

Università di Ferrara Facoltà di Architettura "Biagio Rossetti" a>e Centro Architettura>Energia

Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica

5 dicembre 2013



Premio Nobel per la pace 2007

by far the most terrifying film
you will ever see.


an inconvenient truth

A GLOBAL WARNING

now playing in select theaters




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




In occasione del Rio Earth Summit del 1992 è stata stipulata la "**Convezione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici**", con l'obiettivo di "stabilizzare le concentrazioni nell'atmosfera dei gas ad effetto serra ad un livello tale da impedire pericolose interferenze di origine umana con il sistema climatico".

Per dare attuazione alla Convenzione, è stato redatto il **Protocollo di Kyoto** (1997), che impegna i Paesi industrializzati e quelli in economia di transizione, a ridurre le emissioni di gas serra, attraverso:


- la promozione dell'efficienza energetica
- lo sviluppo di fonti rinnovabili di energia
 - la protezione e l'estensione delle foreste
 - la promozione dell'agricoltura sostenibile
- la limitazione e la riduzione della produzione di metano nelle discariche di rifiuti
 - misure fiscali appropriate per disincentivare le emissioni di gas serra.



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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

3/89

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



2020
 Energy Strategy for Europe

Pacchetto clima-energia (2007)

Obiettivi UE per il 2020:

- ridurre del 20% le emissioni di gas a effetto serra
- aumentare al 20% il consumo di fonti rinnovabili
- portare al 20% il risparmio energetico

OBIETTIVI VINCOLANTI

OBIETTIVO NON VINCOLANTE

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

4/89

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



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

Dati relativi all'anno 2007
5/89

Ma la maggiore fonte di energia è...

l'efficienza energetica

- Riduzione della dipendenza da fonti fossili
- Riduzione dell'emissione di gas inquinanti
 - Riduzione della spesa energetica
- Motore dell'innovazione e del mercato

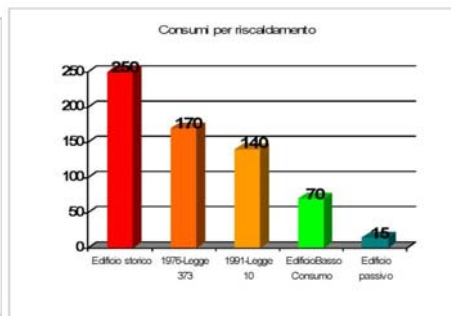
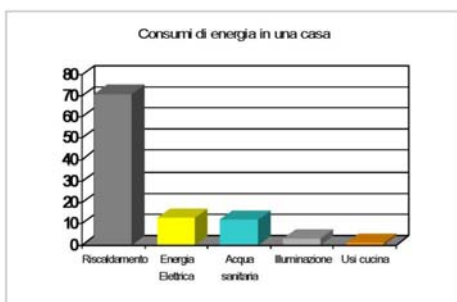
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA>ENERGIA



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

6/89

Alcuni dati...



Non possiamo più costruire così!

La certificazione energetica e ambientale degli edifici come strumento di incentivazione di buone pratiche nel settore edile



Nutrition Facts
Serving Size 8 crackers (28g)
Servings Per Container About 12

Amount Per Serving
Calories 120 **Calories From Fat** 30

	% Daily Value*
Total Fat 3.5g	5%
Saturated Fat 1g	5%
Trans Fat 0g	
Polyunsaturated Fat 1.5g	
Monounsaturated Fat 0.5g	
Cholesterol 0mg	0%
Sodium 140mg	6%
Total Carbohydrate 22g	7%
Dietary Fiber Less than 1g	3%
Sugars 7g	
Protein 2g	
Vitamin A 0%	Vitamin C 0%
Calcium 10%	Iron 4%

* Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet.
CONTINUED ON OTHER SIDE

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

9/89


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

La valutazione della sostenibilità ambientale ed energetica | I protocolli di valutazione



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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

10/89

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

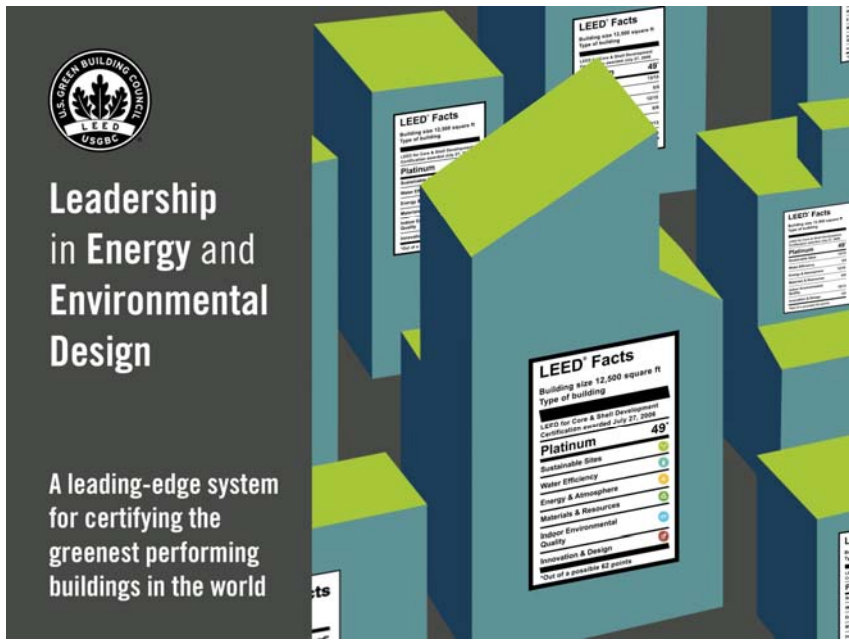



Leadership in Energy & Environmental Design



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

11/89

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





Leadership in Energy and Environmental Design

A leading-edge system
for certifying the
greenest performing
buildings in the world



LEED Facts
Building size 12,500 square ft
Type of building
Platinum

LEED Facts
Building size 12,500 square ft
Type of building
LEED for Core & Shell Development
Certification awarded July 27, 2010

LEED Facts
Building size 12,500 square ft
Type of building
LEED for Core & Shell Development
Certification awarded July 27, 2010

LEED Facts
Building size 12,500 square ft
Type of building
LEED for Core & Shell Development
Certification awarded July 27, 2010

LEED Facts
Building size 12,500 square ft
Type of building
LEED for Core & Shell Development
Certification awarded July 27, 2010



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

12/89

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

Fonte: rielaborazione grafica su dati GBC Italia

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013


13/89

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

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

14/89

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




KlimaHaus®
CasaClima

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

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

15/89



Certificato energetico

Proprietario **Marco Rossi**
Via Magina
Località **Badano**
Catasto Edilizia **262904C**
Progettista **Ing. Paolo Rossi**

Classe energetica dell'edificio	Rendimento energetico complessivo	Sostenibilità ambientale
A (KlimaHaus)	C (BastaClima)	Più

Efficienza energetica dell'edificio riferita all'abitazione **42 kWh/m²a**
Valore limite ai sensi del Decreto legislativo 29 agosto 2006, n. 102 **47 kWh/m²a**

Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige
Direttore d'ufficio **Ing. Georg Pichler**
Data **17 settembre 2006**
Numero **07306-2007-0430**
in sensi del Decreto del Presidente della Provincia, 28 settembre 2006, n. 24

KlimaHaus CasaClima A

Per edifici in modo standard come conferma la certificazione **più**

L'esperienza **CasaClima** in Alto Adige è stato uno dei primi esempi italiani relativi alla certificazione energetica degli edifici

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

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

16/89

10 CasaClima Oro
20 CasaClima A
30 CasaClima B
40
50
60
70 C Standard minimo
80
90 D Standard case
100
110
120 E Standard case
130 F Standard case

KlimaHaus CasaClima

MANIFESTO PER LA SOSTENIBILITÀ

Il Decalogo del Sole - Dieci principi per un costruire sostenibile

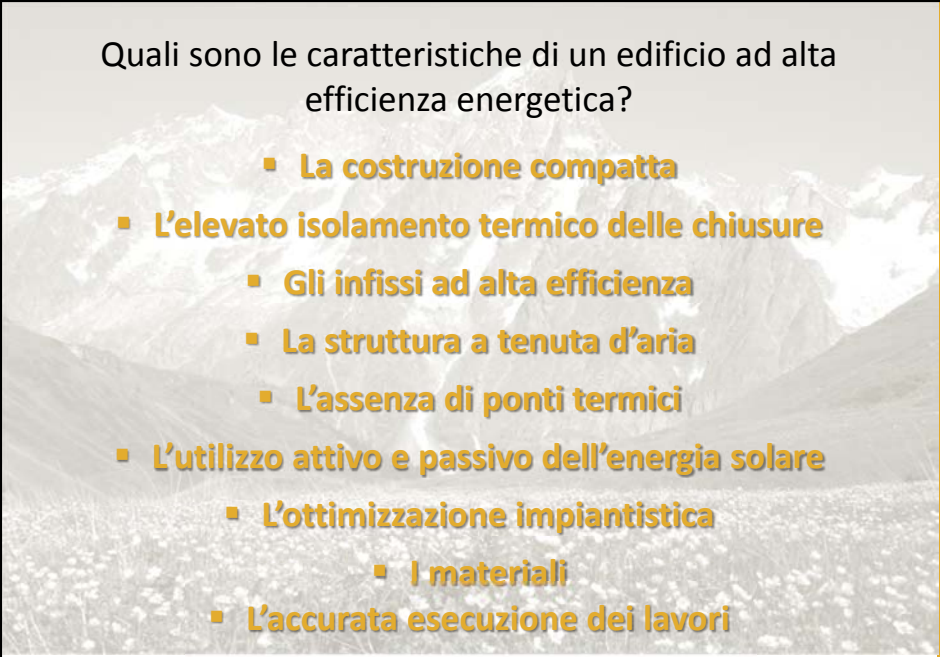
- 1 Non essere figli del sole. L'architettura sostenibile non è un'etichetta che si applica a posteriori, ma un modo di progettare che tiene conto fin dall'inizio di tutti gli aspetti dell'edificio e del suo rapporto con l'ambiente.
- 2 Nel costruire non si può essere sempre e globalmente migliori. In alcuni casi, per essere sostenibili, bisogna essere peggiori in altri.
- 3 Nel costruire non si può essere sempre e localmente migliori. Un edificio è sostenibile se è adatto al suo contesto, culturale, sociale e ambientale.
- 4 Nel costruire non si può essere sempre e economicamente migliori. Un edificio è sostenibile se è economicamente accessibile e durevole.
- 5 Nel costruire non si può essere sempre e socialmente migliori. Un edificio è sostenibile se è socialmente inclusivo e favorisce la comunità.
- 6 Nel costruire non si può essere sempre e culturalmente migliori. Un edificio è sostenibile se rispetta e valorizza il patrimonio culturale e identitario.
- 7 Nel costruire non si può essere sempre e esteticamente migliori. Un edificio è sostenibile se è esteticamente valido e piacevole.
- 8 Nel costruire, per tutti gli usi di un edificio, non si può essere sempre e funzionalmente migliori. Un edificio è sostenibile se è funzionale e risponde alle esigenze degli utenti.
- 9 Nel costruire non si può essere sempre e tecnologicamente migliori. Un edificio è sostenibile se è tecnologicamente appropriato e innovativo.
- 10 Nel costruire non si può essere sempre e ecologicamente migliori. Un edificio è sostenibile se è ecologicamente responsabile e rispetta l'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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

17/89


Sono fiero di casa mia

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



Quali sono le caratteristiche di un edificio ad alta efficienza energetica?

- **La costruzione compatta**
- **L'elevato isolamento termico delle chiusure**
 - **Gli infissi ad alta efficienza**
 - **La struttura a tenuta d'aria**
 - **L'assenza di ponti termici**
- **L'utilizzo attivo e passivo dell'energia solare**
 - **L'ottimizzazione impiantistica**
 - **I materiali**
 - **L'accurata esecuzione dei lavori**

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

19/89

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



Perché costruire edifici a elevata efficienza energetica?

- **Risparmiare energia** (isolamento e inerzia termica)
 - **Vivere nel comfort termico**
- **Tutelare l'ambiente e proteggere il clima**
- **Tutelare la salute** (ventilazione, protezione da muffe, da radon)
 - **Progettare per economizzare** (investimento)
 - **Progettare senza difetti di costruzione**
 - **Aumentare il valore dell'immobile**

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

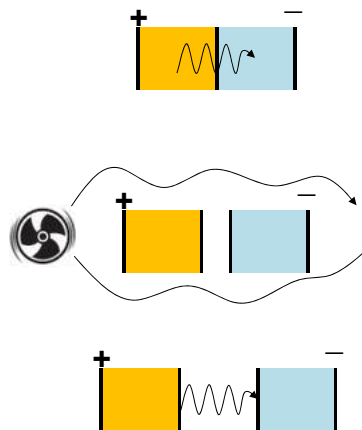
20/89

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

Trasmissione del calore

La trasmissione del calore avviene attraverso un corpo quando esso è sottoposto ad una differenza di temperatura. L'energia si sposta sempre dal corpo più caldo al corpo più freddo. La trasmissione di calore può avvenire per:

- **Conduzione:** trasferimento di calore che avviene attraverso un mezzo continuo (solidi o fluidi in quiete) senza che in esso vi sia movimento macroscopico di materia (scambio di energia a livello atomico tra particelle contigue)
- **Convezione:** trasferimento di calore tra le superfici interna ed esterna dell'involucro e l'aria che le lambisce. A contatto con le superfici solide, l'aria scambia calore, cambia temperatura (e, quindi, densità), generando movimenti ascensionali o discendenti che contribuiscono al trasferimento di calore (moto convettivo)
- **Irraggiamento:** trasferimento di calore per mezzo dell'emissione o dell'assorbimento di radiazioni infrarosse (è un fenomeno come la luce, le onde radio, i raggi X, ma su lunghezze d'onda diverse)

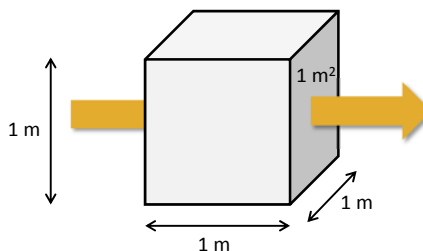


Conducibilità termica λ [W/mK]

È la quantità di calore in Watt che passa attraverso uno strato di materiale di spessore pari a 1 m, di superficie pari a 1 m², quando la differenza calcolata nella direzione del flusso termico è di 1°K.

Esprime la **capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dal calore.**

**Più il valore è basso
e più è alto il potere isolante
del materiale.**



λ basso ($0,002 < \lambda < 0,10$)



Materiale ad alte prestazioni isolanti


λ alto ($0,11 < \lambda < 3,00$)



Materiale a basse prestazioni isolanti

NORMA ITALIANA	Materiali e prodotti per edilizia Proprietà igrometriche Valori tabulati di progetto	UNI EN 12524
		SETTEMBRE 2001
	Building materials and products Hygrothermal properties Tabulated design values	
CLASSIFICAZIONE ICS	91.100.01; 91.120.10	
SOMMARIO	La norma fornisce valori di progetto sotto forma di tabelle per i calcoli di scambio termico e di vapore, per materiali e prodotti termicamente omogenei comunemente utilizzati nelle costruzioni edilizie. Essa fornisce inoltre valori che permettono il calcolo e la conversione di valori termici di progetto per diverse condizioni ambientali.	
RELAZIONI NAZIONALI		
RELAZIONI INTERNAZIONALI	= EN 12524:2000 La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 12524 (edizione aprile 2000).	
ORGANO COMPETENTE	CTI - Comitato Termotecnico Italiano	
RATIFICA	Presidente dell'UNI, delibera del 16 luglio 2001	

NORMA EUROPEA


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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

23/89

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

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conducibilità termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Materie plastiche compatte					
Acrilico	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
Policarbonato	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
Polieterafluoroetilene (PTFE)	2 200	0,25	1 000	10 000	10 000
Policloruro di vinile (PVC)	1 390	0,17	900	50 000	50 000
Polimetilmetacrilato (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
Poliacetato	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
Poliamide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
Poliamide 6.6 con 25% di fibra di vetro	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
Polietilene/polietene, alta massa volumica	980	0,50	1 800	100 000	100 000
Polietilene/polietene, bassa massa volumica	920	0,33	2 200	100 000	100 000
Polistirene	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
Polipropilene	910	0,22	1 800	10 000	10 000
Polipropilene con 25% di fibra di vetro	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
Poliuretano (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
Resine epossidiche	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
Resine fenoliche	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000
Resine poliestere	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000

UNI 12524:2001

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

24/89

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

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conducibilità termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Intonaci e rivestimenti					
Intonaco isolante di gesso	600	0,18	1 000	10	6
Intonaco di gesso	1 000	0,40	1 000	10	6
"	1 300	0,57	1 000	10	6
Gesso e sabbia	1 600	0,80	1 000	10	6
Calce e sabbia	1 600	0,80	1 000	10	6
Cemento e sabbia	1 800	1,00	1 000	10	6
Terra					
Creta o argilla	1 200 - 1 800	1,5	1 670 - 2 500	50	50
Sabbia e ghiaia	1 700 - 2 200	2,0	910 - 1 180	50	50

UNI 12524:2001

Gruppo di un materiale o applicazione	Massa volumica ρ kg/m ³	Conducibilità termica di progetto λ W/(m · K)	Capacità termica specifica C_p J/(kg · K)	Fattore di resistenza al vapore d'acqua μ	
				campo secco	campo umido
Piastrelle (Altro)					
Ceramica/porcellana	2 300	1,3	840		∞
Plastica	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
Legname⁶⁾					
	500	0,13	1 600	50	20
	700	0,18	1 600	200	50
Pannelli a base di legno⁹⁾					
Compensato ⁰⁾	300	0,09	1 600	150	50
"	500	0,13	1 600	200	70
"	700	0,17	1 600	220	90
"	1 000	0,24	1 600	250	110
Pannello truciolare con leganti in cemento	1 200	0,23	1 500	50	30
Pannello truciolare					
"	300	0,10	1 700	50	10
"	600	0,14	1 700	50	15
"	900	0,18	1 700	50	20
Tavole a fibre orientate (OSB)					
"	650	0,13	1 700	50	30
Pannelli di fibre, incluso MDF⁹⁾					
"	250	0,07	1 700	5	2
"	400	0,10	1 700	10	5
"	600	0,14	1 700	20	12
"	800	0,18	1 700	30	20

UNI 12524:2001

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Pannelli da costruzione	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Cartongesso	0,21	900
P.Ili in fibre di legno porosi	0,06	200
semiduri	0,10	650
duri	0,15	1000
P.Ili in trucioli in legno con collante	0,16	700
mineralizzati	0,26	1250
P.Ili in legno compensato	0,44	600
P.Ili in fibrocemento	0,6	2000
P.Ili in lana di legno mineralizzato	0,093	400
P.Ili in terra cruda	0,14	500
P.Ili in canna	0,055	190
P.Ili in paglia	0,09	340
P.Ili in polistirene con cemento	0,07	140

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali isolanti	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Cotone	0,04	20 - 40
Vermiculite espansa	0,07	90
Argilla espansa	0,09	350
Polietilene espanso in lastre	0,04	30
Polistirene espanso in lastre	0,04	20
Polistirene estruso in lastre	0,035	35
Materassino in lino	0,04	30
Lana di vetro	0,04	20
Canapa	0,045	25
Trucioli di legno	0,05	100
P.Ili extraporosi in fibra di legno (130)	0,04	130
P.Ili porosi in fibra di legno (190)	0,045	190
P.Ili porosi in fibra di legno con bitume oppure lattice	0,06	270
P.Ili in lana di legno mineralizzati	0,093	400
P.Ili di calcio silicato	0,06	250

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali isolanti	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Fibra di cocco	0,045	70
Granuli di sughero	0,05	100
P.lli di sughero espanso	0,045	110
P.lli in fibre minerale	0,045	115
Perlite espansa	0,05	90
Poliuretano	0,03	30
Lana di pecora	0,04	25
Vetro cellulare (120)	0,041	120
Vetro cellulare (160)	0,050	160
Canneto	0,055	190
Lana di roccia	0,04	30
Paglia	0,09	340
Fiocchi di cellulosa	0,04	50
P.lli di cellulosa	0,04	85

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali isolanti sfusi	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Perlite espansa	0,05	90
Vermiculite espansa	0,07	90
Argilla espansa	0,09	350
Sughero granulare espanso	0,042	80-100
Sughero granulare naturale	0,05	100
Fiocchi di cellulosa	0,04	35
Polistirolo espanso sfuso	0,044	10
Lana minerale sfusa	0,044	15
Segatura di legno	0,1	200
Scorie da altoforno	0,35	750
Granulato di polistirene legato + cemento	0,08	fino a 350
Granulato di polistirene legato + cemento	0,06	fino a 125
Granulato di polistirene legato + cemento	0,05	fino a 125
Granuli di perlite espansa	0,042	80-100

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materia prima	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Acciaio	60	7800
Rame	380	8900
Alluminio	200	2800
Vetro	0,8	2500
Vetro acrilico (Plexiglas)	0,19	1180
Guaine di polietilene, bitume, ecc.	0,26	1700
Acciaio Ni-Cr inossidabile	13	7700
Legno di conifere – flusso di calore trasversale alla fibra	0,13	fino a 500
Legno di conifere – flusso di calore lungo la fibra	0,22	fino a 500
Legno di latifoglie	0,18	fino a 800

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Pavimentazione	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m ³)
Massetto in cemento	1,4	2000
Massetto autolivellante a base anidride	1,1	2000
Massetto in asfalto	0,8	2200
Ceramica	1,2	2000
Legno duro	0,22	850
Quadretti di sughero	0,06	300

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Intonaci e malte	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m3)
Intonaco in cemento	1,4	2200
Intonaco in calce-cemento	1	1800
Intonaco plastico per cappotto	0,9	1200
Intonaco in calce	0,8	1600
Intonaco di gesso (calce/gesso)	0,7	1500
Intonaco termoisolante con perlite, polistirolo < 250 kg/m3	0,09	fino a 250
Intonaco termoisolante con perlite, polistirolo, fino a 450 kg/m3	0,13	fino a 450
Malta di cemento	1,4	2200
Malta di calce/cemento	1	1800
Malta termoisolante < 800 kg/m3	0,28	800

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali da Muratura	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m3)
Blocchi con argilla espansa	0,18	800
Blocchi cavi con argilla espansa	0,22	650
Blocchi cavi con scorie da altoforno, tufo, ecc.	0,6	1500
Blocchi cavi con lana di legno mineral.	0,45	fino a 1500
Blocchi cavi con lana di legno mineral. con isolante	lt. Prüfb.	---
Mattone facciavista Klinker	1	1800
Mattone pieno	0,7	fino a 1600
Mattone forato	0,36	1200
Tramezza in laterizio	0,36	1100
Mattone forato porizzato	0,25	800
Mattone forato porizzato leggero murato con malta isolante	0,18	650
Blocco "cassero" in laterizio	0,55	fino a 1700
Muratura in pietra	2,3	fino a 2600

Fonte: Agenzia CasaClima

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali da Muratura	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m3)
Blocchi cellulari autoclavati	0,11	fino a 400
Blocchi cellulari autoclavati	0,14	fino a 500
Blocchi cellulari autoclavati	0,16	fino a 600
Blocchi cellulari autoclavati	0,24	fino a 800
Terra cruda tipo Pisè	1	fino a 2000
Terra cruda alleggerita	0,36	fino a 1200
Terra cruda alleggerita 600-800 kg	0,24	fino a 800
Cemento armato	2,3	2400
Calcestruzzo CLS	1,6	1800
CLS alleggerito con argilla esp.	0,45	1100
CLS alleggerito con argilla esp. > 1100 kg	0,7	fino a 1700
Solai con travetti e blocchi in lat. + caldana	(0,8)	1200-1600
Solai con travetti e blocchi cem. + caldana	(0,8)	1200-1600
Solai con travetti e blocchi in lat. por.	(0,67)	900-1200
Solai a pannelli cavi in c.a. 360kg/m ²	(1,33)	1800
Solai a pannelli cavi in c.a. 280kg/m ²	(1,0)	1400

Fonte: Agenzia CasaClima




Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

35/89

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

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 impareggiabile 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. 500 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

Traballo: Confezionato in cartophane riciclabili termoretraibili elettrosaldato ai bordi

CARATTERISTICHE TECNICHE

Massa Volumica (ρ): 100 - 120 kg/m³

Carico di rottura per trazione: 0,6 ÷ 0,9 kg/cm²

Carico di rottura per flessione: 1,25 ÷ 2,11 kg/cm²

Resistenza alla compressione: 1,24 ÷ 1,59 kg/cm²

Calore specifico: 1,67 KJ/KG °K

Coefficiente di dilatazione termica (a 20°C): 25 ÷ 50 x 10⁻⁶

Temperatura di uso: 200 ÷ 130 °K

Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ): 5 ÷ 30

Modulo di elasticità: 5 N/mm²

Rigidità dinamica (spessore 50 mm): 124 N/mm


Conduttività termica λ (a 10°)

0,0375 ÷ 0,0363 W/m °K

0,287 0,524 0,801 1,058 1,335 1,602 1,869 2,136 2,403
 10 mm 20 mm 30 mm 40 mm 50 mm 60 mm 70 mm 80 mm 90 mm

ALTRE CARATTERISTICHE

Proprietà: Non si deforma in acqua bollente, buona resistenza agli attacchi degli agenti chimici, statici, atmosferici, imputrescibile, stabile nel tempo e inattaccabile 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 controterra			+	
Copertura piana spazionabile	+			
Copertura piana pedonabile	+			
Copertura piana carrabile	+			
Copertura piana giardino	+			
Copertura a falda struttura continua	+	+		
Copertura a falda struttura discontinua	+	+		
Solai	+			+
Cassonetti per avvolgibili	+			+
Divisioni alloggi				+
Impianti industriali				+
Celle frigorifere	+			

Conduttività termica λ (a 10°) 0,0375 ÷ 0,0363 W/m °K

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

36/89

Conduttanza C [W/m²K]

La conduttanza termica indica la quantità di calore che attraversa, in 1 ora, 1 m² di un materiale dello spessore s quando il salto di temperatura tra le due facce è di 1 K. Un valore basso di λ è indice di un'alta conduttanza, mentre un valore alto indica una conduttanza ridotta.

$$C = \lambda / s$$

Resistenza termica R [m²K/W]

Descrive il valore della proprietà coibente di un materiale.

$$R = s / \lambda = 1/C$$

- Nel caso di sistemi edilizi composti da più strati diversi, R è calcolata sommando i valori delle resistenze termiche dei singoli materiali.
- I valori della resistenza termica utilizzati nei calcoli intermedi, devono essere calcolati con almeno tre decimali.

Resistenza termica superficiale ($R_{si} - R_{se}$) [m²K/W]

È un fattore da **sommare** al calcolo della resistenza totale del componente edilizio. **Indica l'interazione tra la chiusura e gli scambi superficiali in relazione all'irraggiamento e alla convezione causata da movimenti di aria.** La resistenza superficiale è maggiore quando la superficie irradia poco e l'aria è calma.

Le resistenze termiche superficiali R_{si} (per interni) e R_{se} (per esterni) indicano i passaggi termici dall'aria ambientale alla superficie interna dell'elemento edile, nonché dalla superficie esterna dell'elemento edile all'aria esterna, in relazione alla direzione del flusso termico (ascendente, orizzontale o discendente).

	Parete a contatto con l'esterno			Parete a contatto con locale chiuso		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04	0,10	0,13	0,17

I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale.

Trasmittanza termica U [W/m²K]

Rappresenta il flusso di calore che passa attraverso una elemento edilizio per m² di superficie della parete e per °K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo.

La trasmittanza termica è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati.

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}}$$

- R_{si} e R_{se} sono le resistenze termiche superficiali interna ed esterna (m²K/W)
- R₁, R₂, R_n sono le resistenze termiche utili relative ai diversi strati della chiusura

Valori secondo normativa vigente (DLgs 311/2006 – Allegato C) per strutture opache verticali e orizzontali o inclinate

Il valore limite della trasmittanza termica delle chiusure opache (U) espressa in W/m²K, riferito alle varie tipologie di strutture ed alla zona climatica, è nel seguito indicato:

Tabella 2: U strutture verticali [W/m ² K]				Tabella 3: U strutture opache orizzontali o inclinate [W/m ² K]			
Zona climatica	Dal 1/1/2006	Dal 1/1/2008	Dal 1/1/2010	Zona climatica	Dal 1/1/2006	Dal 1/1/2008	Dal 1/1/2010
A	0.85	0.72	0.62	A	0.80	0.42	0.38
B	0.64	0.54	0.48	B	0.60	0.42	0.38
C	0.57	0.46	0.40	C	0.55	0.42	0.38
D	0.50	0.40	0.36	D	0.46	0.35	0.32
E	0.46	0.37	0.34	E	0.43	0.32	0.30
F	0.44	0.35	0.33	F	0.41	0.31	0.29

Trentino Alto Adige: zona F; Emilia Romagna: zona E; Puglia: zona C

Valori secondo normativa vigente (DLgs 311/2006 – Allegato C) per strutture opache verticali e orizzontali o inclinate

Il valore limite della trasmittanza termica delle chiusure opache (U) espressa in W/m^2K , riferito alle varie tipologie di strutture ed alla zona climatica, è nel seguito indicato:

Tabella 3: U pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno [W/m^2K]

Zona climatica	Dal 1/1/2006	Dal 1/1/2008	Dal 1/1/2010
A	0.80	0.74	0.65
B	0.60	0.55	0.49
C	0.55	0.49	0.42
D	0.46	0.41	0.36
E	0.43	0.38	0.34
F	0.41	0.36	0.33

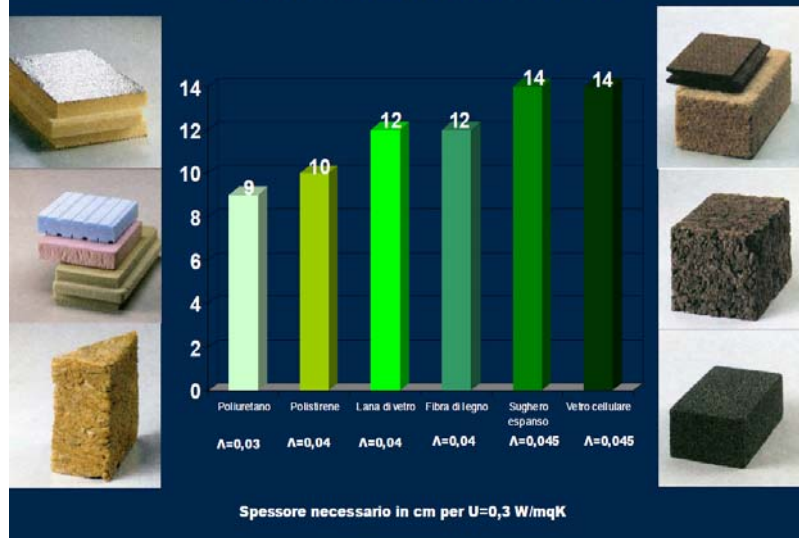
Trentino Alto Adige: zona F; Emilia Romagna: zona E; Puglia: zona C



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

41/89

Confronto materiali isolanti



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

42/89

Trasmittanza termica dei componenti di un edificio energeticamente efficiente

EDIFICIO UNIFAMILIARE	CasaClima A Casa da 3 litri	CasaClima B Casa da 5 litri	Standard minimo Classe C
Pareti	0,1 – 0,2	0,15 – 0,25	0,25 – 0,4
Tetto	0,1 - 0,2	0,15 – 0,25	0,25 – 0,35
Solaio verso la cantina o aderente al suolo	0,2 – 0,3	0,25 – 0,35	0,4 – 0,6
Vetrata Ug	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 1,4
Finestra Uw	≤ 1,3	≤ 1,5	≤ 1,6
Ventilazione controllata con recupero del calore dall'aria di scarico	normalmente necessaria	non necessaria	non necessaria

Fonte: Agenzia CasaClima

Superficie lorda dei piani: 240 m² (netto 193 m²)
 Volume lordo: 660 m³
 Superficie delle finestre verso sud: 30 % della facciata
 Superficie delle finestre verso est/ovest: 20 % della facciata
 Superficie delle finestre verso nord: 10 % della facciata

Trasmittanza termica dei componenti di un edificio energeticamente efficiente

EDIFICIO PLURIFAMILIARE	CasaClima A Casa da 3 litri	CasaClima B Casa da 5 litri	Standard minimo Classe C
Pareti	0,15 – 0,25	0,2 – 0,3	0,3 – 0,45
Tetto	0,1 - 0,2	0,15 – 0,25	0,25 – 0,4
Solaio verso la cantina o aderente al suolo	0,25 – 0,35	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7
Vetrata Ug	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 1,4
Finestra Uw	≤ 1,3	≤ 1,5	≤ 1,6
Ventilazione controllata con recupero del calore dall'aria di scarico	normalmente necessaria	non necessaria	non necessaria

Fonte: Agenzia CasaClima

Superficie lorda dei piani: 405 m² (netto 325)
 Volume lordo: 1223 m³
 Superficie delle finestre verso sud: 30 % della facciata
 Superficie delle finestre verso est/ovest: 20 % della facciata
 Superficie delle finestre verso nord: 10 % della facciata

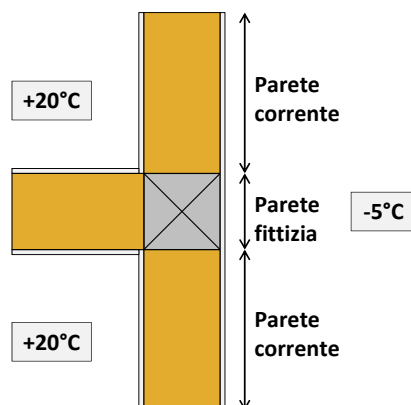
Cos'è un ponte termico?

Il ponte termico è una **discontinuità del comportamento dell'involucro edilizio rispetto al flusso di calore** in ingresso o in uscita.

Lo sviluppo geometrico dei ponti termici può essere:

- **puntiforme;**
- **lineare;**
- **bidimensionale.**

Il DLgs 311/2006 affronta tale problema esclusivamente dal punto di vista energetico, limitando la trasmittanza termica della **parete fittizia**, ovvero il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico; essa, infatti, non deve superare per più del **15% la trasmittanza termica della parete corrente**.



Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio

La **differente trasmittanza termica degli strati che compongono il medesimo elemento tecnico** comporta un comportamento differenziale rispetto al flusso di calore e, quindi, un ponte termico.

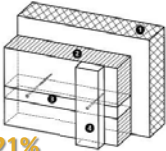
Tra gli esempi più comunemente diffusi si elencano:

- telai in c.a. con tamponamenti in laterizio;
- architravi e cordoli non isolati;
- raccordo tra infisso e chiusura opaca;
- davanzali;
- balconi realizzati mediante solette in c.a. a sbalzo;
- elementi metallici di ancoraggio.

I ponti termici per disomogeneità di materiale possono essere **lineari o puntiformi**.

Cause dei ponti termici

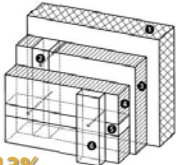
Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio. Variazione di U in base al sistema di fissaggio



+21%

Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in travetti di legno

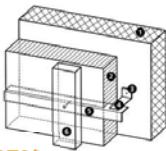
- parete portante
- isolamento
- travetto in legno
- listello di supporto rivestimento di facciata



+13%

Cappotto termico in doppio strato con struttura di supporto in listelli di legno

- parete portante
- travetto in legno
- 1° strato di isolamento
- 2° strato di isolamento
- travetto in legno
- listello di supporto per rivestimento di facciata



+17%

Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in mensole e angolari d'acciaio

- parete portante
- isolamento
- termostop
- mensola in acciaio
- angolare in acciaio
- listello di supporto per rivestimento di facciata

Fonte: CasaClima

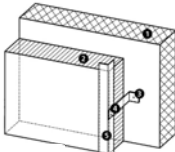
a>e Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

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

47/89

Cause dei ponti termici

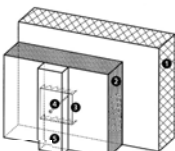
Disomogeneità termica dei materiali che compongono l'involucro edilizio. Variazione di U in base al sistema di fissaggio



+28%

Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in alluminio

- parete portante
- isolamento
- termostop
- mensola in alluminio
- profilo di supporto per rivestimento di facciata



+4%

Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in tasselli distanziatore e piastre di ancoraggio

- parete portante
- isolamento
- piastra di ancoraggio
- tassello distanziatore
- listello di supporto per rivestimento di facciata

Fonte: CasaClima

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

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

48/89

Conseguenze dei ponti termici

Oltre alle perdite di calore dovute alla riduzione della temperatura causata dalla discontinuità di comportamento dell'elemento tecnico, i ponti termici possono causare effetti alle strutture e incidere negativamente sulla qualità degli ambienti interni.

La formazione di fenomeni di **condensa superficiale** è tra le conseguenze più immediate della presenza di ponti termici.

Conseguenza diretta della presenza di acqua condensata è la **crescita di colonie fungine (muffe) sulle superfici interne**, coadiuvate dalla presenza di substrati favorevoli alla proliferazione.



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

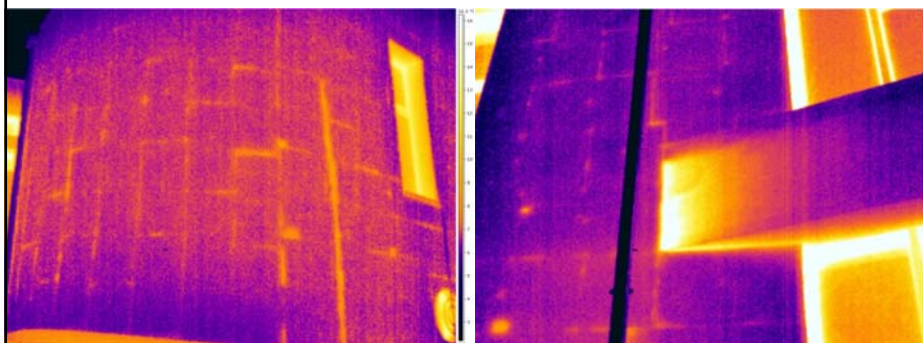
49/89

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

Valutazione dei ponti termici

La valutazione dei ponti termici è un momento molto delicato e che richiede particolare controllo da parte del progettista in tutti i momenti che costituiscono il processo edilizio.

L'**indagine termografica**, attraverso la visualizzazione della distribuzione della temperatura su una porzione di superficie, **agevola l'interpretazione delle cause di continuità o discontinuità termica**: infatti, le irregolarità nelle proprietà termiche dei componenti che costituiscono l'involucro edilizio possono, in determinate condizioni, tradursi in variazioni di temperatura superficiale che lo strumento rende apprezzabili all'occhio umano.



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

50/89

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

L'analisi termografica

L'analisi termografica è un metodo di indagine qualitativa, non distruttiva, non a contatto basato sull'acquisizione, elaborazione e interpretazione di termogrammi (immagini all'infrarosso), utile alla valutazione di uniformità o discontinuità nel comportamento termico di una superficie radiante e quindi alla formulazione di ipotesi circa le cause di tale comportamento.



Fonte: A. Papi, A. Pancaldi



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

51/89



Fonte: A. Papi



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

52/89

Accorgimenti per la protezione dai ponti termici

1 Separazione con giunti a taglio termico

adottando, ad esempio, balconi esterni separati dall'involucro edilizio, piuttosto che solette a sbalzo

2 Sovrapposizione degli elementi

finalizzata all'incremento delle prestazioni di quelli termicamente più deboli (ad esempio, sovrapporre il materiale isolante al telaio fisso dell'infisso, nei casi di isolamento a cappotto)

3 Sovrapposizione degli strati isolanti

per evitare soluzioni di continuità, quali fessure (ad esempio, nodo tra chiusura opaca e copertura, nodo tra chiusura opaca e solaio a terra, ecc.), privilegiando pannelli con battente e a strati sovrapposti e incrociati



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

53/89

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

Accorgimenti per la protezione dai ponti termici

4 Ricorso a guarnizioni, nastri e materassini elastici

per evitare fessure in corrispondenza delle congiunzioni degli elementi costruttivi

5 Allineamento degli assi mediani di elementi tecnici o di strati isolanti con funzione coibente

che presentano differenti spessori (ad esempio, montaggio dell'infisso al centro dell'isolante della chiusura verticale)

6 Utilizzo di materiali a bassa conduttività termica

per gli elementi che perforano gli strati di isolante (ad esempio, utilizzo di tasselli termici per il fissaggio dell'isolamento)



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

54/89

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

Accorgimenti per la protezione dai ponti termici

7 Provvedere il massimo prolungamento della sovrapposizione di materiale coibente

in corrispondenza del punto di interruzione, al fine di prolungare il percorso di fuoriuscita del calore, Qualora non fosse possibile mantenere continuità dell'isolante in tutto l'involucro esterno e sia necessario interromperlo per proseguire con l'isolamento dall'interno

8 Evitare, se possibile, soluzioni morfologiche che prevedono l'impiego di angoli acuti

tra le chiusure verticali poiché essi sono particolarmente disperdenti



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

55/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di chiusure opache

REGOLE GENERALI

1. Tutti gli **strati sottili** (freni/barriere al vapore, telo antivento, guaine impermeabilizzanti, ecc.) hanno spessori talmente irrisori da non modificare sostanzialmente la trasmittanza termica e, pertanto, non vanno considerati
2. Ogni volta che è presente un'**intercapedine ventilata**, il conteggio degli strati si ferma allo strato precedente all'intercapedine
3. Se nell'intercapedine c'è **aria ferma**, lo strato va conteggiato nel totale, con la relativa conducibilità termica
4. Ogni volta che ci sono delle **listellature** di compartimentazione dell'isolante, la trasmittanza finale della chiusura è pari alla media ponderata delle trasmittanze di tutte le sezioni con differente resistenza
5. Le **coperture a falda** vanno considerate nella sezione perpendicolare alla pendenza e non in proiezione orizzontale



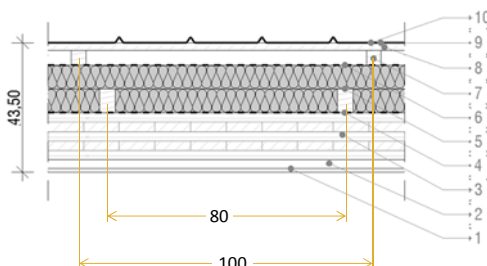
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

56/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

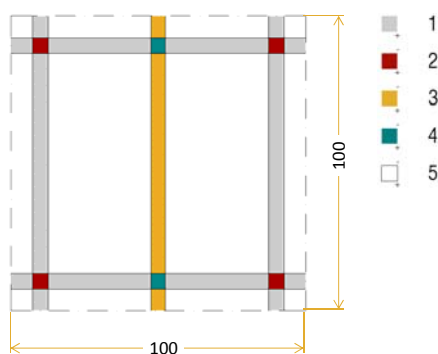
4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



1. Pannello in cartongesso, 1,5 cm
2. Intercapedine impiantistica su supporto di montanti in alluminio, 3 cm
3. Pannello in legno lamellare multistrato (tipo x-lam), 14 cm
4. Barriera al vapore
5. Isolante termico, 8+8 cm con listelli 5x8
6. Membrana traspirante/telo antivento
7. Intercapedine stagna con listellatura per pendenza, 5 x 5 cm variabili
8. Pannello OSB, 2,5 cm
9. Guaina impermeabilizzante
10. Manto di copertura in lamiera metallica

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



DEFINIZIONE DELLE PERCENTUALI DI INCIDENZA DI CIASCUNA SEZIONE DELLA CHIUSURA

SEZIONE 1: $(0,05 \times 1 \times 4) - (0,05 \times 0,05 \times 4 \times 2 \text{strati}) - (0,05 \times 0,05 \times 2) = 0,175$

SEZIONE 2: $0,05 \times 0,05 \times 4 = 0,01$

SEZIONE 3: $(0,05 \times 1) - (0,05 \times 0,05 \times 2) = 0,045$

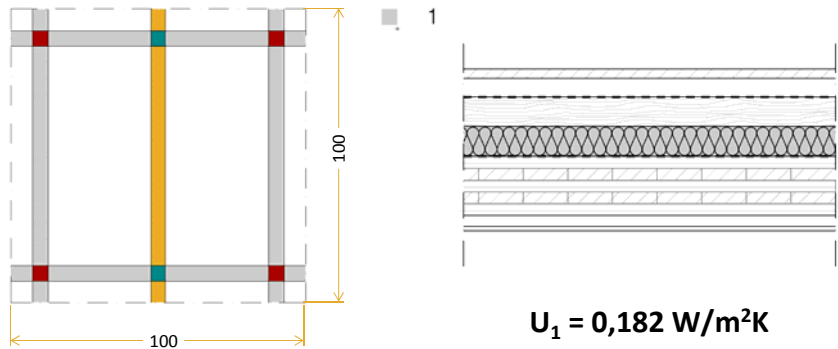
SEZIONE 4: $0,05 \times 0,05 \times 2 = 0,005$

SEZIONE 5: $1 - 0,235 = 0,765$


} = 1

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



$U_1 = 0,182 \text{ W/m}^2\text{K}$

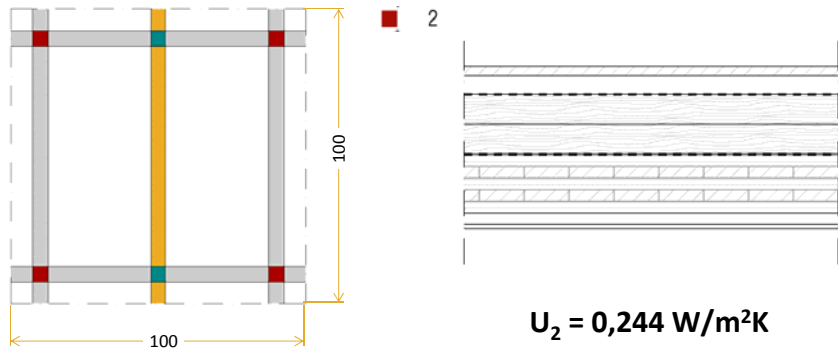

 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

59/89


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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



$U_2 = 0,244 \text{ W/m}^2\text{K}$

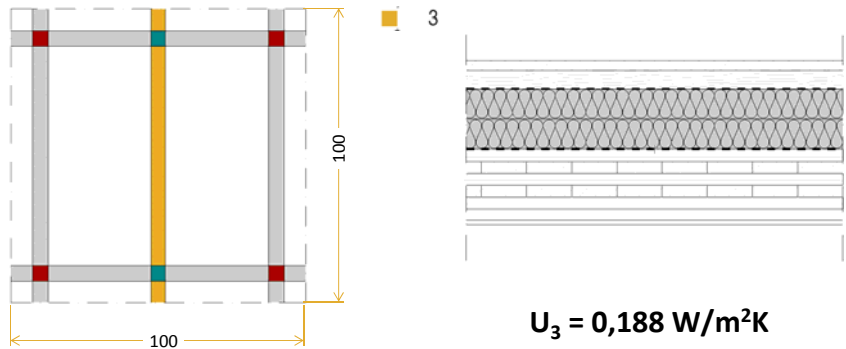

 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

60/89


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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



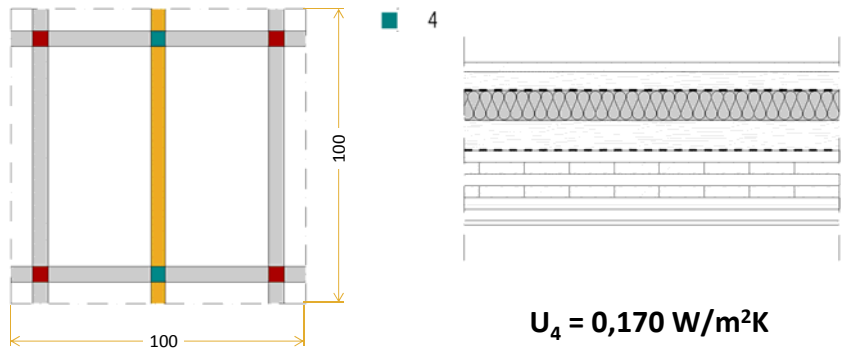
$U_3 = 0,188 \text{ W/m}^2\text{K}$


 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013


61/89 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA>ENERGIA

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



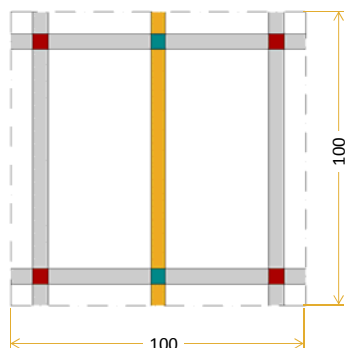
$U_4 = 0,170 \text{ W/m}^2\text{K}$


 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

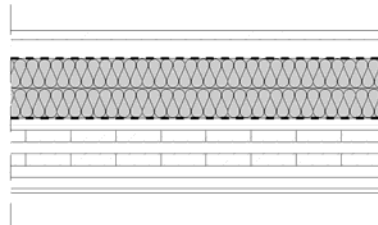
62/89 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA>ENERGIA

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale



□ 5



$$U_5 = 0,146 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

63/89

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

4) Chiusura inclinata superiore con isolamento sopra l'orditura principale

$$\begin{aligned} U_{\text{tot}} &= (0,175 \times 0,182 \text{ W/m}^2\text{K}) + (0,01 \times 0,244 \text{ W/m}^2\text{K}) + \\ &+ (0,045 \times 0,188 \text{ W/m}^2\text{K}) + (0,005 \times 0,170 \text{ W/m}^2\text{K}) + \\ &+ (0,765 \times 0,146 \text{ W/m}^2\text{K}) = \\ &= \mathbf{0,155 \text{ W/m}^2\text{K}} \end{aligned}$$



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

64/89

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

1) CV in multistrato strutturale a fibre incrociate con isolamento e ventilazione

DESCRIZIONE DEGLI STRATI:

1. Pannelli in cartongesso, 1,2 cm
2. Intercapedine, 3 cm
3. Freno vapore
4. Pannello multistrato in legno, 10 cm
5. Isolante termico, 12 cm
6. Listelli in legno 8 x 12 cm
7. Isolante termico, 12 cm
8. Listelli in legno 8X 14 cm
9. Listelli per supporto rivestimento, 2,5 cm
10. Rivestimento in doghe, 3 cm

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

65/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

1) CV in multistrato strutturale a fibre incrociate con isolamento e ventilazione

DEFINIZIONE DELLE PERCENTUALI DI INCIDENZA DI CIASCUNA SEZIONE DELLA CHIUSURA

SEZIONE 1: $(0,08 \times 1 \times 4) - (0,08 \times 0,08 \times 4 \times 2 \text{strati}) = 0,269$
 SEZIONE 2: $0,08 \times 0,08 \times 4 = 0,026$
 SEZIONE 3: $1 - 0,294 = 0,706$

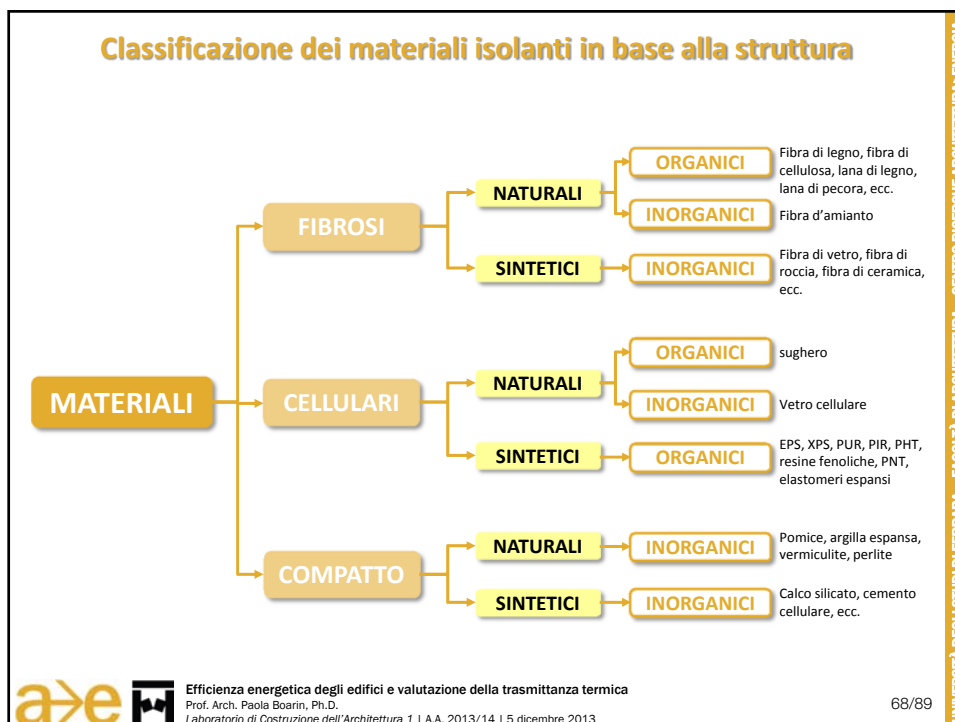
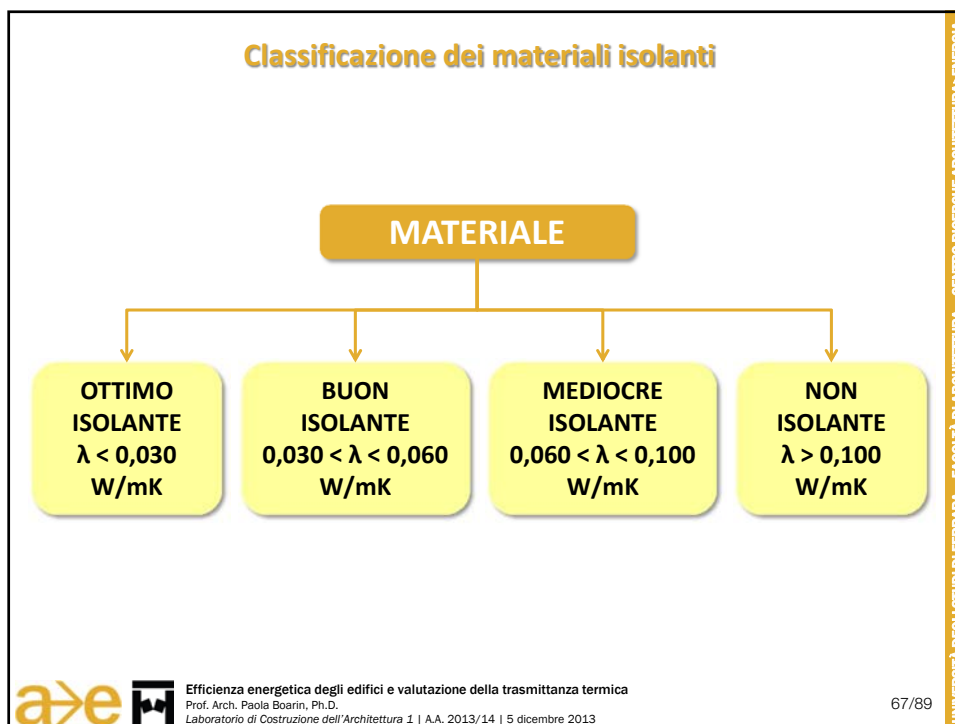
$\left. \begin{array}{l} \text{SEZIONE 1: } 0,269 \\ \text{SEZIONE 2: } 0,026 \\ \text{SEZIONE 3: } 0,706 \end{array} \right\} = 1$

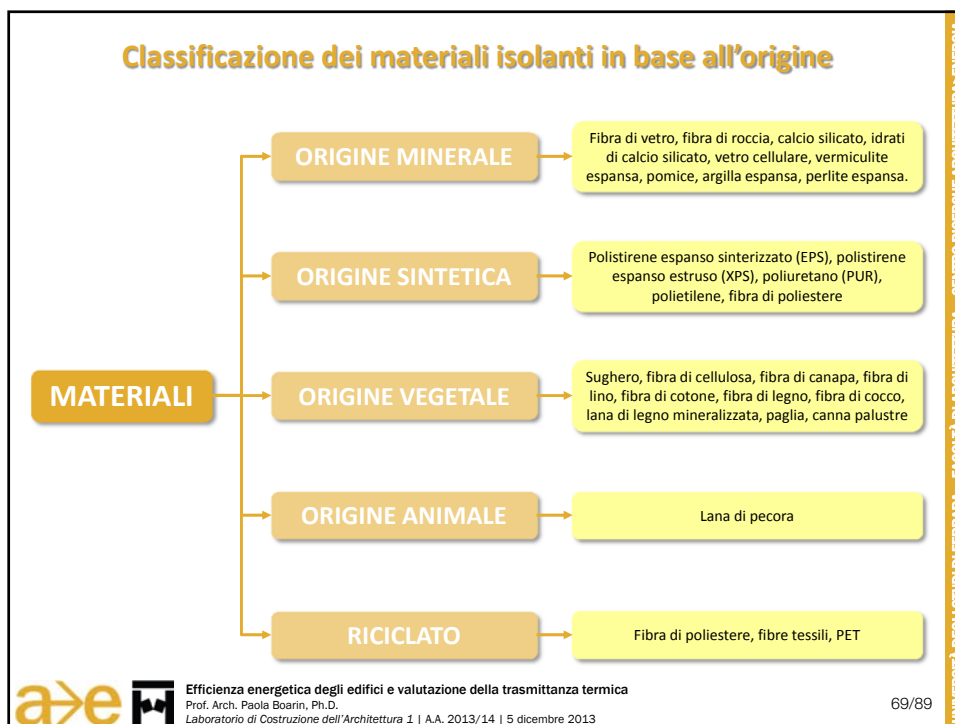
$$U_{\text{tot}} = (0,269 \times 0,184 \text{ W/m}^2\text{K}) + (0,026 \times 0,272 \text{ W/m}^2\text{K}) + (0,706 \times 0,128 \text{ W/m}^2\text{K}) = 0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2013/14 | 5 dicembre 2013

66/89

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





Presentazione dei prodotti in commercio

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

- **Materiale 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.

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

70/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

71/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

72/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

73/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

74/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

75/89

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 silicone 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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

76/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

77/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

78/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

79/89

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

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

80/89

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

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 anticalpestio 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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

81/89

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 anticalpestio. 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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

82/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

83/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

84/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

85/89

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

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

86/89

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

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

87/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

88/89

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. 2013/14 | 5 dicembre 2013

89/89

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

