

Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.

Materiali isolanti

16 ottobre 2014



Caratteristiche e proprietà dei materiali isolanti

Oltre alle capacità isolanti (λ), la scelta di un materiale comporta la valutazione di molti requisiti, ovvero:

- La resistenza meccanica
- La stabilità nel tempo
- La resistenza alla diffusione di vapore acqueo
 - L'igroscopicità
- La reazione al fuoco e la sicurezza in caso di incendio
 - L'isolamento acustico
- Il risparmio energetico e la ritenzione di calore
 - Il ciclo di vita (LCA) del prodotto
- L'emissione di sostanze inquinanti o nocive per l'uomo

Materiali isolanti


Resistenza meccanica

Gli isolanti sono generalmente dei materiali leggeri e, pertanto, presentano scarse resistenze meccaniche, proprietà legata invece alla massa o alla densità.

Più la massa è elevata e più il materiale è resistente, ma non rispetto a tutte le sollecitazioni.

Tale requisito è particolarmente importante se il materiale è soggetto a **calpestio** (inserito sotto le pavimentazioni interne oppure al di sotto di solai praticabili verso ambienti esterni), poiché se esso non presenta adeguate proprietà di resistenza meccanica, può essere soggetto a fessurazioni e rotture dovute alla compressione. In tali casi, il materiale non è più in grado di garantire la protezione termica originale.

Per questi motivi, i materiali quali i feltri devono sempre essere collocati tra elementi portanti.

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

3/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA


Materiali isolanti

Stabilità

La stabilità è la capacità di un materiale di **mantenere inalterate le proprie caratteristiche fisico-chimiche e dimensionali nel tempo.**

La stabilità dimensionale è la capacità di non variare le dimensioni a seguito delle sollecitazioni termiche e igrometriche provocate dalle escursioni stagionali.

Questo requisito è particolarmente importante per gli isolanti impiegati nelle tecnologie a cappotto, poiché il materiale è posato direttamente sul lato esterno della chiusura ed è protetto solo da un sottile strato di intonaco.

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

4/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Resistenza alla diffusione di vapore acqueo

La proprietà si esprime attraverso il **coefficiente μ , fattore di resistenza al passaggio di vapore acqueo** che indica quanto è alta la resistenza di un materiale rispetto al passaggio di vapore per diffusione, paragonato a uno strato di aria ferma del medesimo spessore.

La resistenza al vapore non deve essere valutata solo rispetto al singolo materiale isolante, ma deve essere considerata in relazione alla chiusura in cui esso è alloggiato.

Per una costruzione secondo la “regola d’arte”, un elemento costruttivo dovrebbe essere realizzato attraverso strati sempre più permeabili alla diffusione di vapore procedendo dal lato interno verso l’esterno.



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

5/47

Igroscopicità

È la capacità di un materiale di assorbire e trattenere acqua all’interno della propria struttura.

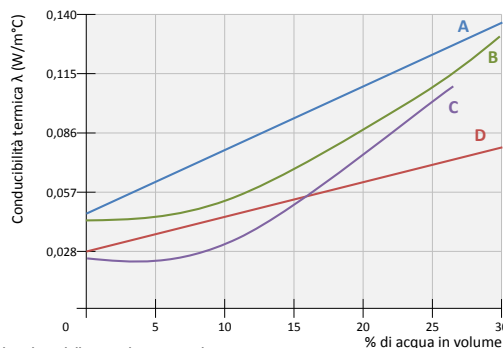
La presenza di acqua nei materiali inficia le proprietà isolanti e danneggia la struttura stessa del materiale, che subisce un progressivo deterioramento.

L’acqua può provenire dal sottosuolo o, comunque, dal livello inferiore del fabbricato (umidità di risalita) oppure dall’interno, provocando condense superficiali o interstiziali.

In corrispondenza di nodi critici della costruzione in cui vi è una forte presenza di umidità, è bene adottare materiali isolanti non igroscopici (es. polistirene estruso, vetro cellulare, ecc.).

- A – Fibra di vetro con cartonfeltro su una faccia 2,3 cm, 235 kg/m³
- B – Polistirene espanso granulare 3,5 cm, 21 kg/m³
- C – Poliuretano 2,4 cm, 28,5 kg/m³
- D – Polistirene espanso estruso 2,5 cm, 33 kg/m³

Fonte: Anit



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

6/47

Materiali isolanti

Reazione al fuoco e sicurezza in caso di incendio

Le direttive comunitarie suddividono i materiali da costruzione in **7 categorie di reazione al fuoco**, in relazione al grado di partecipazione del materiale all'incendio e alla capacità di contribuire alla propagazione.


Ulteriori parametri di valutazione sono il **livello di produzione di fumo (s)** e il **livello di rilascio di particelle ardenti (d)**.

Se si sceglie di adottare un materiale particolarmente incombustibile, è bene proteggerlo attraverso rivestimenti in materiali poco infiammabili (es. pannelli a base di gesso).

Una particolare cautela deve essere adottata per i materiali isolanti in contatto con le installazioni elettriche.

Euroclassi di reazione al fuoco

A1 – A2	Nessun contributo all'incendio (materiali non combustibili o molto poco combustibili)
B	Prodotti combustibili con contributo molto limitato allo sviluppo di incendi
C	Prodotti combustibili con contributo limitato allo sviluppo di incendi
D	Prodotti combustibili con contributo abbastanza significativo
E	Prodotti combustibili con contributo più significativo
F	Prodotti non classificati

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

7/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Materiali isolanti


Isolamento acustico

Oltre alle proprietà termiche, i materiali isolanti devono essere in grado di garantire proprietà di protezione acustica dai rumori provenienti dall'esterno e dall'interno, sia attraverso le strutture, che per via aerea.

Le prestazioni che essi devono offrire sono di **fonoassorbimento** e di **fonoisolamento**.

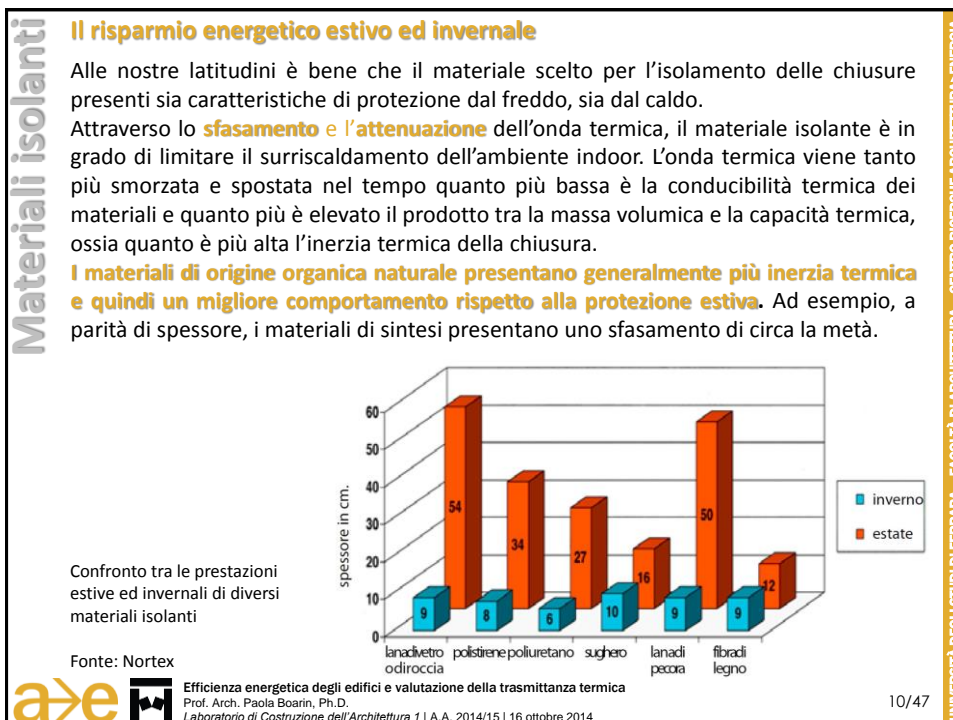
I materiali fibrosi ed elastici (fibra di legno, fibre minerali, cellulosa, lana di pecora) garantiscono ottime prestazioni fonoassorbenti (rispetto ai rumori esterni). Materiali rigidi (poliuretano, polistirene, vetro cellulare) possono invece peggiorare la qualità acustica.

Come per la permeabilità al vapore, la prestazione deve essere valutata in relazione alla stratificazione dell'intera chiusura e non per il singolo materiale.

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

8/47

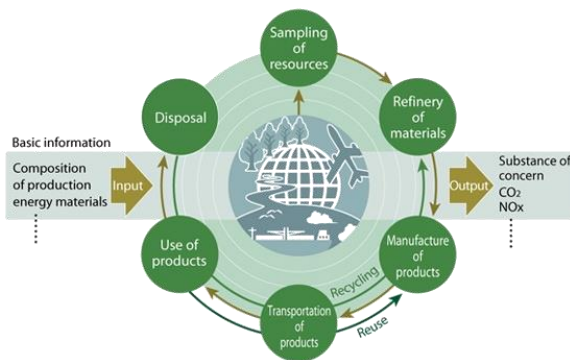
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA



Ciclo di vita del prodotto (LCA)

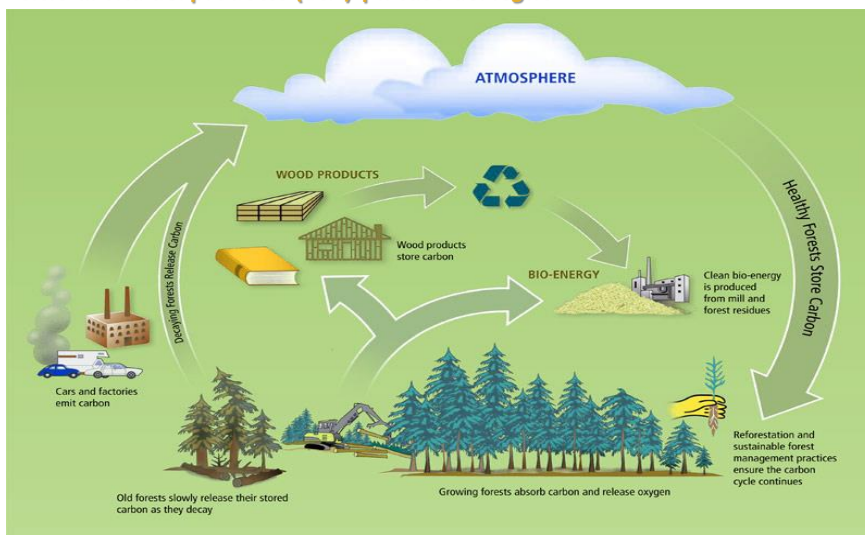
Durante la scelta del materiale isolante è opportuno valutare inoltre l'impatto sull'ambiente e sull'uomo attraverso l'**analisi del ciclo di vita del prodotto**. Infatti, l'estrazione della materia prima, la produzione del materiale, il trasporto, il montaggio, l'utilizzo e la dismissione comportano notevoli consumi energetici e l'immissione di sostanze, anche nocive, in atmosfera. In tal senso, sono da privilegiare i **materiali riciclabili** e, quindi, reinserti nel ciclo sotto forma di **materie prime seconde**.

I materiali di sintesi, derivando dalla lavorazione del petrolio e del cloro, sono particolarmente problematici (elevate emissioni di gas serra in fase di produzione e di gas nocivi, difficoltà di riciclaggio). I materiali di origine naturale per avere un bilancio positivo devono essere prodotti vicino ai luoghi di installazione per limitare le emissioni in fase di trasporto.

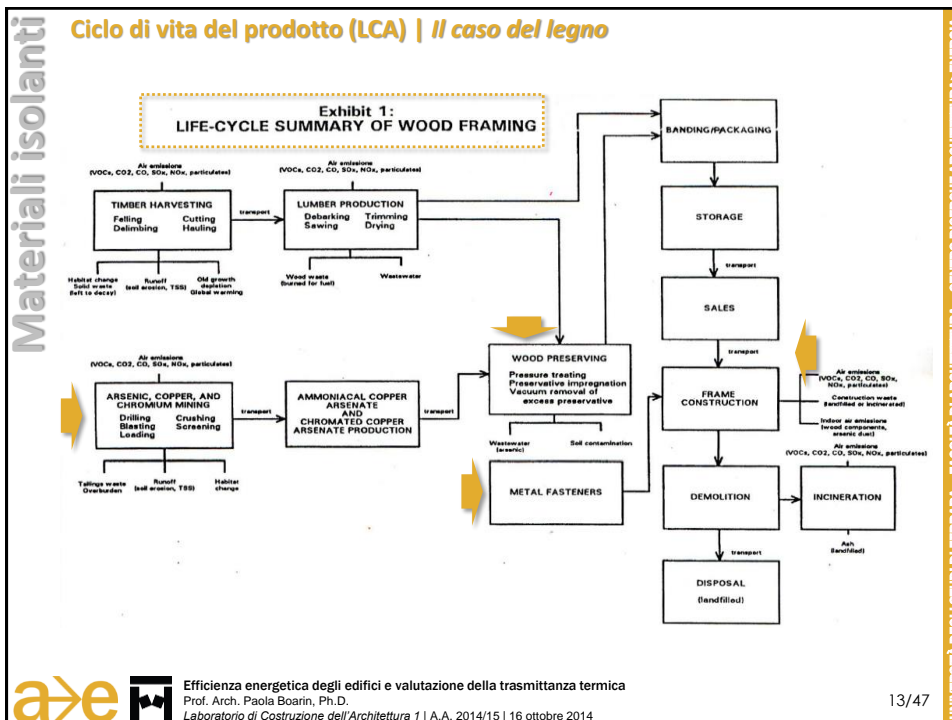


Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

Ciclo di vita del prodotto (LCA) | Il caso del legno



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014



Materiali isolanti

Ciclo di vita del prodotto (LCA) | legno certificato



Il marchio **Forest Stewardship Council**® identifica i prodotti contenenti legno proveniente da foreste gestite in maniera corretta e responsabile secondo rigorosi standard ambientali, sociali ed economici.



Il marchio **Programme for the Endorsement of Forest Certification** attesta che le forme di gestione boschiva rispondono a determinati requisiti di "sostenibilità"



a>e Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

14/47


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Materiali isolanti

L'emissione di sostanze inquinanti o nocive per l'uomo

I materiali utilizzati in edilizia e, quindi, anche gli isolanti devono essere scelti in modo da non compromettere l'igiene e la salute degli occupanti e dei vicini e, in particolare, in modo da non provocare:

- sviluppo di gas tossici
- Presenza nell'aria di particelle o gas pericolosi (VOC e altri inquinanti)
- Emissione di radiazioni pericolose
- Inquinamento o tossicità dell'acqua e del sottosuolo
- Difetti nell'eliminazione dei fumi, delle acque di scarico e dei rifiuti solidi o liquidi
- Formazione di umidità o condense sulle superfici o all'interno della stratificazione

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

15/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Materiali isolanti

Valori ambientali del prodotto

Global Warming Potential (GWP)

Misura quanto un determinato gas serra emesso dall'attività antropica contribuisce all'aumento dell'effetto serra a livello globale.


È basato su una scala relativa che confronta il gas considerato con un'uguale massa di biossido di carbonio (CO₂) il cui GWP è per definizione pari a 1. Il GWP è calcolato in uno specifico intervallo di tempo e per tutto il ciclo di vita del materiale.

Il GWP è misurato in kg di CO₂ equivalenti per unità di massa.

Greenhouse gases	Chemical formula	Pre-industrial concentration	Concentration in 1994	Atmospheric lifetime (years)**	Anthropogenic sources	Global warming potential (GWP)*
Carbon-dioxide	CO ₂	278 000 ppbv	358 000 ppbv	Variable	Fossil fuel combustion Land use conversion Cement production	1
Methane	CH ₄	700 ppbv	1721 ppbv	12.2 +/- 3	Fossil fuels Rice paddies Waste dumps Livestock	21 **
Nitrous oxide	N ₂ O	275 ppbv	311 ppbv	120	Fertilizer industrial processes combustion	310
CFC-12	CCl ₂ F ₂	0	0.503 ppbv	102	Liquid coolants Foams	6200-7100 ****
HCFC-22	CHClF ₂	0	0.105 ppbv	12.1	Liquid coolants	1300-1400 ****
Perfluoromethane	CF ₄	0	0.070 ppbv	50 000	Production of aluminium	6 500
Sulphur hexa-fluoride	SF ₆	0	0.032 ppbv	3 200	Dielectric fluid	23 900

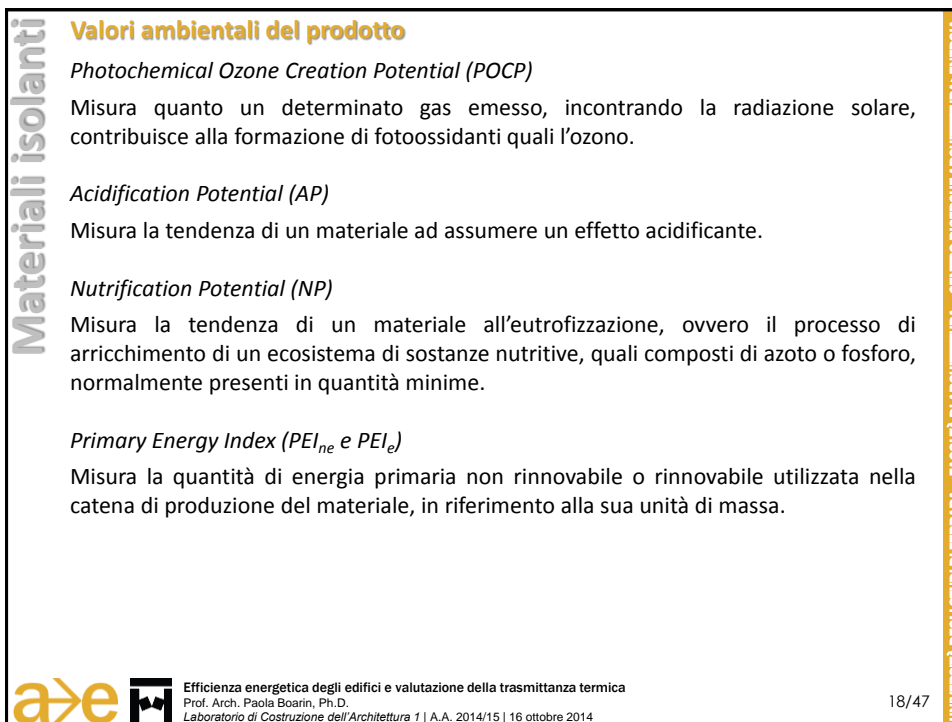
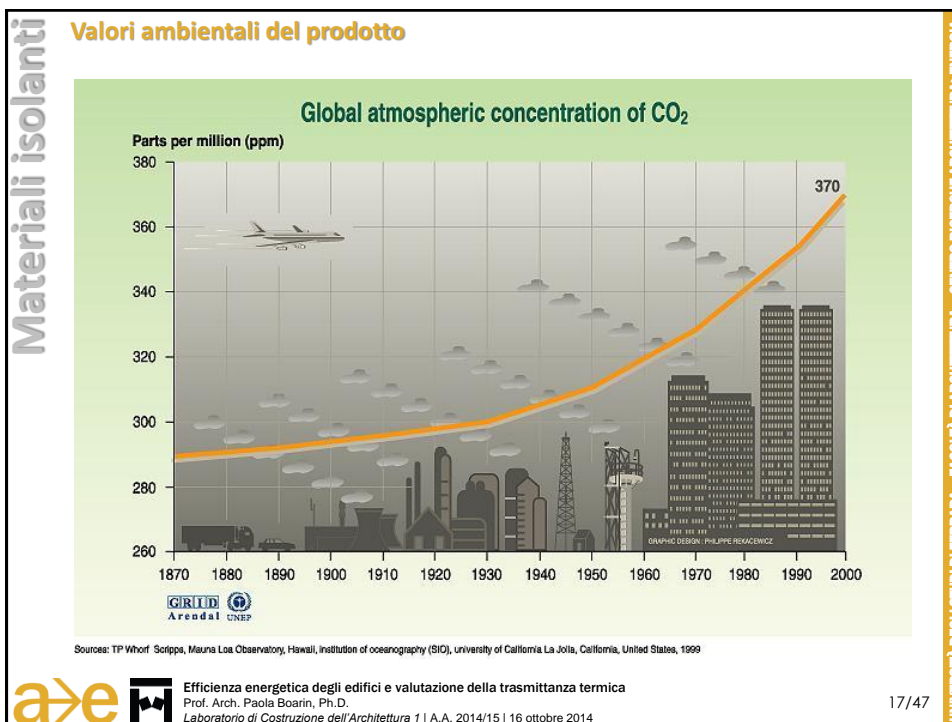
Note: ppbv: 1 part per billion by volume; ppbv: 1 part per billion by volume; ppmv: 1 part per million by volume

* GWP for 100 year time horizon. ** Includes indirect effects of tropospheric ozone production and stratospheric water vapour production. *** On page 15 of the IPCC SAR. No single lifetime for CO₂ can be defined because of the different rates of uptake by different sink processes. **** Net global warming potential (i.e. including the indirect effect due to ozone depletion).

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

16/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA



Materiali isolanti

Materiali derivanti da fonti rinnovabili (bio-based materials)

I materiali provenienti da fonti rinnovabili generalmente richiedono minore sfruttamento di suolo, di risorse naturali, di capitali e tempo di produzione e hanno un minor impatto ambientale. **L'uso di materiali provenienti da fonti rinnovabili riduce l'uso delle materie prime la cui estrazione e lavorazione ha notevole impatto sull'ambiente.**



a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

19/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Materiali isolanti

Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (materiali regionali)

L'obiettivo è l'incremento della domanda e dell'utilizzo di prodotti da costruzione che siano estratti e lavorati a distanza limitata, sostenendo l'uso di risorse locali e riducendo gli impatti sull'ambiente derivanti dal trasporto.



a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

20/47

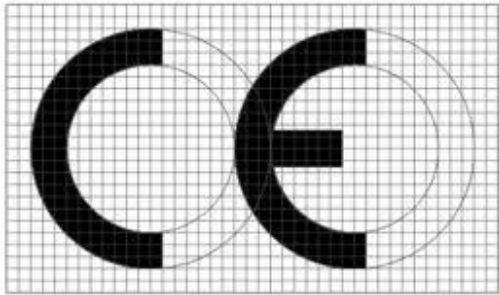
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Le certificazioni di prodotto


La marchiatura CE

La **marchiatura CE** è un contrassegno che deve essere apposto su determinate tipologie di prodotti dal fabbricante stesso che con essa autocertifica la rispondenza (o conformità) ai requisiti essenziali per la commercializzazione e utilizzo nell' Unione Europea.

CE = Conformité Européenne



The CE Conformity Marking
(CE = Conformité Européenne ?)

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

21/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Le certificazioni di prodotto

Certificazione di prodotto nel settore della bioedilizia

ANAB è l'unico ente ad avere sviluppato con successo in Italia standard di valutazione della sostenibilità dei prodotti per l'edilizia. L'attività è iniziata nel 1999, con l'istituzione del **marchio di qualità bioecologica ANAB-IBO-IBN**.

Il marchio contrassegna i prodotti che ottengono la certificazione secondo i metodi di valutazione messi a punto da ANAB attraverso l'attività di controllo di ICEA, Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale, a cui è stata trasferita l'attività di controllo che si riferisce al marchio ANAB.

Il marchio ANAB è uno strumento che consente maggiore correttezza e chiarezza nel rapporto tra produttori, utilizzatori, progettisti e utenti e favorisce la diffusione qualificata dei materiali per la bioedilizia.



22/47

a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Le certificazioni di prodotto

Certificazione Natureplus®

Natureplus® è il marchio europeo di qualità dei materiali sostenibili per il costruire e l'abitare sani. Rappresenta un'iniziativa di diverse associazioni ed organizzazioni di consumatori, dell'ambiente, del commercio, di progettisti e di produttori oltre ad istituti di certificazione ed esperti, impegnati assieme a favore dei materiali per l'edilizia con elevato valore ecologico e di qualità.

Salute e Comfort - Materiali ed arredamenti naturali contribuiscono alla creazione di un'atmosfera confortevole e ad un piacevole clima negli ambienti confinanti. Natureplus® garantisce l'applicazione di limiti restrittivi per le sostanze nocive e la dichiarazione completa di tutti i componenti. La vostra abitazione ne guadagnerà in benessere, poiché solo i materiali di alta qualità, lunga durata e di ottima concezione vengono contrassegnati con il marchio natureplus®.

Responsabilità verso l'ambiente - Con la scelta dell'impiego di prodotti certificati natureplus® contribuirete a sostenere e promuovere un'edilizia sana e sostenibile. natureplus® significa infatti:


- impiego di materie prime rinnovabili o minerali
- produzione e lavorazione sostenibili
- basso consumo energetico per la produzione e l'impiego




a>e  Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

23/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA




Sace Cork srl
Via dell'Industria 47
63010 Capodarco di Fermo (AP)
Tel. 0734/640631 Fax 0734/640750
<http://www.sacepaludi.it>
email: edilizia@sacepaludi.it



Sace Cork srl
Via dell'Industria 47
63010 Capodarco di Fermo (AP)
Tel. 0734/640631 Fax 0734/640750
<http://www.sacepaludi.it>
email: edilizia@sacepaludi.it

Scheda Tecnica BlackCork: sughero "bruno" agglomerato naturalmente



DESCRIZIONE PRODOTTO:
Pannelli di sughero "bruno" autoespanso per l'isolamento termico ed acustico degli edifici. Ideale in soluzioni a cappotto, in intercapedine o sotto i tetti.
Il conglomerato di sughero espanso è un materiale naturale al 100 % fabbricato dalla corteccia della sughera, poi ridotta in granuli, surriscaldata e compattata in blocchi, utilizzando unicamente la Suberina (resina presente nel sughero) come elemento collante ed aggregatore dei granuli.
Il pannello in sughero "bruno" è un materiale **impregiabile** utilizzabile anche in **bioarchitettura** per l'unicità e la **stabilità** delle sue caratteristiche termiche.

CARATTERISTICHE FISICHE

Materiale Sughero espanso puro in pannelli secondo le norme UNI EN 13170 e UNI EN 13172

Dimensioni esterne Lunghezza mm 1000 x Larghezza mm 300 con tolleranze dimensionali UNI T... L - W

Spessori disponibili 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm, 100 mm
Altri spessori a richiesta fino a 330 mm

Imballo Confezionato in cellophane riciclabile termoretraibile elettrostatico ai bordi

CARATTERISTICHE TECNICHE

Densità volumetrica $\rho = 126 \text{ kg/m}^3$

Carico di rottura per trazione $0,6 \pm 0,9 \text{ Kg/cm}^2$

Carico di rottura per flessione $1,25 \pm 2,31 \text{ kg/cm}^2$

Resistenza alla compressione $1,24 \pm 1,59 \text{ Kg/cm}^2$

Isolante insonorizzante $1,62 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$

Coefficiente di dilatazione termica (a 20°C) $25 \pm 50 \times 10^{-6}$

Temperatura di uso $200 - 130 \text{ }^\circ\text{C}$

Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ) 5 ± 30

Modulo di elasticità 5 N/mm^2

Rigidità dinamica (spessore 50 mm) 126 N/cm^3

Absorbimento acustico (spessore 40 mm) $0,29 \pm 0,31 \text{ dB}$ (a 500 Hz)


Conducibilità termica λ (a 10°C) $0,0375 \pm 0,0363 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Resistenza termica R (in K/W)

10 mm	0,534	0,801	1,068	1,335	1,602	1,869	2,136	2,403
20 mm	1,068	1,602	2,136	2,670	3,204	3,738	4,272	4,806
30 mm	1,602	2,136	2,670	3,204	3,738	4,272	4,806	5,340
40 mm	2,136	2,670	3,204	3,738	4,272	4,806	5,340	5,874
50 mm	2,670	3,204	3,738	4,272	4,806	5,340	5,874	6,408
60 mm	3,204	3,738	4,272	4,806	5,340	5,874	6,408	6,942
80 mm	4,272	4,806	5,340	5,874	6,408	6,942	7,476	8,010
100 mm	5,340	5,874	6,408	6,942	7,476	8,010	8,544	9,078

ALTRE CARATTERISTICHE

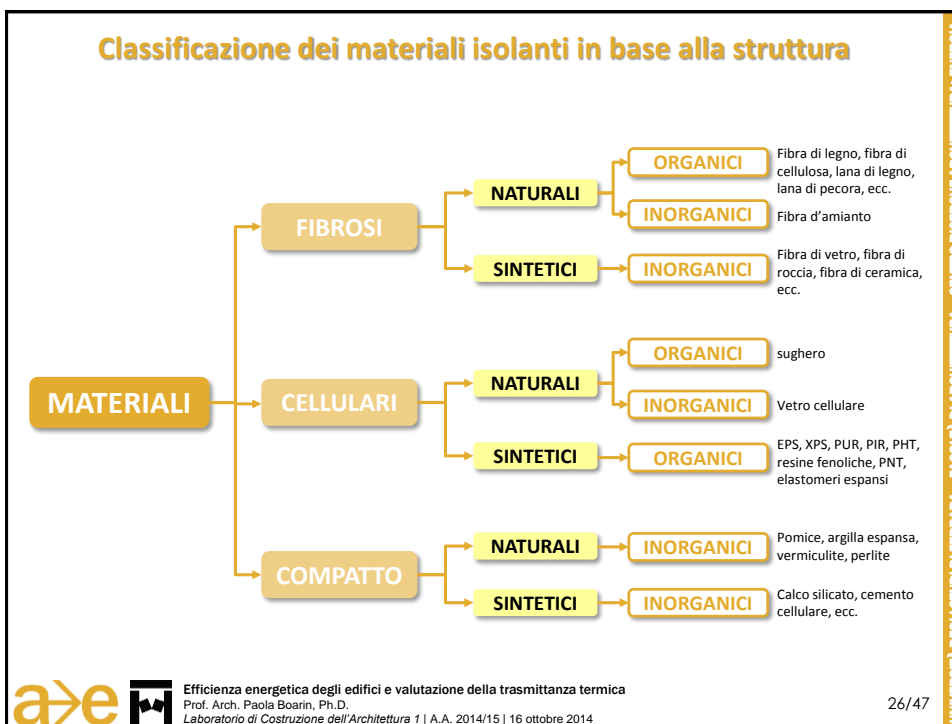
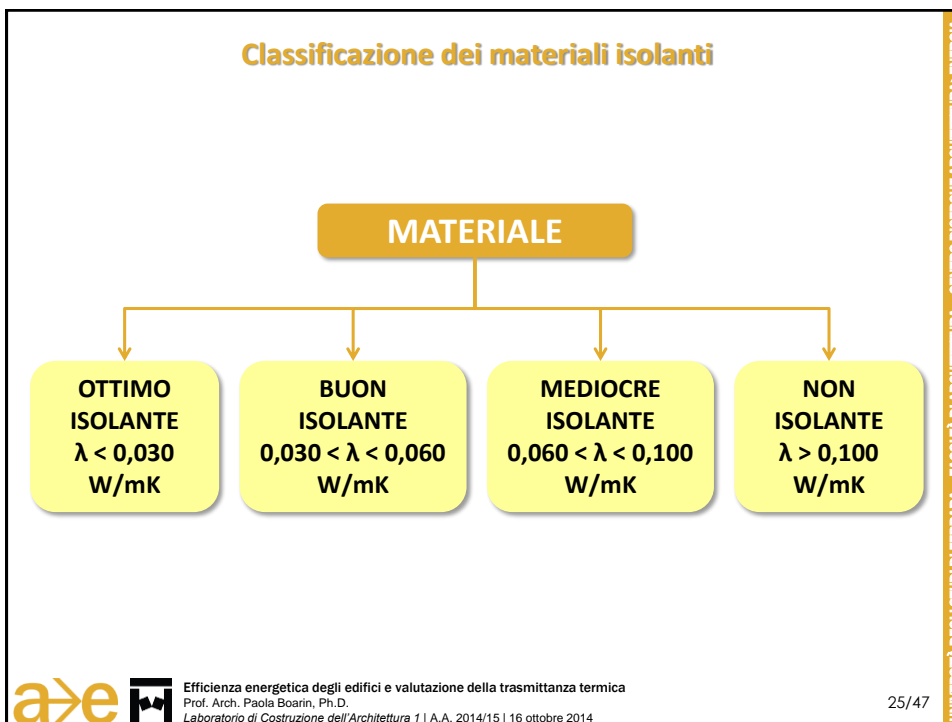
Proprietà Non si deforma in acqua bollente, buona resistenza agli attacchi degli agenti chimici, elastico, antirumore, impuforescibile, stabile nel tempo e inalterabile da insetti, parassiti e roditori.

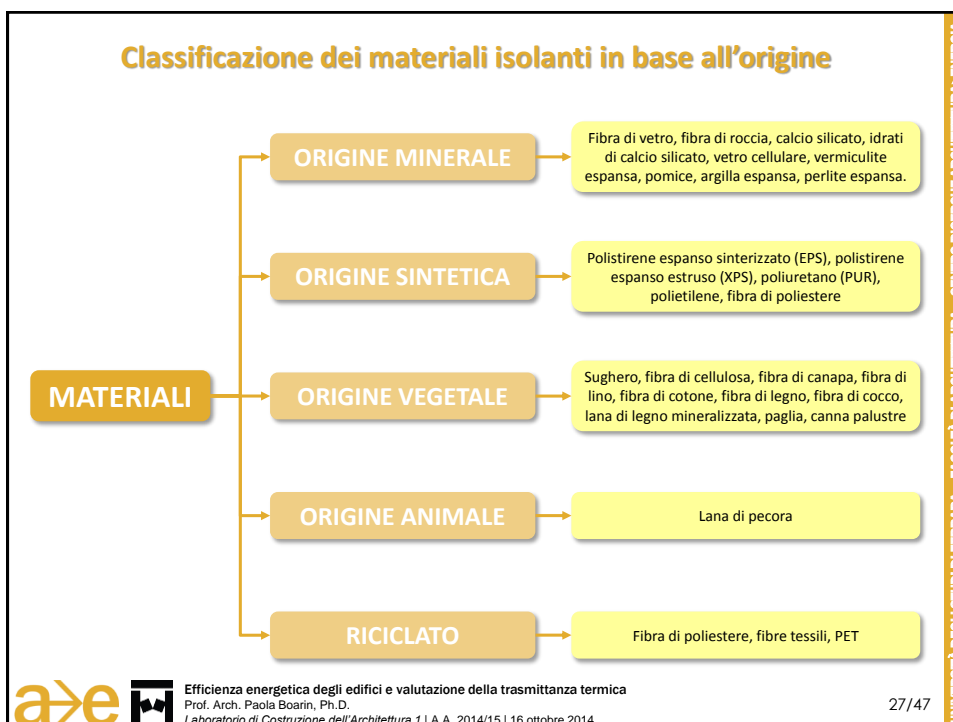
Certificazioni unico con certificazione  UNI EN 13170

APPLICAZIONI PRINCIPALI

	Isolamento dall'interno	Isolamento dall'esterno	Isolamento intercapedine	Isolamento acustico
Parete perimetrale	+	+	+	+
Parete interna				
Parete sottotetto			+	+
Copertura piana ispezionabile	+			
Copertura piana gestionale	+			
Copertura piana carabile	+			
Copertura piana giardino	+			
Copertura a falda struttura continua	+	+		
Copertura a falda struttura discontinua	+	+		
Sole	+			+
Cassonetti per avvolgibili	+			
Divisori alloggi				+
Impianti industriali				+
Celle frigorifere	+			

Laboratorio di Costruzione dell'Architettura | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014





Presentazione dei prodotti in commercio

I materiali isolanti possono essere reperiti in commercio sotto forma di:

- Materiali sfuso** (granuli, fibre, fiocchi). Sono ideali per il riempimento di intercapedini o, miscelati al calcestruzzo, per formare strati di alleggerimento con parziale potere isolante. Sono particolarmente adatti nei risanamenti poiché riescono a riempire interstizi non perfettamente complanari. Devono essere posati da maestranze specializzate in grado di garantire la corretta compattazione del prodotto.
 
- Feltri morbidi o materassini**. Possono essere adottati come riempimento tra le travi o nelle intercapedini. È necessaria particolare accortezza nella posa in opera al fine di non creare ponti termici dovuti alla soluzione di continuità fra strati di materiale contiguo.
 
- Pannelli rigidi con diverse densità**. Si adattano a molti usi, ma non al riempimento tra le travi (in particolare in edifici esistenti). Possono essere forniti con spigoli vivi oppure battentati o con incastro maschio-femmina.
 


 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

28/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Ambiti di impiego dei materiali isolanti

Sotto la platea di fondazione	Granulato di vetro cellulare, vetro cellulare (densità appropriata), XPS ad alta resistenza meccanica
Pavimento di cantine o controterra Resistenza a compressione minima 500 kg/mq	Vetro cellulare (densità appropriata), XPS
Isolamento perimetrale (isolamento esterno pareti controterra delle cantine)	Granulato di vetro cellulare, pannelli di EPS idrofobizzato, XPS, vetro cellulare (densità appropriata)
Isolamento esterno facciate (sistemi a cappotto e facciate ventilate)	Pannelli XPS, EPS, sughero, idrati di silicato di calcio, fibre minerali, fibre di canapa, fibra di legno, vetro cellulare (densità appropriata)
Isolamento interno pareti senza barriera al vapore (valutare freno vapore)	Pannelli in calcio silicato, cellulosa, fibra di legno a diffusione aperta, pannelli in PUR rivestiti in alluminio, vetro cellulare (densità appropriata), XPS non aperti alla diffusione
Isolamento per pareti con sistema costruttivo a telaio	Pannelli o materassini in fibra di canapa, di lino, fibre minerali, fibra di legno, lana di pecora, fiocchi di cellulosa, granuli di sughero, perlite espansa



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

29/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Ambiti di impiego dei materiali isolanti

Solai intermedi: isolamento acustico anticalpestio	Pannelli EPS, fibre minerali, fibra di canapa, fibra di lino, fibra di legno, sughero, lana di pecora, perlite espansa, fibra di cocco
Solai o tetti in travi di legno Isolamento non resistente a compressione tra puntoni	Feltri in fibra di lino, di canapa, fibre minerali, lana di pecora, fibra di legno, perlite espansa, granuli di sughero, fiocchi di cellulosa, fibre di canapa
Isolamento sopra i puntoni	EPS, fibre minerali ad alta resistenza, PUR, XPS, pannelli in fibra di legno, sughero, pannelli in fibra di canapa, vetro cellulare (densità appropriata)
Ultimo solaio	EPS, sughero, perlite espansa, fibre minerali pesanti, PUR, XPS, vetro cellulare, fibre di canapa, di legno, cellulosa
Partizioni interne, tetto piano e tetto verde	Perlite espansa, fibre minerali ad alta resistenza, PUR, vetro cellulare (densità appropriata), XPS



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

30/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

ARGILLA ESPANSA



Presentazione: granuli sfusi

Materia prima: impasto di argilla e olio sottoposto ad elevate temperature

Proprietà: scarso potere termoisolante, buone capacità fonoassorbenti, ottima protezione estiva

Impiego: riempimento di intercapedini, alleggerimento di solai (miscelato con cls)

Conducibilità termica λ : 0,09 – 0,12 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 2-8

Costo medio: 50-250 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

31/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

SILICATO DI CALCE ESPANSO



Presentazione: pannelli

Materia prima: ossidi di calcio e di silicio con l'aggiunta di cellulosa (3-6%) per migliorare la flessibilità e la resistenza degli spigoli. I materiali vengono miscelati con acqua (silicato di calcio idrato) e versati in stampi, dunque trattati con vapore acqueo in autoclave ad alte temperature, fino ad ottenere una struttura aperta con pori fini (fino al 90%)

Proprietà: isolamento interno e risanamento da umidità e muffe. Deve essere trattato in superficie con materiali aperti alla diffusione dei vapore.

Conducibilità termica λ : 0,060-0,095 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 3-20

Costo medio: 350-450 €/mc



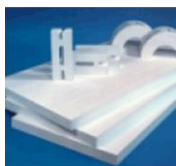
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

32/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

CALCE CEMENTO CELLULARE



Presentazione: pannelli o granuli (derivanti dagli scarti di fabbricazione dei pannelli)

Materia prima: sabbia silicea, idrato di calce, cemento Portland, acqua, schiuma proteica e sostanze idrofobizzanti

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, buona capacità di regolazione dell'umidità grazie all'elevata permeabilità al vapore. Non adatto come isolante acustico.

Impiego: isolamento a cappotto

Impiego: Conducibilità termica λ : 0,076 – 0,094 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 15-20

Costo medio: 200-300 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.

Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

33/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

FIBRE MINERALI (LANA DI VETRO, LANA DI ROCCIA)



Presentazione: pannelli, feltri, materassini, materiale sfuso

Materia prima (lana di vetro): sabbia di quarzo o vetro riciclato (45-49%), soda, dolomite, feldspato, calcare e resina sintetica (bakelite). Processo di fusione e centrifugazione.

Materia prima (lana di roccia): rocce basaltiche, resine sintetiche portate a fusione e idrofobizzazione con sostanze a base di silicene o oli minerali.

Proprietà: qualità isolanti molto buone, ma scarsa protezione estiva, ottimo isolamento acustico, non regola l'umidità.

Impiego: coperture (tra e sopra i travetti), solai intermedi, isolamento a cappotto e facciate ventilate, riempimento tra sistemi costruttivi a secco. Deve essere protetto dall'umidità e necessita generalmente di compartimentazione.

Conducibilità termica λ : 0,038-0,053 W/mK (vetro) | 0,037 – 0,054 W/mK (roccia)

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1 (v+r)

Costo medio: 100-350 €/mc (vetro) | 80-250 €/mc (roccia)



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.

Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

34/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

VETRO CELLULARE



Presentazione: pannelli, blocchi, granuli, elementi sagomati

Materia prima: sabbia quarzifera e vetro riciclato (fino a oltre il 60%) macinati e portati ad elevate temperature con aggiunta di carbonio che causa la formazione di gas e conferendo struttura alveolare.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti e buona protezione estiva, completamente impermeabile all'acqua e al vapore. I pannelli hanno elevata resistenza meccanica a compressione, ma su superfici piane (altrimenti rischio rottura)

Impiego: in presenza di umidità, ovvero coperture, pareti contro terra, solai verso ambienti esterni.

Conducibilità termica λ : 0,055 – 0,066 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : ∞

Costo medio: 300-500 €/mc (pannelli) | 80-150 €/mc (granulato sfuso)



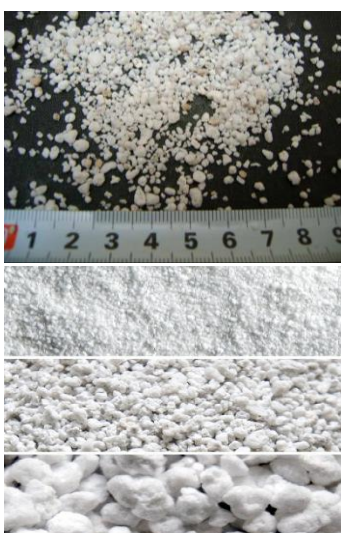
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

35/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine minerale

PERLITE ESPANSA



Presentazione: granuli sfusi, pannelli

Materia prima: sabbia quarzosa e/o vetro riciclato (fino a oltre il 60%) portati ad elevate temperature.

Proprietà: Buona permeabilità al vapore, anche se i singoli granuli sono completamente impermeabili. E' un materiale con buone proprietà termoisolanti e fonoassorbenti, è incombustibile e non emette fumi tossici in caso di incendio, non contiene sostanze nocive per la salute, è inerte, stabile nel tempo, inattaccabile da parassiti.

Impiego: riempimento di intercapedini, coperture, sottotetti non praticabili, impastata con calce idraulica è impiegata per la realizzazione di sottofondi e massetti in solai interpiano o controterra, coperture piane e a falda. A granulometria per la realizzazione di intonaci termoisolanti, fonoassorbenti e resistenti al fuoco.

Conducibilità termica λ : 0,045-0,070 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1-5

Costo medio: 100-250 €/mc



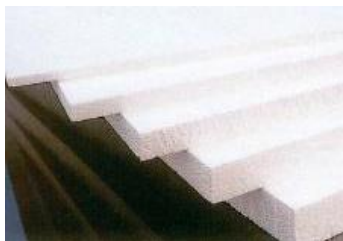
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

36/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine sintetica

POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (EPS)



Presentazione: pannelli, perle sciolte, elementi sagomati

Materia prima: polimerizzazione dello stirene, ottenuto da benzolo ed etilene, ricavati da petrolio e metano. È possibile aggiungere polvere di alluminio o grafite per migliorare le proprietà termiche (EPS grigio).

Proprietà: da buone a ottime proprietà termoisolanti, scarsa protezione estiva, nessuna capacità di regolazione dell'umidità, buone proprietà di isolamento acustico da calpestio ma non da trasmissione aerea.

Impiego: coperture, solai a terra e interpiano (anche come supporto di sistemi radianti a pavimento), sistemi a cappotto.

Conducibilità termica λ : 0,040 – 0,056 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 21-107

Costo medio: 50-250 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

37/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

Isolanti di origine sintetica

POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)



Presentazione: pannelli con o senza «pelle» (addensamento superficiale compatto), da solo o accoppiato con altri materiali

Materia prima: polimerizzazione dello stirene, ottenuto da benzolo ed etilene, ricavati da petrolio e metano. Il propellente più utilizzato per l'espansione del polistirolo liquido è la CO₂.

Proprietà: proprietà termoisolanti molto buone, scarsa protezione estiva, nessuna capacità di regolazione dell'umidità, buone proprietà di isolamento acustico da calpestio ma non da trasmissione aerea.

Impiego: principalmente negli attacchi a terra e negli ambienti umidi particolarmente sollecitati ai carichi (coperture praticabili, a verde).

Conducibilità termica λ : 0,034 – 0,041 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 87-321

Costo medio: 150-250 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

38/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA

Isolanti di origine sintetica

POLIURETANO (PUR)



Presentazione: pannelli, schiume ad espansione in situ, elementi presagomati

Materia prima: polimerizzazione dello stirene, ottenuto da benzolo ed etilene, ricavati da petrolio e metano. Il propellente più utilizzato per l'espansione del polistirolo liquido è la CO₂.

Proprietà: proprietà termoisolanti molto buone, scarsa protezione estiva, nessuna capacità di regolazione dell'umidità, buone proprietà di isolamento acustico da calpestio.

Impiego: copertura, come isolamento anticallpestio nei solai intermedi, isolamento di condotte impiantistiche.

Conducibilità termica λ : 0,032-0,034 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 60

Costo medio: 200-300 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

39/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine vegetale

FIBRA DI CANAPA



Presentazione: feltri, pannelli, fibre sfuse

Materia prima: prodotto vegetale della canapa, trattato con soda o sali di boro per aumentare le proprietà antincendio e talvolta rinforzato con fibre di poliestere.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, buona protezione termica estiva, buona capacità di regolare l'umidità (riesce ad assorbire umidità fino a un terzo del suo peso senza perdere le proprietà isolanti), buon isolamento acustico. È un materiale rinnovabile e riutilizzabile.

Impiego: in copertura come isolamento tra travetti, in parete nei sistemi di isolamento a cappotto (posato in più strati tra montanti) e nelle chiusure stratificate a secco. Nei solai intermedi vengono utilizzati i feltri anticallpestio. Può essere impiegato al posto delle schiume per il riempimento delle cavità.

Conducibilità termica λ : 0,040 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1-5

Costo medio: 150-300 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

40/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – FACOLTÀ DI ARCHITETTURA – CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine vegetale

FIBRA DI CELLULOSA



Presentazione: pannelli, fiocchi sfusi

Materia prima: carta da giornale riciclata arricchita con sali di boro per la protezione antincendio e con additivi per la protezione dai roditori. Possono essere impiegate fibre di juta per il rinforzo dei pannelli.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, buona protezione termica estiva, buona capacità di regolare l'umidità, molto buone proprietà di isolamento e assorbimento acustico. Se in fiocchi, è un materiale rinnovabile e riutilizzabile.

Impiego (fiocchi sfusi): per insufflazione nelle intercapedini di solai e chiusure verticali.

Impiego (pannelli): isolamento tra travetti o come isolamento anticalpestio.

Conducibilità termica λ : 0,045-0,058 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1-3

Costo medio: 100-350 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

41/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine vegetale

FIBRA DI COCCO



Presentazione: feltri, materassini, pannelli

Materia prima: rafia delle noci di cocco, sali di boro e solfato di ammonio per renderla ignifuga.

Proprietà: proprietà termoisolanti da medie a buone, buona capacità di regolare l'umidità, ottimo isolante acustico anticalpestio. Materia prima disponibile, ma pregiata, lunghi tragitti per il trasporto (valutazione LCA). È riciclabile.

Impiego: isolamento tra travetti, tra telai in legno o come isolamento anticalpestio.

Conducibilità termica λ : 0,043 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

42/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine vegetale

FIBRA DI LEGNO



Presentazione: pannelli

Materia prima: residui della lavorazione del legno di conifere e latifoglie, senza o con aggiunta di lattice, paraffina, bitume, cera naturale per rendere i pannelli resistenti all'umidità.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, ottima protezione dal calore estivo, buone capacità di regolazione dell'umidità, buon isolamento acustico, anche d a calpestio. Risorsa sufficientemente disponibile, rigenerabile, può essere riciclato come combustibile.

Impiego: isolamento tra e sopra i travetti di copertura. Isolamento in pannelli anticalpestio nei solai. Pannelli per isolamento a cappotto e facciate ventilate. Buono anche per l'isolamento dall'interno.

Conducibilità termica λ : 0,040-0,55 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 2-5

Costo medio: 150-300 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

43/47

Isolanti di origine vegetale

LANA DI LEGNO MINERALIZZATA



Presentazione: pannelli

Materia prima: fibre di abete mineralizzate rivestite da un legante minerale: il cemento Portland. Le fibre vengono sottoposte ad un trattamento mineralizzante che rende le fibre perfettamente inerti e ne aumenta la resistenza al fuoco

Proprietà: la struttura cellulare del legno conferisce al pannello isolamento, leggerezza, elasticità. Gli interstizi fra le fibre sono responsabili dell'assorbimento acustico e dell'ottimo aggrappaggio a tutte le malte.

Impiego: isolamento dai ponti termici di elementi in c.a. (usato come cassero per getti), architravi, cordoli solai, nicchie radiatori. Nelle chiusure verticali per isolamento a cappotto e per isolamento in intercapedine per protezione acustica. Nei solai per protezione acustica.

Conducibilità termica λ : 0,085-0,091 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 3-50 (solo lana di legno 5)

Costo medio: 200-550€/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

44/47

Isolanti di origine vegetale

FIBRA DI LINO



Presentazione: pannelli, feltri, fibre sfuse

Materia prima: prodotto vegetale dal lino, trattato con boro o sali di ammonio per la resistenza al fuoco e agli insetti. Può presentare fibre di poliestere come rinforzo.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, media protezione dal caldo estivo, buone capacità di regolazione dell'umidità. Materia prima rinnovabile.

Impiego: isolamento di coperture e di chiusure stratificate a secco. Nei solai sono impiegati feltri anticalpestio; utilizzato in intercapedini come riempitivo al posto delle schiume.

Conducibilità termica λ : 0,040 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

45/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine vegetale

SUGHERO



Presentazione: granulato sfuso, pannelli di agglomerato espanso

Materia prima: corteccia della quercia da sughero (Francia del Sud, Spagna, Portogallo, Africa del Nord) frantumata e sottoposta a cottura senza l'aggiunta di alcuna sostanza. Materia prima limitata e pregiata. Nella fase di cottura possono svilupparsi sostanze pericolose per la salute. Tragitti abbastanza lunghi per il trasporto (valutazione LCA). Può avere un odore molto forte.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti e capacità di protezione dal caldo estivo, buona capacità di regolazione dell'umidità, buone capacità di isolamento acustico.

Impiego: il granulato viene impiegato come riempimento di intercapedini. Isolamento a cappotto o parete ventilata. Coperture ventilate. Pannelli anticalpestio.

Conducibilità termica λ : 0,043-0,052 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 9-19

Costo medio: 200-450 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

46/47

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Isolanti di origine animale

LANA DI PECORA



Presentazione: feltri, fiocchi

Materia prima: lana di pecora, urea e derivati e sali di boro come trattamento antincendio e antitarma. Prodotto naturale sufficientemente disponibile.

Proprietà: buone proprietà termoisolanti, protezione termica estiva media, buona capacità di regolazione dell'umidità, buon isolamento acustico anche anticalpestio.

Impiego: in copertura è impiegato sotto forma di materassini tra travetti. In chiusura verticale come riempitivo in strutture stratificate a secco. Isolamento anticalpestio e in intercapedine tra le tubature.

Conducibilità termica λ : 0,035-0,040 W/mK

Coefficiente di resistenza alla diffusione di vapore μ : 1-5

Costo medio: 150-250 €/mc



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 16 ottobre 2014

47/47

