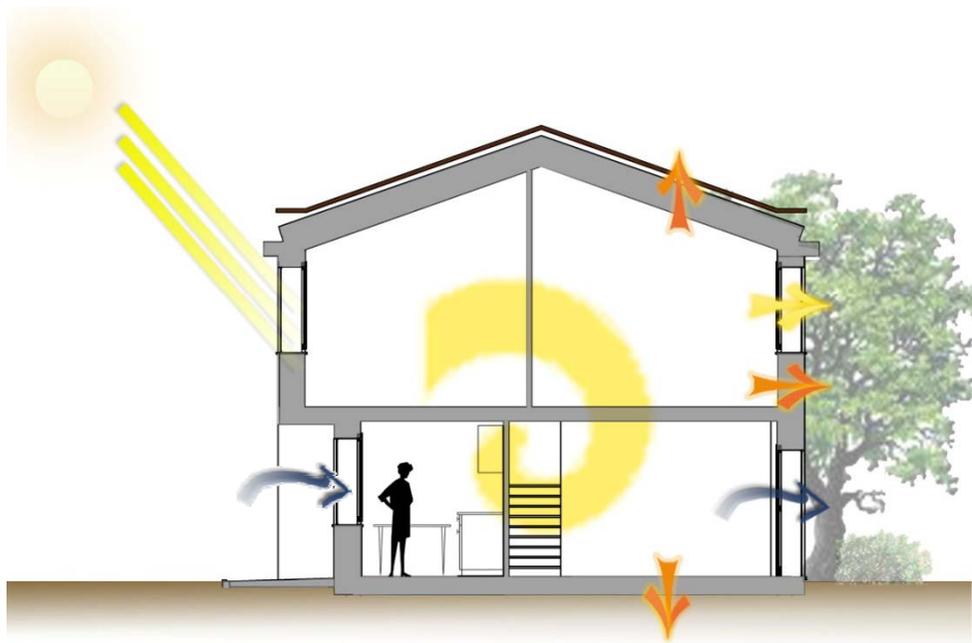


Bilancio Energetico

L'**involucro dell'edificio** deve essere considerato come un elemento attivo, in grado di reagire in maniera opportuna alle condizioni climatiche esterne.

Deve essere capace, quindi, di garantire il corretto livello di comfort interno minimizzando il ricorso a fonti energetiche non rinnovabili per la climatizzazione degli ambienti.



Obiettivi

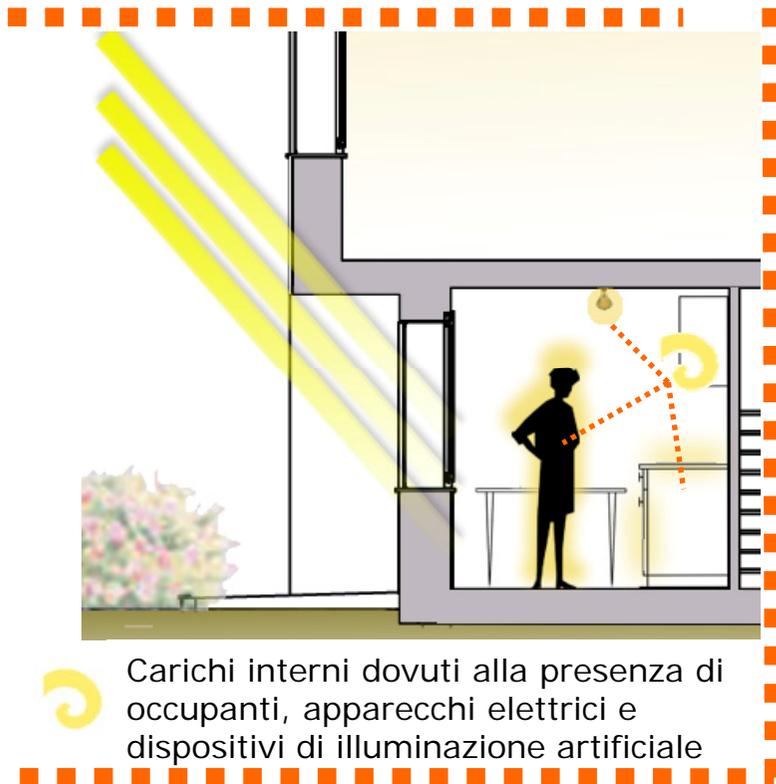
- Riduzione delle dispersioni in inverno
- Riduzione dei carichi termici in estate

In fase progettuale il bilancio energetico permette di determinare il fabbisogno energetico dell'edificio attraverso la valutazione dei carichi e delle perdite termiche.

Ottimizzando le caratteristiche dell'involucro sarà possibile ottenere una riduzione del quantitativo di energia necessaria per climatizzare l'edificio stesso.



Bilancio Energetico

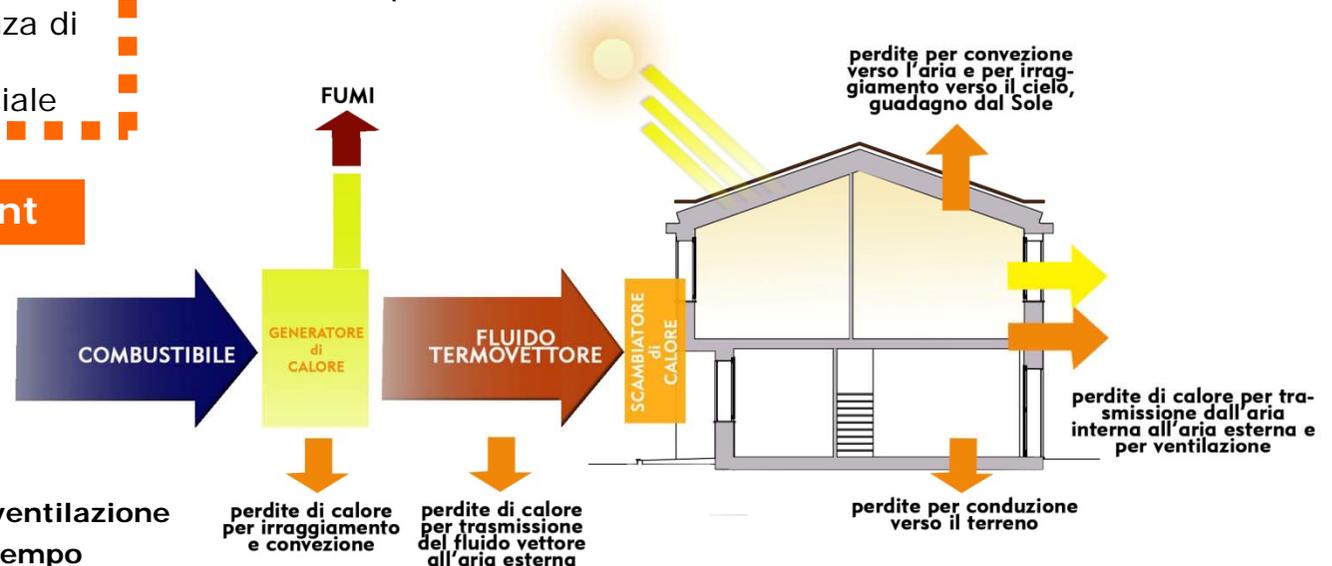


$$Q_f + Q_s + Q_i - Q_d - Q_v = \Delta E_{int}$$

- Q_f = Flusso calore fornito dall'impianto
- Q_s = Flusso calore da radiazione solare
- Q_i = Flusso calore dall'interno
- Q_d = Flusso calore disperso dall'involucro
- Q_v = Flusso calore disperso attraverso la ventilazione
- ΔE_{int} = Variazione di Energia interna nel Tempo

Una progettazione "energeticamente" efficiente:

- A** Favorisce lo sfruttamento dei fattori climatici che possono fornire un contributo positivo al bilancio energetico dell'edificio e migliorare le condizioni di comfort interno.
- B** Tiene in considerazione i carichi termici determinati dalla presenza di occupanti, di apparecchi di illuminazione e di dispositivi elettronici (ad es. elettrodomestici).
- C** Determina il corretto dimensionamento del sistema di climatizzazione consentendo di mantenere all'interno dello spazio confinato condizioni di benessere.



Tecnologie per l'Involucro



RIDUZIONE DELLE DISPERSIONI TERMICHE +
DIMINUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI +
MAGGIOR COMFORT INTERNO =

IDONEO ISOLAMENTO TERMICO

Tra gli isolanti di ultima generazione ricordiamo i materiali a cambiamento di fase (PCM):

- in estate i PCM passano, durante il giorno, dalla fase solida a quella liquida, immagazzinando il calore in eccesso che altrimenti surriscalderebbe l'ambiente;
- in inverno il calore accumulato, attraverso il cambiamento di fase, viene rilasciato verso l'ambiente interno nelle ore serali, aumentando la temperatura dell'aria interna.

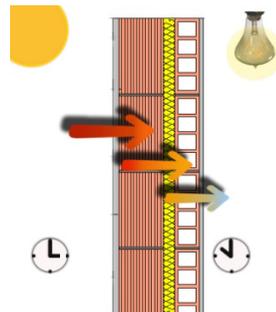
CAPACITA' DI OPPORSI ALLE VARIAZIONI
TERMICHE ESTERNE +
DIMINUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI +
MAGGIOR COMFORT INTERNO =

ELEVATA MASSA TERMICA

Oggi è possibile scegliere tra molteplici tipologie di isolanti naturali: lana di pecora, sughero, lana di vetro, fibra di legno...

MASSA TERMICA: estate

Sfasamento dei carichi termici nelle ore notturne, quando la dissipazione avviene più facilmente grazie alla ventilazione



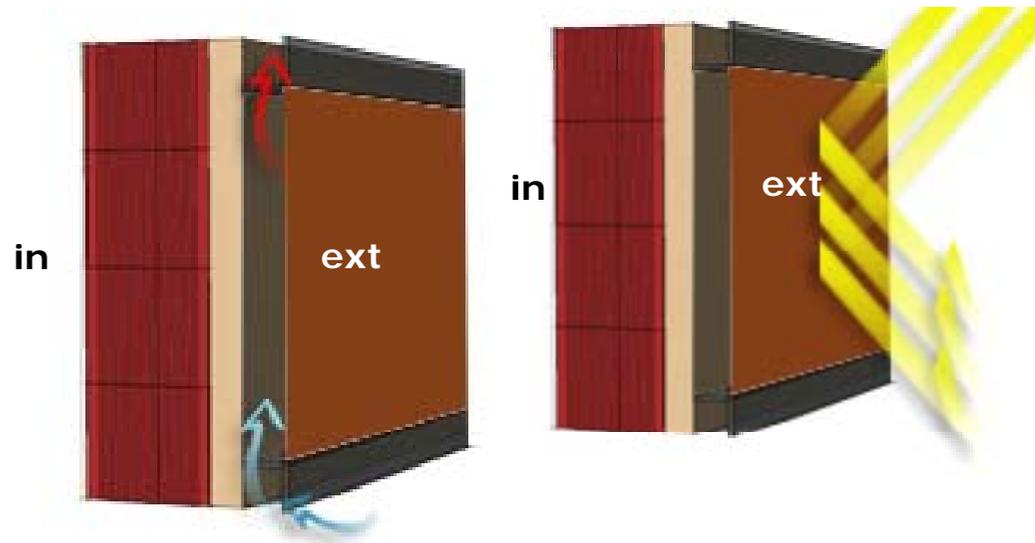
inverno



Prestazione inerziale della muratura in relazione alla disposizione dello strato isolante

Tecnologie per l'Involucro

La tecnologia della parete ventilata.



INTERNO

- Muratura di tamponamento
- strato di materiale isolante
- intercapedine d'aria
- rivestimento esterno

ESTERNO

Nell'intercapedine d'aria, interposta tra il rivestimento esterno ed il pacchetto murario, si determina un flusso d'aria dal basso verso l'alto (effetto camino) che permette di dissipare il calore accumulato sulla superficie muraria evitandone la trasmissione agli ambienti interni.

DIMINUZIONE DISPERSIONI TERMICHE

+

OTTIMA TRASPIRABILITÀ
DEL TAMPONAMENTO

+

ELIMINAZIONE PONTI TERMICI

=

RISPARMIO ENERGETICO PER
CLIMATIZZAZIONE

Il sistema della parete ventilata può essere applicato sia su edifici di nuova costruzione che nella riqualificazione di edifici esistenti. Il montaggio della parete avviene infatti assemblando a secco i vari componenti (attraverso viti, saldature, ganci).

BENEFICI

- Protezione dello strato murario
- Diminuzione dell'effetto del surriscaldamento estivo sulla muratura
- Smaltimento dell'umidità dalla muratura
- Risparmio energetico per la climatizzazione
- Incremento del livello di comfort
- Ridotta trasmissione dei rumori esterni verso l'interno

Tecnologie per l'Involucro

Radiazione solare



Le superfici vetrate

Le vetrate sono elementi attraverso i quali si disperde più facilmente il calore, ma anche delle trappole di energia (per le lunghezze d'onda appartenenti alla banda dell'infrarosso).

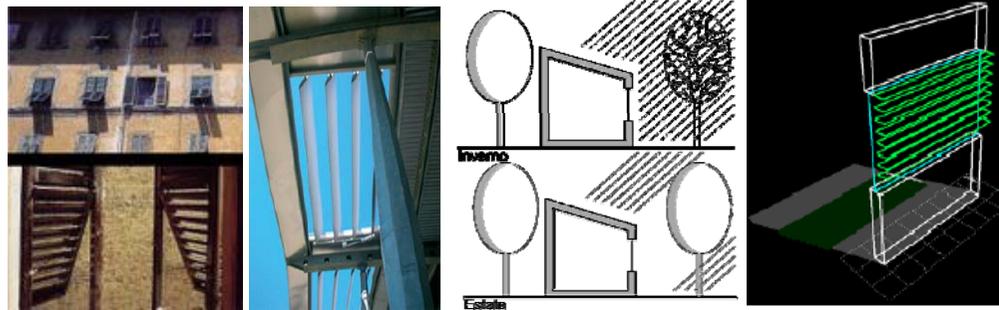
Inverno ed Estate

In inverno l'apporto calorico costituisce un notevole contributo energetico, al contrario, durante la stagione più calda sarà necessario predisporre sistemi di ombreggiatura, preferibilmente esterni, quali elementi aggettanti e lamelle frangisole.

Strategie

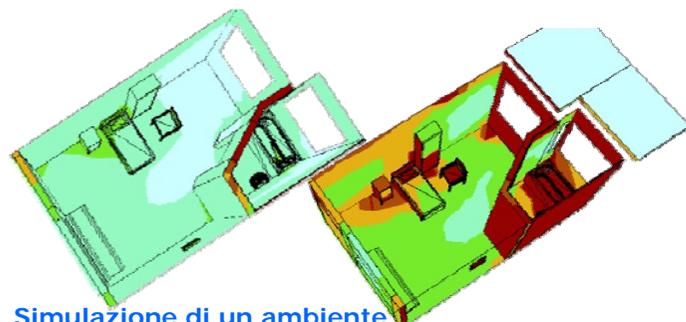
Per ovviare al problema del surriscaldamento, caratteristico della zona climatica a cui appartiene la Sardegna, attraverso la disposizione corretta e l'ideale dimensionamento delle aperture dovrà essere garantita, inoltre, una buona ventilazione naturale.

Con i suddetti accorgimenti si contribuirà alla riduzione dei consumi energetici determinati dall'utilizzo dei dispositivi di climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) durante l'arco dell'intero anno.



Tipologie di schermatura esterna

- Fisse
- Mobili
- Orizzontali (Sud)
- Verticali (Ovest- Est)
- Tecnologiche
- Naturali

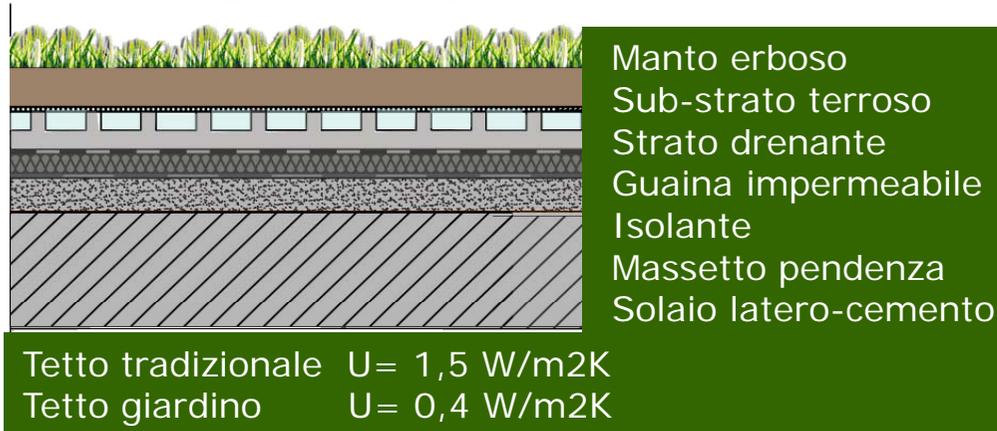


Simulazione di un ambiente con e senza aggetto esterno



Tecnologie per l'Involucro

La tecnologia del tetto giardino



MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI COMFORT DIMINUZIONE DEI COSTI ENERGETICI



BENEFICI

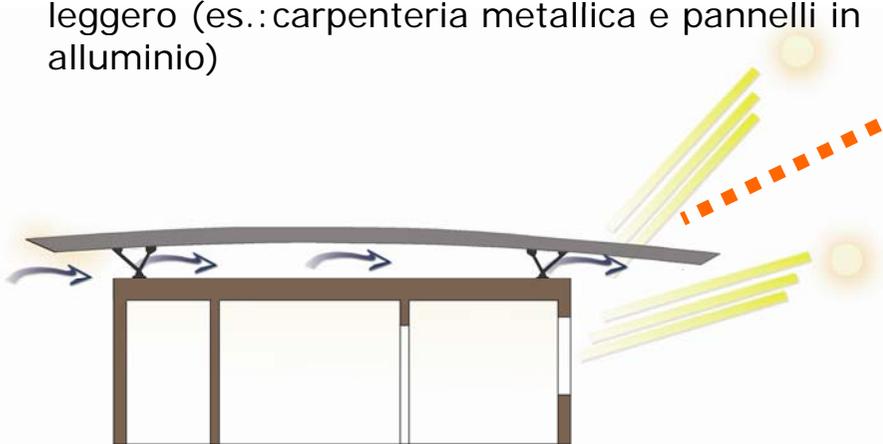
- Uso di una tecnologia ecologica, caratterizzata da materiali riciclabili o provenienti da compostaggio
- Abbassamento dell'escursione termica stagionale
- Trattenimento della polvere e pulizia dell'aria nell'ambiente urbano
- Maggiore isolamento acustico grazie alla presenza della vegetazione (abbattimento fino a 3dB verso l'esterno e fino ad 8dB all'interno degli ambienti sottostanti).
- Miglioramento del microclima interno (raffrescamento) grazie ai processi di evaporazione e di evapotraspirazione
- Prolungamento della funzionalità della copertura
- Maggior isolamento dell'elemento di copertura
- Notevole aumento della massa termica

Tecnologie per l'Involucro

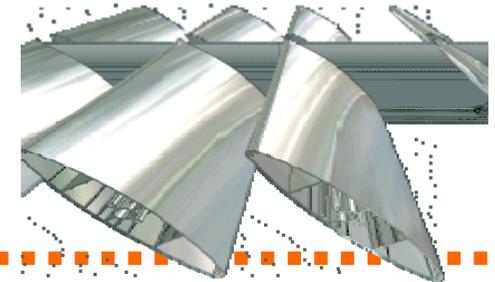
La tecnologia della doppia copertura

La doppia copertura è costituita da:

- un primo solaio di tipo tradizionale (es.: latero-cemento)
- una seconda copertura realizzata in materiale leggero (es.: carpenteria metallica e pannelli in alluminio)



- Nella seconda copertura, sul lato maggiormente esposto alla radiazione solare (Sud) è possibile predisporre lamelle frangisole orientabili che, impedendo l'ingresso della radiazione solare diretta, limitano il surriscaldamento degli ambienti interni.



BENEFICI

- Rapido smaltimento del calore
- Barriera alla radiazione solare verso l'interno
- Salvaguardia delle strutture del tetto
- Eliminazione dei fenomeni di condensa
- Prolungamento della funzionalità della copertura
- Risparmio energetico per climatizzazione
- Miglioramento del microclima interno

PRESTAZIONI TERMOFISICHE DI ISOLANTI TERMICI E LATERIZI

Prodotti isolanti termici

Le proprietà di isolamento termico di un prodotto si misurano attraverso il coefficiente di conduzione o conduttività termica λ (UNI 10351e UNI 12524)

Il coefficiente di conducibilità termica, rappresentando l'energia che per conduzione attraversa nell'unità di tempo lo spessore unitario del materiale per una differenza unitaria di t , definisce univocamente l'attitudine del prodotto a trasmettere il calore.

In funzione del valore assunto dal coefficiente λ i prodotti da costruzione si dividono in:

$\lambda < 0,065\text{W/mK}$	prodotti isolanti termici
$0,09 < \lambda < 0,065$	prodotti debolmente isolanti
$\lambda > 0,09\text{W/mK}$	prodotti non isolanti termici



Un prodotto è tanto più isolante quanto minore è λ

Prodotti isolanti termici

I prodotti isolanti si possono dividere nelle seguenti categorie:

- prodotti cellulari a celle chiuse non comunicanti fra loro (es. polistirolo espanso, poliuretano espanso, vetro cellulare espanso, calce espansa, ecc.)
- prodotti a celle aperte, *porosi*, di tipo granulare (es. argilla espansa, vermiculite espansa, ecc.)
- prodotti a celle aperte, *porosi*, di tipo fibroso (es. fibre di vetro, lana di roccia, fibra di cellulosa, lana di pecora, ecc.)
- materiali sotto vuoto

Prodotti isolanti termici

I principali parametri che influiscono sulla capacità isolante di un prodotto sono:

- la massa volumica - all'aumentare della massa volumica aumenta la capacità isolante
- capacità di assorbimento di acqua - all'aumentare della quantità di acqua assorbita diminuisce la capacità isolante in quanto l'aria fra le fibre o nelle celle viene sostituita dall'acqua
- diametro delle fibre e presenza di materiale "non fibrato" - la diminuzione del diametro delle fibre e l'assenza di materiale "non fibrato" aumenta la capacità isolante
- temperatura di esercizio - all'aumentare della temperatura diminuisce la capacità isolante in quanto aumentano i moti convettivi all'interno del prodotto

Scelta dell'isolante termico

La scelta di un isolante termico deve essere fatta dopo aver valutato attentamente i seguenti fattori:

- coefficiente di conducibilità termica
- diffusione del vapor acqueo
- massa volumica - resistenza meccanica
- calore specifico a pressione costante
- non contenere sostanze che possono corrodere i materiali con cui l'isolante viene a contatto
- resistenza al fuoco
- indice di attenuazione del rumore di calpestio
- assorbimento acustico
- facilità di posa in opera
- costo del prodotto

Alcuni isolanti termici

Alcuni fra i prodotti isolanti più utilizzati sono:

- Fibra di cellulosa
- Fibra di canapa
- Polistirene
- Sughero
- Fibra di legno
- Lana di pecora
- Isolanti sottovuoto

Fibra di cellulosa

La materia prima della fibra di cellulosa è la carta di giornale riciclata

La fibra di cellulosa è traspirante, igroscopica, ha un buon comportamento fonoisolante e fonoassorbente, non contiene sostanze tossiche e non provoca reazioni a contatto con la pelle.

La fibra di cellulosa in fiocchi viene applicata mediante insufflaggio direttamente in cantiere nelle intercapedini senza aggiunta di additivi ($s \geq 10$ cm).

Applicazioni: intercapedini di solai e coperture con struttura in legno, pareti divisorie interne, controsoffitti e sottotetti non praticabili.

I pannelli trovano applicazione in intercapedini di strutture lignee, cappotti interni, cappotti esterni ventilati, pareti divisorie interne, coperture ventilate, controsoffitti e sottopavimenti.



Fibra di cellulosa

PROPRIETA' TERMOFISICHE	Fiocchi	Pannelli	Unità
Massa volumica ρ	25 – 40 in piano 40–50 falda tetto 50 – 65 pareti	60 - 90	kg/m³
Conduttività termica λ	0,037 – 0,041	0,040	W/mK
Calore specifico c_p	1900 – 2000		J/kg K
Diffusione del vapore acqueo μ	1 – 3		-
U = 0,4 W/m²K	s = 10		cm
Diffusività termica	1,16 x 10 ⁻⁶	4,2 x 10 ⁻⁶	m²/s
Sfasamento per 10 cm di spessore	3,5	4,7	h



Edificio Brighenti a Tubre BZ)



Edificio Bonvicini a Bolzano



Fibra di cellulosa

Prodotto	Caratteristiche		Prezzo* €/m ²	Applicazioni
	λ [W/mK]	spessori [mm]		
Pannello fibra di cellulosa	0,039	30	8,05	
		40		
		50		
		60		
		80		
		100		
		120		
		140		
160				
Cellulosa da insufflare	0,040	Fiocchi da insufflare	152 (posato in opera)	
		Granuli	133	

Sughero

Il sughero si ricava dalla corteccia della quercia da sughero.

Il tessuto del sughero è costituito da milioni di cellule contenenti aria, questo conferisce al pannello leggerezza, elasticità, notevole resistenza a sollecitazioni fisiche e ottime proprietà di isolamento termoacustico.

Il sughero possiede un'elevata capacità di accumulo termico e dunque di smorzamento delle fluttuazioni di temperatura.

E' un materiale traspirante e permeabile al vapore

E' idrorepellente, impermeabile all'acqua, imputrescibile anche in condizioni di umidità, tuttavia se l'umidità è permanente possono formarsi delle muffe.

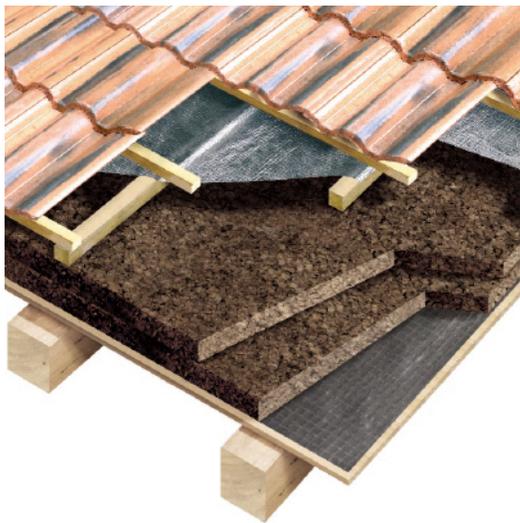
I pannelli vengono applicati in pareti perimetrali (intercapedini, cappotti interni ed esterni) e pareti divisorie, in coperture piane e a falda, controsoffitti, sottotetti, sottopavimenti, solai.



Sughero

PROPRIETA' TERMOFISICHE	Pannelli	Granuli sfusi	Unità
Massa volumica ρ	100 - 300	65 - 120	kg/m³
Conduttività termica λ	0,036 - 0,045	0,034 - 0,038	W/mK
Calore specifico c_p	1600		J/kg K
Diffusione del vapore acqueo μ	5 - 11		-
U = 0,4 W/m²K	11,25		cm
Diffusività termica	2,2 x 10⁻⁶	3 x 10⁻⁷	m²/s
Sfasamento per 10 cm di spessore	4,8	4,1	h

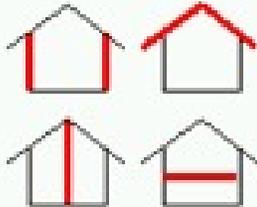
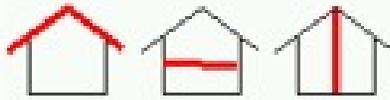
Sughero



Edificio Gapp a
Malles



Sughero

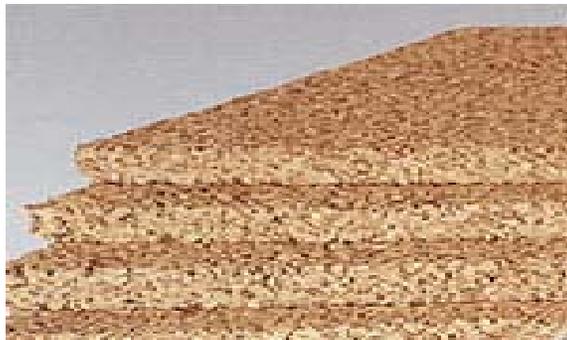
Pannello	Caratteristiche		Prezzo €/ m ²	Applicazioni
	λ [W/mK]	Spessori [mm]		
pannello SUGHERITE (145/150 kg/m ³)	0,035	20	4,68	
		30	7,00	
		40	9,35	
		50	11,70	
		60	14,05	
Pannello ISOLMUR (280/300 kg/m ³)	0,035	6	5,65	
		10	6,45	
Celenit LSC sughero compresso	0,044	10	3,17	
		20	6,01	
		30	9,01	
		40	12,02	
		50	15,02	
		60	18,03	
Celenit LS sughero espanso	0,040	10	5,80	
		20	7,77	
		30	10,99	
		40	14,27	
		50	17,83	
		60	21,40	

Fibra canapa

La canapa è una fibra tessile che si ottiene da una pianta erbacea.

L'Italia è stata per molti secoli la maggior produttrice di fibra di canapa al mondo fino ai primi del '900, quando venne progressivamente abbandonata.

È un materiale con ottime proprietà di isolamento termoacustico, è traspirante e igroscopica, permette pertanto la regolazione dell'umidità garantendo un salubre clima interno; non contiene sostanze tossiche, è resistente alla muffa, agli attacchi da parte di insetti e roditori; tra le fibre naturali è uno dei materiali meno putrescibili, è un prodotto ecologico che non comporta rischi per la salute né in fase di produzione, né in fase di messa in opera, la materia prima è rinnovabile. I pannelli di fibra di canapa trovano applicazione in intercapedini di pareti in struttura in legno o in muratura, di coperture tra le travi e sopra le solette in laterocemento tra listelli portanti, in cappotti interni ed esterni ventilati, in pareti divisorie interne, nei sottopavimenti per l'abbattimento del rumore da calpestio.



Fibra canapa

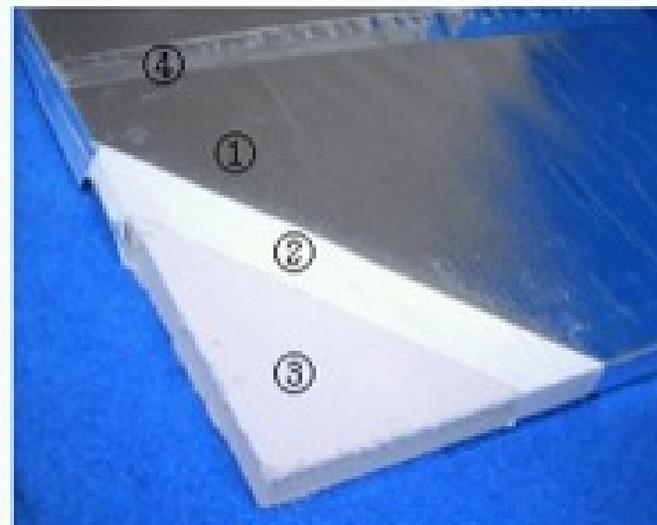
Prodotto	Caratteristiche		Prezzo [^] €/m ²	Applicazioni
	λ [W/mK]	Spessori [mm]		
KENATHERM (43 kg/m ³)	0,042	40	5,60	
		60	8,40	
		80	11,20	
		100	14,00	
		120	16,80	
140	19,60			
KENATOP - KENASTEP (80 kg/m ³)	0,039	40	9,20	
		60	13,80	
		80	18,40	

Isolante sottovuoto

Pannello isolante sottovuoto composto da nucleo in polveri pressate (biossido di silicio 80%, carburo di silicio 15%, altre polveri 5%), pellicola di rivestimento a triplo strato ca 100 μm (dall'interno verso l'esterno: Polietilene 40 μm , alluminio 0,04 μm , Pet 60 μm)

Composizione pannello VIP :

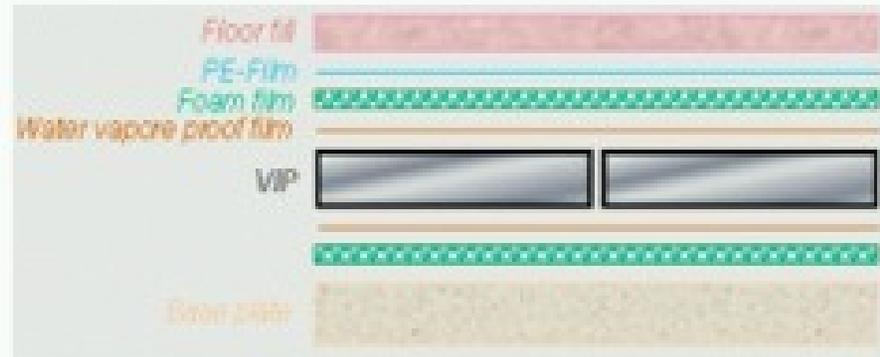
- 1 - pellicola di rivestimento
- 2 - tessuto
- 3 - materiale nucleo (polveri siliciche)
- 4 - nastro sigillante



Geometria	rettangolare	
Massa volumica ρ	170 - 190	kg/m ³
U (con spessore 20 mm)	0,25	W/m ² K
Conduttività termica λ	0,0042	W/mK
Temperature di applicazione	da - 70 °C a + 80 °C	
Pressione interna	da 0,5 a 3 mbar	
Dimensioni (max) standard	1200 mm (L) x 1000 mm (H) 1000 mm (L) x 600 mm (H)	
Spessori	10, 15, 20, 25, 30, 40 mm	
Prezzo indicativo	60 € + IVA Pannelli di dimensioni 1000 x 600 x 20 mm	ca. 100€/m ²

Isolante sottovuoto

ESEMPI DI APPLICAZIONE



Isolamento solaio

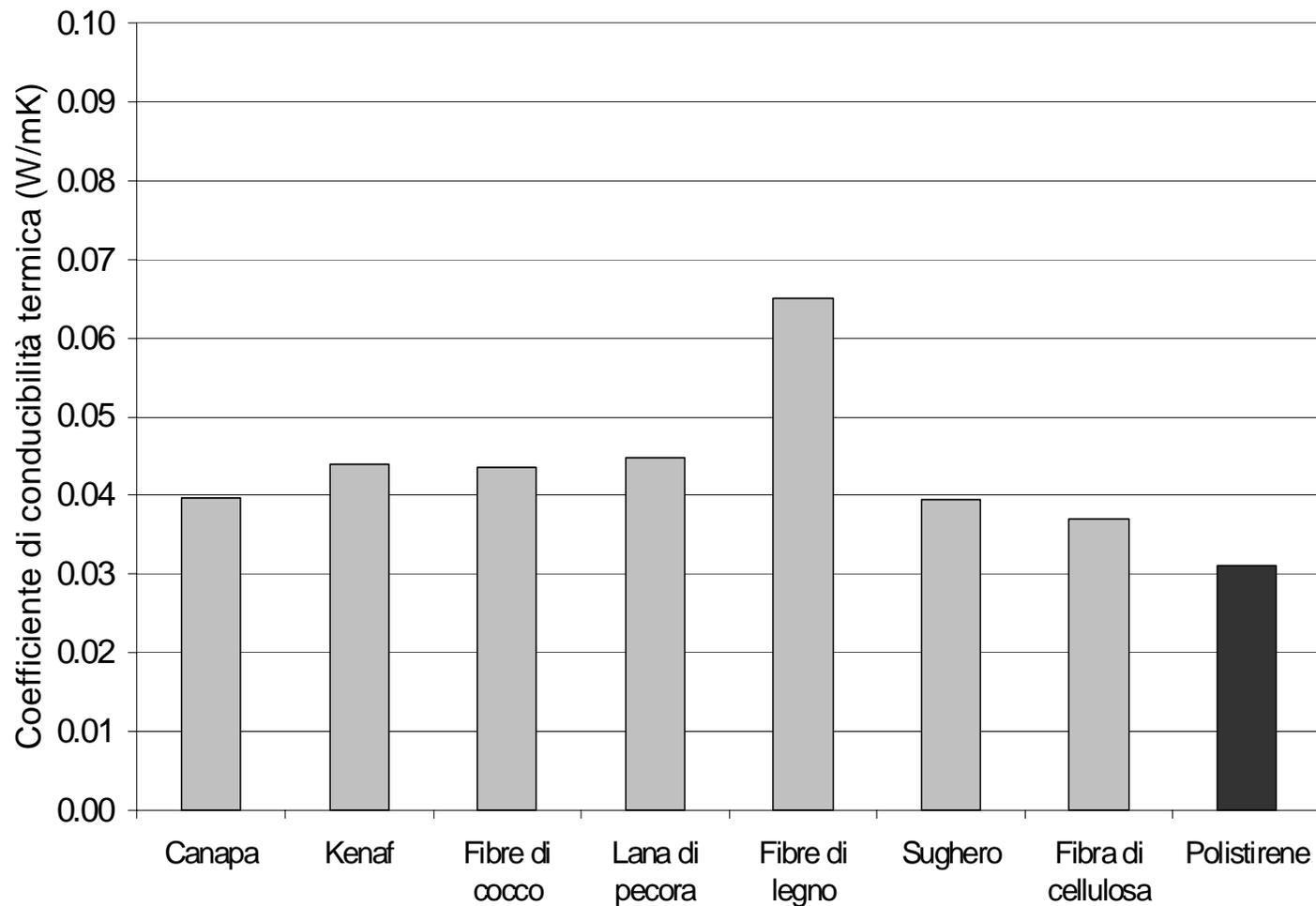


Isolamento interno con lastre in cartongesso

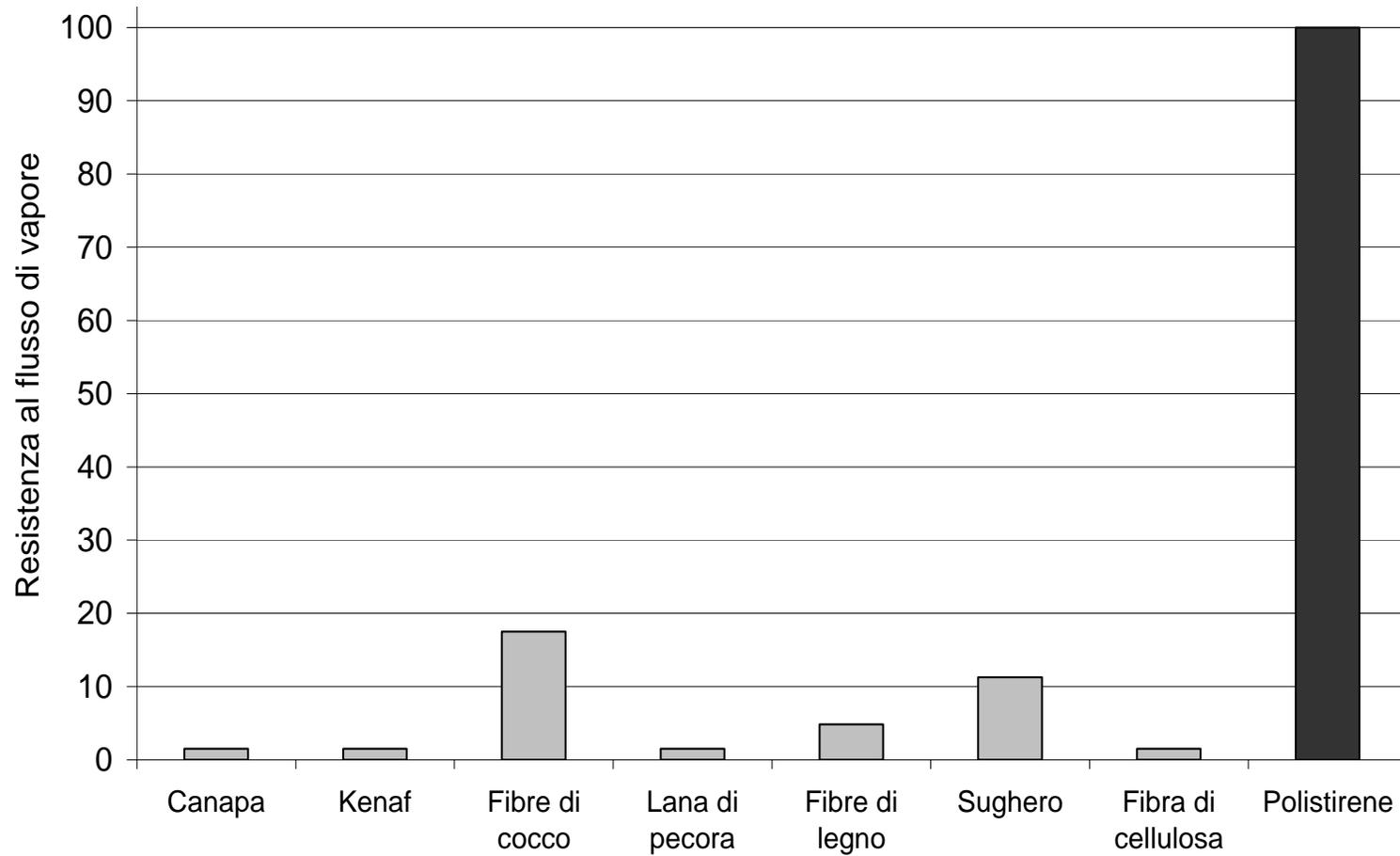
PRESTAZIONI DEI MATERIALI A CONFRONTO

- conduttività termica λ (espressa in $W/m \cdot K$)
- resistenza al flusso di vapore μ (rapporto tra la resistenza al flusso di vapore del materiale in esame e quella dell'aria, a parità di spessore, adimensionale)
- rigidità dinamica superficiale s' (espressa in N/m^3)
- indice di valutazione della riduzione di livello di rumore da calpestio ΔL_w (dB) (UNI EN ISO 140-8 e UNI EN ISO 717-2)
- coefficiente di assorbimento acustico α , adimensionale

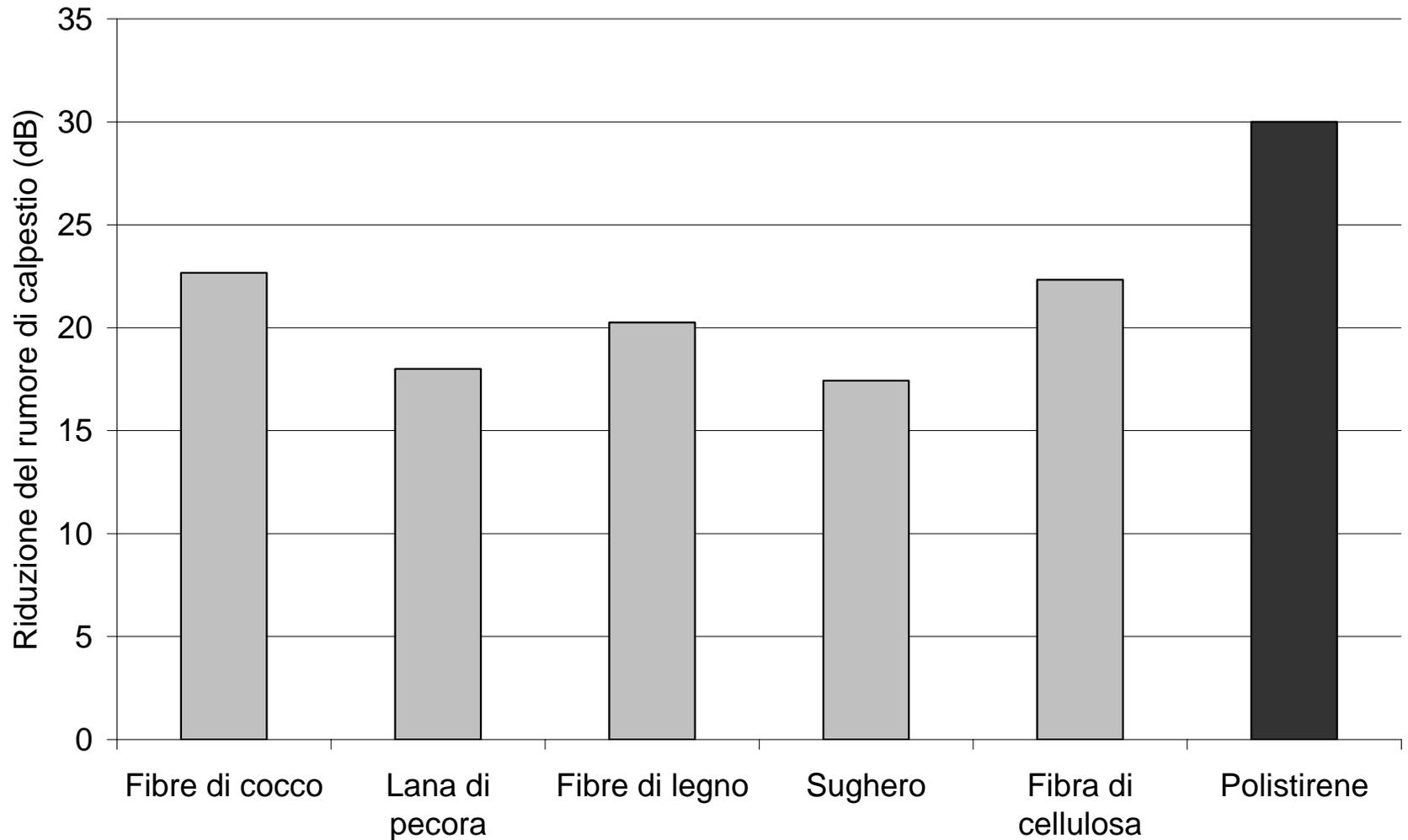
Il confronto: prestazioni termiche



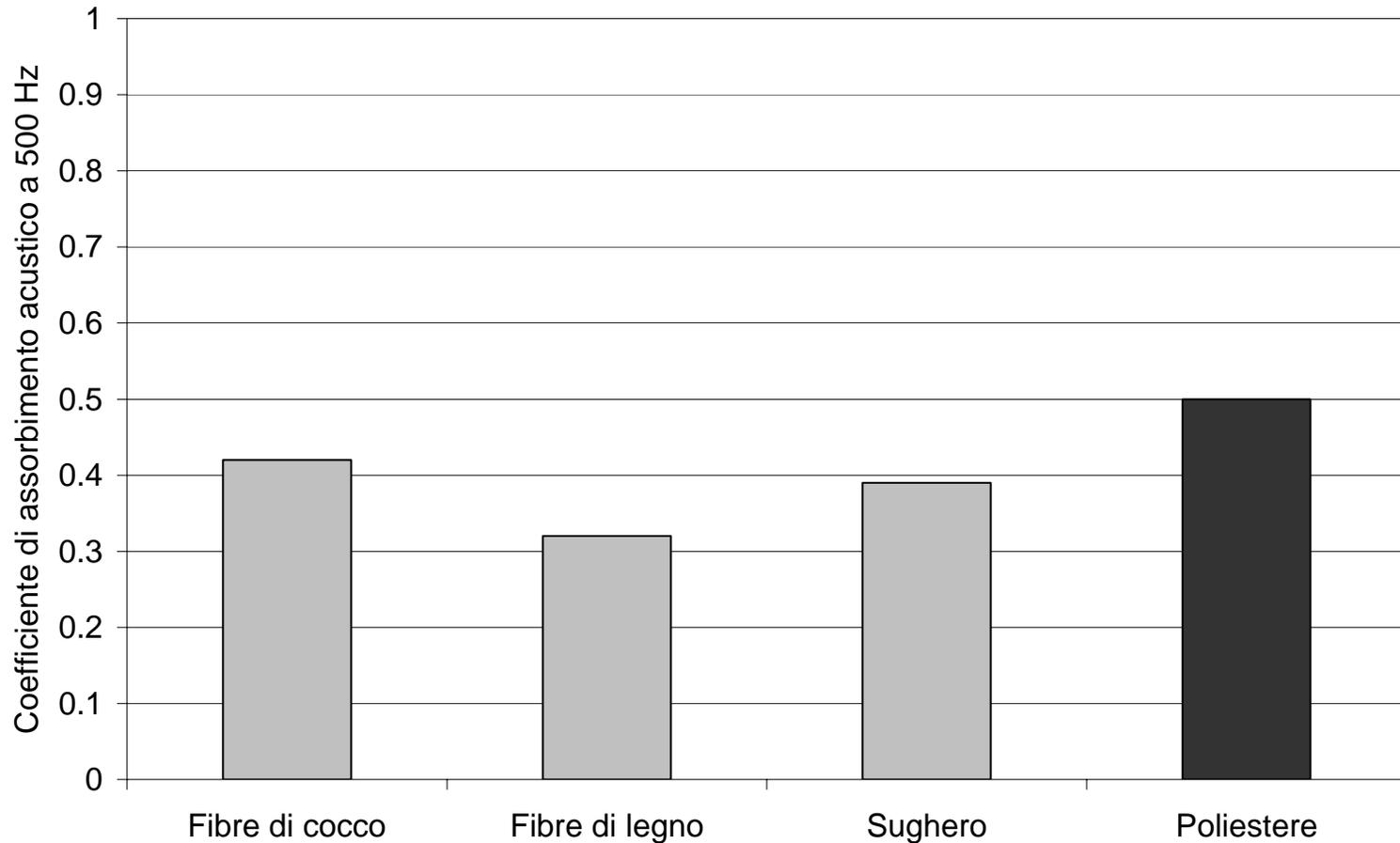
Il confronto: prestazioni igrometriche



Il confronto: prestazioni acustiche (calpestio)



Il confronto: prestazioni acustiche (assorbimento acustico)

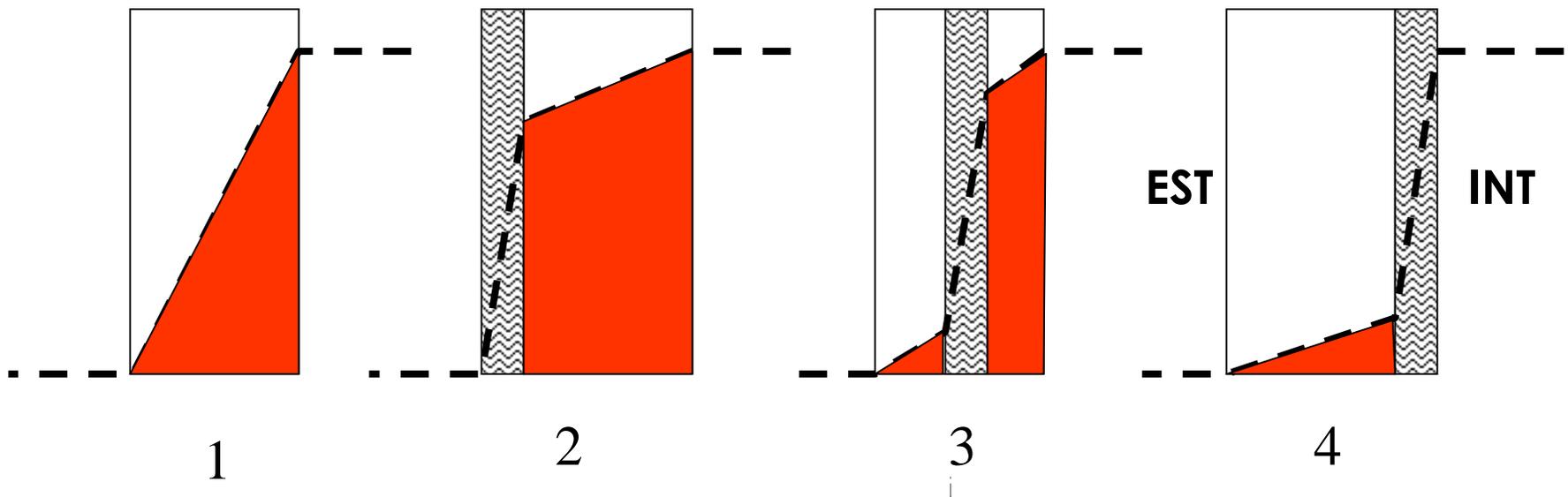


**Comportamento delle
strutture in regime
dinamico: l'inerzia termica**

Comportamento delle strutture in regime dinamico: l'inerzia termica

In regime stazionario la disposizione degli strati è indifferente, pur evidenziando che al mutare della stessa varia l'andamento interno delle temperature; ad esempio la posizione dell'isolante, a seconda della stagione, mantiene una massa della parete a temperatura mediamente più o meno elevata, ovvero con una capacità maggiore o minore di accumulare calore.

Nelle figure seguenti, in regime invernale, si evidenzia come cambia la capacità di accumulo della parete



L'inerzia termica

Le prestazioni termiche dei componenti edilizi non possono essere valutate esclusivamente in regime stazionario ma è necessario considerare anche il loro comportamento in regime dinamico.

Nella realtà la temperatura delle strutture varia in funzione del tempo, con il variare dei parametri termoigrometrici ambientali esterni.

Tanto più rapida è la variazione di quest'ultimi tanto maggiore deve risultare **l'inerzia** offerta dai componenti ad adattarsi a tali variazioni al fine di assicurare una adeguata protezione all'interno.

Inerzia e capacità termica

L'inerzia termica può essere definita come la **capacità** di un componente ad opporsi alle variazioni di temperatura.

Le variazioni di temperatura che si verificano sulla faccia esterna, arrivano sulla faccia interna con un certo ritardo e attenuate in misura tanto maggiore quanto maggiore è la capacità termica areica C_m :

$$C_m = c_p \cdot m \text{ (kJ/m}^2\text{K)}$$

con:

c_p (kJ/kgK) calore specifico a pressione costante

m (kg/m²) è la massa termica areica (UNI 10375) = ρs

Dall'equazione di Fourier si aveva poi che:

la diffusività termica $\alpha^2 = \lambda/\rho c_p$
è un indice dell'inerzia termica di un materiale

Capacità termica areica

$$C_m = m \cdot c_p \text{ (kJ/m}^2\text{K)}$$

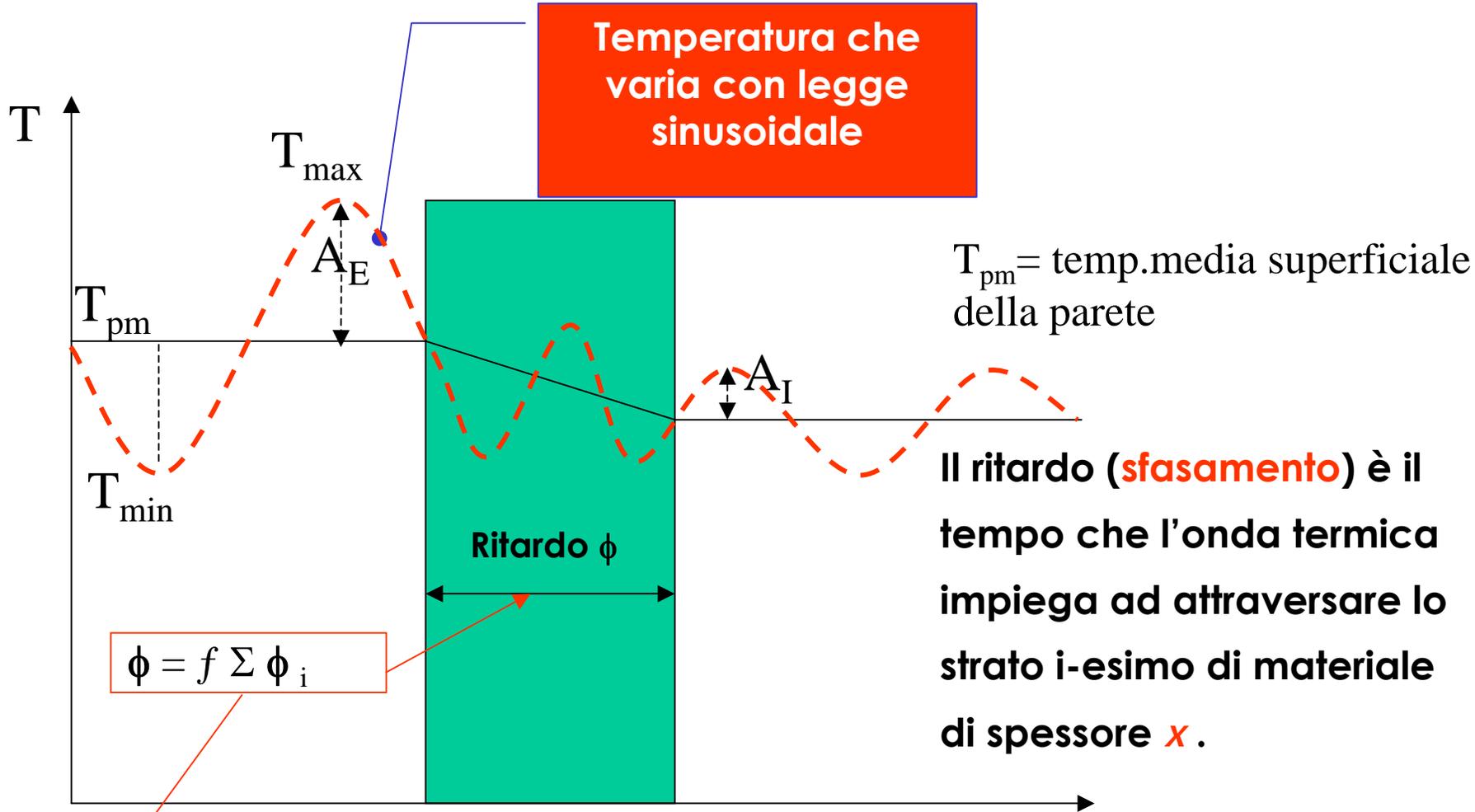


Proprietà tipiche a 300 K

Descrizione/Composizione	Densità ρ kg/m ³	Conducibilità termica λ W/(m · K)	Calore specifico c_p J/(kg · K)
Pannelli da costruzione			
Pannello di asbesto-cemento	1920	0.58	—
Pannello di gesso o intonaco	800	0.17	—
Legno compensato	545	0.12	1215
Tavole per tetto, densità normale	290	0.055	1300
Pannello acustico	290	0.058	1340
Pannello rigido, di raccordo	640	0.094	1170
Pannello rigido, alta densità	1010	0.15	1380
Pannello di particelle, bassa densità	590	0.078	1300
Pannello di particelle, alta densità	1000	0.170	1300
Legni			
Legni duri (quercia, acero)	720	0.16	1255
Legni teneri (abete, pino)	510	0.12	1380
Materiali per mattoni			
Mattone di cemento	1860	0.72	780
Laterizio, ordinario	1920	0.72	835
Laterizio, faccia-vista	2083	1.3	—
Blocco di laterizio, cavo			
1 fila di fori, spessore 10 cm	—	0.52	—
3 file di fori, spessore 30 cm	—	0.69	—
Blocco di calcestruzzo, 3 fori ovali			
Sabbia/ghiaia, spessore 20 cm	—	1.0	—
Aggregati di scorie, spessore 20 cm	—	0.67	—
Blocco di calcestruzzo, fori rettangolari			
2 fori, spessore 20 cm, 16 kg	—	1.1	—
Idem con fori pieni	—	0.60	—
Materiali per intonaco			
Intonaco di cemento, aggregato di sabbia	1860	0.72	—
Intonaco di gesso, aggregato di sabbia	1680	0.22	1085
Intonaco di gesso, aggregato di	720	0.25	—
Vermiculite			

**Calore
specifico
di alcuni
materiali**

Descrizione/Composizione	Densità ρ kg/m ³	Conducibilità termica λ W/(m · K)	Calore specifico c_p J/(kg · K)	Descrizione/Composizione	Temp. K	Densità ρ kg/m ³	Conducibilità termica λ W/(m · K)	Calore specifico c_p J/(kg · K)
Copertura e rivestimento				Asfalto	300	2115	0.062	920
Fibra di vetro, rivestita di carta	16	0.046	—	Bakelite	300	1300	1.4	1465
	28	0.038	—	Mattone, refrattario				
	40	0.035	—	al carborundum	872	—	18.5	—
Fibra di vetro, verniciata; rivest. condotti	32	0.038	835		1672	—	11.0	—
Pannello e lastra				al cromo	473	3010	2.3	835
Vetro cellulare	145	0.058	1000		823		2.5	
Fibra di vetro, con legante organico	105	0.036	795		1173		2.0	
Polistirene, espanso				Silice di diatomee,	478	—	0.25	—
estruso (R-12)	55	0.027	1210	cotta	1145	—	0.30	—
Perle stampate	16	0.040	1210	Argilla refrattaria, cotta a 1600 K	773	2050	1.0	960
Pannello in fibra minerale;	265	0.049	—		1073	—	1.1	
materiale per tetti					1373	—	1.1	
Lana di legno con leganti inorganici	350	0.087	1590	Argilla refrattaria, cotta a 1725 K	773	2325	1.3	960
Sughero	120	0.039	1800		1073		1.4	
					1373		1.4	
Materiali di riempimento				Mattone di argilla refrattaria	478	2645	1.0	960
Sughero, in granuli	160	0.045	—		922		1.5	
Silice di diatomee, grezza	350	0.069	—		1478		1.8	
in polvere	400	0.091	—	Magnesite	478	—	3.8	1130
Silice di diatomee, polvere fine	200	0.052	—		922	—	2.8	
	275	0.061	—		1478		1.9	
Fibra di vetro, colata o soffiata	16	0.043	835	Argilla	300	1460	1.3	880
Vermiculite, scaglie	80	0.068	835	Carbone, antracite	300	1350	0.26	1260
	160	0.063	1000	Calcestruzzo (con pietrisco)	300	2300	1.4	880
Formato/schiumato in situ				Cotone	300	80	0.06	1300
Lana minerale in granuli con	190	0.046	—	Prodotti alimentari				
asbesto / leganti inorganici,				Banana				
a spruzzo				(contenuto d'acqua 75.7%)	300	980	0.481	3350
Mastice di sughero acetato polivinilico;	—	0.100	—	Mela, rossa				
a spruzzo o liscio				(contenuto d'acqua 75%)	300	840	0.513	3600
Uretano, miscela bicomponente;	70	0.026	1045	Torta, pasta	300	720	0.223	—
forma rigida				Torta, completamente cotta	300	280	0.121	—
Riflettivo				Carne di pollo, bianca,	198	—	1.60	—
Foglio di alluminio che separa materiali	40	0.00016	—	(contenuto d'acqua 74.4%)	233	—	1.49	—
vetrosi leggeri; 10-12 strati; sotto vuoto;					253		1.35	
per applicazioni criogeniche (150 K)					263		1.20	
Foglio di alluminio e carta vetrata laminata;	120	0.000017	—		273		0.476	
75-150 strati; sotto vuoto;					283		0.480	
per applicazioni criogeniche (150 K)					293		0.489	
Polvere di silice tipica, sotto vuoto	160	0.0017	—					



$$\phi = f \sum \phi_i$$

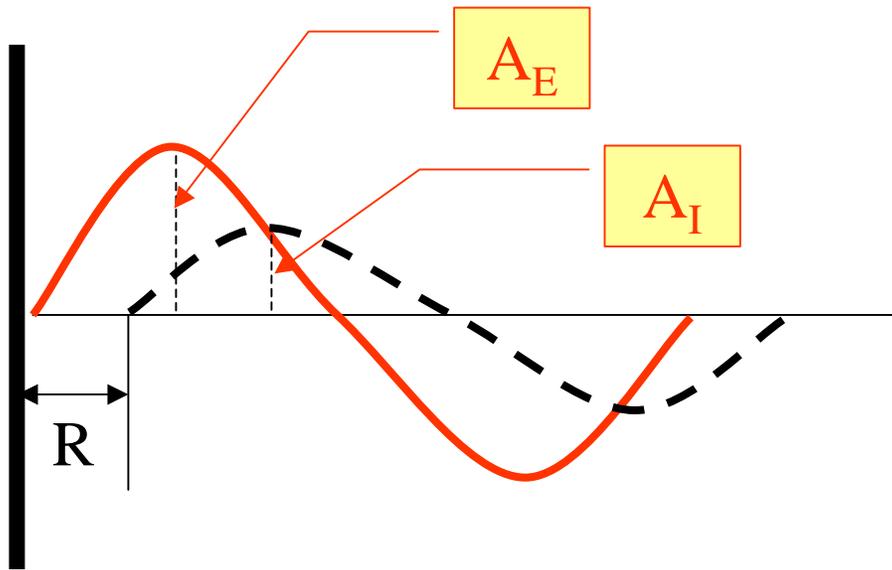
$$\phi_i = s_i / v_i \text{ (s)}$$

con s_i = spessore dello strato i-esimo

v_i = velocità di spostamento dell'onda termica (m/s)

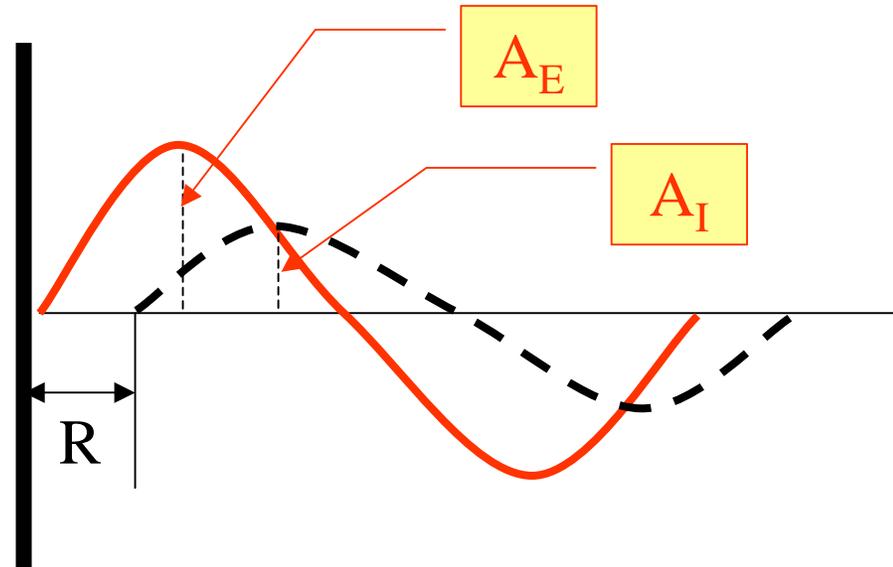
Tempo τ

Ritardo ed attenuazione onda termica



Per una buona condizione inerziale:

$$\phi = \geq 9 \text{ ore}$$



$\sigma = 10$ valore minimo di attenuazione

La verifica dei componenti di involucro

D.lgs 311/2006 - Regime estivo

La limitazione del fabbisogno per la climatizzazione estiva può essere perseguita con le seguenti strategie:

- Controllo dell'inerzia termica mediante la verifica che, per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione estiva $I \geq 290 \text{ W/m}^2$ (con esclusione della zona F), la massa superficiale delle pareti opache sia $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$; in alternativa dimostrare che si ottengono gli stessi effetti positivi (All. I, comma 9b) ➔ **ad esempio mediante la verifica dello sfasamento e smorzamento dell'onda termica**
- Controllo del surriscaldamento estivo dovuto alla radiazione solare entrante dalle finestre, mediante la verifica dell'efficacia di sistemi schermanti delle superfici vetrate (All. I, comma 9a e 10)
- Favorire la ventilazione naturale anche tramite l'orientamento e la distribuzione interna degli spazi (All. I, comma 9c)