anche su quello non esposto, ovvero l'attenuazione è nulla.

Progetto e redazione

Luca Barbadoro
Tarcisio Porto
Andrea Merlo
www.qualitaedilizia.it

Comunicazione e grafica

Fabio Sarti
www.imago01.it

Contatti

www.cm-fossombrone.ps.it
www.cm-pergola.ps.it

Programma di Iniziativa Comunitaria LEADER+ 2000/2006 - Azione 3.6 del PSL Flaminia Cesano - DIFFUSIONE DELLE ENERGIE RINNOVABILI VOLTE AL MIGLIORAMENTO DELLE PERFORMANCE ENERGETICHE DEL SETTORE EDILIZIO SUL TERRITORIO DEL PARCO STORICO-CULTURALE DELL'ALTA MARCA



Unione Europea



Regione Marche



GAL Flaminia Cesano



Comunità Montana
del Metauro



Comunità Montana
Catria e Cesano