



FONDAZIONE **FEDERICO FORTIS**
DEI GEOMETRI E GEOMETRI LAUREATI DELLA
PROVINCIA DI NOVARA

CORSO DI FORMAZIONE PER CERTIFICATORE ENERGETICO

FONDAMENTI SUGLI SCAMBI TERMICI ATTRAVERSO GLI ELEMENTI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

Ing. Stefano Bergero
Ing. Anna Chiari



dsa dipartimento
di scienze
per l'architettura

Facoltà di Architettura - Università di Genova



Bibliografia

UNI/TS 11300-1:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"

UNI/TS 11300-2:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"

UNI EN ISO 6946:2008 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"

UNI 10351:1994 "Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore."

UNI 10355:1994 "Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo."

UNI EN ISO 10077-1:2007 "Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità"

UNI EN ISO 14683:2008 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"

UNI EN ISO 13786:2008 "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo"

Pubblicazione di Stefano Bergero e Anna Chiari. Tutti i diritti riservati. Copia depositata a norma di legge.

SCAMBIO TERMICO ATTRAVERSO I COMPONENTI OPACHI

La **resistenza termica equivalente** R_{eq} [m^2K/W] di un *componente piano* per edilizia costituito da *strati in serie* si calcola con la seguente relazione:

$$R_{eq} = R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + R_a + \sum_n R_n + R_{se}$$

R_{si} = resistenza termica superficiale (liminare) interna [m^2K/W]

L_j = spessore dello strato j-esimo [m]

λ_j = conducibilità termica del materiale dello strato j-esimo [W/mK]

R_a = resistenza termica dell'eventuale intercapedine d'aria [m^2K/W]

R_n = resistenza termica dello strato n-esimo [m^2K/W]

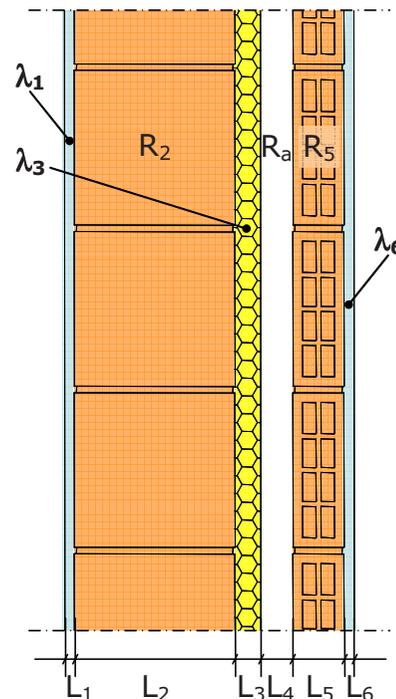
R_{se} = resistenza termica superficiale (liminare) esterna [m^2K/W]

La relativa **trasmissione termica** U [W/m^2K] risulta:

$$U = \frac{1}{R_{eq}}$$

Nomenclatura

Dal momento che nella trattazione successiva si fa riferimento esclusivamente a resistenze termiche specifiche, queste verranno indicate per brevità con R anziché R' , in accordo con la normativa.



N.B. Nel caso di strati costituiti da *materiali non omogenei*, i dati termici utili per il calcolo della trasmissione possono essere espressi in termini di *conducibilità termica apparente*, di *resistenza termica* o di *conduttanza*.

Per il calcolo della trasmissione termica dei componenti opachi la specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008** fa riferimento alle seguenti norme.

- Per le proprietà termofisiche dei materiali:
UNI 10351:1994 "Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore"
UNI EN 1745:2005 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare i valori termici di progetto"
- Per le resistenze termiche di murature e solai:
UNI 10355:1994 "Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo"
UNI EN 1745:2005 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare i valori termici di progetto"
- Per le resistenze liminari e per le resistenze delle intercapedini d'aria:
UNI EN ISO 6946:2008 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmissione termica - Metodo di calcolo"

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, nel caso di edifici esistenti possono essere utilizzati i dati riportati nelle **Appendici A e B** della **UNI/TS 11300-1:2008**.

L'**Appendice A** della **UNI/TS 11300-1:2008** fornisce i valori di trasmittanza di componenti opachi espressi in funzione della tipologia edilizia e del periodo di costruzione.

Di seguito sono riportate a titolo di esempio le trasmittanze di pareti opache verticali coibentate e non.

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

Trasmittanza termica delle strutture coibentate [W/(m²K)]

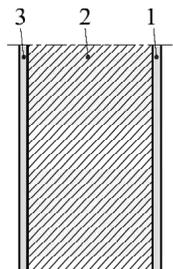
Spessore [m]	Zona climatica			
	C o D		E o F	
	Anno di costruzione			
	1976-1985	1986-1991	1976-1985	1986-1991
Chiusure verticali opache				
0,25	1,20	0,81	0,81	0,61
0,30	1,15	0,79	0,79	0,60
0,35	1,10	0,76	0,76	0,59
0,40	1,10	0,76	0,76	0,59

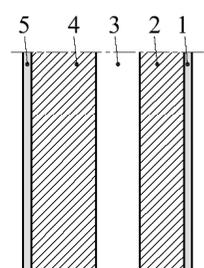
N.B. La trasmittanza termica, quando è presentata come un risultato finale, deve essere arrotondata a *due cifre significative*.

L'Appendice B della **UNI/TS 11300-1:2008** fornisce un abaco delle strutture murarie utilizzate in Italia e una tabella che dà informazioni relative alla diffusione geografica sul territorio italiano.

Di seguito è riportata a titolo di esempio la tabella relativa alla regione Liguria e gli abachi di due strutture murarie citate nella tabella stessa.

Liguria		
Epoca	Tipo di struttura	Indicazioni aggiuntive
Dal 1900 al 1955	3	Centro storico La Spezia e Sarzana - Palazzi e ville
	2	Periferia La Spezia e provincia
Dal 1950 al 1980	9	Edilizia economica e popolare (La Spezia)

STRUTTURA N° 3: DESCRIZIONE: Muratura mista di mattoni e sassi				
Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Conduttività [W/(m × K)]
	1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	0,70
	2	Mattoni e sassi	2 000	0,90
	3	Intonaco esterno	1 800	0,90
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

STRUTTURA N° 9: DESCRIZIONE: Muratura a cassa vuota					
Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m ³)	Spessore cm	Conduttività [W/(m × K)]
	1	Intonaco interno (calce e gesso)	1 400	2	0,70
	2	Mattoni forati	800	8	0,30
	3	Intercapedine d'aria	-	6 - 12	
	4	Mattoni forati	800	25	0,30
	5	Intonaco esterno	1 800	2	0,90
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				

Spessori variabili da 43 cm a 49 cm (in funzione dell'intercapedine).

RESISTENZE TERMICHE SUPERFICIALI

I valori delle resistenze termiche superficiali R_{si} e R_{se} sono riportati in Tabella 1 tratta dalla norma **UNI EN ISO 6946:2008**.

Tabella 1

Resistenza superficiale [m ² K/W]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale.

Nel caso in cui sia specificata la *velocità del vento*, i valori della resistenza superficiale esterna R_{se} sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2

Velocità del vento [m/s]	R_{se} [m ² K/W]
1	0.08
2	0.06
3	0.05
4	0.04
5	0.04
7	0.03
10	0.02

N.B.

Nel caso di calcolo della trasmittanza termica di *componenti interni* per edilizia (divisori, ...) o di componenti situati tra l'ambiente interno e un ambiente non riscaldato, si applica il valore di R_{si} su entrambi i lati.

Osservazione

La resistenza termica superficiale R_s si calcola mediante la seguente relazione:

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r}$$

h_c = coefficiente di convezione [W/m²K]

Sulle superfici interne il coefficiente di convezione h_{ci} , nel calcolo di R_{si} in Tabella 1, è assunto pari a:

flusso di calore ascendente	$h_{ci} = 5.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
flusso di calore orizzontale	$h_{ci} = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
flusso di calore discendente	$h_{ci} = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Sulle superfici esterne il coefficiente di convezione h_{ce} , nel calcolo di R_{se} nelle Tabelle 1 e 2, è assunto pari a:

$$h_{ce} = 4 + 4w$$

w = velocità del vento in prossimità della superficie [m/s]

In particolare i valori di R_{se} in Tabella 1 sono stati calcolati ponendo $w = 4 \text{ m/s}$.



h_r = coefficiente di irraggiamento [W/m^2K]

Il coefficiente di irraggiamento in corrispondenza di una superficie perimetrale di un edificio può essere determinato mediante la seguente relazione:

$$h_r = 4\sigma\varepsilon T_m^3$$

σ = costante di Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$

ε = emissività della superficie

T_m = temperatura media della superficie e delle superfici limitrofe [K]

Sulle superfici interne il coefficiente di irraggiamento h_{ri} , nel calcolo di R_{si} in Tabella 1, è stato valutato assumendo $\varepsilon = 0.9$ e $T_m = 20$ °C.

Sulle superfici esterne il coefficiente di irraggiamento h_{re} , nel calcolo di R_{se} nelle Tabelle 1 e 2, è stato valutato assumendo $\varepsilon = 0.9$ e $T_m = 0$ °C.



RESISTENZA TERMICA DI INTERCAPEDINI D'ARIA

Per la determinazione della resistenza termica delle intercapedini d'aria R_a si fa ancora riferimento alla norma **UNI EN ISO 6946:2008**.

Le procedure riportate di seguito si riferiscono alle seguenti condizioni:

- intercapedine limitata da due facce effettivamente parallele tra loro, perpendicolari alla direzione del flusso termico e con un'emissività non minore di 0.8;
- spessore dell'intercapedine nella direzione del flusso termico minore del 10% delle altre due dimensioni e comunque minore di 0.3 m;
- l'intercapedine non scambia aria con l'ambiente interno.

Intercapedine d'aria non ventilata

Un **intercapedine** d'aria è **non ventilata** quando non vi è una specifica configurazione affinché l'aria possa attraversarla.

Può essere considerata non ventilata un'intercapedine d'aria con delle *piccole aperture* verso l'ambiente esterno, a patto che queste aperture non siano disposte in modo tale da permettere un flusso d'aria attraverso l'intercapedine e che abbiano superficie A_v :

$A_v < 500 \text{ mm}^2$ per ogni metro di lunghezza, per le intercapedini d'aria *verticali*;

$A_v < 500 \text{ mm}^2$ per ogni metro quadrato di superficie, per le intercapedini d'aria *orizzontali*.

I valori di R_a da utilizzare nei calcoli sono riportati in Tabella 3.

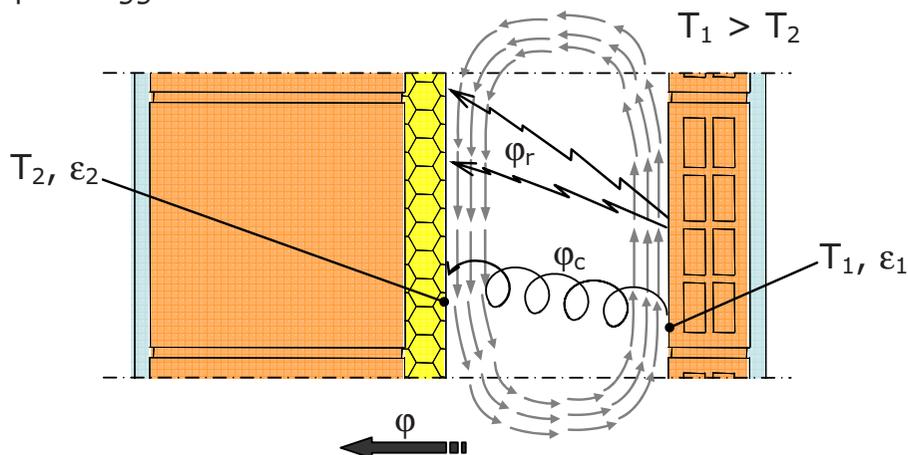
Tabella 3

Spessore intercapedine [mm]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.16	0.17	0.17
25	0.16	0.18	0.19
50	0.16	0.18	0.21
100	0.16	0.18	0.22
300	0.16	0.18	0.23

I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale.

Osservazione

All'interno di un intercapedine non ventilata il calore si propaga per *convezione naturale* e per *irraggiamento*.



Lo scambio termico per irraggiamento è poco influenzato dallo spessore dell'intercapedine, mentre quello per convezione naturale risente parecchio di tale parametro.

Dall'esame di Tabella 3 si osserva che, fino ad un certo valore dello spessore, la resistenza termica R_a aumenta in quanto prevale l'effetto conduttivo (aumenta lo spessore dello strato d'aria che si oppone al passaggio del calore).

Oltre un certo valore dello spessore, la resistenza termica R_a si stabilizza in quanto l'aumento dei moti convettivi all'interno della cavità annulla di fatto l'aumento dell'effetto conduttivo.

La resistenza termica R_a di un'intercapedine si calcola mediante la seguente relazione:

$$R_a = \frac{1}{h_c + h_r}$$

h_c = coefficiente di convezione [W/m^2K]

Nel caso in cui la differenza di temperatura tra le superfici che delimitano l'intercapedine sia $\Delta T \leq 5 \text{ °C}$, il coefficiente di convezione è assunto pari a:

flusso di calore ascendente h_c è il maggiore tra 1.95 e $0.025/d$ [W/m^2K]

flusso di calore orizzontale h_c è il maggiore tra 1.25 e $0.025/d$ [W/m^2K]

flusso di calore discendente h_c è il maggiore tra $0.12 \cdot d^{-0.44}$ e $0.025/d$ [W/m^2K]

Nel caso in cui la differenza di temperatura tra le superfici che delimitano l'intercapedine sia $\Delta T > 5 \text{ °C}$, il coefficiente di convezione è assunto pari a:

flusso di calore ascendente h_c è il maggiore tra $1.14 \cdot \Delta T^{1/3}$ e $0.025/d$ [W/m^2K]

flusso di calore orizzontale h_c è il maggiore tra $0.73 \cdot \Delta T^{1/3}$ e $0.025/d$ [W/m^2K]

flusso di calore discendente h_c è il maggiore tra $0.09 \cdot \Delta T^{0.187} \cdot d^{-0.44}$ e $0.025/d$ [W/m^2K]

d = spessore dell'intercapedine[m]

I valori di R_a in Tabella 3 sono stati calcolati nel caso di $\Delta T \leq 5 \text{ °C}$.

h_r = coefficiente di irraggiamento [W/m^2K]

Il coefficiente di irraggiamento può essere calcolato ipotizzando che l'intercapedine sia una cavità racchiusa tra due piastre parallele indefinite:

$$h_r = \frac{4\sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

σ = costante di Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = emissività delle superfici che delimitano l'intercapedine

T_m = temperatura media della superfici che delimitano l'intercapedine [K]

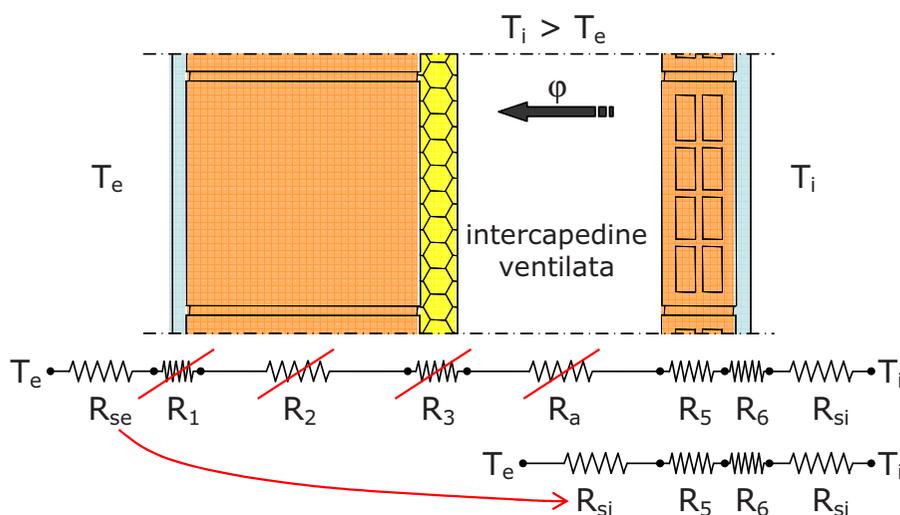
Il coefficiente di irraggiamento, nel calcolo di R_a in Tabella 3, è stato valutato assumendo $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.9$ e $T_m = 10 \text{ °C}$.

Intercapedine d'aria fortemente ventilata

Un **intercapedine** d'aria è **fortemente ventilata** se le aperture tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno hanno superficie A_V :

$A_V > 1500 \text{ mm}^2$ per ogni metro di lunghezza, per le intercapedini d'aria *verticali*;
 $A_V > 1500 \text{ mm}^2$ per ogni metro quadrato di superficie, per le intercapedini d'aria *orizzontali*.

La *resistenza termica totale* di un componente per edilizia contenente un'intercapedine d'aria fortemente ventilata si ottiene trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli altri strati che separano la stessa intercapedine d'aria dall'ambiente esterno e includendo una resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile che può essere assunta pari alla resistenza termica superficiale interna R_{si} del medesimo componente.



Intercapedine d'aria debolmente ventilata

Un **intercapedine** d'aria è **debolmente ventilata** quando vi è un passaggio d'aria limitato proveniente dall'ambiente esterno attraverso aperture aventi superficie A_V :
 $500 \text{ mm}^2 \leq A_V \leq 1500 \text{ mm}^2$ per ogni metro di lunghezza, per le intercapedini d'aria *verticali*;

$500 \text{ mm}^2 \leq A_V \leq 1500 \text{ mm}^2$ per ogni metro quadrato di superficie, per le intercapedini d'aria *orizzontali*.

La *resistenza termica totale* di un componente per edilizia contenente un'intercapedine d'aria debolmente ventilata si ottiene mediante la seguente relazione:

$$R = \frac{1500 - A_V}{1000} R_U + \frac{A_V - 500}{1000} R_V$$

R_U = resistenza termica totale del componente nel caso in cui l'intercapedine d'aria non sia ventilata

R_V = resistenza termica totale del componente nel caso in cui l'intercapedine d'aria sia ventilata

PROPRIETÀ TERMOFISICHE DEI MATERIALI

I valori delle proprietà termofisiche (in particolare la conducibilità termica λ) dei principali materiali utilizzati in edilizia possono essere ricavate, in assenza di dati specifici per il materiale considerato, dalla norma **UNI 10351:1994**.

Sono di seguito riportate a titolo di esempio le proprietà di alcuni materiali isolanti plastici.

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						
— cloruro di polivinile espanso rigido in lastre ⁵⁾	30	} 0,5 a 1	1 a 2	0,032	20	0,039
	40			0,035	20	0,041
— polietilene ⁵⁾						
— espanso estruso in continuo, non reticolato	30			0,042	20	0,050
	50			0,050	20	0,060
— espanso estruso in continuo, reticolato	33			0,040	20	0,048
	50			0,048	20	0,058
— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne ³⁾ da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno ⁴⁾ 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 ricalcolate 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			1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,036
— 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			0,040	10	0,044
	25	} 1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,039	10	0,042
	30			0,038	10	0,042

Per ciascun materiale vengono riportate le seguenti proprietà termofisiche.

- **Massa volumica** (densità) ρ [kg/m³] del *materiale secco*.
- **Permeabilità al vapore** in **campo asciutto** δ_a [kg/msPa] e in **campo umido** δ_u [kg/msPa].

La permeabilità al vapore di un materiale può essere misurata in condizioni isoterme seguendo la procedura riportata nella norma **UNI EN 12086:1999** "Isolanti termici per edilizia - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo".

In particolare la permeabilità in *campo asciutto* si riferisce all'intervallo di umidità relativa 0 ÷ 50%, mentre la permeabilità in *campo umido* all'intervallo di umidità relativa 50% ÷ 95%.

Nel caso di *materiali non omogenei* (ad es. laterizi) i valori indicati sono da intendersi come *permeabilità equivalenti*.

N.B.

Il fatto di avere a disposizione due valori di δ consente di poter fare riferimento a valori di permeabilità al vapore più realistici in relazione alle effettive condizioni di esercizio dei materiali.

Nella *verifica di Glaser* relativa alla condensazione interstiziale deve essere comunque utilizzata la *permeabilità in campo asciutto* δ_a .

- **Conducibilità termica indicativa di riferimento** λ_m [W/mK].

La conducibilità termica di un materiale può essere misurata seguendo la procedura riportata nelle norme **UNI 7745:1983** "Materiali isolanti. Determinazione della conduttività termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia" e **UNI 7891:1983** "Materiali isolanti. Determinazione della conduttività termica con il metodo dei termoflussimetri".

In particolare la *conducibilità termica indicativa di riferimento* è la conducibilità termica del materiale misurata in laboratorio in *condizioni standard*.

Nel caso di *materiali non omogenei* (ad es. laterizi) i valori indicati sono da intendersi come *conducibilità termiche equivalenti*.

- **Maggiorazione percentuale m.**

È la maggiorazione che bisogna applicare al valore di λ_m per tenere conto delle *condizioni medie di esercizio* del materiale (in particolare dell'umidità relativa).

- **Conducibilità termica utile di calcolo** λ [W/mK].

Si ricava applicando la maggiorazione m alla conducibilità termica indicativa di riferimento λ_m .

N.B.

Nel calcolo della *trasmissione termica* di una parete o nella *verifica di Glaser* relativa alla condensazione interstiziale si utilizza il valore della *conducibilità termica utile di calcolo* λ .

RESISTENZA TERMICA DI MURATURE E SOLAI

La norma **UNI 10355:1994** riporta i valori della resistenza termica **R** relativa alle tipologie di murature e solai maggiormente diffuse in Italia.

Le tipologie considerate sono così suddivise:

- strutture *verticali* realizzate con elementi in *laterizio*;
- strutture *verticali* realizzate con elementi in *calcestruzzo* alleggeriti con aggregati di argilla espansa;
- strutture *orizzontali* di laterocemento o con blocchi di calcestruzzo alleggerito.

Di seguito è riportato a titolo di esempio il prospetto relativo ad una struttura verticale in mattoni pieni.

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 %	
 Fig. 2 Mattoni pieni	 a)	1.1.02	-	120	CM GC	1800	216	0,15	6	

N.B. I valori della resistenza termica si riferiscono alla temperatura media di 20 °C e non tengono conto della presenza dell'intonaco e delle resistenze liminari.

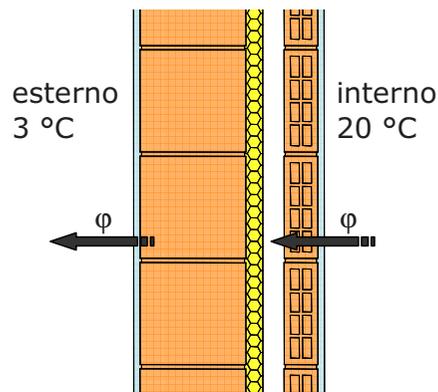
ESEMPI

Parete verticale

Si considera la parete verticale confinante con l'esterno riportata in figura.

Si vuole calcolare:

1. la trasmittanza termica della parete,
2. il flusso termico specifico scambiato tra l'interno e l'esterno rispettivamente a temperatura $T_i = 20\text{ °C}$ e $T_e = 3\text{ °C}$,
3. le temperature superficiali interna ed esterna,
4. le temperature alle interfacce tra gli strati.



La parete in oggetto è costituita da 6 strati in serie. In tabella sono riportati gli spessori e la *conducibilità termica* o la *resistenza* dei diversi materiali con la relativa fonte da cui sono ricavati i valori.

	Materiale	Spessore [cm]	Massa volumica [Kg/m ³]	Conducibilità termica [W/mK]	Resistenza termica [m ² K/W]	Fonte
1	Intonaco esterno (calce+cemento)	1.5	1800	0.9		UNI 10351:1994
2	Blocco alveolare tipo Poroton, Alveolater, Serie P700, foratura tra 40% e 50 %	25	800	0.23		catalogo POROTON®
3	Lana di roccia 40 kg/m ³	6	40	0.042		UNI 10351:1994
4	Intercapedine da 100 mm	10			0.18	UNI EN ISO 6946:2008
5	Forato 8x25x25 - 8 cm	8	1800		0.20	UNI 10355:1994
6	Intonaco interno (calce+gesso)	1.5	1400	0.7		UNI 10351:1994

Dalla UNI 10351:1994

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)			
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)	600 750 900 1 000 1 200	} $\cong 18$				0,29 0,35 0,41 0,47 0,58			
— intonaco di gesso puro	1 200					$\cong 18$			0,35
— intonaco di calce e gesso	1 400					$\cong 18$			0,70
— malta di calce o di calce e cemento	1 800					5 a 12			0,90
— malta di cemento	2 000					5 a 12			1,40

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)		
— fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche								
— feltri resinati	30 35	$\cong 150$	$\cong 150$	0,041 0,040	} 10	0,045 0,044		
— pannelli semirigidi	40	$\cong 150$	$\cong 150$	0,038		0,042		
— pannelli rigidi	55 80 100 125	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,036 0,035 0,034 0,034	} 10	0,040 0,039 0,038 0,038		
— pannelli in fibre orientate	100			$\cong 150$		$\cong 150$	0,044	0,048

(segue prospetto)

LA SERIE P 800



La serie POROTON® 800 è caratterizzata da:

- peso specifico apparente del blocco di circa 800 - 850 kg/m³;
- percentuale di foratura minore od uguale al 45%.

I blocchi della serie 800 vengono generalmente prodotti in due diverse tipologie: per muratura portante in zona sismica e non (secondo quanto indicato nei D.M. 20/11/1987, D.M. 16/1/1996, D.M. 14/1/2008) e per muratura armata.

PER QUALSIASI INFORMAZIONE SULLE MISURE DEI BLOCCHI E SULLE TIPOLOGIE DISPONIBILI CONTATTARE DIRETTAMENTE [LE AZIENDE PRODUTTRICI ASSOCIATE AL CONSORZIO](#).

Blocco POROTON® 800	Unità misura	Valore
● Tipologia di blocco (D.M. 20/11/87)	(tipo)	semipieno
● Percentuale foratura	(%)	≤ 45
● Peso specifico apparente del blocco	(kg/m ³)	~ 800 - 850
● Resistenza caratteristica a compressione in direzione dei carichi verticali (f _{vk})	(kg/cm ²)	≥ 80
● Resistenza caratteristica a compressione in direz. ortogonale ai fori (f _{bk})	(kg/cm ²)	≥ 15

Caratteristiche Tecniche Muratura POROTON® 800	Unità misura	Valore
● Resistenza caratteristica a compressione della muratura f _k (*)	(kg/cm ²)	~ 50
● Resistenza caratteristica a taglio della muratura f _{tk} (*)	(kg/cm ²)	~ 2
● Conduttività termica equivalente secondo UNI EN 1745	(W/mK)	0.16 - 0.23
● Calore specifico medio equivalente	(J/kgK)	1000
● Permeabilità alla diffusione vapore δ	(kg/msPa)	20x10 ⁻¹²
● Resistenza alla diffusione vapore μ	(adim.)	10
● Coefficiente dilataz. termica lineare α	(m/m°C)	~ 5x10 ⁻⁶
● Dilatazione per umidità	(μm/m)	250-350
● Indice di valutazione R _w a 500 Hz: - parete spessore 12 cm - parete spessore 30 cm	(dB)	42 54
● Resistenza al fuoco RET: - parete spessore 8 cm intonacata - parete spessore 12 cm intonacata	(min)	120 180
● Classe di reazione al fuoco	-	0 (zero)

(*) - In funzione del tipo di malta impiegato.

NOTA - I valori riportati sono da considerare come indicativi in quanto si riferiscono ad una media generale della produzione POROTON®. Dati più precisi (ed eventuali certificazioni) possono essere richiesti direttamente ai produttori associati al Consorzio. Le caratteristiche termiche si riferiscono, se non diversamente specificato, alla muratura in condizioni asciutte. Eventuali correzioni per umidità potranno essere apportate secondo i criteri previsti dalle norme vigenti. Nella sezione certificazioni è scaricabile la dichiarazione del Consorzio POROTON® Italia inerente tale aspetto.

Dalla UNI 10355:1994

Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento			Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura %	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 coesione %	
		1.1.19	63	O	80	CM	GC	1800	62	0,20	10

Fig. 19 Mattone forato

Dalla UNI EN ISO 6946:2008 per intercapedine d'aria non ventilata

Spessore intercapedine [mm]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.16	0.17	0.17
25	0.16	0.18	0.19
50	0.16	0.18	0.21
100	0.16	0.18	0.22
300	0.16	0.18	0.23

I valori delle resistenze termiche superficiali R_{si} e R_{se} vengono ricavati dalla seguente tabella, come previsto dalla norma **UNI EN ISO 6946:2008**.

Resistenza superficiale [m ² K/W]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

Nel caso di flusso termico orizzontale risulta:

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Si calcola la resistenza termica degli strati di cui è nota la conducibilità termica:

$$R_1 = \frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{0.015}{0.9} = 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{L_2}{\lambda_2} = \frac{0.25}{0.23} = 1.09 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{L_3}{\lambda_3} = \frac{0.06}{0.042} = 1.43 \text{ m}^2\text{K/W}$$

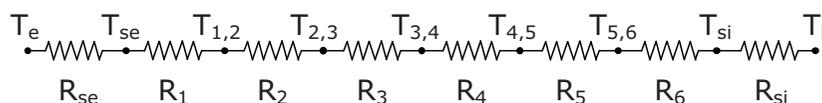
$$R_6 = \frac{L_6}{\lambda_6} = \frac{0.015}{0.7} = 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$$

	Materiale	Resistenza termica [m ² K/W]
	aria esterna	0.04
1	Intonaco esterno (calce+cemento, calce)	0.02
2	Blocco alveolare tipo Poroton, Alveolater, Serie P700, foratura tra 40% e 50 %	1.09
3	Lana di roccia 40 kg/m ³	1.43
4	Intercapedine da 100 mm	0.18
5	Forato 8x25x25 - 8 cm	0.20
6	Intonaco interno (calce+gesso)	0.02
	aria interna	0.13
	Totale	3.11

La resistenza termica della parete risulta:

$$R_{eq} = R_{se} + \sum_{j=1}^6 R_j + R_{si} =$$

$$= 0.04 + 0.02 + 1.09 + 1.43 + 0.18 + 0.20 + 0.02 + 0.13 = 3.11 \text{ m}^2\text{K/W}$$



1. Trasmittanza termica della parete

$$U = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3.11} = 0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2. Flusso termico specifico scambiato attraverso la parete

$$\phi' = \frac{\phi}{A} = U(T_i - T_e) = 0.32(20 - 3) = 5.44 \text{ W/m}^2$$

3. Temperature di parete

$$\phi' = \frac{T_i - T_{si}}{R_{si}} \quad T_{si} = T_i - R_{si} \phi' = 20 - 0.13 \cdot 5.44 = 19.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{se} - T_e}{R_{se}} \quad T_{se} = T_e + R_{se} \phi' = 3 + 0.04 \cdot 5.44 = 3.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Temperature alle interfacce tra gli strati (a partire dall'esterno)

$$\varphi' = \frac{T_{1,2} - T_e}{R_{se} + R_1}$$

$$T_{1,2} = T_e + (R_{se} + R_1) \varphi' = 3 + (0.04 + 0.02) 5.44 = 3.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{2,3} - T_e}{R_{se} + R_1 + R_2}$$

$$T_{2,3} = T_e + (R_{se} + R_1 + R_2) \varphi' = 3 + (0.04 + 0.02 + 1.09) 5.44 = 9.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{3,4} - T_e}{R_{se} + R_1 + R_2 + R_3}$$

$$T_{3,4} = T_e + (R_{se} + R_1 + R_2 + R_3) \varphi' = 3 + (0.04 + 0.02 + 1.09 + 1.43) 5.44 = 17.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{4,5} - T_e}{R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$T_{4,5} = T_e + (R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \varphi' = 3 + (0.04 + 0.02 + 1.09 + 1.43 + 0.18) 5.44 = 18.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{5,6} - T_e}{R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

$$T_{5,6} = T_e + (R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \varphi' = 3 + (0.04 + 0.02 + 1.09 + 1.43 + 0.18 + 0.20) 5.44 = 19.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

oppure

$$\varphi' = \frac{T_{1,2} - T_{se}}{R_1}$$

$$T_{1,2} = T_{se} + R_1 \varphi' = 3.2 + 0.02 \cdot 5.44 = 3.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{2,3} - T_{1,2}}{R_2}$$

$$T_{2,3} = T_{1,2} + R_2 \varphi' = 3.3 + 1.09 \cdot 5.44 = 9.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{3,4} - T_{2,3}}{R_3}$$

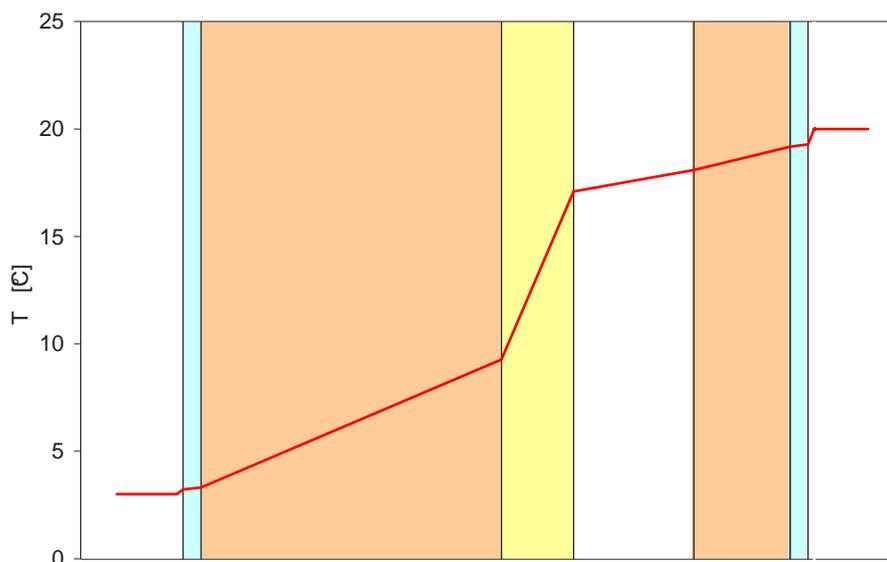
$$T_{3,4} = T_{2,3} + R_3 \varphi' = 9.2 + 1.43 \cdot 5.44 = 17.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{4,5} - T_{3,4}}{R_4}$$

$$T_{4,5} = T_{3,4} + R_4 \varphi' = 17.0 + 0.18 \cdot 5.44 = 18.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi' = \frac{T_{5,6} - T_{4,5}}{R_5}$$

$$T_{5,6} = T_{4,5} + R_5 \varphi' = 18.0 + 0.20 \cdot 5.44 = 19.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Osservazione

La parete risulta entro i limiti previsti per il 2010 dal **Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192**, così come modificato dal **Decreto Legislativo 29 dicembre 2006 n. 311**, per qualunque zona climatica.

TABELLA 2.1 Strutture opache verticali (U limite in W/m ² K)			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006	Dal 1 gennaio 2008	Dal 1 gennaio 2010
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

I medesimi valori limite sono assunti anche da **Regione Liguria** nel **Regolamento Regionale N. 1-2009** "Regolamento di attuazione della Legge Regionale N. 22 2007".

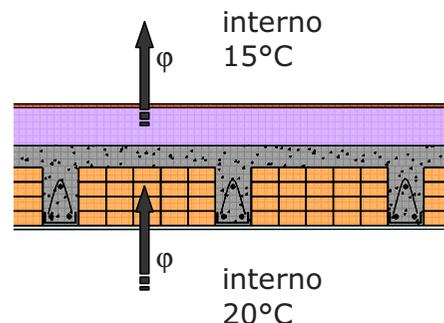
Regione Piemonte, nell'ambito della **Deliberazione della Giunta Regionale N. 46-11968 del 4 agosto 2009** "Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a), b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)" prevede una *trasmissione termica massima delle strutture verticali opache* pari a **0.33 W/m²K**, indipendente dalla zona climatica.

Solaio

Si considerano due ambienti a diversa temperatura separati dal solaio riportato in figura.

Si vuole calcolare:

1. la trasmittanza termica del solaio,
2. il flusso termico specifico scambiato tra i due ambienti, quello sottostante a temperatura $T_{iA} = 20\text{ °C}$ e quello soprastante a temperatura $T_{iB} = 15\text{ °C}$,
3. le temperature superficiali,
4. le temperature alle interfacce tra gli strati.



Il solaio in oggetto è costituito da 4 strati in serie. In tabella sono riportati gli spessori e la *conducibilità termica* o *la resistenza* dei diversi materiali con la relativa la fonte da cui sono ricavati i valori.

	Materiale	Spessore [cm]	Massa volumica [Kg/m ³]	Conduttività termica [W/mK]	Resistenza termica [m ² K/W]	Fonte
1	Piastrelle	1	2300	1.0		UNI 10351:1994
2	Sottofondo in calcestruzzo	10	1000	0.38		UNI 10351:1994
3	Struttura in laterocemento con blocchi in laterizio da 16 cm	22	1800		0.33	UNI 10355:1994
4	Intonaco interno (calce+gesso)	1.5	1400	0.7		UNI 10351:1994

Dalla UNI 10351:1994

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)
Porcellana (piastrelle)	2 300					1,0

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)
— calcestruzzo di perlite e di vermiculite (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dall'8 al 10%; per pareti esterne con umidità dal 10 al 12% assumere $m = 55\%$; per pareti di scantinati con umidità dal 12 al 14% assumere $m = 65\%$) ³⁾	250			0,9	40	0,13
	400			0,11		0,15
— calcestruzzo in genere, in mancanza di ulteriori informazioni (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette; per pareti di scantinati utilizzare le maggiorazioni relative al tipo di calcestruzzo che si ritiene più simile al prodotto considerato) ³⁾	400					0,19
	500					0,22
	600					0,24
	700					0,27
	800					0,30
	900					0,34
	1 000					0,38
	1 100					0,42
	1 200					0,47
	1 300					0,52
	1 400					0,58
1 500					0,65	
1 600					0,73	
1 700					0,83	
1 800					0,93	
1 900					1,06	

Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Codice elemento	Caratteristiche elemento			Caratteristiche struttura			
			Tipo di blocco	Foratura %	Foratura tipo	Massa volumica ** kg/m³	Spessore in mm	Massa superficiale kg/m²	Resistenza termica m²K/W
		2.1.03i	P _i	72	O	1800	180	171	0,30
			A _i	72	O	1800	220	267	0,33

I valori delle resistenze termiche superficiali R_{si} e R_{se} vengono ricavati dalla seguente tabella, come previsto dalla norma **UNI EN ISO 6946:2008**.

Resistenza superficiale [m²K/W]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

Nel caso di flusso termico ascendente risulta $R_{si} = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$. Tale valore si applica su entrambi i lati come previsto dalla norma, trattandosi di un componente interno.

Si calcola la resistenza termica degli strati di cui è nota la conducibilità termica:

$$R_1 = \frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{0.01}{1.0} = 0.01 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{L_2}{\lambda_2} = \frac{0.1}{0.38} = 0.26 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_4 = \frac{L_4}{\lambda_4} = \frac{0.015}{0.7} = 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$$

	Materiale	Resistenza termica [m²K/W]
	aria interna	0.10
1	Piastrelle	0.01
2	Sottofondo in calcestruzzo	0.26
3	Struttura in laterocemento con blocchi in laterizio da 16 cm	0.33
4	Intonaco interno (calce+gesso)	0.02
	aria interna	0.10
	Totale	0.82

La resistenza termica del solaio risulta:

$$R_{eq} = R_{si} + \sum_{j=1}^4 R_j + R_{si} = 0.1 + 0.01 + 0.26 + 0.33 + 0.02 + 0.1 = 0.82 \text{ m}^2\text{K/W}$$

1. Trasmittanza termica del solaio

$$U = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{0.82} = 1.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

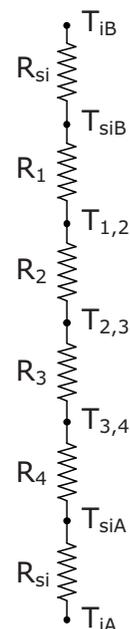
2. Flusso termico specifico scambiato attraverso il solaio

$$\phi' = \frac{\phi}{A} = U(T_{iA} - T_{iB}) = 1.22(20 - 15) = 6.10 \text{ W/m}^2$$

3. Temperature di parete

$$\phi' = \frac{T_{iA} - T_{siA}}{R_{si}} \quad T_{siA} = T_{iA} - R_{si} \phi' = 20 - 0.1 \cdot 6.10 = 19.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{siB} - T_{iB}}{R_{si}} \quad T_{siB} = T_{iB} + R_{si} \phi' = 15 + 0.1 \cdot 6.10 = 15.6 \text{ }^\circ\text{C}$$



4. Temperature alle interfacce tra gli strati (a partire dall'ambiente B soprastante)

$$\phi' = \frac{T_{1,2} - T_{iB}}{R_{si} + R_1}$$

$$T_{1,2} = T_{iB} + (R_{si} + R_1) \phi' = 15 + (0.1 + 0.01) 6.10 = 15.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{2,3} - T_{iB}}{R_{si} + R_1 + R_2}$$

$$T_{2,3} = T_{iB} + (R_{si} + R_1 + R_2) \phi' = 15 + (0.1 + 0.01 + 0.26) 6.10 = 17.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{3,4} - T_{iB}}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_3}$$

$$T_{3,4} = T_{iB} + (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3) \phi' = 15 + (0.1 + 0.01 + 0.26 + 0.33) 6.10 = 19.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

oppure

$$\phi' = \frac{T_{1,2} - T_{siB}}{R_1}$$

$$T_{1,2} = T_{siB} + R_1 \phi' = 15.6 + 0.01 \cdot 6.10 = 15.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{2,3} - T_{1,2}}{R_2}$$

$$T_{2,3} = T_{1,2} + R_2 \phi' = 15.7 + 0.26 \cdot 6.10 = 17.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi' = \frac{T_{3,4} - T_{2,3}}{R_3}$$

$$T_{3,4} = T_{2,3} + R_3 \phi' = 17.3 + 0.33 \cdot 6.10 = 19.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Osservazione

La trasmittanza del solaio **non** risulta entro i limiti previsti per il 2010 dal **Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192**, così come modificato dal **Decreto Legislativo 29 dicembre 2006 n. 311**, per qualunque zona climatica.

TABELLA 3.1 Coperture (U limite in W/m ² K)			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006	Dal 1 gennaio 2008	Dal 1 gennaio 2010
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

I medesimi valori limite sono assunti anche da **Regione Liguria** nel **Regolamento Regionale N. 1-2009** "Regolamento di attuazione della Legge Regionale N. 22 2007".

Regione Piemonte, nell'ambito della **Deliberazione della Giunta Regionale N. 46-11968 del 4 agosto 2009** "Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a), b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)" prevede una *trasmittanza termica massima delle strutture opache orizzontali o inclinate* pari a **0.3 W/m²K**, indipendente dalla zona climatica.

Il solaio non risulta adeguato neanche nel caso costituisca *elemento di separazione tra due unità immobiliari confinanti*.

Il **Decreto del Presidente della Repubblica N. 59 del 2 aprile 2009**, "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a e b, del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia" prevede che in tal caso la trasmittanza sia minore o uguale di 0.8 W/m²K.

Tale valore limite è previsto anche nella legislazione della **Regione Liguria** e della **Regione Piemonte**.

Si determina lo **spessore minimo di isolante** L_{is} (poliuretano espanso in situ) da porre sul solaio per rispettare il valore limite di trasmittanza $U^* = 0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Dalla **UNI 10351:1994**

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)
— poliuretani espansi in situ	37	1,8 a 6		0,023	50	0,035
— resine fenoliche in lastre ⁵⁾	35	}	3,6 a 6	0,034	} 20	0,041
	60			0,037		0,044
	80			0,038		0,046

(segue prospetto)

La resistenza equivalente del solaio isolato risulta:

$$R_{eq}^* = R_{eq} + \frac{L_{is}}{\lambda_{is}}$$

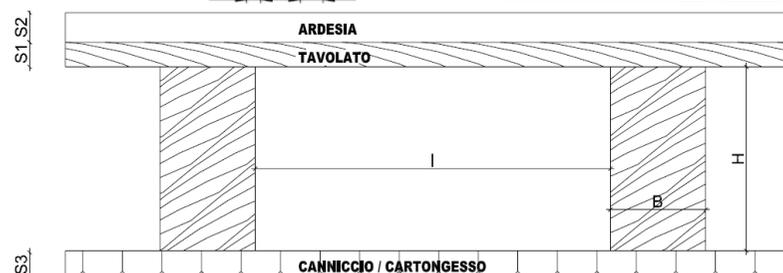
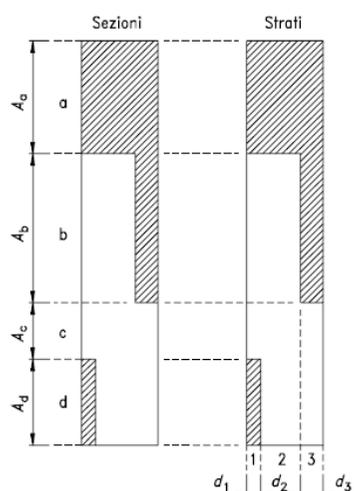
Ne segue:

$$\frac{1}{U^*} = \frac{1}{U} + \frac{L_{is}}{\lambda_{is}}$$

$$L_{is} = \lambda_{is} \left(\frac{1}{U^*} - \frac{1}{U} \right) = 0.035 \left(\frac{1}{0.29} - \frac{1}{1.22} \right) = 0.092 \text{ m} = 9.2 \text{ cm}$$

TRASMITTANZA DI STRUTTURE ETEROGENEE

Per il calcolo della trasmittanza delle strutture eterogenee si fa riferimento alla norma **UNI EN ISO 6946:2008**.



Resistenze termiche superficiali (in m²K/W)
Struttura non ventilata

Spessore intercapedine d'aria [mm]	Senso del flusso termico	
	ascendente	discendente
0	0.00	0.00
5	0.11	0.11
7	0.13	0.13
10	0.15	0.15
15	0.16	0.17
25	0.16	0.18
50	0.16	0.21
100	0.16	0.22
300	0.16	0.23

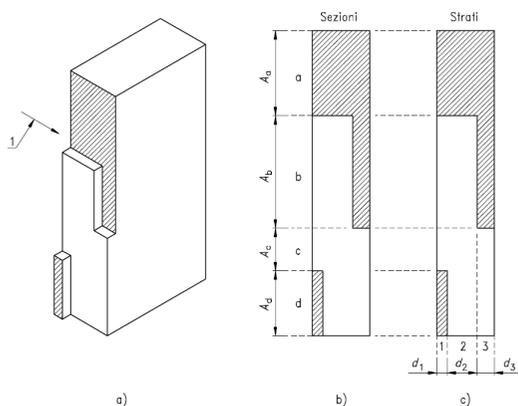
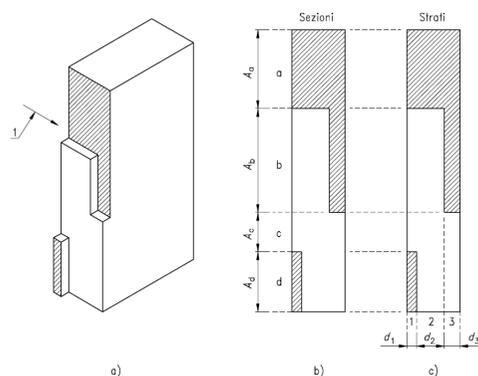
I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

per i componenti aventi uno o più strati termicamente non omogenei, la resistenza termica totale è determinata con il punto 6.2 della norma ISO 6946

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

R_T' è il limite superiore della resistenza termica totale,

R_T'' è il limite inferiore della resistenza termica totale,



Il componente [figura a)] è considerato sezionato [figura b)] e scomposto in strati [figura c)].

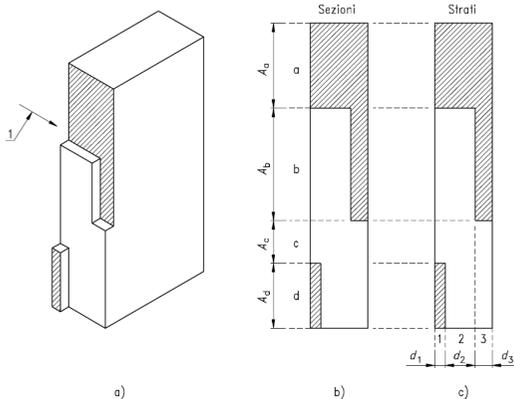
La sezione m ($m = a, b, c, \dots, q$) perpendicolare alle facce del componente, ha un'area relativa f_m . Lo strato j ($j = 1, 2, \dots, n$) parallelo alle superfici, ha uno spessore d_j . La parte mj ha una conduttività termica k_j , uno spessore d_j , un'area relativa f_m ed una resistenza termica R_{mj} .

L'area relativa di una sezione è il suo rapporto con l'area totale. Perciò $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$.

Limite superiore della resistenza termica totale (superfici lateralmente adiabatiche, nella direzione perpendicolare ad ogni sezione).

Il limite superiore della resistenza termica totale è determinato supponendo il flusso termico **unidirezionale e perpendicolare** alle superfici (resistenze termiche in parallelo rispetto alla direzione media del flusso termico). Esso è dato da:

$$\frac{1}{R_T'} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}}$$



Limite inferiore della resistenza termica totale (superfici isoterme sulla faccia della sezione)

Il limite inferiore è determinato supponendo che tutti i piani paralleli alle superfici del componente (cioè ogni piano ortogonale alla direzione prevalente del flusso termico) siano piani isotermi, non omogenei, di resistenza equivalente R_j

Calcolare una resistenza termica equivalente R_j per ogni strato termicamente eterogeneo,

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}}$$

Il limite inferiore è allora determinato

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Stima dell'errore

Si può dimostrare (con metodi numerici) che il valore della resistenza reale è compreso tra i due valori limite, per cui lo scostamento massimo ("errore") relativo è, in per cento, uguale a:

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2R_T} \times 100$$

L'errore è in genere accettabile se inferiore al 15%

I valori dei coefficienti liminari sono:

Resistenza termica superficiale

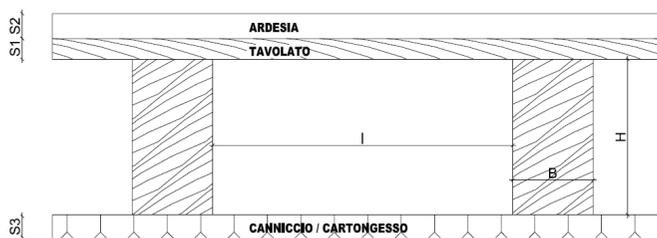
Utilizzare i valori riportati nel prospetto 1 per superfici piane in assenza di specifiche informazioni sulle condizioni limite. I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale. Per superfici che non sono piane o per casi particolari, utilizzare i procedimenti dell'appendice A.

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}$$

Resistenze termiche superficiali (in $m^2 \cdot K/W$)

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

I valori del prospetto 1 sono valori di calcolo. Per la dichiarazione della trasmittanza termica di componenti e negli altri casi in cui sono richiesti valori indipendenti dal senso del flusso termico, si raccomanda di scegliere valori corrispondenti al flusso orizzontale.



Strati	Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati della parete										LIM INF. ISOT Rj	Resistenza termica strato
	Area Aa			Area Ab			R strato	R strato	R strato	R strato		
	Tipo materiale	Conduttività termica λ	Spessore s	Tipo materiale	Conduttività termica λ	Spessore s	Aa	Ab	Ac	Ad		
Interno	[Descrizione]	[W/(m²K)]	[cm]	[Descrizione]	[W/(m²K)]	[cm]	limite sup	limite sup	limite sup	limite sup		
d1	Canniccio	0,210	1,25	Canniccio	0,210	1,25	0,06	0,06	-	-	-	0,06
d2	aria	0,500	9,50	travetto	0,120	9,50	0,19	0,79	-	-	-	0,21
d3	tavolato	0,120	2,00	tavolato	0,120	2,00	0,17	0,17	-	-	-	0,17
d4	ardesia	2,000	1,00	ardesia	2,000	1,00	0,01	0,01	-	-	-	0,01
d5			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d6			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d7			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d8			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d9			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d10			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
Esterno	SOMMA			SOMMA			1,53	0,12	-	-	-	
							LIMITE SUPERIORE ADIABATICHE					
Aree	Aa	0,450	mq	Ab	0,075	mq						0,525
	fa	0,857		fb	0,143							
UNI EN ISO 6946	Resistenza termica superficiale	[(m²·K)/W]			0,10		10					
	Resistenza termica superficiale	[(m²·K)/W]			0,04		25					
												LIMITE INFERIORE
												SUP ISOTERME
												0,58
												Resistenza termica strato
												LIMITE SUPERIORE
												SUP. ADIABATICHE
												0,61
												TRASMITTANZA
												1,68
												ERRORE %
												1,8%

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA TERMICA ISOLAMENTO CON STIFTERITE

Strati	Caratteristiche termofisiche e geometriche dei singoli strati della parete										LIM INF. ISOT Rj	Resistenza termica strato
	Area Aa			Area Ab			R strato	R strato	R strato	R strato		
	Tipo materiale	Conduttività termica λ	Spessore s	Tipo materiale	Conduttività termica λ	Spessore s	Aa	Ab	Ac	Ad		
Interno	[Descrizione]	[W/(m²K)]	[cm]	[Descrizione]	[W/(m²K)]	[cm]	limite sup	limite sup	limite sup	limite sup		
d1	Cartongesso	0,210	1,25	Cartongesso	0,210	1,25	0,06	0,06	-	-	-	0,06
d2	Aria ferma	0,500	1,00	dogia schiumata	0,030	1,00	0,02	0,33	-	-	-	0,02
d3	STIFTERITE GT	0,024	10,00	travetto	0,120	10,00	4,17	0,83	-	-	-	2,65
d4	tavolato	0,120	2,00	tavolato	0,120	2,00	0,17	0,17	-	-	-	0,17
d5	ardesia	2,000	1,00	ardesia	2,000	1,00	0,01	0,01	-	-	-	0,01
d6			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d7			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d8			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d9			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
d10			1,00			1,00	-	-	-	-	-	-
Esterno	SOMMA			SOMMA			0,19	0,09	-	-	-	
							LIMITE SUPERIORE ADIABATICHE					
Aree	Aa	0,450	mq	Ab	0,075	mq						0,525
	fa	0,857		fb	0,143							
UNI EN ISO 6946	Resistenza termica superficiale	[(m²·K)/W]			0,10		10					
	Resistenza termica superficiale	[(m²·K)/W]			0,04		25					
												LIMITE INFERIORE
												SUP ISOTERME
												3,05
												Resistenza termica strato
												LIMITE SUPERIORE
												SUP. ADIABATICHE
												3,66
												TRASMITTANZA
												0,30
												ERRORE %
												7,8%



SCAMBIO TERMICO ATTRAVERSO PORTE E FINESTRE

La specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008** afferma quanto segue riguardo al calcolo dello scambio termico attraverso i *componenti trasparenti*.

La trasmittanza termica delle finestre si calcola secondo la norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** "Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica – Parte 1: Generalità".

In data 2 marzo 2010 è stato pubblicato l'**ERRATA CORRIGE N° 1** della norma. In alternativa si assume il valore dichiarato dal **fabbricante**.

La trasmittanza termica delle facciate continue trasparenti si calcola secondo la norma **UNI EN 13947:2007** "Prestazione termica delle facciate continue - Calcolo della trasmittanza termica".

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, possono essere utilizzati i dati riportati nell'**Appendice C** della **UNI/TS 11300-1:2008**.



La norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** specifica i metodi di calcolo della **trasmittanza termica di finestre e porte pedonali** costituite da *vetrate* o *pannelli opachi* inseriti in *telai* con o senza *chiusure oscuranti*.

Essa si applica a:

- diversi tipi di vetrate (vetri o plastica, vetrate singole o multiple, con o senza rivestimenti a bassa emissività, con intercapedini riempite di aria o altri gas);
- pannelli opachi all'interno della finestra o della porta;
- diversi tipi di telai (di legno, di plastica, di metallo con o senza taglio termico, di metallo con connessioni puntiformi o qualsiasi altra combinazione di materiale);
- dove appropriato, la resistenza termica aggiuntiva dovuta a chiusure oscuranti di diverso tipo in funzione della loro permeabilità all'aria.

La norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** non tiene in considerazione:

- gli effetti dei ponti termici tra il telaio e il resto dell'involucro edilizio, in corrispondenza del fermavetro o in corrispondenza dell'interfaccia;
- gli effetti della radiazione solare;
- il passaggio di calore causato dalle infiltrazioni d'aria;
- il calcolo della condensazione superficiale;
- la ventilazione nelle intercapedini d'aria delle finestre doppie e accoppiate.

La norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** non si applica:

- alle facciate continue e alle altre strutture di vetro che non siano inserite in un telaio;
- alle porte d'accesso di edifici a destinazione industriale o commerciale e di garages.

Un'alternativa al metodo di calcolo riportato dalla norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** è rappresentata dalla *prova di laboratorio* eseguita in conformità alle seguenti norme:

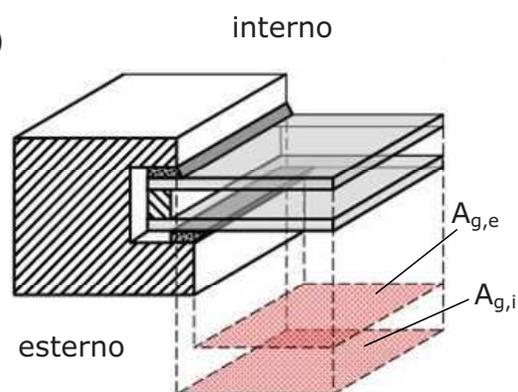
- **UNI EN ISO 12567-1:2002** "Isolamento termico di finestre e porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Finestre e porte complete"
- **UNI EN ISO 12567-2:2006** "Isolamento termico di finestre e di porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Parte 2: Finestre da tetto e altre finestre sporgenti"

Caratteristiche geometriche

Area della vetrata A_g (o del pannello opaco A_p)

di una finestra o porta:
è la *più piccola* delle aree visibili viste da entrambi i lati.

La presenza di guarnizioni è trascurata.

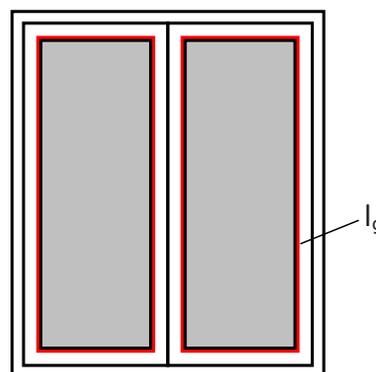


$$A_g = \min(A_{g,i}, A_{g,e})$$

Perimetro totale visibile della vetrata l_g (o del pannello opaco l_p) di una finestra o porta:

è la somma del perimetro visibile delle lastre di vetro (o dei pannelli opachi).

Se i perimetri su entrambi i lati della lastra o del pannello sono diversi, allora deve essere utilizzato *il maggiore* dei due.



Area interna proiettata del telaio $A_{f,i}$:

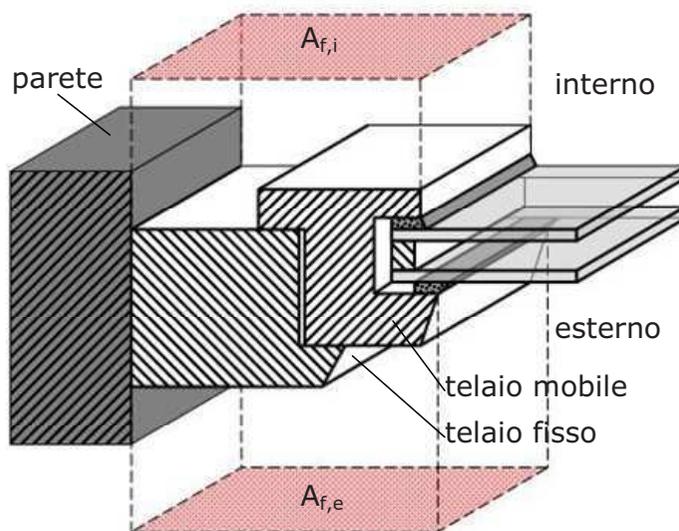
è l'area della proiezione del telaio interno su un piano parallelo alla vetrata.

Area esterna proiettata del telaio $A_{f,e}$:

è l'area della proiezione del telaio esterno su un piano parallelo alla vetrata.

Area del telaio A_f :

è la maggiore tra le due aree proiettate viste da entrambi i lati.



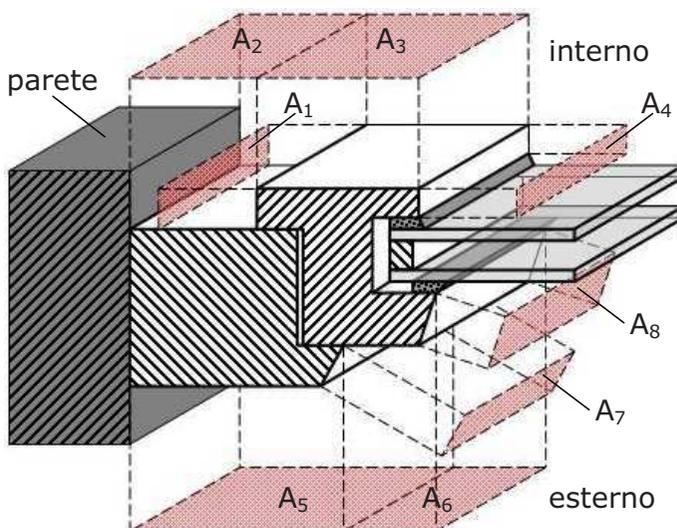
$$A_f = \max(A_{f,i}, A_{f,e})$$

Area interna sviluppata del telaio $A_{d,i}$:

è l'area del telaio a contatto con l'aria interna.

Area esterna sviluppata del telaio $A_{d,e}$:

è l'area del telaio a contatto con l'aria esterna.

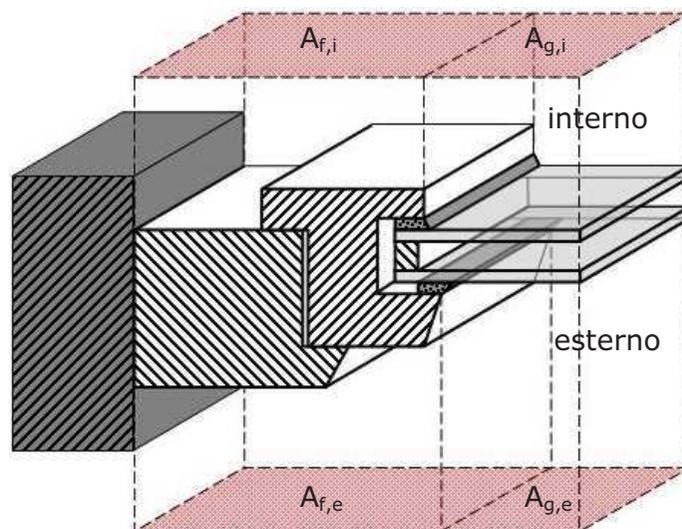


$$A_{d,i} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_{d,e} = A_5 + A_6 + A_7 + A_8$$

Area della finestra A_w :

è la somma dell'area del telaio A_f e dell'area della vetrata A_g (o del pannello A_p).



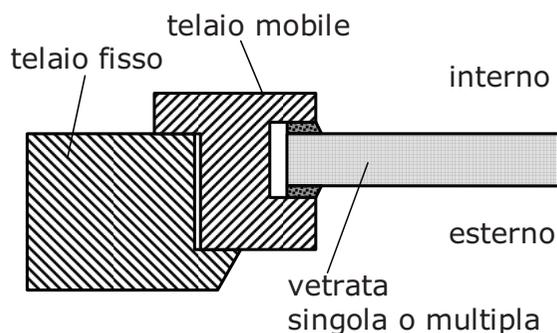
$$A_w = A_f + A_g$$

N.B.

Nel calcolo delle aree e del perimetro le dimensioni caratteristiche della finestra devono essere approssimate al *millimetro*.

Trasmittanza termica di finestre

Finestre singole



La trasmittanza termica di una finestra singola risulta:

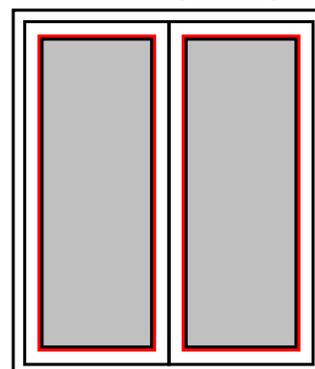
$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

U_g = trasmittanza termica della vetrata [W/m^2K]

U_f = trasmittanza termica del telaio [W/m^2K]

Ψ_g = trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio [W/mK]

□ A_f ■ A_g — l_g

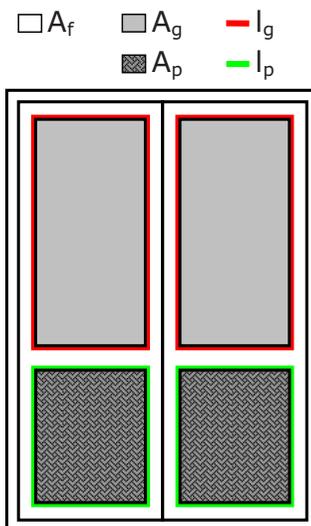


Se sono presenti anche *pannelli opachi*:

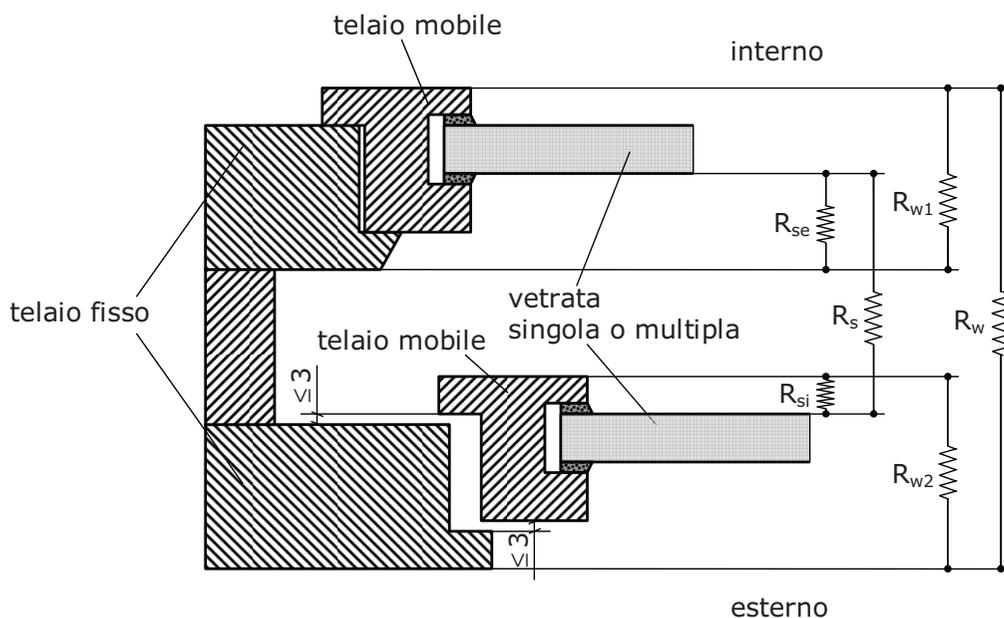
$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g + \sum l_p \Psi_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_f}$$

U_p = trasmittanza termica del pannello opaco [W/m²K]

Ψ_p = trasmittanza termica lineare del pannello opaco [W/mK]



Doppie finestre



La trasmittanza termica di un sistema composto da due distinte finestre risulta:

$$U_w = \frac{1}{R_{w1} - R_{se} + R_s - R_{si} + R_{w2}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{se} + R_s - R_{si} + \frac{1}{U_{w2}}}$$

$R_{w1} = 1/U_{w1}$ resistenza termica della finestra interna

$R_{w2} = 1/U_{w2}$ resistenza termica della finestra esterna

R_{si} = resistenza termica superficiale interna della finestra esterna quando applicata da sola

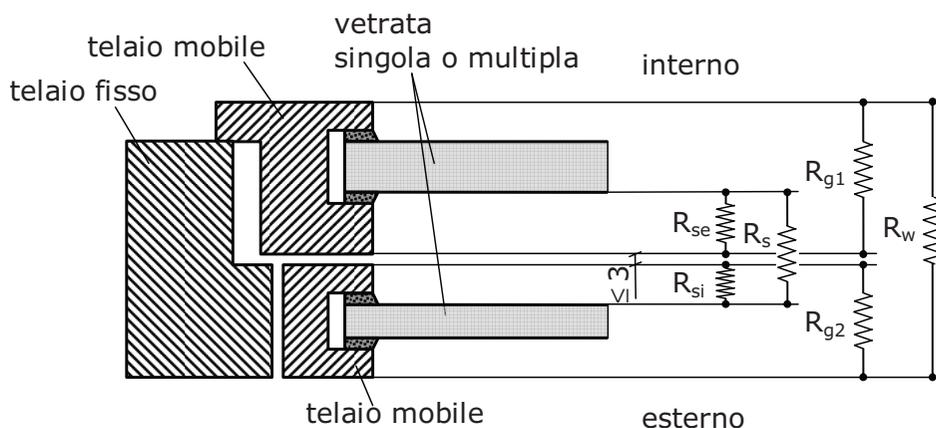
R_{se} = resistenza termica superficiale esterna della finestra interna quando applicata da sola

R_s = resistenza termica dell'intercapedine racchiusa tra le vetrate delle due finestre

N.B.

Se lo spazio tra i telai fisso e mobile della finestra esterna è maggiore di 3 mm e non sono state prese opportune misure per prevenire l'eccessivo ricambio d'aria con l'esterno, la precedente relazione non è applicabile.

Finestre accoppiate



La trasmittanza termica di un sistema composto da un telaio fisso e due distinti telai mobili si determina mediante la relazione già utilizzata nel caso di finestre semplici:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum I_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

La trasmittanza termica della vetrata risulta:

$$U_g = \frac{1}{R_{g1} - R_{se} + R_s - R_{si} + R_{g2}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{se} + R_s - R_{si} + \frac{1}{U_{g2}}}$$

$R_{g1} = 1/U_{g1}$ resistenza termica della vetrata interna

$R_{g2} = 1/U_{g2}$ resistenza termica della vetrata esterna

R_{si} = resistenza termica superficiale interna della finestra esterna quando applicata da sola

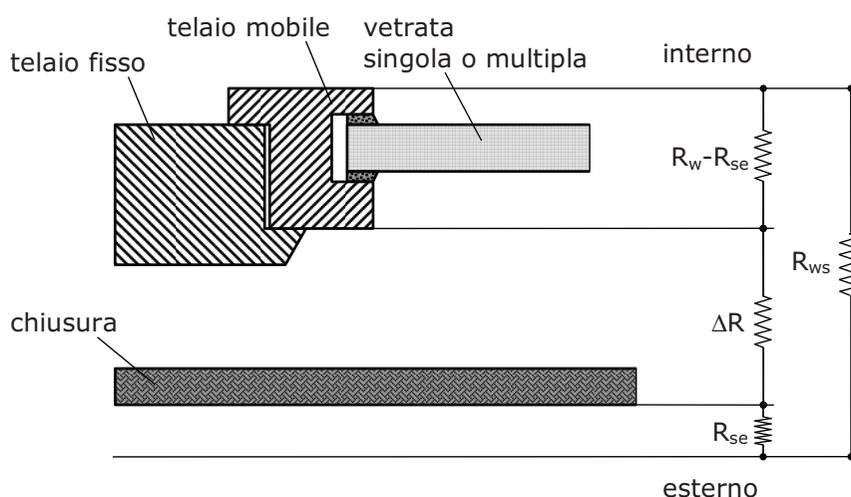
R_{se} = resistenza termica superficiale esterna della finestra interna quando applicata da sola

R_s = resistenza termica dell'intercapedine tra la vetrata interna e la vetrata esterna

N.B.

Se lo spazio tra i telai mobili è maggiore di 3 mm e non sono state prese opportune misure per prevenire l'eccessivo ricambio d'aria con l'esterno, la precedente relazione non è applicabile.

Finestre con chiusure chiuse



Una chiusura sulla parte esterna della finestra introduce una *resistenza termica addizionale*, dovuta sia allo strato d'aria racchiusa tra la chiusura e la finestra sia alla chiusura stessa.

La trasmittanza termica di una finestra con chiusura chiusa risulta:

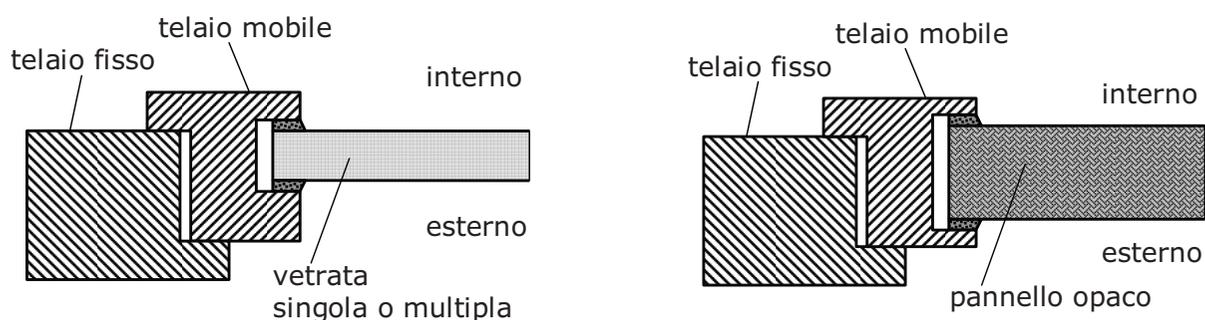
$$U_{ws} = \frac{1}{R_w + \Delta R} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

U_w = trasmittanza termica della finestra

ΔR = resistenza termica addizionale dovuta sia all'intercapedine d'aria tra la chiusura e la finestra sia alla chiusura chiusa stessa

Trasmittanza termica di porte

La trasmittanza termica delle porte si calcola in modo analogo a quella delle finestre. Nelle porte possono essere presenti sia vetrate che pannelli opachi.



In generale risulta:

$$U_d = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g + \sum l_p \Psi_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_f}$$

U_g = trasmittanza termica della vetrata [W/m^2K]

U_p = trasmittanza termica del pannello opaco [W/m^2K]

U_f = trasmittanza termica del telaio [W/m^2K]

Ψ_g = trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziatore e del telaio [W/mK]

Ψ_p = trasmittanza termica lineare del pannello opaco [W/mK]

Trasmittanza termica di vetrate

La trasmittanza termica di una vetrata singola a più strati può essere così calcolata:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si}}$$

R_{se} = resistenza termica superficiale esterna

λ_j = conducibilità termica del vetro o del materiale j-esimo

d_j = spessore della lastra di vetro o del materiale dello strato j-esimo

R_{si} = resistenza termica superficiale interna

La trasmittanza termica di una vetrata multipla (*vetri camera*), consistente in due o tre lastre di vetro sigillate lungo i bordi e separate da intercapedini contenenti un gas quale aria, argon, krypton,..., può essere così calcolata:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_k R_{s,k} + R_{si}}$$

$R_{s,k}$ = resistenza termica dell'intercapedine k-esima

Per la valutazione delle resistenze superficiali, della conducibilità termica del vetro e delle resistenze delle intercapedini si fa riferimento rispettivamente alle **Appendici A, B e C** della norma **UNI EN ISO 10077-1:2007**, dove a sua volta si rimanda alla norma **UNI EN 673:2005** "Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica - Metodo di calcolo".

In mancanza di informazioni specifiche la conducibilità termica del vetro può essere assunta pari a 1.0 W/mK.

Per la valutazione delle resistenze termiche superficiali R_{si} e R_{se} in corrispondenza di vetrate si adottano i seguenti criteri.

Per le *vetrate comuni*, ovvero vetrate con emissività $\epsilon \geq 0.8$, sono validi i valori riportati in tabella in funzione dell'angolo di inclinazione α della vetrata rispetto all'orizzontale.

α	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]
$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	0.13	0.04
$0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$	0.10	0.04

Per le *vetrate speciali*, ad esempio vetrate multiple con *rivestimenti a bassa emissività*, si fa riferimento direttamente alla norma **UNI EN 673:2005**.

Per la valutazione della resistenza termica di intercapedini d'aria R_s di vetrate multiple si adottano i seguenti criteri.

Per *vetrate doppie* si utilizzano i valori riportati nella seguente tabella.

Spessore intercapedine [mm]	Resistenza termica R_s [m ² K/W]				
	rivestimento bassoemissivo su un solo lato <i>emissività normale del rivestimento</i>				nessun rivestimento
	0.1	0.2	0.4	0.8	
6	0.211	0.191	0.163	0.132	0.127
9	0.299	0.259	0.211	0.162	0.154
12	0.377	0.316	0.247	0.182	0.173
15	0.447	0.364	0.276	0.197	0.186
50	0.406	0.336	0.260	0.189	0.179

Tali dati si applicano a:

- finestre verticali o con angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$;
- intercapedini riempite con aria, aventi entrambe le facce senza trattamenti superficiali o solo una faccia rivestita da uno strato a bassa emissività;
- temperatura media della vetrata di 283 K e differenza di temperatura di 15 K tra le due superfici più esterne della vetrata.

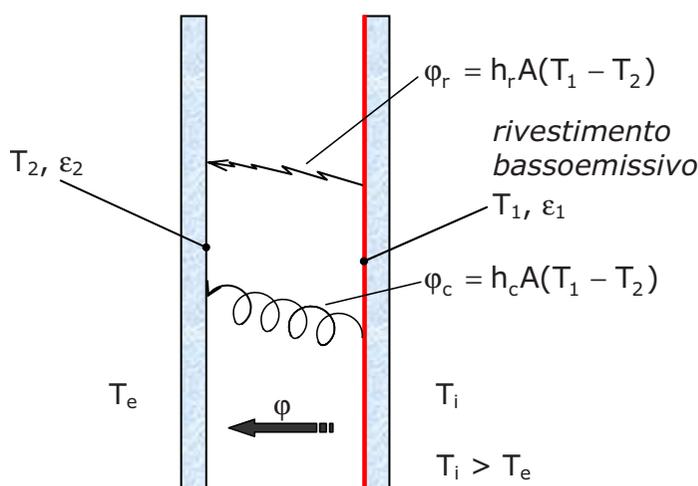
Per *vetrate triple* si deve fare riferimento direttamente alla norma **UNI EN 673:2005**.

Nel caso di *intercapedini d'aria più ampie*, come quelle presenti nelle *doppie finestre* o nelle *doppie porte*, il calcolo della resistenza in conformità con la **UNI EN 673:2005** non porta a risultati corretti. In questi casi dovrebbero essere utilizzati metodi di calcolo più dettagliati (ad esempio tecniche di calcolo numerico) o misure sperimentali.

Osservazioni

- Dall'esame della tabella si osserva il medesimo effetto già osservato per le intercapedini delle pareti opache: *oltre un certo spessore all'interno dell'intercapedine prevale l'effetto convettivo su quello conduttivo*, anche a causa l'elevata differenza di temperatura a cui è sottoposta l'intercapedine. In tutti i casi per l'intercapedine da 50 mm risulta infatti dalla tabella una diminuzione della resistenza termica.
- Si osserva inoltre che *la resistenza dell'intercapedine aumenta al diminuire dell'emissività del rivestimento basso emissivo*, con conseguente diminuzione della trasmittanza della vetrata.

Un vetro sottoposto a trattamenti superficiali, in genere trattamenti chimici, che depositano uno strato di *ossido metallico* in grado di riflettere la componente infrarossa della radiazione termica è detto **basso-emissivo**.



Nel caso di *vetrata doppia* il rivestimento basso emissivo viene applicato alla superficie esterna del vetro interno. In tal modo si riduce lo scambio termico per irraggiamento all'interno dell'intercapedine.

Infatti, in analogia a quanto visto per le pareti opache, il coefficiente di irraggiamento dell'intercapedine risulta:

$$h_r = \frac{4\sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

σ = costante di Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ = emissività delle superfici che delimitano l'intercapedine

T_m = temperatura media della superfici che delimitano l'intercapedine [K]

Al diminuire dell'emissività ε_1 diminuisce il coefficiente d'irraggiamento h_r .

Nel caso di *vetrata tripla* si possono applicare due rivestimenti basso-emissivi, uno per ciascuna intercapedine.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, possono essere utilizzati i valori di trasmittanza termica U_g delle *vetrate doppie e triple* riportati nel **Prospetto C1** dell'**Appendice C** della specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008**, calcolati in conformità alla norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** e alla norma **UNI EN 673:2005**. Di seguito si riporta un estratto a titolo di esempio.

prospetto C.1 **Trasmittanza termica di vetrate verticali doppie e triple riempite con diversi gas [W/(m²K)]**

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas ≥90%)				
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni mm	Aria	Argon	Krypton	SF ₆	Xenon
Vetrata doppia	Vetro normale	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,15	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
Vetrata tripla	Vetro normale	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,20	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8

Si riportano di seguito i valori limite della *trasmissione centrale* U_g dei vetri, previsti al **1° gennaio 2011** dal **Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192**, così come modificato dal **Decreto Legislativo 29 dicembre 2006 n. 311**, ed anticipati al **1° luglio 2010** dal **Decreto Legislativo 29 marzo 2010 n. 56**.

TABELLA 4.b Vetri (U limite in W/m^2K)			
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006	Dal 1 luglio 2008	Dal 1 gennaio 2011
A	5.0	4.5	3.7
B	4.0	3.4	2.7
C	3.0	2.3	2.1
D	2.6	2.1	1.9
E	2.4	1.9	1.7
F	2.3	1.7	1.3

I medesimi valori limite sono assunti anche da **Regione Liguria** nel **Regolamento Regionale N. 1-2009** "Regolamento di attuazione della Legge Regionale N. 22 2007", nel caso di edifici aventi superficie vetrata dell'immobile inferiore al 25% della superficie perimetrale verticale.

Dall'esame del **Prospetto C1** si osserva che, ad es. per rispettare il limite di legge a Genova (zona climatica D), è necessario porre in opera almeno vetri doppi con rivestimento basso emissivo ≤ 0.15 ed intercapedine d'aria da 12 mm oppure vetri tripli normali con intercapedini d'aria da 12 mm.

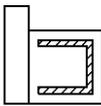
Regione Piemonte non prevede un valore limite della trasmissione centrale U_g dei vetri, ma solo della trasmissione U_w delle chiusure trasparenti, comprensiva di vetro e telaio.

Trasmittanza termica di telai

In assenza di specifici valori ottenuti da misure sperimentali o da calcoli dettagliati, per i telai si può fare riferimento ai valori di trasmissione termica U_f riportati nell'**Appendice D** della **UNI EN ISO 10077-1:2007**, che si riferiscono esclusivamente alla *posizione verticale*.

Telai in materiale plastico

Per i telai in plastica *con rinforzo metallico* possono essere utilizzati i valori di U_f riportati nella seguente tabella.

Materiale del telaio	Tipo di telaio	U_f $W/(m^2 \cdot K)$
Poliuretano	Con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5 mm	2,8
PVC - profilo vuoto ¹⁾	Con due camere cave <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Esterno  Interno </div>	2,2
	Con tre camere cave <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Esterno  Interno </div>	2,0

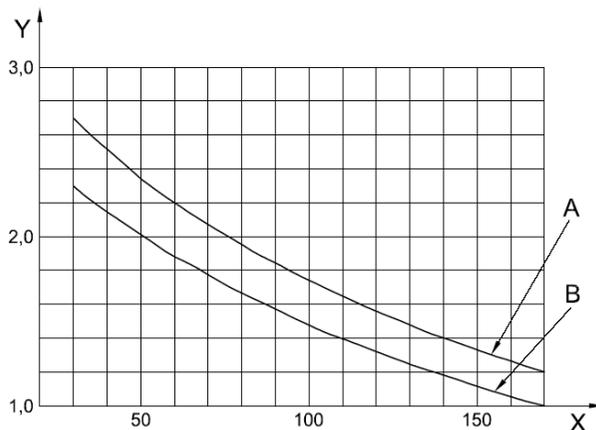
In assenza di dati più precisi, tali valori possono essere utilizzati anche per telai in plastica *senza rinforzo metallico*.

Telai in legno

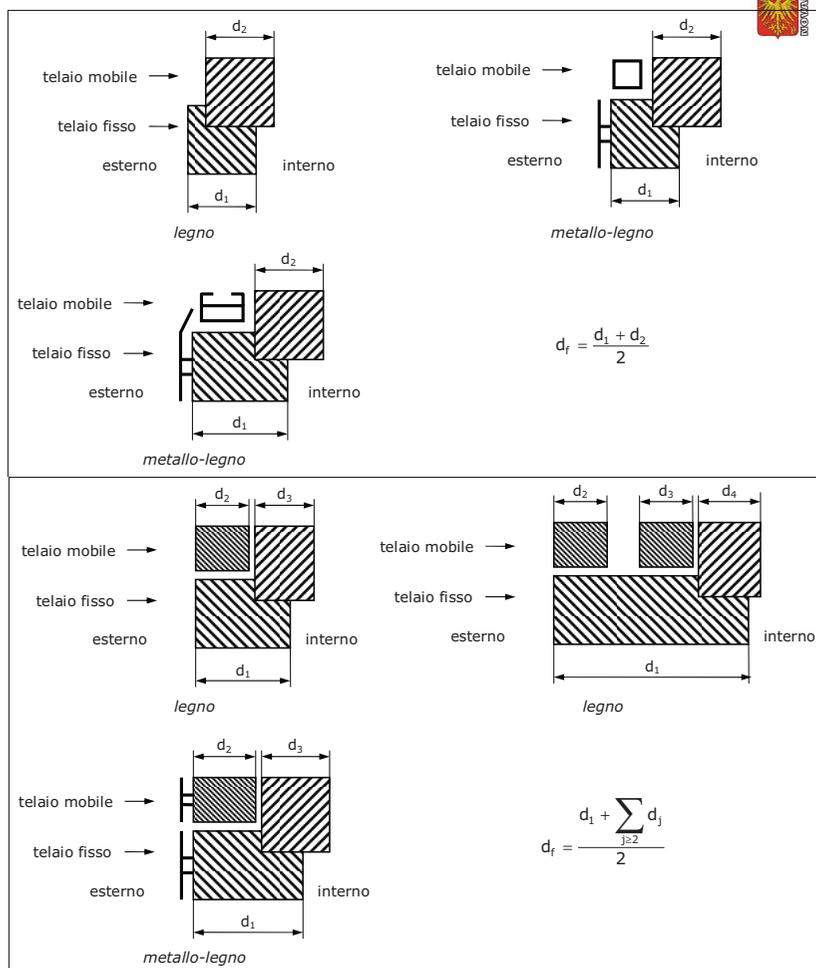
Per i telai in legno e metallo-legno i valori della trasmittanza termica U_f possono essere ricavati dal seguente grafico in funzione dello spessore del telaio d_f .

Legenda

- X Spessore del telaio d_f in mm
- Y U_f in $(W/m^2 \cdot K)$
- A Legno duro (densità 700 kg/m^3)
 $\lambda = 0,18 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$
- B Legno tenero (densità 500 kg/m^3)
 $\lambda = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$



La definizione dello spessore del telaio d_f risulta dalla seguente figura, per diversi sistemi di finestra.



Telai metallici

Gli infissi metallici hanno il telaio costruito usando profili estrusi, generalmente di alluminio, con al loro interno diverse cavità che corrono per tutta la lunghezza del telaio stesso.

Con questo sistema si ottengono profili leggeri che hanno già un buon comportamento in termini isolamento termico, data la presenza delle cavità d'aria.

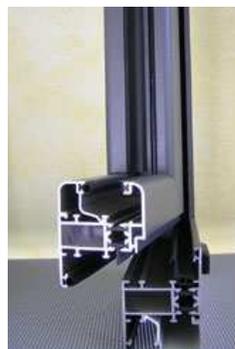
Per migliorare il comportamento dei serramenti metallici si utilizzano i **profili a taglio termico**. In tal caso la parte di telaio metallico rivolta verso gli ambienti interni è unita a quella rivolta verso l'esterno mediante *giunti in materiale plastico* che hanno la funzione di limitare il flusso di calore scambiato attraverso l'infisso.

Un profilo a taglio termico può essere considerato effettivamente tale solo se il giunto di materiale plastico separa completamente le sezioni del profilo metallico del lato freddo dalle sezioni del profilo metallico del lato caldo.

Profilo senza taglio termico



Profilo con taglio termico



La trasmittanza termica U_f di un telaio metallico può essere ottenuta mediante la seguente relazione:

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_{f0} + \frac{R_{se} A_{f,e}}{A_{d,e}}}$$

R_{f0} = resistenza termica della sezione di telaio

R_{se} = resistenza termica superficiale esterna del telaio ($R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$)

R_{si} = resistenza termica superficiale interna del telaio ($R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$)

$A_{f,i}$ = area interna proiettata del telaio

$A_{d,i}$ = area interna sviluppata del telaio

$A_{f,e}$ = area esterna proiettata del telaio

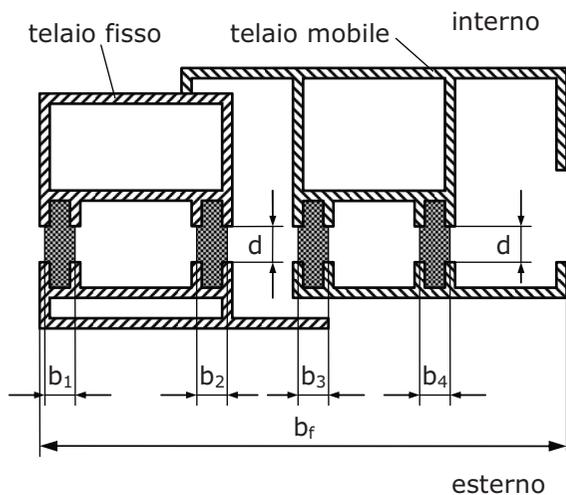
$A_{d,e}$ = area esterna sviluppata del telaio

Nei telai metallici *senza taglio termico* si pone $R_{f0} = 0$.

Per i telai metallici *con taglio termico* con sezioni del tipo riportato in figura, il valore di R_{f0} si ricava dalla linea continua del seguente diagramma, in funzione della distanza d .

Sezione tipo 1

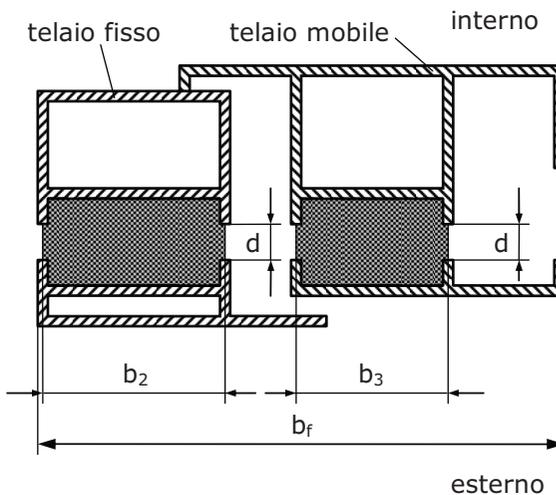
$$0.2 < \lambda \leq 0.3 \text{ W/mK}$$



$$\sum_j b_j \leq 0.2 b_f$$

Sezione tipo 2

$$0.1 \leq \lambda < 0.2 \text{ W/mK}$$



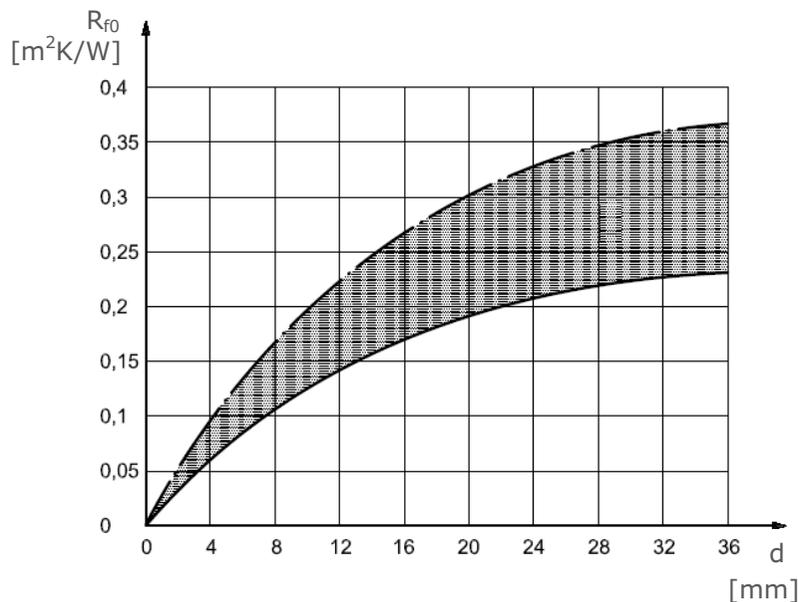
$$\sum_j b_j \leq 0.3 b_f$$

d = la più piccola distanza tra le sezioni opposte di alluminio separate dal taglio termico

b_j = larghezza del taglio termico j-esimo

b_f = larghezza del telaio

λ = conducibilità termica del taglio termico



L'area evidenziata si riferisce a misure sperimentali effettuate su diversi telai in differenti stati europei.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, possono essere utilizzati i valori di trasmittanza termica U_f dei *telai* riportati nel **Prospetto C2** dell'**Appendice C** della specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008**, calcolati in conformità all'**Appendice D** della norma **UNI EN ISO 10077:2007**. Di seguito si riporta un estratto a titolo di esempio.

prospetto C.2 **Trasmittanza termica di telai per finestre, porte e porte finestre**

Materiale	Tipo	Trasmittanza termica U_f [W/(m ² K)]
Poliuretano	con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5 mm	2,8
PVC - profilo vuoto	con due camere cave	2,2
Legno tenero	spessore 70 mm	1,8
Metallo con taglio termico	distanza minima di 20 mm tra sezioni opposte di metallo	2,4

Trasmittanza termica lineare del giunto tra telaio e vetrata

Le trasmittanze termiche U_g e U_f si riferiscono alla vetrata e al telaio considerati separatamente e non tengono conto del ponte termico vetrata-telaio dovuto alla presenza del distanziatore tra i vetri.

La trasmittanza termica lineare Ψ_g tiene conto dello scambio termico aggiuntivo dovuto all'interazione tra il telaio, la vetrata e il distanziatore e dipende principalmente dalla conducibilità termica del materiale del distanziatore stesso.

Nel caso di *vetrata singola* risulta $\Psi_g = 0$.

In assenza di valori più precisi, ottenuti ad esempio utilizzando tecniche di calcolo numerico, Ψ_g può essere ricavato dalle seguenti tabelle riportate nella **Appendice E** della **UNI EN ISO 10077-1:2007**.



Distanziatori in alluminio e acciaio (non inossidabile)

Tipo di telaio	Ψ_g [W/mK]	
	vetrata doppia o tripla vetro non rivestito intercapedine con aria o gas	vetrata doppia ¹ o tripla ² rivestimento a bassa emissività intercapedine con aria o gas
Legno o PVC	0.06	0.08
Metallico con taglio termico	0.08	0.11
Metallico senza taglio termico	0.02	0.05

¹ Un vetro con rivestimento nel caso vetrata doppia.

² Due vetri con rivestimento nel caso vetrata tripla.

Distanziatori ad elevata prestazione termica

Tipo di telaio	Ψ_g [W/mK]	
	vetrata doppia o tripla vetro non rivestito intercapedine con aria o gas	vetrata doppia ¹ o tripla ² rivestimento a bassa emissività intercapedine con aria o gas
Legno o PVC	0.05	0.06
Metallico con taglio termico	0.06	0.08
Metallico senza taglio termico	0.01	0.04

¹ Un vetro con rivestimento nel caso vetrata doppia.

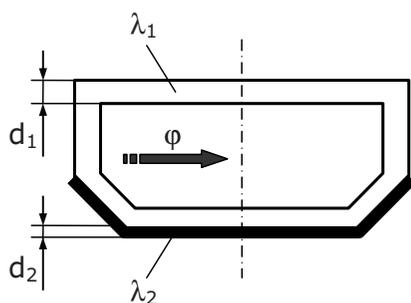
² Due vetri con rivestimento nel caso vetrata tripla.

Un distanziatore è ad *elevata prestazione termica* quando è soddisfatta la seguente condizione:

$$\sum_i d_i \lambda_i \leq 0.007$$

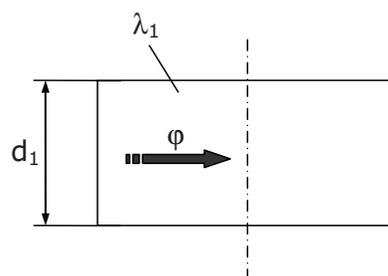
La sommatoria si applica agli strati di materiale di spessore d [m] e conducibilità termica λ [W/mK] aventi le facce parallele alla direzione del flusso termico, come chiarito dagli esempi in figura.

Distanziatore cavo



$$\sum_i d_i \lambda_i = 2 d_1 \lambda_1 + d_2 \lambda_2$$

Distanziatore pieno



$$\sum_i d_i \lambda_i = d_1 \lambda_1$$

Prospetti riassuntivi per le finestre

Nell'**Appendice F** della norma **UNI EN ISO 10077-1:2007** sono presenti quattro tabelle che riportano valori tipici di trasmittanza U_w di *finestre verticali* a vetrata singola, doppia o tripla di dimensioni non molto differenti da 1.20×1.50 m, calcolati utilizzando il metodo descritto nella stessa norma, nel caso in cui l'area del telaio sia pari al 30 % e al 20% dell'area dell'intera finestra. I valori di U_w sono riportati in funzione delle trasmittanze della vetrata U_g e del telaio U_f , per distanziatori di tipo comune e ad elevata prestazione termica.

Una delle tabelle costituisce il **Prospetto C3** dell'**Appendice C** della specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008**, che si riferisce a finestre verticali di dimensioni non molto differenti da 1.20×1.50 m, nell'ipotesi che l'area del telaio sia pari al 20% dell'area dell'intera finestra e che i distanziatori tra i vetri siano di tipo comune. Di seguito si riporta un estratto a titolo di esempio.

prospetto C.3 Trasmittanza termica di finestre con percentuale dell'area di telaio pari al 20% dell'area dell'intera finestra

Tipo di vetrata	U_g [W/(m ² K)]	U_f [W/(m ² K)]													
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	
Singola	5,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	6,0	
Doppia o tripla	3,3	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1	
	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	3,1	
	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1	
	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	3,0	

Si riportano di seguito i valori limite della *trasmittanza delle chiusure trasparenti (finestre)* U_w , previsti al **1° gennaio 2010** dal **Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192**, così come modificato dal **Decreto Legislativo 29 dicembre 2006 n. 311**.

TABELLA 4.a	Chiusure trasparenti (U limite in W/m ² K)		
Zona climatica	Dal 1 gennaio 2006	Dal 1 gennaio 2008	Dal 1 gennaio 2010
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	2.4	2.2
F	2.4	2.2	2.0

I medesimi valori limite sono assunti anche da **Regione Liguria** nel **Regolamento Regionale N. 1-2009** "Regolamento di attuazione della Legge Regionale N. 22 2007", nel caso di edifici aventi superficie vetrata dell'immobile inferiore al 25% della superficie perimetrale verticale.

Dall'esame del **Prospetto C3** si osserva che, ad es. per rispettare il limite di legge a Genova (zona climatica D), nel caso in cui si utilizzi un vetro doppio con rivestimento basso emissivo ≤ 0.15 ed intercapedine d'aria da 12 mm ($U_{gl} = 1.9$ W/m²K), è necessario che la finestra abbia un telaio caratterizzato da $U_f \leq 3$ W/m²K. Tutte le tipologie di telaio riportate nel **Prospetto C2** soddisfano tale requisito.

Regione Piemonte, nell'ambito della **Deliberazione della Giunta Regionale N. 46-11968 del 4 agosto 2009** "Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a) b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)" prevede una *trasmissione termica massima delle chiusure trasparenti* dei locali ad uso residenziale pari a **2.0 W/m²K**, indipendente dalla zona climatica.

Dall'esame del **Prospetto C3** si osserva che per rispettare il limite di legge, nel caso in cui si utilizzi un vetro doppio con rivestimento basso emissivo ≤ 0.15 ed intercapedine d'aria da 12 mm ($U_{gl} = 1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$), è necessario che la finestra abbia un telaio caratterizzato da $U_f \leq 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nessuna tipologia di telaio riportata nel **Prospetto C2** soddisfa tale requisito.

Se si utilizza un vetro doppio con rivestimento basso emissivo ≤ 0.10 ed intercapedine d'argon da 12 mm ($U_{gl} = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$), è necessario che il telaio sia caratterizzato da $U_f \leq 2.6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tutte le tipologie di telaio riportate nel **Prospetto C2**, ad eccezione del telaio in poliuretano con anima metallica, soddisfano tale requisito.

Tipo di vetrata	U_{gl} [W/(m ² K)]	U_f [W/(m ² K)]													
		0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	
Doppia o tripla	3,3	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	4,1	
	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	3,1	
	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,7	

Resistenza termica addizionale per finestre con chiusure chiuse

La resistenza addizionale ΔR dovuta alle chiusure chiuse può essere calcolata in funzione della *resistenza termica* della chiusura R_{sh} e della *permeabilità all'aria* della chiusura stessa mediante la seguente tabella, tratta dall'**Appendice G della UNI EN ISO 10077-1:2007**.

Permeabilità all'aria della chiusura	ΔR [m ² K/W]
molto elevata	0.08
elevata	$0.25R_{sh} + 0.09$
media	$0.55R_{sh} + 0.11$
bassa	$0.80R_{sh} + 0.14$
a tenuta	$0.95R_{sh} + 0.17$

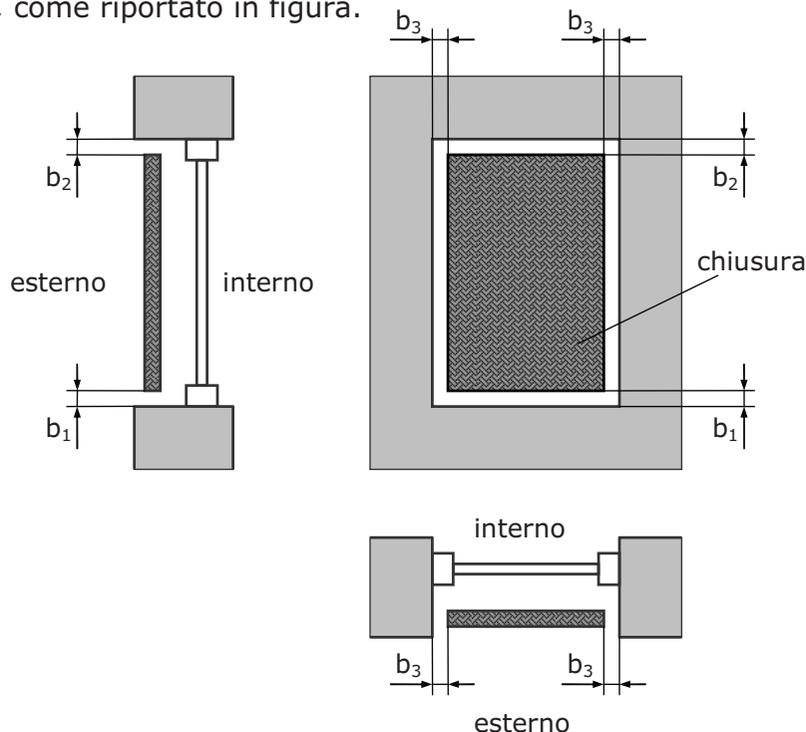
In assenza di valori della *resistenza termica della chiusura* ottenuti tramite misurazione o calcolo, è possibile utilizzare i valori di R_{sh} riportati nel seguente prospetto.

Tipo di chiusura	R_{sh} [m ² K/W]
Chiusure avvolgibili in alluminio	0.01
Chiusure avvolgibili in legno e plastica senza riempimento in schiuma	0.10
Chiusure avvolgibili plastica con riempimento in schiuma	0.15
Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore	0.20

Il criterio per definire la permeabilità all'aria di una chiusura è definito nell'**Appendice H** della **UNI EN ISO 10077-1:2007**, in termini di uno *spazio totale effettivo* b_{sh} intorno alla chiusura:

$$b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3$$

dove b_1 , b_2 , b_3 rappresentano gli spazi medi ai bordi superiore, inferiore e laterale della chiusura, come riportato in figura.



La relazione tra la permeabilità della chiusura e lo spazio totale effettivo b_{sh} è riportata nella seguente tabella.

Classe	Permeabilità della chiusura	b_{sh} [mm]
1	molto elevata	$b_{sh} \geq 35$
2	elevata	$15 \leq b_{sh} < 35$
3	media	$8 \leq b_{sh} < 15$
4	bassa	$b_{sh} < 8$
5	a tenuta	$b_{sh} \leq 3$ $b_1 + b_3 = 0$ oppure $b_2 + b_3 = 0$

Per le *classi di permeabilità 2 e superiori* non devono esserci delle aperture all'interno della chiusura stessa.

Risultano in genere chiusure a permeabilità media della *classe 3* le chiusure ad ante piene, a veneziana di legno con stecche piene sovrapposte, avvolgibili in legno plastica o metallo.

Per le chiusure appartenenti alla *classe 5* sono necessari i seguenti requisiti.

- **Chiusure avvolgibili:** gli spazi ai bordi laterali e inferiore sono considerati uguali a zero se ci sono guarnizioni sia nelle guide laterali sia nella doga finale. Lo spazio superiore è considerato uguale a zero se la fessura d'ingresso dell'avvolgibile nel cassonetto è dotata di linguette di tenuta o guarnizioni del tipo a spazzolino su entrambi i lati della chiusura o se il lato terminale della chiusura è compresso da un apparato (molla) contro un materiale sigillante sulla superficie interna del lato esterno del cassonetto dell'avvolgibile.
- **Altre chiusure:** l'effettiva presenza di guarnizioni sui tre lati e di uno spazio sul quarto lato minore di 3 mm.

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, possono essere utilizzati i valori resistenza termica addizionale ΔR della *chiusura oscurante* riportati nel **Prospetto C4** dell'**Appendice C** della specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008**, calcolati in conformità all'**Appendice G** della norma **UNI EN ISO 10077:2007**. Di seguito si riporta un estratto a titolo di esempio.

Tipo di chiusura	Resistenze termiche addizionali per una specifica permeabilità all'aria delle chiusure ^{a)}		
	ΔR m^2K/W		
	Alta permeabilità all'aria	Media permeabilità all'aria	Bassa permeabilità all'aria
Chiusure avvolgibili in alluminio	0,09	0,12	0,15
Chiusure avvolgibili in plastica con riempimento in schiuma	0,13	0,19	0,26
Chiusure in legno da 25 mm a 30 mm di spessore	0,14	0,22	0,30

Nel calcolo del fabbisogno di energia termica utile dell'involucro edilizio per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ e per il raffrescamento $Q_{C,nd}$, come da specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008**, bisogna tenere conto dell'effetto della *chiusura notturna delle chiusure oscuranti*.

A tale scopo si introduce la *trasmissione termica corretta* $U_{w,corr}$ che rappresenta la trasmissione media della finestra pesata sul tempo di apertura e chiusura della chiusura oscurante:

$$U_{w,corr} = U_{w+shut} f_{shut} + U_w (1 - f_{shut})$$

$U_{w+shut} = U_{ws}$ = trasmissione termica della finestra e della chiusura oscurante insieme

U_w = trasmissione termica della finestra senza chiusura oscurante

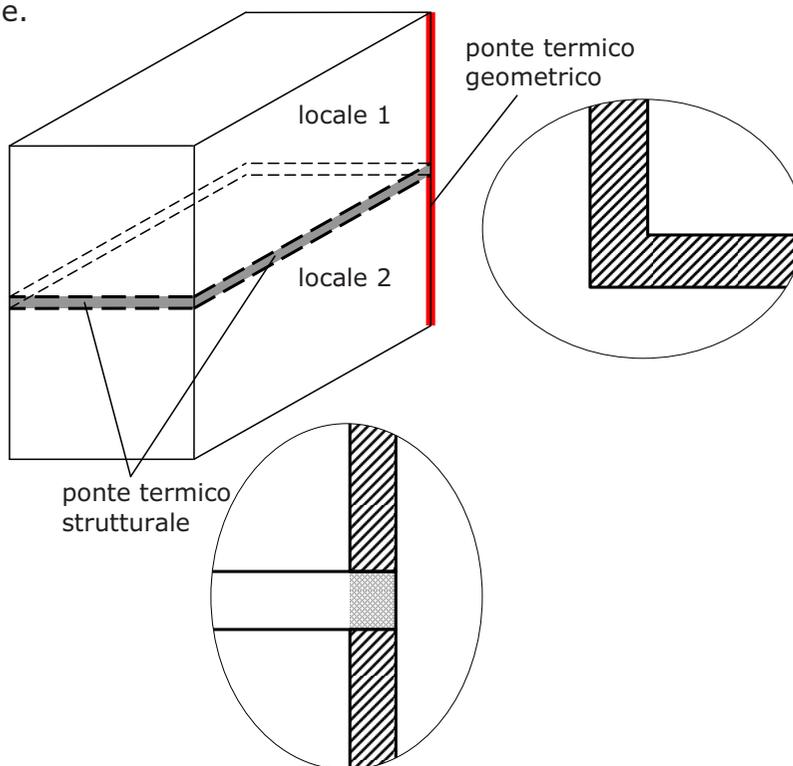
f_{shut} = frazione adimensionale della differenza cumulata di temperatura, derivante dal profilo orario di utilizzo della chiusura oscurante e dal profilo orario della differenza di temperatura interna ed esterna

Nella valutazione di progetto e nella valutazione standard si considera un periodo giornaliero di chiusura di 12 h.

In mancanza di dati precisi sui profili giornalieri della temperatura si assume **$f_{shut} = 0.6$** .

PONTI TERMICI

Si dice **ponte termico** una qualsiasi configurazione, *strutturale o geometrica*, che produce una distorsione delle linee di flusso rispetto alla condizione di flusso termico monodimensionale.



I ponti termici nelle costruzioni edilizie producono una modifica del *flusso termico* e delle *temperature superficiali* rispetto all'ipotesi di monodimensionalità comunemente utilizzata nei calcoli.

Di solito i ponti termici sono le zone dell'involucro edilizio dove il calore si propaga più facilmente, anche a causa di discontinuità dell'isolamento. Rappresentano quindi *zone critiche* in quanto comportano:

- **elevati disperdimenti termici**, con conseguente aumento del fabbisogno di energia termica utile dell'involucro edilizio;
- **basse temperature superficiali interne**, associate al rischio di *condensazione superficiale* o *crescita di muffe*, con conseguente degrado dell'involucro edilizio.

La specifica tecnica **UNI/TS 11300-1:2008** afferma quanto segue riguardo al calcolo dello scambio termico attraverso i ponti termici.

Lo scambio termico per trasmissione attraverso i ponti termici può essere calcolato secondo la norma **UNI EN ISO 14683:2008** "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento".

Per gli edifici esistenti, 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 valutato forfaitariamente applicando le **maggiorazioni percentuali** riportate in tabella.

Struttura	Maggiorazione [%]
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

Tali maggiorazioni *si applicano alle dispersioni termiche attraverso la parete opaca* e tengono conto anche dei ponti termici relativi ai serramenti.

La norma **UNI EN ISO 14683:2008** riporta le seguenti definizioni.

Ponte termico lineare:

ponte termico con una sezione trasversale uniforme in una direzione.

Ponte termico puntuale:

ponte termico localizzato, ovvero che non presenta sezioni trasversali uniformi in nessuna direzione, la cui influenza può essere rappresentata da una trasmittanza termica puntuale.

Trasmittanza termica lineica (o lineare) Ψ :

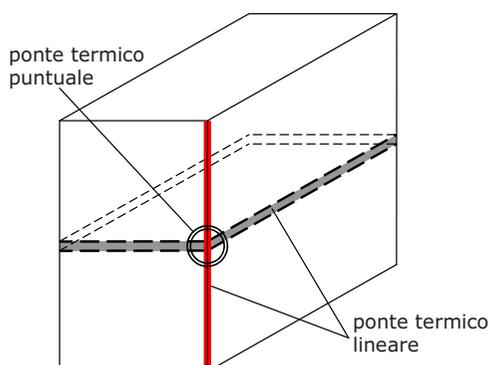
flusso termico in regime stazionario diviso per la lunghezza e la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato del ponte termico.

$$[\Psi] = [W/mK]$$

Trasmittanza termica puntuale X:

flusso termico in regime stazionario diviso per la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato del ponte termico.

$$[X] = [W/K]$$



Per il **calcolo accurato** dei flussi termici e delle distribuzioni di temperatura in corrispondenza dei ponti termici lineari e puntuali, la norma **UNI EN ISO 14683:2008** rimanda ai *metodi numerici* di calcolo *dettagliati* della norma **UNI EN ISO 10211:2008** "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati".

Tale norma definisce le specifiche dei modelli geometrici 3-D e 2-D di un ponte termico, ai fini del calcolo numerico di:

- **flussi termici**, ai fini di determinare le dispersioni termiche totali di un edificio o di una sua parte;
- **temperature superficiali**, ai fini di valutare il rischio di condensazione superficiale.

N.B.

La distribuzione di temperatura è bidimensionale (2-D) in corrispondenza dei ponti termici lineari, tridimensionale (3-D) in corrispondenza di quelli puntuali.

Esistono in commercio numerosi software per il calcolo dei ponti termici. Ad esempio l'**ANIT** (Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico) mette a disposizione il software **IRIS 1.1** che consente di determinare la distribuzione di temperatura ed il flusso termico scambiato in corrispondenza dei principali *ponti termici lineari* che si incontrano nell'involucro edilizio, in funzione dei dati climatici del sito considerato.

IRIS - [Ponti termici]

File ?

Categorie

GENOVA

Temperatura media del mese più freddo: 7.9 °C

Temperatura di progetto: 0 °C

Gradi giorno: 1435

Zona climatica: D

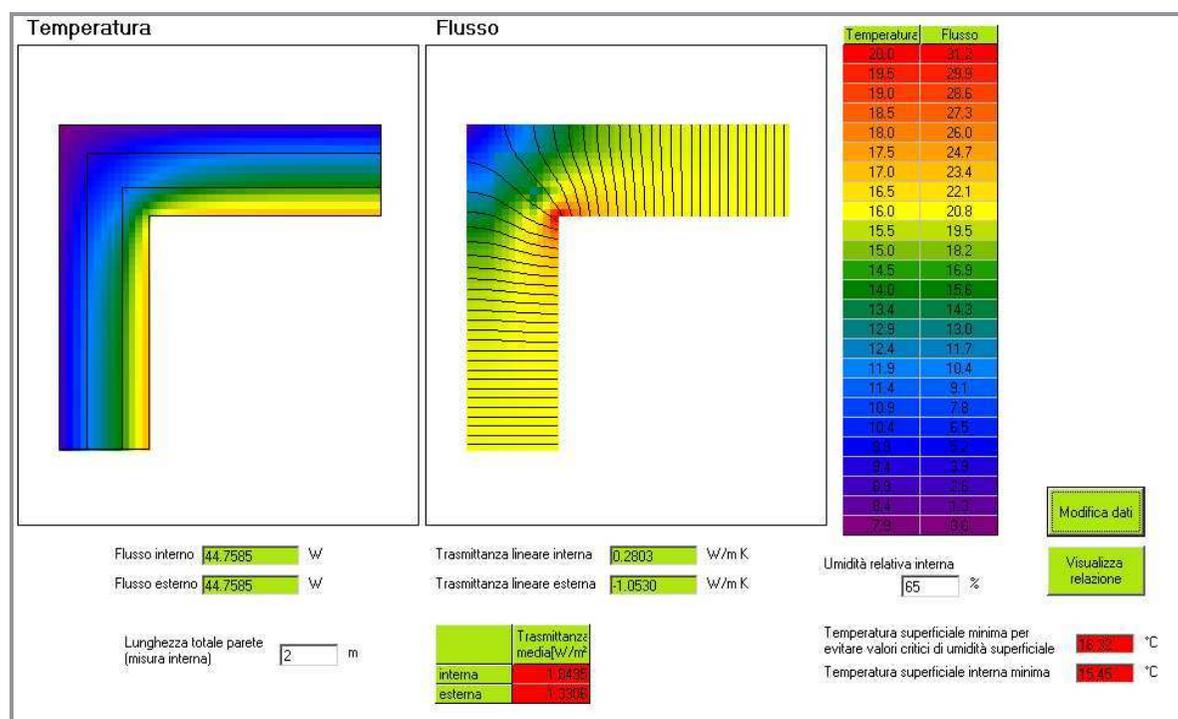
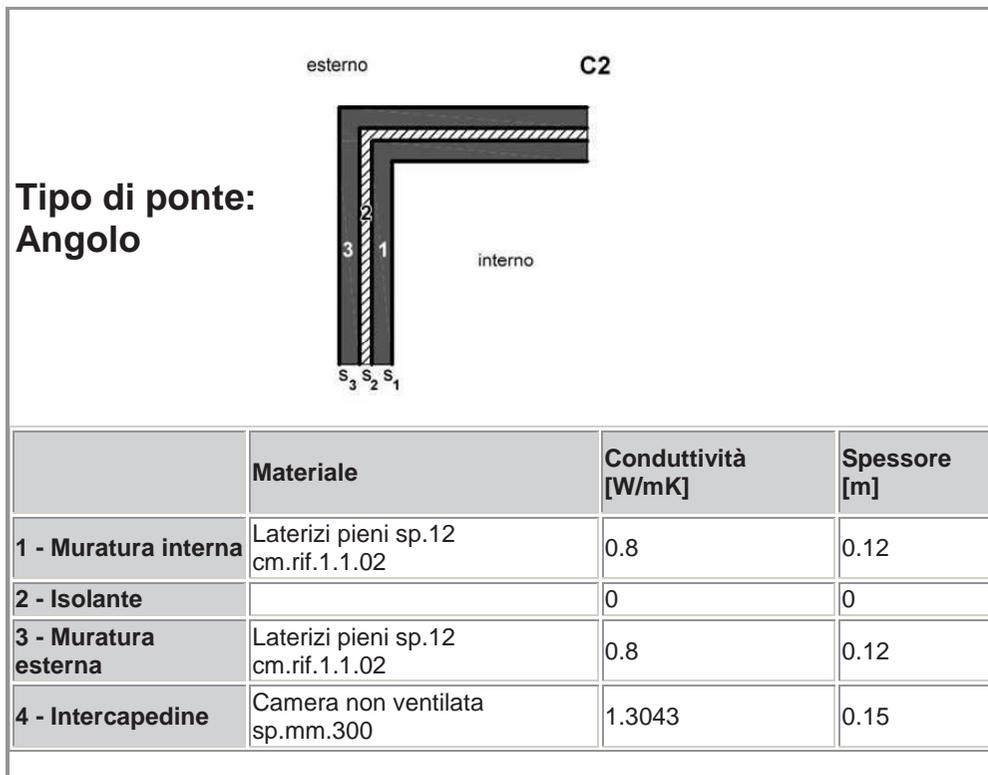
Trasmittanze limite secondo DPR 59/09

	dal 2008	dal 2010
Pareti	0.4	0.36
Coperture	0.35	0.32
Pavimenti	0.41	0.36

Selezionare sulla figura il tipo di ponte

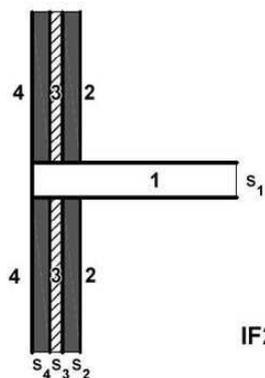
Esempi

Spigolo: *singolarità geometrica*

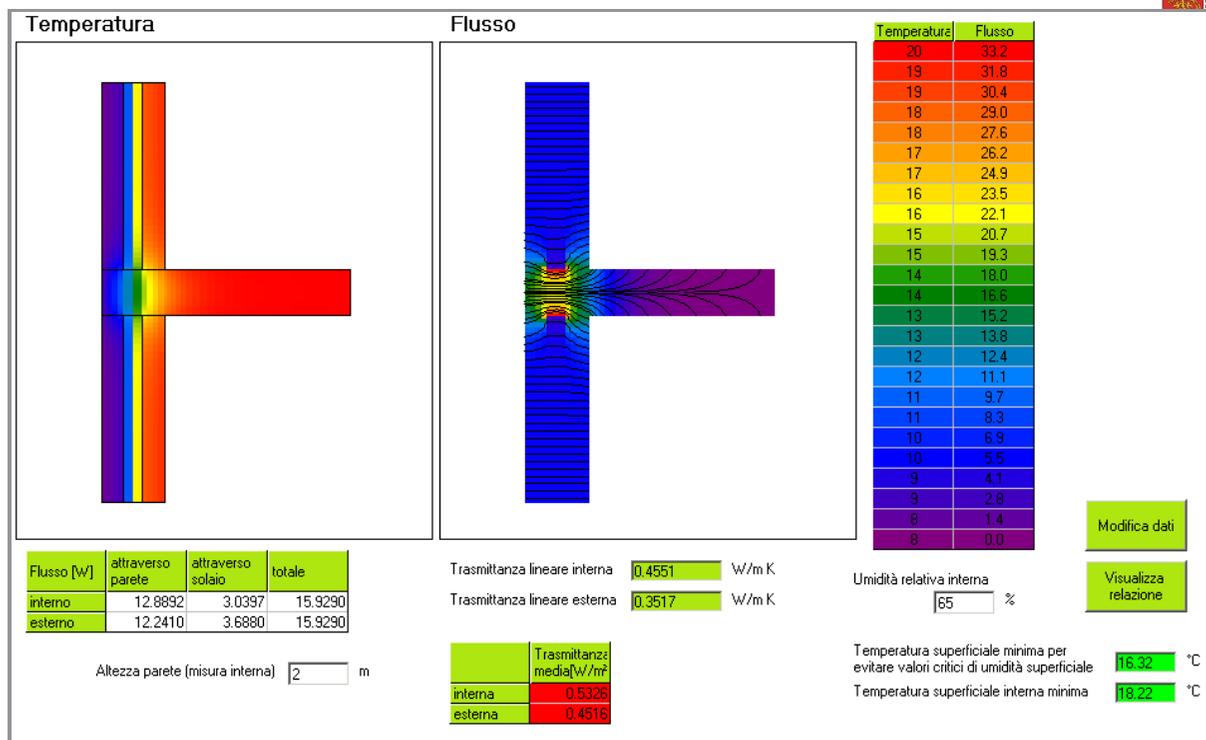


Giunzione tra la soletta di separazione tra due piani di un edificio e la parete verticale: *singolarità strutturale*

Tipo di ponte:
Solaio interpiano

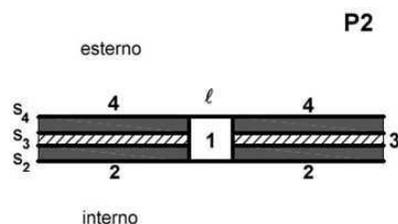


	Materiale	Conduttività [W/mK]	Spessore [m]
1 - Solaio	Laterocemento sp.24 cm	0.7059	0.24
2 - Muratura interna	Laterizi pieni sp.12 cm.rif.1.1.02	0.8	0.12
3 - Isolante parete	Polistirolo espanso in granuli	0.054	0.1
4 - Muratura esterna	Laterizi pieni sp.12 cm.rif.1.1.02	0.8	0.12

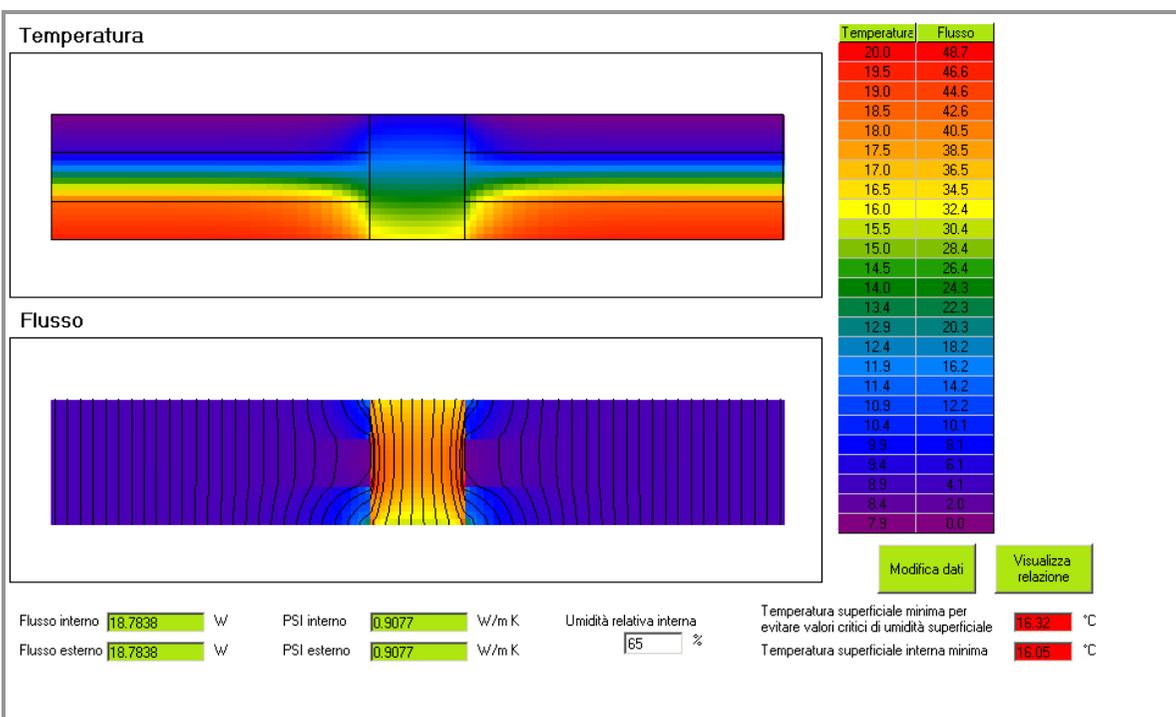


Pilastro: *singolarità strutturale*

Tipo di ponte: Pilastro

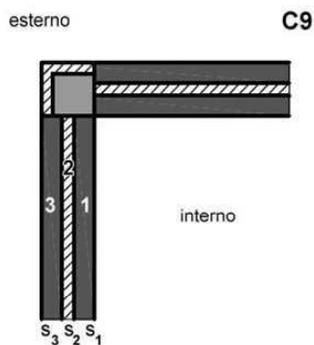


	Materiale	Conduttività [W/mK]	Spessore [m]
1 - Pilastro	CLS con aggregato naturale per pareti esterne non protette 2400 kg/m ³	2.158	0.3
2 - Muratura interna	Laterizi forati sp.12 cm.rif.1.1.21	0.3871	0.12
3 - Isolante parete	Polistirolo espanso in granuli	0.054	0.15
4 - Muratura esterna	Laterizi forati sp.12 cm.rif.1.1.21	0.3871	0.12

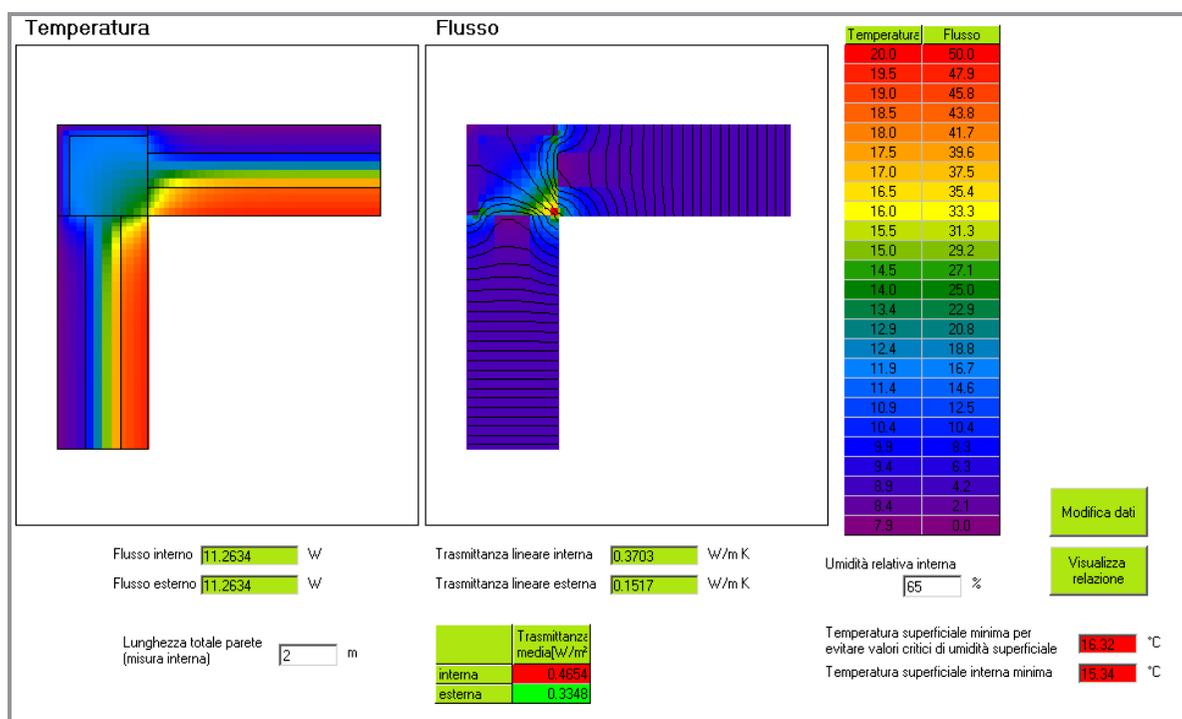


Spigolo con pilastro: *singolarità geometrica e strutturale*

**Tipo di ponte:
Angolo**



	Materiale	Conduttività [W/mK]	Spessore [m]
1 - Muratura interna	Laterizi forati sp.12 cm.rif.1.1.21	0.3871	0.12
2 - Isolante parete	Polistirolo espanso in granuli	0.054	0.15
3 - Muratura esterna	Laterizi forati sp.12 cm.rif.1.1.21	0.3871	0.12
5 - Pilastro	CLS con aggregato naturale per pareti esterne non protette 2400 kg/m ³	2.158	
6 - Isolante pilastro	PSE (polistirene espanso sinterizzato) UNI 7819 15 kg/m ³	0.045	0.05



Nel caso di **ponti termici lineari** è consentito il *calcolo semplificato* dei disperdimenti termici utilizzando la **trasmissione termica lineica**.

Il contributo dei **ponti termici puntuali** (nella misura in cui risultano dall'intersezione di ponti termici lineari) può generalmente essere trascurato.

Si considera lo scambio termico diretto tra un ambiente interno a temperatura T_i e l'esterno a temperatura T_e . Il flusso termico risulta:

$$\varphi_D = H_D (T_i - T_e)$$

Il **coefficiente di scambio termico diretto** H_D per trasmissione verso l'ambiente esterno risulta:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k + \sum_j X_j$$

U_i = *trasmissione termica* dell'*i*-esimo *componente* (opaco o trasparente) confinante con l'esterno [W/m^2K]

A_i = area caratterizzata dalla trasmissione U_i [m^2]

Ψ_k = *trasmissione termica lineica* (o lineare) del *k*-esimo *ponte termico lineare* confinante con l'esterno [W/mK]

L_k = lunghezza lungo cui si applica la trasmissione Ψ_k [m]

X_j = *trasmissione termica puntuale* del *j*-esimo *ponte termico puntuale* confinante con l'esterno [W/K] (termine trascurabile)

La norma **UNI EN ISO 14683:2008** fornisce i seguenti *metodi* per determinare la trasmissione termica lineica:

- calcolo numerico (accuratezza $\pm 5\%$)
- atlanti dei ponti termici (accuratezza $\pm 20\%$)
- calcoli manuali (accuratezza $\pm 20\%$)
- valori di progetto (accuratezza da 0% a 50%)

Nel caso in cui siano definite le dimensioni e la forma generale dell'edificio, ma non i particolari costruttivi, si può fare solo una stima approssimata dei contributi dei ponti termici alle perdite di calore totali sulla base dei **valori di progetto** della trasmissione termica lineica.

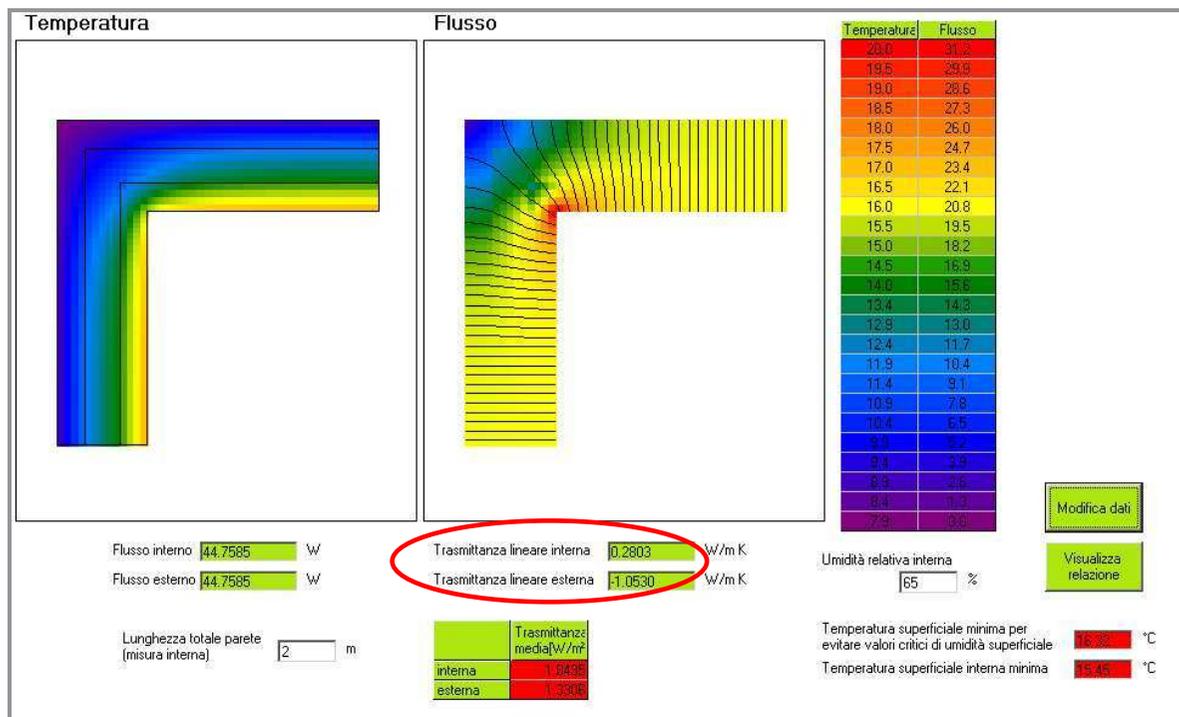
Quando, in uno stadio successivo, siano disponibili dettagli complessivi, possono essere ottenuti valori più accurati di Ψ per ogni ponte termico lineare, confrontando la tipologia particolare con l'esempio che maggiormente ci si avvicina ricavato da un **atlante di ponti termici** e utilizzando il valore di Ψ indicato. A questo stadio possono essere utilizzati anche metodi che prevedono **calcoli manuali**.

Quando sono noti tutti i dettagli, possono essere utilizzati tutti i metodi per determinare Ψ , inclusi i **metodi di calcolo numerico**, che forniscono i valori di Ψ più precisi.

Metodi di calcolo numerico

La trasmittanza termica lineica viene calcolata in base alla norma **UNI EN ISO 10211:2008**.

Ad esempio il software **IRIS 1.1**, messo a disposizione da **ANIT**, fornisce i valori delle trasmittanze termiche lineiche interna ed esterna.



Osservazione

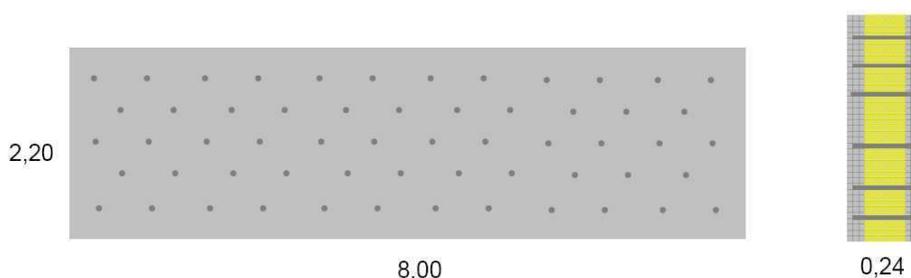
Nel caso in cui siano presenti **ponti termici puntuali** significativi, la trasmittanza termica puntuale deve essere calcolata con i metodi di calcolo numerico, in accordo con la norma **UNI EN ISO 10211:2008**.

Esempio: connettori metallici

Collegamenti metallici	Diametro o lato (mm)	ζ (W/°C)
Tondino di acciaio galvanizzato	2 a 4	0,005
	5 a 8	0,007
	10 a 15	0,010
Tondino di acciaio inox	2 a 4	0,0035
	5 a 8	0,006
	10 a 15	0,008

$$U = \frac{\sum U_i A_i + \sum \zeta_n}{\sum A_i}$$

Tabella 32: Dati relativi al pannello con spessore 24 cm con limiti 2010							
Valori di ζ		0,0035	0,006	0,008	0,005	0,007	0,01
Zona	U_{LIM} [W/m²K]	Numero massimo di connettori metallici					
A	0,62	1648	962	721	1154	824	577
B	0,48	1008	588	441	705	504	353
C	0,40	642	374	281	449	321	225
D	0,36	459	268	201	321	229	161
E	0,34	367	214	161	257	184	128
F	0,33	321	187	141	225	161	112



Atlanti dei ponti termici

Sono cataloghi che riportano le trasmittanze termiche lineiche di ponti termici ricorrenti nell'edilizia, calcolate con i metodi numerici in accordo con la norma **UNI EN ISO 10211:2008**.

Gli esempi delle tipologie di ponti termici riportate negli atlanti presentano alcuni parametri prefissati, ad esempio dimensioni e materiali, e così sono meno flessibili rispetto ai calcoli.

Gli esempi forniti in un atlante generalmente non corrispondono esattamente alla particolare tipologia considerata e quindi l'applicazione del valore di Ψ preso dall'atlante ad un particolare dettaglio introduce un'incertezza.

Il valore di Ψ preso da un atlante può essere utilizzato a condizione che le dimensioni e le proprietà termiche dell'esempio dell'atlante siano simili a quelle del dettaglio considerato o termicamente meno favorevoli di quelle del dettaglio considerato.

L'atlante deve fornire le seguenti informazioni:

- indicazioni chiare sull'ottenimento dei valori di Ψ a partire dai valori forniti dall'atlante;
- dimensioni del dettaglio considerato e valori della trasmittanza termica delle parti omogenee del dettaglio;
- resistenze superficiali interna ed esterna utilizzate per il calcolo dei valori forniti nell'atlante.

Viene di seguito riportato a titolo di esempio un estratto del "**Catalogue des ponts thermiques**", edito nel 2003 in Svizzera dall'*Office fédéral de l'énergie* e reperibile liberamente al sito http://www.lesosai.com/download/Warmebruckenkatalog_f.pdf.

Dalle continue sur appui		2.1-11	
Valeur U façade en W/(m ² · K)	Mur		Valeur Ψ en W/(m · K)
	Brique t.c.	Béton armé	
0.15	0.63	0.71	
0.20	0.68	0.78	
0.25	0.71	0.83	
0.30	0.73	0.86	
0.35	0.74	0.88	
0.40	0.74	0.89	
Majorations			
Chauffage par le sol	Non		+ 0.07 W/(m · K)
Isolation sous bord de dalle	Non		- 0.13 W/(m · K)
Isolation tête de dalle	Non		- 0.20 W/(m · K)
			Isolation sous bord de dalle (2 x 50 cm) avec isolation tête de dalle 4 cm - 0.28 W/(m · K)

Conditions standard

Chauffage par le sol	Non
Isolation sous bord de dalle	Non
Isolation tête de dalle	Non

Calcoli manuali

Esistono numerosi metodi di calcolo manuale, eseguibili con operazioni su calcolatrici manuali o mediante un semplice software per computer.

Non si può fornire un'indicazione generale sull'accuratezza di questi metodi, dato che la maggior parte dei calcoli manuali si applica solo a un tipo specifico di ponte termico. Perciò un metodo di calcolo manuale può essere molto accurato nello specifico intervallo di applicazione, ma molto poco accurato al di fuori di questo campo.

I calcoli manuali devono fornire le seguenti informazioni:

- tipologie dei dettagli strutturali ai quali si applicano;
- limiti dimensionali entro i quali il metodo è valido;
- limiti dei valori di conduttività termica dei materiali considerati;
- valori della resistenza termica da utilizzare;
- stima dell'accuratezza (per esempio, errore massimo).



Valori di progetto della trasmittanza termica lineica

La norma **UNI EN ISO 14683:2008** fornisce valori di progetto della trasmittanza termica lineica per le tipologie di ponti termici più ricorrenti.

Tali valori possono essere utilizzati quando:

- l'effettivo valore di Ψ non è noto,
- non sono disponibili dettagli sul particolare ponte termico,
- un valore approssimato di Ψ è sufficiente per l'accuratezza richiesta nella determinazione dello scambio termico.

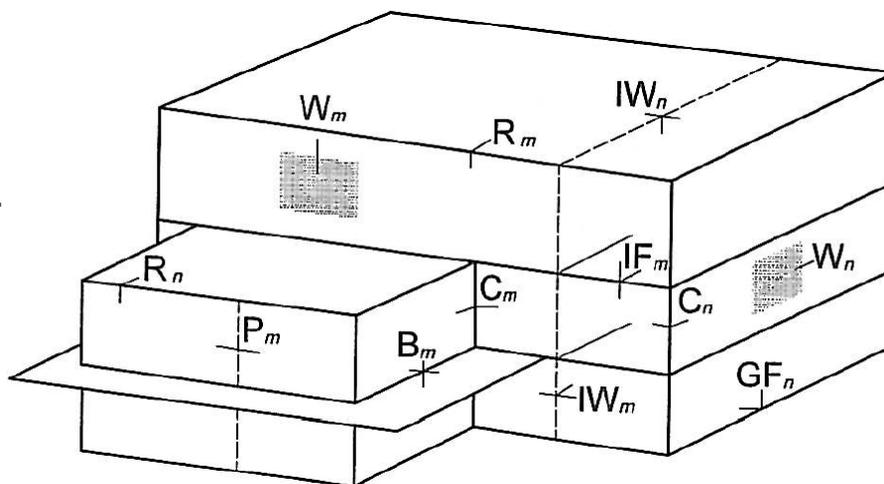
I valori della trasmittanza lineica sono stati ottenuti mediante modellizzazione numerica bidimensionale, in accordo con la norma **UNI EN ISO 10211:2008**, e forniscono una *sovrastima cautelativa degli effetti dei ponti termici*. In tabella sono riportati i dati utilizzati per la determinazione dei valori di progetto della trasmittanza termica lineica.

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 — thermal resistance of insulation layer	$U = 0,343 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
For lightweight walls:		$U = 0,375 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
For ground floors:	— floor slab — thermal conductivity of ground — thermal resistance of insulation layer	$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W/(mK)}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
For intermediate floors:		$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W/(mK)}$
For roofs:	— thermal transmittance — thermal resistance of insulation layer	$U = 0,365 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
For the frames in openings:		$d = 60 \text{ mm}$
For columns:		$d = 300 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W/(mK)}$

In figura sono rappresentate le disposizioni delle più comuni tipologie di ponti termici lineari.

- Giunzioni tra gli elementi esterni: angoli tra le pareti verticali (C), angoli tra le pareti verticali e il tetto (R), angoli tra le pareti verticali e il pavimento (GF), angoli tra le pareti verticali e aggetti (B).
- Giunzioni tra le pareti verticali interne e gli elementi esterni (IW).
- Giunzioni tra le pareti verticali esterne e le solette intermedie (IF).
- Pilastri esterni (P).
- Presenza di porte e finestre (W).

Le lettere R, B, C, GF, IF, IW, P e W identificano la tipologia del ponte termico, i pedici m e n ne specificano la posizione.



L'Appendice A della **UNI EN ISO 14683:2008** fornisce i dettagli dei ponti termici, raggruppati per tipologia secondo la classificazione indicata sopra.

Viene di seguito riportato a titolo di esempio il caso dei ponti termici di tipo C (spigoli verticali). Con riferimento alla figura precedente, i ponti termici C1 ÷ C4 si riferiscono a spigoli sporgenti, i ponti termici C5 ÷ C8 a spigoli rientranti.

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> $\psi_e = -0,05$ $\psi_{oi} = 0,15$ $\psi_l = 0,15$	<p>C2</p> $\psi_e = -0,10$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_l = 0,10$	<p>C3</p> $\psi_e = -0,20$ $\psi_{oi} = 0,05$ $\psi_l = 0,05$	<p>C4</p> $\psi_e = -0,15$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_l = 0,10$	
<p>C5</p> $\psi_e = 0,05$ $\psi_{oi} = -0,15$ $\psi_l = -0,15$	<p>C6</p> $\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_l = -0,10$	<p>C7</p> $\psi_e = 0,15$ $\psi_{oi} = -0,05$ $\psi_l = -0,05$	<p>C8</p> $\psi_e = 0,10$ $\psi_{oi} = -0,10$ $\psi_l = -0,10$	

Per ciascuna tipologia di ponte termico vengono considerate *quattro differenti disposizioni* dello strato isolante principale:

- sul lato esterno (C1, C5),
- nel mezzo (C2, C6),
- sul lato interno (C3, C7),
- uniformemente distribuito nella struttura (C4, C8).

Quest'ultimo caso si verifica quando l'elemento edilizio è costituito da muratura leggera o parete intelaiata in legno.

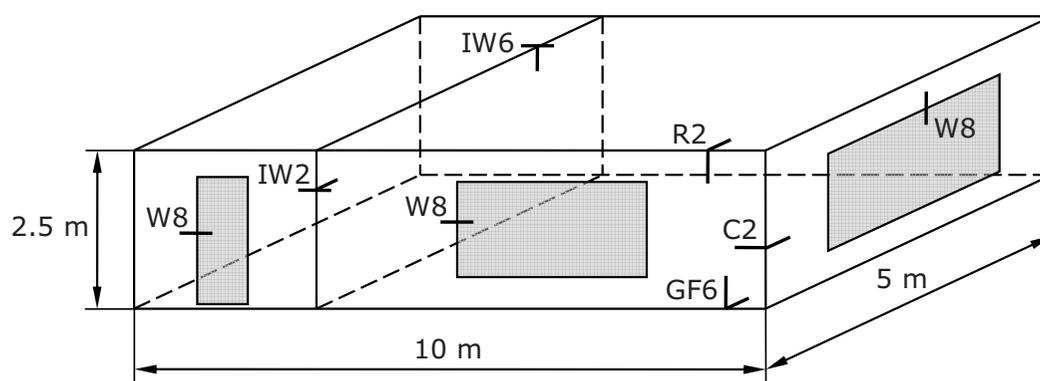
Per ciascuna tipologia di ponte termico e per ogni posizione dello strato isolante principale vengono forniti tre valori della trasmittanza termica lineica.

Infatti il valore di Ψ dipende dalle dimensioni dell'edificio utilizzate per calcolare le aree attraversate dal flusso termico monodimensionale:

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

Esempio di calcolo

A titolo di esempio si vuole calcolare il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione H_T dell'edificio rappresentato in figura. Tale edificio a un solo piano è caratterizzato da tetto piano, pavimento su terreno, una parete di partizione interna, una porta e due finestre nelle pareti verticali esterne.



In figura sono evidenziate le tipologie di ponti termici presenti e le dimensioni interne dell'edificio.

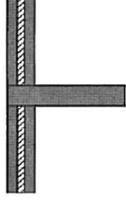
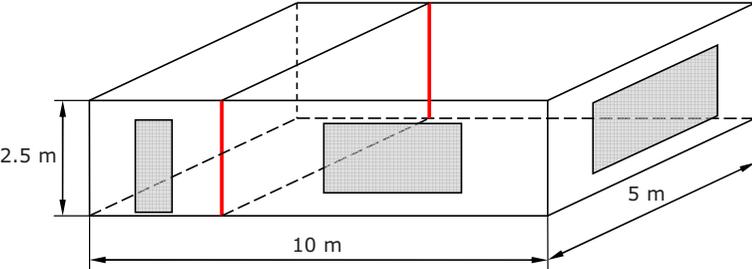
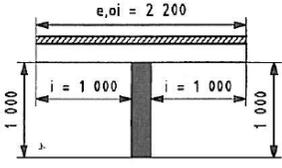
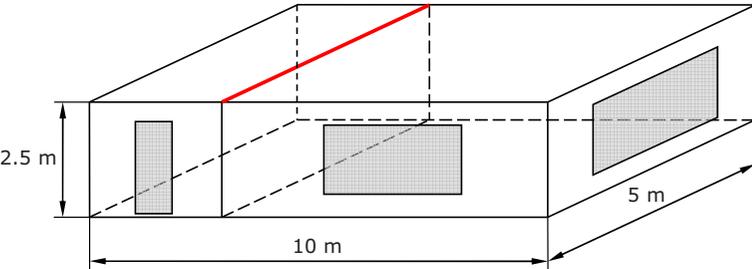
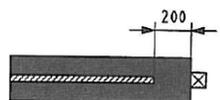
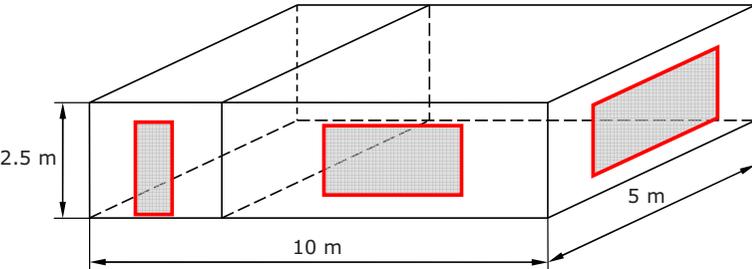
Di seguito sono riportati i dati geometrici relativi all'edificio, le trasmittanze dei diversi componenti edilizi e le tipologie di ponti termici presenti come risultano dall'**Appendice A** della **UNI EN ISO 14683:2008**.

Elemento edilizio	Dimensioni [m]	U [W/m ² K]
porta	0.8 × 2	3.00
finestra singola	3 × 1.5	3.50

Elemento edilizio	Spessore [m]	Dimensioni interne [m]	Dimensioni esterne [m]	U [W/m ² K]
pareti verticali esterne	0.3	5 × 2.5	10 × 2.5	0.40
tetto	0.25	10 × 5	10.6 × 5.6	0.30
pavimento su terreno	0.25	10 × 5	10.6 × 5.6	0.35

La partizione interna ha uno spessore di 0.12 m.

Ponte termico	Trasmittanza termica lineica	
parete/tetto	R2 R2 $\psi_e = 0,50$ $\psi_{oi} = 0,75$ $\psi_i = 0,75$	
parete/parete	C2 C2 $\psi_e = -0,10$ $\psi_{oi} = 0,10$ $\psi_i = 0,10$	
parete/pavimento su terreno	GF6 GF6 $\psi_e = 0,45$ $\psi_{oi} = 0,60$ $\psi_i = 0,60$	

Ponte termico		Trasmittanza termica lineica	
partizione/parete	IW2	 IW2 $\psi_{\theta} = 0,95$ $\psi_{oi} = 0,95$ $\psi_i = 1,05$	
partizione/tetto	IW6	 IW6 $\psi_{\theta} = 0,00$ $\psi_{oi} = 0,00$ $\psi_i = 0,10$	
architrave, telaio, stipite	W8	 W8 $\psi_{\theta} = 1,00$ $\psi_{oi} = 1,00$ $\psi_i = 1,00$	

In assenza di scambi termici verso zone non climatizzate o verso zone climatizzate a differente temperatura, il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione risulta:

$$H_T = H_D + H_g$$

Ipotizzando per semplicità che la temperatura del terreno coincida con la temperatura esterna e trascurando l'effetto dei ponti termici puntuali, si ha:

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k$$

A seconda delle dimensioni adottate per calcolare le aree A_i e le lunghezze L_k , è necessario utilizzare un differente valore di trasmittanza lineica Ψ_k .

Uso delle dimensioni totali interne

Contributo dei componenti edilizi piani utilizzando le dimensioni totali interne

Elemento edilizio	Dimensioni [m]	U [W/m ² K]	calcolo	A _{oi} [m ²]	UA _{oi} [W/K]
porta	0.8 × 2	3.00	0.8 · 2	1.6	4.80
finestre	3 × 1.5	3.50	3 · 1.5 · 2	9.0	31.50
pareti verticali esterne		0.40	5 · 2.5 · 2 + 10 · 2.5 · 2 - 1.6 - 9	64.4	25.76
tetto		0.30	10 · 5	50.0	15.00
pavimento su terreno		0.35	10 · 5	50.0	17.50
				Totale	94.56

Contributo dei ponti termici utilizzando le dimensioni totali interne

Ponte termico		Ψ _{oi} [W/mK]	calcolo	L _{oi} [m]	Ψ _{oi} L _{oi} [W/K]
parete/tetto	R2	0.75	5 · 2 + 10 · 2	30.0	22.50
parete/parete	C2	0.10	2.5 · 4	10.0	1.00
parete/pavimento su terreno	GF6	0.60	5 · 2 + 10 · 2	30.0	18.00
partizione/parete	IW2	0.95	2.5 · 2	5.0	4.75
partizione/tetto	IW6	0.00	5 · 1	5.0	0.00
architrave, telaio, stipite	W8	1.00	(0.8 + 2) · 2 + (3 + 1.5) · 4	23.6	23.60
				Totale	69.85

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k = 94.56 + 69.85 = 164.41 \text{ W / K}$$

I ponti termici contribuiscono per il 42% al disperdimento termico totale.

Uso delle dimensioni interne

Contributo dei componenti edilizi piani utilizzando le dimensioni interne

Elemento edilizio	Dimensioni [m]	U [W/m ² K]	calcolo	A _i [m ²]	UA _i [W/K]
porta	0.8 × 2	3.00	0.8 · 2	1.6	4.80
finestre	3 × 1.5	3.50	3 · 1.5 · 2	9.0	31.50
pareti verticali esterne		0.40	5 · 2.5 · 2 + (10 - 0.12) · 2.5 · 2 - 1.6 - 9	63.8	25.52
tetto		0.30	(10 - 0.12) · 5	49.4	14.82
pavimento su terreno		0.35	(10 - 0.12) · 5	49.4	17.29
				Totale	93.93

Contributo dei ponti termici utilizzando le dimensioni interne

Ponte termico		Ψ _i [W/mK]	calcolo	L _i [m]	Ψ _i L _i [W/K]
parete/tetto	R2	0.75	5 · 2 + (10 - 0.12) · 2	29.76	22.32
parete/parete	C2	0.10	2.5 · 4	10.00	1.00
parete/pavimento su terreno	GF6	0.60	5 · 2 + (10 - 0.12) · 2	29.76	17.86
partizione/parete	IW2	1.05	2.5 · 2	5.00	5.25
partizione/tetto	IW6	0.10	5 · 1	5.00	0.50
architrave, telaio, stipite	W8	1.00	(0.8 + 2) · 2 + (3 + 1.5) · 4	23.60	23.60
				Totale	70.53

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k = 93.93 + 70.53 = 164.46 \text{ W / K}$$

Se si utilizzano le *dimensioni interne* (escludendo lo spessore della partizione interna), il peso dei ponti termici risulta praticamente invariato dal momento che è presente una sola partizione interna.

Uso delle dimensioni esterne

Contributo dei componenti edilizi piani utilizzando le dimensioni esterne

Elemento edilizio	Dimensioni [m]	U [W/m ² K]	calcolo	A _e [m ²]	UA _e [W/K]
porta	0.8 × 2	3.00	0.8 · 2	1.60	4.80
finestre	3 × 1.5	3.50	3 · 1.5 · 2	9.00	31.50
pareti verticali esterne		0.40	5.6 · 3 · 2 + 10.6 · 3 · 2 - 1.6 - 9	86.60	34.64
tetto		0.30	10.6 · 5.6	59.36	17.81
pavimento su terreno		0.35	10.6 · 5.6	59.36	20.78
<i>Totale</i>					<i>109.53</i>

Contributo dei ponti termici utilizzando le dimensioni esterne

Ponte termico		Ψ _e [W/mK]	calcolo	L _e [m]	Ψ _e L _e [W/K]
parete/tetto	R2	0.50	5.6 · 2 + 10.6 · 2	32.4	16.20
parete/parete	C2	-0.10	3 · 4	12.0	-1.20
parete/pavimento su terreno	GF6	0.45	5.6 · 2 + 10.6 · 2	32.4	14.58
partizione/parete	IW2	0.95	3 · 2	6.0	5.70
partizione/tetto	IW6	0.00	5.6 · 1	5.6	0.00
architrave, telaio, stipite	W8	1.00	(0.8 + 2) · 2 + (3 + 1.5) · 4	23.6	23.60
<i>Totale</i>					<i>58.88</i>

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k = 109.53 + 58.88 = 168.41 \text{ W/K}$$

I ponti termici contribuiscono per il 36% al disperdimento termico totale. Se si utilizzano le *dimensioni esterne*, il peso dei ponti termici diminuisce, rimanendo pressoché invariato il coefficiente H_T.

Correzione dei ponti termici

É possibile correggere i ponti termici IW2 e W8 con i ponti termici IW5 e W11, che presentano continuità nell'isolamento e valori pressoché nulli.

Ponte termico		Trasmittanza termica lineica	
partizione/parete	IW5	<p>IW5</p> <p>Ψ_e = 0,00 Ψ_{oi} = 0,00 Ψ_i = 0,10</p>	
architrave, telaio, stipite	W11	<p>W11</p> <p>Ψ_e = 0,00 Ψ_{oi} = 0,00 Ψ_i = 0,00</p>	

Contributo dei ponti termici utilizzando, ad esempio, le dimensioni totali interne

Ponte termico		Ψ_{oi} [W/mK]	calcolo	L_{oi} [m]	$\Psi_{oi}L_{oi}$ [W/K]
parete/tetto	R2	0.75	$5 \cdot 2 + 10 \cdot 2$	30.0	22.50
parete/parete	C2	0.10	$2.5 \cdot 4$	10.0	1.00
parete/pavimento su terreno	GF6	0.60	$5 \cdot 2 + 10 \cdot 2$	30.0	18.00
partizione/parete	IW5	0.00	$2.5 \cdot 2$	5.0	0.00
partizione/tetto	IW6	0.00	$5 \cdot 1$	5.0	0.00
architrave, telaio, stipite	W11	0.00	$(0.8 + 2) \cdot 2 + (3 + 1.5) \cdot 4$	23.6	0.00
<i>Totale</i>					<i>41.50</i>

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k \Psi_k = 94.56 + 41.50 = 136.06 \text{ W / K}$$

Il contributo dei ponti termici si riduce dal 42% al 30%, comportando una riduzione del 17% del coefficiente H_T .

Trasmittanze limite

Il **Decreto del Presidente della Repubblica N. 59-2009** afferma all'articolo 4 comma 4.

Nei casi di *ristrutturazione o manutenzione straordinaria*, previsti all'articolo 3, comma 2, lettera c), numero 1) del decreto legislativo 192-2005 e s.m.i., 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, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993 n. 412, il valore della trasmittanza termica (U) per le *strutture opache verticali* a **ponte termico corretto** delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo 192-2005 e s.m.i., in funzione della fascia climatica di riferimento. 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 192-2005 e s.m.i. devono essere rispettati dalla **trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico...**

b) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, il valore della trasmittanza termica (U) per le *strutture opache orizzontali o inclinate*, a **ponte termico corretto**, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo 192-2005 e s.m.i., in funzione della fascia climatica di riferimento. 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 nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo 192-2005 e s.m.i. devono essere rispettati dalla **trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico...**

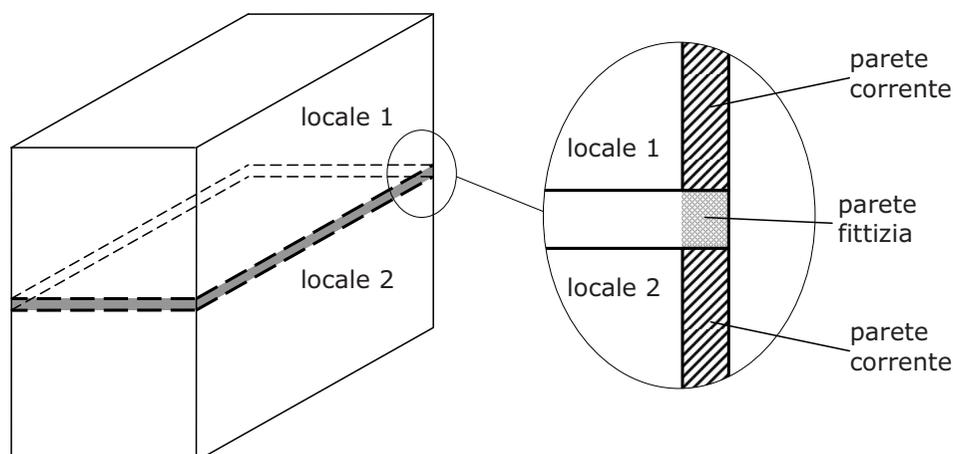
Il fatto che il valore limite della trasmittanza deve essere rispettato dalla trasmittanza termica media (parete corrente più ponte termico) nel caso di ponte termico non corretto è prescritto anche da **Regione Liguria** nel **Regolamento Regionale N. 1-2009** "Regolamento di attuazione della Legge Regionale N. 22 2007".

Regione Piemonte, nella **Deliberazione della Giunta Regionale N. 46-11968 del 4 agosto 2009** "Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a), b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 (Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia)", prescrive che i valori limite della trasmittanza devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media della parete, senza specificare se il ponte termico deve essere corretto o meno.

Viene definita **trasmittanza termica media di una struttura** il valore medio, pesato rispetto alle superfici lorde, delle trasmittanze dei singoli componenti della struttura posti in parallelo tra di loro, comprese le trasmittanze termiche lineari dei ponti termici ad essa attribuibili, se presenti (ovvero non corretti????).

Il **Decreto Legislativo N. 192-2005** definisce **ponte termico** "la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali".

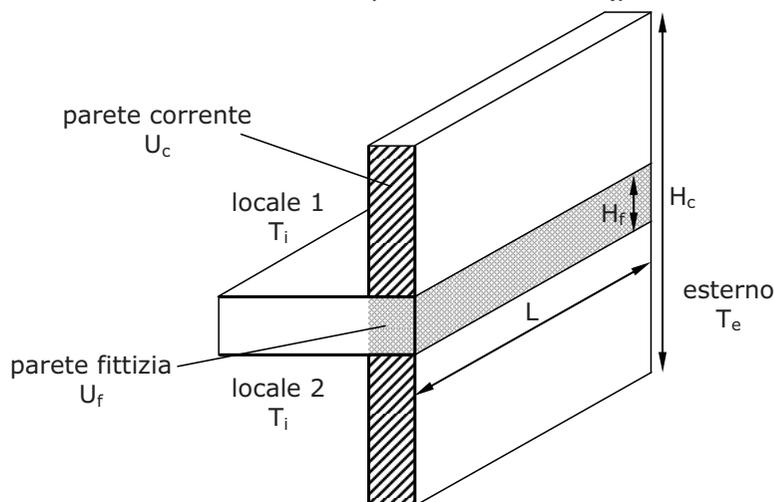
Si dice che il **ponte termico è corretto** "quando la trasmittanza termica della *parete fittizia* (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della *parete corrente*".



Si considera ad esempio il ponte termico dovuto alla giunzione tra la soletta di separazione tra due piani di un edificio e la parete verticale.

Siano T_i e T_e le temperature degli ambienti interno e esterno a lato del ponte termico.

Sia U_c la trasmittanza termica della parete verticale (parete corrente).



Il flusso termico scambiato attraverso il ponte termico risulta:

$$\phi_{pt} = \Psi L (T_i - T_e) \quad (*)$$

Ψ = trasmittanza termica lineica del ponte termico, ottenuta con i metodi riportati nella norma **UNI EN ISO 14683:2008**

L = lunghezza del ponte termico

Il flusso termico scambiato attraverso il ponte termico può essere espresso anche in termini della trasmittanza termica della parete fittizia, ovvero del tratto di parete verticale in corrispondenza del ponte termico:

$$\phi_{pt} = U_f A_f (T_i - T_e) \quad (**)$$

U_f = trasmittanza termica della parete fittizia

$A_f = H_f L$ = area della parete fittizia

Uguagliando la (*) e la (**) si ottiene la **trasmittanza termica della parete fittizia**:

$$\Psi L = U_f A_f$$

$$\Psi L = U_f H_f L$$

$$U_f = \frac{\Psi}{H_f}$$

Il ponte termico risulta **corretto** se si ha:

$$U_f \leq 1.15 U_c$$

Nel caso in cui il **ponte termico è corretto** deve essere $U_c \leq U_{limite}$, essendo U_{limite} il valore limite della trasmittanza secondo il **Decreto Legislativo 192-2005 e s.m.i.**

Nel caso in cui il **ponte termico** risulta **non corretto** ($U_f > 1.15 U_c$) deve essere $U_m \leq U_{limite}$, essendo U_m la **trasmissione termica media** della parete.

Nel caso in cui il ponte termico in oggetto competa per intero alla parete corrente e sia l'unico non corretto, la trasmissione termica media della parete può essere determinata come *media pesata sulle aree* della trasmissione della parete corrente e della parete fittizia.

Utilizzando le dimensioni lorde (esterne), risulta:

$$U_m = \frac{U_c A_c + U_f A_f}{A_c}$$

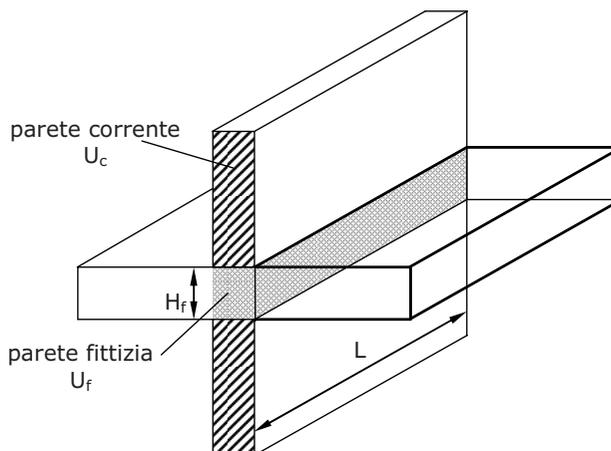
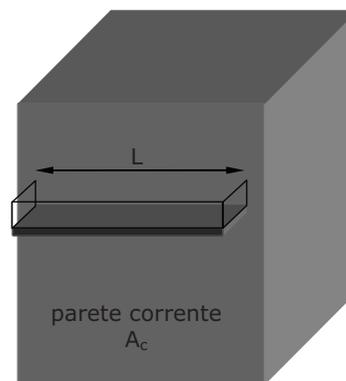
A_c = area della parete corrente

$A_f = H_f L$ = area della parete fittizia

Ne segue:

$$U_m = \frac{U_c A_c + \Psi L}{A_c} = U_c + \frac{\Psi L}{A_c}$$

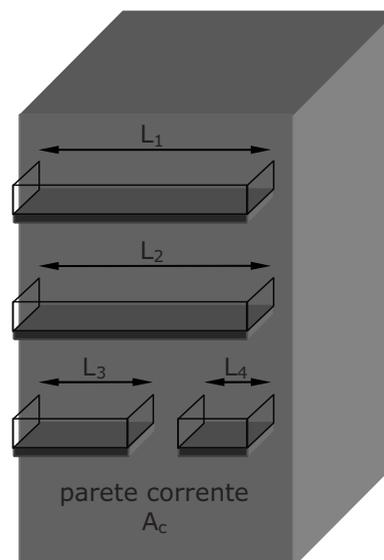
Esempio: edificio con isolamento a cappotto con un solo balcone.



Nel caso in cui alla parete corrente competano più ponti termici, risulta:

$$U_m = \frac{U_c A_c + \sum_i \Psi_i L_i}{A_c}$$

Esempio: edificio con isolamento a cappotto con più balconi.



Se un ponte termico compete a due pareti, il coefficiente lineico va ripartito a metà tra le due pareti correnti.

Esempio: edificio con pareti con isolamento nell'intercapedine e pilastri non isolati.

Risulta:

$$U_m = \frac{U_c A_c + \frac{\Psi_1}{2} L + \Psi_2 L + \Psi_3 L + \frac{\Psi_4}{2} L}{A_c}$$

