

Titolo: Materiali per edilizia Conduttività termica e permeabilità al vapore

Autore: a cura del Comitato Termotecnico Italiano

Abstract: La presente norma integra, con i dati di permeabilità al vapore, i dati di conduttività termica dei materiali impiegati nell'edilizia riportati all'aggiornamento FA 101-83 della Tabella "Valori correnti della conduttività di alcuni materiali alla temperatura ordinaria" punto 7.1.2 della norma Uni 7357-1974 I valori già contenuti nel FA 101-83 vengono qui integralmente ripresi senza alterazioni. Questa norma fornisce i valori di conduttività termica e di permeabilità al vapore di alcuni materiali. La norma deve essere impiegata quando non esistono norme Uni o Cen relative al materiale che si intende utilizzare.

Materiali per edilizia

Conduttività termica e permeabilità al vapore

a cura del Comitato Termotecnico Italiano

La presente norma integra, con i dati di permeabilità al vapore, i dati di conduttività termica dei materiali impiegati nell'edilizia riportati all'aggiornamento FA 101-83 della Tabella "Valori correnti della conduttività di alcuni materiali alla temperatura ordinaria" punto 7.1.2 della norma Uni 7357-1974. I valori già contenuti nel FA 101-83 vengono qui integralmente ripresi senza alterazioni.

Scopo

Questa norma fornisce i valori di conduttività termica e di permeabilità al vapore di alcuni materiali.

La norma deve essere impiegata quando non esistono norme Uni o Cen relative al materiale che si intende utilizzare.

Cti Comitato Termotecnico Italiano Ente di unificazione del settore termotecnico federato all'Uni, sotto gli auspici del Cnr. Segreteria Commissione Centrale, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano. Progetto di norma Cti - 1/240 E02.01.240.0 compilato dal SC n. 1 «Trasmissione del calore e fluidodinamica».

Campo di applicazione

La presente norma si applica a tutti i materiali contenuti nella Tabella. Posteriormente alla pubblicazione della presente norma, i valori di permeabilità al vapore e di λ_m saranno sostituibili con quelli desunti da nuove specificazioni relative alla conduttività apparente di materiali o relative alla conduttanza termica specifica o alla resistenza termica specifica di manufatti, purché dette specificazioni siano pubblicate dall'Uni e siano conformi ai criteri di seguito riportati.

Le maggiorazioni di m si applicano pertanto ai valori così ottenuti della conduttività di riferimento.

È evidente invece che un certificato relativo ad una singola prova di laboratorio non fornisce al progettista informazioni circa i valori medi e circa la dispersione della produzione.

Grandezze considerate

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 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, mai la estrapolazione.

Permeabilità al vapore

Le permeabilità riportate in Tabella sono state determinate con prove condotte a temperatura costante, e quindi l'utilizzo di tali valori in condizioni non isoterme, soprattutto in presenza di forti gradienti di temperatura, può fornire risultati non in accordo con la realtà.

I valori riportati in Tabella possono essere facilmente convertiti nei corrispondenti fattori di resistenza alla diffusione spesso utilizzati al posto delle permeabilità nella costruzione dei diagrammi di Glaser.

A tal fine si ricorda che il fattore di resistenza alla diffusione μ è pari al rapporto tra la permeabilità al vapore dell'aria in quiete e la permeabilità al vapore del materiale.

Nell'effettuare calcoli di verifica igrometrica delle strutture mediante il metodo di Glaser, quando possibile, si devono utilizzare i valori di permeabilità al vapore riportati nelle specificazioni tecniche dei materiali impiegati.

Nel caso di materiali per i quali è riportato un intervallo 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).

Valori

Nel prospetto sono riportate cinque colonne di dati:

- la massa volumica ρ del materiale secco;
- la permeabilità al vapore δ_a e δ_u ;
- la conduttività indicativa di riferimento λ_m ;
- la maggiorazione percentuale m ;
- la conduttività utile di calcolo λ .

Massa volumica del materiale secco

La massa volumica del materiale secco è stata determinata secondo le norme Uni in vigore.

Permeabilità al valore δ_a e δ_u

La colonna dei valori δ_a di Tabella rappresenta la permeabilità determinata nell'intervallo di umidità relativa 0-50%,

quella δ_u determinata nell'intervallo 50-95% (rispettivamente campo asciutto e campo umido di cui alla norma Uni 9233).

Tale impostazione consente al progettista di poter fare riferimento a valori di permeabilità al vapore più realistici in relazione alle effettive condizioni di esercizio dei materiali.

Si è ritenuto opportuno inoltre riportare, quando possibile anziché singoli valori di permeabilità, una forcella di valori indicativa del campo di variazione di tale grandezza nei singoli casi. In altri casi, quando cioè si sono avute a disposizione informazioni scarse e/o incerte, è stato riportato in Tabella un unico valore di permeabilità preceduto dal segno \cong .

Nel caso di materiali non omogenei, ad esempio laterizio forato, i valori tabulati sono da intendersi come permeabilità equivalenti, non essendo state considerate nella Tabella le relative permeanze.

Non vengono infine forniti dati quando si è riscontrata assenza completa di informazioni attendibili, o quando si tratta di materiali per i quali tale grandezza non è significativa (metalli, materie plastiche compatte ecc.).

Tutti i dati della Tabella devono comunque essere sempre considerati dagli utilizzatori solo indicativi della effettiva permeabilità, che può caratterizzare un particolare materiale.

Conduttività indicativa di riferimento λ_m

La colonna della conduttività indicativa di riferimento λ_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/m³, inoltre l'umidità percentuale in massa al termine della prova su materiali organici deve essere minore del 2%.

I valori numerici di λ_m definiscono il limite superiore della conduttività apparente misurata o misurabile nelle condizioni citate, che non è superato dal 90% della produzione nazionale.

La differenza tra i valori di λ_m ed i valori delle medie aritmetiche dei dati ri-

scontrabili nella buona produzione è compresa usualmente tra il 5 ed il 50%.

I dati relativi a prodotti scadenti possono superare talvolta anche del 50% i valori di λ_m indicati nel prospetto.

I valori λ_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 λ_m sono stati desunti da specificazioni Uni relative alla conduttività apparente del materiale, il numero della norma è citata nel prospetto.

Maggiorazione percentuale m

La colonna delle maggiorazioni 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'11% per laterizi, da 2 a 5% per calcestruzzi e malte, umidità di equilibrio con 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 eguale 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 volumetriche 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 tenere conto della effettiva influenza delle tolleranze nello spessore, come accennato sopra. È invece possibile modificare la conduttività indicativa di riferimento λ_m in funzione dello spessore, se è nota la dipendenza di λ_m da questo parametro.

Conduttività utile di calcolo λ

La colonna delle conduttività utili di calcolo λ è stata ricavata applicando le maggiorazioni m alla conduttività indicativa di riferimento λ_m .

Osservazioni

Per valutare i materiali non elencati nel prospetto e privi di specificazioni Uni o per accertare se le caratteristiche di un prodotto siano migliori di quelle indicate in questa norma, il progettista deve disporre di documentazione che gli consenta di defi-

nire su basi statistiche il valore della conduttività apparente o misurabile in laboratorio, nelle condizioni citate più sopra 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. ●

Conduttività termica e permeabilità al vapore dei materiali da costruzione						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/msPa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/msPa	λ_m W/mK	<i>m</i> %	λ W/mK
<i>Acqua</i>						
liquida in quiete a 293 K	1000					0,6
ghiaccio						
- a 272 K	900					2,2
- a 263 K	900					2,5
neve						
- 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
<i>Amianto e derivati</i>						
amianto in lastre con alto contenuto di amosite	135					
- secco				0,05		
- umido				0,15		
- bagnato				0,20		
amianto a spruzzo	80			0,043		
	130			0,046		
	160			0,061		
	240			0,075		
amianto-cemento in lastre (umidità 2%)	1800	1,2-5	≅ 1,6	0,40	50	0,60
	1900			0,60		0,90
amianto e silicato in lastre (umidità 4%)	650	≅ 1	≅ 1,7	0,12	50	0,18
<i>Aria</i>						
in quiete a 293 K	1,3	≅ 193	≅ 193			0,026
<i>Calcestruzzi</i>						
a) a struttura chiusa (1)						
calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette, per pareti esterne non protette assumere <i>m</i> = 25%) (2)	2000			1,01		1,16
	2200	1,3-2,6	1,8-4	1,29	15	1,48
	2400			1,66		1,91
calcestruzzo di argilla espansa (conduttività di riferimento relativa a materiale secco; valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità del 6% assumere <i>m</i> = 30%; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere <i>m</i> = 45%; per sottofondi non areati assumere <i>m</i> = 100%) (2)	500			0,14		0,16
	600			0,16		0,18
	700			0,18		0,21
	800			0,20		0,24
	900			0,22		0,27
	1000			0,25		0,31
	1100	1,3-2,6	1,8-4	0,29	20	0,35
	1200			0,33		0,39
	1300			0,37		0,44
	1400			0,42		0,50
	1500			0,47		0,57
	1600			0,54		0,65
	1700			0,63		0,75

segue Tabella						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Calcestruzzi</i>						
b) a struttura aperta (*)						
calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$) (*)	2000 2200 2400	18-36	$\cong 60$	1,01 1,29 1,66	15	1,16 1,48 1,91
calcestruzzo di argilla espansa (conduttività di riferimento relativa a materiale secco; valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità del 6% assumere $m = 30\%$; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$; per sottofondi non areati assumere $m = 100\%$) (*)	500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700	18-36	$\cong 60$	0,14 0,16 0,18 0,20 0,22 0,25 0,29 0,33 0,37 0,42 0,47 0,54 0,63	20	0,16 0,18 0,21 0,24 0,27 0,31 0,35 0,39 0,44 0,50 0,57 0,65 0,75
calcestruzzo cellulare da autoclave (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità da 4 a 5%; per pareti esterne con umidità da 6 a 7% assumere $m = 40\%$; per pareti di scantinati con umidità da 8 a 10% assumere m maggiore di 50%) (*) (per calcestruzzi espansi in situ maggiorare i dati dei calcestruzzi da autoclave del 10%)	400 500 600 700 800	18-36	40-60	0,12 0,14 0,15 0,17 0,20	25	0,15 0,17 0,19 0,22 0,25
calcestruzzi di inerti espansi di origine vulcanica (valori orientativi di calcolo per pareti interne o esterne protette)	1000 1200 1400					0,38 0,47 0,58
calcestruzzo di perlite o vermiculite (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità da 8 a 10%; per pareti esterne con umidità da 10 a 12% assumere $m = 55\%$; per pareti di scantinati con umidità da 12 a 14% assumere $m = 65\%$) (*)	250 400			0,9 0,11	40	0,13 0,15
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) (*)	400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900					0,19 0,22 0,24 0,27 0,30 0,34 0,38 0,42 0,47 0,52 0,58 0,65 0,73 0,83 0,94 1,06
<i>Carta, cartone e derivati</i>						
carta e cartone	1000	1-2				0,16
cartone bitumato	1100	$(6 - 9) \cdot 10^{-2}$				0,23
cartongesso in lastre	900	$\cong 23$				0,21
cartone ondulato	100					0,065
<i>Fibre minerali</i>						
Sul valore di m le tolleranze dello spessore di feltri o pannelli con 10 cm di spessore incidono da 2 a 3% in molti ca-						

segue Tabella						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/msPa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/msPa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Fibre minerali</i>						
<p>si, tuttavia per alcuni feltri i valori indicativi vengono ampiamente superati. Ogni unità percentuale di umidità dà luogo ad aumenti dei valori utili di calcolo dall'1 al 5%; per applicazioni interne (*) il contenuto di umidità è dell'11% 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 accostamento incide su m dall'1 al 3%. Per montaggi con staffe o altri sistemi che introducono ponti termici maggiorare i valori di calcolo almeno del 5%; per montaggi contro terreno (*) i valori di calcolo devono essere maggiorati 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 termica specifica nota.</p>						
fibre di vetro						
- feltri resinati	11 14 16	$\cong 150$	$\cong 150$	0,048 0,044 0,042	10	0,053 0,048 0,046
- pannelli semirigidi	16 20 30	$\cong 150$	$\cong 150$	0,042 0,039 0,036	10	0,046 0,043 0,040
- pannelli rigidi (i valori minimi delle conduttività corrispondono a masse volumiche comprese tra 30 e 100 kg/m ³) (*)	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,035	10	0,038
fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche						
- feltri resinati	30	$\cong 150$	$\cong 150$	0,041	10	0,045
- pannelli semirigidi	35 40 55	$\cong 150$	$\cong 150$	0,040 0,038 0,036	10	0,044 0,042 0,040
- pannelli rigidi	80 100 125	$\cong 150$	$\cong 150$	0,035 0,034 0,034	10	0,039 0,038 0,038
- pannelli a fibre orientate	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,044	10	0,048
fibre minerali ottenute da rocce basaltiche (verificare la influenza su m delle tolleranze di spessore; il valore indicato ipotizza il 10%)						
- feltri trapuntati	60 80 100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,037 0,037 0,038	20	0,044 0,044 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 60 80 100 150	$\cong 150$	$\cong 150$	0,049 0,044 0,042 0,042 0,044	10	0,054 0,048 0,046 0,046 0,048
<i>Intonaci e malte</i>						
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)	600 750 900 1000 1200	$\cong 18$				0,29 0,35 0,41 0,47 0,58

<i>segue Tabella</i>						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Intonaci e malte</i>						
intonaco di gesso puro	1200	$\cong 18$				0,35
intonaco di calce e gesso	1400					
malta di calce o di calce e cemento	1800	$5-12$				0,90
malta di cemento	2000					1,40
<i>Laterizi</i>						
mattoni pieni, forati, leggeri, mattoni ad alta resistenza meccanica.	600	$18-36$	$18-36$	0,13	90	0,25
	800			0,18	65	0,30
Per i mattoni forati la conduttività non è definibile né misurabile; i valori assegnati a λ_m e a λ 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 λ_m si riferiscono al solo laterizio (incluso nel volume del laterizio fori o porosità), mentre le conduttività utili di calcolo λ si riferiscono alla muratura completa; ne consegue che la maggiorazione m non tiene solo conto degli usuali fattori di maggiorazione, ma congloba anche l'effetto della presenza delle malte tra laterizio e laterizio. Le presenti indicazioni sono necessariamente di prima approssimazione; dati più rigorosi possono essere calcolati dal progettista conoscendo il tipo di laterizio e il tipo di malta che compongono la natura. Per alcune informazioni in proposito vedere anche il punto 7.1.4 della Uni 7357 (questo punto è attualmente in revisione come progetto di norma Cti-SC 1 1/36). Valori di calcolo relativi a pareti interne con umidità dello 0,5% (?); per pareti esterne con umidità dell'1,5% raddoppiare i valori di m	1000			0,24	48	0,36
	1200			0,32	35	0,43
	1400			0,40	25	0,50
	1600			0,50	18	0,59
	1800			0,63	14	0,72
	2000			0,80	12	0,90
<i>Legnami</i>						
contenuti medi di umidità del 15%; la conduttività aumenta dell'1,2% per ogni percento di umidità						
abete (flusso perpendicolare alle fibre)	450	$\cong 0,3$	$\cong 0,9$	0,10	20	0,12
(flusso parallelo alle fibre)	450	$\cong 4,5$	$\cong 6$			
pino (flusso perpendicolare alle fibre)	550	$\cong 4,5$		0,12	20	0,15
acero (flusso perpendicolare alle fibre)	715			0,15	20	0,18
quercia (flusso perpendicolare alle fibre)	850	$\cong 4,5$		0,18	20	0,22
altri legnami: interpolare i dati in funzione della massa volumica						
abete, pino, acero e quercia con flusso parallelo alle fibre: maggiorare i dati di conduttività di ciascun tipo di legname fino al 50%						
<i>Mastici per tenute</i>						
siliconici, poliuretanic, polisulfurei, acrilici; massa volumica 1000 a 1650 kg/m ³						0,40

segue Tabella						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_v \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>Materiali per impermeabilizzazioni</i>						
asfalto	2100	≅ 0				0,70
asfalto con sabbia	2300	≅ 0				1,15
bitume	1200	≅ 0				0,17
bitume con sabbia	1300	≅ 0				0,26
	1600	≅ 0				0,50
cartone catramato	1100	0,01-0,14				0,23
foglie di materiale sintetico (vedere materie plastiche compatte)						
<i>Materiali sfusi e di riempimento</i>						
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 maggiorati almeno del 50%) (*)	280			0,80		0,09
	330			0,09	15	0,10
	450			0,10		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		
- scorie espanse	600					0,13
- vermiculite espansa in granuli da 0,1 a 12 mm	80			0,064	20	0,077
	120			0,068		0,082
materiali sfusi ad alta massa volumica						
- ciottoli e pietre frantumate (umidità 2%)	1500			0,4	75	0,7
- ghiaia grossa senza argilla (umidità 5%)	1700			0,6	100	1,2
- sabbia secca (umidità minore dell'11%)	1700			0,35	70	0,6
<i>Materie plastiche cellulari</i>						
le conduttività di riferimento sono valide per materiali prodotti da non meno di 100 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, maggiorare i dati di calcolo almeno del 5%. Per montaggi contro il terreno maggiorare i dati di calcolo dal 10 al 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 termica specifica nota. Qualora in una norma pubblicata dall'Uni sia fornita, per un determinato materiale, una correlazione tra la conduttività a 100 giorni dalla produzione e la conduttività ad un diverso numero di giorni dalla produzione, si potranno ricalcolare						

segue Tabella						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Materie plastiche cellulari</i>						
i valori di m per prodotti conformi a tale forma. La scarsità di informazioni sulle correlazioni citate e sugli intervalli tra produzione e certificazione inducono ad aumentare talvolta di qualche unità percentuale il valore di m						
cloruro di polivinile espanso rigido in lastre (*)	30 40	0,5-1	1-2	0,032 0,035	20	0,039 0,041
polietilene (*)						
- espanso estruso in continuo, non reticolato	30 50			0,042 0,050	20	0,050 0,060
- espanso estruso in continuo, reticolato	33 50			0,040 0,048	20	0,048 0,058
polistirene (contenuto di umidità in pareti interne (2) da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno (3) fino al 20%; per i prodotti estrusi i valori di umidità indicati vanno circa dimezzati. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni percento di umidità)						
- espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi (conforme alla Uni 7819; le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento ricalcolate a 293 K per 10 cm di spessore)	15 20 25 30	3,6-9 2,5-6 2,5-6 1,8-4,5	3,6-9 2,5-6 2,5-6 1,8-4,5	0,041 0,037 0,036 0,036	10	0,045 0,041 0,040 0,040
- espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10 15 20 25 30	3,6-9 2,5-6 1,8-4,5 1,8-4,5	3,6-9 2,5-6 1,8-4,5 1,8-4,5	0,051 0,043 0,040 0,039 0,038	10	0,056 0,047 0,044 0,042 0,042
- espanso, in lastre stampate per termocompressione	20 25 30			0,036 0,035 0,035	10	0,040 0,039 0,039
- espanso estruso, con pelle (valori di calcolo applicabili fino a dieci anni di esercizio anche all'esterno senza protezione dell'acqua; per invecchiamento a tempo indeterminato mancano informazioni convalidate sperimentalmente)	30 35			0,031 0,030	15	0,036 0,035
- espanso estruso, senza pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio; per invecchiamento a tempo indeterminato mancano informazioni convalidate sperimentalmente)	30 50	0,6-2,2	0,6-2,2	0,037 0,028	10 20	0,041 0,034
poliuretani (contenuto di umidità in pareti interne (2) pari a 1%; in montaggi contro il terreno (3) fino al 10%. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni percento di umidità. Il valore di m è principalmente dovuto al fenomeno 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 m qui proposti si riferiscono a materiali senza membrane protettive contro fenomeni di diffusione; una membrana metallica continua di spessore maggiore di 0,05 mm annulla quasi completamente i fenomeni di diffusione per cui m può essere ridotto in questo caso al 10%. Mancano invece informazioni attendibili per altri tipi di membrane)						
- poliuretani in lastre ricavate da blocchi	25 32 40 50		1-2	0,031 0,023 0,022 0,022	10 40 45 45	0,034 0,032 0,032 0,032

<i>segue Tabella</i>						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_v \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Materie plastiche cellulari</i>						
- polisocianurati in lastre ricavate da blocchi	32 40	1-2		0,025 0,023	30 40	0,032 0,032
- poliuretani espansi in situ	37	1,8-6		0,023	50	0,035
resine fenoliche in lastre (*)	35 60 80	3,6-6		0,034 0,037 0,038	20	0,041 0,044 0,046
resine ureiche espanse in situ (conduttività di riferimento e massa volumica relativa a materiali essiccati in aria a 293 K e 50% di umidità relativa e cioè non secondo Uni 7745 o Uni 7891. Contenuto di umidità in esercizio del 20%; il valore di m è dovuto alla fessurazione del materiale e al contenuto di umidità; dati applicabili non oltre 8 cm di spessore)	8 12 15 30	30-140		0,038 0,036 0,034 0,032	50	0,057 0,054 0,051 0,048
<i>Materie plastiche compatte</i>						
acrilonitrile-butadiene-stirene (Abs)	1050					0,28
carbammide e resine melamminiche con cariche	1500					0,40
celluloide	1350					0,35
ebanite, gomma dura	1150					0,16
polimetilmetacrilato (Pmma)	1200					0,18
poliammide (PA)	1100					0,30
policarbonato (PC)	1150					0,23
politetrafluoroetilene (Ptfе)	2200					0,24
polietilene (PE)	950					0,35
policloruro di vinile (Pvc)	1400					0,16
polistirene (PS)	1100					0,17
resine acriliche	1450					0,20
resine epossidiche	1200					0,20
resine fenoliche con cariche organiche	1400					0,30
resine poliestere con fibra di vetro	2000					0,50
<i>Metalli</i>						
acciaio	7800					52
acciaio inossidabile	8000					17
argento	10500					420
alluminio	2700					220
leghe di alluminio	2800					160
bronzo	8700					65
ferro puro	7870					80
ghisa	7200					50
nicel	8800					65
ottone	8400					110
piombo	11300					35
rame	8900					380
zinco	7100					110
<i>Pannelli e lastre varie</i>						
lastre a base di perlite espansa, fibre e leganti bituminosi	190	$\cong 26$	$\cong 36$	0,059	20	0,071
pannelli di fibre di legno duri e estraduri (contenuto di umidità 10%)	800 900 1000	$\cong 2,6$		0,12 0,13 0,15	20	0,14 0,16 0,18
pannelli di lana di legno con leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)	300 350 400 500	36-90		0,071 0,076 0,081 0,091	20	0,085 0,091 0,097 0,11

segue Tabella						
Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
<i>segue Pannelli e lastre varie</i>						
pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)	400			0,09	30	0,12
	500			0,11		0,14
	600			0,12		0,16
pannelli di trucioli di legno (truciolare) (contenuto di umidità del 10%)						
	- pressati	500	1,8-3,6	0,083	20	0,10
		600		0,10		0,12
	700	0,13		0,15		
- estrusi	700	$\cong 9$		0,14	20	0,17
pannelli di legno compensato: usare per la conduttività, i valori relativi ai legnami con cui sono stati prodotti.						
sughero (contenuto di umidità da 2 a 4%)						
- espanso puro	130	6,7-10	6,7-10	0,041	10	0,045
- espanso con leganti	90	6,7-10	6,7-10	0,039	10	0,043
	130	4-21	4-21	0,041		0,045
	200	4-21	4-21	0,047		0,052
<i>Porcellana (piastrelle)</i>	2300					1,0
<i>Rocce naturali</i>						
ardesia	2700					2,0
basalto	2800					3,5
calcare	1900					1,5
	2100					1,6
	2700					2,9
	2800					3,5
	2800					3,5
dolomite	2700					1,8
feldspato	2500					2,4
gneiss	2700					3,5
granito	2500					3,2
	3000					4,1
	3000					4,1
lava	2200					2,9
marmo	2700					3,0
porfido	2200					2,9
schisto parallelo al piano di sfaldamento	2700					2,5
schisto normale al piano di sfaldamento	2700					1,4
steatite	2600					2,7
trachite	2300					2,9
tufo	1500					0,63
	2300					1,7
<i>Silicato di calcio in lastre</i>						
(conduttività di riferimento relative a materiale secco; valori di calcolo relativi a contenuti di umidità dal 6 all'8%)						
- simile al tipo I della norma Astm C 533	225			0,056	35	0,076
- simile al tipo II della norma Astm C 533	240			0,070	35	0,094
<i>Vetro</i>						
- cellulare espanso	130	$\cong 0$	$\cong 0$	0,050	10	0,055
	150	$\cong 0$	$\cong 0$	0,055		0,060
	180	$\cong 0$	$\cong 0$	0,060		0,066

segue Tabella

Materiale	ρ kg/m ³	$\delta_a \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	$\delta_u \cdot 10^{12}$ kg/ms Pa	λ_m W/mK	m %	λ W/mK
segue Vetro - da finestre	2500	$\cong 0$	$\cong 0$			1,0

(¹) L'integrazione del FA 101-83 alla Uni 7357 con i valori della permeabilità al vapore ha richiesto per alcune categorie di calcestruzzi di introdurre la distinzione in "calcestruzzi a struttura chiusa" e "calcestruzzi a struttura aperta" in quanto per questi due tipi i valori della permeabilità risultano in genere molto differenti. In linea di massima il tipo di struttura è determinato principalmente dalle caratteristiche dell'impasto (rapporto acqua-cemento) e dall'invecchiamento. I valori relativi alla massa volumica del materiale secco, della conduttività indicativa di riferimento, della maggiorazione e della conduttività utile di calcolo conservano, senza alterazioni i valori presentati sul FA 101-83.

(²) Si considerano pareti interne le pareti di separazione tra i locali, i solai tra i piani e le porzioni interne di pareti perimetrali composte a più strati. Si considerano pareti esterne protette le pareti e i solai esterni che operano con contenuti di umidità simili a quelli propri delle pareti interne a causa delle coesistenze 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 pa-

reti perimetrali ad un solo strato e le porzioni esterne di pareti composte di più strati, per 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 parete interna la restante porzione di parete.

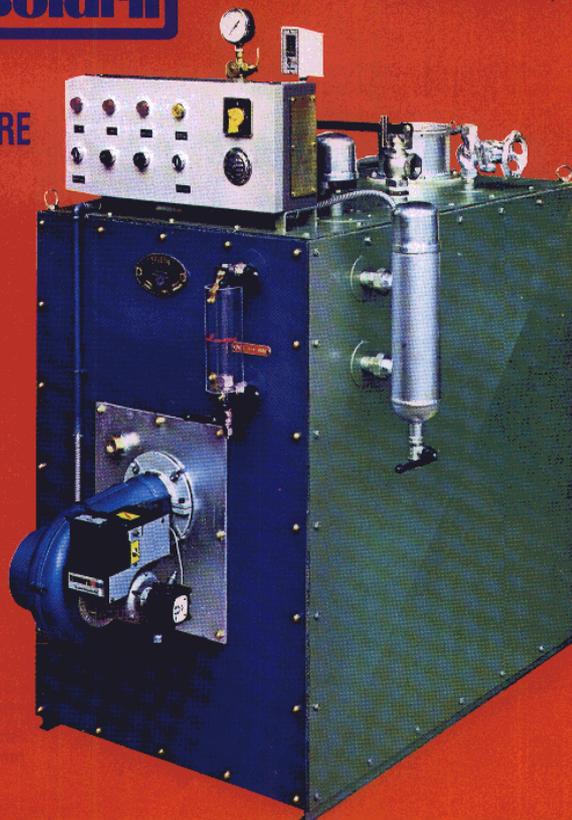
(³) L'isolante si intende montato contro il terreno quando è applicato esternamente ad una parete di scantinato, sotto un pavimento di scantinato o contro una fondazione; i dati così definiti presuppongono tuttavia che sia garantito un adeguato drenaggio che eviti il contatto dell'isolante con acqua allo stato liquido.

(⁴) Il comportamento del materiale nell'edilizia non è completamente conosciuto; il valore di m è pertanto indicativo.

Marino Boldrin

Strada Bassa, 192 - 35011 Reschigliano (PD)
Tel./Fax 049/5564184

**CALDAIE A VAPORE
A TUBI D'ACQUA
E TUBI DA FUMO
MONOBLOCCO
PRODUZIONE
DI VAPORE
da 45 kg/h
a 10.000 kg/h
CENTRALI
TERMICHE
COMPLETE**



**Cercasi
Installatori/Rivenditori per:
Lombardia - Piemonte - Liguria**

**GENERATORE
DI VAPORE
MONOBLOCCO
TIPO MA
A TUBI D'ACQUA**

- completamente esente da obblighi ISPESL
- produzione di vapore da 45 a 600 kg/h
- rendimento combustione 88 ÷ 90%
- trascinalenti d'acqua nel vapore pressoché nulli (3 ÷ 5%)