

## I Ponti Termici

E' possibile definire il ponte termico come quella configurazione strutturale o geometrica che produce una deviazione del flusso termico dalla condizione di flusso monodimensionale tra le superfici interna ed esterna di una parete.

Ci possiamo trovare di fronte a due tipologie di ponte termico:

a) ponte termico di forma

incontro tra due pareti esterne di eguale struttura

b) ponte termico di struttura

presenza in una parete piana di una nervatura di struttura diversa

### 2.4.1 Effetti

- disomogeneità di temperatura sulle superfici interne (in generale diminuzione della temperatura superficiale interna  $\Rightarrow$  pericolo di condensa)
- aumento delle dispersioni termiche (ciò è più accentuato con il maggiore isolamento delle pareti dell'edificio)

La caratterizzazione del ponte termico è realizzata con il coefficiente di eterogeneità di temperatura superficiale interna  $\rho_m$  ( $\rho_m \geq 1$ )

$$\rho_m = \frac{T_i - T_{pn}}{T_i - T_{po}} \quad (23)$$

$T_i$  = temperatura aria interna;

$T_{pn}$  = temperatura superficie interna nella zona del ponte termico;

$T_{po}$  = temperatura superficie interna nella zona indisturbata.

### 2.4.2 Il calcolo dei ponti termici

Il calcolo dei flussi termici dovuti ai ponti termici può essere effettuato con precisione utilizzando metodi numerici dettagliati in accordo con

UNI EN ISO 10211-1          flusso termico tridimensionale

EN ISO 10211-2          flussi termici bidimensionali

UNI EN ISO 14683          consente di calcolare i flussi termici attraverso metodi semplificati in corrispondenza alle giunzioni tra elementi di edifici, ma non si applica a ponti termici associati ai telai di porte e finestre o a facciate continue

UNI EN ISO 14683 consente di calcolare il valore della trasmittanza termica lineica  $\Psi_k$

Generalmente l'influenza dei ponti termici puntuali, esplicitata dal termine  $\chi_i$ , può essere trascurata.

La trasmittanza termica lineica  $\Psi$  può essere determinata con la relazione

$$\Psi = L^{2D} - \sum U_i l_i \quad (24)$$

$L^{2D}$  è il coefficiente di accoppiamento termico lineico ottenuto con un calcolo bidimensionale del componente che separa i due ambienti considerati;

$U_i$  è la trasmittanza termica dell' $i$ -esimo componente monodimensionale che separa i due ambienti considerati;

$l_i$  è la lunghezza del modello geometrico bidimensionale cui si applica il valore  $U_i$ .

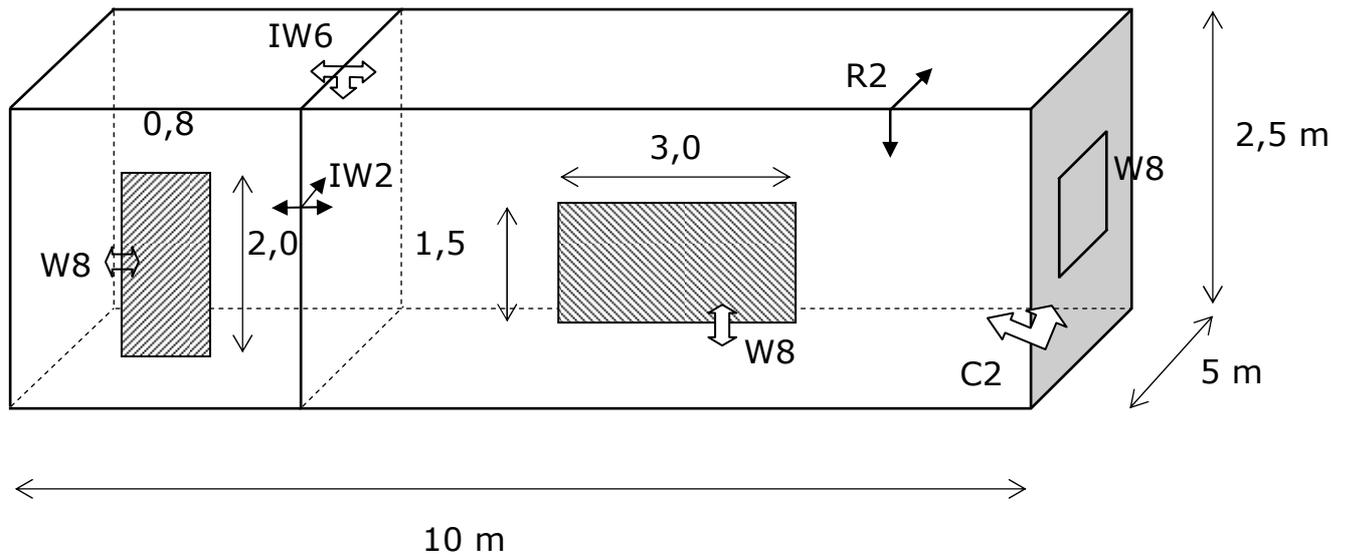
E' necessario precisare il sistema di dimensioni utilizzate per il calcolo della trasmittanza termica lineica  $\Psi$ .

Il Prospetto 2 della UNI EN ISO 14683 riporta i valori di progetto per  $\Psi$  basati su tre sistemi di valutazioni delle dimensioni dell'edificio:

- dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente (escluso lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.

Il Prospetto 2 fornisce inoltre il valore del coefficiente di accoppiamento  $L^{2D}$ .

## Esempio calcolo ponti termici



Valutazione con le superfici interne

Elemento edilizio	$U$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$A_{oi}$ [m <sup>2</sup> ]	$U A_{oi}$ [W/K]
Pareti	0,40	64,4	25,76
Tetto	0,30	50,0	15,00
Pavimento	0,38	50,0	19,00
Finestre	3,50	9,0	31,50
Porta	3,00	1,6	4,80
<b>Totale</b>			<b>96,06</b>

Ponte termico	Tipologia	$\Psi_{oi}$ [W/(m K)]	$l_{oi}$ [m]	$\Psi_{oi} l_{oi}$ [W/K]
Parete/tetto	R2	0,65	30,0	19,50
Parete/parete	C2	0,10	10,0	1,00
Partizione/parete	IW2	0,50	5,0	2,50
Partizione tetto	IW6	0,00	5,0	0,00
Architrave	W8	0,60	23,6	14,16
<b>Totale</b>				<b>37,16</b>

Valutazione con le superfici esterne

<i>Elemento edilizio</i>	$U$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$A_e$ [m <sup>2</sup> ]	$U A_e$ [W/K]
Pareti	0,40	76,88	30,75
Tetto	0,30	59,36	17,81
Pavimento	0,38	50,0	19,00
Finestre	3,50	9,0	31,50
Porta	3,00	1,6	4,80
<b>Totale</b>			<b>103,86</b>

<i>Ponte termico</i>	Tipologia	$\Psi_e$ [W/(m K)]	$l_e$ [m]	$\Psi_{oi} l_{oi}$ [W/K]
Parete/tetto	R2	0,05	32,4	16,20
Parete/parete	C2	-0,10	10,8	-1,08
Partizione/parete	IW2	0,50	5,4	2,70
Partizione tetto	IW6	0,00	5,6	0,00
Architrave	W8	0,60	23,6	14,16
<b>Totale</b>				<b>31,98</b>

Superfici interne

$$L_D = \sum U_i A_i + \sum \Psi_k l_k = 96,06 + 37,16 = 133,22 \text{ W/K}$$

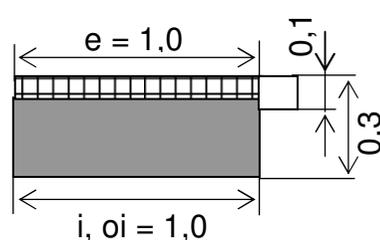
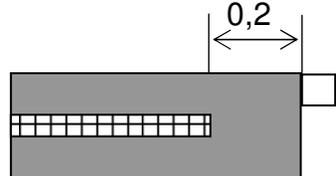
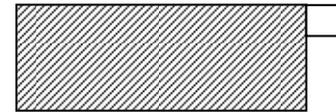
Superfici esterne

$$L_D = \sum U_i A_i + \sum \Psi_k l_k = 103,86 + 31,98 = 135,84 \text{ W/K}$$

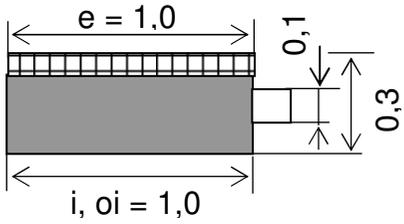
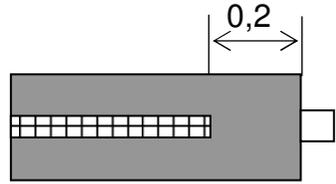
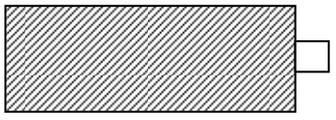
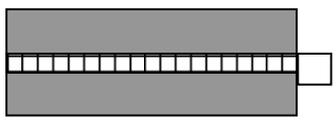
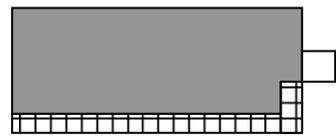
**Angoli:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>C1</p> <p><math>\Psi_e = -0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,15</math>  <math>\Psi_i = 0,15</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,84</math></p> <p><math>e = 1,3</math>  <math>i, oi = 1,0</math>  <math>i, oi = 1,0</math></p>	<p>C2</p> <p><math>\Psi_e = -0,10</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,10</math>  <math>\Psi_i = 0,10</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,79</math></p>	<p>C3</p> <p><math>\Psi_e = -0,20</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,00</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,70</math></p>	<p>C4</p> <p><math>\Psi_e = -0,15</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,05</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,81</math></p>
<p>C5</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = -0,20</math>  <math>\Psi_i = -0,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,71</math></p> <p><math>e = 1,0</math>  <math>i, oi = 1,0</math>  <math>i, oi = 1,3</math></p>	<p>C6</p> <p><math>\Psi_e = 0,10</math>  <math>\Psi_{oi} = -0,15</math>  <math>\Psi_i = -0,15</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,77</math></p>	<p>C7</p> <p><math>\Psi_e = 0,15</math>  <math>\Psi_{oi} = -0,05</math>  <math>\Psi_i = -0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,83</math></p>	<p>C8</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = -0,15</math>  <math>\Psi_i = -0,15</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,82</math></p>
<p>Parete</p>	<p>Parete leggera</p>	<p>Strato isolante</p>	<p>Soletta/pilastro</p>

**Serramenti di porte e finestre:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>W1</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,00</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,36</math></p> 	<p>W2</p> <p><math>\Psi_e = 0,65</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,65</math>  <math>\Psi_i = 0,65</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,00</math></p> 	<p>W3</p> <p><math>\Psi_e = 0,45</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,45</math>  <math>\Psi_i = 0,45</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,81</math></p> 	<p>W4</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,05</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,41</math></p> 	
<p>W5</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,05</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,40</math></p> 	<p>W6</p> <p><math>\Psi_e = 0,10</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,10</math>  <math>\Psi_i = 0,10</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,44</math></p> 			
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

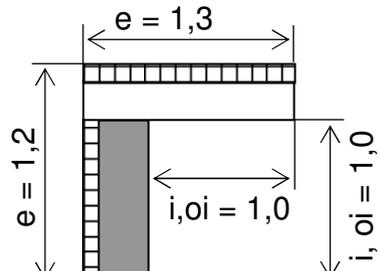
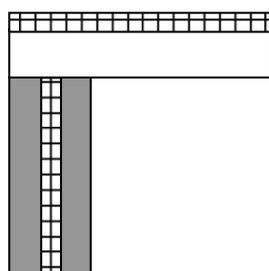
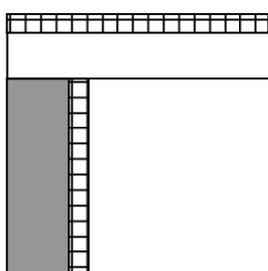
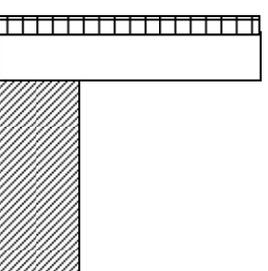
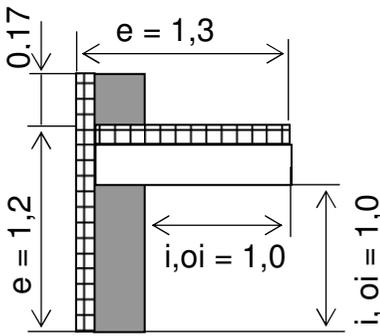
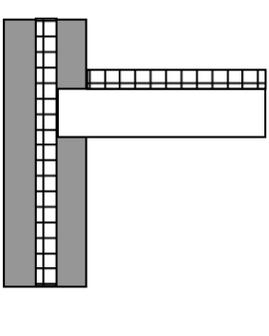
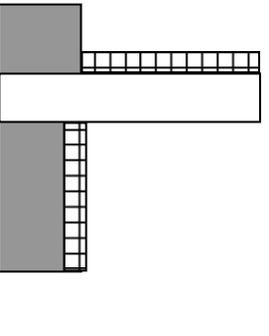
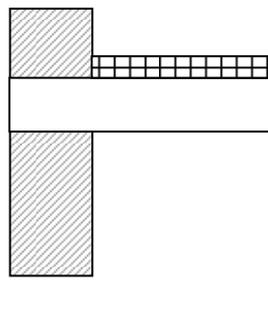
**Serramenti di porte e finestre:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>W7</p> <p><math>\Psi_e = 0,35</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,35</math>  <math>\Psi_i = 0,35</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,70</math></p> 	<p>W8</p> <p><math>\Psi_e = 0,60</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,60</math>  <math>\Psi_i = 0,60</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,95</math></p> 	<p>W9</p> <p><math>\Psi_e = 0,20</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,20</math>  <math>\Psi_i = 0,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,56</math></p> 	<p>W10</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,00</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,39</math></p> 	
<p>W11</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,00</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,36</math></p> 	<p>W12</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,05</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,41</math></p> 			
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

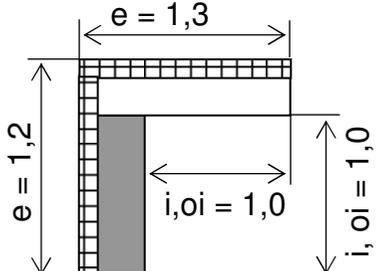
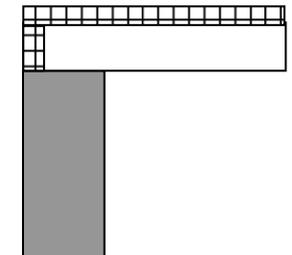
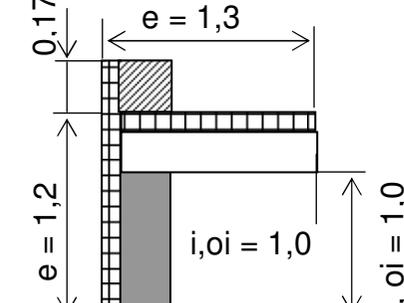
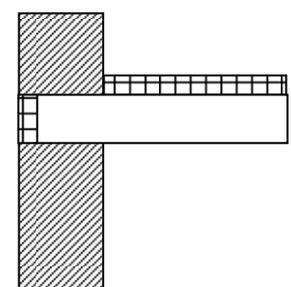
**Serramenti di porte e finestre:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>W13</p> <p><math>\Psi_e = 0,60</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,60</math>  <math>\Psi_i = 0,60</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,93</math></p>	<p>W14</p> <p><math>\Psi_e = 0,65</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,65</math>  <math>\Psi_i = 0,65</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,02</math></p>	<p>W15</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,00</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,35</math></p>	<p>W16</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,05</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,42</math></p>	
<p>W17</p> <p><math>\Psi_e = 0,40</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,40</math>  <math>\Psi_i = 0,40</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,72</math></p>	<p>W18</p> <p><math>\Psi_e = 0,20</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,20</math>  <math>\Psi_i = 0,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,57</math></p>			
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

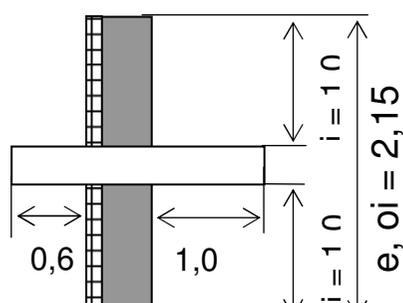
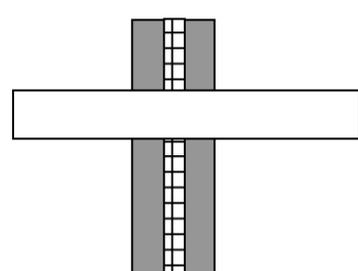
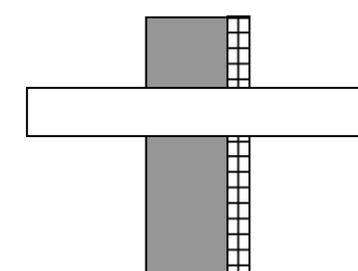
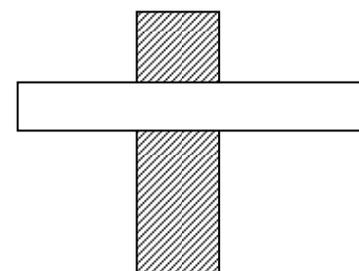
**Coperture:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>R1</p> <p><math>\Psi_e = 0,55</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,70</math>  <math>\Psi_i = 0,70</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,42</math></p> 	<p>R2</p> <p><math>\Psi_e = 0,50</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,65</math>  <math>\Psi_i = 0,65</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,38</math></p> 	<p>R3</p> <p><math>\Psi_e = 0,40</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,55</math>  <math>\Psi_i = 0,55</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,28</math></p> 	<p>R4</p> <p><math>\Psi_e = 0,30</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,50</math>  <math>\Psi_i = 0,50</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,25</math></p> 						
<p>R5</p> <p><math>\Psi_e = 0,55</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,70</math>  <math>\Psi_i = 0,70</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,42</math></p> 	<p>R6</p> <p><math>\Psi_e = 0,40</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,55</math>  <math>\Psi_i = 0,55</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,29</math></p> 	<p>R7</p> <p><math>\Psi_e = 0,55</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,75</math>  <math>\Psi_i = 0,75</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,44</math></p> 	<p>R8</p> <p><math>\Psi_e = 0,35</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,55</math>  <math>\Psi_i = 0,55</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,28</math></p> 						
<p>Parete </p>		<p>Parete leggera </p>		<p>Strato isolante </p>		<p>Soletta/pilastro </p>		<p>Telaio </p>	

**Coperture:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>R9</p> <p><math>\Psi_e = -0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,15</math>  <math>\Psi_i = 0,15</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,84</math></p> 	<p>R10</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,20</math>  <math>\Psi_i = 0,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,92</math></p> 	<p>R11</p> <p><math>\Psi_e = 0,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,20</math>  <math>\Psi_i = 0,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,93</math></p> 	<p>R12</p> <p><math>\Psi_e = 0,10</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,30</math>  <math>\Psi_i = 0,30</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,02</math></p> 
---	--	---	---

### Balconi, poggiali

<p>B1</p> <p><math>\Psi_e = 0,85</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,85</math>  <math>\Psi_i = 0,90</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,57</math></p> 	<p>B2</p> <p><math>\Psi_e = 0,80</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,80</math>  <math>\Psi_i = 0,85</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,56</math></p> 	<p>B3</p> <p><math>\Psi_e = 0,75</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,75</math>  <math>\Psi_i = 0,80</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,50</math></p> 	<p>B4</p> <p><math>\Psi_e = 0,70</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,70</math>  <math>\Psi_i = 0,75</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,49</math></p> 
---	--	---	---

Parete



Parete leggera



Strato isolante



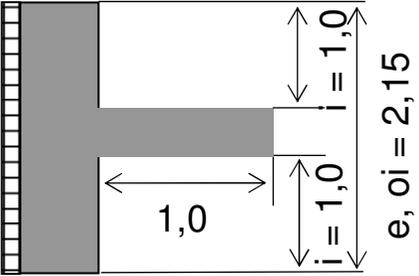
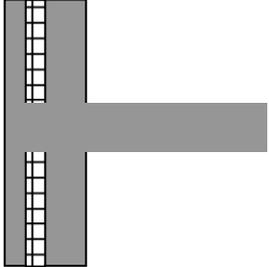
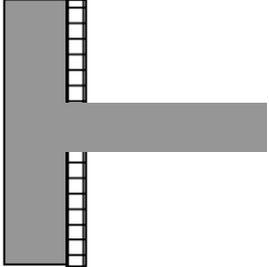
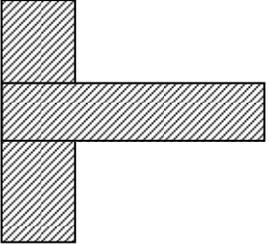
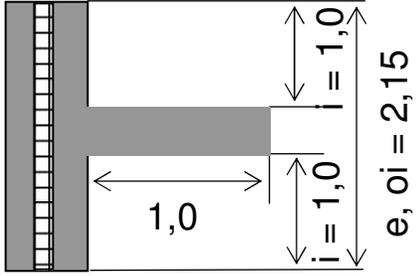
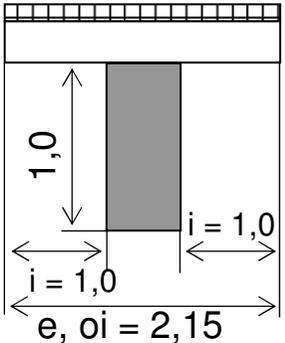
Soletta/pilastro



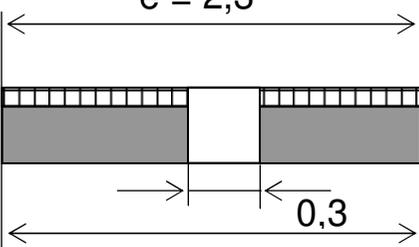
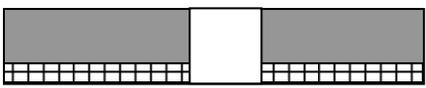
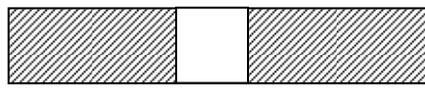
Telaio



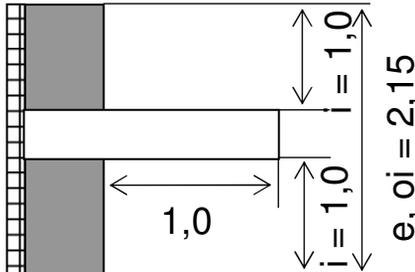
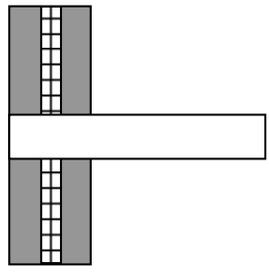
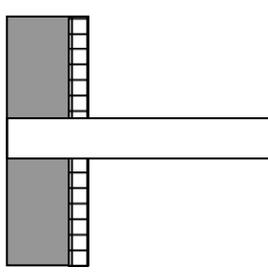
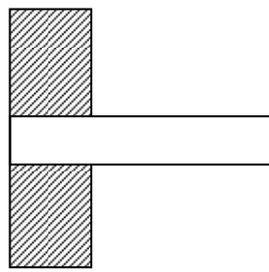
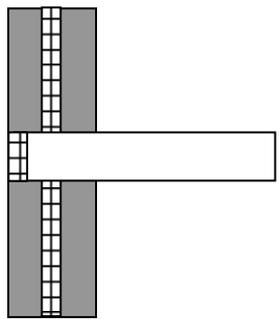
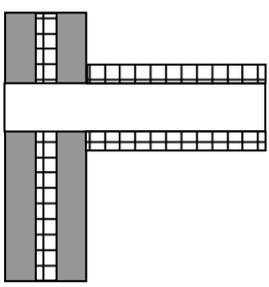
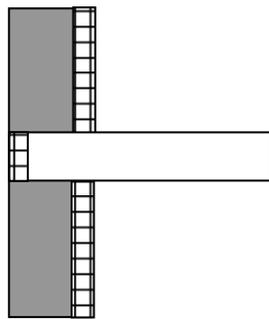
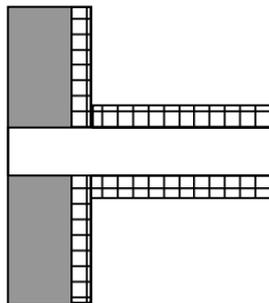
**Pareti interne:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>IW1</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,74</math></p>  <p><math>e, oi = 2,15</math></p>	<p>IW2</p> <p><math>\Psi_e = 0,50</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,50</math>  <math>\Psi_i = 0,55</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,26</math></p> 	<p>IW3</p> <p><math>\Psi_e = 0,50</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,50</math>  <math>\Psi_i = 0,55</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,22</math></p> 	<p>IW4</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,81</math></p> 	
<p>IW5</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,74</math></p>  <p><math>e, oi = 2,15</math></p>	<p>IW6</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,79</math></p>  <p><math>e, oi = 2,15</math></p>			
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

**Pilastri:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>P1</p> <p><math>\Psi_e = 1,30</math>  <math>\Psi_{oi} = 1,30</math>  <math>\Psi_i = 1,30</math></p> <p><math>L^{2D} = 2,09</math></p> <p><math>e = 2,3</math></p>  <p><math>i, oi = 2,3</math></p>	<p>P2</p> <p><math>\Psi_e = 1,20</math>  <math>\Psi_{oi} = 1,20</math>  <math>\Psi_i = 1,20</math></p> <p><math>L^{2D} = 2,01</math></p> 	<p>P3</p> <p><math>\Psi_e = 1,05</math>  <math>\Psi_{oi} = 1,05</math>  <math>\Psi_i = 1,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,83</math></p> 	<p>P4</p> <p><math>\Psi_e = 0,90</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,90</math>  <math>\Psi_i = 0,90</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,76</math></p> 	
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

**Pavimenti:** le linee con le notazioni  $i$ ,  $oi$ , ed  $e$  indicano il sistema di dimensioni – interne, interne globali, esterne - in [m]

<p>F1</p> <p><math>\Psi_e = 0,00</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\Psi_i = 0,05</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,74</math></p>  <p><math>i = 1,0</math>  <math>i = 1,0</math>  <math>e, oi = 2,15</math></p>	<p>F2</p> <p><math>\Psi_e = 0,80</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,80</math>  <math>\Psi_i = 0,90</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,56</math></p> 	<p>F3</p> <p><math>\Psi_e = 0,75</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,75</math>  <math>\Psi_i = 0,80</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,50</math></p> 	<p>F4</p> <p><math>\Psi_e = 0,55</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,55</math>  <math>\Psi_i = 0,60</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,36</math></p> 	
<p>F5</p> <p><math>\Psi_e = 0,60</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,60</math>  <math>\Psi_i = 0,65</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,33</math></p> 	<p>F6</p> <p><math>\Psi_e = 0,65</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,65</math>  <math>\Psi_i = 0,70</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,40</math></p> 	<p>F7</p> <p><math>\Psi_e = 0,65</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,65</math>  <math>\Psi_i = 0,70</math></p> <p><math>L^{2D} = 1,41</math></p> 	<p>F8</p> <p><math>\Psi_e = 0,20</math>  <math>\Psi_{oi} = 0,20</math>  <math>\Psi_i = 0,30</math></p> <p><math>L^{2D} = 0,99</math></p> 	
<p>Parete </p>	<p>Parete leggera </p>	<p>Strato isolante </p>	<p>Soletta/pilastro </p>	<p>Telaio </p>

