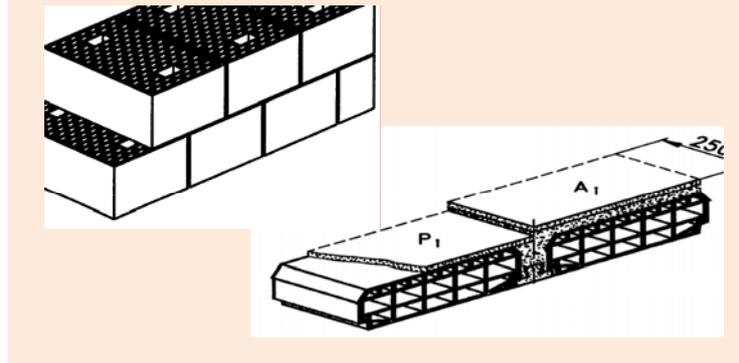


TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)



**CONDUTTIVITA'
TERMICA**

CONDUTTIVITA' TERMICA (UNI 10351)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k \frac{1}{K_k} + \frac{1}{\alpha_e}} \equiv \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{se}} = \frac{1}{R}$$

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_v \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
Calcestruzzo						
a) a struttura chiusa ²⁾ :						
— calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti esterne e interne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$) ³⁾	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
— 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 $m = 100\%$) ³⁾	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			

Assegnare un valore realistico alla conduttività termica è fondamentale non solo per il calcolo della trasmittanza termica di parete, ma anche per la corretta valutazione degli effetti dei ponti termici!

CONDUTTIVITA' TERMICA: MAGGIORAZIONI (UNI 10351)

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.

La differenza tra i valori di λ_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 λ_m indicati nel prospetto. I valori di 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.

CONDUTTIVITA' TERMICA: MAGGIORAZIONI (UNI 10351)

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 λ_m in funzione dello spessore, se è nota la dipendenza di λ_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.

CONDUTTIVITA' TERMICA: MAGGIORAZIONI (UNI 10351)

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, 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.

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

CONDUTTIVITA' TERMICA: CALCESTRUZZO

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
Calcestruzzo						
a) a struttura chiusa ²⁾ :						
— calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti esterne e interne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$) ³⁾	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
— 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 $m = 100\%$) ³⁾	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			
b) a struttura aperta ²⁾ :						
— 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 $m = 100\%$) ³⁾	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			0,22		0,27
	1 000	0,25	0,31			
— 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 $m > 50\%$) ³⁾ (per calcestruzzi espansi in situ maggiore i dati dei calcestruzzi da autoclave del 10%)	400	18 a 36	40 a 60	0,12	25	0,15
	500			0,14		0,17
	600			0,15		0,19
	700			0,17		0,22
	800			0,20		0,25

U.03 – Trasmissione (pareti opache)

7/49

CONDUTTIVITA' TERMICA: PARETI PROTETTE E NON

(Nota 3 ai prospetti)

Si considerano **pareti interne** le pareti di separazione 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 blocchi o mattoni 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.

U.03 – Trasmissione (pareti opache)

8/49

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

CONDUTTIVITA' TERMICA: INTONACI E GUAINE

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
Intonaci e malte						
— 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	≅ 18				0,29
	750					0,35
	900					0,41
	1 000					0,47
	1 200					0,58
— intonaco di gesso puro	1 200	≅ 18				0,35
— intonaco di calce e gesso	1 400	≅ 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
Materiali per impermeabilizzazioni						
— asfalto	2 100	≅ 0				0,70
— asfalto con sabbia	2 300	≅ 0				1,15
— bitume	1 200	≅ 0				0,17
— bitume con sabbia	1 300	≅ 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

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

9/49

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

CONDUTTIVITA' TERMICA: PAVIMENTAZIONI

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
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
Porcellana (piastrelle)	2 300					1,0
Rocce naturali						
— 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

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

10/49

CONDUTTIVITA' TERMICA: LATERIZI

Laterizi

Per 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 (inclusando 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-

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
— mattoni pieni, forati, leggeri,	600	18 a 36	18 a 36	0,13	90	0,25
mattoni ad alta resistenza meccanica	800			0,18	65	0,30
	1 000			0,24	48	0,36
	1 200			0,32	35	0,43
	1 400			0,40	25	0,50
	1 600			0,50	18	0,59
	1 800			0,63	14	0,72
	2 000			0,80	12	0,90

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%-3%; per pareti esterne con umidità dell'1,5% raddoppiare i valori di m .

CONDUTTIVITA' TERMICA: LATERIZI

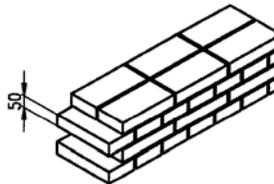
DL 192 Poroton P800



POROTON® P800 - 35.19.25			
DIMENSIONI			
Lunghezza	Larghezza	Altezza	% di foratura
250 mm	350 mm	190 mm	45 %
CARATTERISTICHE TERMICHE			
Conducibilità Termica equivalente della parete non intonacata			0,185 W/mK
Trasmittanza termica della parete con intonaco tradizionale e malta tradizionale			0,477 W/m ² K
Trasmittanza termica della parete con intonaco esterno isolante e malta tradizionale**			0,434 W/m ² K
Trasmittanza termica della parete con intonaco tradizionale e malta isolante***			0,423 W/m ² K
Trasmittanza termica della parete con intonaco esterno isolante e malta isolante****			0,389 W/m ² K
Massa superficiale della parete non intonacata			325 Kg/m ²

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (1)

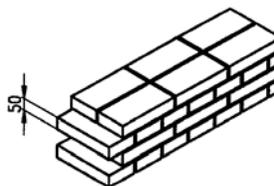
Parete verticale non isolata
 Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	26.2
Intonaco interno:	0.000	1400	0.0	0.7	0	0.7	0.0000	0.0
Laterizio due teste:	0.250	800	200.0	0.63	0	0.63	0.3968	79.9
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9	0	0.9	0.0167	3.4
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	8.1
$d_{tot} = 0.265$ [m]		$M_{s, c/mt} = 227.0$ [kg/m ²]					$R_{(tot)} = 0.58$ [m ² K/W]	117.5
		$M_{s, s/mt} = 200.0$ [kg/m ²]					$U = 1.71$ [W/(m ² K)]	

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (1)

Parete verticale non isolata
 Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	25.1
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7	0	0.7	0.0214	4.1
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.63	28	0.8064	0.3100	59.8
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9	0	0.9	0.0167	3.2
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	7.7
$d_{tot} = 0.280$ [m]		$M_{s, c/mt} = 498.0$ [kg/m ²]					$R_{(tot)} = 0.52$ [m ² K/W]	100.0
		$M_{s, s/mt} = 450.0$ [kg/m ²]					$U = 1.93$ [W/(m ² K)]	

RESISTENZA TERMICA DI STRATO (UNI 10355)

Generalità

Le resistenze termiche sono state calcolate con il metodo degli elementi finiti, secondo le procedure e le ipotesi descritte in appendice. I valori delle pareti riportati nei prospetti sono relativi a strutture senza intonaco e si riferiscono alle pareti esterne per gli elementi che possono essere utilizzati sia all'esterno che all'interno, o alle pareti interne per gli elementi che possono essere utilizzati solo all'interno. I valori riportati nel prospetto per i solai si riferiscono ai solai che separano due ambienti interni.

Nel calcolo sono state impiegate, per i materiali costituenti e per la malta, le conduttività utili di calcolo ricavate dalla UNI 10351 che rappresentano il 90% della produzione nazionale e tengono conto, in condizioni medie di esercizio, del contenuto di umidità, dell'invecchiamento, della manipolazione e dell'installazione eseguita a regola d'arte. Nel calcolo non è stato considerato l'effetto delle tolleranze sulle dimensioni dell'elemento e sulla massa volumica dei materiali costituenti l'elemento. I valori delle resistenze termiche indicati nella norma vanno considerati valori utili di calcolo riferiti alle pareti esterne (o alle pareti interne per gli elementi utilizzabili solo all'interno) in condizioni medie di esercizio e presuppongono che il 90% della produzione nazionale sia caratterizzata da valori uguali o maggiori di quelli indicati.

Le resistenze termiche totali si ottengono aggiungendo alle resistenze termiche indicate nella norma quelle relative agli intonaci (quando previsti) e quelle relative agli scambi superficiali convettivi e radiativi. Per il calcolo delle resistenze termiche degli intonaci si devono utilizzare le conduttività di cui alla UNI 10351.

Per il calcolo delle resistenze termiche superficiali si devono utilizzare le relazioni di cui alla UNI 10344.

Per i solai con blocchi staticamente collaboranti la resistenza termica include 2 cm di caldana, a cui è stata attribuita una conduttività utile di calcolo pari a quella della malta. Per i solai con blocchi staticamente non collaboranti la resistenza termica comprende, oltre ai 2 cm di caldana, anche 4 cm di calcestruzzo armato.

RESISTENZA TERMICA DI STRATO (UNI 10355)

Modalità di giunto

Le resistenze termiche unitarie indicate nella norma sono relative a murature con giunti di malta orizzontali (che possono essere continui o interrotti) e verticali (quando previsti) di spessore pari a 12 mm.

Quando nella pratica realizzazione vengono impiegati giunti da 5 mm di spessore la resistenza termica della struttura può essere incrementata della percentuale indicata dal fattore di correzione.

Per la malta dei giunti è stata assunta una conduttività termica pari a 0,9 W/mK.

Osservazioni sui dati sperimentali

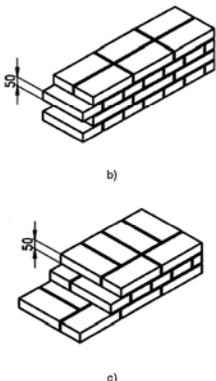
Il valore riportato sul certificato relativo ad una singola prova di laboratorio non fornisce informazioni circa i valori medi e la dispersione della produzione e non è significativo se non include informazioni sul contenuto di umidità del manufatto in prova e sulle resistenze termiche superficiali di scambio durante la prova. All'atto della progettazione si deve tenere conto di tali circostanze nella valutazione della resistenza termica delle strutture.

Tipologie non comprese nella presente norma

Nel caso di strutture non comprese nella presente norma, per la progettazione si possono utilizzare i dati relativi alla struttura più simile a quella considerata, con massa superficiale uguale o maggiore. Nel valutare la similitudine devono essere in particolare considerati: il tipo e la massa volumica del materiale costituente, il numero di fori, la loro geometria e distribuzione. Quando si confrontano elementi forati è fondamentale che il numero dei fori disposti nella direzione dello spessore sia uguale nei due elementi; risultano invece meno importanti le loro dimensioni. In alternativa si possono eseguire i calcoli secondo lo schema riportato in appendice. La stessa traccia di calcolo può essere utile quando si desidera valutare una muratura o un solaio con elementi identici ma con modalità di giunto o contenuti di umidità differenti da quelli della presente norma. Si può infine fare riferimento ai dati di conduttività equivalente riportati nella UNI 10351.

RESISTENZA TERMICA DI STRATO (UNI 10355)

(segue dal prospetto)

Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento		Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura % tipo	Spessore mm	Tipo di giunto		Massa volumica** kg/m ³	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² K/W	Fattore di correzione %
(segue fig. 2)		1.1.02	-	250	CM	GC	1800	450	0,32	3
								675	0,47	4

Foratura dell'elemento:
 V fori verticali
 O fori orizzontali
 P fori passanti
 PP fori parzialmente passanti
 NP fori non passanti

Tipo di giunto:
 CM giunti verticali con malta
 SM giunti verticali senza malta
 GC giunti orizzontali continui
 GI giunti orizzontali interrotti per un terzo
 P_O elementi collaboranti in opera
 P_I elementi collaboranti interposti
 A_O elementi di alleggerimento in opera
 A_I elementi di alleggerimento interposti

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento

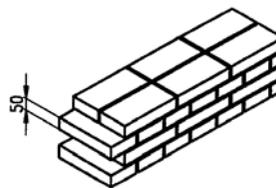
(segue prospetto)

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

17/49

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (1)

Parete verticale non isolata
 Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata Stratigrafia	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	24.6
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	4.1
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0				0.3200	60.6
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	3.2
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	7.6
	$d_{tot} = 0.280$ [m]		$M_{s, tot} = 498.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 0.53$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s, int} = 450.0$ [kg/m ²]				$U = 1.89$ [W/(m ² K)]	

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

18/49

ABACHI DELLE TRASMITTANZE (UNI/TS 11300-1 App. A)Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache^{a) b)} [W/(m²K)]

Spessore [m]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni semipieni o tufo	Pannello prefabbricato in calcestruzzo non isolato	Parete a cassa vuota con mattoni forati ^{c)}
0,15	-	2,59	2,19	3,59	-
0,20	-	2,28	1,96	3,28	-
0,25	-	2,01	1,76	3,02	1,20
0,30	2,99	1,77	1,57	2,80	1,15
0,35	2,76	1,56	1,41	2,61	1,10
0,40	2,57	1,39	1,26	2,44	1,10
0,45	2,40	1,25	1,14	-	1,10
0,50	2,25	1,14	1,04	-	1,10
0,55	2,11	1,07	0,96	-	-
0,60	2,00	1,04	0,90	-	-

- a) I sottofinestra devono essere computati come strutture a parte.
 b) In presenza di strutture isolate dall'esterno, la trasmittanza della parete può essere calcolata sommando alla resistenza termica della struttura non isolata, scelta dal prospetto A.1, la resistenza termica dello strato isolante aggiunto.
 c) I valori della trasmittanza sono calcolati considerando la camera d'aria a tenuta.

INTERPOLAZIONE LINEARETrasmittanza termica delle chiusure verticali opache^{a) b)} [W/(m²K)]

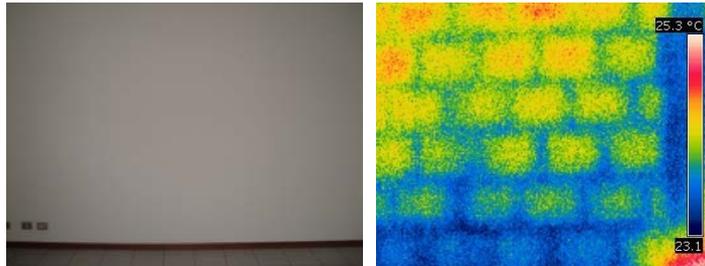
Spessore [m]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni semipieni o tufo	Pannello prefabbricato in calcestruzzo non isolato	Parete a cassa vuota con mattoni forati ^{c)}
0,15	-	2,59	2,19	3,59	-
0,20	-	2,28	1,96	3,28	-
0,25	-	2,01	1,76	3,02	1,20
0,30	2,99	1,77	1,57	2,80	1,15
0,35	2,76	1,56	1,41	2,61	1,10

$$U = U_A + (U_B - U_A) \times \frac{L - L_A}{L_B - L_A}$$

$$L = 28 \text{ cm} \Rightarrow U = 2,01 + (1,77 - 2,01) \times \frac{0,28 - 0,25}{0,30 - 0,25} = 1,87 \text{ W(m}^2\text{K)}$$

TRASMITTANZE: CRITICITA' DEL CALCOLO TEORICO

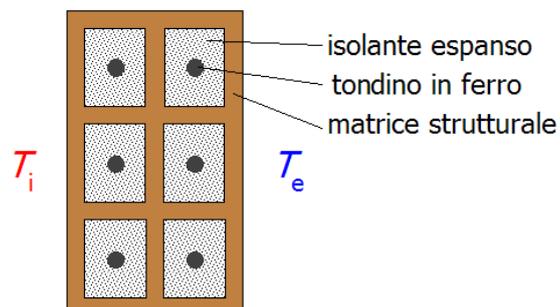
- Incertezze dell'utilizzo delle **conduttività indicative di riferimento** e delle **conduttività utili di calcolo** (UNI 10351:1994).
- Non considerazione dei **giunti**



- **Comportamento dei materiali assemblati in opera** differente da quello dei singoli materiali riscontrabile in laboratorio
- **Qualità della posa in opera**

TRASMITTANZE: CRITICITA' DEL CALCOLO TEORICO

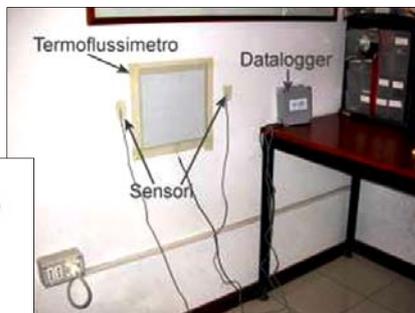
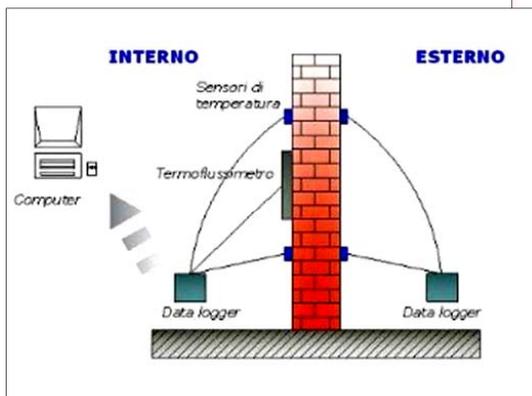
- In alcuni casi la parete è costituita da **blocchi di nuova concezione**, non riconducibili alle categorie della UNI 10351.



Ci si può fidare di trasmittanze della parete calcolate mediante soluzioni numerica, con valori delle conduttività desunte dalla letteratura generale?!?

TRASMITTANZE: MISURE DIRETTE IN OPERA

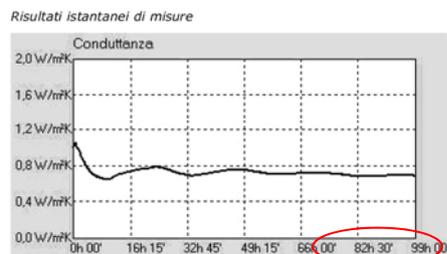
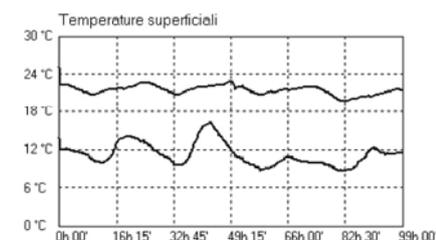
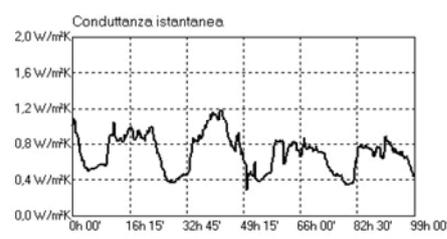
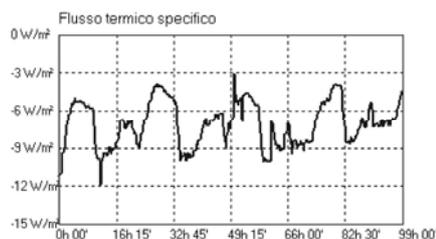
- Metodo dei termoflussimetri



$$R_p = \frac{(T_{si} - T_{se})}{Q/A}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_p + R_{se}}$$

TRASMITTANZE: MISURE DIRETTE IN OPERA

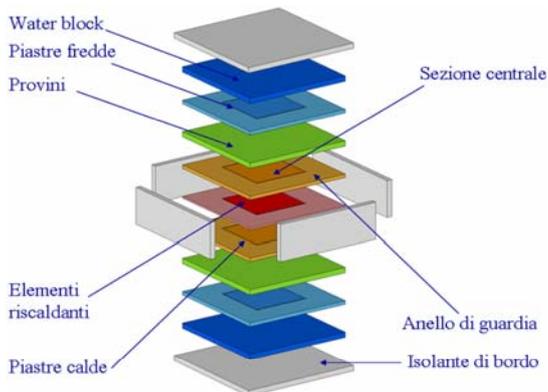
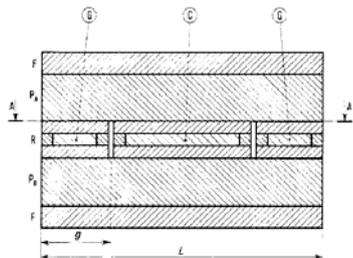


Fonte: R. Esposti, "La valigetta del certificatore", in neo-Eubios, n. 19, marzo 2007

Elaborazione dati per il calcolo della conduttanza con il metodo medie progressive

TRASMITTANZE: MISURE IN LABORATORIO

- Metodo della piastra calda (misure di conduttività)



Legenda

- C piastra calda
 - G anello di guardia
 - P_A, P_B campioni
 - F piastre fredde
- (le sonde di temperatura sono inserite tra la piastra calda e i campioni e tra i campioni e le piastre fredde)

$$\lambda = \frac{\Delta x}{A} \cdot \frac{Q'/2}{T_C - T_F}$$

TRASMITTANZE: MISURE IN LABORATORIO

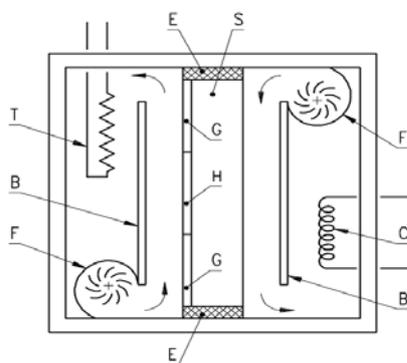
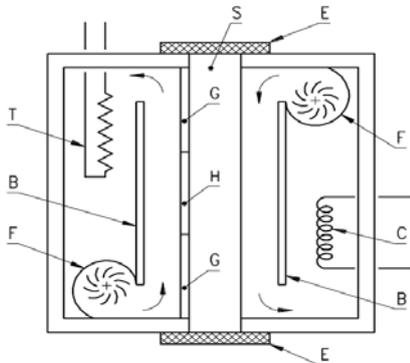
- Metodo della camera calda (misure di conduttanza)

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{parete} + R_{se}}$$

Disposizione tipica di un'apparecchiatura a camera calda con termoflussimetro

Legenda

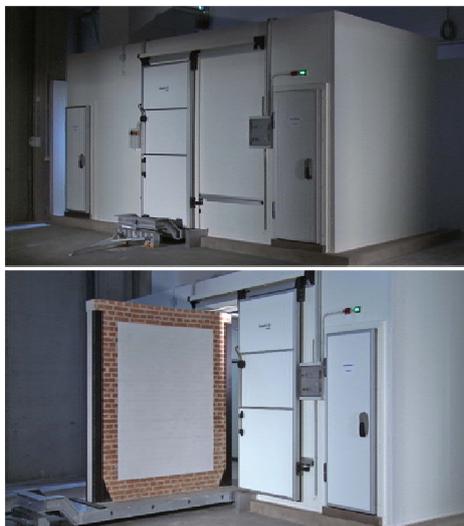
- B Schermo
- C Unità raffreddante
- E Isolamento periferico
- F Ventilatore
- G Foglio di guardia
- H Termoflussimetro
- S Provino
- T Resistenza elettrica di riscaldamento



TRASMITTANZA TERMICA: APPARATO A CAMERA CALDA

Caratteristiche:

- Dimensioni: 7x3x3 m ca.
- Dimensioni singola cella: 2.1x2.6x2.8 m
- Anticelle con funzione di filtro
- Dimensioni provini: 2.5x2.5 m, spessori da 5 ad oltre 60 cm
- Provini costruiti e movimentati su carrelli mobili
- Isolamento laterale e superiore per ridurre flusso termico periferico
- 9 piastre termoflussimetriche, 48+16 sensori di temperatura RTD, sensori di umidità, anemometri, termocamera IR
- Software di controllo e analisi



U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

27/49

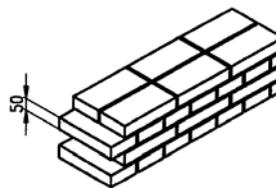
TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (1)

Parete verticale non isolata

Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata Stratigrafia	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	21.5
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	3.5
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.63	0	0.63	0.3968	65.6
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	2.8
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	6.6
$d_{tot} = 0.280$ [m]		$M_{s, tot} = 498.0$ [kg/m ²]					$R_{(tot)} = 0.60$ [m ² K/W]	100.0
		$M_{s, sim} = 450.0$ [kg/m ²]					$U = 1.65$ [W/(m ² K)]	

Calcolo "rigoroso" (UNI 10355/UNI10351): $U=1.89-1.93$ W/(m²K) \Rightarrow +15-17%

Misura in opera con camera calda (UNI EN 1934): $U=2.28$ W/(m²K) \Rightarrow +38%

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

28/49

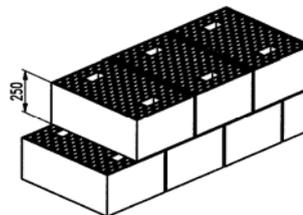
TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (2)

Parete verticale non isolata

Laterizio: **porizzato** 45 cm, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m×K)]	m [%]	λ [W/(m×K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	4.8
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.8
Laterizio due teste:	0.450	800	360.0	0.18	0	0.18	2.5000	92.3
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.6
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.5
$d_{tot} = 0.480$ [m]		$M_{s, c/mt} = 408.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 2.71$ [m ² K/W]		100.0
		$M_{s, s/mt} = 360.0$ [kg/m ²]				$U = 0.37$ [W/(m ² K)]		

In linea di principio, potrebbe non essere necessaria l'aggiunta di isolante.

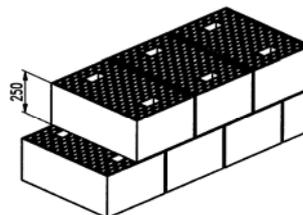
TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (2)

Parete verticale non isolata

Laterizio: **porizzato** 45 cm, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m×K)]	m [%]	λ [W/(m×K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	10.0
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	1.7
Laterizio due teste:	0.450	800	360.0	0.18	130	0.414	1.0870	83.9
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	1.3
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	3.1
$d_{tot} = 0.480$ [m]		$M_{s, c/mt} = 408.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 1.30$ [m ² K/W]		100.0
		$M_{s, s/mt} = 360.0$ [kg/m ²]				$U = 0.77$ [W/(m ² K)]		

RESISTENZA TERMICA DI STRATO (UNI 10355)

(segue dal prospetto)

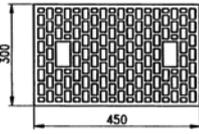
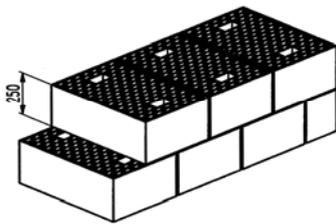
Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento		Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura %	Spessore mm	Tipo di giunto	Massa volumica** kg/m ³	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² K/W	Fattore di correzione %	
		1.1.10	40	V	450	CM GI	1400	419	1,44	8

Fig. 10 Blocco semipieno

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento

(segue prospetto)

Foratura dell'elemento:
V fori verticali
O fori orizzontali
P fori passanti
PP fori parzialmente passanti
NP fori non passanti

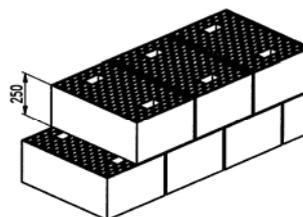
Tipo di giunto:
CM giunti verticali con malta
SM giunti verticali senza malta
GC giunti orizzontali continui
GI giunti orizzontali interrotti per un terzo
P_O elementi collaboranti in opera
P_i elementi collaboranti interposti
A_O elementi di alleggerimento in opera
A_i elementi di alleggerimento interposti

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

31/49

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (2)

Parete verticale non isolata
Laterizio: porizzato 45 cm, densità 800 kg/m³
Malta: standard, setti 12 mm
Intonaci: standard, spessore 15 mm



Parete verticale non isolata Stratigrafia	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	7.9
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	1.3
Laterizio due teste:	0.450	800	360.0				1.4400	87.4
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	1.0
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	2.4
	$d_{tot} = 0.480$ [m]		$M_{s, tot} = 408.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 1.65$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s, int} = 360.0$ [kg/m ²]				$U = 0.61$ [W/(m ² K)]	

Calcolo "rigoroso" (UNI 10355/UNI 10351) ⇒ +65%/+108% !!!
Una misura con camera calda è in programma a breve termine...

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

32/49

GIUNTI SOTTILI (UNI 10355)

(segue dal prospetto)

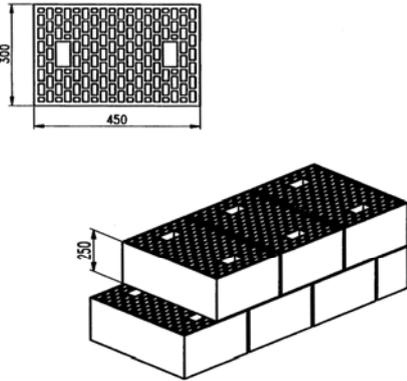
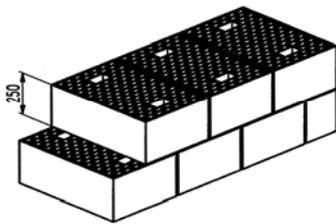
Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento			Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura %	Spessore mm	Spessore mm	Tipo di giunto	Massa volumica** kg/m ³	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² K/W	Fattore di correzione %	
		1.1.10	40	V	450	CM	GI	1400	419	1.44	8

Fig. 10 Blocco semipieno

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento

(segue prospetto)

$R = 1.44 + 8\% = 1.56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

33/49

CONDUTTIVITA' TERMICA EQUIVALENTE

Ad uno strato di parete con struttura composita (ad esempio terracotta e setti d'aria in un laterizio, pignatte o tavelloni e travetti in cemento armato in un solaio) non compete un valore univoco di conduttività termica.

Ove dello strato sia richiesta una conduttività termica, ad esempio in una simulazione numerica di ponte termico, se ne può calcolare una **conduttività termica equivalente**:

$$R = \frac{L}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{\text{equivalente}} = \frac{L}{R}$$

Esempi

- **Muratura in laterizio:**

$$L = 45 \text{ cm}, R = 1.44 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}, \lambda_{\text{equivalente}} = 0.45/1.44 = 0.31 \text{ W}/(\text{m}\times\text{K})$$

- ...

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

34/49

SOLAI IN LATEROCEMENTO (UNI 10355)

(segue dal prospetto)

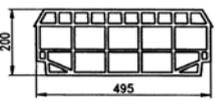
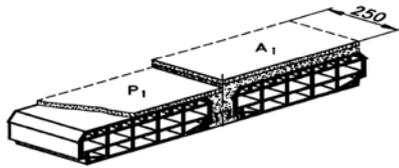
Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Tipo di elemento				Caratteristiche struttura			
		Codice elemento	Tipo di blocco	Foratura %	Foratura tipo	Massa volumica ** kg/m ³	Spessore in mm	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² K/W
		2.1.041	P ₁ A ₁	72 72	O O	1800 1800	220	202	0,33
							260	296	0,35

Fig. 61 Blocco da solaio

Per P₁ e A₁ vedere 4.8

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento

(segue prospetto)

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

35/49

CONDUTTIVITA' TERMICA EQUIVALENTE

Ad uno strato di parete con struttura composita (ad esempio terracotta e setti d'aria in un laterizio, pignatte o tavelloni e travetti in cemento armato in un solaio) non compete un unico valore della conduttività termica.

Ove dello strato sia richiesta una conduttività termica univoca, ad esempio in una simulazione numerica di ponte termico, se ne può calcolare una **conduttività termica equivalente**:

$$R = \frac{L}{\lambda} \Rightarrow \lambda_{\text{equivalente}} = \frac{L}{R}$$

Esempi

- Muratura in laterizio:
 $L = 45 \text{ cm}$, $R = 1.44 \text{ m}^2\text{K/W}$, $\lambda_{\text{equivalente}} = 0.45/1.44 = 0.31 \text{ W/(m}\times\text{K)}$
- Solaio in laterocemento:
 $L = 26 \text{ cm}$, $R = 0.35 \text{ m}^2\text{K/W}$, $\lambda_{\text{equivalente}} = 0.26/0.35 = 0.74 \text{ W/(m}\times\text{K)}$

Va tuttavia considerato che si tratta di un'approssimazione, anche perché la conduttività nel piano può essere diversa da quella attraverso lo spessore!

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

36/49

CONDUTTIVITA' TERMICA: ISOLANTI FIBROSI

Fibre minerali

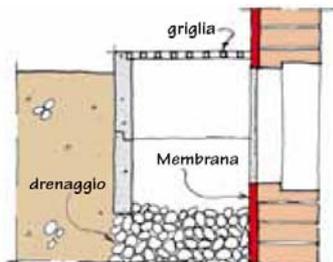
Sul valore di m le tolleranze di spessore di feltri o pannelli con 10 cm di spessore incidono da 2 a 3% in molti casi; tuttavia per alcuni feltri i valori indicati vengono ampiamente superati. Ogni unità percentuale di umidità dà luogo ad aumenti dei valori

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_g \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
<p>utili di calcolo dall'1 al 5%; per applicazioni interne³⁾ 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 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 il terreno⁴⁾ 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 nota.</p>						
— fibre di vetro						
— feltri resinati	11	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,048	} 10	0,053
	14			0,044		0,048
	16			0,042		0,046
— pannelli semirigidi	16	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,042	} 10	0,046
	20			0,039		0,043
	30			0,036		0,040
— pannelli rigidi (i valori minimi della conduttività corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m ³)	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,035	10	0,038

CONDUTTIVITA' TERMICA: ISOLAMENTO CONTRO TERRA

(Nota 4 ai prospetti)

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.



CONDUTTIVITA' TERMICA: ISOLANTI FIBROSI

— fibre di vetro														
— feltri resinati	11	}	≅ 150	}	≅ 150	0,048	}	10	0,053					
	14					0,044			0,048					
	16					0,042			0,046					
— pannelli semirigidi	16	}	≅ 150	}	≅ 150	0,042	}	10	0,046					
	20					0,039			0,043					
	30					0,036			0,040					
— pannelli rigidi (i valori minimi della conduttività corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m ³)	100	}	≅ 150	}	≅ 150	0,035	}	10	0,038					
— fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche														
— feltri resinati	30					}			≅ 150	}	≅ 150	0,041	}	10
	35	0,040	0,044											
	40	0,038	0,042											
— pannelli semirigidi	55	}	≅ 150	}	≅ 150	0,036	}	10	0,040					
	80					0,035			0,039					
— pannelli rigidi	100					0,034			0,038					
	125	0,034	0,038											
— pannelli in fibre orientate	100	}	≅ 150	}	≅ 150	0,044	}	10	0,048					
	100					0,044			0,048					

Ove si conosca solo la tipologia di materiale, ma non il sotto-tipo particolare, si può operare in favore di sicurezza scegliendo il materiale peggiore.

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (3)

Parete verticale isolata all'interno

Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: lana di roccia 8 cm, applicata internamente

Parete verticale isolata Stratigrafia	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m×K)]	m [%]	λ [W/(m×K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	3.6
Cartongesso in lastre interno:	0.020	900	18.0			0.21	0.0952	2.6
Lana di roccia:	0.080	30	2.4	0.041	0	0.041	1.9512	53.9
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.18	0	0.18	1.3889	38.3
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.5
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.1
	$d_{tot} = 0.265$ [m]		$M_{s,c/m} = 477.0$ [kg/m ²]				$R_{tot} = 3.62$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s,s/m} = 450.0$ [kg/m ²]				$U = 0.28$ [W/(m ² K)]	

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (3)

Parete verticale isolata all'interno

Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: lana di roccia 8 cm, applicata internamente

Parete verticale isolata Stratigrafia	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	4.9
Cartongesso in lastre interno:	0.020	900	18.0			0.21	0.0952	3.6
Lana di roccia:	0.080	30	2.4	0.041	10	0.0451	1.7738	66.7
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.18	130	0.414	0.6039	22.7
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.6
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.5
d_{tot} = 0.265 [m]		$M_{s,lim}$ = 477.0 [kg/m ²]					R_{tot} = 2.66 [m ² K/W]	100.0
		$M_{s,lim}$ = 450.0 [kg/m ²]					U = 0.38 [W/(m ² K)]	

Calcolo "rigoroso" (UNI 10355/UNI10351): +38%

Misura in opera con camera calda (UNI EN 1934): $U=0.405$ W/(m²K) \Rightarrow +45%

CONDUTTIVITA' TERMICA: ISOLANTI ESPANSI

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)
Materie plastiche cellulari						
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, maggiorare i dati di calcolo almeno del 5%. Per montaggi contro il terreno maggiorare i dati di calcolo dal 10 al 25% ⁴⁾ . 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 .						
— cloruro di polivinile espanso rigido in lastre ⁵⁾	30 40	} 0,5 a 1	1 a 2	0,032 0,035	20 20	0,039 0,041
— polietilene ⁵⁾						
— espanso estruso in continuo, non reticolato	30 50			0,042 0,050	20 20	0,050 0,060
— espanso estruso in continuo, reticolato	33 50			0,040 0,048	20 20	0,048 0,058

CONDUTTIVITA' TERMICA: ISOLANTI ESPANSI

CARATTERISTICHE E PRESTAZIONI												
Isolamento Termico												
Caratteristica [Norma]	Descrizione	Simbolo [Unità di misura]	Valore									
			Per alcune caratteristiche varia in funzione dello spessore (mm)									
			-	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Conducibilità Termica media iniziale [EN 12667]	Valore determinato alla temperatura media di 10 °C	$\lambda_{90/90,1}$ [W/mK]	0,024									
Conducibilità Termica Dichiarata [UNI EN 13165 Annessi A e C]	Valore determinato alla temperatura media di 10 °C	λ_D [W/mk]	0,028									
Trasmittanza Termica Dichiarata	$U_D = \lambda_D / d$	U_D [W/m ² K]	-	0.93	0.70	0.56	0.47	0.40	0.35	0.31	0.28	0.23
Resistenza Termica Dichiarata	$R_D = d / \lambda_D$	R_D [m ² K/W]	-	1.07	1.43	1.79	2.14	2.50	2.86	3.21	3.57	4.29

CONDUTTIVITA' TERMICA: POLIURETANO

— poliuretani (contenuto di umidità in pareti interne³⁾ pari a 1%, in montaggi contro il terreno⁴⁾ fino al 10%. La conducibilità aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità. Il valore di m 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 m 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 m può essere ridotto in questo caso al 10%. Mancano invece informazioni attendibili per altri tipi di membrane)

— poliuretani in lastre ricavate da blocchi

10% (erratum corrige)

— poliisocianurati in lastre ricavate da blocchi

— poliuretani espansi in situ

25	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	0,025	30	0,032
40	1 a 2	0,023	40	0,032
37	1,8 a 6	0,023	50	0,035

CONDUTTIVITA' TERMICA: POLISTIRENE

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_v \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne ⁹⁾ da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno ⁹⁾ 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			0,036	10	0,040
	30			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
— espanso, in lastre stampate per termocompressione	20			0,036	10	0,040
	25			0,035	10	0,039
	30			0,035	10	0,039
— 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)	30			0,031	10	0,036
	35			0,030	10	0,035
— 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)	30	0,6 a 2,2	0,6 a 2,2	0,037	10	0,041
	50			0,028	20	0,034

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

45/49

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (4)

Parete verticale isolata all'esterno

Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: EPS 8 cm, applicato esternamente

Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	d [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m·K)]	m [%]	λ [W/(m·K)]	R [m ² K/W]	R/R_{tot} [%]
Resistenza sup. interna (R_{si}):							0.13	3.4
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.6
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.18	0	0.18	1.3889	36.4
EPS:	0.080	30	2.4	0.036	0	0.036	2.2222	58.2
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.4
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.0
	$d_{tot} = 0.360$ [m]		$M_{s,c/m} = 500.4$ [kg/m ²]				$R_{tot} = 3.82$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s,s/m} = 450.0$ [kg/m ²]				$U = 0.26$ [W/(m ² K)]	

U.03 – Trasmittanza (pareti opache)

46/49

TRASMITTANZA TERMICA: ESEMPIO (4)

Parete verticale **isolata all'esterno**

Laterizio: due teste pieno, densità 1800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: **EPS** 8 cm, applicato esternamente

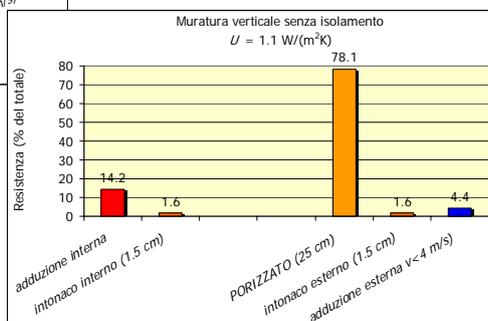
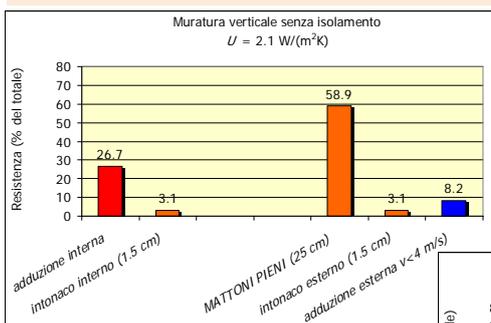
(parete protetta)

Parete verticale non isolata <i>Stratigrafia</i>	<i>d</i> [m]	<i>ρ</i> [kg/m ³]	<i>M_s</i> [kg/m ²]	<i>λ_m</i> [W/(m×K)]	<i>m</i> [%]	<i>λ</i> [W/(m×K)]	<i>R</i> [m ² K/W]	<i>R/R_{tot}</i> [%]
Resistenza sup. interna (<i>R_{si}</i>):							0.13	4.2
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.7
Laterizio due teste:	0.250	1800	450.0	0.18	65	0.297	0.8418	27.4
EPS:	0.080	30	2.4	0.036	10	0.0396	2.0202	65.8
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.5
Resistenza sup. esterna (<i>R_{se}</i>):							0.04	1.3
<i>d_{tot}</i> = 0.360 [m]		<i>M_{s, tot}</i> = 500.4 [kg/m ²]					<i>R_{tot}</i> = 3.07 [m ² K/W]	100.0
		<i>M_{s, sim}</i> = 450.0 [kg/m ²]					<i>U</i> = 0.33 [W/(m ² K)]	

Calcolo "rigoroso" (UNI 10355/UNI10351): +24%

Misura in opera con camera calda (UNI EN 1934): *U*=0.39 W/(m²K) ⇒ +50%

TRASMITTANZA: MURATURA NON ISOLATA



TRASMITTANZA: MURATURA ISOLATA

