

CTI

Materiali da costruzione  
**Conduttività termica e permeabilità al vapore**  
 Sostituisce FA 101 alla UNI 7357 e quindi punto 7.1.2 della stessa norma

UNI  
10351

Building materials — Thermal conductivities and vapour permeabilities

## 0. Premessa

La presente norma integra, con dati di permeabilità al vapore, i dati di conduttività termica dei materiali impiegati nell'edilizia, precedentemente riportati nel FA 101 "Valori correnti della conduttività di alcuni materiali alla temperatura ordinaria" che sostituisce il punto 7.1.2 della norma UNI 7357 (1974).

I valori già contenuti nel FA 101 vengono qui ripresi senza alterazioni. La presente norma è pubblicata a supporto della UNI 10344.

## 1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma fornisce i valori di conduttività termica e di permeabilità al vapore dei materiali da costruzione. Questa norma deve essere impiegata quando non esistano norme specifiche per il materiale considerato. La presente norma si applica a tutti i materiali elencati nel prospetto.

Le maggiorazioni di  $m$  si applicano ai valori della conduttività termica di riferimento.

*Nota — Una sola prova di laboratorio non fornisce al progettista informazioni circa i valori medi e circa la dispersione della produzione.*

## 2. Riferimenti

- UNI 7357 Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici
- UNI 7745 Materiali isolanti — Determinazione della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia
- UNI 7891 Materiali isolanti — Determinazione della conduttività termica con il metodo dei termoflussimetri
- UNI 9233 Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo di materiali da costruzione ed isolanti termici
- UNI 10344 Riscaldamento degli edifici — Calcolo del fabbisogno di energia
- UNI 10350 Edifici residenziali — Verifica igrometrica ai fenomeni di condensazione del vapore
- UNI 10355 Murature e solai — Valori della resistenza termica e metodo per il calcolo

## 3. Grandezze considerate

### 3.1. Conduttività termica apparente dei materiali

La conduttività termica definisce univocamente l'attitudine di un materiale, omogeneo e isotropo, a trasmettere il calore quando lo scambio avviene solo per conduzione.

Nei materiali cellulari, granulari, fibrosi o porosi di bassa massa volumica, a causa della coesistenza di scambi per radiazione e talvolta per convezione, i valori misurati della conduttività aumentano all'aumentare degli spessori e dei gradienti.

A rigore, per i materiali citati, non si dovrebbe quindi definire la conduttività del materiale, ma solo la resistenza termica, o la conduttanza termica specifica del manufatto in assegnate condizioni di esercizio.

Tuttavia, poiché nelle strutture edili si ha una ristretta gamma di condizioni di esercizio, e poiché in assenza di convezione la conduttività misurata tende ad un valore costante al crescere dello spessore (di solito

(segue)

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione sia di nuove edizioni sia di fogli di aggiornamento. È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione o foglio di aggiornamento.

quando è maggiore di 10 cm), nella presente norma si definisce “conduttività apparente” di un materiale quella relativa a spessori maggiori o uguali a 10 cm.

Il confronto con dati misurati su campioni di spessore minore di 10 cm può richiedere pertanto la conoscenza delle effettive condizioni di prova.

È consentita l'interpolazione dei dati, mentre non è ammessa la estrapolazione degli stessi.

### 3.2. Permeabilità al vapore

I valori di permeabilità riportati nel prospetto sono stati determinati con prove condotte a temperatura costante, e quindi l'utilizzo di tali dati in condizioni non isoterme, soprattutto in presenza di forti gradienti di temperatura, può fornire risultati non in accordo con la realtà.

I valori riportati nel prospetto possono essere facilmente convertiti nei corrispondenti fattori di resistenza alla diffusione. A tal fine si ricorda che il fattore di resistenza alla diffusione  $\mu$  è dato dal rapporto tra la permeabilità al vapore dell'aria in quiete e la permeabilità al vapore del materiale.

Nel caso di materiali per i quali è riportato un intervallo di valori anziché un unico valore di permeabilità, si ricorda che può essere consigliabile, ai fini di una maggiore sicurezza, scegliere valori minori di permeabilità per i materiali disposti verso il lato interno della parete (lato caldo) e viceversa per i materiali disposti verso il lato esterno (lato freddo). Nell'effettuare calcoli di verifica igrometrica delle strutture mediante il metodo di Glaser si utilizzeranno sempre i valori di permeabilità relativi al campo asciutto (vedi dopo). Quando possibile questi dati dovranno essere desunti dalle specificazioni tecniche relative ai materiali impiegati.

## 4. Valori

Nel prospetto che segue sono riportate cinque colonne contenenti i dati di:

- massa volumica  $\rho$  del materiale secco;
- permeabilità al vapore  $\delta_a$  e  $\delta_u$ ;
- conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$ ;
- maggiorazione percentuale  $m$ ;
- conduttività utile di calcolo  $\lambda$ .

### 4.1. Massa volumica del materiale secco, $\rho$

Per la determinazione della massa volumica del materiale secco riferirsi alle specificazioni tecniche dei vari materiali.

### 4.2. Permeabilità al vapore, $\delta_a$ e $\delta_u$

La colonna dei valori  $\delta_a$  rappresenta la permeabilità determinata nell'intervallo di umidità relativa 0 a 50%, quella  $\delta_u$  determinata nell'intervallo 50 a 95% (rispettivamente campo asciutto e campo umido di cui alla UNI 9233). Tale impostazione consente di poter fare riferimento a valori di permeabilità al vapore più realistici in relazione alle effettive condizioni di esercizio dei materiali.

Si ricorda che la verifica di Glaser deve essere comunque svolta utilizzando valori di permeabilità  $\delta_a$  a campo asciutto.

Si è ritenuto opportuno inoltre riportare, quando possibile, anziché singoli valori di permeabilità, un intervallo di valori indicativo del campo di variazione di tale grandezza nei singoli casi. In altri casi, a seguito di dati scarsi e/o incerti, è stato riportato nel prospetto un unico valore di permeabilità preceduto dal segno  $\cong$ .

Nel caso di materiali non omogenei, per esempio laterizio forato, i valori indicati sono da intendersi come permeabilità equivalenti, non essendo state considerate nel prospetto le relative permeanze.

Non vengono forniti dati in assenza di informazioni attendibili, o nel caso di materiali per i quali tale grandezza non è significativa (metalli, materie plastiche compatte, ecc.).

Tutti i dati del prospetto devono comunque essere considerati unicamente indicativi della effettiva permeabilità, che può caratterizzare un particolare materiale.

#### 4.3. Conduttività indicativa di riferimento, $\lambda_m$

La colonna della conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$  si riferisce alla conduttività apparente misurata o misurabile in laboratorio su campioni di spessore uguale o maggiore di 10 cm, alla temperatura media di 293 K, con le apparecchiature e i procedimenti indicati nelle UNI 7745 e UNI 7891. In aggiunta a quanto previsto dalle norme citate, la differenza di temperatura tra le facce delle provette deve essere maggiore di 15 K per materiali la cui massa volumica è minore di 300 kg/m<sup>3</sup>, inoltre l'umidità percentuale in massa al termine della prova su materiali organici deve essere minore del 2%.

I valori numerici di  $\lambda_m$  definiscono il limite superiore della conduttività apparente misurata o misurabile nelle condizioni citate.

La differenza tra i valori di  $\lambda_m$  ed i valori delle medie aritmetiche dei dati riscontrabili nella produzione costante è compresa usualmente tra il 5% e il 50%.

I dati relativi a prodotti non costanti possono superare talvolta anche del 50% i valori di  $\lambda_m$  indicati nel prospetto. I valori di  $\lambda_m$  hanno valore indicativo poiché non è possibile identificare tutte le tecnologie di produzione e tutti i tipi di materiali esistenti sul mercato.

Quando i valori di  $\lambda_m$  sono stati desunti da specificazioni UNI relative alla conduttività apparente del materiale, il numero della norma è citata nel prospetto.

#### 4.4. Maggiorazione percentuale, $m$

La colonna della maggiorazione percentuale,  $m$ , tiene conto, in condizioni medie di esercizio, del contenuto percentuale di umidità, espressa in massa di acqua riferita alla massa del materiale secco (minore dell'1% per laterizi, da 2 a 5% per calcestruzzi e malte, umidità di equilibrio con un ambiente a 293 K e 65% di umidità relativa per isolanti leggeri, salvo diversa indicazione data in prospetto); tiene conto inoltre dell'invecchiamento, del costipamento dei materiali sfusi, della manipolazione e della installazione eseguita a regola d'arte (è impossibile tenere conto dell'influenza di una cattiva manipolazione o di una cattiva installazione); tiene conto infine della tolleranza sullo spessore quando esso è uguale a 10 cm (è perciò necessario un calcolo della sua influenza effettiva per spessori minori di 10 cm). Non tiene invece conto delle tolleranze sulle masse volumiche nominali.

Se le effettive condizioni di esercizio del materiale o del manufatto non coincidono con quelle indicate, occorre ricalcolare i coefficienti di correzione  $m$ .

Quando lo spessore dell'isolante è minore di 10 cm, le maggiorazioni percentuali  $m$  possono essere modificate solo per tener conto della effettiva influenza delle tolleranze nello spessore, come accennato sopra. È invece possibile modificare la conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$  in funzione dello spessore, se è nota la dipendenza di  $\lambda_m$  da questo parametro.

Quando sono reperibili dati di letteratura relativi ai soli dati di laboratorio o sono reperibili solo indicazioni di larga massima ai fini dei calcoli, il valore di  $m$  è stato omissso.

#### 4.5. Conduttività utile di calcolo $\lambda$

La colonna delle conduttività utili di calcolo  $\lambda$  è stata ricavata applicando le maggiorazioni  $m$  alla conduttività indicativa di riferimento  $\lambda_m$ .

#### 4.6. Osservazioni

Per valutare i materiali non elencati nel prospetto, in merito ai quali non esistono specifiche norme UNI o per accertare se le caratteristiche di un prodotto siano migliori di quelle indicate, occorre disporre di documentazione che consenta di definire su basi statistiche il valore della conduttività apparente o misurabile in laboratorio, nelle condizioni sopra citate e cioè che non deve essere superato dal 90% della produzione considerata.

A detto valore, considerando con la dovuta cautela le maggiorazioni attribuite nella presente norma a materiali con caratteristiche simili, si applica poi una maggiorazione  $m$  che tenga conto nelle effettive condizioni di esercizio, del contenuto di umidità, dell'invecchiamento e del costipamento e che tenga conto dell'effetto della manipolazione e della installazione eseguita a regola d'arte, nonché delle tolleranze sullo spessore.

Prospetto — Conduktivita termica e permeabilita al vapore dei materiali da costruzione

Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<b>Acqua</b>						
— liquido in quiete a 293 K	1 000					0,6
— ghiaccio						
— a 272 K	900					2,2
— a 263 K	900					2,5
<b>Neve</b>						
— appena caduta e per strati fino a 3 cm	100					0,06
— soffice, per esempio strati da 3 a 7 cm	200					0,12
— moderatamente compatta, per esempio strati da 7 a 10 cm	300					0,23
— compatta, per esempio strati da 20 a 40 cm	500					0,70
<b>Amianto e derivati<sup>1)</sup></b>						
— amianto in lastre con alto contenuto di amosite						
— secco	135			0,05		
— umido	135			0,15		
— bagnato	135			0,20		
— amianto a spruzzo	80			0,043		
	130			0,046		
	160			0,061		
	240			0,075		
— amianto-cemento in lastre (umidità 2%)	1 800	} 1,2 a 5	≅ 1,6	0,40	50	0,60
— amianto e silicati in lastre (umidità 4%)	1 900			0,60		0,90
	650	≅ 1	≅ 1,7	0,12	50	0,18
<b>Aria in quiete a 293 K</b>	1,3	≅ 193	≅ 193			0,026

(segue prospetto)

(segue)

(seguito del prospetto)		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<b>Calcestruzzo</b> a) a struttura chiusa <sup>2)</sup> : — calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti esterne e interne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$ ) <sup>3)</sup> — calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$ ; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$ ; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$ ) <sup>3)</sup>  b) a struttura aperta <sup>2)</sup> : — calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$ ; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$ ; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$ ) <sup>3)</sup>  — calcestruzzo cellulare da autoclave (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dal 4 al 5%; per pareti esterne con umidità dal 6 al 7% assumere $m = 40\%$ ; per pareti di scantinati con umidità dall'8 al 10% assumere $m > 50\%$ ) <sup>3)</sup> (per calcestruzzi espansi in situ migliorare i dati dei calcestruzzi da autoclave del 10%)  — calcestruzzo di inerti espansi di origine vulcanica (valori orientativi di calcolo per pareti interne o esterne protette)		2 000	1,3 a 2,6	1,8 a 4	1,01	15	1,16
		2 200			1,29		1,48
		2 400			1,66		1,91
		1 000	1,3 a 2,6	1,8 a 4	0,25	20	0,31
		1 100			0,29		0,35
		1 200			0,33		0,39
		1 300			0,37		0,44
		1 400			0,42		0,50
		1 500			0,47		0,57
		1 600			0,54		0,65
		1 700	0,63	0,75			
		500	18 a 36	≅ 60	0,14	20	0,16
		600			0,16		0,18
		700			0,18		0,21
800	0,20	0,24					
900	18 a 36	40 a 60	0,22	25	0,27		
1 000			0,25		0,31		
400			0,12		0,15		
500	18 a 36	40 a 60	0,14	25	0,17		
600			0,15		0,19		
700			0,17		0,22		
800			0,20		0,25		
1 000	18 a 36	40 a 60	0,12	25	0,38		
1 200			0,17		0,47		
1 400			0,20		0,58		

(segue prospetto)

(segue)

(seguito del prospetto)						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<p>— calcestruzzo di perlite e di vermiculite (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dall'8 al 10%; per pareti esterne con umidità dal 10 al 12% assumere <math>m = 55\%</math>; per pareti di scantinati con umidità dal 12 al 14% assumere <math>m = 65\%</math>)<sup>3)</sup></p> <p>— calcestruzzo in genere, in mancanza di ulteriori informazioni (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette; per pareti di scantinati utilizzare le maggiorazioni relative al tipo di calcestruzzo che si ritiene più simile al prodotto considerato)<sup>3)</sup></p>	250			0,9	40	0,13
	400			0,11		0,15
	400					0,19
	500					0,22
	600					0,24
	700					0,27
	800					0,30
	900					0,34
	1 000					0,38
	1 100					0,42
	1 200					0,47
	1 300					0,52
	1 400					0,58
	1 500					0,65
1 600					0,73	
1 700					0,83	
1 800					0,93	
1 900					1,06	
<p><b>Carta, cartone e derivati</b></p> <p>— carta e cartone</p> <p>— cartone bitumato</p> <p>— cartongesso in lastre</p> <p>— cartone ondulato</p>	1 000	$1 \text{ a } 2$ $(60 \text{ a } 90) \cdot 10^{-3}$ $\cong 23$				0,16
	1 100					0,23
	900					0,21
	100					0,065
<p><b>Fibre minerali</b></p> <p>Sul valore di <math>m</math> le tolleranze di spessore di feltri o pannelli con 10 cm di spessore indicano da 2 a 3% in molti casi; tuttavia per alcuni feltri i valori indicati vengono ampiamente superati. Ogni unità percentuale di umidità dà luogo ad aumenti dei valori</p>						

(segue prospetto)

<i>(seguito del prospetto)</i>							
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)	
<p>utili di calcolo dall'1 al 5%; per applicazioni interne<sup>3</sup> il contenuto di umidità è dell'1% ed il suo effetto è già compreso nei dati utili di calcolo. Per temperature comprese tra 270 e 370 K la conduttività dei materiali di fibre minerali subisce aumenti, al crescere della temperatura media, che vanno da 0,4% / K per materiali pesanti a 0,8% / K per i materiali più leggeri. L'effetto della manipolazione e dell'installazione per l'accostamento incide su <math>m</math> dall'1 al 3%. Per montaggi con staffe o altri sistemi che introducono ponti termici migliorare i valori di calcolo almeno del 5%; per montaggi contro il terreno<sup>4</sup> valori di calcolo devono essere migliorati almeno del 25%. Per i materiali leggeri le resistenze termiche specifiche non sono rigorosamente additive; ricalcolare la resistenza termica specifica totale di ciascun manufatto o di ciascun isolamento composto di più strati sovrapposti di resistenza nota.</p> <p>— fibre di vetro</p> <p>— feltri resinati</p> <p>— pannelli semirigidi</p> <p>— pannelli rigidi (i valori minimi della conduttività corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m<sup>3</sup>)<sup>4</sup></p> <p>— fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche</p> <p>— feltri resinati</p> <p>— pannelli semirigidi</p> <p>— pannelli rigidi</p> <p>— pannelli in fibre orientate</p>	11	≅ 150	≅ 150	0,048	10	0,053	
	14			0,044		0,048	0,048
	16			0,042		0,046	0,046
	16	≅ 150	≅ 150	0,042	10	0,046	
	20			0,039		0,043	
	30	≅ 150	≅ 150	0,036	10	0,040	
	100	≅ 150	≅ 150	0,035	10	0,038	
	30	≅ 150	≅ 150	0,041	10	0,045	
	35			0,040		0,044	
	40	≅ 150	≅ 150	0,038	10	0,042	
	55			0,036		0,040	
	80	≅ 150	≅ 150	0,035	10	0,039	
	100			0,034		0,038	
125	≅ 150	≅ 150	0,034	10	0,038		
100	≅ 150	≅ 150	0,044	10	0,048		

*(segue prospetto)**(segue)*

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
— fibre minerali ottenute da rocce basaltiche (verificare l'influenza su $m$ delle tolleranze di spessore, il valore indicato ipotizza il 10%)						
— feltri trapuntati	60	$\cong 150$	$\cong 150$	0,037	20	0,044
	80	} $\cong 150$ }	} $\cong 150$ }	0,037	20	0,044
	100			0,038	20	0,045
— fibre minerali ottenute da loppe di altoforno						
— feltri	40	$\cong 150$	$\cong 150$	0,049	10	0,054
— pannelli semirigidi e rigidi	40	} $\cong 150$ }	} $\cong 150$ }	0,049	} 10	0,054
	60			0,044		0,048
	80			0,042		0,046
	100			0,042		0,046
	150			0,044		0,048
<b>Intonaci e malte</b>						
— malte di gesso per intonaci o in pannelli con inerti di vario tipo (per prodotti senza inerti e secchi le conduttività di riferimento possono valere il 60% dei valori di calcolo)	600	} $\cong 18$ }				0,29
	750					0,35
	900					0,41
	1 000					0,47
	1 200					0,58
— intonaco di gesso puro	1 200	$\cong 18$				0,35
— intonaco di calce e gesso	1 400	$\cong 18$				0,70
— malta di calce o di calce e cemento	1 800	5 a 12				0,90
— malta di cemento	2 000	5 a 12				1,40
<b>Laterizi</b>						
Per mattoni forati la conduttività non è definibile né misurabile; i valori assegnati a $\lambda_m$ e a $\lambda$ devono intendersi pertanto solamente come grandezze dimensionalmente equivalenti a conduttività termiche e ricavabili dal prodotto delle conduttanze per lo spessore. Le masse volumiche e le conduttività indicative di riferimento $\lambda_m$ si riferiscono al solo laterizio (includendo nel volume del laterizio fori e porosità), mentre le conduttività utili di calcolo si riferiscono alla muratura completa; ne consegue che la maggiorazione $m$ non tiene solo conto degli usuali fattori di maggiorazione, ma con-						
<i>(segue prospetto)</i>						

(seguito del prospetto)

Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)		
globa anche l'effetto della presenza delle malte tra laterizio e laterizio. Le presenti indicazioni sono necessariamente di prima approssimazione; dati più rigorosi possono essere valutati conoscendo il tipo di laterizio e il tipo di malta che compongono la muratura. Per ulteriori informazioni vedere UNI 10355. Valori di calcolo relativi a pareti interne con umidità dello 0,5% <sup>3</sup> ; per pareti esterne con umidità dell'1,5% raddoppiare i valori di $m$ .								
— mattoni pieni, forati, leggeri, mattoni ad alta resistenza meccanica	600 800 1 000 1 200 1 400 1 600 1 800 2 000	18 a 36	18 a 36	0,13 0,18 0,24 0,32 0,40 0,50 0,63 0,80	90 65 48 35 25 18 14 12	0,25 0,30 0,36 0,43 0,50 0,59 0,72 0,90		
<b>Legnami</b>								
Contenuti medi di umidità del 15%; la conduttività aumenta dell'1,2% per ogni % di umidità								
— abete (flusso perpendicolare alle fibre)	450			≅ 0,3	≅ 0,9	0,10	20	0,12
— abete (flusso parallelo alle fibre)	450			≅ 4,5	≅ 6			
— pino (flusso perpendicolare alle fibre)	550			≅ 4,5		0,12	20	0,15
— acero (flusso perpendicolare alle fibre)	710			≅ 4,5		0,15	20	0,18
— quercia (flusso perpendicolare alle fibre)	850			≅ 4,5		0,18	20	0,22
— abete, pino, acero, quercia, con flusso parallelo alle fibre: maggiorare i dati di conduttività termica di ciascun tipo di legname fino al 50%								
— altre specie legnose: interpolare i dati di conduttività termica in funzione della massa volumica								
<b>Mastici per tenute</b>								
Siliconici, poliuretanic, polisulfurei, acrilici: densità da 1 000 a 1 650 kg/m <sup>3</sup>						0,40		

(segue prospetto)

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<b>Materiali per impermeabilizzazioni</b>						
— asfalto	2 100	$\cong 0$				0,70
— asfalto con sabbia	2 300	$\cong 0$				1,15
— bitume	1 200	$\cong 0$				0,17
— bitume con sabbia	1 300	$\cong 0$				0,26
— cartone catramato	1 600					0,50
— fogli di materiale sintetico (vedere materie plastiche compatte)	1 100	0,01 a 0,14				0,23
<b>Materiali sfusi e di riempimento</b>						
materiali sfusi a bassa massa volumica:						
— argilla espansa in granuli da 3 a 25 mm (valori di calcolo relativi ad applicazioni interne con umidità 1%; se applicata contro il terreno l'umidità sale al 20% circa e i valori di calcolo vengono migliorati almeno del 50%) <sup>4)</sup>	280			0,08	15	0,09
	330			0,09	15	0,10
	450			0,10	15	0,12
— fibre di cellulosa (umidità del 15%, massa volumica relativa al materiale appena posato, costipamento per strati orizzontali inferiore al 25%; mancano informazioni sul costipamento di strati verticali)	32			0,040	45	0,058
— perlite espansa in granuli da 0,1 a 2,3 mm	100			0,055	20	0,066
— polistirolo espanso in granuli (umidità 3%; verificare il costipamento; verificare la uniforme distribuzione in strati orizzontali)	15			0,045	20	0,054
— pomice naturale	400			0,08		0,13
— scorie espanse	600					0,077
— vermiculite espansa in granuli da 0,1 a 12 mm	80			0,064	20	0,077
	120			0,068	20	0,082
materiali sfusi ad alta massa volumica						
— ciottoli e pietre frantumate (umidità 2%)	1 500			0,4	75	0,7
— ghiaia grossa senza argilla (umidità 5%)	1 700			0,6	100	1,2
— sabbia secca (umidità < del 1%)	1 700			0,35	70	0,6

*(segue prospetto)**(segue)*

(seguito del prospetto)	Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
	<b>Materie plastiche cellulari</b>						
	Le conduttività di riferimento sono valide per materiali prodotti da non meno di 100 d (giorni). Per temperature medie comprese tra 270 e 320 K la conduttività delle materie plastiche cellulari aumenta da 0,4 a 0,5% / K al crescere della temperatura media del materiale. Sul valore di $m$ le tolleranze di spessore riferite a lastre di 10 cm di spessore, incidono dall'1 al 3%; l'effetto dell'installazione per incollaggio accostamento, incastro o battentatura, ecc. incide dall'1 al 3%, per montaggi che impiegano staffe o altri sistemi che introducono ponti termici, migliorare i dati di calcolo almeno del 5%. Per montaggi contro il terreno migliorare i dati di calcolo dal 10 al 25% <sup>4</sup> ). Per i materiali leggeri le resistenze termiche specifiche non sono rigorosamente additive; ricalcolare la resistenza termica specifica totale di ciascun manufatto o di ciascun isolamento composto da più strati sovrapposti di resistenza termica specifica nota. Qualora sia fornita, per un determinato materiale, una correlazione tra la conduttività a 100 d dalla produzione e la conduttività ad un diverso numero di giorni dalla produzione, si possono ricalcolare i valori di $m$ .	30 40	} 0,5 a 1	1 a 2	0,032 0,035	20 20	0,039 0,041
	— cloruro di polivinile espanso rigido in lastre <sup>5</sup> )	30			0,042	20	0,050
	— polietilene <sup>6</sup> )	50			0,050	20	0,060
	— espanso estruso in continuo, non reticolato	33			0,040	20	0,048
	— espanso estruso in continuo, reticolato	50			0,048	20	0,058
	— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne <sup>3</sup> ) da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno <sup>4</sup> ) sino al 20%; per i prodotti estrusi i valori di umidità indicati devono essere circa dimezzati. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità)	15	3,6 a 9	3,6 a 9	0,041	10	0,045
	— espanso sinterizzato per alleggerimento strutture	20	2,5 a 6	2,5 a 6	0,037	10	0,041
	— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi (conforme a UNI 7891, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento ricalcolate a 293 K e per 10 cm di spessore)	25	1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,036	10	0,040
	— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10	3,6 a 9	3,6 a 9	0,051	10	0,059
		15	2,5 a 6	2,5 a 6	0,043	10	0,047
		20	1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,040	10	0,044
		25			0,039	10	0,042
		30			0,038	10	0,042

(segue prospetto)

(segue)

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<p>— espanso, in lastre stampate per termocompressione</p> <p>— espanso estruso, con pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio anche all'esterno senza protezione dall'acqua; per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)</p> <p>— espanso estruso, senza pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio, per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)</p> <p>— poliuretani (contenuto di umidità in pareti interne<sup>3</sup>) pari a 1%, in montaggi contro il terreno<sup>4</sup>) fino al 10%. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità. Il valore di <math>m</math> è principalmente dovuto a fenomeni di invecchiamento: essi possono durare decine di anni. L'invecchiamento è dovuto alla diffusione degli agenti schiumanti verso l'atmosfera e dell'aria all'interno del poliuretano espanso; i valori di <math>m</math> qui proposti si riferiscono a materiali senza membrane protettive contro i fenomeni di diffusione; una membrana metallica continua di spessore superiore a 0,05 mm annulla quasi completamente i fenomeni di diffusione per cui <math>m</math> può essere ridotto in questo caso al 15%. Mancano invece informazioni attendibili per altri tipi di membrane)</p> <p>— poliuretani in lastre ricavate da blocchi</p> <p>— poliisocianurati in lastre ricavate da blocchi</p> <p>— poliuretani espansi in situ</p> <p>— resine fenoliche in lastre<sup>5</sup>)</p>	20			0,036	10	0,040
	25			0,035	10	0,039
	30			0,035	10	0,039
	30			0,031	10	0,036
	35			0,030	10	0,035
	30	} 0,6 a 2,2	} 0,6 a 2,2	0,037	10	0,041
	50			0,028	20	0,034
	25	} 1 a 2	} 1 a 2	0,031	10	0,034
	32			0,023	40	0,032
	40			0,022	45	0,032
50	0,022			45	0,032	
32	} 1 a 2	} 1 a 2	0,025	30	0,032	
40			0,023	40	0,032	
37	} 1,8 a 6	} 1,8 a 6	0,023	50	0,035	
35			0,034	} 20	0,041	
60	} 3,6 a 6	} 3,6 a 6	0,037			0,044
80			0,038		0,046	

*(segue prospetto)*

*(segue)*

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
— resine ureiche espanse in situ (conduttività di riferimento e massa volumica relative a materiali essiccati in aria a 293 K e 50% di umidità relativa. Contenuto di umidità in esercizio del 20%; il valore di $m$ è dovuto alla fessurazione del materiale ed al contenuto di umidità, dati applicabili non oltre 8 cm di spessore)	8 12 15 30	30 a 140		0,038 0,036 0,034 0,032	50	0,057 0,054 0,051 0,048
<b>Materie plastiche compatte</b>						
— acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS)	1 050					0,28
— carbammide e resine melamminiche con cariche	1 500					0,40
— celluloidi	1 350					0,35
— ebanite, gomma dura	1 150					0,16
— polimetilmetacrilato (PMMA)	1 200					0,18
— poliammide (PA)	1 100					0,30
— policarbonato (PC)	1 150					0,23
— politetrafluoroetilene (PTFE)	2 200					0,24
— polietilene (PE)	950					0,35
— policloruro di vinile (PVC)	1 400					0,16
— polistirene (PS)	1 100					0,17
— resine acriliche	1 450					0,20
— resine epossidiche	1 200					0,20
— resine fenoliche con cariche organiche	1 400					0,30
— resine poliestere con fibra di vetro	2 000					0,50
<b>Metalli</b>						
— acciaio	7 800					52
— acciaio inossidabile	8 000					17
— argento	10 500					420
— alluminio	2 700					220
— leghe di alluminio	2 800					160
— bronzo	8 700					65
— ferro puro	7 870					80
— ghisa	7 200					50
<i>(segue prospetto)</i>						

(seguito del prospetto)										
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	m %	$\lambda$ (W/mK)				
— nichel	8 800					65				
— ottone	8 400					110				
— piombo	11 300					35				
— rame	8 900					380				
— zinco	7 100					110				
<b>Pannelli e lastre varie</b>										
— lastre a base di perlite espansa, fibre e leganti bituminosi	190	≅ 26	≅ 36	0,059	20	0,071				
— pannelli di fibre di legno duri ed extraduri (contenuto di umidità 10%)	800	}	≅ 2,6	0,12	}	0,14				
	900			0,13		0,16				
	1 000			0,15		0,18				
— pannelli di lana di legno con leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)	300	}	36 a 90	0,071	}	0,085				
	350			0,076		0,091				
	400			0,081		0,097				
	500			0,091		0,11				
— pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)	400	}		0,09	}	0,12				
	500			0,11		0,14				
	600			0,12		0,16				
— pannelli di particelle (contenuto di umidità 10%)	500	}		0,083	}	0,10				
— pressati	600			1,8 a 3,6		0,10	0,12			
	700			}			0,13	}	0,15	
	700						≅ 9		0,14	0,17
	600						0,45 a 3,6			
— pannelli di legno compensato; usare per la conduttività i valori relativi ai legnami con cui sono prodotti	130	6,7 a 10	6,7 a 10	0,041	10	0,045				
— sughero (contenuto di umidità dal 2 al 4%)	90	6,7 a 10	6,7 a 10	0,039	10	0,043				
— espanso puro	130	}	}	0,041	}	0,045				
— espanso con leganti	200			4 a 21		4 a 21	0,047	10	0,052	

(segue prospetto)

(segue)

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiali	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<b>Porcellana (piastrelle)</b>	2 300					1,0
<b>Rocce naturali</b>						
— ardesia	2 700					2,0
— basalto	2 800					3,5
— calcare	1 900					1,5
	2 100					1,6
	2 700					2,9
	2 800					3,5
— dolomite	2 700					1,8
— feldspato	2 500					2,4
— gneiss	2 700					3,5
— granito	2 500					3,2
	3 000					4,1
— lava	2 200					2,9
— marmo	2 700					3,0
— porfido	2 200					2,9
— schisto parallelo al piano di sfaldamento	2 700					2,5
— schisto normale al piano di sfaldamento	2 700					1,4
— steatite	2 600					2,7
— trachite	2 300					2,9
— tufo	1 500					0,63
	2 300					1,7
<b>Silicato di calcio in lastre</b> (conduttività di riferimento relative a materiale secco; valori di calcolo relativi a contenuti di umidità dal 6% al 8%)						
— per uso fino a 650 °C	225			0,056	35	0,076
— per uso fino a 870 °C	240			0,070	35	0,094

*(segue prospetto)*

<i>(seguito del prospetto)</i>						
Materiale	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\lambda_m$ (W/mK)	$m$ %	$\lambda$ (W/mK)
<b>Vetro</b>						
— cellulare espanso	130	≅ 0	≅ 0	0,050	10	0,055
	150	≅ 0	≅ 0	0,055	10	0,060
	180	≅ 0	≅ 0	0,060	10	0,066
— da finestre	2 500	≅ 0	≅ 0			1,0
<p>1) Si ricorda che la legge n° 257 del 27 marzo 1992 "Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto" ha imposto le seguenti scadenze:  30 aprile 1994 - cessazione della commercializzazione delle fibre di amianto come materia prima;  30 aprile 1994 - interruzione della commercializzazione dei manufatti contenenti amianto destinati al settore delle costruzioni.</p> <p>2) L'introduzione dei valori alla permeabilità al vapore ha richiesto per alcune categorie di calcestruzzi di effettuare la distinzione in "calcestruzzi a struttura chiusa" e "calcestruzzi a struttura aperta" in quanto per questi due tipi i valori della permeabilità risultano molto differenti tra loro. In linea di massima il tipo di struttura è principalmente determinato dalle caratteristiche dell'impasto (rapporto acqua-cemento) e dall'invecchiamento.</p> <p>3) Si considerano pareti interne le pareti di separazioni tra locali, i solai tra i piani e le porzioni interne di pareti perimetrali composte a più strati. Si considerano pareti esterne protette le pareti ed i solai esterni che operano con contenuti di umidità simili a quelli propri delle pareti interne a causa della coesistenza di bassa umidità, di scarsità di precipitazioni e/o di protezioni superficiali esterne permeabili al vapore, ma impermeabili all'acqua in fase liquida e di sistemi di controllo della diffusione del vapore nella parete. Si considerano pareti esterne le pareti perimetrali ad un solo strato e le porzioni esterne di pareti composte di più strati, ad esempio per pareti di mattoni o blocchi forati con intercapedine si considera parete esterna la porzione di muratura tra l'esterno e l'intercapedine e si considera parete interna la porzione restante. Per pareti perimetrali di blocchi o mattoni forati si considera come parete esterna la porzione piena di parete esposta all'esterno, mentre si considera come parete interna la porzione piena di parete rivolta all'interno.  Per pareti perimetrali piene di calcestruzzi cellulari o calcestruzzi contenenti inerti leggeri si considerano, come parete esterna, i primi 10 cm di spessore a partire dalla superficie esterna, mentre si considera parte interna la restante porzione della parete.</p> <p>4) L'isolamento si intende montato contro il terreno quando è applicato esternamente ad una parete di scantinato, sotto un pavimento di scantinato o contro una fondazione, i dati così definiti presuppongono tuttavia che sia garantito un adeguato drenaggio che eviti il contatto dell'isolamento con acqua allo stato liquido.</p> <p>5) Il comportamento del materiale nell'edilizia non è completamente conosciuto; il valore di <math>m</math> è pertanto indicativo.</p>						

**Materiali da costruzione**  
**Conduttività termica e permeabilità al vapore**

(UNI 10351)

Studio del progetto — **Gruppo di lavoro del Sottocomitato 1 "Trasmissione del calore e fluidodinamica" del CTI** (Comitato Termotecnico Italiano, federato all'UNI — Milano, Dipartimento di Energetica, piazza Leonardo da Vinci, 32), riunioni negli anni dal 1990 al 1992.

Esame ed approvazione — **Commissione Centrale del CTI**, riunione del 15 set. 1992.

Esame finale ed approvazione — **Commissione Centrale Tecnica dell'UNI**, riunione del 29 giu. 1993.

Ratifica — **Presidente dell'UNI**, delibera del 2 mar. 1994.