

# Il calcolo semplificato dei ponti termici

Tratto da

## I Ponti termici in edilizia Studio, calcolo e modalità di eliminazione



Prontuario tecnico

# **Il calcolo semplificato dei ponti termici**

*a cura di* **Maurizio Cudicio**

# 4

## CALCOLO SEMPLIFICATO DEI PONTI TERMICI

Il metodo di calcolo semplificato dei ponti termici permette di determinare i flussi termici in corrispondenza delle giunzioni più significative dell'edificio, come ad esempio nei nodi tra solai e pareti o in corrispondenza di pilastri. Questo metodo di calcolo non si applica a ponti termici associati a porte, finestre o facciate nel caso in cui queste si configurino come soluzioni edilizie di rivestimento esterno autoportante e distanziato dalla parete reale costituente l'involucro edilizio del fabbricato.



### 4.1 DETERMINAZIONE DEL FLUSSO DI CALORE

Nel calcolo semplificato è possibile calcolare il flusso di calore  $P$  in Watt attraverso il ponte termico, note la temperatura interna  $T_i$  e la temperatura esterna  $T_e$ . Per la determinazione della potenza che attraversa il nodo edilizio caratterizzato dalla presenza di un ponte termico, si ricorrerà alla seguente formula.

$$P = H_T \cdot (T_i - T_e) \quad \text{Formula 26}$$

Dove:

$H_T$  Perdita di calore per trasmissione misurata in W/m calcolato con la formula seguente.

$$H_T = L + L_s + L_U \quad \text{Formula 27}$$

Dove:

$L_s$  Coefficiente di scambio termico attraverso il terreno misurato in W/K e determinato in accordo con la norma EN ISO 13370/2008

$L_U$  Coefficiente di scambio termico attraverso ambienti non climatizzati misurato in W/K ISO 13789/2008

$L$  Coefficiente di accoppiamento termico attraverso l'involucro edilizio misurato in W/K e calcolato secondo la formula 27

$T_i$  Temperatura interna misurata in °C

$T_e$  Temperatura esterna misurata in °C

Per la determinazione del coefficiente di accoppiamento termico, si dovrà utilizzare la seguente formula.

$$L = \sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j \quad \text{Formula 28}$$

Dove:

$U_i$  Trasmittanza termica dell' $i$ -esimo componente dell'involucro edilizio misurata in W/(m<sup>2</sup>K)

$A_i$  Area del componente dell'involucro edilizio contraddistinta da una trasmittanza  $U_i$  misurata in m<sup>2</sup>

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\psi_k$ | Trasmittanza termica lineica del k-esimo ponte termico lineare misurata in W/(mK) che corrisponde al flusso termico determinato in regime stazionario diviso per la lunghezza e la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato del ponte termico. |
| $l_k$    | Lunghezza lungo la quale si applica la $\psi_k$ misurata in m                                                                                                                                                                                                         |
| $\chi_j$ | Trasmittanza termica puntuale del j-esimo ponte termico puntuale misurata in W/K                                                                                                                                                                                      |

In linea generale, i ponti termici puntuali possono essere trascurati, tuttavia se questi sono significativi, dovranno essere calcolati secondo le modalità già descritte in precedenza.

La trasmittanza termica lineica  $\psi$ , corrisponde al flusso termico in regime stazionario diviso per la lunghezza e la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato del ponte termico e può essere calcolata mediante la formula seguente.

$$\psi = L^{2D} - \sum U_i \cdot l_i \quad \text{Formula 29}$$

Dove:

|          |                                                                                                                                                                |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L^{2D}$ | coefficiente di accoppiamento termico lineico ottenuto con un calcolo bidimensionale del componente che separa i due ambienti considerati e misurato in W/(mK) |
| $U_i$    | trasmittanza termica dell'i-esimo componente dell'involucro edilizio misurata in W/(m <sup>2</sup> K)                                                          |
| $l_i$    | è la lunghezza nel modello geometrico bidimensionale cui si applica il valore di $U_i$ misurata in m                                                           |

Data la complessità nella determinazione del coefficiente di accoppiamento termico  $L^{2D}$ , e della trasmittanza termica lineica  $\psi$ , nel capitolo successivo sono stati riportati i valori di alcuni dei più tipici ponti termici presenti nel settore edile.

I valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$  sono stati tabellati con arrotondamento pari a 0,050 W/(mK) e si basano su diversi parametri come da elenco seguente:

- $\Psi_i$  che considera le dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- $\Psi_{oi}$  che considera le dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- $\Psi_e$  che considera le dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.

Allo stesso modo sono stati standardizzati i valori del coefficiente di accoppiamento termico lineico  $L^{2D}$ . Nei capitoli seguenti verranno trattati ed indicati i valori di  $\psi$  e di  $L^{2D}$ .

## 4.2 DETERMINAZIONE DEI PONTI TERMICI

È possibile determinare l'influenza dei ponti termici procedendo con vari metodi tra cui:

- Calcolo numerico accurato;
- Utilizzo di un atlante dei ponti termici;
- Calcolo manuale dei ponti termici;
- Individuazione dei valori di trasmittanza termica lineica e di accoppiamento termico lineico.

Queste quattro metodologie comportano un certo grado di incertezza come riportato nella tabella seguente.

| Metodo                    | Incertezza prevista |
|---------------------------|---------------------|
| Calcolo numerico accurato | $\pm 5,00\%$        |
| Atlante dei ponti termici | $\pm 20,00\%$       |
| Calcoli manuali           | $\pm 20,00\%$       |
| Valori di progetto        | Da 0,00% a + 50,00% |

**Tabella 24** - Incertezza prevista nella determinazione della trasmittanza termica lineica

#### 4.2.1 Atlante dei ponti termici

L'Atlante dei ponti termici è una raccolta nella quale sono riportate varie soluzioni costruttive per le quali sono specificati i valori di trasmittanza termica lineica. Ovviamente questo metodo presenta alcune limitazioni perché i valori di trasmittanza termica, piuttosto che il coefficiente di accoppiamento termico lineico, sono stati determinati e tabellati fissando necessariamente alcuni parametri. Sono però un valido strumento per analizzare e stimare preventivamente i flussi di calore che possono verificarsi attraverso il ponte termico. È ovvio pertanto che per poter utilizzare l'atlante dei ponti termici ed avere la certezza di non commettere errori, è necessario che le dimensioni e le proprietà termiche dei materiali siano simili alla situazione riportata tra la casistica in esso riportata. Questo significa che spesso si possono trovare le informazioni necessarie perché al suo interno si trova una rispondenza con l'elemento che si sta analizzando, mentre altre volte questo sistema non è utilizzabile.

Va però specificato che l'atlante deve fornire una serie di informazioni tra cui:

- Riportare in modo chiaro ed inequivocabile come siano stati ottenuti i valori di trasmittanza termica lineica;
- Riportare le dimensioni del modello e le caratteristiche tecniche dei singoli materiali presenti nella stratigrafia del modello considerato;
- Riportare le resistenze termiche interne ed esterne adottate per la determinazione dei valori tabellari.

#### 4.2.2 Calcolo manuale dei ponti termici

Esistono vari metodi di calcolo manuale dei ponti termici, per i quali però non è facilmente determinabile quanto siano accurati, soprattutto perché molti di questi calcoli sono applicabili solo a specifiche situazioni.

I calcoli manuali devono fornire anche le seguenti informazioni:

- Tipologie dei dettagli strutturali ai quali si applicano.
- Limiti dimensionali di validità del modello.
- Limiti della conduttività termica dei materiali considerati.
- Valori della resistenza termica utilizzata.
- Stima dell'accuratezza ed errore massimo.

### 4.2.3 Valori di trasmittanza termica lineica

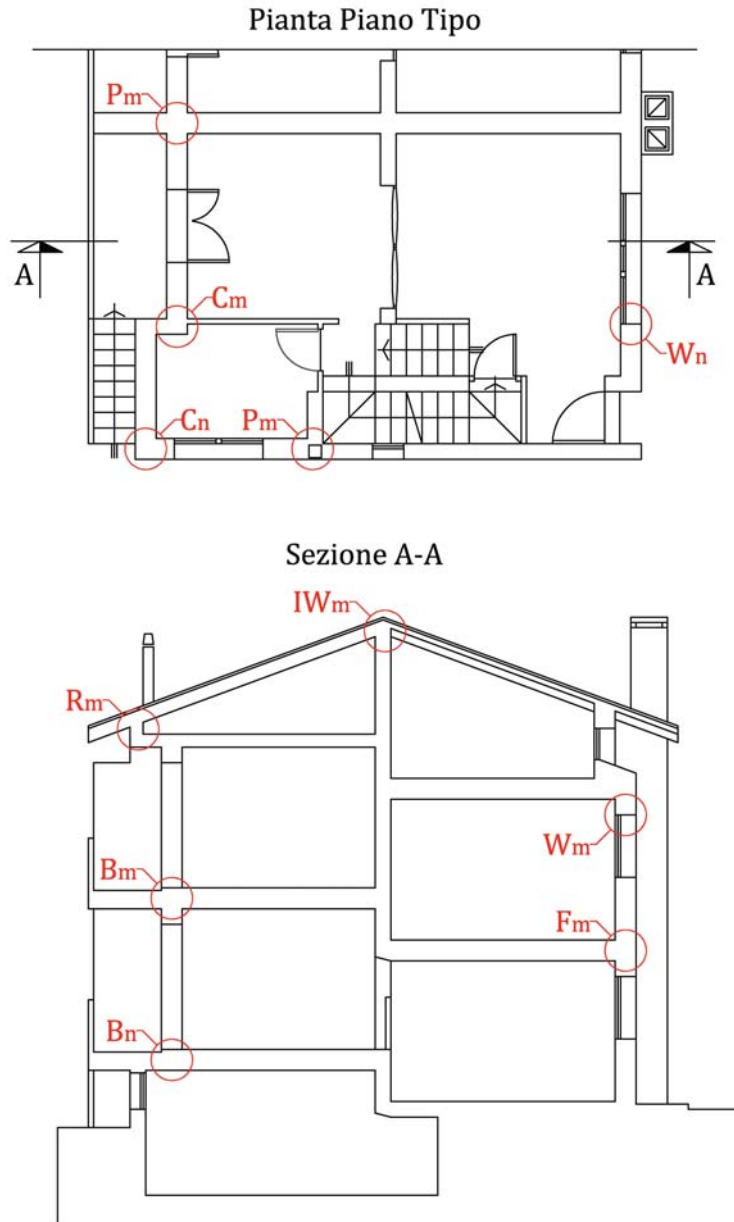
Come detto in precedenza è possibile determinare numericamente i valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$ , anche se questo richiede una serie di calcoli approfonditi e non sempre semplici. Molto spesso, è possibile adottare delle semplificazioni per la determinazione di tali valori. È questo il caso nel quale si può ricorrere a valori tabellari, suddivisi per le varie tipologie di ponti termici.

I valori di  $\psi$  indicati nelle pagine seguenti sono stati determinati eseguendo una modellazione solida 2D secondo le specifiche già evidenziate nei capitoli precedenti. L'esecuzione delle modellazioni seguenti sono da considerarsi come supporto alla progettazione anche se casi particolari o specifici devono essere valutati in modo approfondito. Le risultanti delle modellazioni seguenti sono state determinate utilizzando i valori riportati di seguito (Valori differenti porteranno a risultati diversi)

|                                              |          |                         |
|----------------------------------------------|----------|-------------------------|
| 1. Resistenza termica superficiale esterna   | $R_{se}$ | 0,130 $m^2K/W$          |
| 2. Resistenza termica superficiale interna   | $R_{si}$ | 0,040 $m^2K/W$          |
| 3. Spessore totale assunto per tutte pareti  | $S$      | 0,300 m                 |
| 4. Valori utilizzati per pareti isolate      |          |                         |
| 4.1 Trasmittanza termica                     | $U$      | 0,343 $W/(m^2 \cdot K)$ |
| 4.2 Resistenza termica dello strato isolante | $R$      | 2,500 $m^2 \cdot K/W$   |
| 5. Valori utilizzati per pareti non isolate  |          |                         |
| 5.1 Trasmittanza termica                     | $U$      | 0,375 $W/(m^2 \cdot K)$ |
| 6. Valori per tutte le solette               |          |                         |
| 6.1 Spessore totale                          | $S$      | 0,150 m                 |
| 6.2 Conduttività termica equivalente         | $l$      | 2,000 $W/(m \cdot K)$   |
| 7. Valori per i tetti                        |          |                         |
| 7.1 Trasmittanza termica                     | $U$      | 0,365 m                 |
| 7.2 Resistenza termica                       | $R$      | 2,500 $m^2 \cdot K/W$   |
| 8. Valori per i telai                        |          |                         |
| 8.1 Spessore totale                          | $S$      | 0,100 m                 |
| 9. Valori per i pilastri                     |          |                         |
| 8.1 Spessore totale                          | $S$      | 0,300 m                 |
| 8.2 Conduttività termica equivalente         | $l$      | 2,000 $W/(m \cdot K)$   |

Questi parametri sono stati scelti in modo da ottenere valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$  di progetto che siano prossimi ai valori massimi ottenibili da un determinato ponte termico. È evidente che gli stessi rappresentano una sovrastima cautelativa degli effetti dei ponti termici, pertanto possono essere ritenuti validi per eseguire una verifica preliminare. È evidente pertanto che nel caso in cui le strutture e/o le condizioni al contorno siano migliori rispetto a quelle prese a riferimento, adottando tale metodo, si otterranno valori di potenza termica dispersa superiori rispetto alla realtà.

Nella figura 19 sono riportate le posizioni dei ponti termici presenti normalmente all'interno di un edificio. Essa è da intendersi come legenda identificativa dei particolari rappresentati in seguito.



**Figura 19** - Posizione tipica dei normali ponti termici

La lettera maiuscola vicino ad ogni ponte termico indica la tipologia di ponte termico e il pedice indica lo specifico ponte termico, per esempio  $IW_n$  indica un ponte termico in corrispondenza della giunzione dell'involucro esterno con una parete interna e  $IW_m$  indica un ponte termico dello stesso tipo, ma in un'altra posizione.

Nei paragrafi successivi sono individuabili i valori di trasmittanza termica lineica, per la determinazione dei quali sono state effettuate delle simulazioni 2D considerando quattro diverse posizioni dello strato coibente:

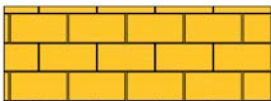
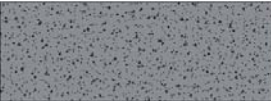
- sul lato esterno;
- nella parte intermedia;

- sul lato interno;
- uniformemente distribuito nella struttura, situazione tipica identificabile nei casi in cui siano utilizzate pareti in muratura leggera o pareti con intelaiatura di legno.

In ogni singolo dettaglio pertanto è possibile individuare i valori relativi all'accoppiamento termico lineico bidimensionale  $L^{2D}$  e tre differenti valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$ :

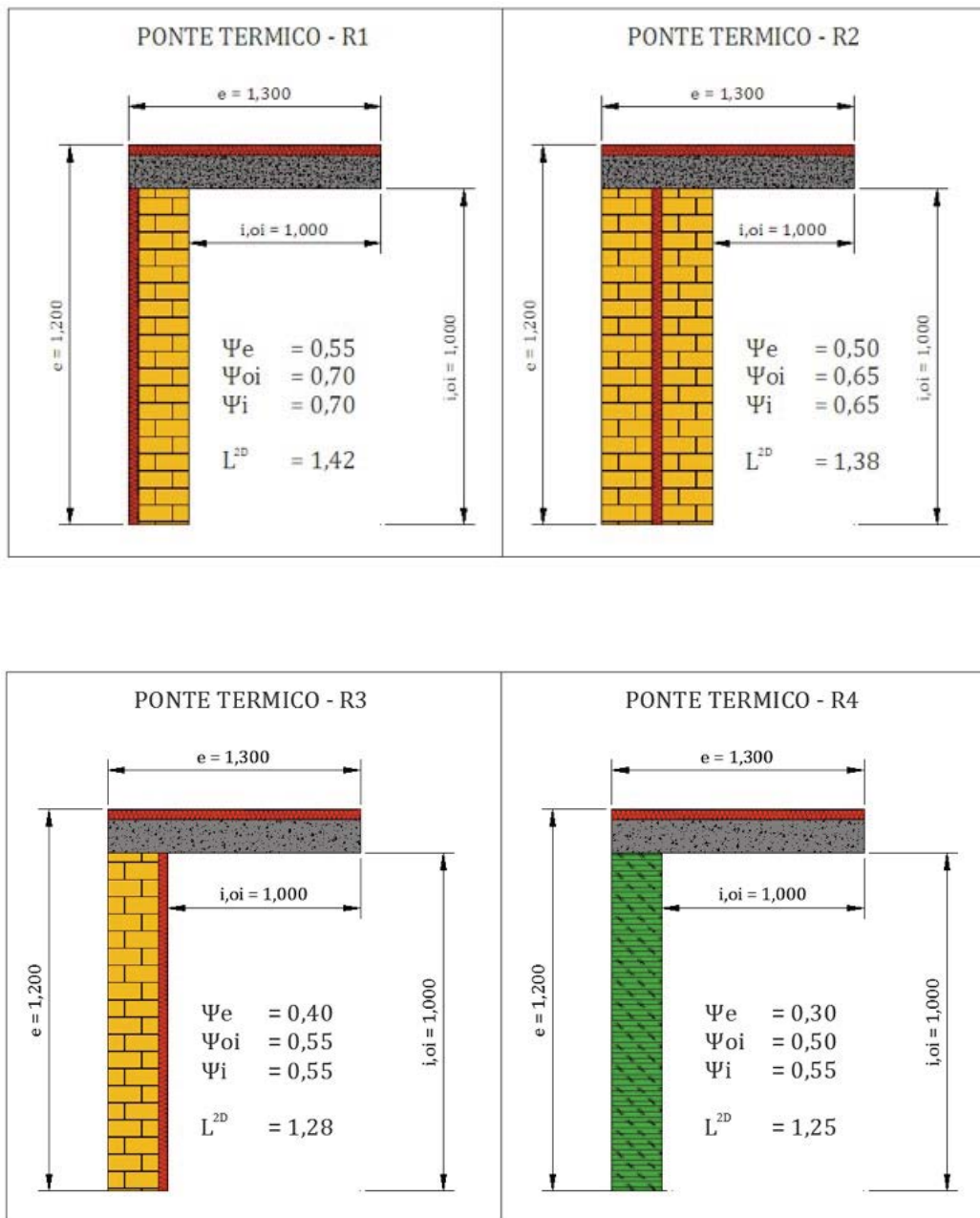
- $\psi_i$  basato sulle dimensioni interne;
- $\psi_{oi}$  basato sulle dimensioni totali interne;
- $\psi_e$  basato sulle dimensioni esterne.

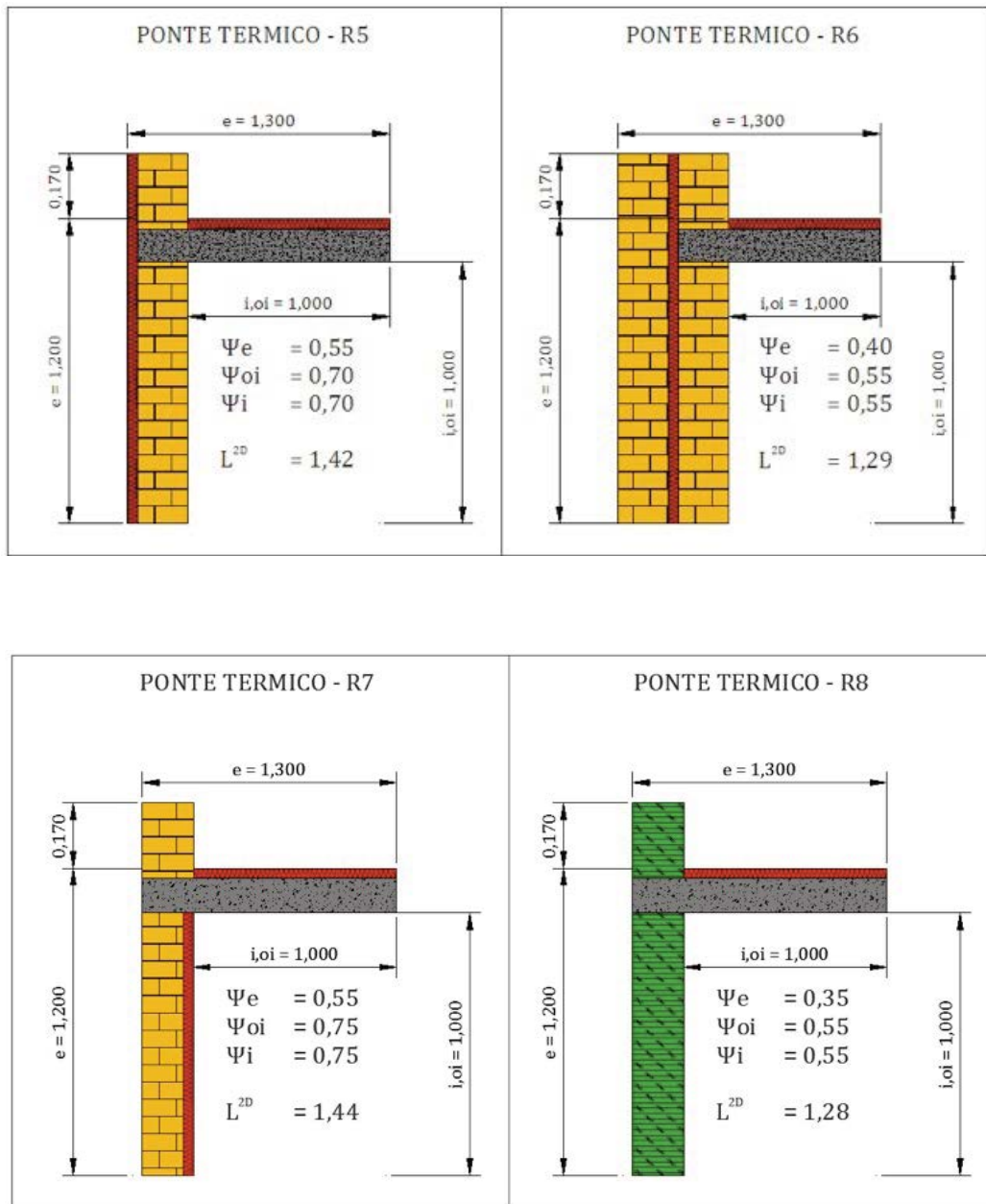
La simbologia adottata per i disegni è la seguente.

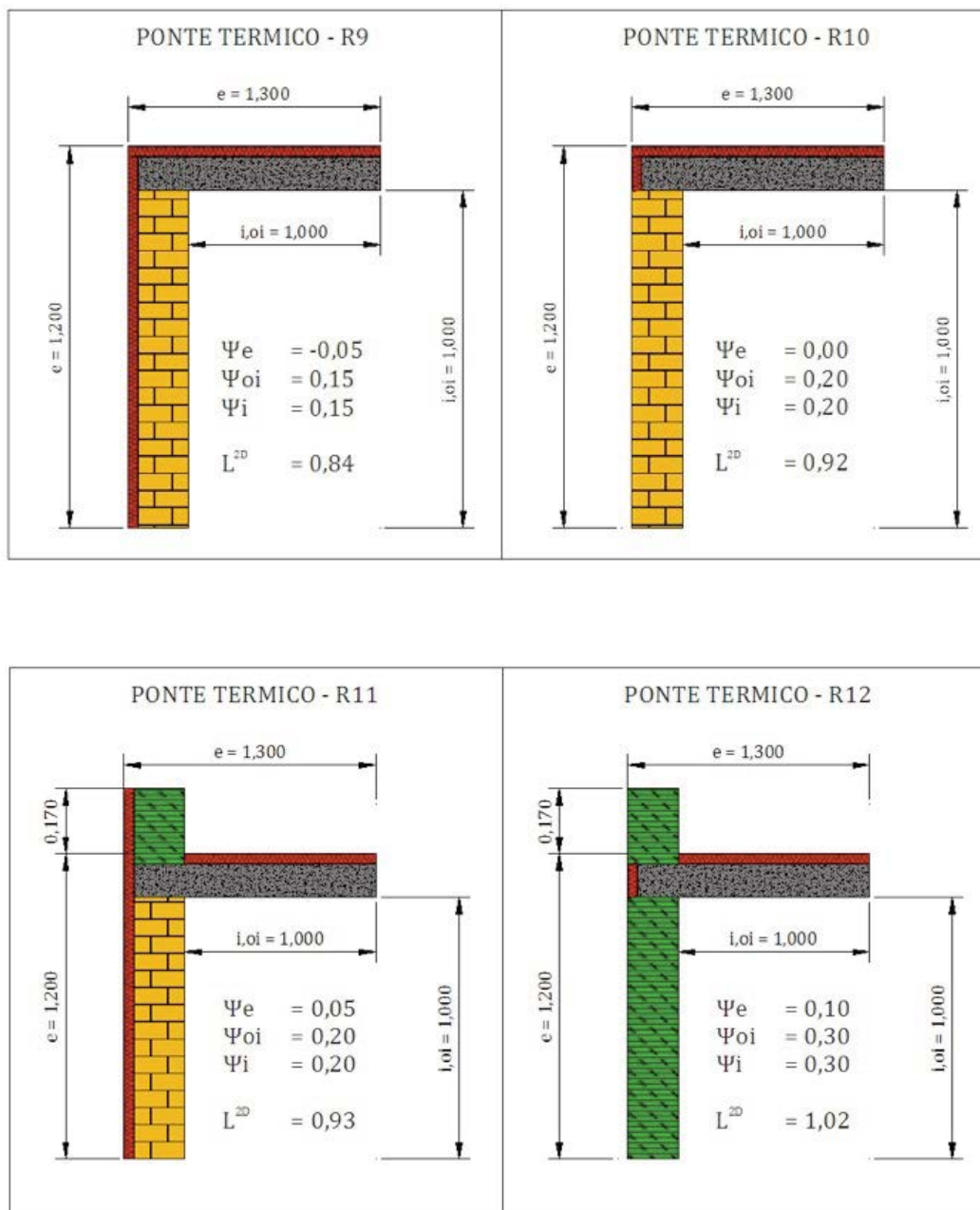
| Simbolo                                                                             | Descrizione                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|    | Parete o struttura in laterizio                   |
|    | Strato coibente                                   |
|    | Solaio in latero-cemento                          |
|    | Parete leggera del tipo con intelaiatura di legno |
|   | Pilastro o altro elemento in cemento armato       |
|  | Elemento ligneo o telaio serramento               |
| <b>i</b>                                                                            | Dimensioni INTERNE                                |
| <b>e</b>                                                                            | Dimensioni ESTERNE                                |
| <b>oi</b>                                                                           | Dimensioni INTERNE GLOBALI                        |



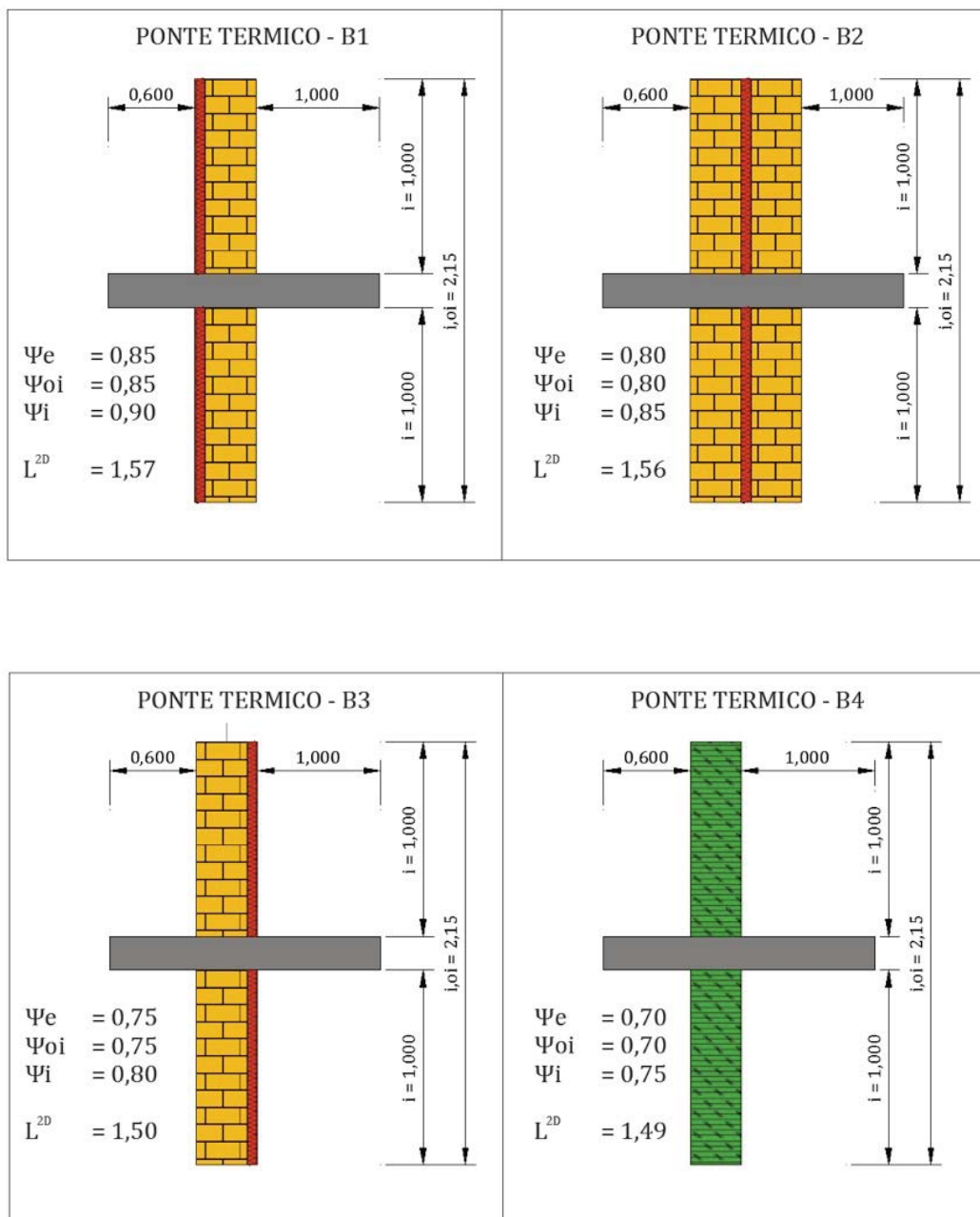
#### 4.2.3.1 Solaio



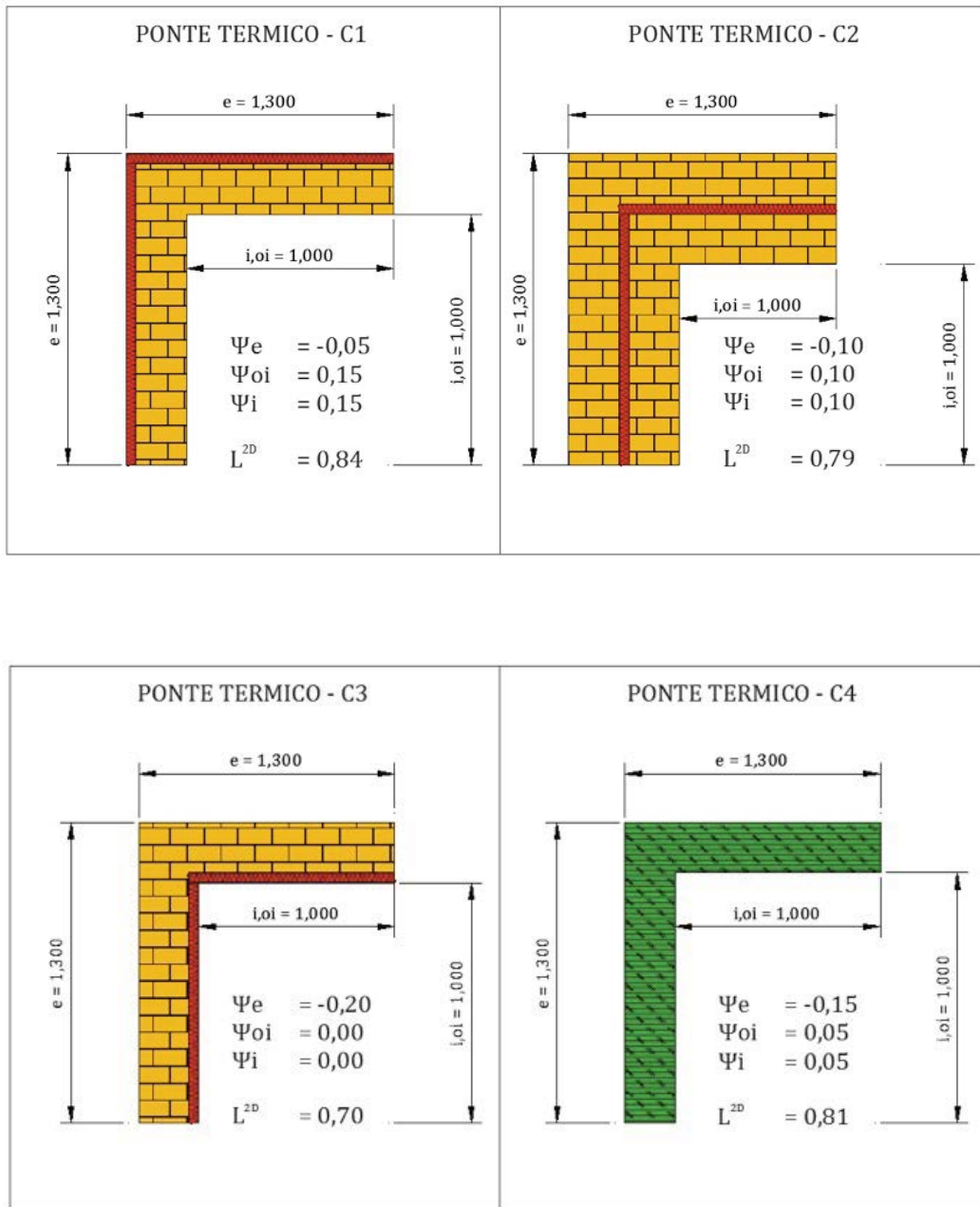




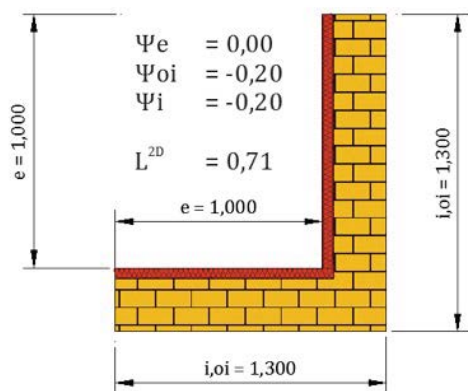
#### 4.2.3.2 Balconi e poggiali



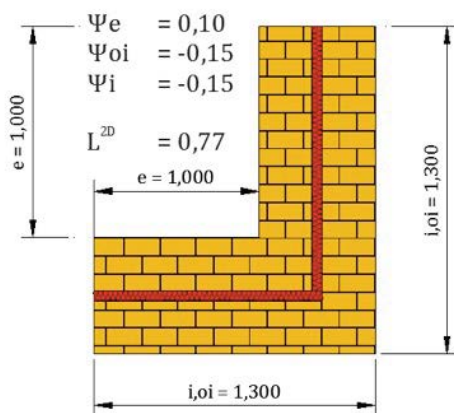
#### 4.2.3.3 Angoli



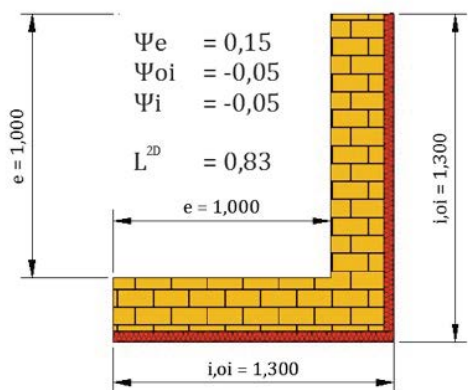
PONTE TERMICO - C5



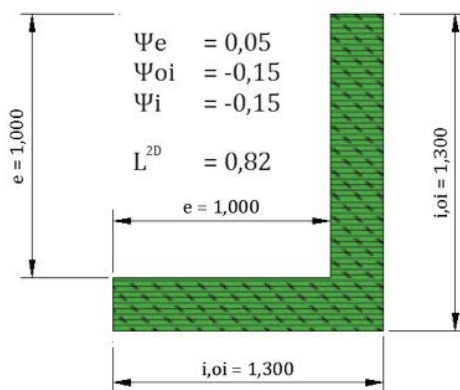
PONTE TERMICO - C6



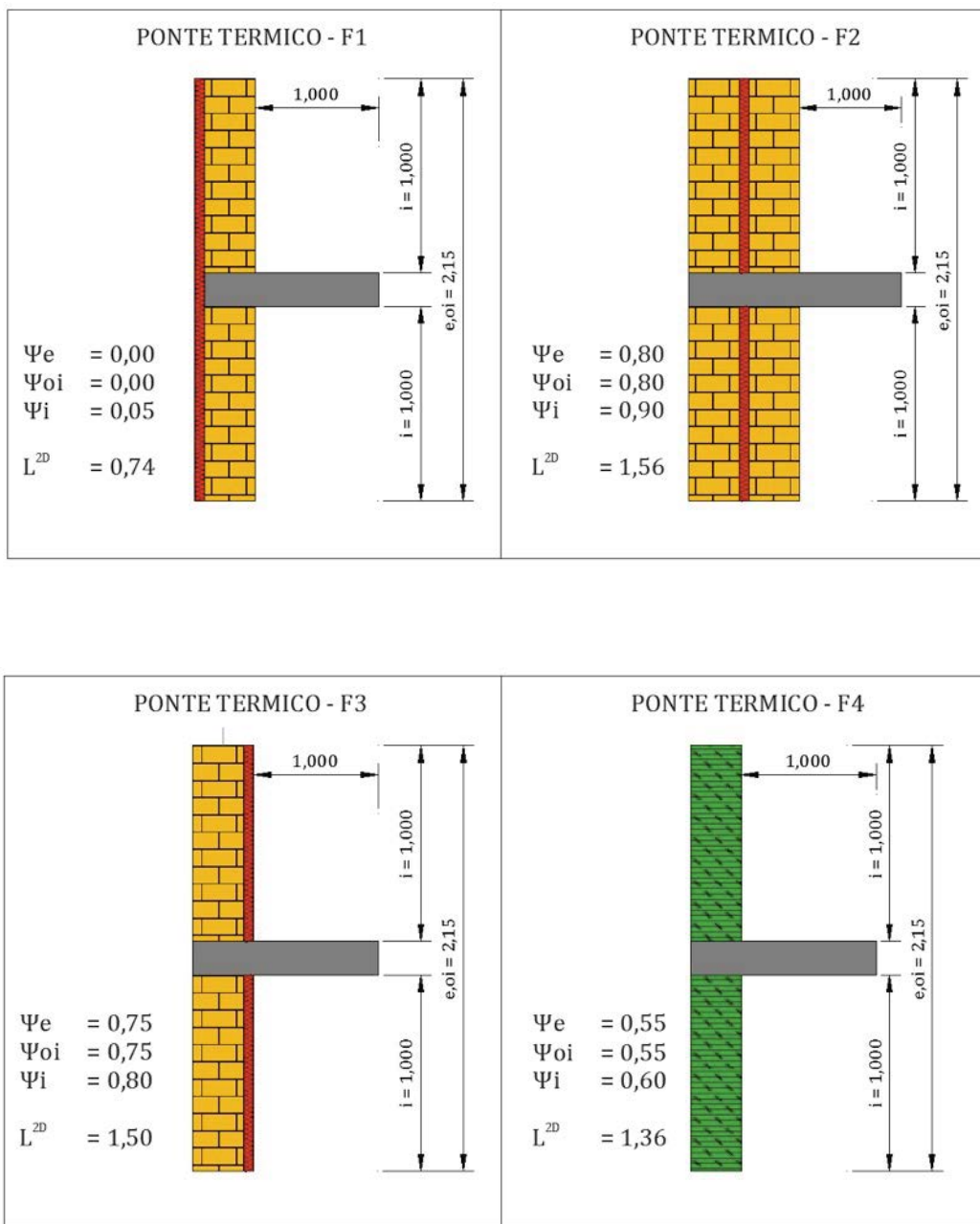
PONTE TERMICO - C7



PONTE TERMICO - C8



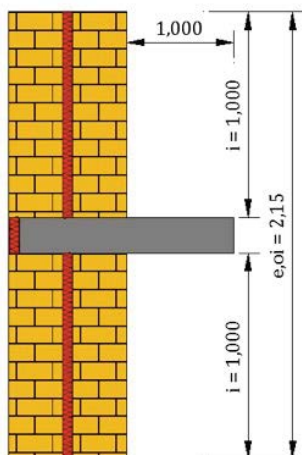
#### 4.2.3.4 Pavimenti





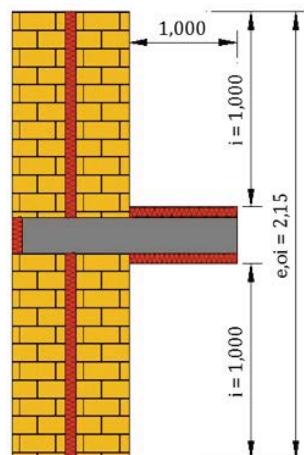
PONTE TERMICO - F5

$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,60 \\ \Psi_{oi} &= 0,60 \\ \Psi_i &= 0,65 \\ L^{2D} &= 1,33\end{aligned}$$



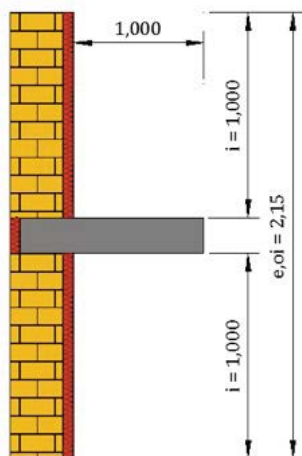
PONTE TERMICO - F6

$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,65 \\ \Psi_{oi} &= 0,65 \\ \Psi_i &= 0,70 \\ L^{2D} &= 1,40\end{aligned}$$



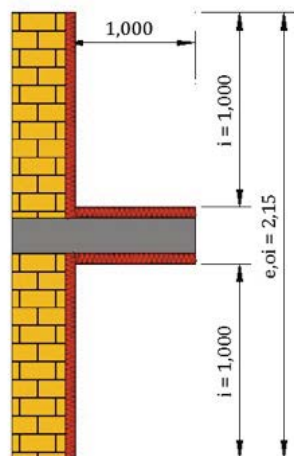
PONTE TERMICO - F7

$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,65 \\ \Psi_{oi} &= 0,65 \\ \Psi_i &= 0,70 \\ L^{2D} &= 1,41\end{aligned}$$



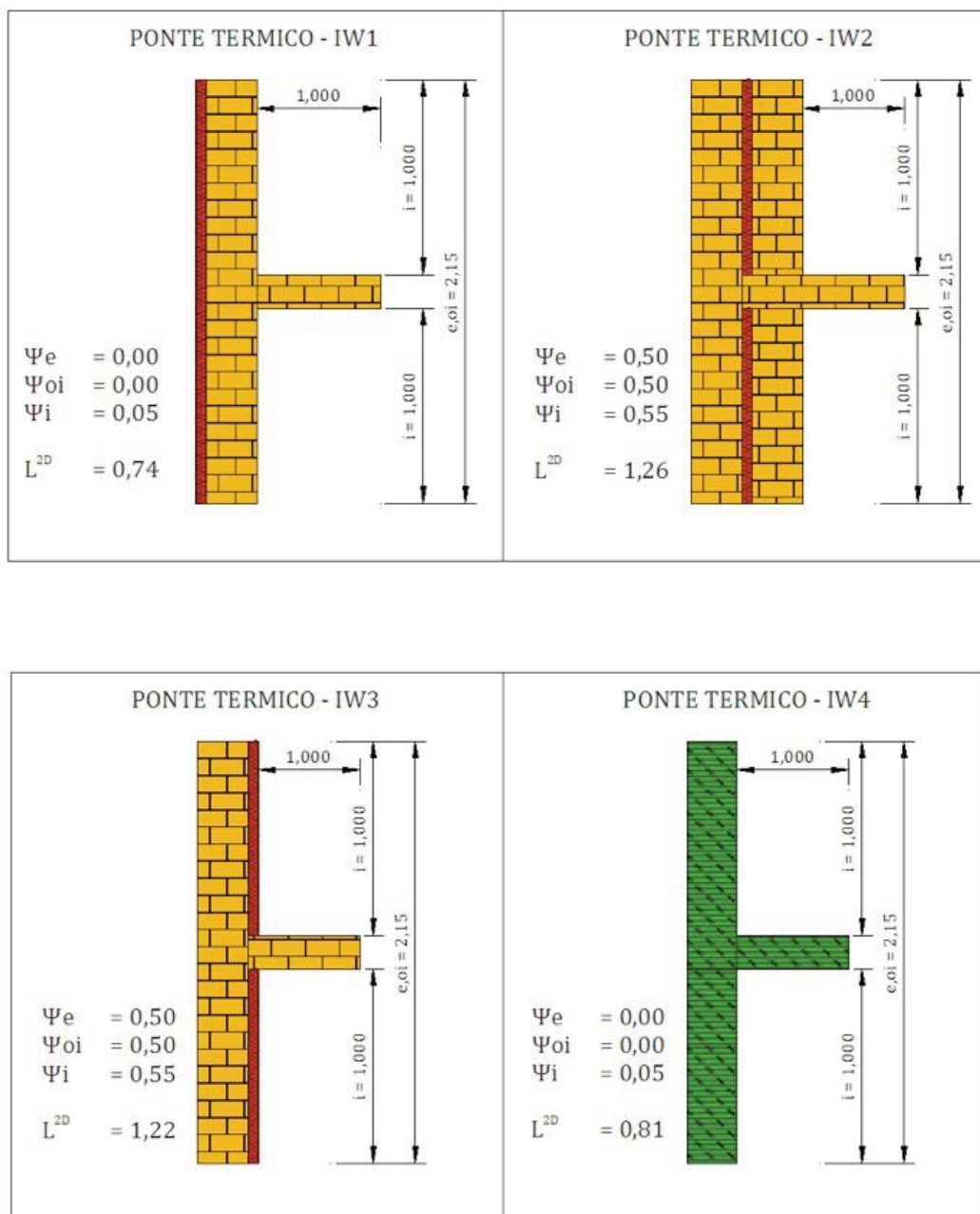
PONTE TERMICO - F8

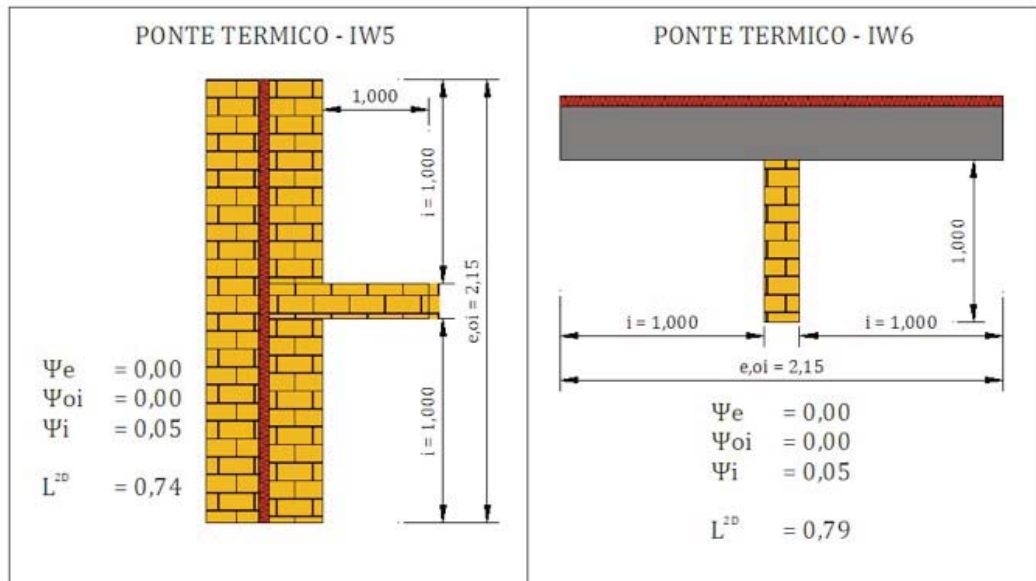
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,20 \\ \Psi_{oi} &= 0,20 \\ \Psi_i &= 0,30 \\ L^{2D} &= 0,99\end{aligned}$$



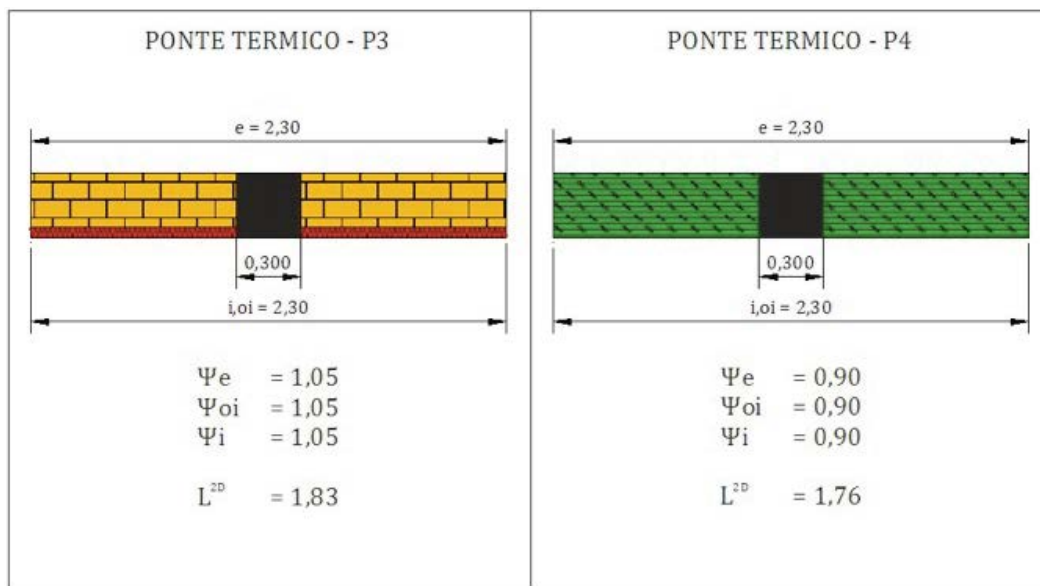
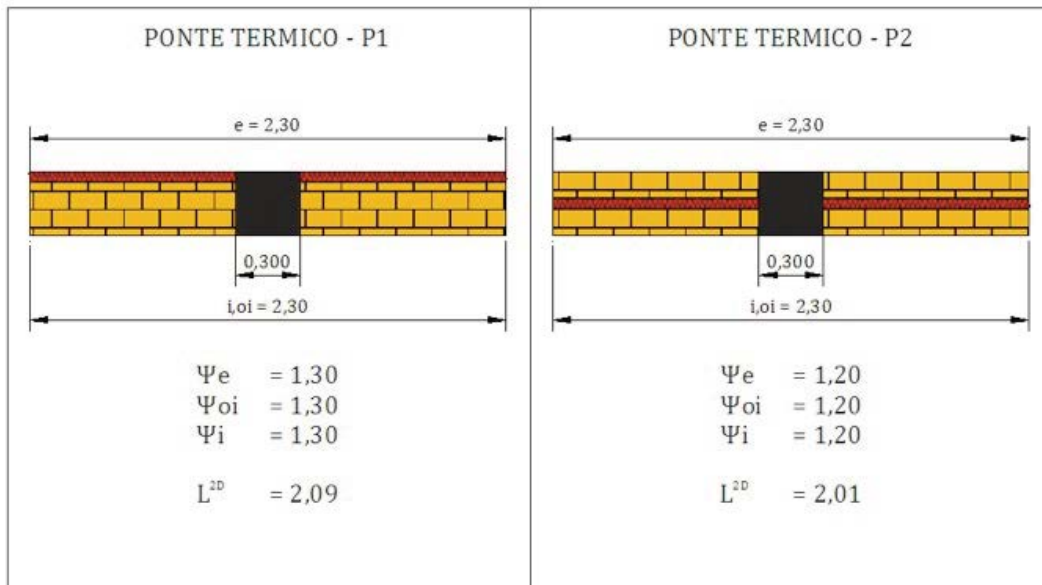


#### 4.2.3.5 Pareti interne

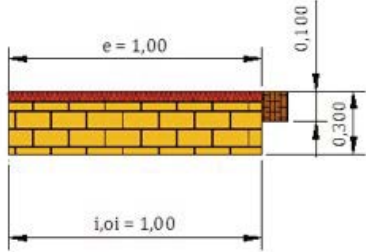
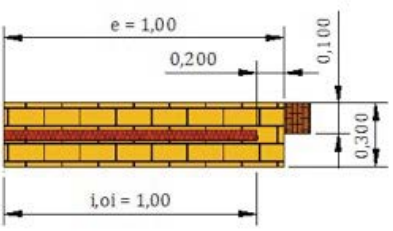
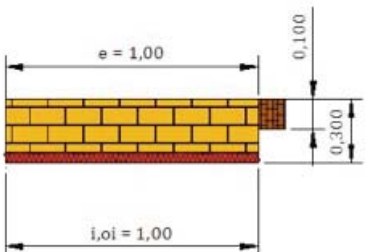
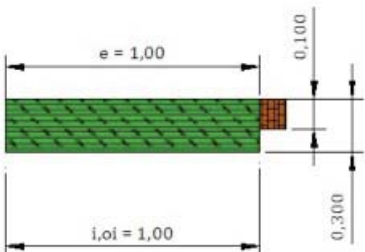




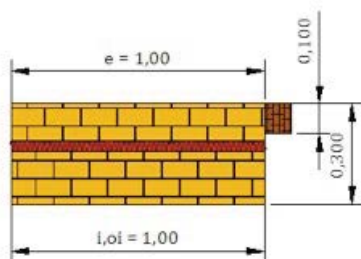
#### 4.2.3.6 Pilastri



#### 4.2.3.7 Serramenti

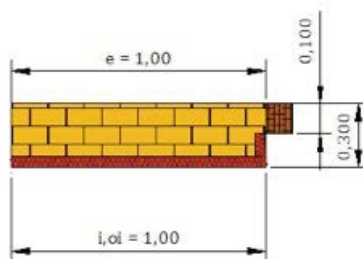
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><b>PONTE TERMICO - W1</b></p>  <p style="text-align: center;"> <math>\Psi_e = 0,00</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,00</math><br/> <math>\Psi_i = 0,00</math><br/> <math>L^{2D} = 0,36</math> </p>   | <p style="text-align: center;"><b>PONTE TERMICO - W2</b></p>  <p style="text-align: center;"> <math>\Psi_e = 0,65</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,65</math><br/> <math>\Psi_i = 0,65</math><br/> <math>L^{2D} = 1,00</math> </p>   |
| <p style="text-align: center;"><b>PONTE TERMICO - W3</b></p>  <p style="text-align: center;"> <math>\Psi_e = 0,45</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,45</math><br/> <math>\Psi_i = 0,45</math><br/> <math>L^{2D} = 0,81</math> </p> | <p style="text-align: center;"><b>PONTE TERMICO - W4</b></p>  <p style="text-align: center;"> <math>\Psi_e = 0,05</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,05</math><br/> <math>\Psi_i = 0,05</math><br/> <math>L^{2D} = 0,41</math> </p> |

PONTE TERMICO - W5



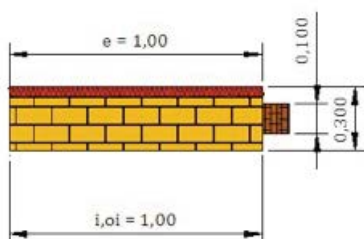
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,05 \\ \Psi_{oi} &= 0,05 \\ \Psi_i &= 0,05 \\ L^{2D} &= 0,40\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W6



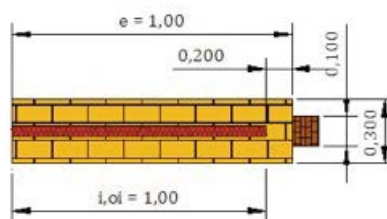
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,10 \\ \Psi_{oi} &= 0,10 \\ \Psi_i &= 0,10 \\ L^{2D} &= 0,44\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W7



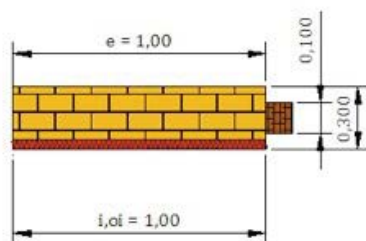
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,35 \\ \Psi_{oi} &= 0,35 \\ \Psi_i &= 0,35 \\ L^{2D} &= 0,70\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W8



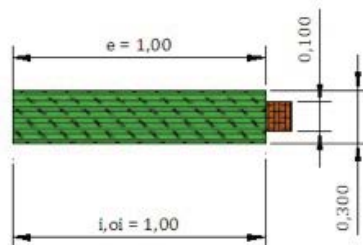
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,60 \\ \Psi_{oi} &= 0,60 \\ \Psi_i &= 0,60 \\ L^{2D} &= 0,95\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W9



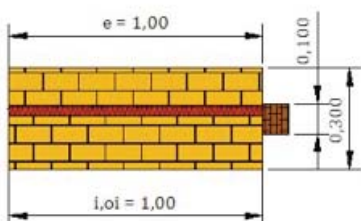
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,20 \\ \Psi_{oi} &= 0,20 \\ \Psi_i &= 0,20 \\ L^{2D} &= 0,56\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W10



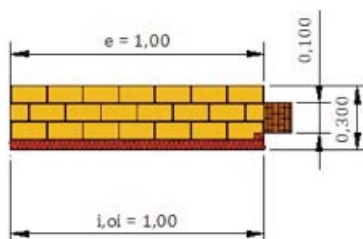
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,00 \\ \Psi_{oi} &= 0,00 \\ \Psi_i &= 0,00 \\ L^{2D} &= 0,39\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W11



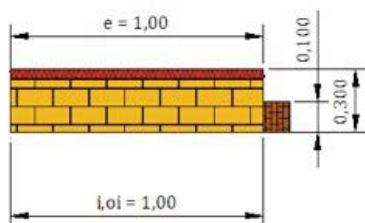
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,00 \\ \Psi_{oi} &= 0,00 \\ \Psi_i &= 0,00 \\ L^{2D} &= 0,36\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W12



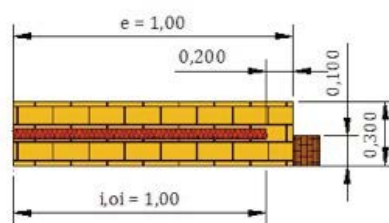
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,05 \\ \Psi_{oi} &= 0,05 \\ \Psi_i &= 0,05 \\ L^{2D} &= 0,41\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W13



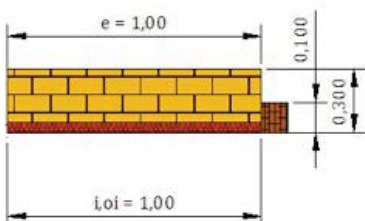
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,60 \\ \Psi_{oi} &= 0,60 \\ \Psi_i &= 0,60 \\ L^{2D} &= 0,93\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W14



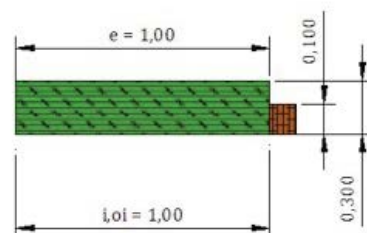
$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,65 \\ \Psi_{oi} &= 0,65 \\ \Psi_i &= 0,65 \\ L^{2D} &= 1,02\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W15

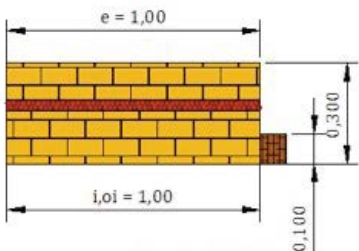
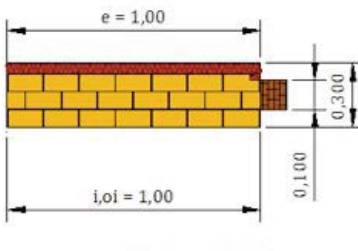


$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,00 \\ \Psi_{oi} &= 0,00 \\ \Psi_i &= 0,00 \\ L^{2D} &= 0,35\end{aligned}$$

PONTE TERMICO - W16



$$\begin{aligned}\Psi_e &= 0,05 \\ \Psi_{oi} &= 0,05 \\ \Psi_i &= 0,05 \\ L^{2D} &= 0,32\end{aligned}$$

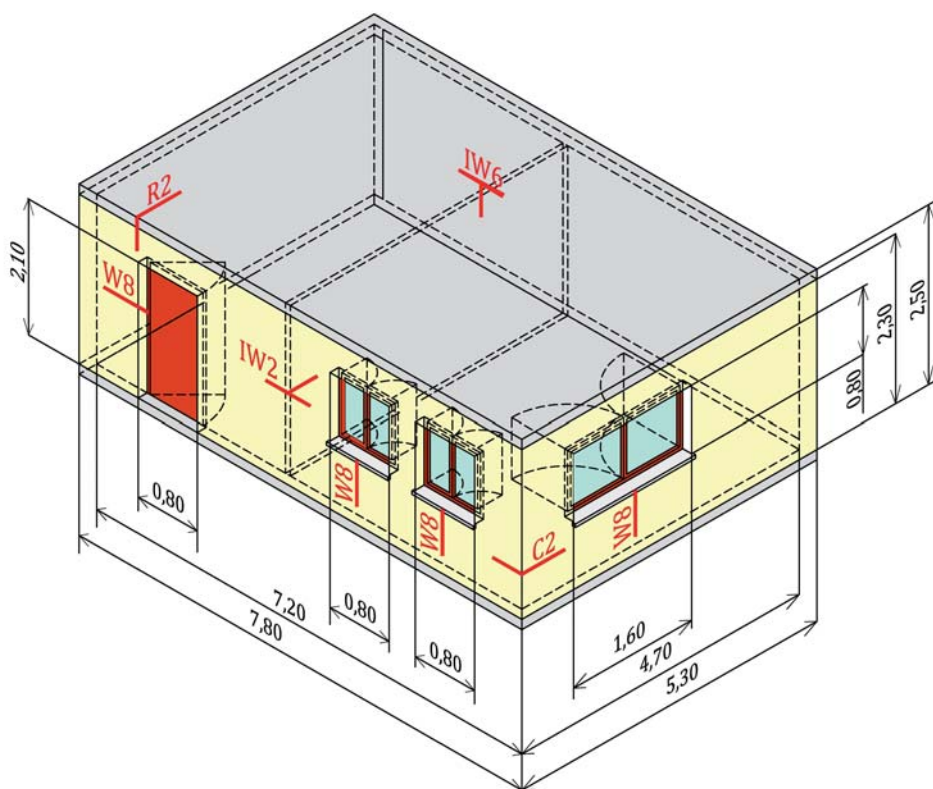
| PONTE TERMICO - W17                                                                                                                                                                                                      | PONTE TERMICO - W18                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p> <math>\Psi_e = 0,40</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,40</math><br/> <math>\Psi_i = 0,40</math><br/> <math>L^{2D} = 0,72</math> </p> |  <p> <math>\Psi_e = 0,20</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,20</math><br/> <math>\Psi_i = 0,20</math><br/> <math>L^{2D} = 0,57</math> </p> |



#### 4.2.4 Esempio di calcolo del coefficiente di accoppiamento termico

Per meglio comprendere come sia possibile determinare il valore di accoppiamento termico lineico  $L^{2D}$  dei ponti termici, e conseguentemente determinare il flusso di calore attraverso lo stesso, viene riportato il seguente esempio.

Si supponga di avere un edificio di forma rettangolare, tetto piano e pavimento che poggia su terreno, una parete interna di partizione e una serie di porte e finestre come rappresentato nella figura 20.



**Figura 20** - Edificio per analisi e determinazione dei valori di accoppiamento termico lineico

Come rappresentato in figura, le dimensioni interne ed esterne del fabbricato sono le seguenti:

- Misure interne 7,20 x 4,70 x H2,30 m
- Misure esterne 7,80 x 5,30 x H2,50 m

Com'è intuibile, l'edificio in oggetto ha pareti di spessore complessivo pari a 0,30 m, e solaio di copertura di spessore pari a 0,20 m, pertanto rientra nelle specifiche di cui al capitolo 4.2.3. Nella stessa figura sono stati individuate ed indicate le varie tipologie di ponti termici così come rappresentati ed individuati in precedenza.

Le strutture edilizie considerate nel presente esempio hanno i seguenti valori di trasmittanza.

| Tipo di struttura                                                          | Tramittanza termica U - W/(m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Pareti esterne                                                             | 0,400                                        |
| Tetto                                                                      | 0,300                                        |
| Pavimento su terreno                                                       | 0,380                                        |
| Finestre*                                                                  | 3,50                                         |
| Porta                                                                      | 3,00                                         |
| *Per semplicità è stato considerato che tutte le finestre abbiano uguale U |                                              |

**Tabella 25** - Valori di trasmittanza termica U delle strutture utilizzate nei calcoli dei coefficienti di accoppiamento termico

Per la determinazione dei valori di accoppiamento termico lineico è stata utilizzata la formula precedente che è riportata per semplificare la lettura.

$$L = \sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j$$

Vale la pena porre l'accento che nel presente esempio non sono stati considerati i ponti termici puntuali e pertanto non saranno considerati i valori di  $\sum \chi_j$ .

#### Calcolo con l'utilizzo delle dimensioni interne

Nella tabella successiva sono riportati i valori di trasmittanza termica dell'area totale interna, cioè i valori determinati dalla moltiplicazione tra la trasmittanza del singolo elemento edilizio e la relativa area -  $U_i \cdot A_i$

| Elemento edilizio                   | U<br>W/(m <sup>2</sup> K) | Area totale interna A <sub>oi</sub><br>m <sup>2</sup> | UA <sub>oi</sub><br>W/K |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| Pareti esterne (Escluso serramenti) | 0,400                     | 50,50                                                 | 20,20                   |
| Tetto                               | 0,300                     | 33,84                                                 | 10,15                   |
| Pavimento su terreno                | 0,380                     | 33,84                                                 | 12,86                   |
| Finestre                            | 3,50                      | 2,56                                                  | 8,96                    |
| Porta                               | 3,00                      | 1,68                                                  | 5,04                    |
| <b>TOTALE</b>                       |                           |                                                       | <b>57,21</b>            |

**Tabella 26** - Coefficienti di trasmittanza termica dell'area totale interna tra elementi edilizi piani

Passiamo ora a calcolare il coefficiente termico tra ponti termici bidimensionali, determinando i valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$  nelle rappresentazioni grafiche dei capitoli precedenti.

| Elemento edilizio         | Tipo ponte termico | $\psi_{oi}$<br>W/(m K) | $l_{oi}$<br>m | $\psi_{oi} l_{oi}$<br>W/K |
|---------------------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| Parete/Tetto              | R2                 | 0,65                   | 23,80         | 15,47                     |
| Parete/Parete             | C2                 | 0,10                   | 9,20          | 0,92                      |
| Partizione interna/Parete | IW2                | 0,50                   | 4,60          | 2,30                      |
| Partizione/Tetto          | IW6                | 0,00                   | 4,70          | 0,00                      |
| Architrave/Telaio/Stipite | W8                 | 0,60                   | 17,00         | 10,20                     |
| <b>TOTALE</b>             |                    |                        |               | <b>28,89</b>              |

**Tabella 27** - Valori di trasmittanza termica lineica

Dalle tabelle precedenti il valore di accoppiamento termico lineico  $L$  è pari a

$$L = \sum U_i \cdot A_i + \sum \psi_k \cdot l_k = 57,21 + 28,89 = 86,10 \text{ W/K}$$

A questo punto sarà possibile determinare la perdita di calore complessiva dovuta alla presenza dei ponti termici utilizzando la formula 26 vista in precedenza.

Tratto da

# I Ponti termici in edilizia

## Studio, calcolo e modalità di eliminazione



Segue l'indice del volume



Maurizio Cudicio

# I PONTI TERMICI IN EDILIZIA

Studio, calcolo e modalità di eliminazione

1ª Edizione - Aprile 2013

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2013

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

---

Finito di stampare nel mese di aprile 2013 da  
LITOGRAFTODI s.r.l. - Todi (Perugia) - Tel. 075.898041

---

**Legislazione Tecnica S.r.l.**  
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

*Servizio Clienti*  
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068  
[servizio.clienti@legislazionetecnica.it](mailto:servizio.clienti@legislazionetecnica.it)

*Portale informativo:* [www.legislazionetecnica.it](http://www.legislazionetecnica.it)  
*Shop:* [ltshop.legislazionetecnica.it](http://ltshop.legislazionetecnica.it)

# INDICE

---

|                    |    |
|--------------------|----|
| PREMESSA .....     | 12 |
| INTRODUZIONE ..... | 13 |

## **Parte Prima** **I ponti termici, quadro legislativo nazionale**

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 1 QUADRO LEGISLATIVO .....                      | 17 |
| 1.1 Cenni sull'evoluzione legislativa .....     | 17 |
| 1.2 La legislazione attualmente in vigore ..... | 19 |

## **Parte seconda** **Determinazione e calcolo dei ponti termici**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 DEFINIZIONE DI PONTI TERMICI .....                                             | 29 |
| 2 FLUSSI TERMICI ATTRAVERSO I PONTI TERMICI .....                                | 32 |
| 3 CALCOLO ACCURATO DEI PONTI TERMICI .....                                       | 33 |
| 3.1 Analisi di ponti termici 2D e 3D .....                                       | 33 |
| 3.1.1 Determinazione dei modelli geometrici e dei piani di taglio .....          | 33 |
| 3.1.1.1 <i>Semplificazione dei modelli</i>                                       |    |
| 3.1.1.2 <i>Determinazione dei piani ausiliari</i>                                |    |
| 3.1.1.3 <i>Semplificazione dei ponti termici lineari e puntuali</i>              |    |
| 3.1.2 Condizioni e parametri di calcolo .....                                    | 50 |
| 3.1.2.1 <i>Conduttività termica dei materiali</i>                                |    |
| 3.1.2.2 <i>Conduttività termica del terreno</i>                                  |    |
| 3.1.2.3 <i>Calcolo della resistenza termica superficiale interna</i>             |    |
| 3.1.2.3.1 <i>Calcolo semplificato</i>                                            |    |
| 3.1.2.3.2 <i>Calcolo dettagliato</i>                                             |    |
| 3.1.2.4 <i>Determinazione delle temperature interne dei locali</i>               |    |
| 3.1.2.5 <i>Determinazione delle temperature interne di locali non riscaldati</i> |    |
| 3.1.2.6 <i>Determinazione delle temperature esterne</i>                          |    |
| 3.1.2.7 <i>Calcolo della resistenza termica superficiale esterna</i>             |    |
| 3.1.2.8 <i>Calcolo della resistenza termica di un ambiente non riscaldato</i>    |    |
| 3.1.2.9 <i>Calcolo della resistenza termica delle intercapedini d'aria</i>       |    |
| 3.1.3 Metodo di calcolo dei ponti termici 3D .....                               | 67 |

|           |                                                                                   |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4         | CALCOLO SEMPLIFICATO DEI PONTI TERMICI .....                                      | 69  |
| 4.1       | Determinazione del flusso di calore .....                                         | 69  |
| 4.2       | Determinazione dei ponti termici .....                                            | 70  |
| 4.2.1     | Atlante dei ponti termici .....                                                   | 71  |
| 4.2.2     | Calcolo manuale dei ponti termici .....                                           | 71  |
| 4.2.3     | Valori di trasmittanza termica lineica .....                                      | 72  |
| 4.2.3.1   | <i>Solaio</i>                                                                     |     |
| 4.2.3.2   | <i>Balconi e poggioli</i>                                                         |     |
| 4.2.3.3   | <i>Angoli</i>                                                                     |     |
| 4.2.3.4   | <i>Pavimenti</i>                                                                  |     |
| 4.2.3.5   | <i>Pareti interne</i>                                                             |     |
| 4.2.3.6   | <i>Pilastrì</i>                                                                   |     |
| 4.2.3.7   | <i>Serramenti</i>                                                                 |     |
| 4.2.4     | Esempio di calcolo del coefficiente di accoppiamento termico ....                 | 91  |
| 5         | VERIFICA DELLA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE ED INTERSTIZIALE .....                  | 94  |
| 5.1       | La verifica termo-igrometrica delle strutture .....                               | 94  |
| 5.1.1     | Determinazione del punto di rugiada .....                                         | 96  |
| 5.1.2     | La condensazione del vapore acqueo nelle costruzioni .....                        | 98  |
| 5.1.3     | Diagramma di Glaser .....                                                         | 99  |
| 5.1.3.1   | <i>Calcolo della trasmittanza termica di una struttura</i>                        |     |
| 5.1.3.2   | <i>Calcolo della potenza termica dispersa</i>                                     |     |
| 5.1.3.3   | <i>Determinazione delle temperature superficiali di ogni strato</i>               |     |
| 5.1.3.4   | <i>Esempio di calcolo su una struttura tipo</i>                                   |     |
| 5.1.4     | Verifica della condensazione superficiale .....                                   | 107 |
| 5.1.4.1   | <i>Trasmittanza massima della struttura per evitare<br/>condensa superficiale</i> |     |
| 5.1.4.2   | <i>Calcolo e verifica della condensazione superficiale</i>                        |     |
| 5.1.4.2.1 | Determinazione della temperatura esterna di progetto                              |     |
| 5.1.4.2.2 | Determinazione dell'umidità relativa esterna                                      |     |
| 5.1.4.2.3 | Determinazione della temperatura interna ai locali                                |     |
| 5.1.4.2.4 | Determinazione dell'umidità relativa interna                                      |     |
| 5.1.4.2.5 | Determinazione del valore minimo di umidità volumica<br>a saturazione             |     |
| 5.1.4.2.6 | Determinare la temperatura superficiale interna minima                            |     |
| 6         | AZIONE DI DEGRADO SULLE STRUTTURE NON DOVUTE A PONTI TERMICI .                    | 114 |
| 6.1       | La presenza di acqua nelle strutture .....                                        | 114 |
| 6.1.1     | L'umidità di costruzione .....                                                    | 116 |
| 6.1.2     | Congelamento dell'acqua nelle strutture .....                                     | 119 |



**Parte Terza**  
**Analisi dei ponti termici più comuni**

|          |                                                    |            |
|----------|----------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>INDIVIDUAZIONE DEI PONTI TERMICI PIÙ COMUNI</b> | <b>123</b> |
| <b>2</b> | <b>TIPOLOGIA DI MATERIALI COIBENTI</b>             | <b>124</b> |
| 2.1      | Classificazione dei materiali coibenti             | 124        |
| 2.1.1    | Life Cycle Assessment - LCA                        | 125        |
| 2.2      | Isolanti di origine inorganica sintetici           | 128        |
| 2.2.1    | Vetro cellulare                                    | 128        |
| 2.2.2    | Granulato di vetro cellulare                       | 130        |
| 2.1.3    | Lana di vetro                                      | 132        |
| 2.1.4    | Lana di roccia                                     | 134        |
| 2.1.5    | Idrati di silicato di calcio in pannelli           | 136        |
| 2.1.6    | Calciosilicati                                     | 138        |
| 2.3      | Isolanti di origine inorganica naturali            | 140        |
| 2.3.1    | Argilla espansa                                    | 140        |
| 2.3.2    | Perlite espansa                                    | 142        |
| 2.3.3    | Vermiculite espansa                                | 144        |
| 2.3.4    | Pomice naturale                                    | 146        |
| 2.4      | Isolanti di origine organica sintetici             | 148        |
| 2.4.1    | Polistirene espanso in pannelli - (EPS)            | 148        |
| 2.4.2    | Polistirene estruso in pannelli - (XPS)            | 150        |
| 2.4.3    | Poliuretano in pannelli                            | 152        |
| 2.5      | Isolanti di origine organica naturali              | 154        |
| 2.5.1    | Fibra di canapa                                    | 154        |
| 2.5.2    | Fibra di cellulosa                                 | 156        |
| 2.5.3    | Fibra di legno                                     | 158        |
| 2.5.4    | Fibra di legno mineralizzata                       | 160        |
| 2.5.5    | Fibra di lino                                      | 162        |
| 2.5.6    | Sughero                                            | 164        |
| 2.5.7    | Fibra di kenaf                                     | 166        |
| 2.5.8    | Fibra di mais                                      | 168        |
| 2.5.9    | Fibra di cocco                                     | 170        |
| 2.5.10   | Fibra di juta                                      | 172        |
| 2.5.11   | Canna palustre                                     | 174        |
| 2.5.12   | Cotone                                             | 176        |
| 2.5.13   | Trucioli e paglie                                  | 178        |
| 2.6      | Isolanti di origine organica animale               | 180        |
| 2.6.1    | Lana di pecora                                     | 180        |
| 2.7      | Prodotti termoisolanti innovativi                  | 182        |
| 2.7.1    | Materiali PCM – (Phase Change Materials)           | 182        |

|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 2.7.2    | Pannelli sottovuoto - (VIP)                              | 183        |
| 2.7.3    | Isolanti termoriflettenti multistrato                    | 184        |
| 2.8      | Prodotti termoisolanti ottenuti da materiali riciclati   | 186        |
| 2.8.1    | Pannelli in fibra tessile                                | 186        |
| 2.8.2    | Pannelli ottenuti da recupero di bottiglie in poliestere | 187        |
| <b>3</b> | <b>ANALISI PRATICA DEI PONTI TERMICI</b>                 | <b>189</b> |
| 3.1      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT01                   | 190        |
| 3.1.1    | Ponte termico                                            | 190        |
| 3.1.2    | Ponte termico corretto                                   | 192        |
| 3.2      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT02                   | 194        |
| 3.2.1    | Ponte termico                                            | 194        |
| 3.2.2    | Ponte termico corretto                                   | 196        |
| 3.3      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT03                   | 198        |
| 3.3.1    | Ponte termico                                            | 198        |
| 3.3.2    | Ponte termico corretto                                   | 200        |
| 3.4      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT04                   | 202        |
| 3.4.1    | Ponte termico                                            | 202        |
| 3.4.2    | Ponte termico corretto                                   | 204        |
| 3.5      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT05                   | 206        |
| 3.5.1    | Ponte termico                                            | 206        |
| 3.5.2    | Ponte termico corretto                                   | 208        |
| 3.6      | Ponte termico solaio-parete tipo PNT06                   | 210        |
| 3.6.1    | Ponte termico                                            | 210        |
| 3.6.2    | Ponte termico corretto                                   | 212        |
| 3.7      | Ponte termico poggolo-parete tipo PNT07                  | 214        |
| 3.7.1    | Ponte termico                                            | 214        |
| 3.7.2    | Ponte termico corretto                                   | 216        |
| 3.8      | Ponte termico poggolo-parete tipo PNT08                  | 218        |
| 3.8.1    | Ponte termico                                            | 218        |
| 3.8.2    | Ponte termico corretto                                   | 220        |
| 3.9      | Ponte termico parete interna su solaio tipo PNT09        | 222        |
| 3.9.1    | Ponte termico                                            | 222        |
| 3.9.2    | Ponte termico corretto                                   | 224        |
| 3.10     | Ponte termico parete interna su solaio tipo PNT10        | 226        |
| 3.10.1   | Ponte termico                                            | 226        |
| 3.10.2   | Ponte termico corretto                                   | 228        |
| 3.11     | Ponte termico parete e pilastro tipo PNT11               | 230        |
| 3.11.1   | Ponte termico                                            | 230        |
| 3.11.2   | Ponte termico corretto                                   | 232        |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.12 Ponte termico parete e pilastro tipo PNT12 .....             | 234 |
| 3.12.1 Ponte termico .....                                        | 234 |
| 3.12.2 Ponte termico corretto .....                               | 236 |
| 3.13 Ponte termico parete e pilastro tipo PNT13 .....             | 238 |
| 3.13.1 Ponte termico .....                                        | 238 |
| 3.13.2 Ponte termico corretto .....                               | 240 |
| 3.14 Ponte termico parete e pavimento su terreno tipo PNT14 ..... | 242 |
| 3.14.1 Ponte termico .....                                        | 242 |
| 3.14.2 Ponte termico corretto .....                               | 244 |
| 3.15 Ponte termico parete e serramento tipo PNT15 .....           | 246 |
| 3.15.1 Ponte termico .....                                        | 246 |
| 3.16 Ponte termico parete e serramento tipo PNT16 .....           | 248 |
| 3.16.1 Ponte termico .....                                        | 248 |
| 3.16.2 Ponte termico corretto .....                               | 250 |
| 3.17 Ponte termico parete e serramento tipo PNT17 .....           | 252 |
| 3.17.1 Ponte termico .....                                        | 252 |
| 3.17.2 Ponte termico corretto .....                               | 254 |
| 3.18 Ponte termico parete e serramento tipo PNT18 .....           | 256 |
| 3.18.1 Ponte termico .....                                        | 256 |
| 3.18.2 Ponte termico corretto .....                               | 258 |
| 3.19 Ponte termico parete e pilastro d'angolo tipo PNT19 .....    | 260 |
| 3.19.1 Ponte termico .....                                        | 260 |
| 3.19.2 Ponte termico corretto .....                               | 262 |
| 3.20 Ponte termico parete e pilastro d'angolo tipo PNT20 .....    | 264 |
| 3.20.1 Ponte termico .....                                        | 264 |
| 3.20.2 Ponte termico corretto .....                               | 266 |
| 3.21 Ponte termico parete e serramento tipo PNT21 .....           | 268 |
| 3.21.1 Ponte termico .....                                        | 268 |
| 3.21.2 Ponte termico corretto .....                               | 268 |
| 3.22 Ponte termico parete e serramento tipo PNT22 .....           | 272 |
| 3.22.1 Ponte termico .....                                        | 272 |
| 3.22.2 Ponte termico corretto .....                               | 274 |
| 3.23 Ponte termico parete e solaio di copertura tipo PNT23 .....  | 276 |
| 3.23.1 Ponte termico .....                                        | 276 |
| 3.23.2 Ponte termico corretto .....                               | 278 |

**Parte Quarta**  
**Verifica dei ponti termici esistenti**

|           |                                                       |            |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b>  | <b>ANALISI DI PONTI TERMICI ESISTENTI</b>             | <b>283</b> |
| 1.1       | Analisi termografiche                                 | 283        |
| 1.1.1     | Cos'è la termografia                                  | 283        |
| 1.1.2     | Storia dell'infrarosso                                | 285        |
| 1.1.3     | Termocamere                                           | 285        |
| 1.1.3.1   | Campo Spettrale                                       |            |
| 1.1.3.2   | Tipo di sensore                                       |            |
| 1.1.3.3   | Risoluzione geometrica                                |            |
| 1.1.3.4   | Minima sensibilità                                    |            |
| 1.1.3.5   | Frequenza di acquisizione                             |            |
| 1.1.3.6   | Misura della temperatura                              |            |
| 1.1.4     | Utilizzo delle termocamere in edilizia                | 287        |
| 1.1.4.1   | <i>Esami termografici</i>                             |            |
| 1.1.4.2   | <i>Procedimento per la misurazione termografica</i>   |            |
| 1.1.4.3   | <i>Analisi termografiche su superfici particolari</i> |            |
| 1.1.4.3.1 | Misure termografiche su vetri                         |            |
| 1.1.4.3.2 | Misure termografiche su metalli                       |            |
| 1.2       | Determinazione della trasmittanza di una struttura    | 294        |
| 1.2.1     | Termoflussimetri e misurazione della trasmittanza     | 294        |

**Parte Quinta**  
**Allegati**

|                    |                                               |            |
|--------------------|-----------------------------------------------|------------|
| <b>ALLEGATO 01</b> | <b>– Tabelle di conduttività di materiali</b> | <b>297</b> |
|                    | Barriere al vapore                            | 297        |
|                    | Calcestruzzo                                  | 298        |
|                    | Intercapedini di aria                         | 301        |
|                    | Intonaci                                      | 302        |
|                    | Isolanti                                      | 303        |
|                    | Legno                                         | 305        |
|                    | Metalli                                       | 306        |
|                    | Polimeri                                      | 307        |
|                    | Laterizi                                      | 308        |
|                    | Pannelli e materiali vari                     | 309        |
|                    | Pavimenti                                     | 310        |

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rocce .....                                                                | 311 |
| Solai .....                                                                | 311 |
| Sottofondi .....                                                           | 312 |
| Vetri .....                                                                | 312 |
| ALLEGATO 02 – Velocità del vento .....                                     | 313 |
| ALLEGATO 03 – Diagramma psicrometrico a quota 0,00 m slm .....             | 315 |
| ALLEGATO 04 – Valori di pressione di saturazione al vapore $P_s$ .....     | 316 |
| ALLEGATO 05 – Temperature esterne medie mensili località italiane .....    | 319 |
| ALLEGATO 06 – Umidità relative esterne mensili località italiane .....     | 322 |
| ALLEGATO 07 – Pressione di saturazione del vapore e umidità volumica ..... | 331 |
| INDICE DELLE FIGURE .....                                                  | 332 |
| INDICE DELLE TABELLE .....                                                 | 333 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                         | 334 |
| LEGISLAZIONE .....                                                         | 335 |
| NORME .....                                                                | 336 |
| SITOGRAFIA .....                                                           | 336 |

# Il calcolo semplificato dei ponti termici

a cura di

**Maurizio Cudicio**

*Libero professionista nel campo delle energie rinnovabili e degli impianti a basso consumo energetico ed esperto di tematiche particolari quali i ponti termici in edilizia. Collabora con i più prestigiosi studi di Engineering nella progettazione di edifici ospedalieri, alberghieri e negli interventi di recupero del patrimonio immobiliare storico.*

Tratto da

## **I Ponti termici in edilizia** Studio, calcolo e modalità di eliminazione

