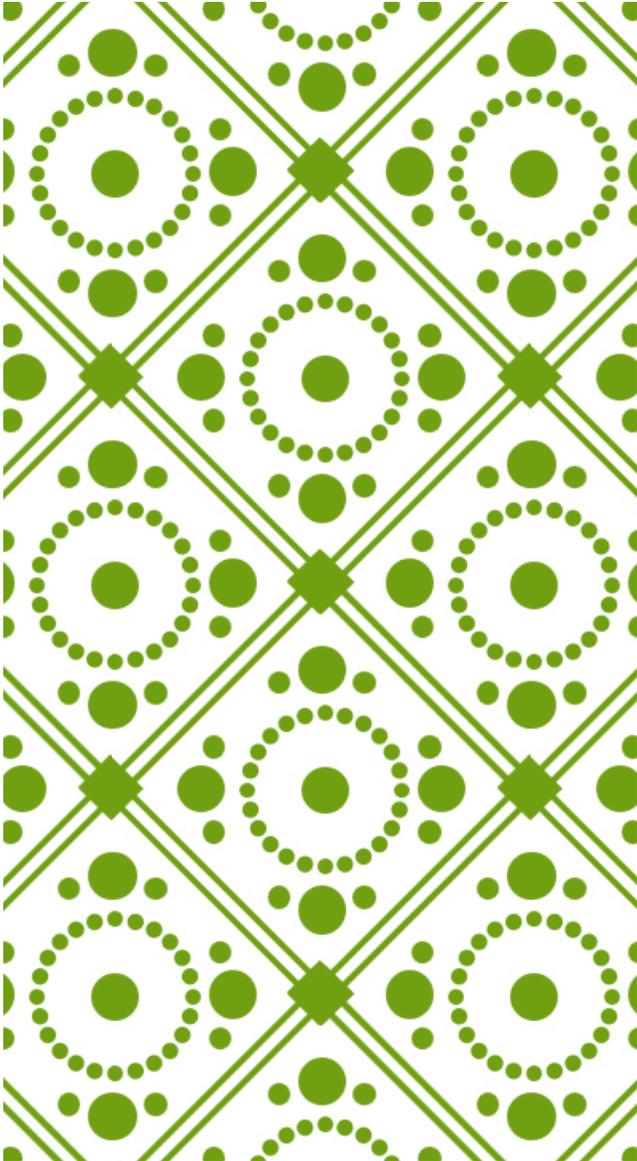


**CORSO DI *IMPIANTI TECNICI PER*
*L'ARCHITETTURA***

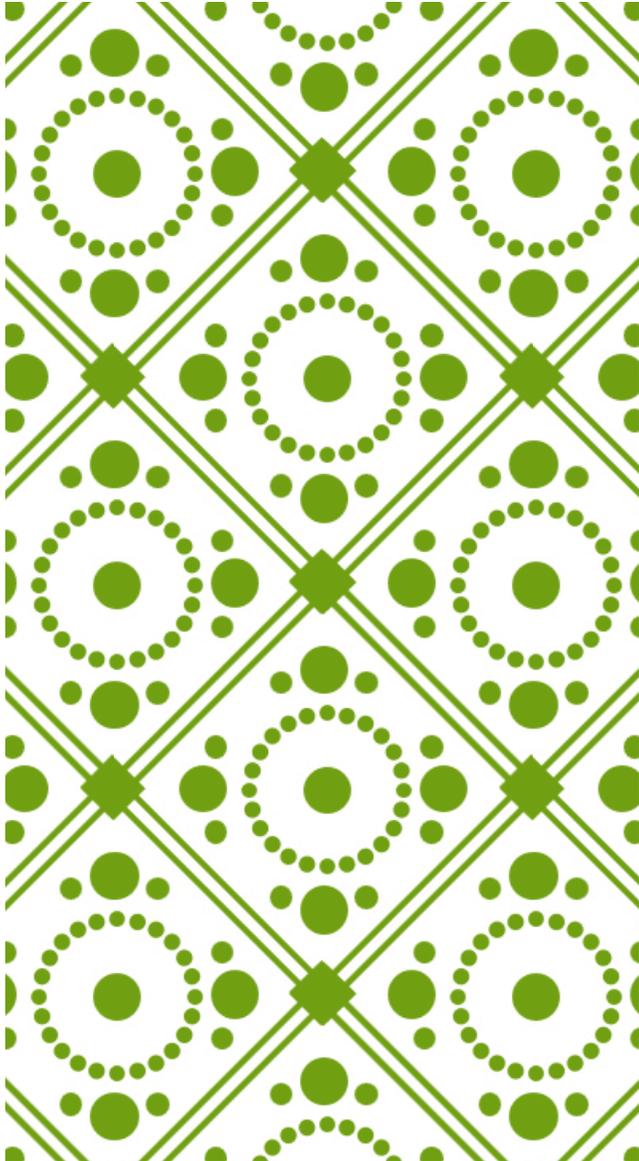
Docente: Ing. Maria Francesca
Panzera

ARCHITETTURA LM-4 – A.A. 2023/2024



PROGRAMMA DEL CORSO

- Richiami sulla trasmissione del calore
- Analisi termica degli edifici. Prestazioni termofisiche degli elementi di involucro, criteri e valori di riferimento per il calcolo della trasmittanza. Bilancio energetico dell'edificio e determinazione dei carichi termici invernale ed estivo. Concetti di fabbisogno di energia primaria e di fabbisogno di energia termica utile. Norme UNI TS 11300.
- Direttive europee inerente l'efficienza energetica degli edifici. Certificazione energetica degli edifici: obiettivi, descrizione di un attestato di prestazione energetica, metodo di calcolo utilizzati e normativa di riferimento
- La normativa italiana sul fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici e la relativa classificazione energetica
- Gli impianti di climatizzazione invernale ed estiva, schemi di funzionamento e caratteristiche delle principali tipologie di centrali termiche impiegate negli edifici residenziali
- Gli impianti per la produzione di energia elettrica mediante tecnologia fotovoltaica. Cenni sugli impianti eolici
- Gli impianti per la produzione di energia termica mediante fonte solare



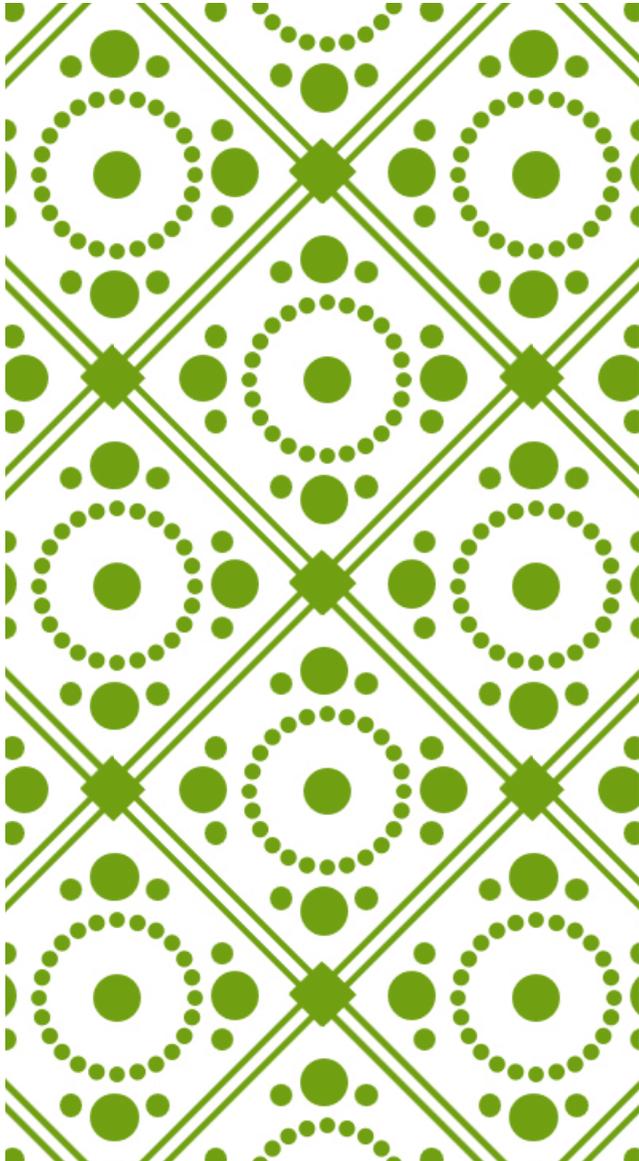
ESERCITAZIONE

Esercitazione: sviluppo di un progetto di efficientamento energetico, con il fine di applicare gli elementi di teoria previsti dal corso

Progetto: un edificio esistente - di cui si dispongono vari dati dimensionali e relativi agli impianti termici - oppure un nuovo edificio da progettare

Obiettivo: determinare il fabbisogno energetico dell'edificio e individuare gli interventi che conducano verso la classe energetica massima, ovvero quella di edificio ad energia quasi zero (*Nearly Zero Energy Building*)

Riferimenti normativi: leggi vigenti inerenti l'efficienza energetica degli edifici (D. Lgs. 192/2005 e smi), Decreto Requisiti minimi del 2015 e gli altri Decreti collegati (come il D. Lgs. 28/2011)



CALENDARIO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE

Settimana	Data	Argomento
1	12-16 febbraio	Richiami sulla trasmissione del calore, analisi termica degli edifici, prestazioni termofisiche degli elementi di involucro
2	19-23 febbraio	Bilancio energetico dell'edificio. Determinazione dei carichi termici invernale ed estivo
3	26 febbraio – 1 marzo	UNI TS 11300 Esercitazione sulla determinazione del fabbisogno termico con fogli di calcolo Excel e software Blumatica
4	4-8 marzo	Direttive europee e normativa italiana sull'efficienza energetica
5	11-15 marzo	Certificazione energetica degli edifici
6	18-22 marzo	Impianti di climatizzazione invernale ed estiva
7	25-27 marzo – 3-5 aprile	Schemi di funzionamento e caratteristiche delle principali tipologie di centrali termiche impiegate negli edifici residenziali
8	8-12 aprile	Esercitazione: dimensionamento impianto termico aria-aria e aria-acqua
9	15-19 aprile	Impianti per la produzione di energia elettrica mediante tecnologia fotovoltaica ed eolica. Esercitazione
10	22-26 aprile	Impianti per la produzione di energia termica mediante fonte solare. Esercitazione
11	29 aprile – 3 maggio	Esercitazione: sviluppo di un progetto di efficientamento energetico
12	6-10 maggio	Esercitazione: sviluppo di un progetto di efficientamento energetico

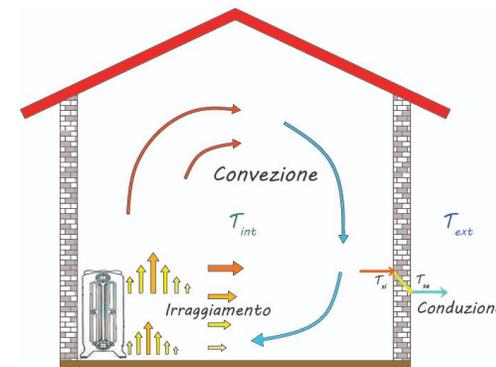


Orario ricevimento

**MERCOLEDÌ, H18.00 (DOPO LA LEZIONE)
OPPURE SU APPUNTAMENTO**

E-mail:
francesca.panzera@unirc.it

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE



RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

Trasmissione del calore (o scambio termico): fenomeno di trasporto di energia/materia tra due sistemi termodinamici, causato da una differenza di temperatura tra i due sistemi (da quello caldo a quello freddo)

Conduzione termica



Quando due corpi sono a contatto diretto

Convezione termica



Stufe a conduzione p. es. il radiatore

Radiazione termica



Naturale come i raggi del sole...

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

Conduzione: è un processo mediante il quale l'energia termica si trasmette per contatto diretto tra le molecole senza che fra esse ci siano spostamenti macroscopici. La conduzione è il solo meccanismo di trasmissione del calore per i corpi solidi opachi. Si consideri una lastra piana di un materiale omogeneo:

POSTULATO DI
FOURIER

$$Q = -kA \frac{\theta_2 - \theta_1}{s} \Delta\tau$$



- k conducibilità termica del materiale (W/m K)
- A superficie della lastra (m^2)
- θ_2 e θ_1 temperature costanti delle facce della lastra (K)
- s spessore, piccolo rispetto alle dimensioni della lastra (m)
- Q quantità di calore che nell'intervallo di tempo $\Delta\tau$ attraversa superficie della lastra

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

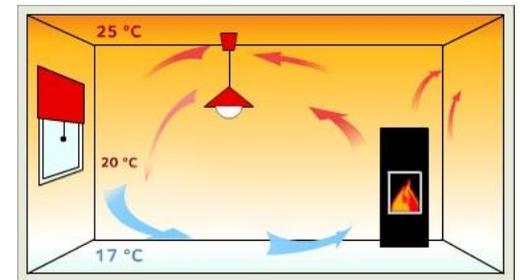
Convezione: è un processo mediante il quale l'energia termica viene scambiata tra una superficie solida ed un fluido in moto rispetto ad essa. In questo caso il calore si trasmette sotto forma di trasporto di materia.

La trasmissione del calore per convezione si distingue in *convezione naturale*, quando il moto dipende unicamente da differenze di densità dovute a gradienti di temperatura, e *convezione forzata*, quando invece il moto è dovuto alle differenze di pressione indotte da agenti esterni (una pompa, un ventilatore, ecc).

$$\Phi = Ah_c (\theta_p - \theta_\infty)$$

LEGGE DI
NEWTON

- A superficie della lastra (m²)
- h_c coefficiente di scambio termico convettivo (W/m² K)
- θ_p e θ_∞ temperature della superficie A e dello strato di fluido (K)
- Φ scambio convettivo



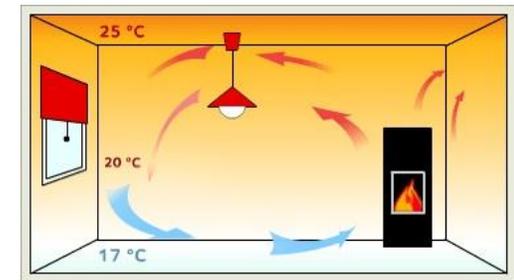
RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

Irraggiamento: è un meccanismo per cui un sistema che si trova ad una certa temperatura, posto nel vuoto e lasciato a se stesso, tende a raffreddarsi, scambiando energia termica con l'ambiente a temperatura minore.

È definito come l'energia radiante emessa da un corpo a causa della sua temperatura, che si propaga per onde elettromagnetiche e dipende dalla temperatura del corpo e dalla natura della superficie.

$$\Phi = Ah_r(\theta_2 - \theta_1)$$

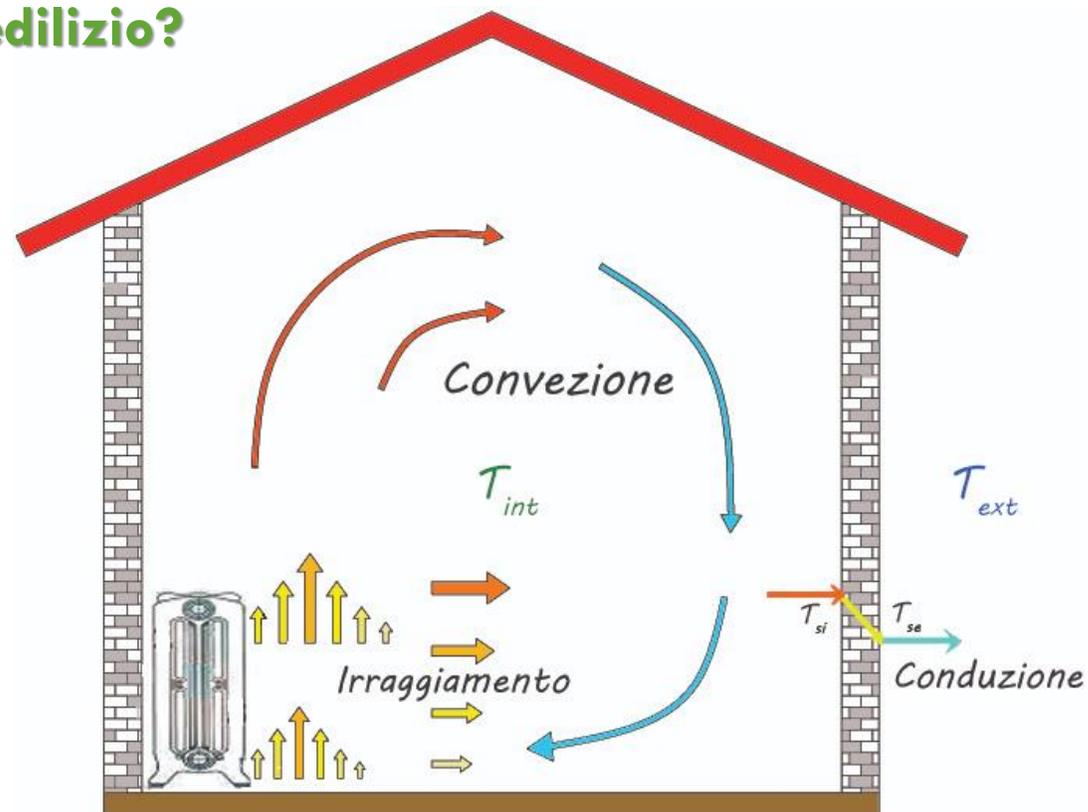
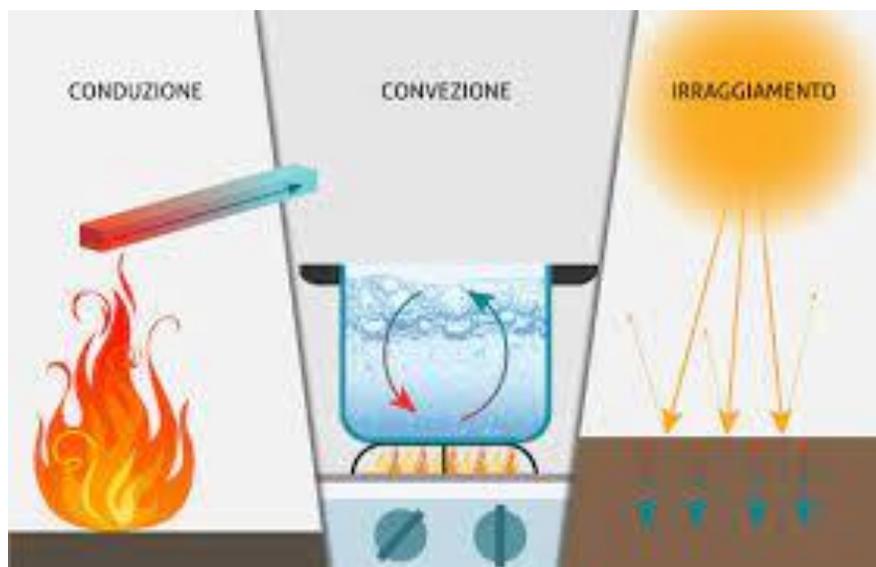
- A superficie della lastra (m²)
- h_r coefficiente di scambio termico radiativo (W/m² K)
- θ_2 e θ_1 differenza di temperatura tra i due corpi (K)
- Φ scambio radiativo



RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

Come si traducono questi concetti in ambito edilizio?

E perché sono così importanti?



RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE



Piccola premessa...

Per analizzare nel dettaglio le performance termiche delle strutture perimetrali di un edificio e massimizzare la loro capacità di sfruttare le condizioni climatiche esterne con finalità di ottimizzazione del **comfort** e di **risparmio energetico**, è necessario considerare la dipendenza dal tempo di alcuni parametri, effettuando, quindi, un'analisi in regime transitorio.

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE



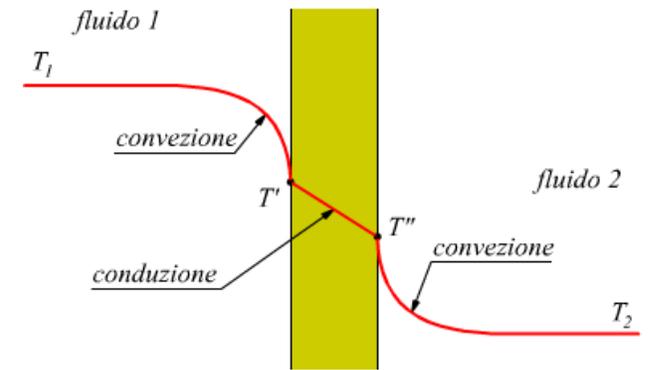
Comfort → funzione di numerosi fattori, generalmente controllati dagli impianti di condizionamento dell'aria, quali la **temperatura interna**, l'**umidità relativa**, la **velocità** e la **purezza** dell'aria.

Ciò che non può dipendere dall'impianto è la temperatura superficiale delle pareti, parametro che può essere controllato solo mediante una adeguata progettazione dell'involucro edilizio.

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

La temperatura sulla faccia interna di una parete è il risultato della composizione di una serie complessa di fenomeni:

- la convezione con l'aria interna;
- l'irraggiamento con le altre superfici interne (pareti, persone, sorgenti, etc.);
- la conduzione all'interno della parete stessa.



Il flusso per conduzione, a sua volta, è legato alla temperatura sulla faccia esterna della parete, che è, peraltro, determinata dall'interazione di una serie di fenomeni:

- la convezione con l'aria esterna;
- l'irraggiamento dovuto al sole ed allo scambio termico instaurato con altre superfici esterne (suolo, cielo, edifici oggetti, etc.)
- la conduzione verso l'interno della parete stessa.

RICHIAMI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE

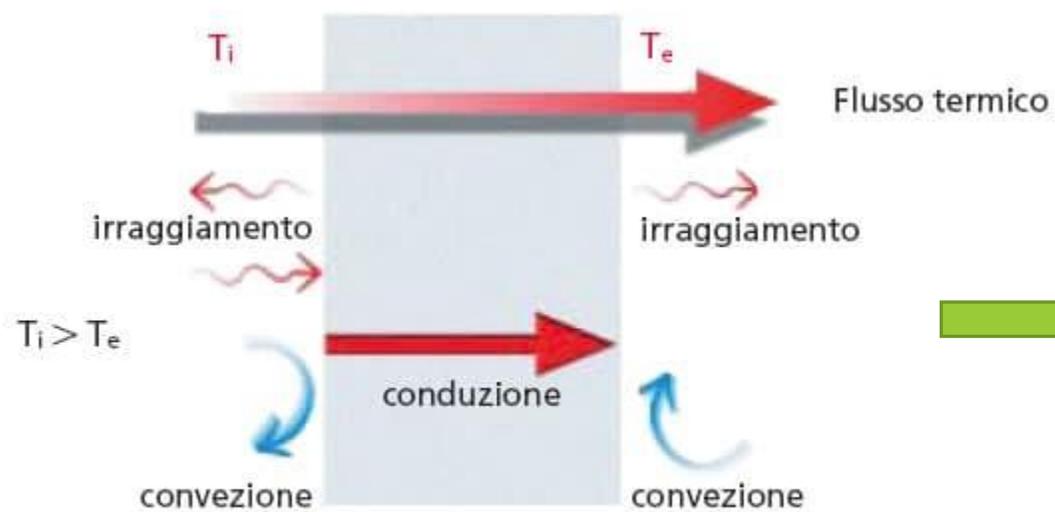
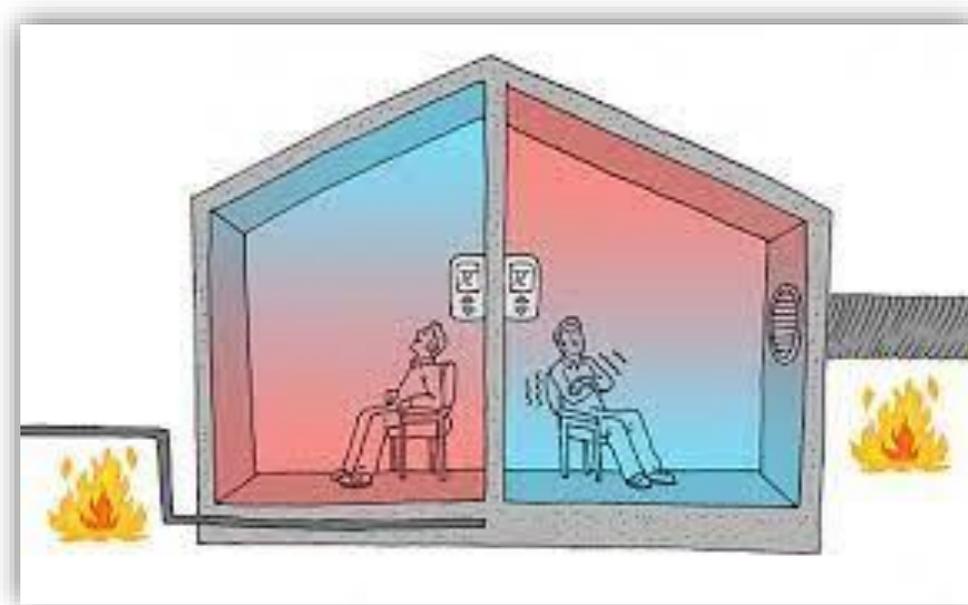
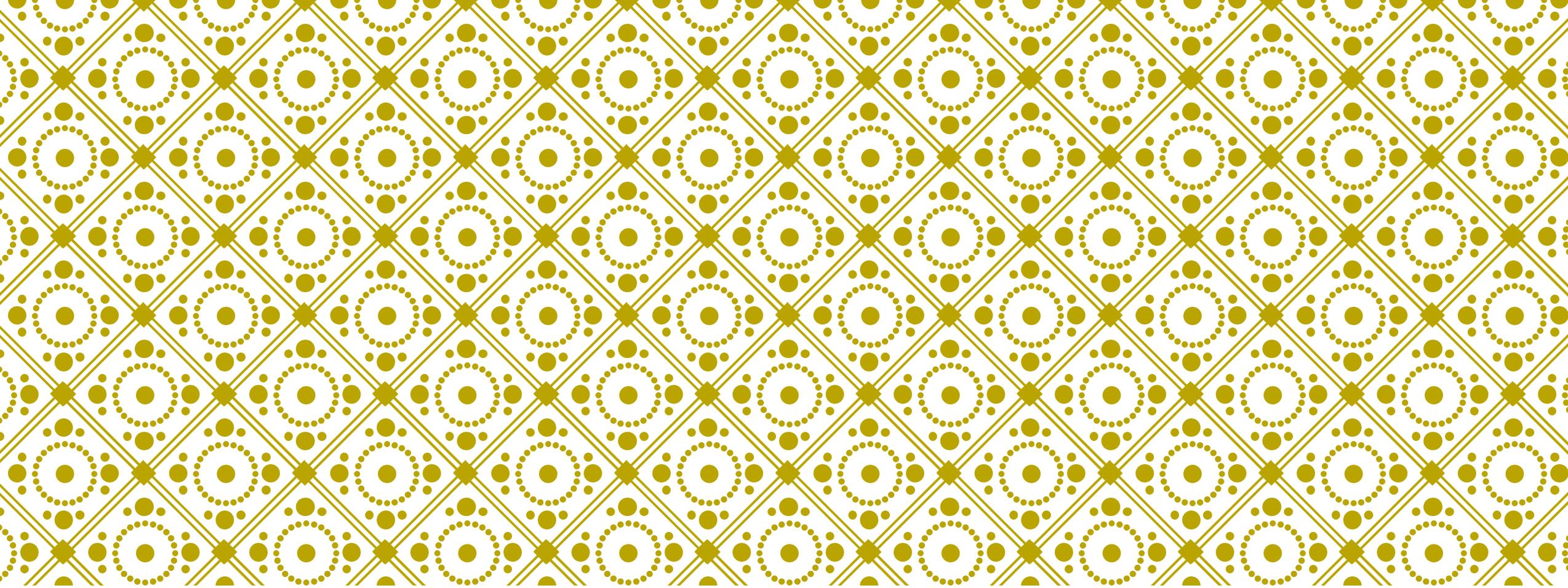
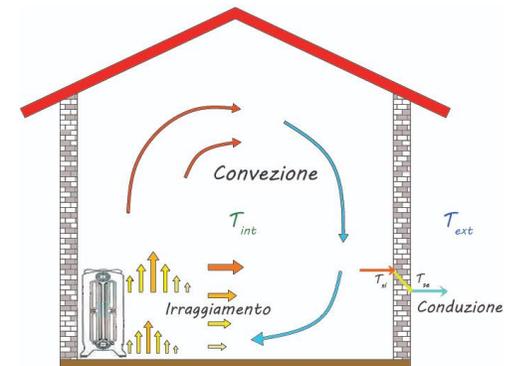


Fig. 1 Trasmissione del calore attraverso una parete per conduzione, convezione e irraggiamento





PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

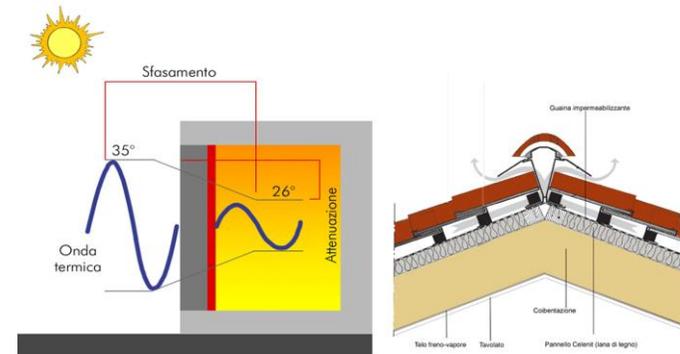


PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

Le pareti di un involucro edilizio sono sottoposte sulle loro superfici esterne a *sollecitazioni* fortemente variabili nel tempo causate dalla variabilità della temperatura e della radiazione solare incidente.

Le sollecitazioni agenti dall'esterno sulle pareti provocano un flusso termico che dipende da:

- caratteristiche geometriche (spessore dei singoli strati, superficie della parete)
- proprietà termofisiche dei materiali (conducibilità termica, densità, calore specifico dei materiali) che costituiscono gli strati della parete stessa



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO



prestazioni isolanti eccellenti e stabili nel tempo

Conducibilità Termica Dichiarata	Spessore d (mm)	Trasmittanza Termica U_D (W/m ² K)	Resistenza Termica R_D (m ² K/W)
$\lambda_D = 0,028$ W/mK	20	1,40	0,71
	30	0,93	1,07
	40	0,70	1,43
	50	0,56	1,79
	60	0,47	2,14
$\lambda_D = 0,026$ W/mK	70	0,40	2,50
	80	0,33	3,08
	90	0,29	3,46
	100	0,26	3,85
$\lambda_D = 0,025$ W/mK	120	0,21	4,80
	140	0,18	5,60
	160	0,16	6,40
	180	0,14	7,20
	180	0,14	7,20
	200	0,12	8,00



conformità ai CAM - Criteri Ambientali Minimi e EPD

verificata mediante Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) di tipo III, rilasciata con procedure validate da Ente Terzo (IBU - Institut Bauen und Umwelt). La EPD, oltre ad attestare la rispondenza ai CAM, esplicita tutti gli impatti ambientali relativi al prodotto ed è prevista dai diversi protocolli di certificazione ambientale degli edifici (LEED®, ITACA, ecc.)



contiene percentuali di materiale riciclato

caratteristica valutata sia dai protocolli di certificazione ambientale degli edifici (LEED®) e sia dai Criteri Ambientali Minimi (CAM) previsti dal Green Public Procurement (GPP)



compatibile con malte e rasanti - specifico per sistemi ETICS

per pacchetti certificati vedere la documentazione disponibile on-line sul sito www.stiferite.com



permeabile al vapore

$\mu = 56$

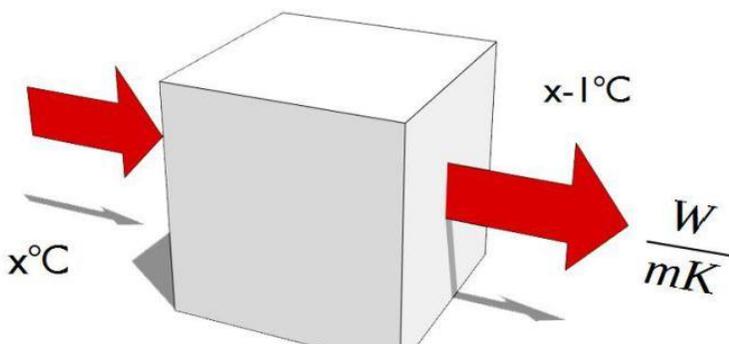
Confronto tra STIFERITE Class SK e un diverso materiale isolante - λ_D 0,04 W/mK densità 100 kg/m³ - utilizzati per un intervento a cappotto su muratura monostrato, con l'obiettivo di ottenere una trasmittanza della struttura pari a 0,28 W/m²K.

Dimensioni: 1000x500 mm

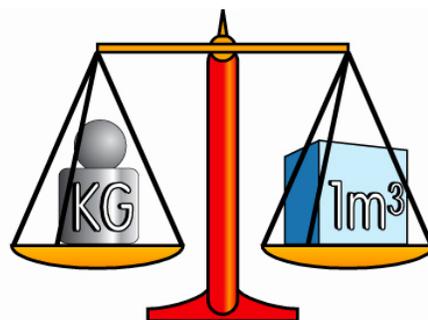
PROPRIETÀ ECO ESPANSO 100	NORMA	U. M.	CODICE	ECO ESPANSO 100	REQUISITO ETAG004 / EN13499
Indicatori ambientali misurati e certificati da I.C.M.Q.					
GER		MJ/mc	GER	1508	-
GWP		Kg CO ₂ /mc	GWP	65,19	-
Water Footprint		Lt/mc	WF	199,7	-
Requisiti EN 13163					
Conducibilità termica dichiarata	EN12667	W/mK	λ_D	0,036	≤ 0,065
Resistenza termica dichiarata	EN12667	m ² K/W	R _D	-	≥ 1,00
Spessore (mm)					
		10	m ² K/W	R _D	0,25
		20	m ² K/W	R _D	0,55
		30	m ² K/W	R _D	0,80
		40	m ² K/W	R _D	1,10
		50	m ² K/W	R _D	1,35
		60	m ² K/W	R _D	1,65
		80	m ² K/W	R _D	2,20
		100	m ² K/W	R _D	2,75
		120	m ² K/W	R _D	3,30
		140	m ² K/W	R _D	3,85
		150	m ² K/W	R _D	4,15
		160	m ² K/W	R _D	4,40
		180	m ² K/W	R _D	5,00
		200	m ² K/W	R _D	5,55
Tolleranza sulla lunghezza	EN822	mm	Li	L2=±2	±2
Tolleranza sulla larghezza	EN822	mm	Wi	W2=±2	±2
Tolleranza sullo spessore	EN823	mm	Ti	T1=±1	±1
Tolleranza sull'ortogonalità	EN824	mm	Si	S2=±2/1000	±2/1000
Tolleranza sulla planarità	EN825	mm	Pi	P3: ±3	±3
Stabilità dimensionale in condizioni di laboratorio	EN1603	%	DS(N)	ds(n)2=±0,2	±0,2
Stabilità dimensionale a 70° C	EN1604	%	DS(70,-)	-	-
Reazione al fuoco	EN13501-1	classe	-	E	E
Resistenza a flessione	EN12089	kPa	BS	-	-
Resistenza alla compressione al 10% di deformazione	EN826	kPa	CS(10)	-	-
Resistenza alla trazione perpendicolare delle facce	EN1607	kPa	TR	≥100	≥100
Carico permanente limite con deformazione del 2% a 50 anni	EN1606	kPa	CC(2,5/2/50)	-	-
Resistenza alla diffusione del vapore	EN12086	μ	MU	20 - 30	Dich.
Absorbimento d'acqua per immersione totale	EN12087	%	WL(T)	WL(T)3=±3	-
Absorbimento d'acqua per diffusione e condensazione	EN12088	%	WD(V)	-	-
Requisiti ETICS - EN 13499					
Absorbimento d'acqua limite per immersione parziale	EN1609	Kg/m ²	Wlp	≤0,5	≤0,5
Resistenza alla trazione perpendicolare delle facce	EN1607	kPa	TR	≥100	≥100
Resistenza al taglio	EN12090	kPa	fk	≥60	≥20
Modulo di taglio	EN12090	kPa	Gm	≥1000	≥1000
Altre caratteristiche					
Coefficiente di dilatazione termica lineare	-	K ⁻¹	-	65 x 10 ⁻⁶	-
Massa volumica apparente	-	Kg/mc	ρ	-	-
Capacità termica specifica	EN10456	J/kgK	Cp	1450	-
Temperatura limite di esercizio	-	°C	-	80	-
Colore	-	-	-	Bianco	-

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

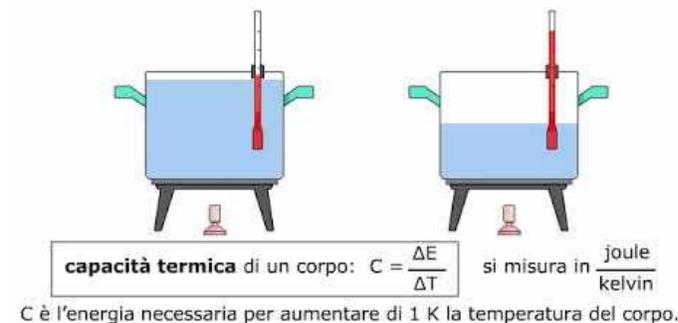
Conducibilità termica: o conduttività termica, è una grandezza fisica che misura l'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore attraverso la conduzione termica, quando i contributi al trasferimento di calore per convezione e per irraggiamento termico siano trascurabili [λ]



Densità: è il rapporto tra la massa e il volume di un dato materiale [ρ]



Calore specifico: esprime la quantità di calore necessaria per innalzare di 1°C la temperatura di una massa di 1 kg della sostanza desiderata. Il calore specifico permette di determinare il calore assorbito o ceduto in funzione della massa e della variazione di temperatura [c]

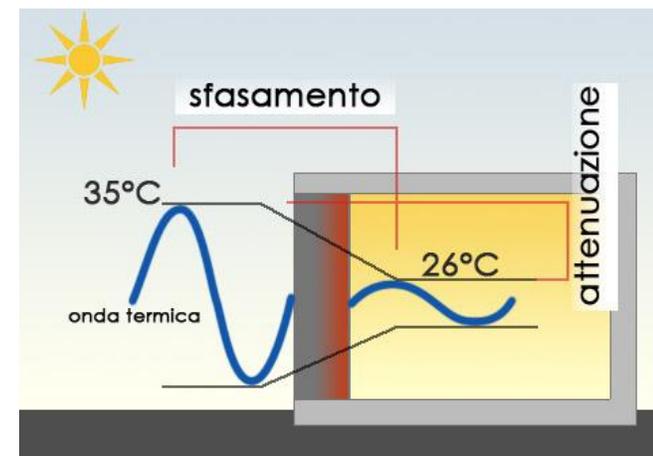
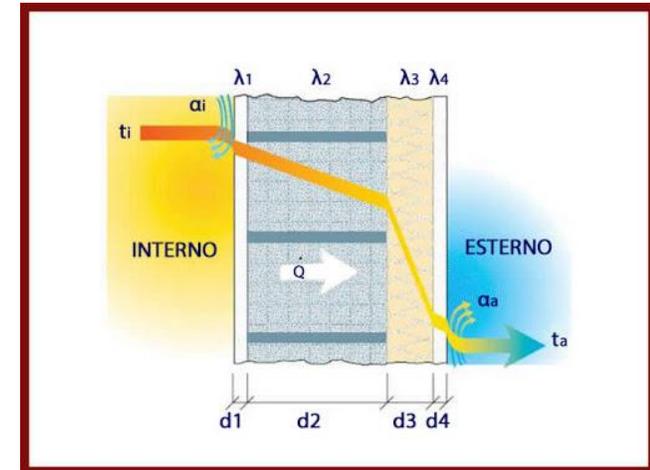


PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

Riprendendo il concetto delle sollecitazioni termiche...

Se prevale il contributo costante nel tempo, l'attitudine del materiale sarà quella di trasmettere calore (condizione tipicamente invernale) → parametro di riferimento: trasmissione termica.

Se prevale il secondo contributo, variabile nel tempo, proporzionale alle differenze tra i valori istantanei ed il valore medio delle sollecitazioni, diventa importante valutare la capacità di accumulo della parete → parametro di riferimento: capacità termica.



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

	Materiali plastici	Materiali minerali	Materiali organici
	<i>Polistirene espanso EPS, Polistirene espanso estruso XPS, Poliuretano PUR, Fibre di polietilene PE</i>	<i>Lana di roccia, Schiuma minerale, calcio silicato, vetro cellulare, fibra di vetro, perlite, argilla espansa</i>	<i>Canapa, lana di pecora, cellulosa, sughero, fibra di legno, lino, mais o paglia</i>
Conducibilità termica	ELEVATA	INTERMEDIA	MEDIO-ALTA
Densità	BASSA	MEDIA	ALTA
Calore specifico/sfasamento	BASSO	INTERMEDIA	ALTO
Durata nel tempo	MEDIO-ALTA	BASSA	ALTA
Traspirazione	BASSA	BUONA	BUONA
Resistenza all'acqua	BUONA		
Classe di reazione al fuoco	BASSA	ALTA	BASSA
Resistenza a compressione	BASSA	ALTA	BASSA
Posa in opera	FACILE	MEDIA	
Isolamento acustico	BASSO	BUONO	BUONO
Costo	BASSO	MEDIO	ALTO
Applicazioni	<u>CAPPOTTO ESTERNO</u> Correzione ponti termici Coibentazione luoghi non caldi Strutture conto terra o vespai <u>NO</u> Zone con elevata salsedine e umidità Isolanti interni	<u>TUTTE LE APPLICAZIONI</u>	<u>CAPPOTTO INTERNO</u> <u>CONTROSOFFITTI</u> <u>SOLAI</u>

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

	Materiali plastici			Materiali minerali	Materiali organici	
	<i>Polistirene espanso EPS</i>	<i>Polistirene espanso estruso XPS</i>	<i>Poliuretano PUR</i>	<i>Lana di roccia</i>	<i>Fibra di legno</i>	<i>Sughero Espanso Tostato (ICB)</i>
<i>Conducibilità termica</i>	OTTIMA 0,032-0,056 W/m K	OTTIMA 0,03-0,04 W/m K	OTTIMA 0,024-0,034 W/m K	MEDIO-BUONA 0,033-0,054 W/m K	MEDIO-BUONA 0,033-0,08 W/m K	MEDIA 0,036-0,06 W/m K
<i>Densità</i>	10-50 kg/mc	25-65 kg/mc	25-100 kg/mc	20-200 kg/mc	30-300 kg/mc	100-200 kg/mc
<i>Calore specifico (performance estiva)</i>	SCARSA 1250-1500 J/kg K	MEDIA 1300-1700 J/kg K	MEDIA 1400-1500 J/kg K	SCARSA 800-1030 J/kg K	ELEVATO 1600-2100 J/kg K	ELEVATO 1600-1800 J/kg K
<i>Durata nel tempo (anni)</i>	10	20	20	10	20	20
<i>Traspirazione (resistenza al vapore)</i>	ELEVATA 20-100	ELEVATA 70-200	ELEVATA 30-200	SCARSA 1-2	SCARSA 2-10	SCARSA 2-10
<i>Resistenza all'acqua</i>	ALTA	ALTA	MEDIA			
<i>Classe di reazione al fuoco</i>	SCARSA	SCARSA	MEDIA	ALTA	SCARSA	SCARSA
<i>Resistenza a compressione</i>	SCARSA 0,6-2 kg/cmq	BUONA 1,5-7 kg/cmq	BUONA 1-5 kg/cmq	SCARSA 0,6-2 kg/cmq	SCARSA 0,4-2 kg/cmq	SCARSA 1-2,5 kg/cmq
<i>Posa in opera</i>					ALTI SPESSORI	
<i>Isolamento acustico</i>	NO	NO		SI	SI	SI
<i>Costo</i>	35-60 €/mq	45-80 €/mq	40-70 €/mq	45-80 €/mq	60-90 €/mq	60-100 €/mq
<i>Applicazioni</i>	- Cappotto esterno Tetti in luoghi freddi Strutture contro-terra Vespai	- Cappotto esterno Tetti (piani e rovesci) Strutture contro-terra Vespai	- Cappotto esterno Tetti in luoghi freddi Strutture contro-terra Vespai	- Cappotto Isolamento interno Coperture Strutture a rischio incendio	- Cappotto Isolamento interno Coperture in zone calde	-

CONFRONTO TRA I MATERIALI DA COSTRUZIONE



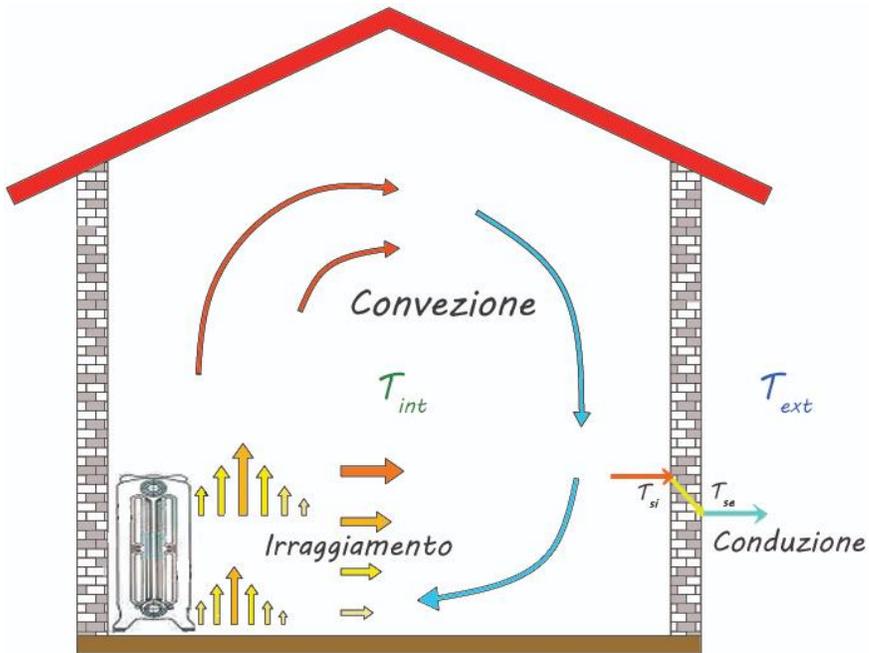
MATERIALE	λ W/mK	c J/kgK	ρ kg/m ³	μ (.)
Canapa	0,040	612	22	2
Cellulosa	0,040	2088	30	1
Fibra di Legno (bassa densità)	0,040	2088	50	5
Fibra di Legno (alta densità)	0,045	2088	> 140	10
Fibra di legno mineralizzata	0,100	1800	> 400	4
Lana di pecora	0,040	1728	28	2
Lana di roccia (bassa densità)	0,040	900	30	1
Lana di roccia (alta densità)	0,040	900	> 90	1
Lana di vetro	0,040	900	30	12
Lino	0,040	1600	30	1
EPS	0,040	1260	25	50
EPS graffitato	0,031	1260	20	30-70
XPS	0,035	1260	35	80-230
PUR	0,030	1260	35	80
Sughero	0,045	1800	100	10

valori indicativi da confermare con le schede tecniche dei singoli prodotti commerciali



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

Riprendiamo i concetti di trasmissione del calore...



$$Q = -kA \frac{\theta_2 - \theta_1}{s} \Delta\tau$$

$$\Phi = Ah_c (\theta_p - \theta_\infty)$$

$$\Phi = Ah_r (\theta_2 - \theta_1)$$

$$Q = UA\Delta T$$

Differenza di temperatura [K]

Superficie di scambio [m²]

U?

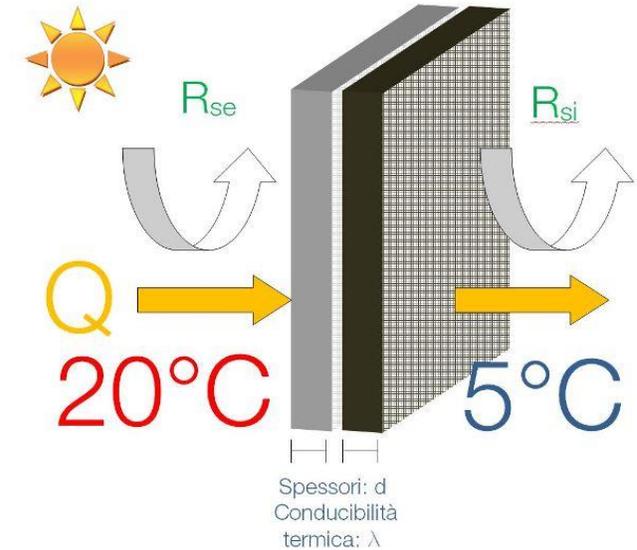


PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

U = Trasmittanza termica

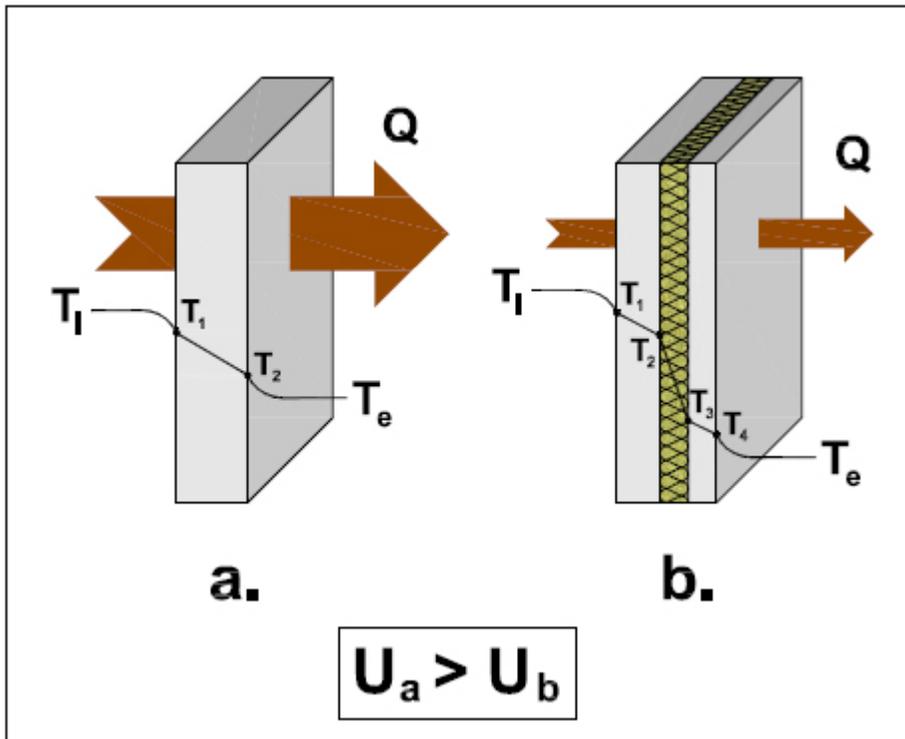
Indica la quantità di calore che passa attraverso 1 m² di superficie, quando la differenza di temperatura dell'aria aderente alle due facce della parete è pari a 1 Kelvin.

$$Q = UA\Delta T$$



$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s,e} + R_s + R_{s,i}}$$

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO



TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s,e} + R_s + R_{s,i}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

Contributo conduzione

Contributo convezione

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

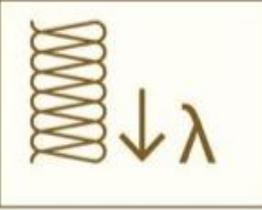
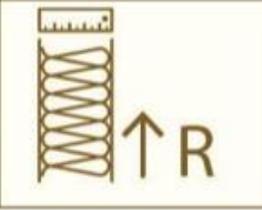
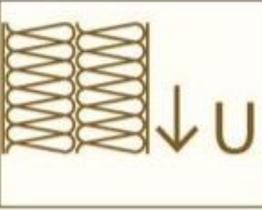
$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s,e} + R_s + R_{s,i}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

- $R_{s,e}$: resistenza liminare della superficie esterna della struttura ($\text{m}^2 \text{K/W}$)
- $R_{s,i}$: resistenza liminare della superficie interna della struttura ($\text{m}^2 \text{K/W}$)
- R_s : resistenza complessiva degli strati che compongono il componente opaco ($\text{m}^2 \text{K/W}$)

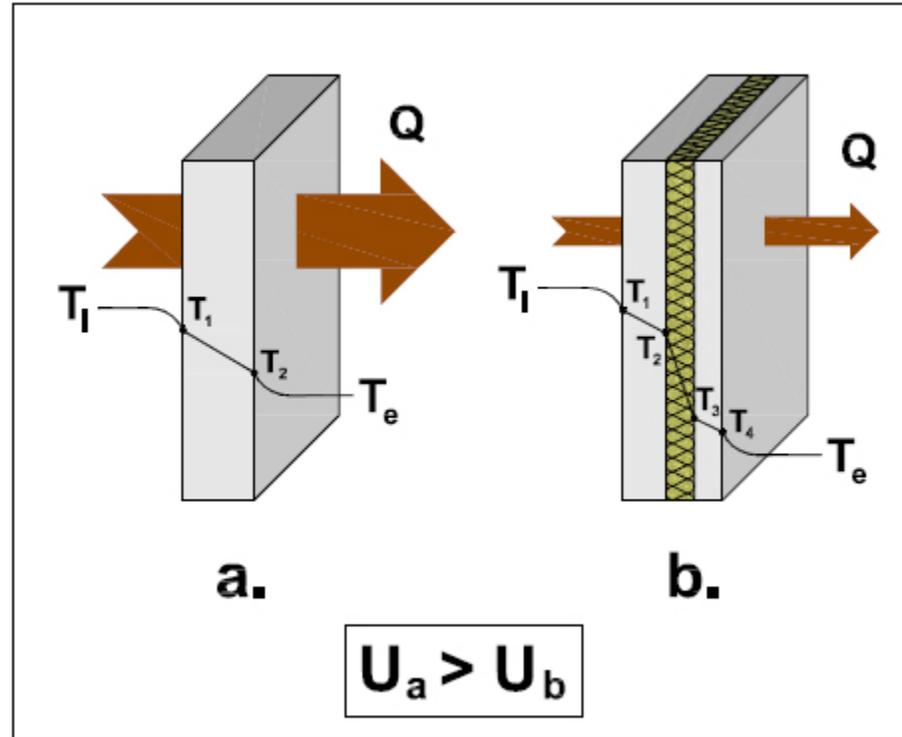
- h_e : coefficiente di scambio termico convettivo esterno ($\text{W/m}^2 \text{K}$)
- s_i : spessore dello strato i-esimo (m)
- λ_i : conducibilità dell'i-esimo strato (m K/W)
- h_i : coefficiente di scambio termico convettivo interno ($\text{W/m}^2 \text{K}$)

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s,e} + R_s + R_{s,i}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

Conducibilità termica	λ	Al diminuire di λ aumenta il potere isolante del materiale	
Resistenza termica	R	All'aumentare di R aumenta il potere isolante del materiale	
Transmittanza termica	U	Al diminuire di U aumenta il potere isolante del materiale	

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO



...A quanto equivale la trasmittanza di una parete opaca?

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

ESEMPI

Conducibilità termica standard per pareti esistenti [W/mK]

TIPO DI MURATURA	ANNO DI COSTRUZIONE	λ-VALORE EQUIVALENTE
 Muratura in pietra	--	2,3
 Mattoni pieni	--	0,9
 Blocchi di pietra arenaria	dal 1958	1,3
 Muratura a cassa vuota in mattoni pieni con intercapedine d'aria centrale	fino al 1918	0,97 (intercapedine compresa)
	dal 1919	0,72 (intercapedine compresa)
 Blocchi di calcestruzzo alleggerito	fino al 1957	0,68
	1958 - 1968	0,61
	dal 1969	0,57
 Mattoni forati	fino al 1968	0,60
	1969 - 1978	0,44
	dal 1979	0,37
 Blocchi in argilla espansa	dal 1969	0,38
 Blocchi di calcestruzzo cellulare autoclavato	dal 1979	0,23

Come otteniamo questi valori?

Facciamo un esempio numerico!

EXAMPLES

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

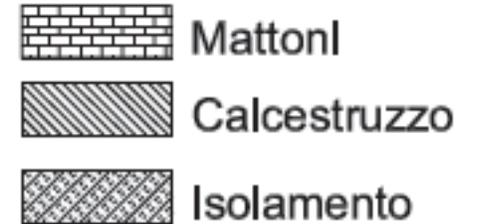
- h_e : coefficiente di scambio termico convettivo esterno ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$) = $7,7 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$
- s_i : spessore dello strato i -esimo (m)
- λ_i : conducibilità dell' i -esimo strato ($\text{m K}/\text{W}$)
- h_i : coefficiente di scambio termico convettivo interno ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$) = $25 \text{ W}/\text{m}^2 \text{K}$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7,7} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,3}{0,36} + \frac{0,025}{1,0} + \frac{1}{25}} = 0,953 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

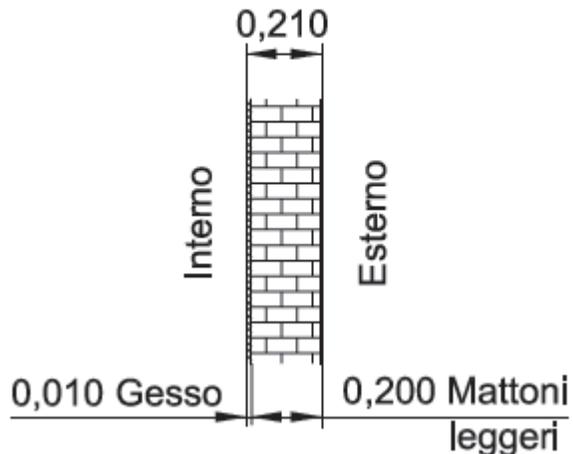
PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

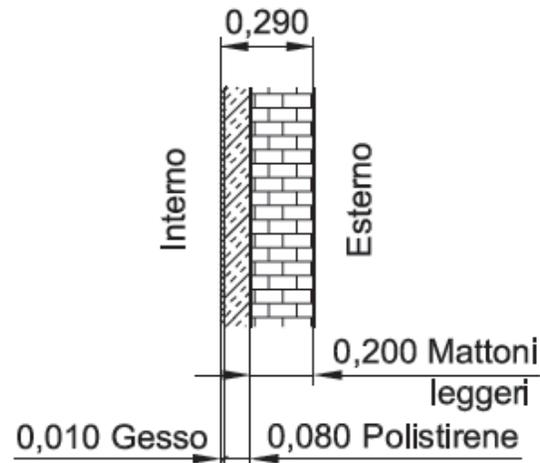
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$



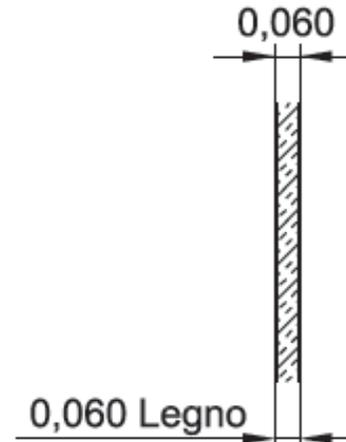
Struttura n° 3
Parete esterna non isolata



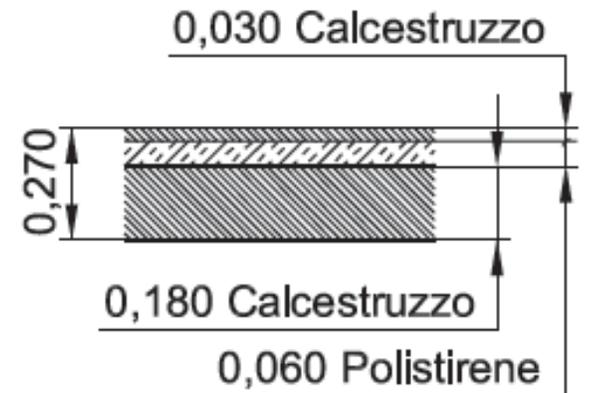
Struttura n° 1
Parete esterna isolata



Struttura n° 21
Porta esterna



Struttura n° 17
Pavimento del piano terreno



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

Conduktivität der Materialien		
Codice del materiale	Descrizione	λ
		W/m×K
1	Mattoni leggeri	0,8
2	Calcestruzzo	1,75
11	Gesso	0,35
13	Intonaco di cemento	1,15
21	Polistirene	0,043
23	Lana di roccia	0,042

Resistenze superficiali (tra l'aria e le strutture)		
Codice del materiale	Descrizione	R_{si} o R_{se}
		m ² ×KW
41	Strato d'aria non ventilato $s= 40$ mm	0,18
61	Resistenza superficiale interna (flusso di calore orizzontale)	0,13
62	Resistenza superficiale esterna (flusso di calore orizzontale)	0,04
63	Resistenza superficiale interna (flusso di calore verso l'alto)	0,10
66	Resistenza superficiale interna (flusso di calore verso il basso)	0,17

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

STRUTTURA N° 6: DESCRIZIONE: Muratura di laterizio semipieno				
Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Conduktività [W/(m × K)]
	1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	0,7
	2	Blocchi in laterizio	1 200	0,43
	3	Intonaco esterno	1 800	0,9
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Spessori tipici da 20 cm a 30 cm.

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

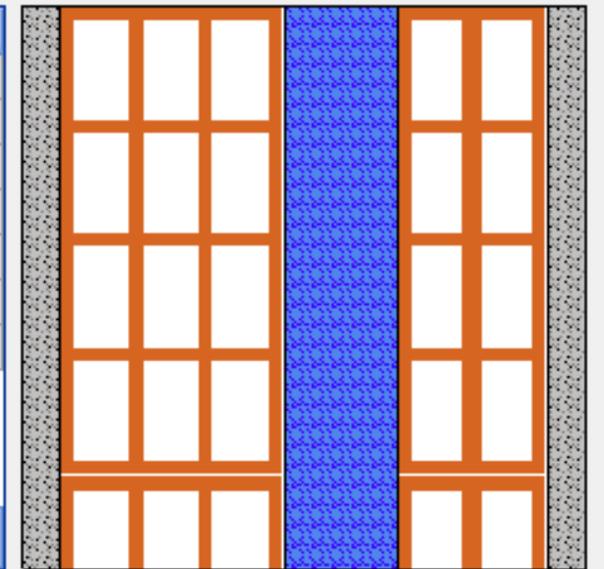
STRUTTURA N° 10: DESCRIZIONE: Muratura a cassa vuota						
Sezione struttura		Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Spessore cm	Conduktività [W/(m × K)]
		1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	2	0,70
		2	Mattoni forati	800	12	0,30
		3	Intercapedine d'aria	-	6 - 12	
		4	Mattoni forati	800	25	0,30
		5	Intonaco esterno	1 800	2	0,90
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
Spessori variabili da 47 cm a 53 cm (in funzione dell'intercapedine).						
Spessori variabili da 30 cm a 36 cm (in funzione dell'intercapedine).						

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI OPACHI

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

Descrizione (dall'interno verso l'esterno)	R [m²K/W]	s [cm]	
Resistenza superficiale interna	0,130		
Intonaco di gesso (1300 kg/m³)	0,035	2,0	☉
Mattone forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	0,311	12,0	☐
Aria intercapedine flusso orizzontale 60 mm	0,183	6,0	☐
Mattone forato di laterizio (250*80*250) spessore 80	0,200	8,0	☐
Cemento e sabbia	0,020	2,0	☉
Resistenza superficiale esterna	0,040		
Totale:		0,919	30,0



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI TRASPARENTI

A_g = area del vetro [m ²]
U_g = trasmittanza termica del vetro [W/m ² K]
g = glazing (vetro)

A_f = area del telaio [m ²]
U_f = trasmittanza termica del telaio [W/m ² K]
f = frame (telaio)

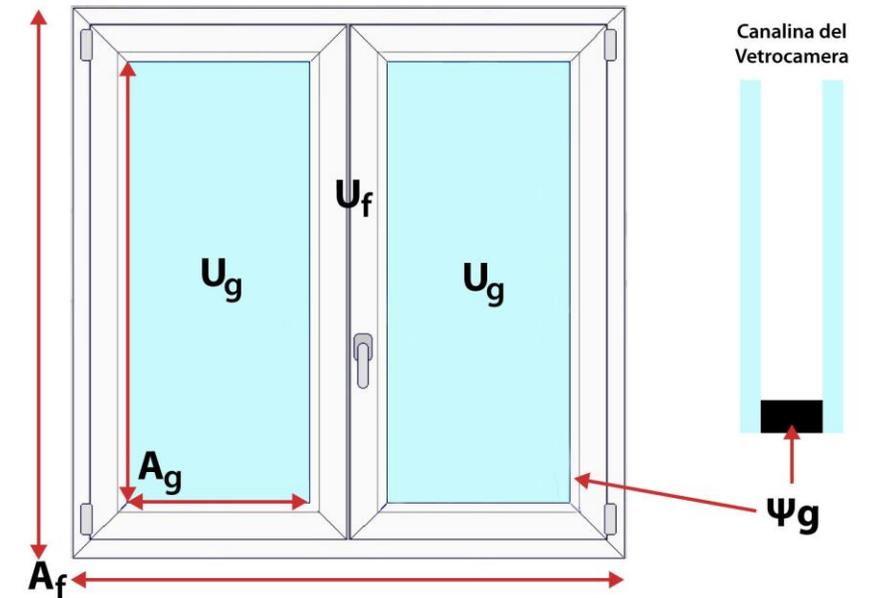
L_g = perimetro del profilo [m ²]
ψ_g = trasmittanza termica lineica [W/mK]
g = glazing (vetro)

U_w = trasmittanza termica finestra [W/m ² K]
W = window (riferito al totale della finestra)

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

A_g = area del vetro [m ²]
g = glazing (vetro)

A_f = area del telaio [m ²]
f = frame (telaio)



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI TRASPARENTI

Tabella 1

Tipo di vetrata	U _g	U _w con area del telaio pari al 20% rispetto all'area dell'intera finestra in rapporto ai differenti valori U _f del telaio								U _w con area del telaio pari al 30% rispetto all'area dell'intera finestra in rapporto ai differenti valori U _f del telaio							
		1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0	4,5	4,6	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
4-6-4	3,3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	4,5
4-9-4	3,1	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,9	2,9	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	4,3
4-12-4	2,9	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,8	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	4,2

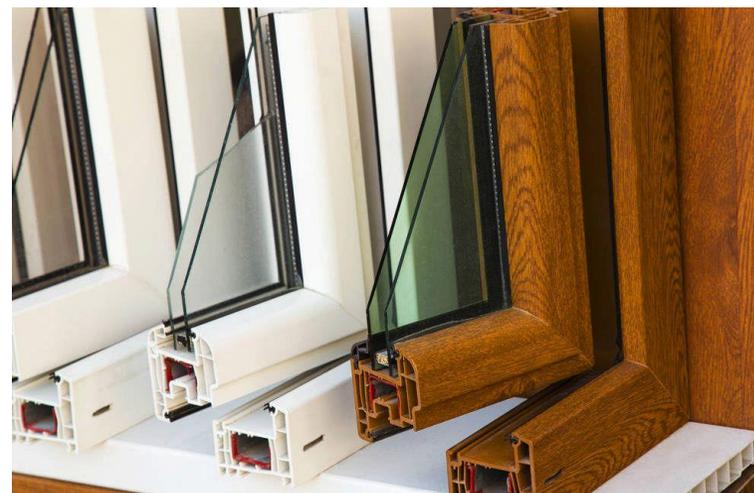


Tabella 2

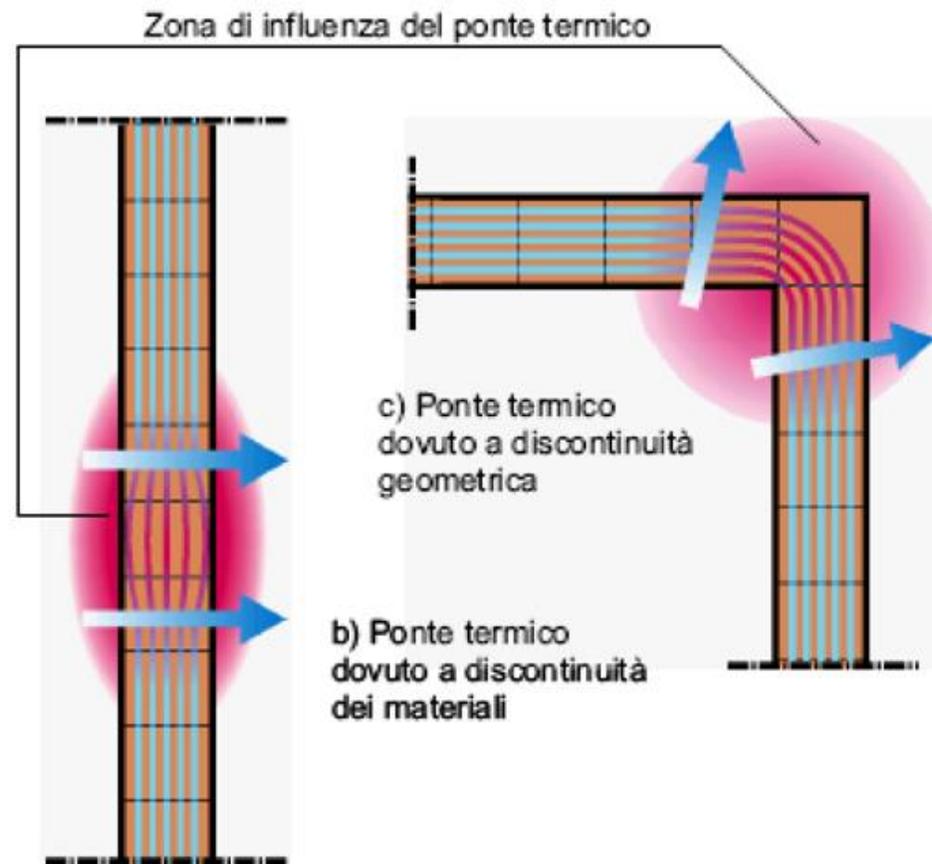
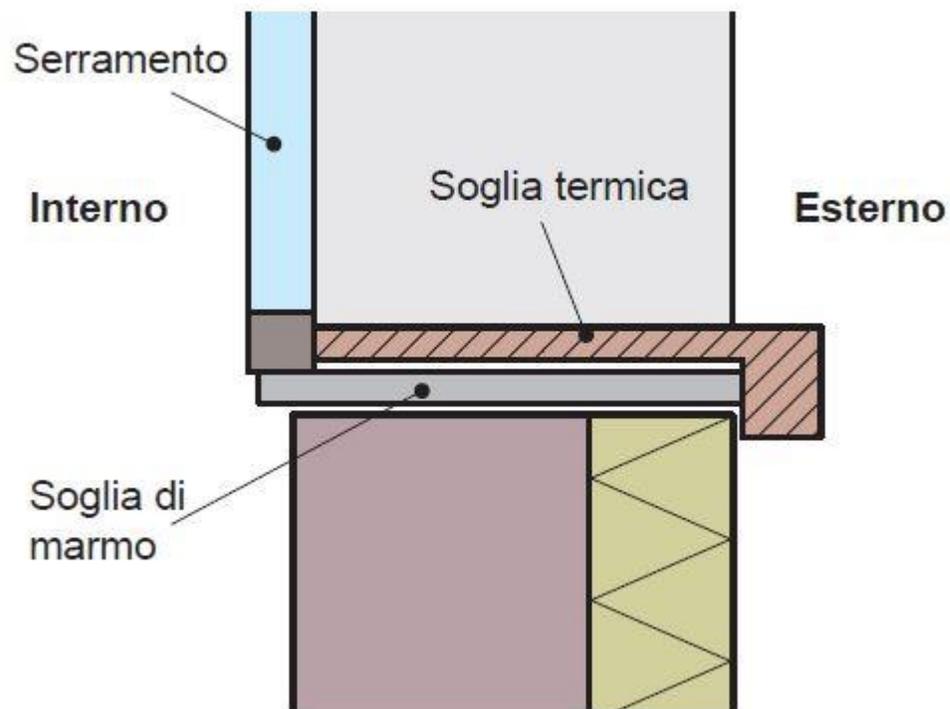
Tipo di materiale del telaio	Valore U _f del telaio	
Legno duro (rovere, mogano, iroko)	spessore mm. 50	2,4
	spessore mm. 60	2,2
	spessore mm. 70	2,1
Legno tenero (pino, abete, larice, douglas, hemlock)	spessore mm. 50	2,0
	spessore mm. 60	1,9
	spessore mm. 70	1,8
Pvc a due camere	2,2	
Pvc a tre camere	2,0	
Pvc (telai da 58- 80 mm)	compreso tra 1,2 e 1,7	
Alluminio senza taglio termico	7,0	
Alluminio a taglio termico	compreso tra 2,2 e 3,8	



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

TRASMITTANZA COMPONENTI TRASPARENTI

E la trasmittanza termica lineica cos'è?



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

CHIUSURE OSCURANTI E SCHERMATURE SOLARI



Tapparelle



Persiane



Veneziane



Tende



Tettoie

Che differenza c'è?



Tipo di schermo	Resistenza termica ΔR (Delta R)
Finestra non protetta	0
Tapparelle in alluminio	0,12
Tapparelle in PVC non coibentato	0,16
Tapparelle in alluminio coibentato	0,17
Tapparelle in PVC coibentato	0,19
Tapparelle in legno	0,19
Chiusure a stecche aperte, fisse	0,08
Persiane in alluminio	0,12
Persiane in alluminio coibentate	0,22
Persiane in legno	0,22

* Fonte: ENEA, "Software chiusure oscuranti"

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

SCHEMATURE SOLARI

Le *schermature solari* sono sistemi atti a diminuire la radiazione solare incidente sulla superficie e possiedono un fattore di trasmissione solare g_{tot} minore di 0,35. Esso rappresenta la q quantità di energia solare che entra rispetto all'energia incidente totale.

Il materiale utilizzato deve avere buone qualità in termini di *assorbanza* (quantità di luce assorbita), *trasmissione* (quantità di luce trasmessa) e *riflettanza* (quantità di luce riflessa).



PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO



Schermature fisse o mobili:

- ❖ *fisse*: nel primo caso, oltre a diminuire la superficie del serramento esposta ai raggi solari, la schermatura è un elemento solidale con la parete esterna;
- ❖ *mobili*: nel secondo, il sistema è capace di intercettare i raggi solari per evitare che entrino nell'ambiente o per trasferirli in zone buie.

In base alla posizione:

- ❖ *interne*: ad esempio tende o lamelle direzionabili. Non hanno elevata efficienza poiché bloccano la radiazione solo dopo che essa abbia attraversato l'elemento vetrato, ma sono molto economiche e facili nell'installazione.
- ❖ *esterne*: permettono di bloccare completamente la radiazione prima che giunga alla vetrata, infatti hanno prestazioni più elevate rispetto a quelle interne. Alcuni esempi sono i frangisole e le tende da sole;
- ❖ *integrate*: posizionate tra le due lastre del vetro, sono sistemi che andranno valutati in fase progettuale. Esempi sono i sistemi di facciata riflettenti o a lamelle orientabili.

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

CHIUSURE OSCURANTI



Le *chiusure oscuranti* non solo riducono la radiazione solare, ma apportano anche resistenza termica all'infisso. Esse possono essere inserite, a differenza delle schermature solari, per tutti gli orientamenti.

Esse agiscono in particolar modo di notte, nella stagione invernale, per contenere le dispersioni termiche. Tali sistemi sono di notevole utilità sia per l'aumento dell'isolamento termico e acustico sia per la difesa dell'edificio, prevenendo così intrusioni di possibili ladri. Esempi di oscuranti:

- ❖ *gli scuri*: sono un tipo di persiana speciale, capace di assicurare protezione dagli agenti atmosferici e consentire una perfetta gestione della luce interna;
- ❖ *gli avvolgibili*: formati da stecche orizzontali che scorrono tra due guide poste ai lati, presentano un rullo intorno a cui si chiudono, posizionato nella parte alta della finestra, e possiedono elevato livello di oscuramento.

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

CHIUSURE OSCURANTI

Le tapparelle oscuranti hanno diverse funzioni:

- la *protezione dai raggi solari*
- la protezione dal conseguente *surriscaldamento*
- regolare il passaggio di luce
- proteggere i mobili e i pavimenti dal danneggiamento dovuto alla polvere e alle radiazioni

Assicurano inoltre elevato comfort sia in inverno che in estate.

