

Richiami sui ponti termici (cap. 4)

Autore: prof. ing. Francesco Minichiello, Università degli Studi di Napoli Federico II

Anno di compilazione: 2005

Nota: si ringrazia vivamente il prof. ing. Pietro Mazzei, sui cui preziosi appunti si basa parte di questa dispensa.

Precisazione preliminare: di seguito sono riportati alcuni esempi di ponti termici, facendo riferimento, per semplicità, all'approccio proposto nella norma tecnica UNI 7357, sebbene questa sia stata abrogata. In prima approssimazione e non in ottemperanza alla normativa vigente, i presenti appunti, basati sulla UNI 7357, possono essere comunque utili ad inquadrare la problematica dei ponti termici, fermo restando che le norme più aggiornate sui ponti termici sono la UNI EN ISO 14683 (2008) e la UNI EN ISO 10211 (2008).

4.1 Introduzione

La potenza termica dispersa da una parete piana può essere determinata in maniera semplice, se vengono verificate le seguenti ipotesi:

- il regime è stazionario;
- il materiale è omogeneo ed isotropo;
- l'altezza e la larghezza della parete sono di dimensioni molto maggiori rispetto al suo spessore;
- le temperature sulle superfici esterne della parete sono uniformi.

Tali ipotesi consentono di trattare il flusso termico come monodimensionale, e di poter trascurare gli effetti di bordo.

La potenza termica è quindi uguale a:

$$\dot{Q} = UA (T_i - T_e) \quad (4.1)$$

cioè al prodotto della trasmittanza unitaria per l'area della parete e per la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno.

Le pareti perimetrali degli edifici però nel loro insieme non sono perfettamente omogenee; infatti, nella muratura di tamponamento esterna sono presenti infissi vetrati o elementi strutturali (quali travi, pilastri e solai) che determinano differenze sostanziali di comportamento termico, avendo in genere valori della conduttività termica più elevati della muratura. Inoltre, lungo i bordi delle

murature, a causa degli innesti con altre pareti o con solai, vengono a determinarsi zone in cui l'ipotesi di flusso termico monodimensionale non è più soddisfatta, sia per la diversa conduttività termica delle strutture sia per la particolare geometria della zona di parete.

Queste configurazioni geometriche e strutturali che producono deviazioni dalle condizioni di flusso monodimensionale sono definite zone di ponte termico.

Si consideri, ad esempio, una parete di laterizi al cui interno sia inserito un pilastro di calcestruzzo (figura 4.1).

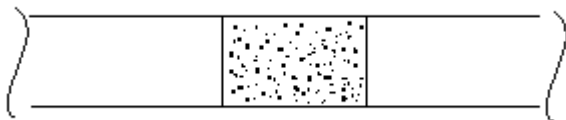
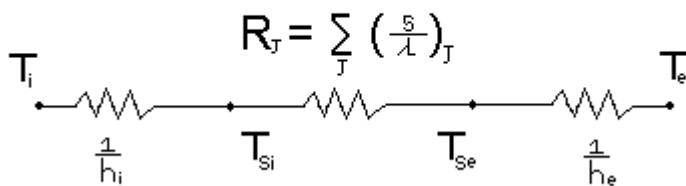


Figura 4.1 Parete di laterizi con pilastro in calcestruzzo

In corrispondenza della discontinuità della parete (pilastro) il diagramma $T(x)$, secondo l'ipotesi di flusso stazionario monodimensionale, dovrebbe presentare una discontinuità, con T_{si} minore essendo U maggiore. Infatti, risulta (figura 4.2):

Figura 4.2 Analogia elettrica



$$q = (T_i - T_{si}) h_i = U (T_i - T_e) \Rightarrow T_{si} = T_i - \frac{U}{h_i} (T_i - T_e) \quad (4.2)$$

In realtà la $T(x)$ è differente non essendo il flusso monodimensionale (figura 4.3).

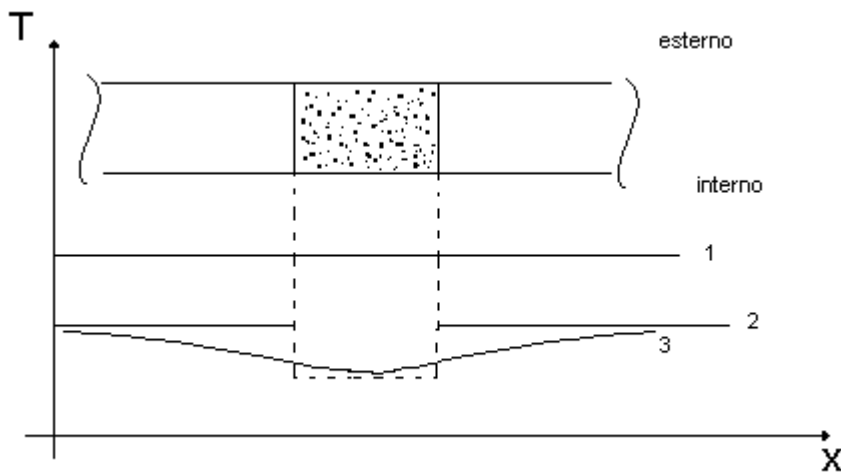


Figura 4.3 Parete di laterizi con pilastro in calcestruzzo: andamento della temperatura superficiale interna

1. T_i
2. andamento teorico della $T_{si}(x)$
3. andamento reale della $T_{si}(x)$

La zona del ponte termico è quella dove è localizzato il disturbo (più ampia di quella teorica, ma con temperature un po' più alte).

4.2 Classificazione dei ponti termici

Con riferimento alle strutture presenti nell'edilizia è possibile classificare i ponti termici come segue:

1. *ponti termici di forma*: sono zone in cui la deviazione dalla condizione di flusso termico monodimensionale è dovuta esclusivamente alla geometria della struttura.

Ad esempio (figura 4.4):

- lo spigolo fra due muri esterni di uguale struttura (1);
- l'innesto a T tra una muratura esterna ed una muratura interna di uguale struttura (2);

2. *ponti termici di struttura*: sono zone in cui la deviazione dalla condizione di flusso monodimensionale è dovuta esclusivamente alla presenza nella parete di un elemento costruttivo avente una diversa conduttività termica;

ad esempio:

- il giunto tra due pareti esterne mediante collegamenti metallici (3);
- il giunto tra una parete esterna ed un infisso (4);
- il giunto tra una parete esterna ed un pilastro in essa inserito (5);

3. *ponti termici di tipo misto*: sono zone in cui vi è una sovrapposizione di un ponte termico di forma con una struttura;

ad esempio:

- il giunto tra una parete esterna ed un solaio di copertura (6);

- il giunto tra una parete esterna ed un solaio di interpiano (7).
- l'innesto a T tra una muratura esterna ed una muratura interna di differente struttura (8);
- lo spigolo fra due muri esterni di differente struttura (9);
- un pilastro d'angolo inserito in una muratura esterna (10).

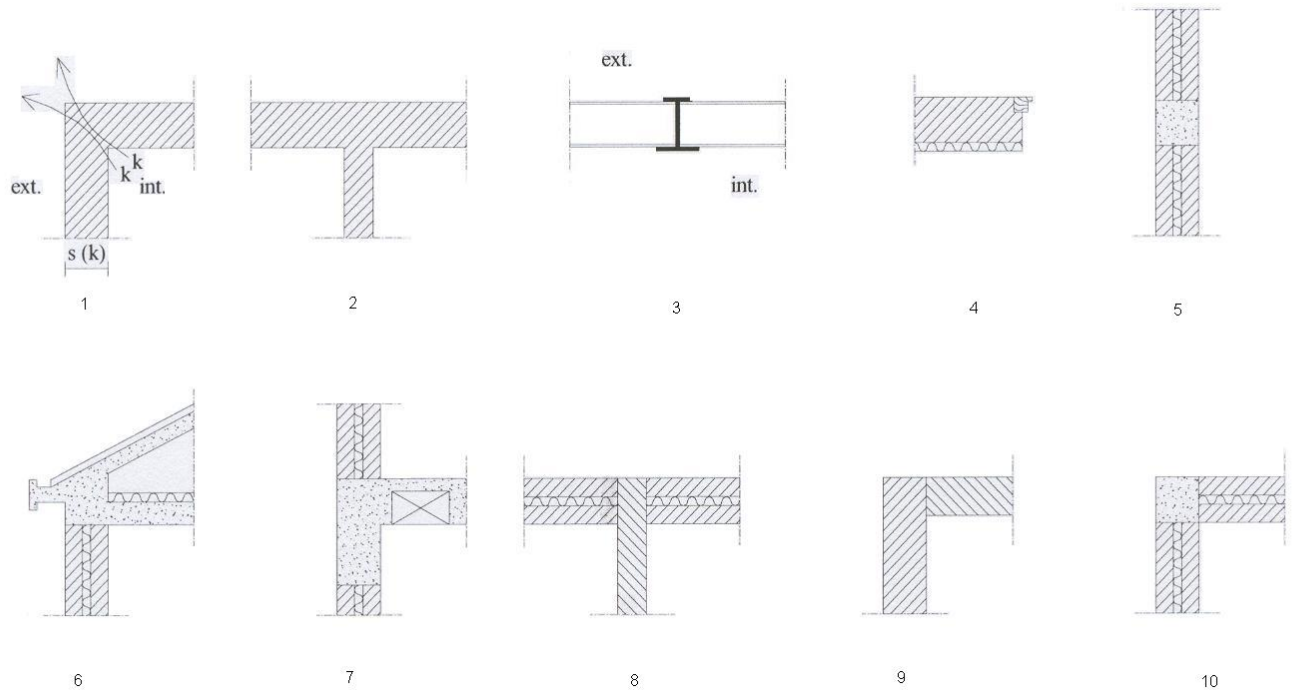


Figura 4.4 Esempi di ponti termici.

4.3 Effetti dei ponti termici

Nelle zone di ponte termico il flusso termico trasmesso attraverso le strutture è maggiore di quello calcolato nell'ipotesi di flusso termico monodimensionale. Inoltre, l'esistenza di un campo termico bidimensionale o tridimensionale rende non uniforme la temperatura superficiale delle pareti. Ad esempio nelle figure che seguono è riportato l'andamento qualitativo delle isoterme rispettivamente, nel caso di un pilastro d'angolo inserito in una muratura esterna (figura 4.5-a), e di un giunto tra una parete esterna ed un infisso (figura 4.5-b).

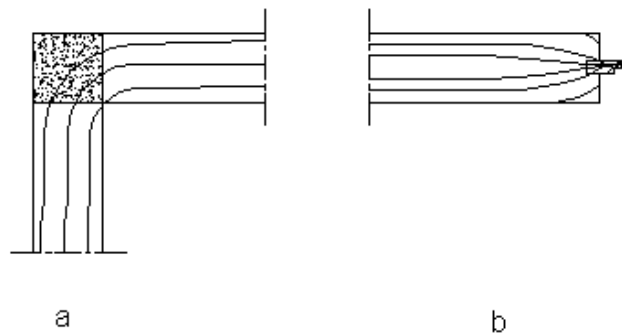


Figura 4.5 Andamento qualitativo delle temperature su una parete esterna in corrispondenza di un
 a) pilastro
 b) giunto tra parete ed infisso

Può accadere che quando la temperatura esterna è molto inferiore rispetto a quella interna e l'umidità relativa del locale è molto elevata, la temperatura superficiale interna nella zona di ponte termico scenda al di sotto della temperatura di rugiada, per cui può verificarsi la formazione di condensa.

Mentre l'incremento del flusso termico determina una maggiore dispersione di energia dall'ambiente interno verso l'esterno, l'eventuale formazione di condensa provoca, oltre ai fastidiosi problemi causati dalle macchie di umidità e/o di muffe con il tipico distacco dell'intonaco, anche un deterioramento delle caratteristiche meccaniche e fisiche dei materiali costituenti la parete, come l'aumento della conduttività termica, con ulteriore conseguente aumento del flusso termico disperso.

In conclusione, la corretta metodologia da seguire in questi casi è la seguente:

- determinare il campo di temperatura nella zona del ponte termico;
- verificare che i valori delle temperature superficiali interne siano maggiori della temperatura di rugiada corrispondente allo stato termoigrometrico dell'aria nell'ambiente;
- nel caso in cui ciò non sia verificato occorre procedere alla correzione del ponte termico con opportuni accorgimenti costruttivi;
- calcolare la potenza termica dispersa dal ponte termico.

4.4 Alcuni esempi di correzione dei ponti termici

Un ponte termico può essere eliminato o attenuato mediante un opportuno isolamento, riducendo così il flusso termico disperso e limitando anche l'effetto della diminuzione della temperatura sulla superficie interna della parete. Nell'eventualità che l'isolamento non sia perfettamente continuo in corrispondenza del ponte termico, la deviazione dalla condizione di flusso monodimensionale sarebbe ulteriormente accentuata a causa dell'aumento della differenza tra le conduttività termiche delle varie zone costituenti il ponte termico (fig. 4.6-c). Va notato, tuttavia, che non è sempre possibile realizzare un isolamento continuo per vincoli di natura architettonica o costruttiva. In tali casi è opportuno prevedere una sovrapposizione di due strati d'isolante sfalsati (fig. 4.6-d).

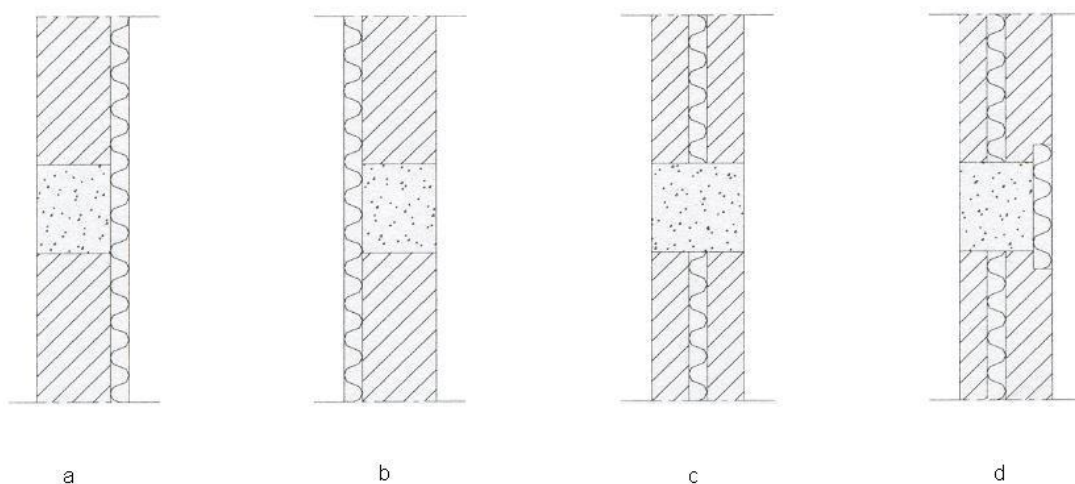


Figura 4.6 Correzione dei ponti termici

4.5 Calcolo della potenza termica dispersa da un ponte termico

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti deriva che lo studio della trasmissione del calore nelle zone di ponte termico è un problema multidimensionale di conduzione termica in regime stazionario. La complessità delle geometrie e delle condizioni al contorno comportano che la soluzione analitica dell'equazione differenziale che governa questo fenomeno non sia generalmente disponibile in letteratura e che la sua determinazione presenti notevoli difficoltà. Per tale ragione la soluzione del problema viene ottenuta mediante l'ausilio dei metodi numerici. Essi permettono di calcolare il coefficiente di trasmissione lineare k_L (o ψ), cioè la potenza termica dispersa per unità di

lunghezza del particolare ponte termico e per unità di differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno:

$$k_L = \frac{\dot{Q}_{pt}}{L(T_i - T_e)} \quad (4.3)$$

da cui si ottiene:

$$\dot{Q}_{pt} = k_L L (T_i - T_e) \quad (4.4)$$

dove la potenza termica \dot{Q}_{pt} rappresenta l'incremento di potenza rispetto alla condizione di flusso monodimensionale per la zona di ponte termico. La lunghezza caratteristica L dipende dal tipo di ponte termico; ad esempio, per i giunti tra pareti esterne ed interne L è l'altezza delle pareti, analogamente per i giunti di un pilastro inserito in una muratura o per un pilastro d'angolo L è pari all'altezza del pilastro; invece, nel caso di giunti tra solai di copertura o solai di interpiano e murature perimetrali L è uguale alla larghezza della parete.

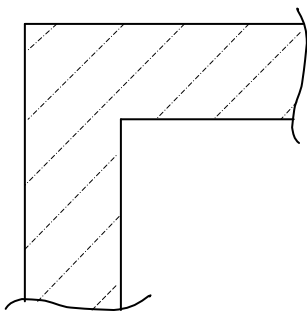
Esempio. Connessione verticale tra due pareti esterne uguali

$$\psi = 0,2 \cdot U \cdot s$$

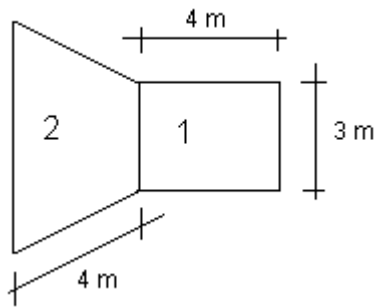
$$U = \text{trasmittanza della parete: } U = 1,66 \frac{W}{m^2 K}$$

$$s = \text{spessore della parete: } s = 0,4 \text{ m}$$

$$(T_i - T_e) = 22^\circ \text{ C}$$



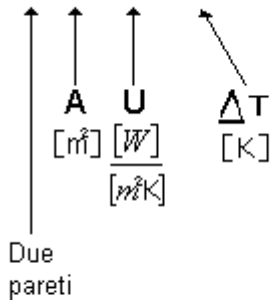
$$\Psi = 0,2 \cdot 1,66 \cdot 0,4 = 0,133 \frac{W}{m K}$$



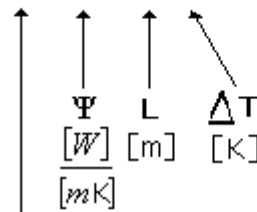
Dette 1 e 2 le due pareti concorrenti:

$$A_1 = A_2 = 12 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}' = 2 \cdot 12 \cdot 1,66 \cdot 22 = 877 \text{ W}$$



$$\dot{Q}'' = 2 \cdot 0,133 \cdot 3 \cdot 22 = 18 \text{ W}$$



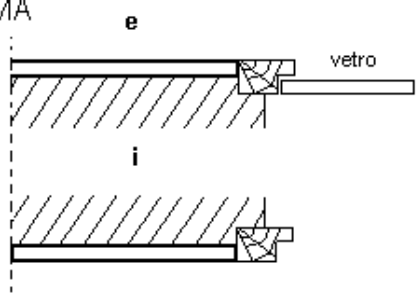
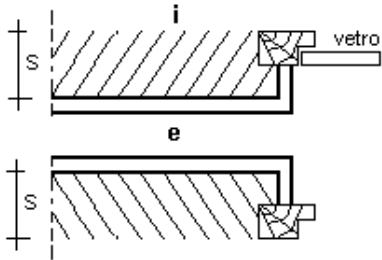
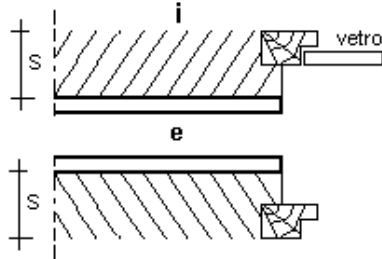
Attenzione: l'effetto del ponte termico va computato per ciascuna delle pareti concorrenti.

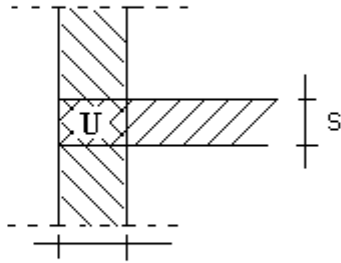
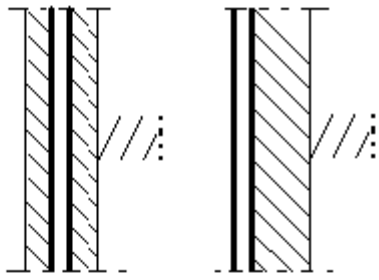
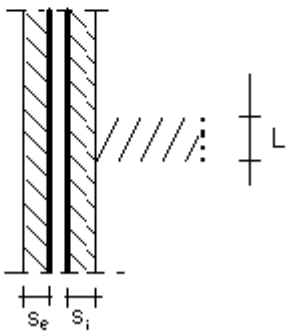
$$\dot{Q} = \dot{Q}' + \dot{Q}'' = 895 \text{ W}$$

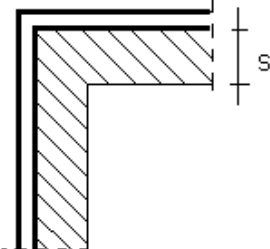
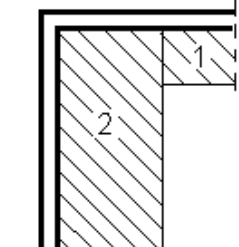
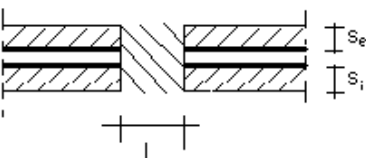
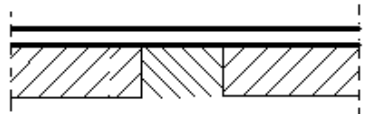
Vista la ripetitività delle tipologie architettoniche che generano i ponti termici, sulla base dei risultati ottenuti attraverso la risoluzione dell'equazione differenziale della conduzione mediante metodi numerici, sono state ricavate relazioni empiriche o tabelle che permettono la determinazione del coefficiente k_L per i più comuni tipi di ponti termici. Riguardo ai ponti termici, il riferimento normativo italiano è stato per lungo tempo la norma UNI 7357/74 "Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici". In tale norma viene valutata, utilizzando metodi empirici, la potenza termica dispersa o la trasmittanza termica lineica per alcuni tipi di ponti termici. La UNI 7357 è stata abrogata, e le norme principali riguardanti i ponti termici sono attualmente le seguenti: UNI EN ISO 14683 (2008), UNI EN ISO 10211 (2008).

Di seguito sono riportati alcuni esempi di ponti termici, facendo riferimento, per semplicità, all'approccio proposto nella UNI 7357. Infatti, in prima approssimazione e non in ottemperanza alla normativa vigente, i presenti appunti, basati sulla UNI 7357 ormai abrogata, possono essere comunque utili ad inquadrare la problematica dei ponti termici, fermo restando che le norme più aggiornate sui ponti termici sono la UNI EN ISO 14683 (2008) e la UNI EN ISO 10211 (2008).

ESEMPI DI PONTI TERMICI - VALUTAZIONE DELLA TRASMITTANZA LINEICA

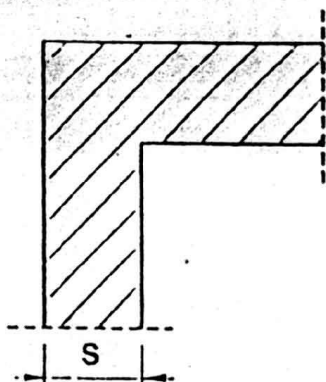
<p>GIUNTO MURO ESTERNO CON SERRAMENTO (il piano di giacitura dell'infisso coincide con quello dell'isolamento della parete)</p>	
<p>SCHEMA</p> 	<p>FORMULA</p> $\Psi \cong 0$
<p>GIUNTO MURO ESTERNO CON SERRAMENTO (telaio a filo interno; l'isolamento copre tutto lo stipite)</p>	
<p>SCHEMA</p> 	<p>FORMULA</p> $\Psi = 0,6 \cdot U \cdot s$ <p>dove :</p> <p>U = trasmittanza unitaria della parete non isolata [W/m²K]</p> <p>s = spessore della parete senza isolamento [m]</p>
<p>GIUNTO MURO ESTERNO CON SERRAMENTO (telaio a filo interno; l'isolamento non raggiunge l'infisso)</p>	
<p>SCHEMA</p> 	<p>FORMULA</p> $\Psi = \frac{0,6 \cdot s}{0,06 + R_m}$ <p>dove :</p> <p>R_m = resistenza termica specifica della parete (senza isolamento) [m²K/W]</p> <p>s = spessore della parete senza isolamento [m]</p>

GIUNTO MURO ESTERNO CON MURO INTERNO (Parete esterna a isolamento ripartito)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi = 0,4 \cdot U \cdot s$ dove : U = trasmittanza unitaria della parete fittizia posta in corrispondenza della parete interna [W/m ² K] s = spessore della parete interna [m]
GIUNTO MURO ESTERNO CON MURO INTERNO (parete isolata esternamente)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi \cong 0$
GIUNTO MURO ESTERNO CON MURO INTERNO (parete esterna con isolamento interrotto)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi = 0,4 \cdot U \cdot L + 0,4 \cdot (U - U_0) \cdot f(y)$ dove : $f(y) = 0,26y^2 + 0,31y + 0,02$ $y = s_i / (s_i + s_e)$ U = trasmittanza unitaria della parete non isolata [W/m ² K] U₀ = trasmittanza unitaria della parete isolata [W/m ² K] L = larghezza del tratto non isolato [m]

ANGOLO DI DUE PARETI (isolamento sul lato esterno con spessori della parete uguali)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi = 0,6 \cdot U \cdot s$ dove : U = trasmittanza unitaria della parete [$W/m^2 K$] s = spessore della parete senza isolamento [m]
ANGOLO DI DUE PARETI (isolamento sul lato esterno con spessori diversi delle due pareti)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi = 0,6 \cdot U_2 \cdot \bar{s}$ dove : U_2 = trasmittanza unitaria della parete che forma lo spigolo [$W/m^2 K$] \bar{s} = media aritmetica degli spessori [m]
PARETE ISOLATA CON PILASTRO (con interruzione di isolamento)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi = U \cdot L + (U - U_0) \cdot f(y)$ dove : $f(y) = 0,26y^2 + 0,31y + 0,02$ con $y = s_i / (s_i + s_e)$ dove : U = trasmittanza unitaria della parete non isolata [$W/m^2 K$] U_0 = trasmittanza unitaria della parete isolata [$W/m^2 K$] L = larghezza del tratto non isolato [m]
PARETE ISOLATA CON PILASTRO (senza interruzione di isolamento)	
SCHEMA 	FORMULA $\Psi \cong 0$

**ANGOLO DI DUE PARETI
(Isolamento ripartito nelle pareti)**

SCHEMA



FORMULA

$$\psi = 0,2 \cdot U \cdot s$$

dove:

U = trasmittanza unitaria della parete (W/m² K)

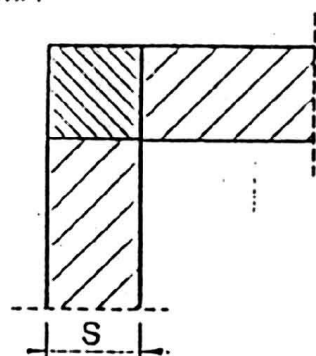
s = spessore della parete (m)

$$\psi = \frac{0,2 \bar{s}}{0,2 + R_2 \frac{s_1}{s_2}}$$

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2}{2}$$

**ANGOLO DI DUE PARETI
(Pilastro d'angolo in calcestruzzo)**

SCHEMA



FORMULA

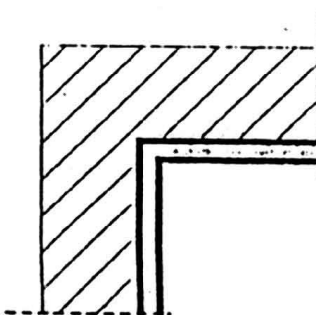
$$\psi = 0,45 \cdot s$$

dove:

s = media aritmetica degli spessori delle due pareti (m)

**ANGOLO DI DUE PARETI
(Isolamento sul lato interno)**

SCHEMA



FORMULA

$$\psi \cong 0$$