



Sopra, quattro realizzazioni estere, esempi applicativi dei criteri della sostenibilità. Da sinistra: G. Steixner, prototipo di abitazione monofamiliare "Solar Standard"; Frank+Schulz, casa a basso consumo energetico a Herrenberg - Moenchberg; lacaton&Vassal, casa o courtras; P. Dransfeld, impiego di materiali isolanti trasparenti (TIM) a Herisan (CH).

Progettare il superisolamento

Ponti termici e discontinuità riducono le prestazioni dei sistemi isolati. Materiali eccellenti e spessori iperdimensionati non sono sufficienti a garantirne l'efficienza. Il progetto dei dettagli e la corretta applicazione fanno la differenza. Per bilanci energetici in attivo

Gabriele Masera

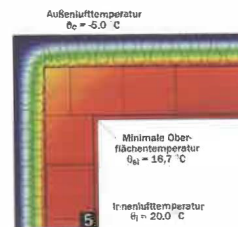
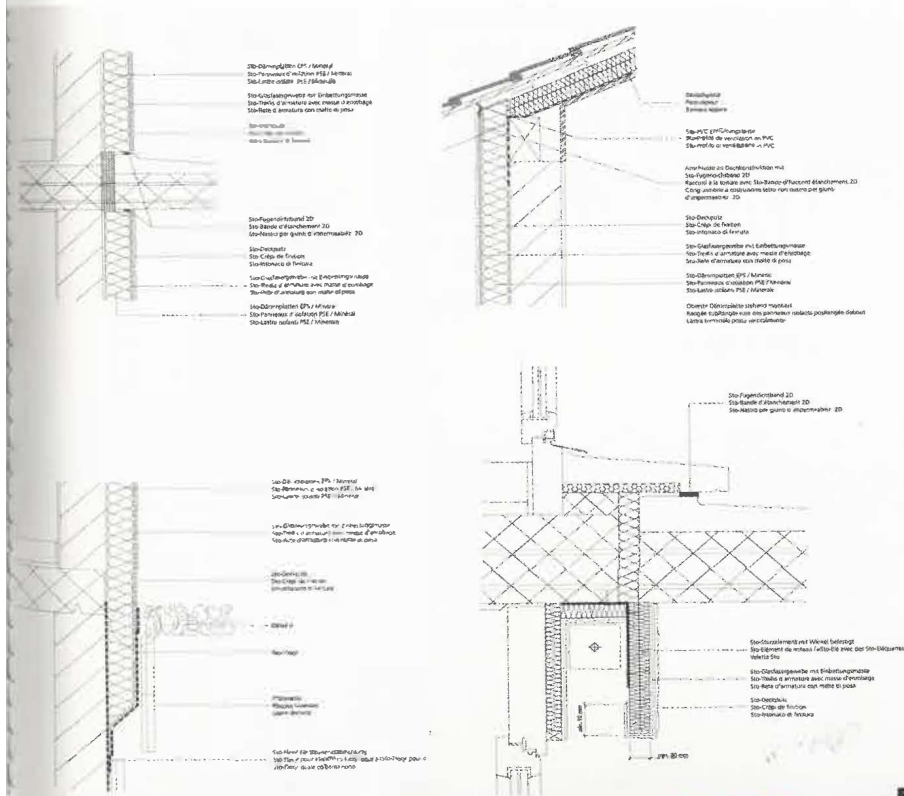
Le tecniche costruttive tradizionali, basate su blocchi di laterizio o altri materiali, sono soggette a una sorta di "mutazione genetica" che risulta indispensabile per sopravvivere in un mondo molto esigente dal punto di vista prestazionale. Il modello di funzionamento tradizionale, che prevedeva grandi

masse murarie per conservare il calore all'interno degli edifici

COMPORAMENTO BIOCLIMATICO DEGLI EDIFICI

1. Dettagli costruttivi di una chiusura con cappotto: dall'alto a sinistra, in senso orario, interfaccia con balcone; nodo fra chiusura verticale e tetto a falde; interfaccia fra finestra con oscuramento e balcone; zoccolo a-terra (STO).
2. Stratificazione di un tipico cappotto su chiusura a blocchi. 1: muratura; 2: regolarizzazione; 3: strato isolante; 4: strati di malta per armatura; 5: rete di armatura; 6: intonaco sottile (STO).
3. Realizzazione di un cappotto a fissaggio meccanico su lastre leggere Knauf Aquapanel nella Passivhaus di Chignolo d'Isola. In basso si nota il profilo metallico di partenza (Vanoncini).
4. Sistema di fissaggio meccanico puntuale, che rispetto alle soluzioni tradizionali

minimizza le interruzioni dello strato isolante (Knauf). 5. L'andamento delle temperature in una chiusura isolata a cappotto mostra l'effetto di omogeneizzazione garantito dallo strato isolante (KS Kalksandstein).



| Soluzione | Sistema | Materiali | Prestazioni | Utilizzo | Vantaggi | Svantaggi |
|--------------------------|---|---|--|--|--|---|
| Cappotto esterno | Strato di isolante termico in grado di sopportare le sollecitazioni meccaniche esterne | Materiali isolanti diversi | Ottimizzazione di elementi importanti per il bilancio termico | Faccia esterna dell'involucro | La continuità permette di eliminare tutti i ponti termici delle chiusure verticali | Difficile ottenere la continuità con le facciate ventilate |
| Sistema a blocchi | I blocchi possono essere accostati tra loro e sovrapposti o messi in opera prima dell'elemento resistente | Polistirene e sughero | Può raggiungere i livelli di isolamento richiesti per la Passivhaus $U=0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ | Addossati a muratura portante e non portante | Velocità costruttiva; omogeneità del comportamento termico della struttura | Nel caso dei blocchi alleggeriti è necessaria un'integrazione |
| Sistemi ad intercapedine | Lo strato coibente viene disposto all'interno dello spessore della parete | Lana di vetro, lana di roccia, fibre di legno, fiocchi di cellulosa riciclata | Buone prestazioni soprattutto con una corretta esecuzione dei dettagli | Prevalentemente nei sistemi costruttivi leggeri in legno e metallo | Velocità costruttiva, integrazione impiantistica, manutenibilità e smontabilità | I montanti verticali possono funzionare da ponti termici. La soluzione è quella di applicare uno strato isolante esterno a cappotto |
| Pannelli sandwich | Integrano consistenti strati di isolanti | Materiali isolanti diversi | Buone prestazioni soprattutto con la soluzione a doppio guscio per le costruzioni leggere metalliche | Preferibilmente chiusure isolate in legno | Velocità costruttiva; versatilità dimensionale | Nel caso delle strutture metalliche esiste un problema di conducibilità termica del metallo |

e per smorzare e ritardare le forzanti termiche esterne (funzionamento capacitivo), non è più proponibile a causa dei grandi pesi in gioco, che diventano diseconomici dal punto di vista finanziario, ergonomico e manutentivo. Le esperienze più diffuse nel segmento delle residenze a basso consumo energetico (quello più interessante per tracciare una linea di tendenza delle tecniche di uso quotidiano) indicano, invece, nel modello di funzionamento misto resistivo + capacitivo quello più indicato a rispondere alla necessità di isolamenti termici elevati, accoppiati al controllo delle oscillazioni istantanee di temperatura all'interno degli edifici. In generale, quindi, si fa riferimento a soluzioni con consistenti spessori di isolante termico disposti verso l'esterno dell'involucro e con uno strato interno che fornisce sia la resistenza meccanica che la capacità di accumulo termico: configurazione particolarmente interessante per climi, come quelli italiani, in cui l'inerzia gioca un ruolo fondamentale per il controllo passivo delle condizioni ambientali interne.

Dando, quindi, per assodato che un migliore isolamento termico dell'involucro è la misura principale per ridurre sensibilmente i consumi energetici per riscaldamento (solo in seguito ha senso coprire il fabbisogno residuo con fonti rinnovabili), vale la pena di analizzare le modalità di evoluzione delle tecniche costruttive per soddisfare livelli prestazionali così ele-

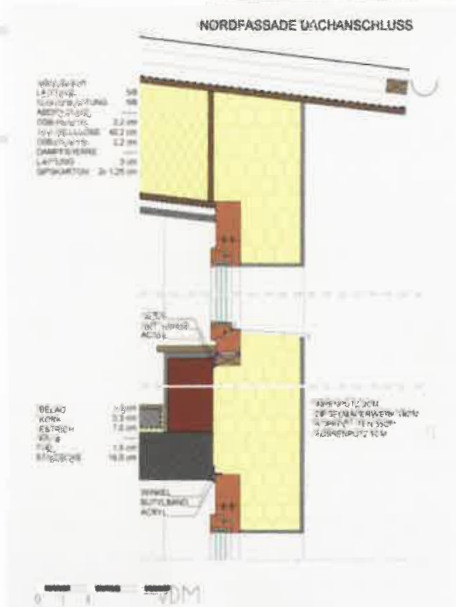


SISTEMI A BLOCCHI

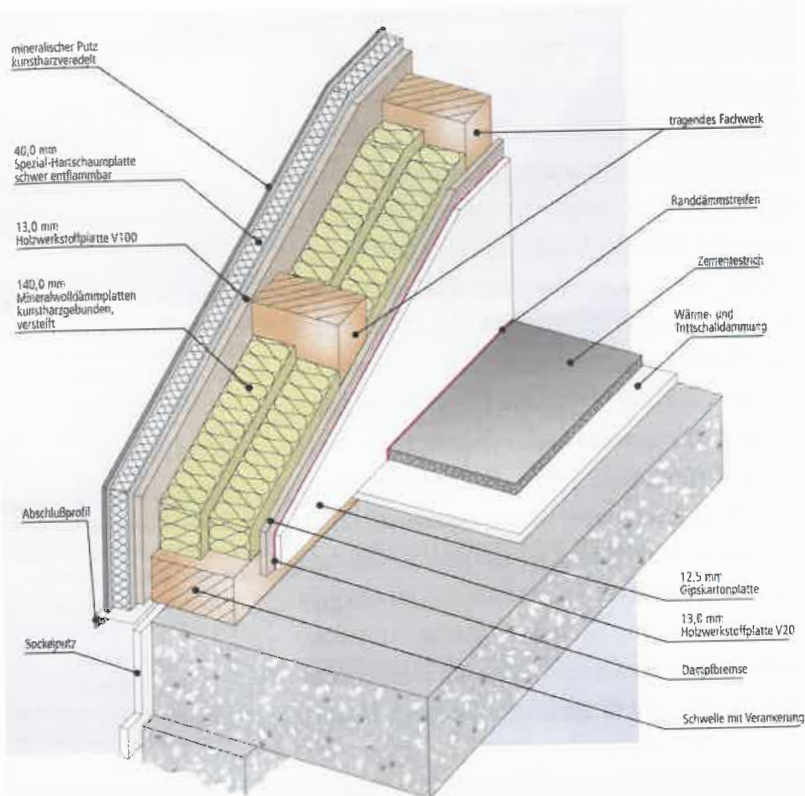
vati, fermo restando che l'opzione migliore è oggi un mix tra un buon isolamento e un buon intervento della massa e l'inerzia termica, come delineato nel contributo di Marco Imperadori.

Cappotto esterno

Mentre per la "buccia" inerziale esterna si usano, in generale, laterizi o blocchi in conglomerato cementizio alleggerito, per ottenere gli elevati valori di resistenza termica attesi la soluzione più indicata è quella del cappotto esterno. Tecnica ormai consolidata (e di "naturale" applicazione in tutti i Paesi dove la regolamentazione energetica è efficace), il cappotto consiste in uno strato di isolante termico, sufficientemente resistente da sopportare le sollecitazioni meccaniche ester-



Sopra, dettaglio della facciata nord di una Passivhaus costruita a Hörbranz: in questo caso il cappotto è in blocchi di sughero da 35 cm di spessore (Energie institut Vorarlberg). In alto, casseri a perdere in polistirene per la realizzazione di chiusure iperisolate (Isorast).



1

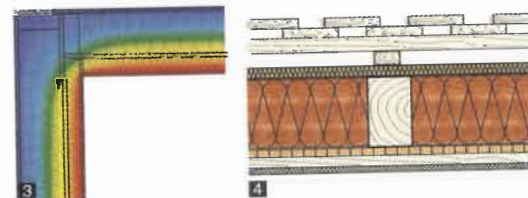
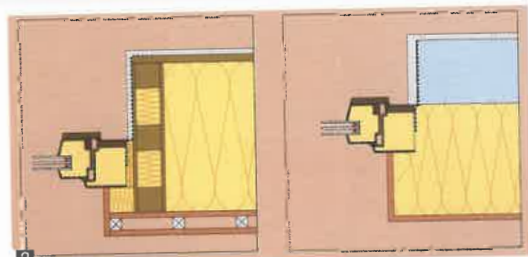
1. Spaccato assonometrico di un muro leggero in struttura di legno, con cappotto esterno finito a intonaco (Haas Fertigbau).

2. Confronto fra le due modalità di realizzazione di una chiusura conforme allo standard Passivhaus: a sinistra leggera in legno, a destra massiccia con isolamento esterno (Passivhaus Institut).

3. Andamento delle temperature in un muro a struttura diffusa in legno: in corrispondenza dei montanti d'angolo si nota una caduta prestazionale (Informationsdienst Holz).

4. Sezione orizzontale di una tipica chiusura leggera in legno, con finitura esterna nello stesso materiale. L'isolamento si trova principalmente nell'intercapedine (Pavatex).

5. Dettaglio della connessione fra una parete leggera in legno e un serramento iperisolato. Nell'intercapedine del muro si nota l'isolamento termico in fiocchi di cellulosa (in mostra al Bau 2005 di Monaco).



ne, applicato con continuità sulla faccia esterna dell'involucro. Tale continuità – più difficile da ottenere con le facciate ventilate, che implicano continue interruzioni dello strato isolante per il fissaggio della sottostruttura del rivestimento – permette di eliminare sostanzialmente tutti i ponti termici delle chiusu-

re verticali, misura estremamente importante in un quadro di basso consumo energetico in cui anche le voci normalmente secondarie del bilancio termico assumono una certa importanza.

La ricerca di spessori sempre maggiori per lo strato isolante ha sollecitato, di recente, alcune innovazioni interessanti nel settore dei cappotti: fra queste, la più importante riguarda la migliorata resistenza meccanica complessiva del sistema, che deve sopportare pesi proporzionali allo spessore coibente. Un cappotto in cui le lastre di materiale isolante non siano

SISTEMA INTERCAPEDINE

perfettamente solidali fra loro è inevitabilmente destinato, indipendentemente

dalla presenza della rete esterna di armatura, alla formazione di cavillature nei giunti. Per questa ragione, su spessori elevati di isolante all'incollaggio si predilige il fissaggio meccanico delle lastre tramite tasselli in materiale plastico o tramite profili metallici ad andamento orizzontale. Mentre i tasselli hanno un limite di utilizzo determinato dall'eccentricità del carico applicato (tanto maggiore quanto più spesse sono le lastre), i profili metallici sono il sistema di fissaggio più versatile, grazie alla possibilità di dimensionarli a seconda dell'effettivo peso da sostenere. In generale, per ridurre l'effetto di ponte termico lineare dovuto ai profili, le lastre isolanti sono sagomate in modo da ricoprirli completamente.

Sistema a blocchi

Il problema del peso ha spinto anche verso l'adozione di soluzioni di grande spessore realizzate in blocchi isolanti, di norma in polistirene o in sughero. Questi blocchi, che possono essere accostati fra loro e sovrapposti proprio come se fossero dei mattoni, vengono addossati alla parete massiccia precedentemente costruita o, addirittura, possono essere messi in opera prima ancora dell'elemento resistente: invertendo così, in un certo senso, i rapporti di importanza, anche concettuale, fra mattoni e isolante.

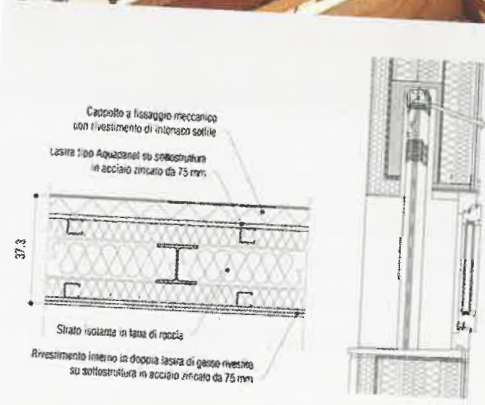
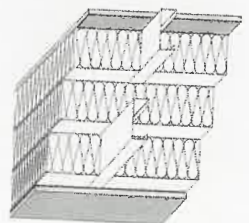
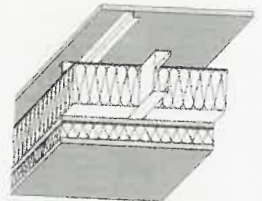
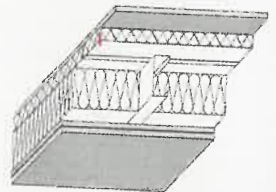
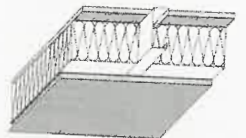
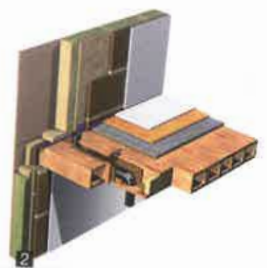
Una procedura simile è quella che prevede l'uso di casseri a perdere in polistirene: gli elementi, che possiedono appositi giunti per facilitarne la messa in opera, vengono montati interamente a secco e solo successivamente completati da un getto in calcestruzzo che

conferisce alla parete la resistenza meccanica necessaria. Gli spessori di polistirene possono essere graduati fino a raggiungere i livelli di isolamento termico richiesti per lo standard Passivhaus ($U = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$). Sistemi a blocchi di questo tipo, che possono essere direttamente intonacati sulle due facce, garantiscono una notevole velocità costruttiva e l'omogeneità del comportamento termico dell'involucro. Un discorso a parte riguarda le costruzioni a muratura, portante e non, in blocchi alleggeriti e microforati con caratteristiche di resistenza termica relativamente elevata. In questo campo (si pensi, per esempio, ai prodotti Poroton, Alveolater, Leca, ecc.) gli sforzi di miglioramento prestazionale si concentrano sulla minimizzazione dei giunti di malta – a volte sostituiti da strati di collante con spessore inferiore al millimetro – e sulla configurazione geometrica della sezione del blocco, che viene studiata per allungare il percorso di fuga del calore. Queste soluzioni, che vengono promosse anche nei Paesi europei dove la prassi è basata sulle tecnologie del legno, in Italia sono spesso utilizzate come unico strato di chiusura senza alcuna integrazione di strati isolanti. Il raggiungimento dei livelli di termotrasmissione compatibili con le imminenti novità legislative richiede comunque una integrazione per mezzo di uno strato di isolamento termico aggiuntivo: tanto più che, come noto, nei sistemi cosiddetti "a isolamento diffuso" il calore accumulato dalla massa muraria rivolta verso l'ambiente interno tende poi a sfuggire verso l'aria esterna, con cui il muro monolitico è direttamente a contatto. Pare quindi opportuno, anche in questo caso, evolvere verso le citate soluzioni miste in cui la massa muraria si assottiglia per assumere il ruolo di serbatoio termico per gli ambienti interni.

PANNELLI SANDWICH

bili dal punto di vista economico. Se è vero che l'isolamento in intercapedine può essere adottato anche nelle costruzioni massicce – ne è un esempio la soluzione adottata per l'ormai noto quartiere BedZED a energia zero, nei pressi di Londra – il suo alveo di applicazione più comune si riscontra nei sistemi costruttivi leggeri in legno o metallo. Per quanto riguarda quelli in legno, le tecnologie più diffuse sono quelle che adottano montanti di dimensione ridotta, messi in opera con passo ravvicinato e completati sul lato interno ed esterno con stratificazioni adeguate al contesto d'uso: tecnologia che, in qualche modo, si può fare discendere dal classico balloon-frame americano. Soluzioni di questo

1. La struttura leggera di una casa realizzata con il sistema Profilhaus (Stahl-Informations-Zentrum).
2. Utilizzo di pannelli cavi prefabbricati in legno per la realizzazione di un solaio intermedio (Lignatur).
3. Costruzione di un tetto a falda in legno con elementi preassemblati (Holzabsatzfonds).
4. Sezioni orizzontale e verticale della chiusura a doppio guscio su sottostruttura metallica della Passivhaus di Chignolo d'Isola (Vanoncini).
5. Alcune delle possibili variazioni nella stratificazione di chiusure leggere metalliche (Stahl-Informations-Zentrum).



tipo, che presentano i tipici vantaggi delle costruzioni S/R Struttura / Rivestimento – tra cui si possono citare la velocità costruttiva, l'integrazione impiantistica, la manutenibilità e la smontabilità – consentono di integrare nell'intercapedine strati isolanti dell'ordine di decine di centimetri, e in molte situazioni sono quindi più che sufficienti a garantire i livelli di isolamento termico richiesto. Nei casi in cui i livelli di consumo attesi siano particolarmente bassi, però, la presenza relativamente fitta dei montanti verticali può costituire una serie inaccettabile di ponti termici: nonostante il legno sia un cattivo conduttore di calore, infatti, la resistenza termica complessiva della parete può ridursi di più del 16% rispetto al valore in sezione corrente isolata (si veda, in proposito, la norma DIN 4108). In questi casi, quindi, è sempre indicata l'adozione di uno strato isolante

esterno a cappotto – anche di spessore relativamente ridotto – che svolge una funzione di omogeneizzazione del comportamento termico dell'involucro. I materiali coibenti che vengono utilizzati in intercapedine sono generalmente di tipo morbido, come le lane di vetro o di roccia e le fibre di legno, oppure di tipo sciolto, come i fiocchi di cellulosa riciclata: in questo modo, infatti, è possibile fare aderire l'isolante ai montanti verticali ed evitare, così, i ponti termici in senso longitudinale che si potrebbero verificare con lastre di materiale rigido impreciso. I materiali morbidi, inoltre, presentano il vantaggio di potere essere schiacciati per consentire il passaggio di

condotti impiantistici nella parete senza ulteriori lavorazioni. In costruzioni molto isolate, inoltre, diventa di estrema importanza la gestione dei flussi di vapore acqueo tra l'interno dell'edificio e l'esterno, in modo da evitare condense che inficerebbero l'azione dello strato coibente. Vale la pena di sottolineare ancora che, in costruzioni quasi adiabatiche, le cadute prestazionali dovute a guasti o a dettagli male eseguiti possono peggiorare sensibilmente la prestazione energetica. In generale, se la resistenza dei materiali al passaggio del vapore è decrescente dall'interno verso l'esterno la possibilità di condensazione interstiziale è bassa; è comunque sempre consigliabile una verifica di Glaser e, in assenza di informazioni sulle caratteristiche fisiche dei materiali, la disposizione di una barriera al vapore sul lato caldo dell'isolante. La precisa esecuzione dello strato di barriera al vapore, inoltre, garantisce una corretta tenuta all'aria della chiusura opaca.

Pannelli sandwich

Per la realizzazione di chiusure isolate in legno sono disponibili anche molte soluzioni basate su pannelli sandwich che integrano consistenti spessori di isolante. Tali soluzioni presentano i vantaggi di una notevole rapidità costruttiva e dell'assenza di molte delle tipiche aleatorietà di cantiere, e rispetto ai pannelli di calcestruzzo su cui si basava la prefabbricazione del Dopoguerra hanno la fondamentale caratteristica di potere essere facilmente adattati in sito alle dimensioni necessarie, con uno svincolamento quasi totale da ogni tipo di predefinizione dimensionale. Un'ulteriore possibilità di fabbricazione off-site degli elementi costruttivi è offerta, del resto, anche dalle citate soluzioni a montanti verticali, che grazie alla loro versatilità dimensionale possono essere realizzate su misura in stabilimento e trasportate in cantiere, complete di isolamento termico, pronte per essere assemblate a secco. Soluzioni analoghe a quelle basate sul legno si ritrovano nel settore delle costruzioni leggere metalliche, dove alcuni sistemi costruttivi (ad esempio, il Profilhaus tedesco e lo Styltech francese, riprendono l'idea degli elementi portanti leggeri e a passo ridotto, da completare con le opportune stratificazioni a formare i gusci di involucro.

Gabriele Masera, ricercatore presso il Dipartimento Best del Politecnico di Milano.

"Bigino" dei materiali isolanti inorganici & organici

Lana di vetro
Deriva da: vetro riciclato (70%), quarzite, altri minerali.
 $\lambda_c = 0,035 + 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $15 + 200 \text{ kg/m}^3$
Note: indicata anche per isolamento acustico. Deve essere confinata.

Lana di roccia
Deriva da: basalto, feldspati, dolomite, altri minerali.
 $\lambda_r = 0,035 + 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $15 + 200 \text{ kg/m}^3$
Note: indicata anche per isolamento acustico. Deve essere confinata.

Vetro cellulare
Deriva da: quarzite, feldspati, carbonati. Dopo la fusione si aggiunge C che crea cavità isolanti.
 $\lambda_{cp} = 0,040 + 0,055 \text{ W/mK}$
Densità: $105 + 165 \text{ kg/m}^3$
Note: non combustibile, impermeabile al vapore. Inerte ad agenti chimici e organici. Elevata resistenza meccanica.

Progettazione degli elementi costruttivi
Lezione 09

Perlite
Deriva da: pietra vulcanica. A 1000°C l'acqua contenuta evapora.
 $\lambda_p = 0,050 + 0,18 \text{ W/mK}$
Densità: $90 + 600 \text{ kg/m}^3$
Note: materiale sciolto. Può essere usato come livellante e isolante acustico.

Polistirene espanso
Deriva da: petrolio. Viene espanso in forno a formare granuli aderenti.
 $\lambda_{pe} = 0,035 + 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $> 15 + 30 \text{ kg/m}^3$ (cfr. classi)
Note: sensibile ad alcuni agenti chimici, al calore e ai raggi UV.

Polistirene estruso
Deriva da: petrolio. I granuli vengono fusi, aerati e fatti passare in uno stampo a estrusione.
 $\lambda_{pe} = 0,035 + 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $25 + 45 \text{ kg/m}^3$
Note: sensibile ad alcuni agenti chimici, al calore e ai raggi UV. Resiste bene all'umidità.

Poliuretano
Deriva da: petrolio e sostanze naturali. Fuso e aerato, viene accoppiato a fogli di involucro.
 $\lambda_p = 0,025 + 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $30 + 100 \text{ kg/m}^3$
Note: elevato isolamento, inattaccabile da agenti chimici. È infiammabile se non trattato. Sensibile ai raggi UV.

Progettazione degli elementi costruttivi
Lezione 09

Legno mineralizzato
Deriva da: legno e magnesite o cemento. Può essere accoppiato.
 $\lambda_c = 0,065 + 0,090 \text{ W/mK}$
Densità: $360 + 570 \text{ kg/m}^3$
Note: resistente agli agenti esterni. Non adatto a scopi acustici causa rigidità.

Sughero
Deriva da: corteccia sbirciolata ed espansa a vapore.
 $\lambda_p = 0,045 + 0,055 \text{ W/mK}$
Densità: $80 + 500 \text{ kg/m}^3$
Note: rigenerabile e naturale, ma limitato in quantità e quindi costoso.

Fibra di cellulosa
Deriva da: carta riciclata trattata contro agenti esterni e fuoco (aggiunta di acido bórico).
 $\lambda_c = 0,040 + 0,045 \text{ W/mK}$
Densità: $30 + 80 \text{ kg/m}^3$
Note: materiale sciolto. Sensibile all'umidità e al fuoco. I trattamenti la rendono non riciclabile dopo l'uso.

Cotone
Deriva da: scarti di produzione. Da trattare per ottenere protezione.
 $\lambda_p = 0,040 \text{ W/mK}$
Densità: $20 + 60 \text{ kg/m}^3$
Note: rigenerabile e naturale, ma sensibile a umidità e fuoco.

Progettazione degli elementi costruttivi
Lezione 09