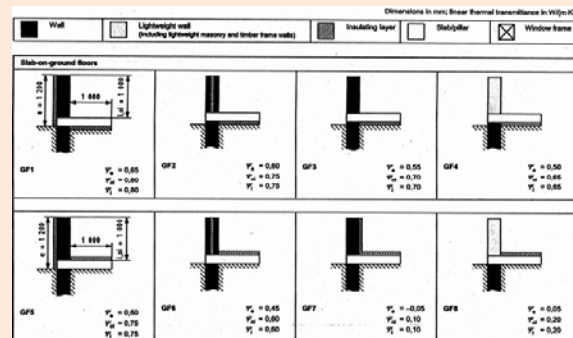


TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

U.04 – Trasmittanza e ponti termici



U.04 – Trasmittanza e ponti termici

1/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

PROGRAMMA DELLA LEZIONE

- Intercapedini vuote e barriere radianti
- Pareti con strati disomogenei
- Trasmittanza termica media di parete
- Effetti degli staffaggi
- Effetti dei ponti termici secondo UNI/TS 11300-1
- Effetti dei ponti termici secondo UNI EN ISO 14683

U.04 – Trasmittanza e ponti termici

2/95

INTERCAPEDINI VUOTE E BARRIERE RADIANTI

TRASMITTANZA TERMICA

La **trasmittanza termica** o **coefficiente globale di scambio termico** U [$W/(m^2K)$] per una parete piana può essere calcolata con la formula:

$$U \equiv \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{se}}$$

ove

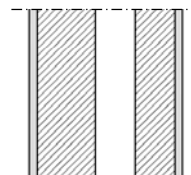
- R_T = $1/U$ resistenza termica totale di parete [m^2K/W]
- R_{si} resistenza superficiale interna [m^2K/W]
- R_{se} resistenza superficiale esterna [m^2K/W]
- L_j spessore dello strato j-esimo [m]
- λ_j conduttività termica dello strato j-esimo [$W/(m \times K)$]
- R_k resistenza del componente non omogeneo k-esimo [m^2K/W]

INTERCAPEDINI VUOTE (UNI EN ISO 6946)

$$U \equiv \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{se}}$$

Ad un'intercapedine vuota si associa una resistenza termica:

$$R_a = \frac{d}{\lambda_{a,eq}} = \frac{1}{h_c + h_r}$$



ove

R_a resistenza termica dell'intercapedine [m^2K/W]

d spessore dell'intercapedine [m]

$\lambda_{a,eq}$ conduttività termica **equivalente** dell'intercapedine [$W/(m K)$]

h_c coefficiente di scambio termico per **conduzione/convezione** [$W/(m^2K)$]

h_r coefficiente di scambio termico per **irraggiamento** [$W/(m^2K)$]

INTERCAPEDINI VUOTE (UNI EN ISO 6946)

$$U \equiv \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{se}}$$

$$R_a = \frac{d}{\lambda_{a,eq}} = \frac{1}{h_c + h_r}$$

Coefficiente di scambio termico per conduzione/convezione

Secondo UNI EN ISO 6946, per $\Delta T \leq 5$ K e flusso termico:

- orizzontale $h_c = \max(1.25, 0.025/d)$
- ascendente $h_c = \max(1.95, 0.025/d)$
- discendente $h_c = \max(0.12 \times d^{-0.44}, 0.025/d)$

La quantità $0.025/d$ è il coefficiente di scambio termico per conduzione di uno strato di aria ferma, valore minimo teorico per h_c , con $\lambda_{aria} = 0.025$ W/(m×K)

INTERCAPEDINI VUOTE (UNI EN ISO 6946)

Coefficiente di scambio termico per irraggiamento

Secondo UNI EN ISO 6946:

$$h_r = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \times h_{r0}$$

ove

$$h_{r0} = 4 \times \sigma \times T_m^3$$

coefficiente radiativo massimo teorico

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$$

costante di Stefan-Boltzmann

$$T_m = (T_1 + T_2)/2$$

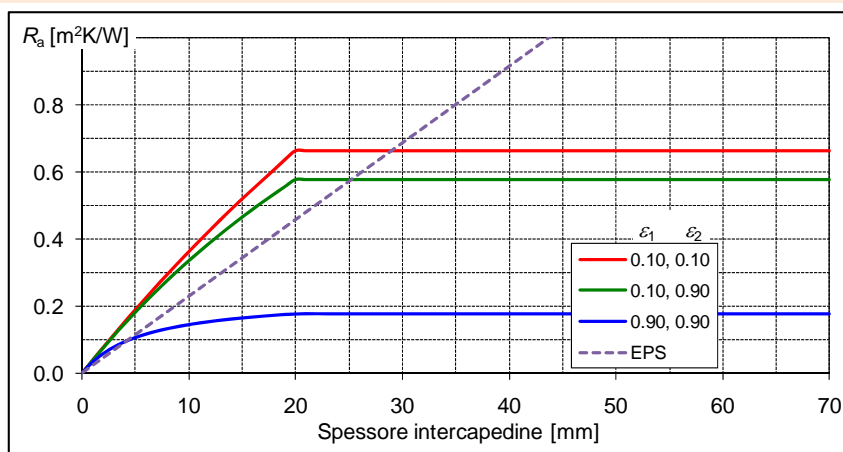
temperatura media dell'intercapedine [K]

T_1, T_2 temperatura delle superfici delimitanti l'intercapedine [K]

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ emissività delle superfici delimitanti l'intercapedine

T_m [°C]	h_{r0} [W/(m ² K)]
-10	4.1
0	4.6
10	5.1
20	5.7
30	6.3

INTERCAPEDINI VUOTE (UNI EN ISO 6946)



Un'intercapedine con almeno una superficie basso-emissiva è equivalente ad uno strato di isolante per spessori fino a 2-3 cm.

STRATIGRAFIA DI PARETE (UNI/TS 11300-1 App. B)

STRUTTURA N° 12: DESCRIZIONE: Muratura a cassa vuota

Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Spessore cm	Conduktività [W/(m × K)]	
	1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	2	0,70	
	2	Mattoni forati	800	12	0,30	
	3	Intercapedine d'aria	-	6 - 12		
	4	Mattoni forati	800	12	0,41 0,30	
	5	Intonaco esterno	1 800	2	0,90	
	6					(parete non protetta)
	7					
	8					
	9					
	10					

Spessori variabili da 34 cm a 40 cm (in funzione dell'intercapedine).

La stratigrafia di una tipica parete a cassa vuota può essere desunta dall'abaco in Appendice B della UNI/TS 11300-1 (ma conviene verificare i valori di conduttività dei materiali suggeriti).

ESEMPIO: PARETE A CASSA VUOTA

Parete a casa vuota

Laterizio parete interna: spessore 12 cm, mattoni forati, densità 800 kg/m³

Intercapedine: vuota, spessore 6 cm

Laterizio parete esterna: spessore 12 cm, mattoni forati, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

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	12,0
Intonaco interno:	0,015	1400	21,0	0,7		0,7	0,0214	2,0
Laterizio 12 cm:	0,120	800	96,0	0,18	65	0,297	0,4040	37,3
Intercapedine 6 cm:	0,060	0	0,0				0,1800	16,6
Laterizio 12 cm:	0,120	800	96,0	0,18	130	0,414	0,2899	26,6
Intonaco esterno:	0,015	1800	27,0	0,9		0,9	0,0167	1,5
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0,04	3,7
$d_{tot} = 0,315$ [m]		$M_{s,e/int} = 213,0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 1,08$ [m ² K/W]		100,0
		$M_{s,s/int} = 96,0$ [kg/m ²]				$U = 0,92$ [W/(m ² K)]		

TRASMITTANZE PRECALCOLATE (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.

ESEMPIO: CASSA VUOTA CON BARRIERA RADIANTE

Parete a casa vuota

Laterizio parete interna: spessore 12 cm, mattoni forati, densità 800 kg/m³

Intercapedine: spessore 6 cm, **barriera radiante con $\epsilon=0.1$** sulla superficie interna

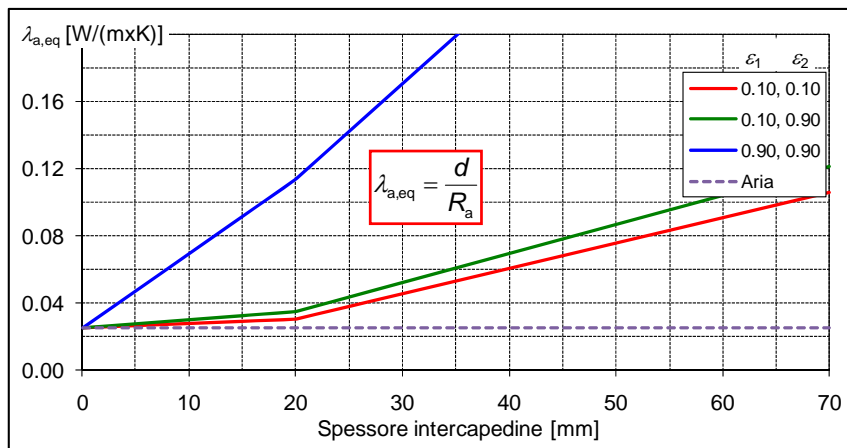
Laterizio parete esterna: spessore 12 cm, mattoni forati, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Parete verticale 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	8.8
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	1.4
Laterizio 12 cm:	0.120	800	96.0	0.18	65	0.297	0.4040	27.3
Intercapedine 6 cm:	0.060	0	0.0				0.5800	39.1
Laterizio 12 cm:	0.120	800	96.0	0.18	130	0.414	0.2899	19.6
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	1.1
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	2.7
	$d_{tot} = 0.315$ [m]		$M_{s,e/int} = 213.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 1.48$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s,s/int} = 96.0$ [kg/m ²]				$U = 0.67$ [W/(m ² K)]	

INTERCAPEDINI VUOTE: CONDUTTIVITA' EQUIVALENTE

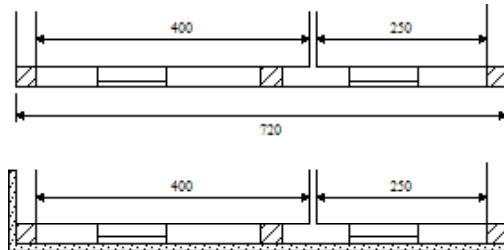


Una conduttività termica equivalente dell'intercapedine (ma sempre e comunque maggiore di quella dell'aria) può essere definita e utilizzata, con qualche approssimazione, in modelli numerici della parete.

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI

Quando una parete presenta strati non omogenei (ad esempio murature con pilastri in cemento incorporati), la sua trasmittanza può essere in generale determinata con approccio numerico.



È tuttavia disponibile anche un **metodo approssimato**, descritto nella UNI EN ISO 6946.

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI: CALCOLO

Il metodo approssimato prevede il calcolo di:

- un **valore limite superiore della resistenza di parete**, calcolato, assumendo che il flusso termico sia ovunque monodimensionale, tramite la formula:

$$\frac{1}{R_{T,\text{sup}}} = \frac{f_A}{R_A} + \frac{f_B}{R_B} + \dots$$

ove

f_A, f_B, \dots sono le frazioni di area frontale della parete corrispondenti a porzioni di parete con stratigrafia a strati omogenei [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_A, R_B, \dots sono le resistenze termiche da ambiente interno ad ambiente esterno delle porzioni di parete con stratigrafia a strati omogenei corrispondenti alle frazioni di area frontale di cui sopra [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

$$R_A = R_{si} + \left(\sum_i \frac{L_i}{\lambda_i} \right)_A + R_{se}$$

$$R_B = R_{si} + \left(\sum_i \frac{L_i}{\lambda_i} \right)_B + R_{se}$$

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI: CALCOLO

Esempio: parete in muratura con pilastro integrato e cappotto esterno

$$f_A = \frac{A_{(muratura)}}{A_{(muratura)} + A_{(pilastro)}}$$

$$f_B = \frac{A_{(pilastro)}}{A_{(muratura)} + A_{(pilastro)}}$$

$$R_A = R_{si} + \frac{L_{laterizio}}{\lambda_{laterizio}} + \frac{L_{isolante}}{\lambda_{isolante}} + R_{se}$$

$$R_B = R_{si} + \frac{L_{cemento}}{\lambda_{cemento}} + \frac{L_{isolante}}{\lambda_{isolante}} + R_{se}$$

$$\frac{1}{R_{T,sup}} = \frac{f_A}{R_A} + \frac{f_B}{R_B}$$

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI: CALCOLO

Il metodo approssimato prevede il calcolo di:

- un **valore limite superiore della resistenza di parete** [...]
- un **valore limite inferiore della resistenza di parete**, calcolato assumendo che tutti i piani paralleli alle superfici esterne della parete siano isotermini; di ogni i-esimo strato si calcola la resistenza termica tramite la formula:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{f_A}{R_{i,A}} + \frac{f_B}{R_{i,B}} + \dots$$

ove

f_A, f_B, \dots sono le frazioni di area frontale della parete corrispondenti a porzioni di parete con stratigrafia a strati omogenei [m^2K/W]

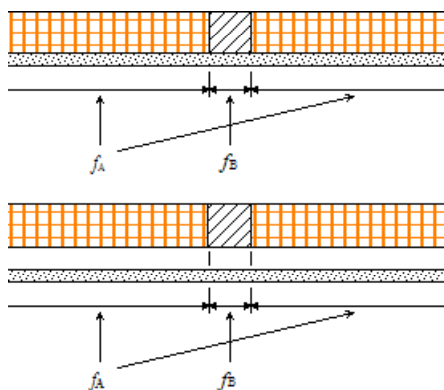
$R_{i,A}, R_{i,B}, \dots$ sono le resistenze termiche delle porzioni (omogenee) dello strato i-esimo corrispondenti alle frazioni di area frontale di cui sopra [m^2K/W]

La resistenza totale di parete si calcola sommando le resistenze dei vari strati:

$$R_{T,inf} = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}$$

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI: CALCOLO

Esempio: parete in muratura con pilastro integrato e cappotto esterno



$$f_A = \frac{A_{(muratura)}}{A_{(muratura)} + A_{(pilastro)}}$$

$$f_B = \frac{A_{(pilastro)}}{A_{(muratura)} + A_{(pilastro)}}$$

$$\frac{1}{R_{muratura}} = \frac{f_A}{L_{laterizio} / \lambda_{laterizio}} + \frac{f_B}{L_{cemento} / \lambda_{cemento}}$$

$$R_{isolante} = \frac{L_{isolante}}{\lambda_{isolante}}$$

$$R_{T,inf} = R_{si} + R_{muratura} + R_{isolante} + R_{se}$$

PARETI CON STRATI DISOMOGENEI: CALCOLO

La **resistenza termica totale di parete**, inverso della trasmittanza, si calcola infine come media aritmetica dei due valori limite, inferiore e superiore:

$$R_T \equiv \frac{1}{U} = \frac{R_{T,sup} + R_{T,inf}}{2}$$

Il **massimo errore percentuale** e insito nella procedura è dato dalla formula:

$$e = 100 \times \frac{R_{T,sup} - R_{T,inf}}{2 \times R_T} \equiv 100 \times \frac{R_{T,sup} - R_{T,inf}}{R_{T,sup} + R_{T,inf}}$$

Ai fini dell'esecuzione di **simulazioni numeriche**, dalla resistenza termica di uno strato non omogeneo (ad es. uno strato di isolante a pannelli in copertura consolidato con travetti di legno) si può ricavare una **conduttività termica equivalente dello strato** stesso:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{f_A}{R_{i,A}} + \frac{f_B}{R_{i,B}} + \dots \Rightarrow \lambda_{eq,i} = \frac{d_i}{R_i}$$

TRASMITTANZA TERMICA DI PARETE CORRENTE E MEDIA

TRASMITTANZA TERMICA (D.P.R. n. 59/2009, art. 4)

4. Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria [...] consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, **refacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture**, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

a) per tutte le categorie di edifici [...] il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto, [...] deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo [...]; **nel caso di pareti opache verticali esterne in cui fossero previste aree limitate oggetto di riduzione di spessore, sottofinestre e altri componenti, devono essere rispettati i limiti previsti nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, con riferimento alla superficie totale di calcolo;**

TRASMITTANZA TERMICA MEDIA DI PARETE

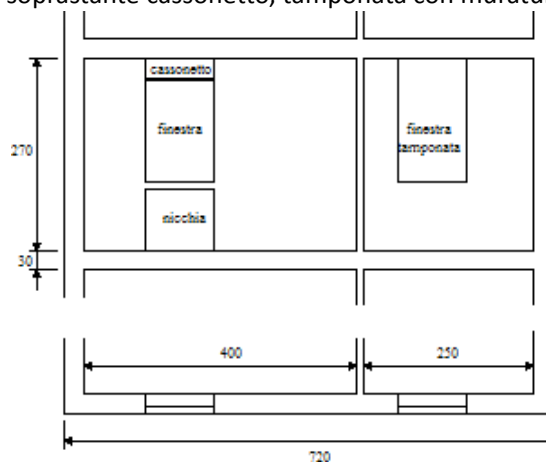
Secondo D.Lgs. n. 192/2005 e D.P.R. n. 59/2009, rappresenta la media, pesata sulle aree, delle trasmittanze dei vari elementi opachi che costituiscono la parete:

$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

TRASMITTANZA MEDIA: PARETE CON ASSOTTIGLIAMENTI

Esempio: parete verticale non isolata con presenza di:

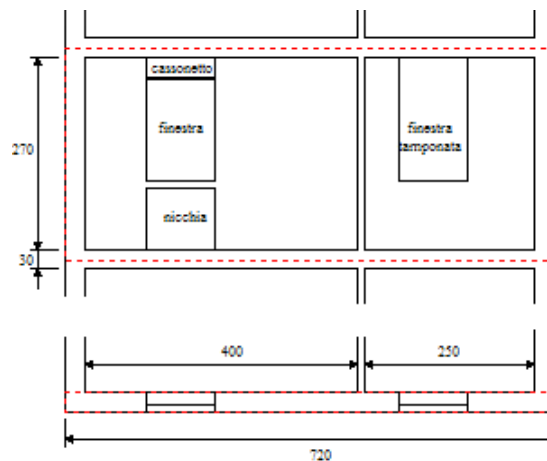
- Finestra con sottostante nicchia per radiatore e soprastante cassonetto
- Finestra con soprastante cassonetto, tamponata con muratura



TRASMITTANZA MEDIA: PARETE CON ASSOTTIGLIAMENTI

Esempio: parete verticale non isolata:

- Dimensioni **esterne** (approccio generalmente preferibile)

**TRASMITTANZA MEDIA: PARETE CON ASSOTTIGLIAMENTI**

Esempio – altre informazioni:

- Muratura principale: laterizio forato con spessore 25 cm, densità 800 kg/m³
- Muratura nicchia e finestra murata: laterizio forato con spessore 10 cm, densità 1200 kg/m³
- Muratura tramezza: laterizio forato con spessore 10 cm, densità 1200 kg/m³
- Luci finestra (L x H) : 100 cm x 140 cm
- Nicchie (L x H): 100 cm x 100 cm
- Cassonetti (non isolati, L x H): 100 cm x 30 cm

Calcoli preliminari – dimensioni esterne:

- Area nicchia: 1.00 m²
- Area cassonetto: 0.30 m²
- Area finestra: 1.40 m²
- Area finestra murata incluso cassonetto: 1.70 m²
- Area esterna parete (al netto di finestre e zone di assottigliamento): 17.20 m²

TRASMITTANZA E RESISTENZE TERMICHE SUPERFICIALI

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

Superfici in aria calma (all'interno di locali)	R_{si} [m ² K/W]	α_i [W/(m ² K)]
sup. orizzontale, flusso termico ascendente (soffitto, lato interno)	0.10	10
sup. verticale, flusso termico orizzontale (muro, lato interno)	0.13	7.69
sup. orizzontale, flusso termico discendente (pavimento, lato interno)	0.17	5.88
Superfici verso l'esterno ($v \leq 4$ m/s)	R_{se} [m ² K/W]	α_e [W/(m ² K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	0.04	25
Superfici verso l'esterno ($v > 4$ m/s)	R_{se} [m ² K/W]	α_e [W/(m ² K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	$1/(8.16+4 \cdot v)$	$8.16+4 \cdot v$

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 (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 conto degli usuali fattori di maggiorazione, ma con-

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_0 \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_1 \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (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%-3; 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

CONDUTTIVITA' TERMICA: INTONACI

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

TRASMITTANZA TERMICA: PARETE PRINCIPALE

Parete in laterizio due teste, **non isolata**, intonacata da ambo i lati

Laterizio: forato 25 cm, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Area esterna netta: 17.20 m² (al netto di finestre e zone di assottigliamento)

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	16.0
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	2.6
Laterizio 25 cm:	0.250	800	200.0	0.18	130	0.414	0.6039	74.4
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	2.1
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	4.9
$d_{tot} = 0.280$ [m]		$M_{s, tot} = 248.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 0.81$ [m ² K/W]	100.0	
		$M_{s, int} = 200.0$ [kg/m ²]				$U = 1.23$ [W/(m ² K)]		

TRASMITTANZA TERMICA: NICCHIA E FINESTRA MURATA

Tamponamento in laterizio, **non isolato**, intonacato da ambo i lati
 Laterizio: forato 10 cm, densità 1200 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaci: standard, spessore 15 mm
 Area frontale: 1.00+1.70 m²

Nicchia e finestra murata <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	33.2
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	5.5
Laterizio 10 cm:	0.100	1200	120.0	0.32	70	0.544	0.1838	46.9
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	4.3
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	10.2
	$d_{tot} = 0.130$ [m]		$M_{s,ext} = 168.0$ [kg/m ²]				$R_{(tot)} = 0.39$ [m ² K/W]	100.0
			$M_{s,int} = 120.0$ [kg/m ²]				$U = 2.55$ [W/(m ² K)]	

TRASMITTANZA TERMICA: CASSONETTO

Cassonetto per avvolgibile, **non isolato**
 Area frontale: $L_{finestra} \times H_{cassonetto} = 0.30 \text{ m}^2$

Trasmissione termica dei cassonetti [W/(m²K)]

Tipologia di cassonetto	Trasmissione termica
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato ^{a)}	1

a) Si considerano isolate quelle strutture che hanno un isolamento termico non minore di 2 cm.

Nel caso dei cassonetti, la trasmissione termica tiene conto, piuttosto che delle dispersioni per conduzione attraverso la parete di separazione tra volume del cassonetto e ambiente esterno, di quelle per trafiletti dell'aria attraverso la fessura di passaggio dell'avvolgibile.

I valori da norma sono cautelativi. I produttori di serramenti a volte dispongono, per cassonetti isolati, di valori più precisi, calcolati (ma va verificato l'approccio che è stato utilizzato per il calcolo, spesso non corretto) oppure misurati.

TRASMITTANZA TERMICA MEDIA DI PARETE

Secondo D.Lgs. n. 192/2005 e D.P.R. n. 59/2009, rappresenta la media, pesata sulle aree, delle trasmittanze dei vari elementi opachi che costituiscono la parete:

$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	1.23	17.20	85	21.2	71
Nicchia	2.55	1.00	5	2.6	9
Finestra murata	2.55	1.70	8	4.3	15
Cassonetto	6	0.30	1	1.8	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	29.9
				U _{media} =	1.48 [W/(m²K)]

LIMITI ALLA TRASMITTANZA (D.P.R. n. 59/2009, art. 4)

Tabella 2.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Tabella 3.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di copertura espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Tabella 4. Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m²K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,5	2,2
F	2,4	2,2	2,1

LIMITI ALLA TRASMITTANZA (D.M. 26/01/2010, art. 1)

(nuovi limiti per detrazione del 55% in credito di imposta)

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Finestre comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti*	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

(**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi."

CONDUTTIVITA' TERMICA: POLISTIRENE

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_e \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne ⁹⁹ da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno ⁹⁹ 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)						
— espanso sinterizzato per alleggerimento strutture	15	3,6 a 9	3,6 a 9	0,041	10	0,045
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi (conforme a UNI 7891, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento riscalcolate a 293 K e per 10 cm di spessore)	20	2,5 a 6	2,5 a 6	0,037	10	0,041
	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

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

TRASMITTANZA TERMICA: PARETE PRINCIPALE ISOLATA

Parete in laterizio due teste, **isolata**, intonacata da ambo i lati

Laterizio: forato 25 cm, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: EPS a cappotto esterno, spessore 12 cm

Area esterna netta: 17.20 m² (al netto di finestre e zone di assottigliamento)

Parete verticale isolata <i>Stratigrafia</i>	<i>d</i> [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m×K)]	<i>m</i> [%]	λ [W/(m×K)]	<i>R</i> [m ² K/W]	<i>R/R_{tot}</i> [%]
Resistenza sup. interna (<i>R_{si}</i>):							0.13	3.3
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.5
Laterizio 25 cm:	0.250	800	200.0	0.18	65	0.297	0.8418	21.5
Polistirene 12 cm:	0.120	30	3.6	0.038	10	0.0418	2.8708	73.2
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.4
Resistenza sup. esterna (<i>R_{se}</i>):							0.04	1.0
<i>d_{tot}</i> = 0.400[m]		$M_{s,fin}$ = 251.6[kg/m ²]					<i>R_(tot)</i> = 3.92[m ² K/W]	100.0
		$M_{s,ini}$ = 200.0[kg/m ²]					<i>U</i> = 0.26[W/(m ² K)]	

In virtù della presenza dello strato di isolante, la muratura in laterizio può considerarsi protetta e, quindi, non si raddoppia *m*.

U.04 – Trasmissione e ponti termici

37/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

TRASMITTANZA TERMICA: NICCHIA E FINESTRA MURATA

Tamponamento in laterizio, **isolato**, intonacato da ambo i lati

Laterizio: forato 10 cm, densità 1200 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: EPS a cappotto esterno, spessore 12 cm

Area frontale: 1.00+1.70 m²

Nicchia e finestra murata <i>Stratigrafia</i>	<i>d</i> [m]	ρ [kg/m ³]	M_s [kg/m ²]	λ_m [W/(m×K)]	<i>m</i> [%]	λ [W/(m×K)]	<i>R</i> [m ² K/W]	<i>R/R_{tot}</i> [%]
Resistenza sup. interna (<i>R_{si}</i>):							0.13	3.9
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.6
Laterizio 10 cm:	0.100	1200	120.0	0.32	35	0.432	0.2315	7.0
Polistirene 12 cm:	0.120	30	3.6	0.038	10	0.0418	2.8708	86.7
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.5
Resistenza sup. esterna (<i>R_{se}</i>):							0.04	1.2
<i>d_{tot}</i> = 0.250[m]		$M_{s,fin}$ = 171.6[kg/m ²]					<i>R_(tot)</i> = 3.31[m ² K/W]	100.0
		$M_{s,ini}$ = 120.0[kg/m ²]					<i>U</i> = 0.30[W/(m ² K)]	

U.04 – Trasmissione e ponti termici

38/95

TRASMITTANZA TERMICA: CASSONETTO

Cassonetto per avvolgibile, **isolato**

Area frontale: $L_{\text{finestra}} \times H_{\text{cassonetto}} = 0.30 \text{ m}^2$

Trasmittanza termica dei cassonetti [W/(m²K)]

Tipologia di cassonetto	Trasmittanza termica
Cassonetto non isolato	6
Cassonetto isolato ^{a)}	1
a) Si considerano isolate quelle strutture che hanno un isolamento termico non minore di 2 cm.	

TRASMITTANZA TERMICA MEDIA

Il limite per la detrazione del 55% è rispettato per la zona climatica E, ma non per la zona climatica F (seppur di poco):

$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	A/A _{tot} [%]	UxA [W/K]	UxA/H _{tr} [%]
Parete	0.26	17.20	85	4.4	80
Nicchia	0.30	1.00	5	0.3	5
Finestra murata	0.30	1.70	8	0.5	9
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	5
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	5.5
				U _{media} =	0.27 [W/(m ² K)]

$$U_{\text{lim},55\%} = 0.27 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (\text{zona climatica E})$$

$$U_{\text{lim},55\%} = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (\text{zona climatica F})$$

TRASMITTANZA TERMICA: FINESTRA MURATA

Tamponamento in laterizio, **isolato**, intonacato da ambo i lati

Laterizio: forato 10 cm, densità 1200 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: EPS a cappotto esterno, spessore 12 cm, **lana di roccia interna** a filo

Area frontale: 1.00+1.70 m²

Finestra murata <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_s</i>):							0.13	1.9
Cartongesso in lastre interno:	0.020	900	18.0			0.21	0.0952	1.4
Lana di roccia:	0.130	55	7.2	0.036	10	0.0396	3.2828	49.1
Laterizio 10 cm:	0.100	1200	120.0	0.32	35	0.432	0.2315	3.5
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.3
Polistirene 12 cm:	0.120	30	3.6	0.038	10	0.0418	2.8708	42.9
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.2
Resistenza sup. esterna (<i>R_{se}</i>):							0.04	0.6
<i>d_{tot}</i> = 0.400[m]							<i>R_{tot}</i> = 6.69 [m ² K/W]	100.0
<i>M_{s,ext}</i> = 196.8 [kg/m ²]			<i>M_{s,int}</i> = 120.0 [kg/m ²]				<i>U</i> = 0.15 [W/(m ² K)]	

Il valore ottenuto permette di assottigliare il cappotto su tutta la parete!

CONDUTTIVITA': LANA DI ROCCIA, CARTONGESSO

— 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	0,045	
	35			0,040		0,044	
— pannelli semirigidi	40	} ≅ 150	} ≅ 150	0,038	} 10	0,042	
	55			0,036		0,040	
	80			0,035		0,039	
— pannelli rigidi	100	≅ 150	≅ 150	0,034	10	0,038	
	125	} ≅ 150	} ≅ 150	0,034	} 10	0,038	
	100			0,044		0,048	
— pannelli in fibre orientate							
— pannelli in fibre orientate	100	≅ 150	≅ 150	0,044	10	0,048	
Carta, cartone e derivati							
— carta e cartone	1 000	1 a 2				0,16	
— cartone bitumato	1 100	(60 a 90) · 10 ⁻³				0,23	
— cartongesso in lastre	900	≅ 23				0,21	
— cartone ondulato	100					0,065	

TRASMITTANZA TERMICA MEDIA

Il limite per la detrazione del 55% viene rispettato in tutte le zone climatiche:

$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	17.20	85	4.4	84
Nicchia	0.30	1.00	5	0.3	6
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	5
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	5.2
				U _{media} =	0.26 [W/(m²K)]

In realtà, la situazione è molto peggiore perché non sono stati presi in considerazione vari aspetti peggiorativi!

EFFETTI DEGLI STAFFAGGI

CONDUTTIVITA' TERMICA: STAFFAGGI

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; migliorare i dati di calcolo almeno del 5%; Per montaggi contro il terreno migliorare i dati di calcolo dal 10 al 25% ⁹⁾ . 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 ⁹⁾	30	} 0,5 a 1	1 a 2	0,032	20	0,039
	40			0,035	20	0,041
— polietilene ⁹⁾	30			0,042	20	0,050
— espanso estruso in continuo, non reticolato	50			0,050	20	0,060
	33			0,040	20	0,048
— espanso estruso in continuo, reticolato	50			0,048	20	0,058

TRASMITTANZA TERMICA: PARETE PRINCIPALE ISOLATA

Parete in laterizio sue teste, **isolata**, intonacata da ambo i lati

Laterizio: forato 25 cm, densità 800 kg/m³

Malta: standard, setti 12 mm

Intonaci: standard, spessore 15 mm

Isolante: EPS a cappotto esterno, spessore 12 cm, **con tasselli**

Area interna netta: 17.20 m² (dopo sottrazione aree finestre, nicchie, cassonetti)

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	3.4
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.6
Laterizio 25 cm:	0.250	800	200.0	0.18	65	0.297	0.8418	22.2
Polistirene 12 cm:	0.120	30	3.6	0.038	15	0.0437	2.7460	72.3
Intonaco esterno:	0.015	1800	27.0	0.9		0.9	0.0167	0.4
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.1
$d_{tot} = 0.400$ [m]		$M_{c/int} = 251.6$ [kg/m ²]		$R_{(int)} = 3.80$ [m ² K/W]		$U = 0.26$ [W/(m ² K)]		100.0
		$M_{s/int} = 200.0$ [kg/m ²]						

Apparentemente, non cambia molto.

TRASMITTANZA TERMICA MEDIA DI PARETE

Il limite per la detrazione del 55% viene rispettato:

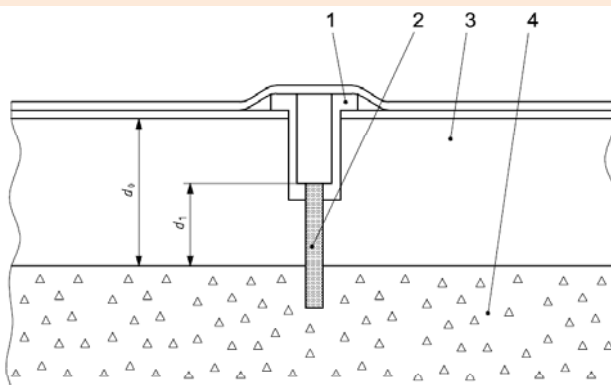
$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	13.15	81	3.5	80
Nicchia	0.31	1.00	6	0.3	7
Finestra murata	0.15	1.70	11	0.3	6
Cassonetto	1	0.30	2	0.3	7
	A _{tot} =	16.15	100	H _{tr} =	4.3
				U _{media} =	0.27 [W/(m²K)]

$$\Delta U/U \cong +3\%$$

In realtà, alcuni approcci alla tassellatura possono essere molto penalizzanti!

EFFETTI DEGLI STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)



Key

- 1 plastic cup
- 2 recessed fastener
- 3 insulation
- 4 roof deck
- d_0 thickness of the insulation layer containing the fastener
- d_1 length of the fastener that penetrates the insulation layer

EFFETTI DEGLI STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)

$$U_c = U + \Delta U$$

$$\Delta U = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

ove

$$\alpha = 0.8 \times d_1 / d_0$$

d_0 spessore dell'isolante [m]

d_1 spessore dello strato di isolante attraversato dal tassello [m]

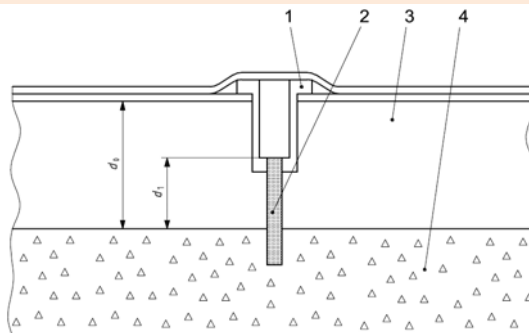
λ_f conduttività tasselli [W/(m×K)]

A_f area trasversale tasselli [m²]

n_f numero tasselli per m² [1/m²]

$R_1 = d_i / \lambda_{is}$ resistenza dello strato d'isolante attraversato dal tassello [m²K/W]

$R_{T,h} = 1/U$ resistenza termica della muratura prima della correzione [m²K/W]



EFFETTI DEGLI STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)

$$\Delta U = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \equiv$$

$$\equiv 0.8 \times \frac{d_1 \times \lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0^2} \times \left(U \times \frac{d_1}{\lambda_{EPS}} \right)^2 = 0.006 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Polistirene con tasselli, 5 per m², anima in acciaio Ø 6 mm, $d_1 = 60$ mm

$$U = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\lambda_f \approx 52 \text{ W/(m} \times \text{K)}$$

$$A_f = \pi \times (0.006/2)^2 = 2.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$n_f = 5$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\lambda_{EPS} = 0.0437 \text{ W/(m} \times \text{K)}$$

$$\Delta U / U \approx 2\%$$

Coerente con quanto ottenuto maggiorando del 5% la conduttività dell'EPS.

EFFETTI DEGLI STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)

$$\Delta U = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \equiv$$

$$\equiv 0.8 \times \frac{d_1 \times \lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0^2} \times \left(U \times \frac{d_1}{\lambda_{EPS}} \right)^2 = 0.024 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Polistirene con tasselli, 5 per m², anima in acciaio Ø 6 mm, d₁ = 60 mm

$$U = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\lambda_f \approx 52 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$A_f = \pi \times (0.006/2)^2 = 2.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$n_f = 20$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\lambda_{EPS} = 0.0437 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$\Delta U/U \approx 10\%$$

Troppi tasselli con anima metallica sono molto penalizzanti!

TRASMITTANZA TERMICA: STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)

$$\Delta U = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \equiv$$

$$\equiv 0.8 \times \frac{d_1 \times \lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0^2} \times \left(U \times \frac{d_1}{\lambda_{EPS}} \right)^2 = 0.002 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Polistirene con tasselli, 5 per m², anima in **plastica** Ø 10 mm, d₁ = 110 mm

$$U = 0.26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\lambda_f \approx 0.35 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$A_f = \pi \times (0.006/2)^2 = 2.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$n_f = 20$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}$$

$$d_1 = 110 \text{ mm}$$

$$\lambda_{EPS} = 0.0437 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$\Delta U/U \approx 0.7\%$$

Tasselli con anima tutta in plastica non danno in generale grossi problemi!

TRASMITTANZA TERMICA: CASO REALE

Parete in laterizio 35 cm, intonacata internamente, **isolata esternamente**
 Finitura **faccia a vista** in laterizio 12 cm (una testa)
 Laterizio parete: porizzato, densità 800 kg/m³
 Laterizio faccia a vista: mattone pieno, densità 1800 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaco interno: standard, spessore 15 mm
 Isolante: EPS, spessore 8 cm

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	3.8
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.6
Laterizio 35 cm:	0.350	800	280.0	0.18	65	0.297	1.1785	34.3
Polistirene 8 cm:	0.080	30	2.4	0.038	10	0.0418	1.9139	55.8
Laterizio due teste:	0.120	1800	216.0	0.63	28	0.8064	0.1488	4.3
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.2
d_{tot} = 0.565 [m]		$M_{s,e/int}$ = 519.4 [kg/m ²]				$R_{(tot)}$ = 2.43 [m ² K/W]		100.0
		$M_{s,s/int}$ = 280.0 [kg/m ²]				U = 0.29 [W/(m ² K)]		

TRASMITTANZA TERMICA: CASO REALE

Parete in laterizio 35 cm, intonacata internamente, **isolata esternamente**
 Finitura **faccia a vista** in laterizio 12 cm (una testa)
 Laterizio parete: porizzato, densità 800 kg/m³
 Laterizio faccia a vista: mattone pieno, densità 1800 kg/m³
 Malta: standard, setti 12 mm
 Intonaco interno: standard, spessore 15 mm
 Isolante: EPS, spessore 8 cm

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	3.9
Intonaco interno:	0.015	1400	21.0	0.7		0.7	0.0214	0.6
Laterizio 35 cm:	0.350	800	280.0	0.18	65	0.297	1.1785	35.2
Polistirene 8 cm:	0.080	30	2.4	0.038	15	0.0437	1.8307	54.7
Laterizio due teste:	0.120	1800	216.0	0.63	28	0.8064	0.1488	4.4
Resistenza sup. esterna (R_{se}):							0.04	1.2
d_{tot} = 0.565 [m]		$M_{s,e/int}$ = 519.4 [kg/m ²]				$R_{(tot)}$ = 2.35 [m ² K/W]		100.0
		$M_{s,s/int}$ = 280.0 [kg/m ²]				U = 0.30 [W/(m ² K)]		

$$\Delta U/U \cong +2\%$$

Maggiorando del 5% la conduttività non sembrano manifestarsi problemi!

TRASMITTANZA TERMICA: STAFFAGGI (UNI EN ISO 6946)

$$\Delta U = \alpha \times \frac{\lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \equiv$$

$$\equiv 0.8 \times \frac{d_1 \times \lambda_f \times A_f \times n_f}{d_0^2} \times \left(U \times \frac{d_1}{\lambda_{EPS}} \right)^2 = 0.11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Collegamento tra muratura e faccia a vista con tondini $\varnothing 8$ mm, 10 per m^2 , $d_1=d_0$

$$U = 0.29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\lambda_f \approx 52 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$A_f = \pi \times (0.008/2)^2 = 5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$n_f = 10$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}$$

$$d_1 = 120 \text{ mm}$$

$$\lambda_{EPS} = 0.0437 \text{ W/(m}\times\text{K)}$$

$$U = 0.40 \text{ W/(m}^2\text{K)}, \Delta U/U \cong +38\%$$

Purtroppo, la realtà è molto peggiore!

**EFFETTI DEI
PONTI TERMICI**

TRASMITTANZA TERMICA (D.P.R. n. 59/2009, art. 4)

4. Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria [...] consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, **rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture**, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

a) per tutte le categorie di edifici [...] il valore della trasmittanza termica (U) per le **strutture opache verticali**, a ponte termico corretto, [...] deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo [...]. **Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto** o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, **i valori limite della trasmittanza termica riportati nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico**; [...]

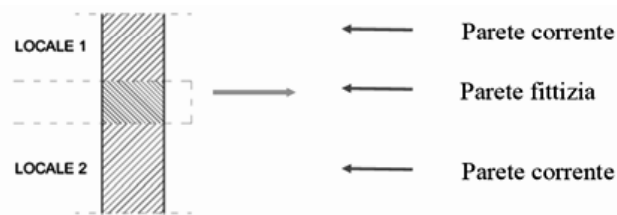
b) per tutte le categorie di edifici [...] ad eccezione della categoria E.8¹ il valore della trasmittanza termica (U) per le **strutture opache orizzontali o inclinate**, a ponte termico corretto deve essere... [IDEM]

¹ Edifici industriali ed artigianali riscaldati per il confort

PONTE TERMICO CORRETTO E NON CORRETTO

(D.Lgs. 192/2005 e s.m.i., Allegato A – Ulteriori definizioni)

24 **parete fittizia** è la parete schematizzata in figura.



25 **ponte termico** è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro).

26 **ponte termico corretto** è quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

PONTI TERMICI E TRASMITTANZA MEDIA

Il coefficiente di dispersione per trasmissione si valuta tramite la formula

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

ove

H_{tr} coefficiente di dispersione per trasmissione [W/K]

U_i trasmittanza termica (areica) dell'elemento di parete i-esimo [W/(m²K)]

A_i area frontale (interna netta) dell'elemento di parete i-esimo [m²]

Ψ_k trasmittanza termica lineica del ponte termico lineare k-esimo [W/(m×K)]

L_k sviluppo (lunghezza) del ponte termico lineare k-esimo [m]

χ_j trasmittanza termica puntuale ponte termico puntiforme j-esimo [W/K]

Con riferimento alle superfici esterne, la trasmittanza media di parete è data dalla formula:

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(parete)}}{A_{tot}}$$

PONTI TERMICI CORRETTI E NON CORRETTI

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

Trasmittanza fittizia di un ponte termico lineare k-esimo o puntiforme j-esimo:

$$U_k = \frac{\Psi_k \cdot L_k}{A_k} \quad U_j = \frac{\chi_j}{A_j}$$

ove

A_k, A_j area frontale del ponte termico lineico k-esimo o puntiforme j-esimo [m²]

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_{k(\text{non corretti})} (\Psi_k \times L_k) + \sum_{j(\text{non corretti})} \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(c/ponti termici non corretti)}}{A_{tot}}$$

PONTI TERMICI CORRETTI E NON CORRETTI

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

$$U_k = \frac{\Psi_k \cdot L_k}{A_k} \quad U_j = \frac{\chi_j}{A_j}$$

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_{k(\text{noncorretti})} (\Psi_k \times L_k) + \sum_{j(\text{non corretti})} \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(c/ponti \text{ termici non corretti})}}{A_{tot}}$$

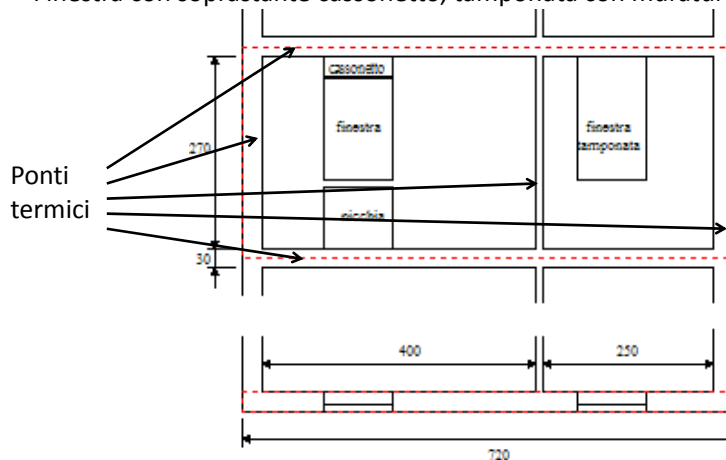
La maggior parte dei ponti termici di interesse pratico, relativi a involucri edilizi realizzati in sostanziale conformità ai limiti vigenti sulle trasmittanze, non possono essere considerati corretti.

In ogni caso, i ponti termici corretti vanno trascurati solo ai fini della verifica del rispetto dei limiti sulle trasmittanze di parete, mentre vanno tenuti in considerazione per ogni altra valutazione energetica.

TRASMITTANZA MEDIA: PONTI TERMICI

Esempio: parete verticale con presenza di:

- Finestra con sottostante nicchia per radiatore e soprastante cassonetto
- Finestra con soprastante cassonetto, tamponata con muratura



PONTI TERMICI E TRASMITTANZA MEDIA

Il coefficiente di dispersione per trasmissione si valuta tramite la formula

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

Con riferimento alle **superfici interne nette**, La **trasmittanza media di parete** è data dalla formula:

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i + \sum_k A_k + \sum_j A_j} = \frac{H_{tr(parete)}}{A_{tot}}$$

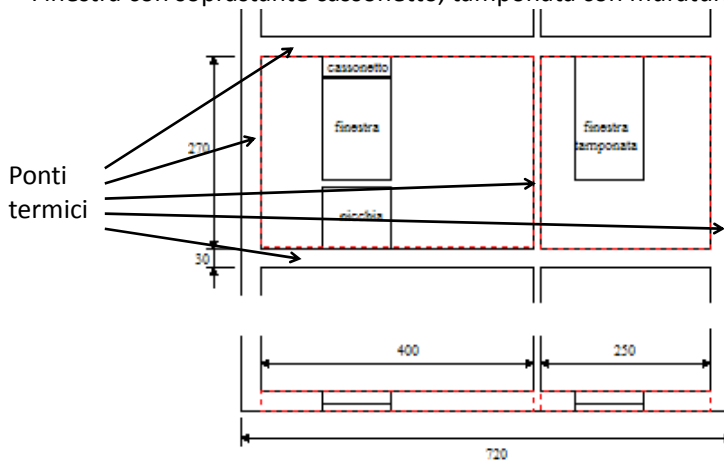
ove

A_k, A_j area frontale del ponte termico lineico k-esimo o puntiforme j-esimo [m²]

TRASMITTANZA MEDIA: PONTI TERMICI

Esempio: parete verticale con presenza di:

- Finestra con sottostante nicchia per radiatore e soprastante cassonetto
- Finestra con soprastante cassonetto, tamponata con muratura



PONTI TERMICI: APPROCCI AL CALCOLO

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(parete)}}{A_{tot}}$$

Le trasmittanze lineiche e puntuali associate ai ponti termici lineari e puntiformi possono essere calcolate mediante diversi approcci:

- **metodi numerici** (UNI EN ISO 10211:2008, incertezza prevista $\pm 5\%$)
- **atlanti** dei ponti termici (incertezza prevista $\pm 20\%$)
- **calcoli manuali** (formule, software, ecc., incertezza tipica $\pm 20\%$)
- **valori di progetto** (UNI EN ISO 14683:2008, solo ponti termici lineari, sovrastima cautelativa da 0 a 50%)

SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE (UNI/TS 11300-1)

Lo scambio termico per trasmissione attraverso i ponti termici può essere calcolato secondo la UNI EN ISO 14683 o la UNI EN ISO 10211.

Per gli **edifici esistenti** [SOSTANZIALMENTE NON ISOLATI], **in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise**, per alcune tipologie edilizie, lo scambio termico attraverso i ponti termici può essere determinato forfaitariamente secondo quanto indicato nel prospetto.

Descrizione della struttura	Maggiorazione ¹¹⁾
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

¹¹⁾ Le maggiorazioni si applicano alle dispersioni della parete opaca e tengono conto anche dei ponti termici relativi ai serramenti.

TRASMITTANZA MEDIA: PARETE CON ASSOTTIGLIAMENTI

I diversi approcci si traducono in una differente valutazione dei ponti termici.

Altre informazioni:

- Muratura principale: laterizio forato con spessore 25 cm, densità 800 kg/m³
- Muratura nicchia e finestra murata: laterizio forato con spessore 10 cm, densità 1200 kg/m³
- Muratura tramezza: laterizio forato con spessore 10 cm, densità 1200 kg/m³
- Luci finestra: 100 cm x 140 cm
- Nicchie: 100 cm x 100 cm
- Cassonetti (non isolati): 100 cm x 30 cm
- Solaio interpiano: in laterocemento, spessore 30 cm

Calcoli preliminari:

- Area nicchia: 1.00 m²
- Area cassonetto: 0.30 m²
- Area finestra: 1.40 m²
- Area finestra murata incluso cassonetto: 1.70 m²
- Area esterna di parete (al netto finestre e zone di assottigliamento): 17.20 m²

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE NON ISOLATA

La parete in laterizio forato costituisce un caso verosimilmente intermedio tra la parete in mattoni pieni e quella a cassa vuota. In favore di sicurezza si può fare riferimento quella tra le due a cui è associata la maggiorazione superiore:

$$U_{\text{media con p.t.}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} + \text{maggiorazione} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	A/A _{tot} [%]	UxA [W/K]	UxA/H _{tr} [%]
Parete	1.23	17.20	85	21.2	71
Nicchia	2.55	1.00	5	2.6	9
Finestra murata	2.55	1.70	8	4.3	15
Cassonetto	6	0.30	1	1.8	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	29.9
				U _{media} =	1.48 [W/(m ² K)]
Con ponti termici (+10%):				U _{tot} =	1.63 [W/(m ² K)]

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Si consideri ora la parete dell'esempio, cappottata esternamente con 12 cm di EPS. Alla **cappottatura esterna senza aggetti/balconi** corrisponde una maggiorazione del 5% e, quindi:

$$U_{\text{media con p.t.}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} + \text{maggiorazione} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	17.20	85	4.4	84
Nicchia	0.30	1.00	5	0.3	6
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	5
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	5.2
				U _{media} =	0.26 [W/(m²K)]
Con ponti termici (+5%)				U _{eff} =	0.27 [W/(m²K)]

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Si consideri ora la parete dell'esempio, cappottata esternamente con 12 cm di EPS. Alla **cappottatura esterna con aggetti/balconi** corrisponde una maggiorazione del 15% e, quindi:

$$U_{\text{media con p.t.}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} + \text{maggiorazione} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	17.20	85	4.4	84
Nicchia	0.30	1.00	5	0.3	6
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	5
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	5.2
				U _{media} =	0.26 [W/(m²K)]
Con ponti termici (15%)				U _{eff} =	0.30 [W/(m²K)]

In realtà, si vedrà più oltre perché l'abaco delle maggiorazioni della UNI/TS 11300-1 non andrebbe utilizzato per pareti con elevato livello di isolamento!

VALUTAZIONE ANALITICA DEI PONTI TERMICI

PONTI TERMICI: APPROCCI AL CALCOLO

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(parete)}}{A_{tot}}$$

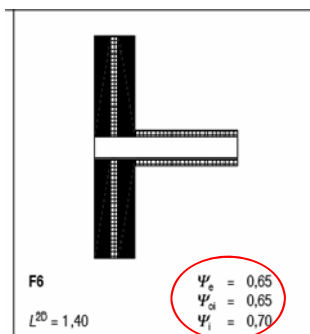
Le trasmittanze lineiche e puntuali associate ai ponti termici lineari e puntiformi possono essere calcolate mediante diversi approcci:

- **metodi numerici** (UNI EN ISO 10211:2008, incertezza prevista $\pm 5\%$)
- **atlanti** dei ponti termici (incertezza prevista $\pm 20\%$)
- **calcoli manuali** (formule, software, ecc., incertezza tipica $\pm 20\%$)
- **valori di progetto** (UNI EN ISO 14683:2008, solo ponti termici lineari, sovrastima cautelativa da 0 a 50%)

VALORI DI PROGETTO (UNI EN ISO 14683)

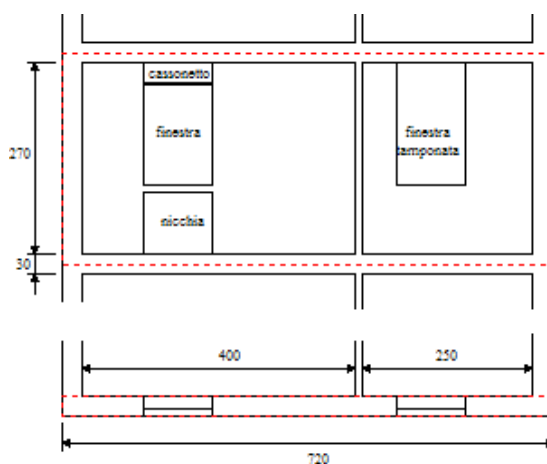
I valori delle trasmittanze lineiche di ponte termico Ψ [W/(m×K)] riportati nella UNI EN ISO 14683 sono cautelativi con margine di sovrastima dichiarato variabile da 0 al 50% . I valori sono arrotondati allo 0.05 [W/(m×K)] più vicino e sono basati su tre sistemi di valutazione delle dimensioni dell'edificio:

- **dimensioni interne** (Ψ_i), misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- **dimensioni interne lorde** (Ψ_{oi}), misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- **dimensioni esterne** (Ψ_e), misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.

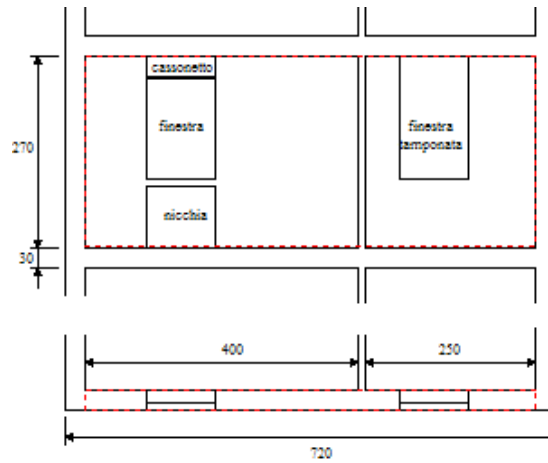


In linea di principio, i tre sistemi di valutazione dovrebbero dare risultati simili.

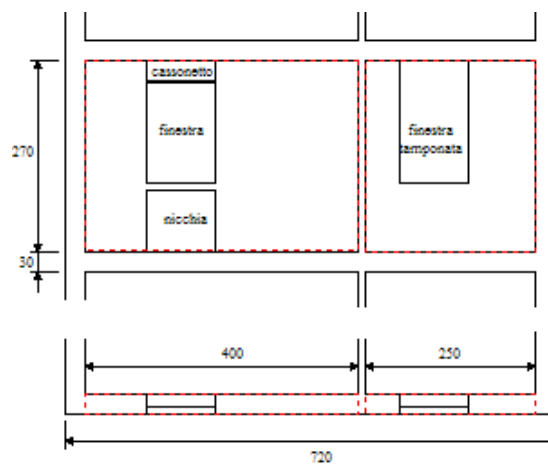
DIMENSIONI ESTERNE



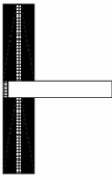
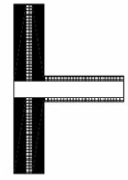
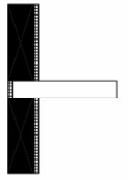
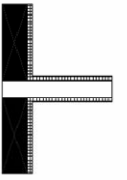





DIMENSIONI INTERNE LORDE



DIMENSIONI INTERNE



VALORI DI PROGETTO (UNI EN ISO 14683)

			
F5 $L^{2D} = 1,33$	F6 $L^{2D} = 1,40$	F7 $L^{2D} = 1,41$	F8 $L^{2D} = 0,99$
$\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{ci} = 0,60$ $\Psi_i = 0,65$	$\Psi_e = 0,65$ $\Psi_{ci} = 0,65$ $\Psi_i = 0,70$	$\Psi_e = 0,65$ $\Psi_{ci} = 0,65$ $\Psi_i = 0,70$	$\Psi_e = 0,20$ $\Psi_{ci} = 0,20$ $\Psi_i = 0,30$
 Parete	 Parete leggera (compresa muratura leggera e parete intelaiata in legno)	 Strato isolante	 Soletta/Pilastro
 Telaio			

Nota - Le linee con le notazioni i , o ed e indicano il sistema di dimensioni - interne, interne globali, esterne. Le dimensioni sono date in metri.

Sono considerati cappotti esterni, intermedi e interni di pareti in muratura e leggere.

Le pareti leggere non sembrerebbero comprendere il laterizio porizzato.

VALORI DI PROGETTO (UNI EN ISO 14683)

Table A.1 — Parameters used to calculate the data in Table A.2

For all details:		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{-K/W}$
		$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{-K/W}$
For external walls:		$d = 300 \text{ mm}$
For internal walls:		$d = 200 \text{ mm}$
For walls with an insulation layer:	— thermal transmittance	$U = 0,343 \text{ W/(m}^2\text{-K)}$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2\text{-K/W}$
For lightweight walls:		$U = 0,375 \text{ W/(m}^2\text{-K)}$
For ground floors:	— floor slab	$d = 200 \text{ mm}$
	— thermal conductivity of ground	$\lambda = 2,0 \text{ W/(m-K)}$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2\text{-K/W}$
For intermediate floors:		$d = 200 \text{ mm}$
		$\lambda = 2,0 \text{ W/(m-K)}$
For roofs:	— thermal transmittance	$U = 0,365 \text{ W/(m}^2\text{-K)}$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2\text{-K/W}$
For the frames in openings:		$d = 60 \text{ mm}$
For columns:		$d = 300 \text{ mm}$
		$\lambda = 2,0 \text{ W/(m-K)}$

VALORI DI PROGETTO (UNI EN ISO 14683)

Laterizi

Per mattoni forati la conduttività non è definibile né misurabile; i valori assegnati a λ_m e α 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 (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-

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%³⁾; doppiare i valori di m .

- mattoni pieni, forati, leggeri,
- mattoni ad alta resistenza meccanica

$$U = \lambda / d \Leftrightarrow \lambda / U = d$$

$$(0.13 + 90\%) / 0.375 = 66 \text{ cm}$$

$$(0.13 + 180\%) / 0.375 = 97 \text{ cm}$$

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_b \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
	600	18 a 36	18 a 36	0,13	90	0,25
	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

VALORI DI PROGETTO: COPERTURE E SOTTOTETTO

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame			
Roofs							
R1	$\psi_s = 0,55$ $\psi_{cl} = 0,75$ $\psi_f = 0,75$	R2	$\psi_s = 0,50$ $\psi_{cl} = 0,75$ $\psi_f = 0,75$	R3	$\psi_s = 0,40$ $\psi_{cl} = 0,75$ $\psi_f = 0,75$	R4	$\psi_s = 0,40$ $\psi_{cl} = 0,65$ $\psi_f = 0,65$
R5	$\psi_s = 0,60$ $\psi_{cl} = 0,80$ $\psi_f = 0,80$	R6	$\psi_s = 0,50$ $\psi_{cl} = 0,70$ $\psi_f = 0,70$	R7	$\psi_s = 0,65$ $\psi_{cl} = 0,85$ $\psi_f = 0,85$	R8	$\psi_s = 0,45$ $\psi_{cl} = 0,70$ $\psi_f = 0,70$

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: COPERTURE E BALCONI

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
Roofs (continued)				
 R9 $\psi_s = -0,05$ $\psi_{cl} = 0,15$ $\psi_f = 0,15$	 R10 $\psi_s = 0,00$ $\psi_{cl} = 0,20$ $\psi_f = 0,20$	 R11 $\psi_s = 0,05$ $\psi_{cl} = 0,25$ $\psi_f = 0,25$	 R12 $\psi_s = 0,15$ $\psi_{cl} = 0,40$ $\psi_f = 0,40$	
Balconies				
 B1 $\psi_s = 0,95$ $\psi_{cl} = 0,95$ $\psi_f = 1,05$	 B2 $\psi_s = 0,95$ $\psi_{cl} = 0,95$ $\psi_f = 1,05$	 B3 $\psi_s = 0,90$ $\psi_{cl} = 0,90$ $\psi_f = 1,00$	 B4 $\psi_s = 0,70$ $\psi_{cl} = 0,70$ $\psi_f = 0,80$	

U.04 – Trasmissione e ponti termici81/95

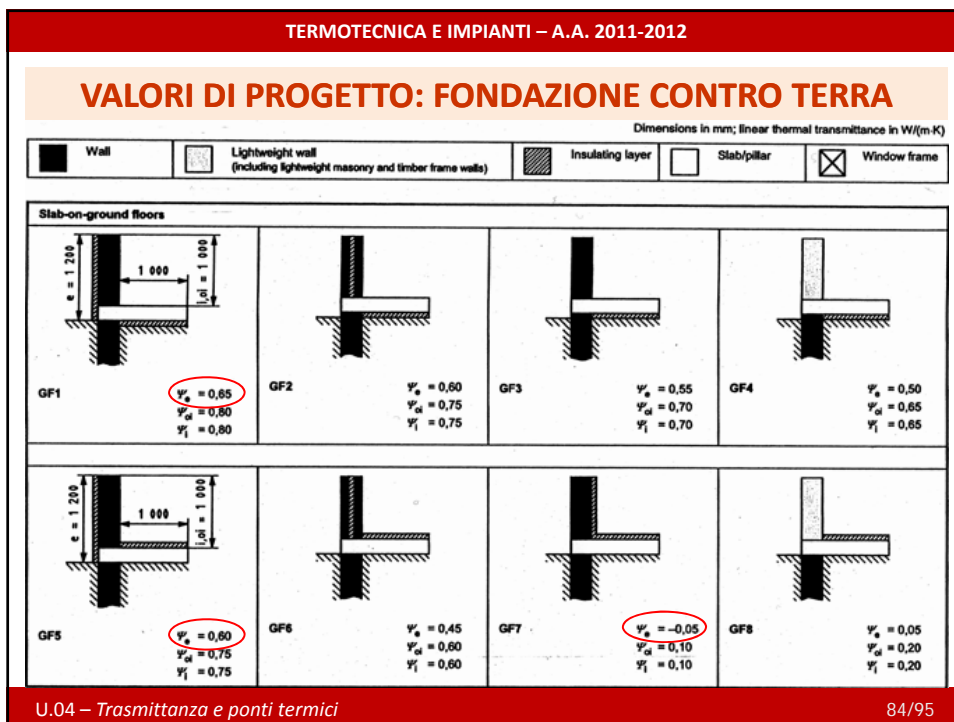
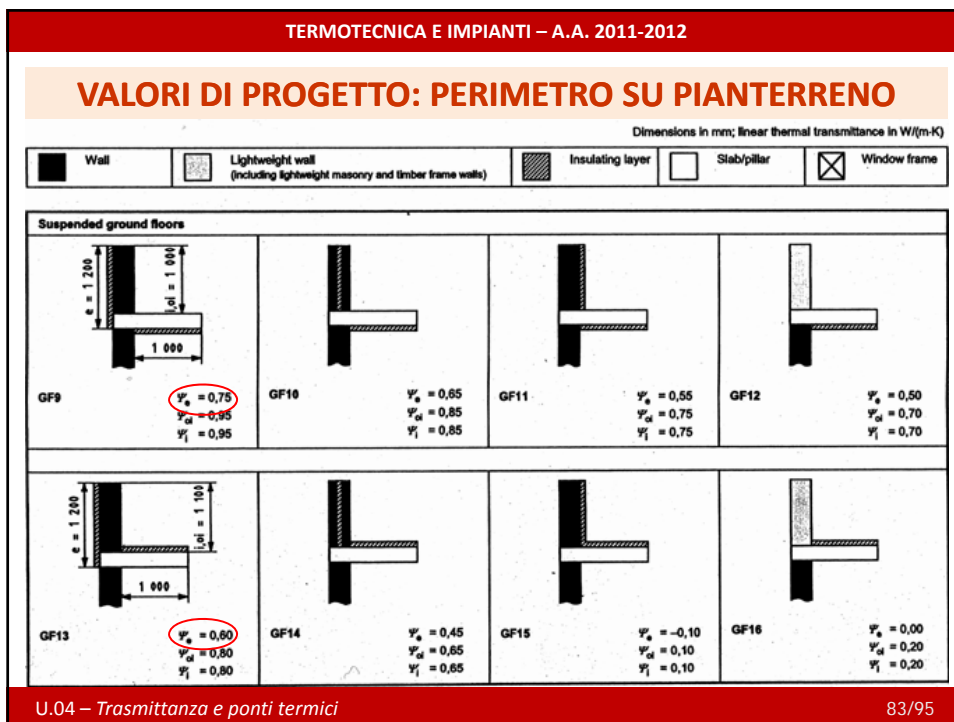
TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: SOLAIO INTERPIANO

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
Intermediate floors				
 IF1 $\psi_s = 0,00$ $\psi_{cl} = 0,00$ $\psi_f = 0,10$	 IF2 $\psi_s = 0,95$ $\psi_{cl} = 0,95$ $\psi_f = 1,05$	 IF3 $\psi_s = 0,90$ $\psi_{cl} = 0,90$ $\psi_f = 1,00$	 IF4 $\psi_s = 0,70$ $\psi_{cl} = 0,70$ $\psi_f = 0,80$	
 IF5 $\psi_s = 0,60$ $\psi_{cl} = 0,60$ $\psi_f = 0,65$	 IF6 $\psi_s = 0,90$ $\psi_{cl} = 0,90$ $\psi_f = 1,00$	 IF7 $\psi_s = 0,70$ $\psi_{cl} = 0,70$ $\psi_f = 0,80$	 IF8 $\psi_s = 0,45$ $\psi_{cl} = 0,45$ $\psi_f = 0,60$	

U.04 – Trasmissione e ponti termici82/95



TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: PILASTRI ANNEGATI

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Pilars				
<p>P1</p> $\Psi_{se} = 1,30$ $\Psi_{se} = 1,30$ $\Psi_i = 1,30$	<p>P2</p> $\Psi_{se} = 1,20$ $\Psi_{se} = 1,20$ $\Psi_i = 1,20$	<p>P3</p> $\Psi_{se} = 1,15$ $\Psi_{se} = 1,15$ $\Psi_i = 1,15$	<p>P4</p> $\Psi_{se} = 0,90$ $\Psi_{se} = 0,90$ $\Psi_i = 0,90$	

U.04 – Trasmissione e ponti termici 85/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: TRAMEZZE

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Internal walls				
<p>IW1</p> $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$	<p>IW2</p> $\Psi_{se} = 0,95$ $\Psi_{se} = 0,95$ $\Psi_i = 1,05$	<p>IW3</p> $\Psi_{se} = 0,90$ $\Psi_{se} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$	<p>IW4</p> $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_i = 0,20$	
<p>IW5</p> $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$	<p>IW6</p> $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_{se} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$			

U.04 – Trasmissione e ponti termici 86/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: ANGOLI

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Corners

<p>C1</p> $\Psi_{sa} = -0,05$ $\Psi_{sa} = -0,15$ $\Psi_{si} = 0,15$	<p>C2</p> $\Psi_{sa} = -0,10$ $\Psi_{sa} = 0,10$ $\Psi_{si} = 0,10$	<p>C3</p> $\Psi_{sa} = -0,20$ $\Psi_{sa} = 0,05$ $\Psi_{si} = 0,05$	<p>C4</p> $\Psi_{sa} = -0,15$ $\Psi_{sa} = 0,10$ $\Psi_{si} = 0,10$
<p>C5</p> $\Psi_{sa} = 0,05$ $\Psi_{sa} = -0,15$ $\Psi_{si} = -0,15$	<p>C6</p> $\Psi_{sa} = 0,15$ $\Psi_{sa} = -0,10$ $\Psi_{si} = -0,10$	<p>C7</p> $\Psi_{sa} = 0,15$ $\Psi_{sa} = -0,05$ $\Psi_{si} = -0,05$	<p>C8</p> $\Psi_{sa} = 0,10$ $\Psi_{sa} = -0,10$ $\Psi_{si} = -0,10$

U.04 – Trasmittanza e ponti termici87/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: FINESTRE A FILO INTERNO

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Window and door openings (continued)

<p>W13</p> $\Psi_{sa} = 0,80$ $\Psi_{sa} = 0,80$ $\Psi_{si} = 0,80$	<p>W14</p> $\Psi_{sa} = 1,00$ $\Psi_{sa} = 1,00$ $\Psi_{si} = 1,00$	<p>W15</p> $\Psi_{sa} = 0,00$ $\Psi_{sa} = 0,00$ $\Psi_{si} = 0,00$	<p>W16</p> $\Psi_{sa} = 0,15$ $\Psi_{sa} = 0,15$ $\Psi_{si} = 0,15$
<p>W17</p> $\Psi_{sa} = 0,40$ $\Psi_{sa} = 0,40$ $\Psi_{si} = 0,40$	<p>W18</p> $\Psi_{sa} = 0,20$ $\Psi_{sa} = 0,20$ $\Psi_{si} = 0,20$		

U.04 – Trasmittanza e ponti termici88/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: FINESTRE A FILO INERMEDIO

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Window and door openings (continued)

<p>W7</p> $\Psi_s = 0,45$ $\Psi_{col} = 0,45$ $\Psi_f = 0,45$	<p>W8</p> $\Psi_s = 1,00$ $\Psi_{col} = 1,00$ $\Psi_f = 1,00$	<p>W9</p> $\Psi_s = 0,60$ $\Psi_{col} = 0,60$ $\Psi_f = 0,60$	<p>W10</p> $\Psi_s = 0,10$ $\Psi_{col} = 0,10$ $\Psi_f = 0,10$
<p>W11</p> $\Psi_s = 0,00$ $\Psi_{col} = 0,00$ $\Psi_f = 0,00$	<p>W12</p> $\Psi_s = 0,10$ $\Psi_{col} = 0,10$ $\Psi_f = 0,10$		

U.04 – Trasmittanza e ponti termici 89/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

VALORI DI PROGETTO: FINESTRE A FILO ESTERNO

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
------	--	------------------	-------------	--------------

Window and door openings

<p>W1</p> $\Psi_s = 0,00$ $\Psi_{col} = 0,00$ $\Psi_f = 0,00$	<p>W2</p> $\Psi_s = 1,00$ $\Psi_{col} = 1,00$ $\Psi_f = 1,00$	<p>W3</p> $\Psi_s = 0,80$ $\Psi_{col} = 0,80$ $\Psi_f = 0,80$	<p>W4</p> $\Psi_s = 0,15$ $\Psi_{col} = 0,15$ $\Psi_f = 0,15$
<p>W5</p> $\Psi_s = 0,40$ $\Psi_{col} = 0,40$ $\Psi_f = 0,40$	<p>W6</p> $\Psi_s = 0,10$ $\Psi_{col} = 0,10$ $\Psi_f = 0,10$		

U.04 – Trasmittanza e ponti termici 90/95

VALORI DI PROGETTO (UNI EN ISO 14683)

Note applicative:

- Ponti termici relativi a strutture di separazione orizzontale e verticale tra unità immobiliari si ripartiscono, in prima istanza, al 50% sui due lati.
- I ponti termici cosiddetti geometrici, ad es. gli angoli, si possono trascurare in favore di sicurezza se si prendono a riferimento le superfici esterne
- I valori indicati nella UNI EN ISO 14683 sono generalmente sovrastimati, ma un valore più ridotto della trasmittanza lineica effettiva deve essere suffragato da calcoli specifici, ad esempio da una simulazione numerica del caso particolare in esame.

Molti software di calcolo non contemplano la UNI EN ISO 14683, ma è sempre possibile introdurre un valore arbitrario della trasmittanza di parete, inclusiva di nicchie, cassonetti e ponti termici, eventualmente calcolato a margine.

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Si consideri ora la parete dell'esempio, cappottata esternamente con 12 cm di EPS. Alla **cappottatura esterna senza aggetti/balconi** corrisponde una maggiorazione del 5% secondo il prospetto della UNI/TS 11300-1 e, quindi:

$$U_{\text{media con p.t.}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i)}{\sum_i A_i} + \text{maggiorazione} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	17.20	85	4.4	84
Nicchia	0.30	1.00	5	0.3	6
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	5
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	6
	A _{tot} =	20.20	100	H _{tr} =	5.2
				U _{media} =	0.26 [W/(m²K)]
Con ponti termici (+5%)				U _{tot} =	0.27 [W/(m²K)]

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)

	Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
--	------	---	------------------	-------------	--------------

Window and door openings (continued)

 W13 $\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{ed} = 0,80$ $\Psi_f = 0,80$	 W14 $\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{ed} = 1,00$ $\Psi_f = 1,00$	 W15 $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{ed} = 0,00$ $\Psi_f = 0,00$	 W16 $\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{ed} = 0,15$ $\Psi_f = 0,15$
 W17 $\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{ed} = 0,40$ $\Psi_f = 0,40$	 W18 $\Psi_e = 0,20$ $\Psi_{ed} = 0,20$ $\Psi_f = 0,20$		

Due casi: l'isolamento può essere risolto sulle spalle della finestra (con lo stesso spessore frontale), oppure no. Il p.t. agisce su tutta la cornice finestra.

U.04 – Trasmissione e ponti termici93/95

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Si consideri ora la parete dell'esempio visto precedentemente, cappottata esternamente con 12 cm di EPS risolto sulla cornice finestra:

$$U_{media} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{tr(parete)}}{A_{tot}}$$

$\Psi_e = 0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	A/A_{tot} [%]	$U \times A$ [W/K]	$U \times A / H_{tr}$ [%]
Parete	0.26	17.20	85	4.5	71
Nicchia	0.31	1.00	5	0.3	5
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	4
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	5
	$A_{tot} =$	20.20	100		
	Ψ [W/(m·K)]	L [m]		$\Psi \times L$ [W/K]	$\Psi \times L / H_{tr}$ [%]
Spalle finestra	0.2	4.80		1.0	15
				$H_{tr} =$	6.4
				$U_{media} =$	0.32 [W/(m ² K)]

+18%

U.04 – Trasmissione e ponti termici94/95

EFFETTI DEI PONTI TERMICI: PARETE ISOLATA

Si consideri ora la parete dell'esempio, cappottata esternamente con 12 cm di EPS **non** risvoltato sulla cornice finestra:

$$U_{\text{media}} = \frac{\sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\psi_k \times L_k) + \sum_j \chi_j}{\sum_i A_i} = \frac{H_{\text{tr(parete)}}}{A_{\text{tot}}}$$

$$\psi_e = 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

	U	A	A/A _{tot}	UxA	UxA/H _{tr}
	[W/(m²K)]	[m²]	[%]	[W/K]	[%]
Parete	0.26	17.20	85	4.5	49
Nicchia	0.31	1.00	5	0.3	3
Finestra murata	0.15	1.70	8	0.3	3
Cassonetto	1	0.30	1	0.3	3
	A _{tot} =	20.20	100		
	ψ	L		ψ×L	ψ×L/H _{tr}
	[W/(m×K)]	[m]		[W/K]	[%]
Spalle finestra	0.8	4.80		3.8	42
				H _{tr} =	9.2
				U _{media} =	0.46 [W/(m²K)]

+76%