

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

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica

4 dicembre 2014



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

PIRELLA GÖTTSCHE LOWE

© 2006 Warner Bros. Entertainment Inc. All Rights Reserved.



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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

4/89

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



Ma la maggiore fonte di energia è...

l'efficienza energetica

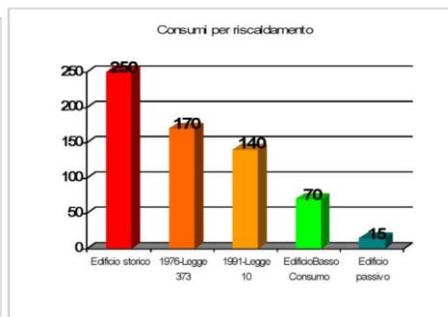
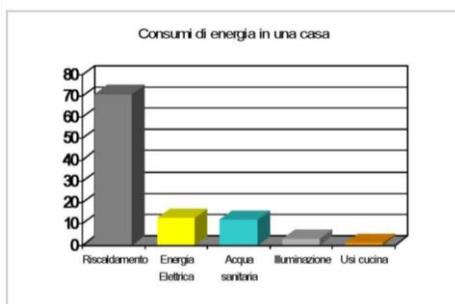
- Riduzione della dipendenza da fonti fossili
- Riduzione dell'emissione di gas inquinanti
 - Riduzione della spesa energetica
- Motore dell'innovazione e del mercato

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 | 4 dicembre 2014

6/89

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

Alcuni dati...



Non possiamo più costruire così!



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 | 4 dicembre 2014

7/89

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



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 | 4 dicembre 2014

8/89

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 | 4 dicembre 2014

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

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 | 4 dicembre 2014

10/89

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



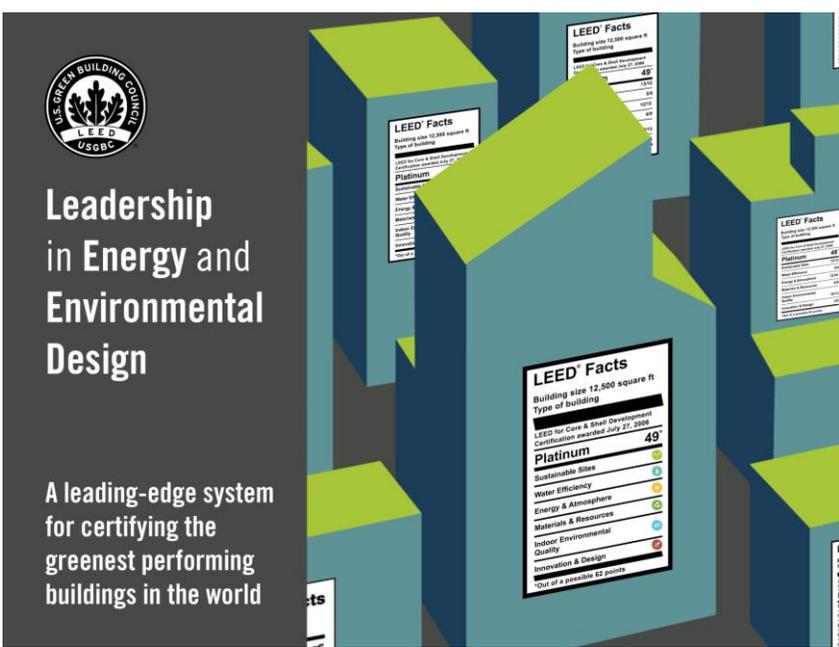
Leadership in Energy & Environmental Design



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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
LEED for Core & Shell Development
Certification awarded July 27, 2006

Platinum

- Sustainable Sites
- Water Efficiency
- Energy & Atmosphere
- Materials & Resources
- Indoor Environmental Quality
- Innovation & Design

49'
*Out of a possible 65 points



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 | 4 dicembre 2014

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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

15/89




Certificato energetico

Proprietario **Marco Rossi**
Ubicazione **Via Migna**
Ubicazione **Bolzano**
Consommazione Edificio **26700kWh**
Progettista **Ing. Paolo Rossi**

Classe energetica dell'edificio
A2 (Migliore)

Funzionamento energetico complessivo
D

Sostenibilità ambientale
Più
Per informazioni in merito scaricate la certificazione più

Efficienza energetica dell'edificio riferita all'ubicazione **42 kWh/m²a**
Indicatore ai sensi del Decreto legislativo 28 agosto 2011, n. 102 (2 kWh/m²a)

Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige

Direttore d'ufficio **Ing. Georg Pichler**
Data **17 settembre 2014**
Numero **02300-2403-0630**

ai sensi del Decreto del Presidente della Provincia, 28 settembre 2008, n. 34

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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

16/89

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

MANIFEST FÜR NACHHALTIGES BAUEN

MANIFESTO PER UN COSTRUIRE SOSTENIBILE

MANIFESTO PER LA SOSTENIBILITÀ

Il Decalogo del Sole – Dieci principi per un costruire sostenibile

A l'architettura del futuro non si tratta di un'utopia, ma di un progetto che si realizza oggi. Il nostro compito è quello di progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo. Questo significa progettare edifici che rispettino l'ambiente, che siano economicamente convenienti e che siano socialmente responsabili.

S i tratta di un progetto che si realizza oggi. Il nostro compito è quello di progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo. Questo significa progettare edifici che rispettino l'ambiente, che siano economicamente convenienti e che siano socialmente responsabili.

- 1** Nel design degli edifici, si deve tenere conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla progettazione alla costruzione, dall'uso all'eventuale demolizione.
- 2** Nel costruire, si deve utilizzare energia pulita, proveniente da fonti rinnovabili, e si deve ridurre al minimo l'uso di risorse non rinnovabili.
- 3** Nel costruire, si deve utilizzare materiali e componenti che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo.
- 4** Nel costruire, si deve progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio.
- 5** Nel progettare, si deve progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio.
- 6** Nel progettare, si deve progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio.
- 7** Nel costruire, si deve utilizzare materiali e componenti che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo.
- 8** Nel costruire, si deve progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio.
- 9** Nel progettare, si deve progettare edifici che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio.
- 10** Nel costruire, si deve utilizzare materiali e componenti che siano sostenibili, efficienti e a misura d'uomo.

Redazione dell'Epilogo CasaClima
Hans-Joachim Lauthner

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 | 4 dicembre 2014

17/89

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

Sono fiero di casa mia

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 | 4 dicembre 2014

17/89

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**



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 | 4 dicembre 2014

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**



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 | 4 dicembre 2014

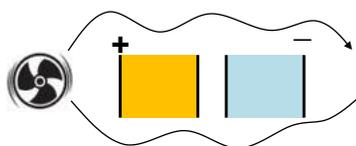
20/89

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)



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 | 4 dicembre 2014

21/89

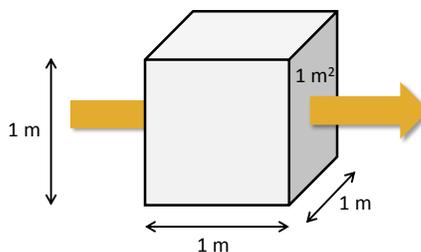
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - FACOLTÀ DI ARCHITETTURA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

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



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 | 4 dicembre 2014

22/89

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

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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
Politetrafluoroetilene (PTFE)	2 200	0,25	1 000	10 000	10 000
Polidoruro 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
Poliammide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
Poliammide 6.6 con 25% di fibra di vetro	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
Polietilene/politene, alta massa volumica	980	0,50	1 800	100 000	100 000
Polietilene/politene, 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 poliesteri	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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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



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 | 4 dicembre 2014

25/89

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
Piastrelle (Altro)					
Ceramica/porcellana	2 300	1,3	840		∞
Plastica	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
Legname⁽³⁾					
	500	0,13	1 600	50	20
	700	0,18	1 600	200	50
Pannelli a base di legno⁽³⁾					
Compensato ⁽⁴⁾	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 MDF ⁽⁵⁾	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



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 | 4 dicembre 2014

26/89

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

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

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

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

27/89

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.lli extraporosi in fibra di legno (130)	0,04	130
P.lli porosi in fibra di legno (190)	0,045	190
P.lli porosi in fibra di legno con bitume oppure lattice	0,06	270
P.lli in lana di legno mineralizzati	0,093	400
P.lli di calcio silicato	0,06	250

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

28/89

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.Ili di sughero espanso	0,045	110
P.Ili 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.Ili di cellulosa	0,04	85

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

29/89

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



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 | 4 dicembre 2014

30/89

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



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 | 4 dicembre 2014

31/89

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



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 | 4 dicembre 2014

32/89

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



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 | 4 dicembre 2014

33/89

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



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 | 4 dicembre 2014

34/89

Conducibilità termica di alcuni materiali isolanti

Materiali da Muratura	Lambda (W/mK)	Densità (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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

35/89

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. 0734/640633 Fax. 0734/640750
 http://www.sacecork.it
 email: edilizia@sacepaludi.it



Sace Cork srl
 Via dell'Industria 47
 63010 Capodarco di Fermo (AP)
 Tel. 0734/640633 Fax. 0734/640750
 http://www.sacecork.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 impareggiabile utilizzabile anche in bioarchitettura per l'unicità e la stabilità delle sue caratteristiche termiche.

CARATTERISTICHE FISICHE

Materiali: 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 EN 13170-2
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 celofane riciclabile termotrattato elettrostatico ai bordi.

CARATTERISTICHE TECNICHE

Massa Volumica (ρ): 108 - 120 kg/m³
Carico di rottura per trazione: 0,6 ± 0,9 Kg/cm²
Carico di rottura per flessione: 1,25 ± 2,31 Kg/cm²
Resistenza alla compressione: 1,24 ± 1,59 Kg/cm²
Calore specifico: 1,27 KJ/Kg °K
Coefficiente di dilatazione termica (α 20°C): 25 ± 50 x 10⁻⁶
Temperatura di uso: 200 - 330 °C
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ): 5 + 30
Modulo di elasticità: 5 N/mm²
Rigidità dinamica (spessore 50 mm): 0,267 - 0,354 - 0,391 - 0,585 - 1,335 - 1,602 - 1,969 - 2,136 - 2,403
Resistenza al fuoco: 0,20 - 0,33 dB (a 500 Hz)
Conducibilità termica λ (a 10°): 0,0375 ± 0,0363 W/m °K
Resistenza termica R (m² K/W): 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm

ALTRE CARATTERISTICHE

Proprietà: Non si disgrega in acqua bollente, buona resistenza agli attacchi degli agenti chimici, elastico, antiumidità, impregniabile, 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 sottotetto	*	*	*	*
Copertura piana spazionabile	*	*	*	*
Copertura piana gestonabile	*	*	*	*
Copertura piana carrabile	*	*	*	*
Copertura piana giardino	*	*	*	*
Copertura a falda struttura continua	*	*	*	*
Copertura a falda struttura discontinua	*	*	*	*
Solai	*	*	*	*
Cassonetti per avvolgibili	*	*	*	*
Diversi alloggi	*	*	*	*
Impianti industriali	*	*	*	*
Celle frigorifere	*	*	*	*

Conducibilità 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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

36/89

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

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.



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 | 4 dicembre 2014

37/89

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.



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 | 4 dicembre 2014

38/89

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

Emilia Romagna: zona E

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

41/89

Valori secondo normativa vigente nella Regione Emilia Romagna (DGR 156/2008 come modificato dalla DGR 1366/2011)

Valore limite della trasmittanza termica delle **chiusure opache verticali** (pareti perimetrali verticali) tra spazi climatizzati ed ambiente esterno ovvero verso ambienti non dotati di impianto termico

Zona climatica	
D	0.36
E	0.34
F	0.33

Valore limite della trasmittanza termica delle **chiusure opache orizzontali o inclinate superiori di copertura**

Zona climatica	
D	0.32
E	0.30
F	0.29



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 | 4 dicembre 2014

42/89

Valori secondo normativa vigente nella Regione Emilia Romagna (DGR 156/2008 come modificato dalla DGR 1366/2011)

Valore limite della trasmittanza termica delle **chiusure opache orizzontali inferiori** (solai a terra) e su **spazi esterni** (solai su spazi aperti) nonché delle **partizioni interne orizzontali (solai) tra spazi climatizzati e spazi non climatizzati**.

Zona climatica	
D	0.36
E	0.33
F	0.32



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 | 4 dicembre 2014

43/89

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

Valori secondo normativa vigente nella Regione Emilia Romagna (DGR 156/2008 come modificato dalla DGR 1366/2011)

Valore limite della Trasmittanza termica delle **chiusure trasparenti** (finestre, porte-finestre luci fisse) **verticali, orizzontali o inclinate, comprensive degli infissi**.

Zona climatica	
D	2.4
E	2.2
F	2.0

Valore limite della trasmittanza termica della **sola componente vetrata dei serramenti esterni** (finestre, porte-finestre luci fisse) **verticali, orizzontali o inclinati**.

Zona climatica	
D	1,9
E	1,7
F	1,3



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 | 4 dicembre 2014

44/89

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

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	$\leq 1,0$	$\leq 1,2$	$\leq 1,4$
Finestra Uw	$\leq 1,3$	$\leq 1,5$	$\leq 1,6$
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



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 | 4 dicembre 2014

46/89

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



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 | 4 dicembre 2014

47/89

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

Capacità termica [kg/m²]

È la massa per unità di superficie delle pareti opache, compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci.

Rappresenta il parametro principale che caratterizza il comportamento dinamico della parete in relazione allo sfasamento dell'onda termica dovuta agli apporti termici solari e all'irraggiamento termico.

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto di adeguati valori di massa superficiale delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettono di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.



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 | 4 dicembre 2014

48/89

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

Delibera della Giunta regionale n. 1366 del 26 settembre 2011

[...]

b) verifica, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2

1) relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est, il rispetto di almeno uno dei seguenti requisiti:

1.1 che il valore della massa superficiale M_s , di cui al comma 22 dell'allegato A, sia superiore a 230 kg/m^2

1.2 che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , sia inferiore a $0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;

2) relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , sia inferiore a $0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;

La verifica non è valida per Ferrara



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 | 4 dicembre 2014

49/89

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Capacità termica [J/K]

La **capacità termica** di un materiale descrive la sua attitudine ad accumulare calore che successivamente viene riceduto all'ambiente.

Tanto più la capacità termica è elevata tanto meno cambiano le temperature dell'ambiente interno al variare delle temperature esterne.

La capacità termica di un corpo di massa m rappresenta il calore necessario per fare variare di un grado la temperatura dello stesso. A parità di calore specifico, maggiore è la massa di un corpo e maggiore sarà la sua capacità termica.

$$C = m \times c$$

c = calore specifico unitario [J/kgK]

m = massa unitaria [kg]

Δt = variazione di temperatura



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 | 4 dicembre 2014

50/89

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA - CENTRO RICERCHE ARCHITETTURA-ENERGIA

Capacità termica [J/K]

L'influenza della capacità di accumulo termico di una parete sul comfort ambientale può essere messo in evidenza da un esempio.

Nelle costruzioni antiche i materiali pieni, pesanti, presentano una grande capacità di accumulo, i muri si riscaldano lentamente dopo, che si è acceso l'impianto, fino a raggiungere la temperatura di comfort ambientale. D'altra parte, una volta spento l'impianto, i muri si raffreddano altrettanto lentamente restituendo il calore, prima accumulato, all'ambiente.

Al contrario, con pareti leggere, molto isolate, è possibile raggiungere più velocemente la temperatura voluta, ma altrettanto rapidamente si ottiene il ritorno a temperature basse una volta spento il riscaldamento.



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 | 4 dicembre 2014

51/89

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

Inerzia termica

L'inerzia termica definisce il comportamento di un edificio in regime variabile che ha quando gli scambi di calore sono, appunto, variabili. Questa condizione è determinata da fluttuazioni:

- Della temperatura esterna (nel corso della giornata, ad esempio);
- Dalla temperatura interna (apertura o chiusura degli infissi durante la giornata);
- Della temperatura di regime interna;
- Degli apporti interni (cottura, elettrodomestici)
- Dall'irraggiamento (variazione giorno/notte, posizione del sole, nuvolosità passeggera)

L'inerzia termica descrive la reazione alle oscillazioni dello scambio di calore.

- **Se l'inerzia termica è alta, l'ambiente interno rimane prossimo alla condizione di stato stazionario;**
- **Se l'inerzia termica è bassa, l'interno varia con la variazione degli scambi.**

L'inerzia termica dipende:

- **Dai materiali che costituiscono l'involucro e dalla loro successione stratigrafica**
- **Dal peso dei solai e delle partizioni interne a contatto con l'aria interna**

Ai fini della valutazione dell'inerzia termica non si considerano gli strati esterni rispetto ad un layer isolante.



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 | 4 dicembre 2014

52/89

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

Inerzia termica

Nelle condizioni naturali, la temperatura dell'ambiente esterno varia durante la giornata e questa variazione è spesso più sensibile nella stagione estiva che in quella invernale. Di conseguenza è **errato, o quanto meno insufficiente, basare i ragionamenti in materia di isolamento esclusivamente sulla trasmittanza U**.

Il termine inerzia termica è utilizzato dunque per descrivere la capacità di un materiale o di una struttura edilizia di immagazzinare energia termica e di ritardare la trasmissione del calore. Essa è dunque funzione **del calore specifico (c)**, della **massa superficiale (m_s)** e della **conducibilità termica (λ)** di un materiale.

I **benefici** dell'inerzia termica sono:

- Ridurre il surriscaldamento in estate ed evitare o diminuire il bisogno di raffrescamento attraverso dispositivi meccanici
- Beneficiare degli apporti solari in inverno, soprattutto nel caso di uso continuativo dei locali.



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 | 4 dicembre 2014

53/89

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

Inerzia termica

L'inerzia termica di una parete è misurabile attraverso due grandezze che descrivono l'onda termica:

- Lo **sfasamento (S o Δt)**, che rappresenta il ritardo temporale dell'onda termica nel passaggio attraverso la struttura in esame e legato alla capacità termica della stessa **[ore]**
- L'**attenuazione o fattore di decremento o, più comunemente, smorzamento (f_d)**, che qualifica la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio attraverso la struttura in esame e legato alla conducibilità della stessa **[numero adimensionale inferiore a 1 dato dal rapporto tra il massimo flusso della parete in esame e il massimo flusso di una parete a massa termica nulla]**; minore è il valore del fattore di attenuazione e maggiore è la riduzione del flusso termico entrante.

I **benefici** derivanti da questi due fenomeni sono evidenti:

- L'attenuazione suggerisce la possibilità di ridurre il dimensionamento dell'impianto di climatizzazione estiva dell'edificio;
- lo sfasamento indica la collocazione temporale (cioè in quali condizioni termiche ambientali si farà sentire) dell'apparire all'interno dell'abitazione delle condizioni peggiori del clima naturale esterno (minima temperatura notturna d'inverno e massima insolazione d'estate).



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 | 4 dicembre 2014

54/89

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

Sfasamento dell'onda termica (ϕ o Δt) [ore o secondi]

Rappresenta il ritardo con cui si rilevano i massimi e i minimi dell'oscillazione termica sulla superficie interna degli elementi costruttivi rispetto a quelli che si verificano sulla superficie esterna.

Tanto maggiore è il valore e tanto maggiore è il tempo necessario al flusso di calore per giungere dall'esterno all'interno del fabbricato. Quindi, maggiore è lo sfasamento e maggiore è la protezione termica estiva del fabbricato.

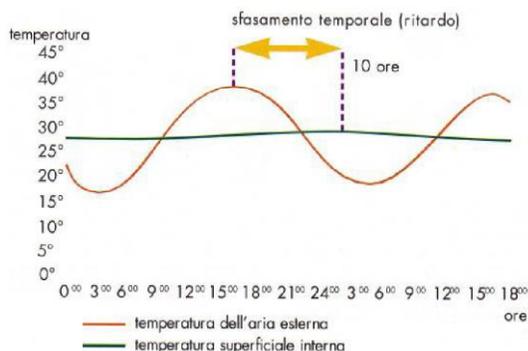
$$\Delta t = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{24 \times 3600}{\pi \times \alpha}}$$

d = spessore dell'elemento

α = $\lambda/(\rho \times c)$ diffusività termica dell'elemento

ρ = massa volumica (kg/m^3)

c = calore massico (J/kgK)



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 | 4 dicembre 2014

55/89

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

Sfasamento dell'onda termica (ϕ o Δt) [ore o secondi]

Sfasamento minimo consigliabile:

- Pareti esposte da Sud Ovest a Ovest 8 – 10 ore
- Pareti esposte da Sud Est a Sud 8 ore
- Pareti esposte da Nord a Est 6 – 7 ore
- Copertura 10 – 12 ore



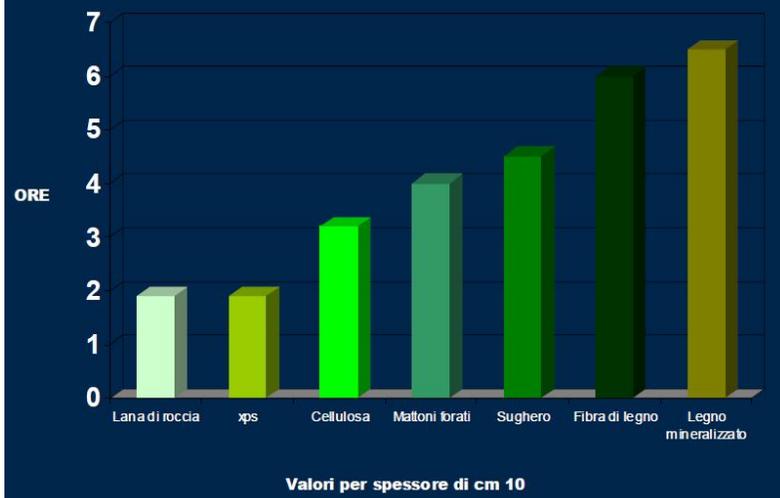
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

56/89

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

Sfasamento dell'onda termica (ϕ o Δt) [ore o secondi]

Materiali isolanti e sfasamento



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 | 4 dicembre 2014

57/89

Attenuazione dell'onda termica (f_a) [adimensionale]

Rappresenta il rapporto tra la massima ampiezza di oscillazione della temperatura che si rileva sulla superficie interna degli elementi che delimitano gli ambienti e la massima ampiezza di oscillazione della temperatura che si rileva sulla superficie esterna.

Tanto piú piccolo è il rapporto, tanto piú è consistente la capacità degli elementi di attutire gli sbalzi della temperatura esterna e di mantenere all'interno temperature il piú possibile costanti.

$$f = \exp\left(-d\sqrt{\frac{\pi}{\alpha \times 24 \times 3600}}\right)$$

d = spessore dell'elemento

α = $\lambda/(\rho \times c)$ diffusività termica dell'elemento

ρ = massa volumica (kg/m³)

c = calore massico (J/kgK)



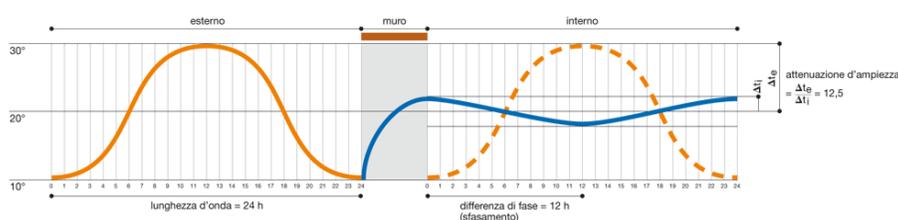
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

58/89

Valori secondo normativa vigente (DM 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici)

Il parametro che valuta la capacità di una parete di sfasare e attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore è chiamato **trasmissione termica periodica (γ_{TE})** [W/m^2K]

Sfasamento (h)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$Fa < 0,15$	Ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq Fa < 0,30$	Buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq Fa < 0,40$	Medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq Fa < 0,60$	Sufficienti	IV
$S \geq 6$	$Fa \leq 0,60$	Mediocri	V



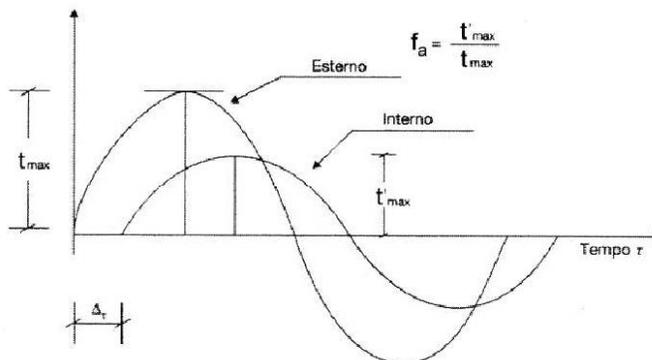
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmissione termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

59/89

Inerzia termica

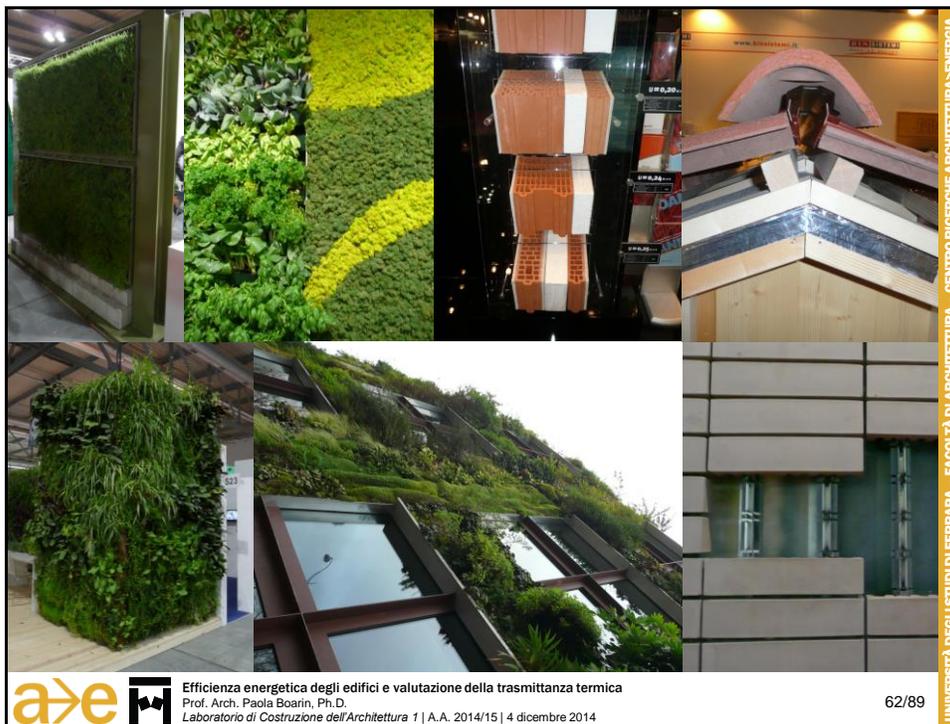
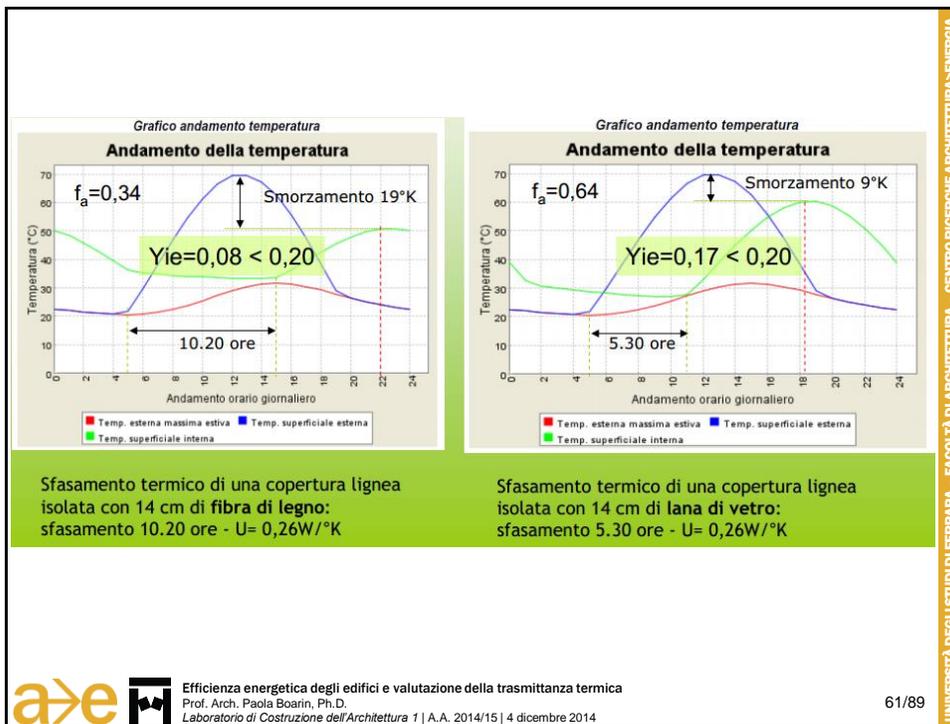
Quindi, l'incremento dell'inerzia termica ha due effetti:

- riduce il rapporto f_a fra l'ampiezza dell'oscillazione della temperatura interna t'_{max} e l'ampiezza dell'oscillazione della temperatura esterna t_{max} (aumenta il grado di attenuazione dell'onda termica)
- aumenta l'intervallo di tempo Δt_r con cui si manifestano all'interno le variazioni della temperatura esterna (aumenta il ritardo o sfasamento dell'onda termica)



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmissione termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

60/89



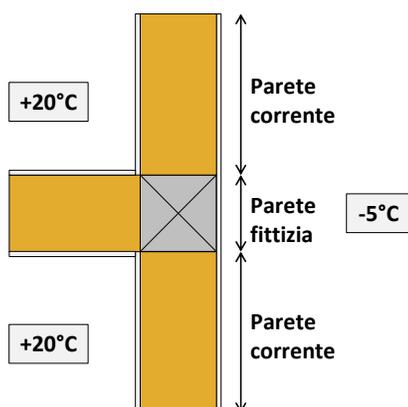
Cos'è un ponte termico?

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**.



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 | 4 dicembre 2014

63/89

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

Cause dei ponti termici

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**.



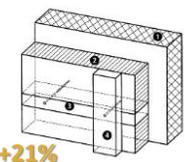
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

64/89

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

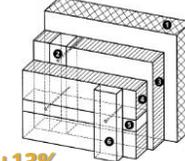
Cause dei ponti termici

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



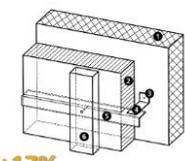
Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in travetti di legno

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



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



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

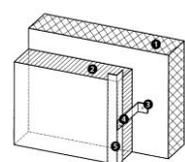
65/89

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 | 4 dicembre 2014

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

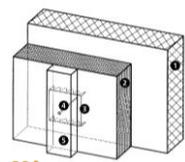
Cause dei ponti termici

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



Cappotto termico mono strato con struttura di supporto in alluminio

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



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

66/89

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 | 4 dicembre 2014

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

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

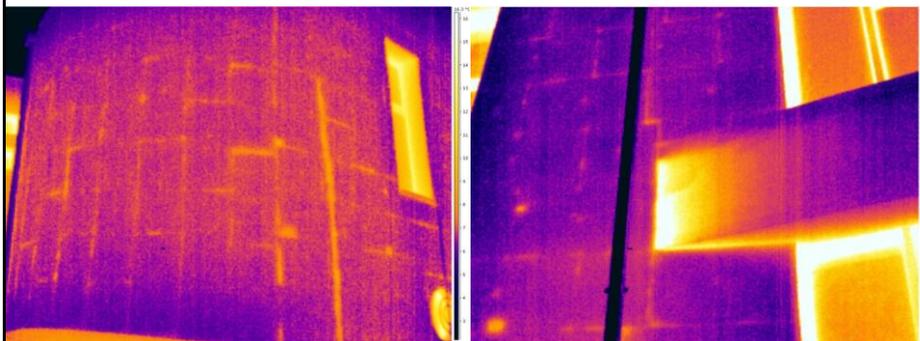
67/89

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

68/89

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.

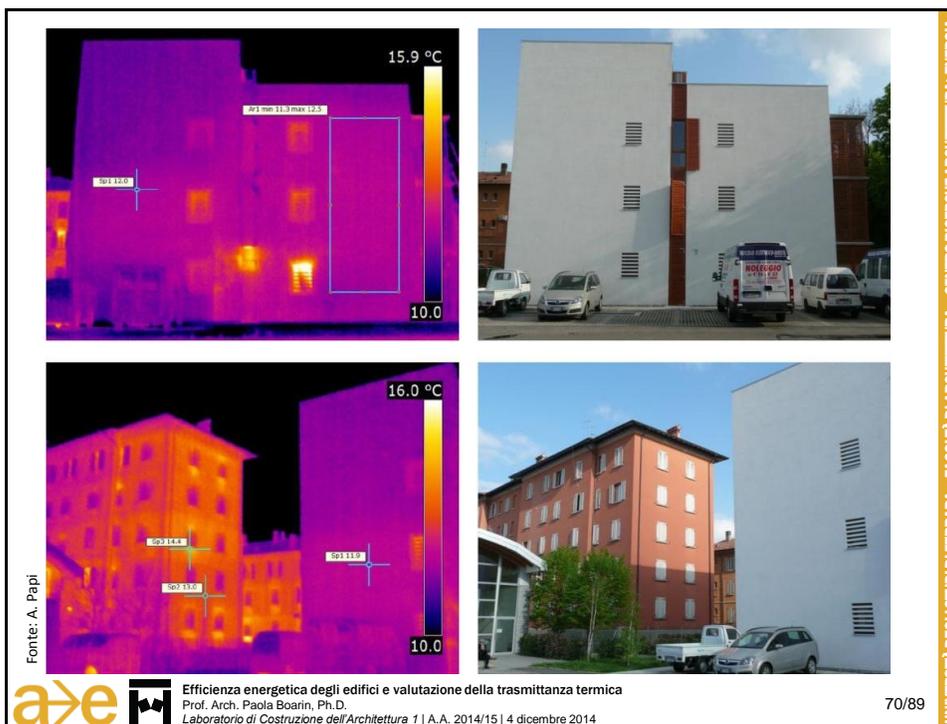


Fonte: A. Papi, A. Pancaldi



Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

69/89



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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

70/89

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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

71/89

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – 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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

72/89

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – 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. 2014/15 | 4 dicembre 2014

73/89

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

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



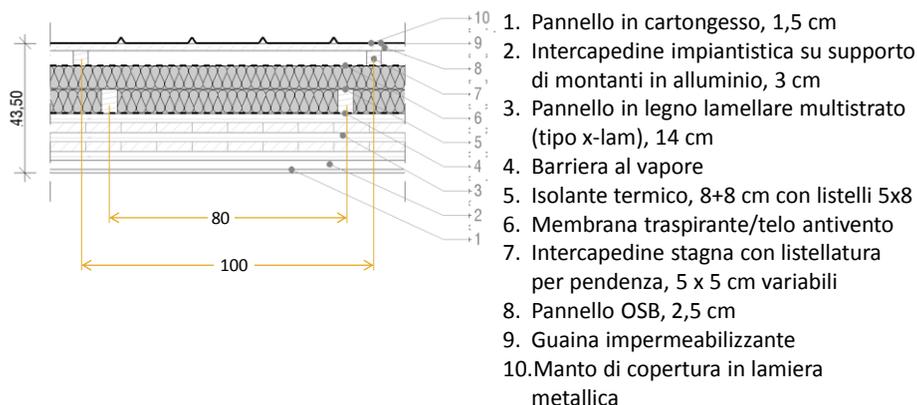
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

74/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

1) 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, 8x8 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



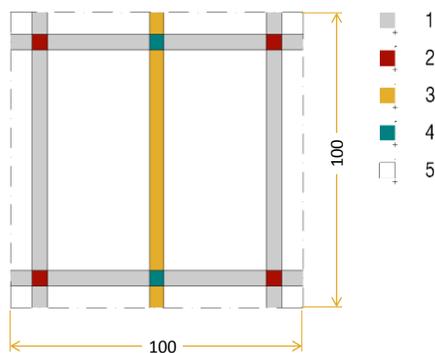
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

75/89

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

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



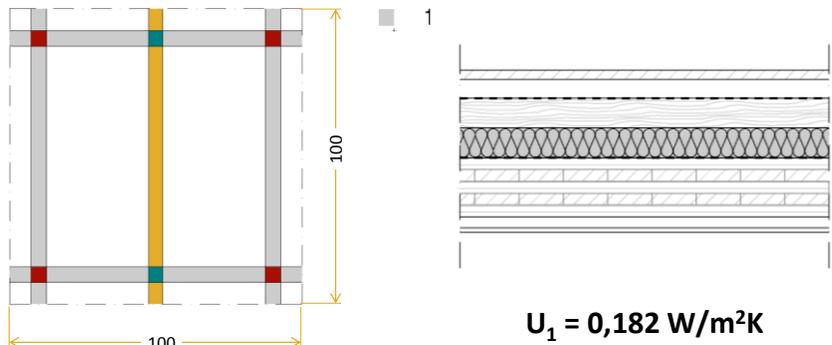
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

76/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

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



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



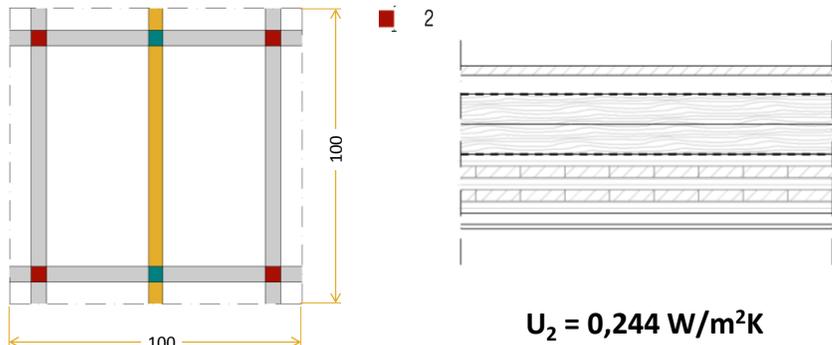
 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

77/89

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



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



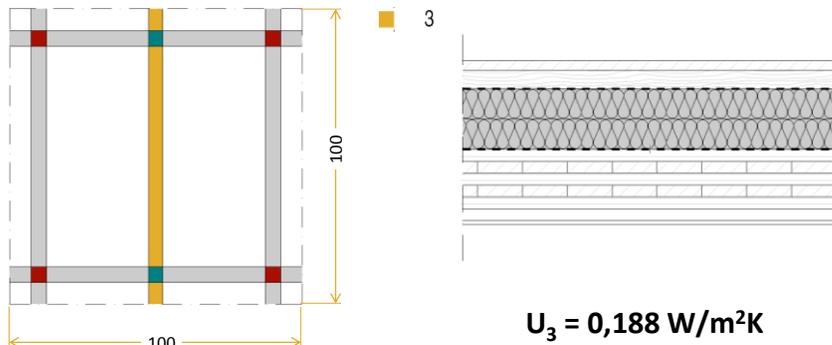
 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

78/89

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



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

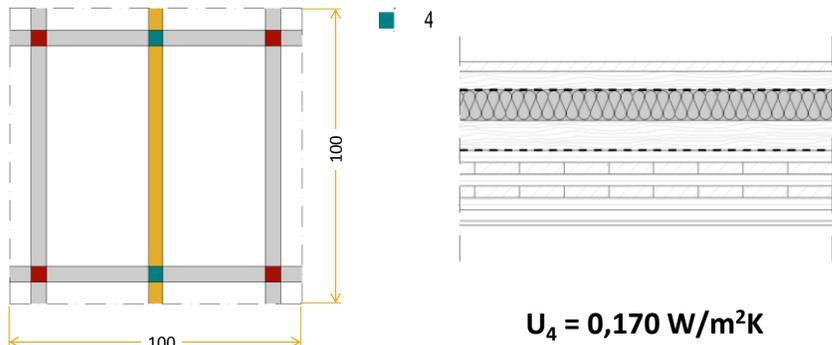

 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

79/89

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



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

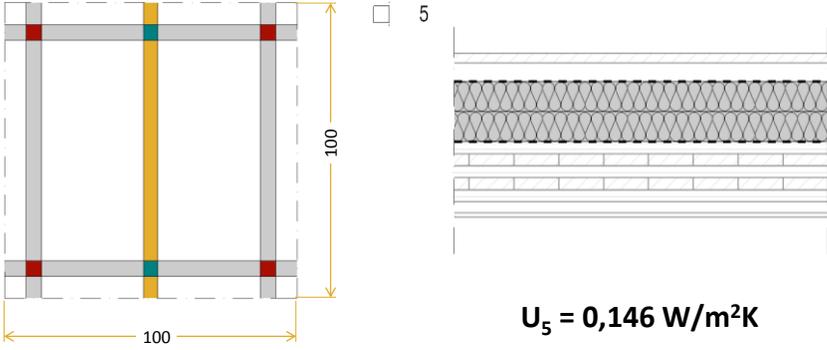

 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

80/89

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



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



 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

81/89

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

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



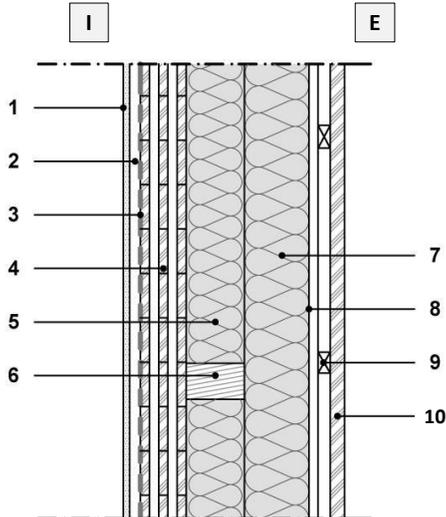
 Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

82/89

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

Calcolo della trasmittanza termica di alcune chiusure

2) 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

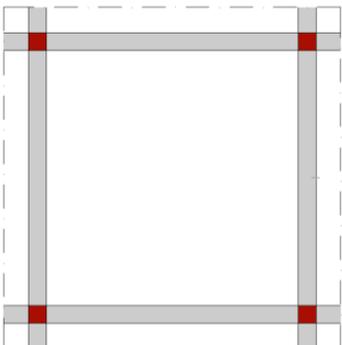
Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

83/89

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

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: $1 - 0,294 = 0,706$

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

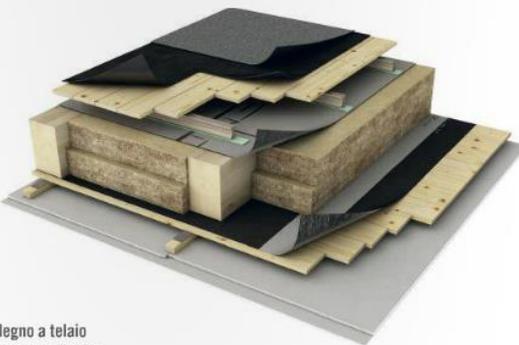
$$= 0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Efficienza energetica degli edifici e valutazione della trasmittanza termica
 Prof. Arch. Paola Boarin, Ph.D.
 Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 | A.A. 2014/15 | 4 dicembre 2014

84/89

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

Tetto piano in legno a telaio
Caratteristiche fisico-costruttive
 protezione dal fuoco (REI) 60
 trasmittanza termica U 0,17 W/m²K
 sfasamento Φ 6,04 h
 potere fonoisolante R_w * 45-47 dB
 * prestazione teorica da laboratorio



Tetto piano in legno a telaio
Caratteristiche termo-fisiche

Stratigrafia dall'esterno	λ (W/mK)	μ (min-max)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg)
Membrana bituminosa autoadesiva ardesiata (3 mm)	0,20	84000	1167	4,20
Membrana bituminosa autoadesiva (3 mm)	0,20	100000	1000	4,20
Assito in abete di legno (24 mm)	0,13	50	500	1,60
Listellatura in abete (60 mm)	0,13	50	500	1,60
Viti e accessori per isolamento				
Membrana traspirante	0,30	-	-	1,80
Travi portanti (200 mm)	0,13	50	500	1,60
Isolamento tra le travi in lana di vetro (200 mm)	0,04	1	40-50	1,03
Assito in legno di abete (20 mm)	0,13	50	500	1,60
Freno vapore	0,30	-	-	1,80
Guarnizione elastica per profili				
Listellatura in abete (24 mm)	0,13	50	500	1,60
Lastra in cartongesso (25 mm)	0,25	10	800	1,05

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 | 4 dicembre 2014

85/89

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

Tetto piano in legno massiccio calpestabile
Caratteristiche fisico-costruttive
 protezione dal fuoco (REI) 90
 trasmittanza termica U 0,13 W/m²K
 sfasamento Φ 20,5 h
 potere fonoisolante R_w * 57-59 dB
 * prestazione teorica da laboratorio



Tetto piano in legno massiccio calpestabile
Caratteristiche termo-fisiche

Stratigrafia dall'esterno	λ (W/mK)	μ (min-max)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg)
Pacchetto terrazza				
Membrana bituminosa autoadesiva ardesiata (3 mm)	0,20	84000	1167	4,20
Membrana bituminosa autoadesiva (3 mm)	0,20	100000	1000	4,20
Assito in abete di legno (24 mm)	0,13	50	500	1,60
Listellatura in abete (60 mm)	0,13	50	500	1,60
Viti e accessori per isolamento				
Membrana traspirante	0,30	-	-	1,80
Isolamento in fibra di legno ad alta densità (22 mm)	0,05	5	200	2,10
Isolamento in fibra di legno a bassa densità (200 mm)	0,04	5	110	2,10
Freno vapore	0,30	-	-	1,80
Pannello massiccio in legno a 5 strati (100 mm)	0,13	50	470	1,60
Guarnizione elastica per profili				
Listellatura in abete (70 mm)	0,13	50	500	1,60
Isolante in lana minerale (50 mm)	0,04	1	18	1,03
Lastra in cartongesso (30 mm)	0,25	10	900	1,05

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 | 4 dicembre 2014

86/89

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

Tetto inclinato con struttura in pannelli massicci, ventilato con vano tecnico

Caratteristiche fisico-costruttive
 protezione dal fuoco (REI) 60
 trasmittanza termica U 0,11 W/m²K
 sfasamento Φ 22,83 h
 potere fonoisolante R_w* 58-60 dB
 * prestazione teorica da laboratorio



Tetto inclinato con struttura in pannelli massicci, ventilato con vano tecnico

Caratteristiche termo-fisiche

Stratigrafia dall'esterno	λ (W/mK)	μ (min-max)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg)
Tegole in cemento o laterizio	-	-	2100	-
Controllistellatura in abete (50 mm)	0,13	50	500	1,60
Listellatura in abete per ventilazione (60 mm)	0,13	50	500	1,60
Viti e accessori	-	-	-	-
Schermo barriera al vapore bituminoso	0,17	-	-	0,85
Assito in abete di legno (24 mm)	0,13	50	500	1,60
Listellatura in abete per ventilazione (60 mm)	0,13	50	500	1,60
Viti e accessori	-	-	-	-
Freno vapore	0,30	-	-	1,80
Isolamento in fibra di legno ad alta densità (22 mm)	0,05	5	200	2,10
Isolamento in fibra di legno ad bassa densità (240 mm)	0,04	5	110	2,10
Freno vapore	0,30	-	-	1,80
Pannello massiccio in legno a 5 strati (100 mm)	0,13	50	470	1,60
Guarnizione elastica per profili	-	-	-	-
Listellatura in abete (70 mm)	0,13	50	500	1,60
Isolante in lana minerale (50 mm)	0,04	1	18	1,03
Lastra in cartongesso (30 mm)	0,25	10	900	1,05

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 | 4 dicembre 2014

87/89

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

Tetto inclinato ventilato con struttura in travi a vista

Caratteristiche fisico-costruttive
 protezione dal fuoco (REI) 30
 trasmittanza termica U 0,14 W/m²K
 sfasamento Φ 12,09 h
 potere fonoisolante R_w* 46-48 dB
 * prestazione teorica da laboratorio



Tetto inclinato ventilato con struttura in travi a vista

Caratteristiche termo-fisiche

Stratigrafia dall'esterno	λ (W/mK)	μ (min-max)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg)
Tegole in cemento o laterizio	-	-	2100	-
Controllistellatura in abete (40 mm)	0,13	50	500	1,60
Listellatura in abete per microventilazione (40 mm)	0,13	50	500	1,60
Membrana traspirante	0,30	-	-	1,80
Isolamento in lana di roccia (260 mm)	0,04	1	180	1,03
Freno vapore	0,30	-	-	1,80
Assito in abete (24 mm)	0,13	50	500	1,60
Travi portanti (240 mm)	0,13	50	500	1,60

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 | 4 dicembre 2014

88/89

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

