



Università degli Studi di Firenze

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE E DESIGN "PIERLUIGI SPADOLINI"

Caratteristiche termiche delle strutture edilizie

Simone Secchi

Calcolo della trasmittanza termica

Metodo di calcolo è riportato nella norma UNI EN ISO 6946.

La trasmittanza termica di una partizione è data dal reciproco della resistenza termica totale R_T , somma delle resistenze termiche parziali relative ai diversi strati di cui questa è composta:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

R_{si} e R_{se} sono le **resistenze termiche superficiali** interna ed esterna (m^2K/W);
 R_1, R_2, R_n sono le **resistenze termiche utili** relative ai diversi strati componenti la partizione.

Determinazione delle resistenze termiche superficiali

(m²K/W) (da UNI EN ISO 6946).

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
Resistenza termica superficiale interna (R_{si})	0,10	0,13	0,17
Resistenza termica superficiale esterna (R_{se})	0,04	0,04	0,04

Ai fini del calcolo dei consumi energetici le norme assegnano a R_{si} e R_{se} i seguenti valori di default indipendentemente dalla giacitura dell'elemento: 0,125 (1/8) e 0,043 (1/23).

Determinazione delle resistenze termiche utili (W/mK)

$$R = \frac{d}{\lambda} \left(\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right)$$

d = spessore del materiale (m);

λ = coefficiente di conduttività termica (W/m²K)

Valori dei coefficienti di conduttività termica (λ) dei diversi materiali (da norma UNI 10351)

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
Calcestruzzo						
a) a struttura chiusa ²⁾ :						
— calcestruzzo confezionato con aggregati naturali (valori di calcolo per pareti esterne e interne protette; per pareti esterne non protette assumere $m = 25\%$) ³⁾	2 000	1,3 a 2,6	1,8 a 4	1,01	15	1,16
	2 200			1,29		1,48
	2 400			1,66		1,91
— calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$) ³⁾	1 000	1,3 a 2,6	1,8 a 4	0,25	20	0,31
	1 100			0,29		0,35
	1 200			0,33		0,39
	1 300			0,37		0,44
	1 400			0,42		0,50
	1 500			0,47		0,57
	1 600			0,54		0,65
	1 700	0,63	0,75			
b) a struttura aperta ²⁾ :						
— calcestruzzo di argille espanse (conduttività di riferimento relativa a materiale secco); valori di calcolo per pareti interne o protette con umidità del 4%; per pareti esterne con umidità 6% assumere $m = 30\%$; per pareti di scantinati con 8% di umidità assumere $m = 45\%$; per sottofondi non aerati assumere $m = 100\%$) ³⁾	500	18 a 36	= 60	0,14	20	0,16
	600			0,16		0,18
	700			0,18		0,21
	800			0,20		0,24
	900			0,22		0,27
	1 000			0,25		0,31
— calcestruzzo cellulare da autoclave (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dal 4 al 5%; per pareti esterne con umidità dal 6 al 7% assumere $m = 40\%$; per pareti di scantinati con umidità dall'8 al 10% assumere $m > 50\%$) ³⁾ (per calcestruzzi espansi in situ maggiorare i dati del calcestruzzi da autoclave del 10%)	400	18 a 36	40 a 60	0,12	25	0,15
	500			0,14		0,17
	600			0,15		0,19
	700			0,17		0,22
	800			0,20		0,25
— calcestruzzo di inerti espansi di origine vulcanica (valori orientativi di calcolo per pareti interne o esterne protette)	1 000					0,38
	1 200					0,47
	1 400					0,58



— calcestruzzo di perlite e di vermiculite (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette con umidità dall'8 al 10%; per pareti esterne con umidità dal 10 al 12% assumere $m = 55\%$; per pareti di scantinati con umidità dal 12 al 14% assumere $m = 65\%$) ²⁾	250			0,9	40	0,13
	400			0,11		0,15
— calcestruzzo in genere, in mancanza di ulteriori informazioni (valori di calcolo per pareti interne o esterne protette; per pareti di scantinati utilizzare le maggiorazioni relative al tipo di calcestruzzo che si ritiene più simile al prodotto considerato) ²⁾	400					0,19
	500					0,22
	600					0,24
	700					0,27
	800					0,30
	900					0,34
	1 000					0,38
	1 100					0,42
	1 200					0,47
	1 300					0,52
	1 400					0,58
	1 500					0,65
	1 600					0,73
1 700					0,83	
1 800					0,93	
1 900					1,06	
Carta, cartone e derivati						
— carta e cartone	1 000		1 a 2			0,16
— cartone bitumato	1 100		(60 a 90) · 10 ⁻³			0,23
— cartongesso in lastre	900		≈ 23			0,21
— cartone ondulato	100					0,065
Fibre minerali						
Sul valore di m le tolleranze di spessore di feltri o pannelli con 10 cm di spessore incidono da 2 a 3% in molti casi; tuttavia per alcuni feltri i valori indicati vengono ampiamente superati. Ogni unità percentuale di umidità dà luogo ad aumenti dei valori						

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_u \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
utili di calcolo dall'1 al 5%; per applicazioni interne ³) il contenuto di umidità è dell'1% ed il suo effetto è già compreso nei dati utili di calcolo. Per temperature comprese tra 270 e 370 K la conduttività dei materiali di fibre minerali subisce aumenti, al crescere della temperatura media, che vanno da 0,4% / K per materiali pesanti a 0,8% / K per i materiali più leggeri. L'effetto della manipolazione e dell'installazione per l'accostamento incide su m dall'1 al 3%. Per montaggi con staffe o altri sistemi che introducono ponti termici maggiorare i valori di calcolo almeno del 5%; per montaggi contro il terreno ⁴) valori di calcolo devono essere maggiorati almeno del 25%. Per i materiali leggeri le resistenze termiche specifiche non sono rigorosamente additive; ricalcolare la resistenza termica specifica totale di ciascun manufatto o di ciascun isolamento composto di più strati sovrapposti di resistenza nota.						
— fibre di vetro						
— feltri resinati	11	} ≈ 150	} ≈ 150	0,048	} 10	0,053
	14			0,044		0,048
	16			0,042		0,046
— pannelli semirigidi	16	} ≈ 150	} ≈ 150	0,042	} 10	0,046
	20			0,039		0,043
	30			0,036		0,040
— pannelli rigidi (i valori minimi della conduttività corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m ⁴)	100	≈ 150	≈ 150	0,035	10	0,038
— fibre minerali ottenute da rocce feldspatiche						
— feltri resinati	30	≈ 150	≈ 150	0,041	10	0,045
	35	} ≈ 150	} ≈ 150	0,040	} 10	0,044
— pannelli semirigidi	40			0,038		0,042
	55			0,036		0,040
— pannelli rigidi	80	} ≈ 150	} ≈ 150	0,035	} 10	0,039
	100			0,034		0,038
	125			0,034		0,038
— pannelli in fibre orientate	100	≈ 150	≈ 150	0,044	10	0,048

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_a \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	$\delta_v \cdot 10^{12}$ (kg/msPa)	λ_m (W/mK)	m %	λ (W/mK)
<ul style="list-style-type: none"> — fibre minerali ottenute da rocce basaltiche (verificare l'influenza su m delle tolleranze di spessore, il valore indicato ipotizza il 10%) — feltri trapuntati 	60 80 100	} ≅ 150 }	} ≅ 150 }	0,037 0,037 0,038	20 20 20	0,044 0,044 0,045
<ul style="list-style-type: none"> — fibre minerali ottenute da loppe di altoforno — feltri — pannelli semirigidi e rigidi 	40 40 60 80 100 150	} ≅ 150 }	} ≅ 150 }	0,049 0,049 0,044 0,042 0,042 0,044	10 10	0,054 0,054 0,048 0,046 0,046 0,048
Intonaci e malte <ul style="list-style-type: none"> — malte di gesso per intonaci o in pannelli con inerti di vario tipo (per prodotti senza inerti e secchi le conduttività di riferimento possono valere il 60% dei valori di calcolo) — intonaco di gesso puro — intonaco di calce e gesso — malta di calce o di calce e cemento — malta di cemento 	600 750 900 1 000 1 200 1 200 1 400 1 800 2 000	} ≅ 18 }	≅ 18 ≅ 18 5 a 12 5 a 12			0,29 0,35 0,41 0,47 0,58 0,35 0,70 0,90 1,40
Laterizi Per mattoni forati la conduttività non è definibile né misurabile; i valori assegnati a λ_m e a λ devono intendersi pertanto solamente come grandezze dimensionalmente equivalenti a conduttività termiche e ricavabili dal prodotto delle conduttanze per lo spessore. Le masse volumiche e le conduttività indicative di riferimento λ_m si riferiscono al solo laterizio (incluso nel volume del laterizio fori e porosità), mentre le conduttività utili di calcolo si riferiscono alla muratura completa; ne consegue che la maggiorazione m non tiene solo conto degli usuali fattori di maggiorazione, ma con-						

globa anche l'effetto della presenza delle malte tra laterizio e laterizio. Le presenti indicazioni sono necessariamente di prima approssimazione; dati più rigorosi possono essere valutati conoscendo il tipo di laterizio e il tipo di malta che compongono la muratura. Per ulteriori informazioni vedere UNI 10355. Valori di calcolo relativi a pareti interne con umidità dello 0,5%³⁾; per pareti esterne con umidità dell'1,5% raddoppiare i valori di m .

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

600	18 a 36	18 a 36	0,13	90	0,25
800			0,18	65	0,30
1 000			0,24	48	0,36
1 200			0,32	35	0,43
1 400			0,40	25	0,50
1 600			0,50	18	0,59
1 800			0,63	14	0,72
2 000			0,80	12	0,90

Materiali sfusi e di riempimento

materiali sfusi a bassa massa volumica:

- argilla espansa in granuli da 3 a 25 mm (valori di calcolo relativi ad applicazioni interne con umidità 1%; se applicata contro il terreno l'umidità sale al 20% circa e i valori di calcolo vengono maggiorati almeno del 50%)⁴⁾
- fibre di cellulosa (umidità del 15%, massa volumica relativa al materiale appena posato, costipamento per strati orizzontali inferiore al 25%; mancano informazioni sul costipamento di strati verticali)
- perlite espansa in granuli da 0,1 a 2,3 mm
- polistirolo espanso in granuli (umidità 3%; verificare il costipamento; verificare la uniforme distribuzione in strati orizzontali)
- pomice naturale
- scorie espanse
- vermiculite espansa in granuli da 0,1 a 12 mm

280	0,08	15	0,09
330	0,09	15	0,10
450	0,10	15	0,12
32	0,040	45	0,058
100	0,055	20	0,066
15	0,045	20	0,054
400	0,08		
600			0,13
80	0,064	20	0,077
120	0,068	20	0,082

materiali sfusi ad alta massa volumica

- ciottoli e pietre frantumate (umidità 2%)
- ghiaia grossa senza argilla (umidità 5%)
- sabbia secca (umidità < del 1%)

1 500	0,4	75	0,7
1 700	0,6	100	1,2
1 700	0,35	70	0,6

Materie plastiche cellulari

Le conduttività di riferimento sono valide per materiali prodotti da non meno di 100 d (giorni). Per temperature medie comprese tra 270 e 320 K la conduttività delle materie plastiche cellulari aumenta da 0,4 a 0,5% / K al crescere della temperatura media del materiale. Sul valore di m le tolleranze di spessore riferite a lastre di 10 cm di spessore, incidono dall'1 al 3%; l'effetto dell'installazione per incollaggio accostamento, incastro o battentatura, ecc. incide dall'1 al 3%, per montaggi che impiegano staffe o altri sistemi che introducono ponti termici, maggiorare i dati di calcolo almeno del 5%. Per montaggi contro il terreno maggiorare i dati di calcolo dal 10 al 25%⁴⁾. Per i materiali leggeri le resistenze termiche specifiche non sono rigorosamente additive; ricalcolare la resistenza termica specifica totale di ciascun manufatto o di ciascun isolamento composto da più strati sovrapposti di resistenza termica specifica nota. Qualora sia fornita, per un determinato materiale, una correlazione tra la conduttività a 100 d dalla produzione e la conduttività ad un diverso numero di giorni dalla produzione, si possono ricalcolare i valori di m .

— cloruro di polivinile espanso rigido in lastre ⁵⁾	30	} 0,5 a 1	1 a 2	0,032	20	0,036
	40			0,035	20	0,041
— polietilene ⁵⁾	30			0,042	20	0,050
— espanso estruso in continuo, non reticolato	50			0,050	20	0,060
— espanso estruso in continuo, reticolato	33			0,040	20	0,048
	50			0,048	20	0,058
— polistirene (contenuto di umidità in pareti interne ³⁾ da 1 a 2%; per applicazioni contro il terreno ⁴⁾ sino al 20%; per i prodotti estrusi i valori di umidità indicati devono essere circa dimezzati. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità)	15	} 2,5 a 6	2,5 a 6	0,041	10	0,045
— espanso sinterizzato per alleggerimento strutture	20			0,037	10	0,041
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi (conforme a UNI 7891, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento ricalcolate a 293 K e per 10 cm di spessore)	25	} 1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,036	10	0,040
	30			0,036	10	0,040
— espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi	10	} 2,5 a 6	2,5 a 6	0,051	10	0,059
	15			0,043	10	0,047
	20	} 1,8 a 4,5	1,8 a 4,5	0,040	10	0,044
	25			0,039	10	0,042
	30			0,038	10	0,042

— espanso, in lastre stampate per termocompressione	20			0,036	10	0,040
	25			0,035	10	0,039
	30			0,035	10	0,039
— espanso estruso, con pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio anche all'esterno senza protezione dall'acqua; per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)	30			0,031	10	0,036
	35			0,030	10	0,035
— espanso estruso, senza pelle (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio, per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)	30	} 0,6 a 2,2	0,6 a 2,2	0,037	10	0,041
	50			0,028	20	0,034
— poliuretani (contenuto di umidità in pareti interne ³⁾ pari a 1%, in montaggi contro il terreno ⁴⁾ fino al 10%. La conduttività aumenta da 0,1 a 0,5% per ogni % di umidità. Il valore di <i>m</i> è principalmente dovuto a fenomeni di invecchiamento: essi possono durare decine di anni. L'invecchiamento è dovuto alla diffusione degli agenti schiumanti verso l'atmosfera e dell'aria all'interno del poliuretano espanso; i valori di <i>m</i> qui proposti si riferiscono a materiali senza membrane protettive contro i fenomeni di diffusione; una membrana metallica continua di spessore superiore a 0,05 mm annulla quasi completamente i fenomeni di diffusione per cui <i>m</i> può essere ridotto in questo caso al 15%. Mancano invece informazioni attendibili per altri tipi di membrane)	25	} 1 a 2		0,031	10	0,034
	32			0,029	40	0,032
	40			0,022	45	0,032
	50			0,022	45	0,032
— poliisocianurati in lastre ricavate da blocchi	32	} 1 a 2		0,025	30	0,032
	40			0,023	40	0,032
— poliuretani espansi in situ	37	} 3,6 a 6		0,023	50	0,035
— resine fenoliche in lastre ⁵⁾	35			0,034	} 20	0,041
60	0,037	0,044				
80	0,038	0,046				
— resine ureiche espanso in situ (conduttività di riferimento e massa volumica relative a materiali essiccati in aria a 293 K e 50% di umidità relativa. Contenuto di umidità in esercizio del 20%; il valore di <i>m</i> è dovuto alla fessurazione del materiale ed al contenuto di umidità, dati applicabili non oltre 8 cm di spessore)	8	} 30 a 140		0,038	} 50	0,057
	12			0,036		0,054
	15			0,034		0,051
	30			0,032		0,048

Pannelli e lastre varie

- lastre a base di perlite espansa, fibre e leganti bituminosi
- pannelli di fibre di legno duri ed extraduri (contenuto di umidità 10%)
- pannelli di lana di legno con leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)
- pannelli di spaccato di legno e leganti inorganici (contenuto di umidità 15%)
- pannelli di particelle (contenuto di umidità 10%)
 - pressati
 - estrusi
- pannelli di legno compensato; usare per la conduttività i valori relativi ai legnami con cui sono prodotti
 - sughero (contenuto di umidità dal 2 al 4%)
 - espanso puro
 - espanso con leganti

190	≅ 26	≅ 36	0,059	20	0,071
800	} ≅ 2,6		0,12	} 20	0,14
900			0,13		0,16
1 000			0,15		0,18
300	} 36 a 90		0,071	} 20	0,085
350			0,076		0,091
400			0,081		0,097
500			0,091		0,11
400			0,09	} 30	0,12
500			0,11		0,14
600			0,12		0,16
500	} 1,8 a 3,6		0,083	} 20	0,10
600			0,10		0,12
700			0,13		0,15
700			0,14		0,17
600	} ≅ 9				
	} 0,45 a 3,6				
130	6,7 a 10	6,7 a 10	0,041	10	0,045
90	6,7 a 10	6,7 a 10	0,039	10	0,043
130	} 4 a 21	} 4 a 21	0,041	10	0,045
200			0,047	10	0,052
Vetro					
— cellulare espanso					
130	≅ 0	≅ 0	0,050	10	0,055
150	≅ 0	≅ 0	0,055	10	0,060
180	≅ 0	≅ 0	0,060	10	0,066
— da finestre					
2 500	≅ 0	≅ 0			1,0

Intercapedini d'aria

Nel caso di pareti con intercapedini d'aria, queste sono caratterizzate da un valore della resistenza termica da sommare a denominatore dell'equazione generale della trasmittanza termica.

Le intercapedini d'aria sono infatti interessate da **scambi termici per irraggiamento e convezione** che impediscono di valutare il solo coefficiente di conduttività termica dell'aria in quiete.

La resistenza termica offerta dall'intercapedine è differente se questa è **ventilata**, debolmente ventilata o **non ventilata**.

Un'intercapedine d'aria si considera **non ventilata**, oltre al caso in cui non sia in comunicazione con l'ambiente esterno, anche nei casi di ventilazione molto ridotta.

Ad esempio, le aperture di drenaggio conformate come giunti verticali aperti sulle pareti esterne di un muro in elementi laterizio a blocchi cavi non sono considerate come aperture di ventilazione.

Resistenze termiche di intercapedini d'aria non ventilate in (m^2K/W) di spessore inferiore a 30 cm

Spessore dell'intercapedine d'aria (mm)	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Resistenza termica utile di **intercapedini debolmente e fortemente ventilate**

La resistenza termica utile di **un'intercapedine d'aria debolmente ventilata** è uguale alla metà dei valori riportati in tabella 5.5. Tuttavia, se la resistenza termica tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno è maggiore di $0,15 \text{ (m}^2\text{K/W)}$, essa deve essere riportata al valore $0,15 \text{ (m}^2\text{K/W)}$.

La resistenza termica totale di una partizione contenente un'**intercapedine d'aria fortemente ventilata** si ottiene trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli altri strati che separano detta intercapedine d'aria dall'ambiente esterno e includendo una resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile (cioè uguale alla resistenza termica superficiale interna del medesimo componente).

Ponti termici

Per tenere conto della presenza dei ponti termici nel calcolo della dispersione termica da parte di un edificio, è necessario aggiungere termini di correzione che coinvolgono la trasmittanza termica lineica e puntuale:

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

L = coefficiente di accoppiamento termico, da utilizzarsi per il calcolo della potenza termica trasmessa attraverso una porzione dell'involucro edilizio contenente ponti termici;

U_i = trasmittanza termica dell' i -esimo componente dell'involucro edilizio;

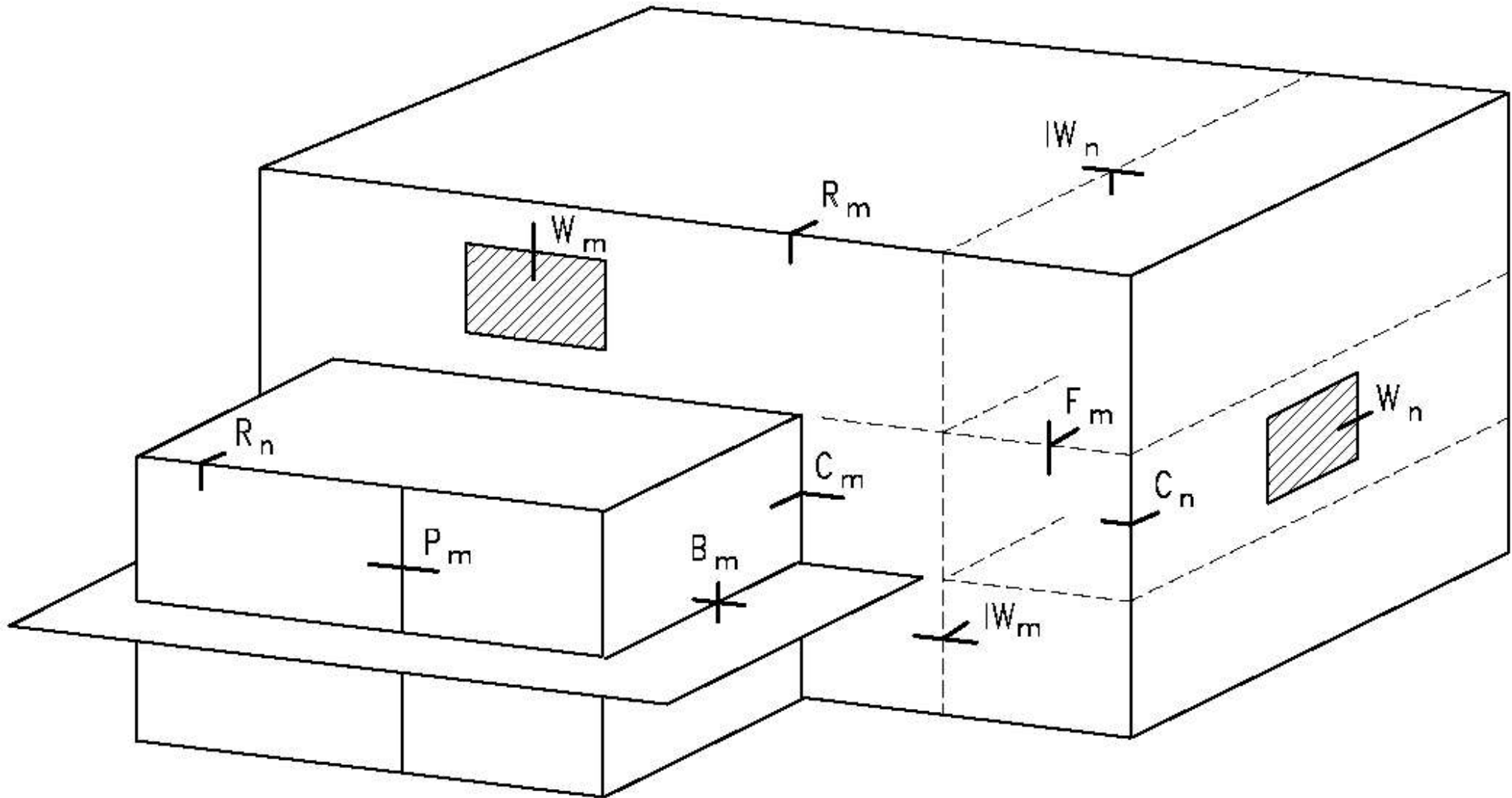
A_i = l'area del componente i ;

ψ_k = **trasmittanza termica lineica** del k -esimo ponte termico lineare;

l_k = **lunghezza del ponte termico lineare**;

χ_j = trasmittanza termica puntuale del j -esimo ponte termico puntuale (generalmente trascurabile).

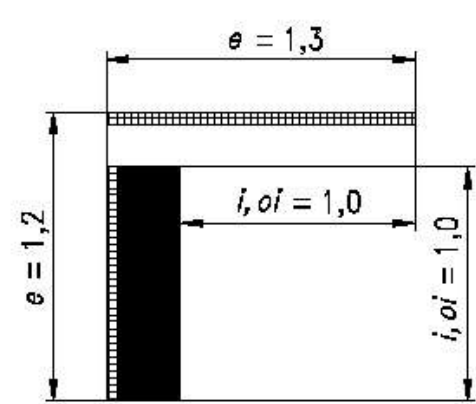
Posizione e tipologia dei principali ponti termici in edilizia



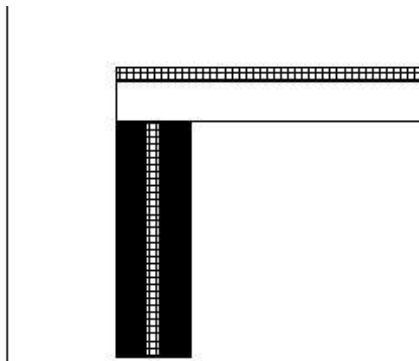
Le diverse **tipologie di ponti termici** vengono valutate con riferimento a quattro differenti possibili posizioni dello strato isolante (lo strato con maggiore resistenza termica):

- sul lato esterno;
- nella parte intermedia;
- sul lato interno;
- uniformemente distribuito nella struttura.

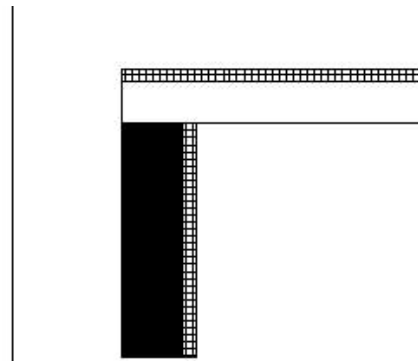
Nodo tra parete esterna e solai di copertura



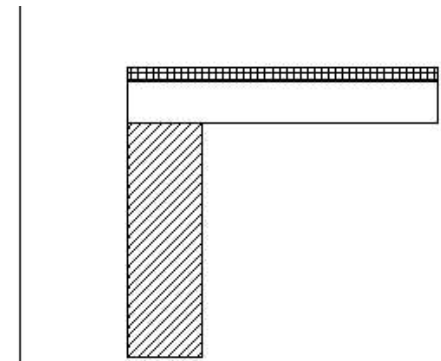
R1
 $L^{2D} = 1,42$
 $\Psi_e = 0,55$
 $\Psi_{oi} = 0,70$
 $\Psi_i = 0,70$



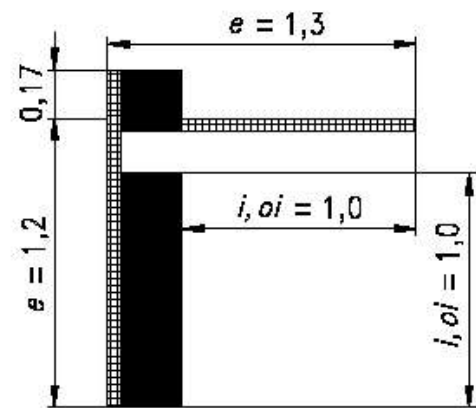
R2
 $L^{2D} = 1,38$
 $\Psi_e = 0,50$
 $\Psi_{oi} = 0,65$
 $\Psi_i = 0,65$



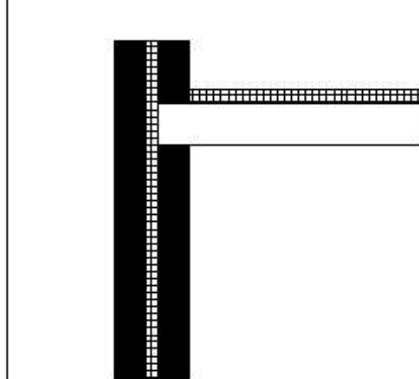
R3
 $L^{2D} = 1,28$
 $\Psi_e = 0,40$
 $\Psi_{oi} = 0,55$
 $\Psi_i = 0,55$



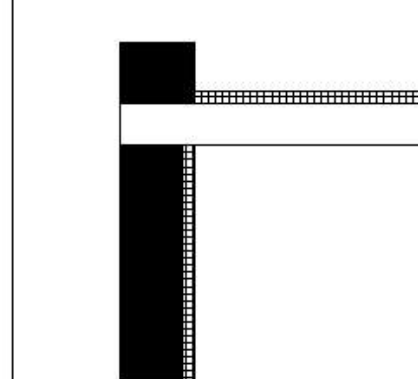
R4
 $L^{2D} = 1,25$
 $\Psi_e = 0,30$
 $\Psi_{oi} = 0,50$
 $\Psi_i = 0,50$



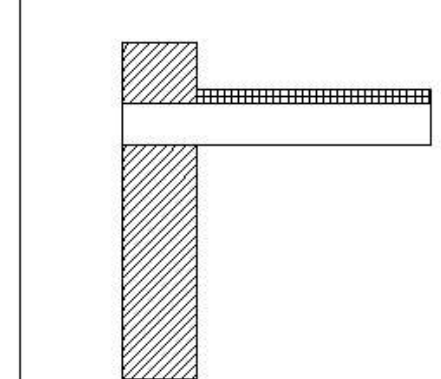
R5
 $L^{2D} = 1,42$
 $\Psi_e = 0,55$
 $\Psi_{oi} = 0,70$
 $\Psi_i = 0,70$



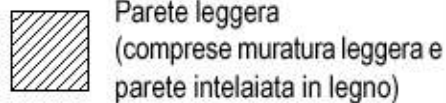
R6
 $L^{2D} = 1,29$
 $\Psi_e = 0,40$
 $\Psi_{oi} = 0,55$
 $\Psi_i = 0,55$



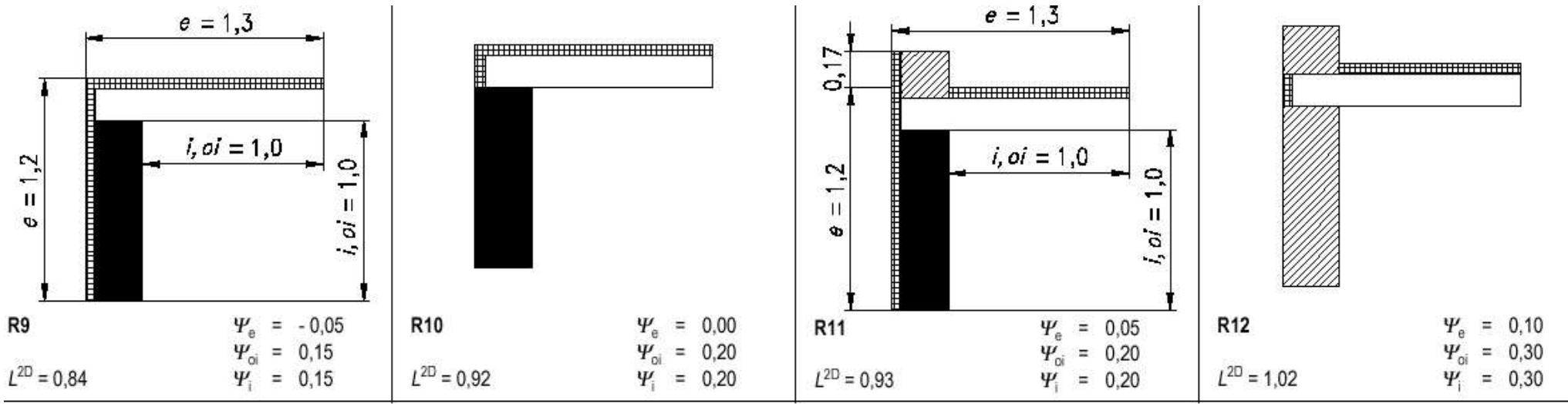
R7
 $L^{2D} = 1,44$
 $\Psi_e = 0,55$
 $\Psi_{oi} = 0,75$
 $\Psi_i = 0,75$



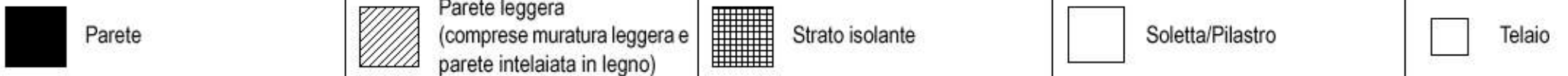
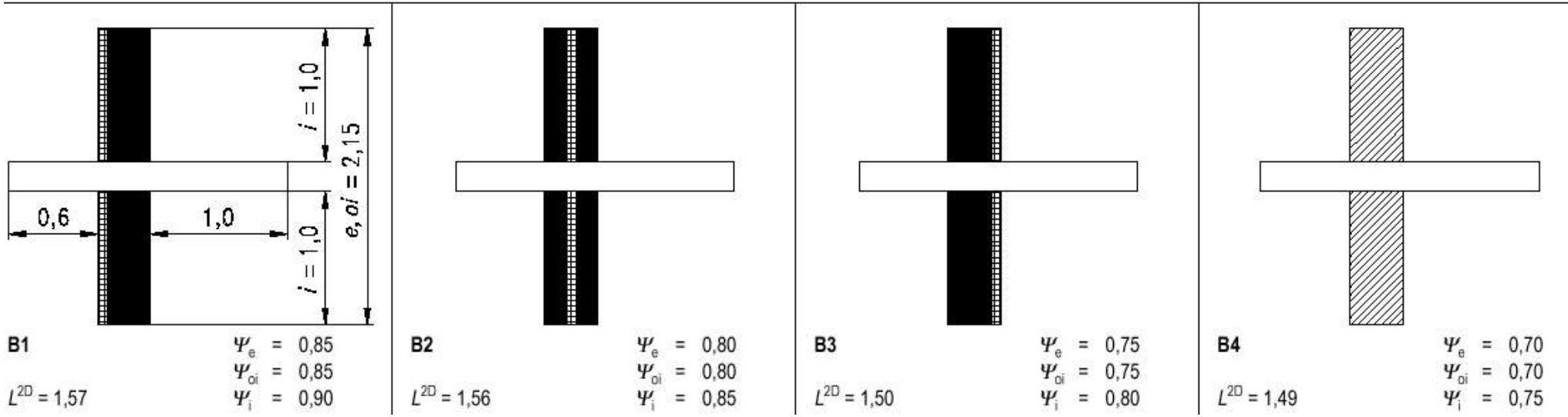
R8
 $L^{2D} = 1,28$
 $\Psi_e = 0,35$
 $\Psi_{oi} = 0,55$
 $\Psi_i = 0,55$



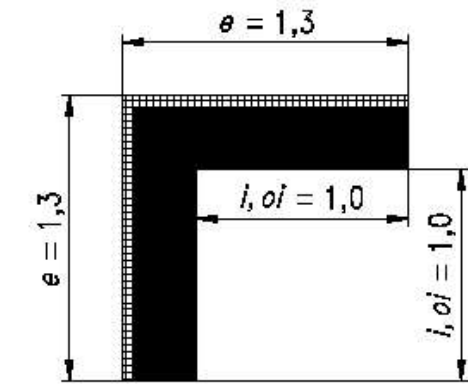
Nodo tra parete esterna e solai di copertura



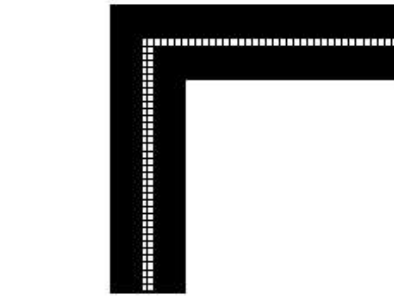
Balconi, poggiali



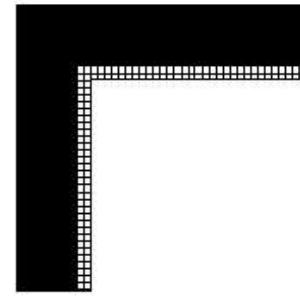
Angoli tra pareti esterne



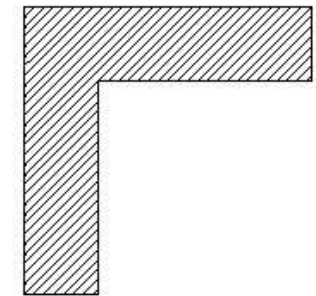
C1
 $L^{2D} = 0,84$
 $\Psi_e = -0,05$
 $\Psi_{oi} = 0,15$
 $\Psi_i = 0,15$



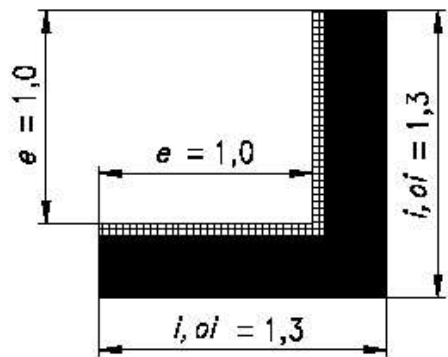
C2
 $L^{2D} = 0,79$
 $\Psi_e = -0,10$
 $\Psi_{oi} = 0,10$
 $\Psi_i = 0,10$



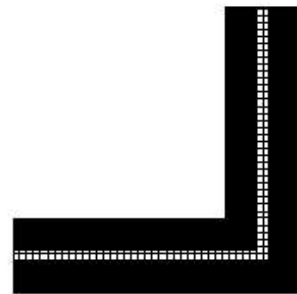
C3
 $L^{2D} = 0,70$
 $\Psi_e = -0,20$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,00$



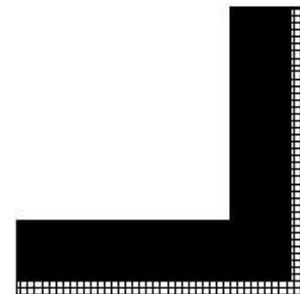
C4
 $L^{2D} = 0,81$
 $\Psi_e = -0,15$
 $\Psi_{oi} = 0,05$
 $\Psi_i = 0,05$



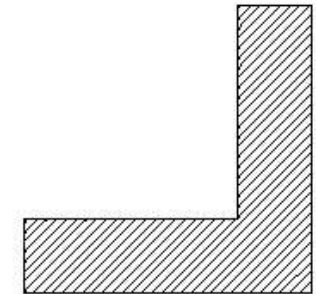
C5
 $L^{2D} = 0,71$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = -0,20$
 $\Psi_i = -0,20$



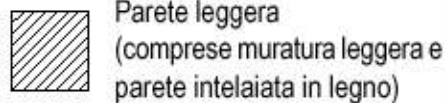
C6
 $L^{2D} = 0,77$
 $\Psi_e = 0,10$
 $\Psi_{oi} = -0,15$
 $\Psi_i = -0,15$



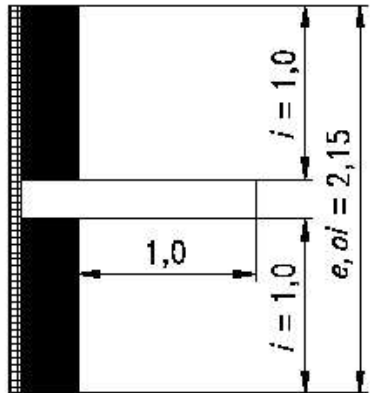
C7
 $L^{2D} = 0,83$
 $\Psi_e = 0,15$
 $\Psi_{oi} = -0,05$
 $\Psi_i = -0,05$



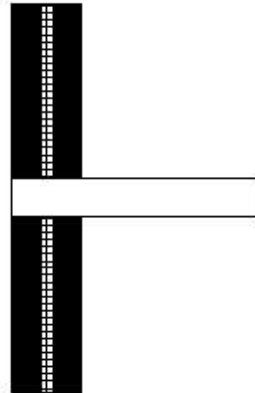
C8
 $L^{2D} = 0,82$
 $\Psi_e = 0,05$
 $\Psi_{oi} = -0,15$
 $\Psi_i = -0,15$



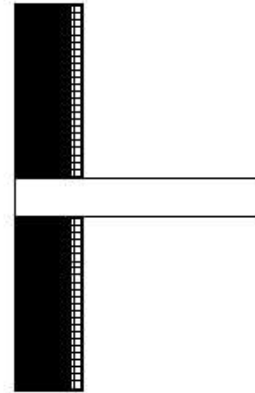
Nodo tra pareti esterne e solai interpiano



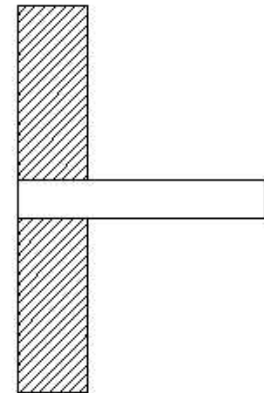
F1
 $L^{2D} = 0,74$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,05$



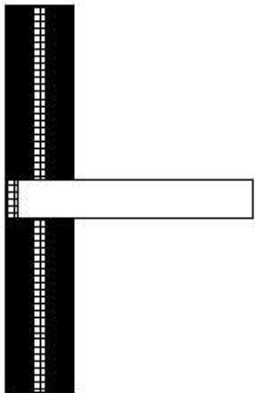
F2
 $L^{2D} = 1,56$
 $\Psi_e = 0,80$
 $\Psi_{oi} = 0,80$
 $\Psi_i = 0,90$



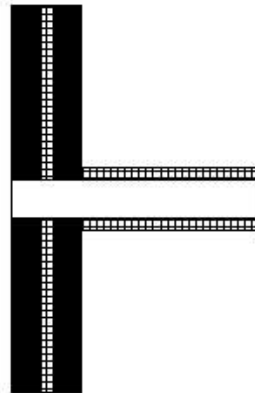
F3
 $L^{2D} = 1,50$
 $\Psi_e = 0,75$
 $\Psi_{oi} = 0,75$
 $\Psi_i = 0,80$



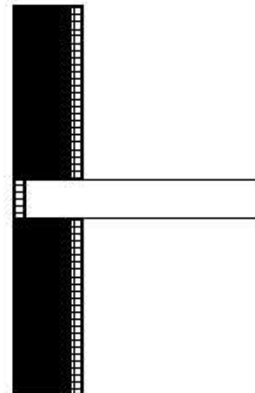
F4
 $L^{2D} = 1,36$
 $\Psi_e = 0,55$
 $\Psi_{oi} = 0,55$
 $\Psi_i = 0,60$



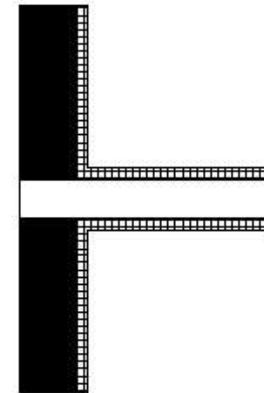
F5
 $L^{2D} = 1,33$
 $\Psi_e = 0,60$
 $\Psi_{oi} = 0,60$
 $\Psi_i = 0,65$



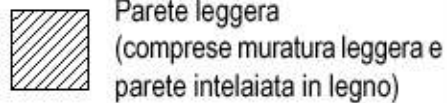
F6
 $L^{2D} = 1,40$
 $\Psi_e = 0,65$
 $\Psi_{oi} = 0,65$
 $\Psi_i = 0,70$



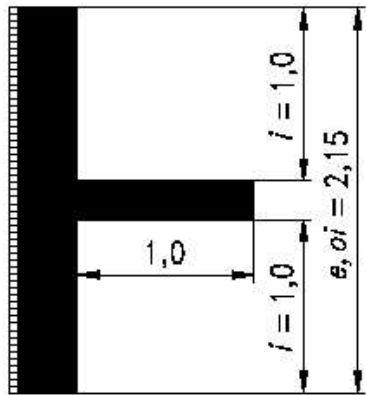
F7
 $L^{2D} = 1,41$
 $\Psi_e = 0,65$
 $\Psi_{oi} = 0,65$
 $\Psi_i = 0,70$



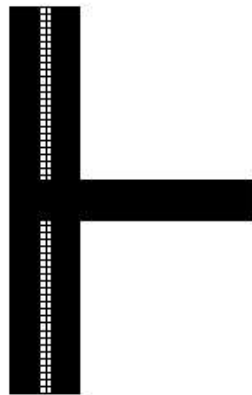
F8
 $L^{2D} = 0,99$
 $\Psi_e = 0,20$
 $\Psi_{oi} = 0,20$
 $\Psi_i = 0,30$



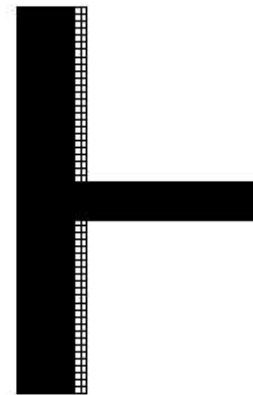
Nodo tra pareti esterne e pareti interne



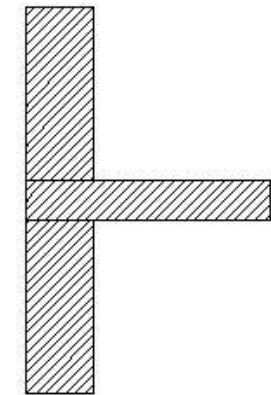
IW1
 $L^{2D} = 0,74$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,05$



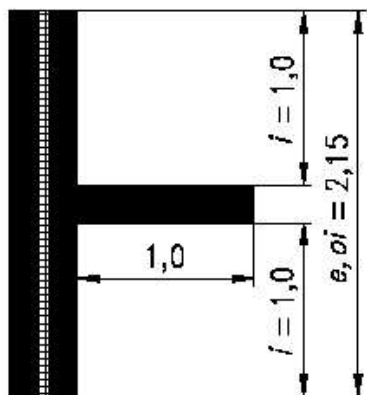
IW2
 $L^{2D} = 1,26$
 $\Psi_e = 0,50$
 $\Psi_{oi} = 0,50$
 $\Psi_i = 0,55$



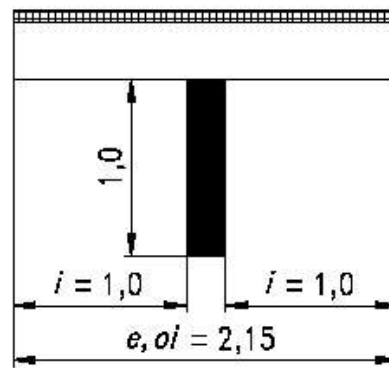
IW3
 $L^{2D} = 1,22$
 $\Psi_e = 0,50$
 $\Psi_{oi} = 0,50$
 $\Psi_i = 0,55$



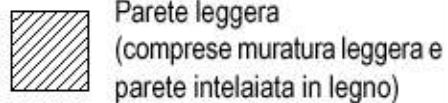
IW4
 $L^{2D} = 0,81$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,05$



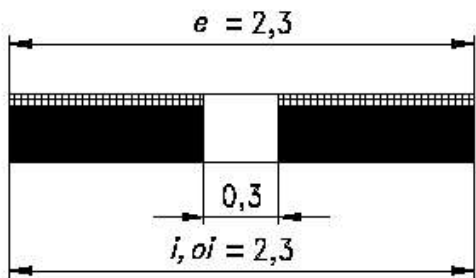
IW5
 $L^{2D} = 0,74$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,05$



IW6
 $L^{2D} = 0,79$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,05$



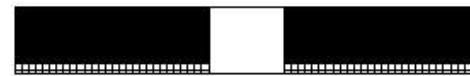
Nodo tra pareti esterne e pilastri



P1 $\Psi_e = 1,30$
 $\Psi_{oi} = 1,30$
 $L^{2D} = 2,09$ $\Psi_i = 1,30$



P2 $\Psi_e = 1,20$
 $\Psi_{oi} = 1,20$
 $L^{2D} = 2,01$ $\Psi_i = 1,20$



P3 $\Psi_e = 1,05$
 $\Psi_{oi} = 1,05$
 $L^{2D} = 1,83$ $\Psi_i = 1,05$



P4 $\Psi_e = 0,90$
 $\Psi_{oi} = 0,90$
 $L^{2D} = 1,76$ $\Psi_i = 0,90$



Parete



Parete leggera
 (comprese muratura leggera e
 parete intelaiata in legno)



Strato isolante

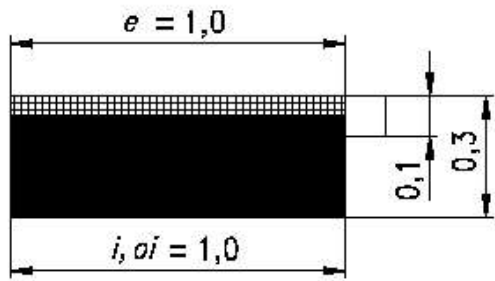


Soletta/Pilastro

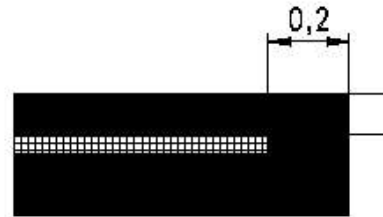


Telaio

Nodo tra pareti esterne e serramenti di porte e finestre



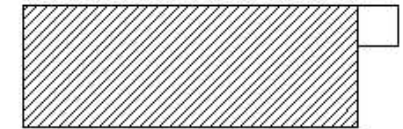
W1 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,00$
 $L^{2D} = 0,36$



W2 $\Psi_e = 0,65$
 $\Psi_{oi} = 0,65$
 $\Psi_i = 0,65$
 $L^{2D} = 1,00$



W3 $\Psi_e = 0,45$
 $\Psi_{oi} = 0,45$
 $\Psi_i = 0,45$
 $L^{2D} = 0,81$



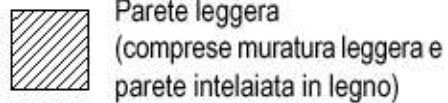
W4 $\Psi_e = 0,05$
 $\Psi_{oi} = 0,05$
 $\Psi_i = 0,05$
 $L^{2D} = 0,41$



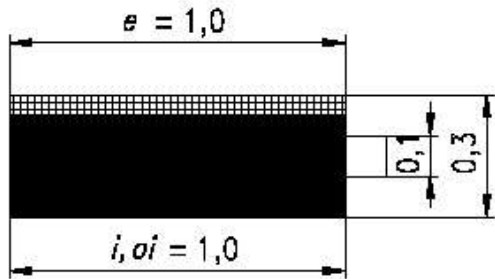
W5 $\Psi_e = 0,05$
 $\Psi_{oi} = 0,05$
 $\Psi_i = 0,05$
 $L^{2D} = 0,40$



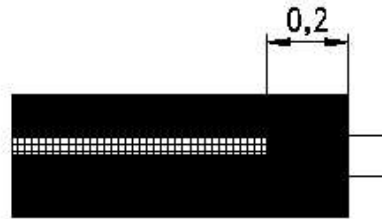
W6 $\Psi_e = 0,10$
 $\Psi_{oi} = 0,10$
 $\Psi_i = 0,10$
 $L^{2D} = 0,44$



Nodo tra pareti esterne e serramenti di porte e finestre



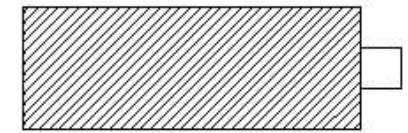
W7
 $L^{2D} = 0,70$
 $\Psi_e = 0,35$
 $\Psi_{oi} = 0,35$
 $\Psi_i = 0,35$



W8
 $L^{2D} = 0,95$
 $\Psi_e = 0,60$
 $\Psi_{oi} = 0,60$
 $\Psi_i = 0,60$



W9
 $L^{2D} = 0,56$
 $\Psi_e = 0,20$
 $\Psi_{oi} = 0,20$
 $\Psi_i = 0,20$



W10
 $L^{2D} = 0,39$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,00$



W11
 $L^{2D} = 0,36$
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,00$



W12
 $L^{2D} = 0,41$
 $\Psi_e = 0,05$
 $\Psi_{oi} = 0,05$
 $\Psi_i = 0,05$



Parete



Parete leggera
 (comprese muratura leggera e
 parete intelaiata in legno)



Strato isolante

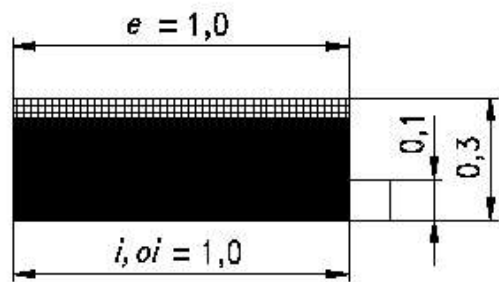


Soletta/Pilastro

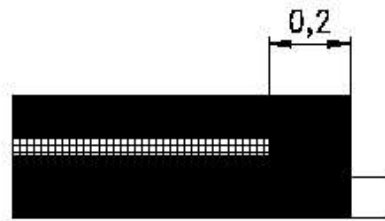


Telaio

Nodo tra pareti esterne e serramenti di porte e finestre



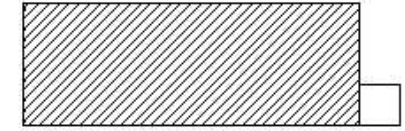
W13
 $\Psi_e = 0,60$
 $\Psi_{oi} = 0,60$
 $\Psi_i = 0,60$
 $L^{2D} = 0,93$



W14
 $\Psi_e = 0,65$
 $\Psi_{oi} = 0,65$
 $\Psi_i = 0,65$
 $L^{2D} = 1,02$



W15
 $\Psi_e = 0,00$
 $\Psi_{oi} = 0,00$
 $\Psi_i = 0,00$
 $L^{2D} = 0,35$



W16
 $\Psi_e = 0,05$
 $\Psi_{oi} = 0,05$
 $\Psi_i = 0,05$
 $L^{2D} = 0,42$



W17
 $\Psi_e = 0,40$
 $\Psi_{oi} = 0,40$
 $\Psi_i = 0,40$
 $L^{2D} = 0,72$



W18
 $\Psi_e = 0,20$
 $\Psi_{oi} = 0,20$
 $\Psi_i = 0,20$
 $L^{2D} = 0,57$



Parete



Parete leggera
 (comprese muratura leggera e
 parete intelaiata in legno)



Strato isolante



Soletta/Pilastro



Telaio

Calcolo della dispersione termica dell'edificio

La somma dei coefficienti di accoppiamento termico L , riferiti alle varie parti dell'involucro edilizio (chiusure orizzontali e verticali), e dei coefficienti di accoppiamento attraverso il terreno e con spazi non riscaldati fornisce il coefficiente di dispersione termica dell'edificio per trasmissione (H_T).

Se a questo si somma il coefficiente di dispersione per ventilazione (H_V), si ottiene il coefficiente di dispersione termica dell'edificio (H), da utilizzarsi per il calcolo della potenza termica complessivamente dispersa (Q), ai fini delle verifiche di legge.

$$H = H_T + H_V$$

$$Q = H(\theta_i - \theta_e)$$

θ_i e θ_e ($^{\circ}\text{C}$) = valori delle temperature interna ed esterna di progetto.