

Trasmittanza

Michele De Carli



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI FISICA TECNICA

MECCANISMI FONDAMENTALI DEL TRASPORTO DI CALORE

- **Conduzione**
- **Convezione**
- **Radiazione**

Conduzione termica

- Legge fondamentale: postulato di Fourier

$$dq = -\lambda dA \frac{\partial t}{\partial n}$$

Regime stazionario: strato piano semplice

$$q = A \frac{\lambda}{s} (t_{si} - t_{se})$$

strato piano composto

$$q = \frac{A (t_{si} - t_{se})}{\Sigma (s_i / \lambda_i)}$$

- Conduttività termica λ [W/(m K)], [kcal/(m h °C)]

Convezione termica

Fluido a temperatura t che lambisce una superficie solida a temperatura t_s

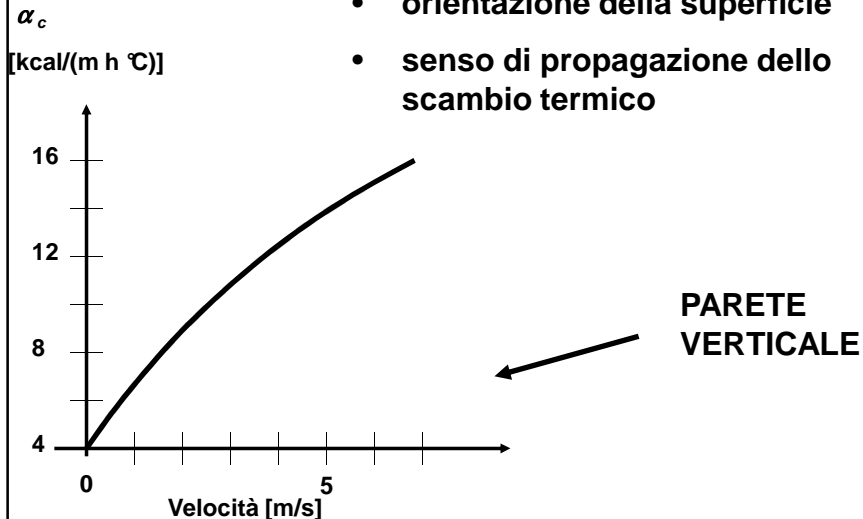
Flusso termico:

$$q = \alpha_c A (t_s - t) \quad t_s > t$$

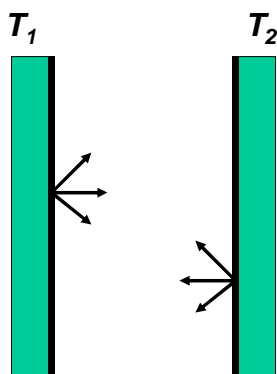
$$\alpha_c \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]; [kcal/(m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C)]}$$

Per una superficie piana lambita da aria, α_c dipende principalmente da:

- velocità dell'aria
- orientazione della superficie
- senso di propagazione dello scambio termico



Radiazione termica



Superfici piane, parallele, affacciate, a temperatura rispettivamente T_1 e T_2

$$q = \frac{\sigma_n A (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

σ_n : costante di Stephan-Boltzmann
 $5.76 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: emissività delle due superfici.

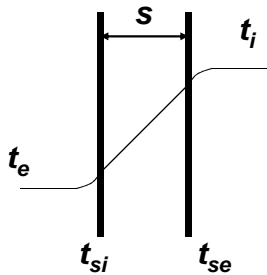
Per pareti in muratura $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.9$,
 pertanto: $1 < 1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1 < 1.1$

$$q = \sigma_n A (T_1^4 - T_2^4) = \sigma_n A T_m^3 (T_1 - T_2) = \alpha_r A (T_1 - T_2)$$

α_r coefficiente di scambio termico radiante = $5.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

TRASMITTANZA TERMICA

Strato piano semplice: temperatura dell'aria esterna e interna t_i e t_e
 temperature superficiali t_{si} t_{se}
 temperature medie radianti t_i t_e



Dalla superficie esterna dello strato viene disperso il flusso termico:

- Per convezione verso l'aria
 $q = \alpha_{ce} A (t_{se} - t_e)$
- Per radiazione verso l'involucro in vista
 $q = \alpha_{re} A (t_{se} - t_e)$
- globalmente (flussi in parallelo):
 $q = (\alpha_{re} + \alpha_{ce}) A (t_{se} - t_e)$

Adduttanza unitaria o coefficiente liminare esterno α_e

Analogamente la superficie interna dello strato riceve il flusso termico:

$$q = (\alpha_{ri} + \alpha_{ci}) A (t_{si} - t_i)$$

α_i Adduttanza unitaria o coefficiente liminare interno

A regime permanente (condizioni stazionarie) il medesimo flusso termico deve passare per conduzione attraverso lo spessore dello strato:

$$q = A \frac{\lambda}{s} (t_{si} - t_{se})$$

$$q = K A (t_i - t_e)$$

Trasmittanza unitaria U

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\lambda}{s} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

Per una parete multistrato:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\lambda}{s} + \sum R + \frac{1}{\alpha_e}}$$

Determinazione delle temperature superficiali:

$$q/A = U(t_i - t_e) = \alpha_i(t_i - t_{si}) = \alpha_e(t_e - t_{se})$$

$$t_{si} = t_i - U/\alpha_i (t_i - t_e)$$

$$t_{se} = t_e - U/\alpha_e (t_i - t_e)$$

Per ogni strato j di resistenza R_j :

$$\Delta t_j / (t_i - t_e) = U/R_j$$

Per il calcolo della trasmittanza termica U di ciascun componente si usano i dati di conduttività termica, resistenza termica e le relazioni riportate nelle seguenti norme:

componenti opachi:

**caratteristiche dei materiali da costruzione:
UNI 10351 ed UNI EN ISO 10456**

**murature e solai:
UNI 10355 [c] ed UNI EN 1745 [d].**

**componenti finestrati:
UNI 10077 parti 1 e 2**

UNI 10351

Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.

Fornisce i valori di conduttività termica di permeabilità dei materiali da costruzione. Deve essere impiegata quando non esistano norme specifiche per il materiale considerato.

(seguito del prospetto)														
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)								
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 2 200 2 400	} 1,3 a 2,6	} 1,8 a 4	1,01 1,29 1,66	} 15	1,16 1,48 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 1 100 1 200 1 300 1 400 1 500 1 600 1 700			} 1,3 a 2,6		} 1,8 a 4	0,25 0,29 0,33 0,37 0,42 0,47 0,54 0,63	} 20	0,31 0,35 0,39 0,44 0,50 0,57 0,65 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⁾	500 600 700 800 900 1 000	} 18 a 36	} = 60		0,14 0,16 0,18 0,20 0,22 0,25		} 20		0,16 0,18 0,21 0,24 0,27 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 dei calcestruzzi da autoclave del 10%)	400 500 600 700 800				} 18 a 36				} 40 a 60	0,12 0,14 0,15 0,17 0,20	} 25	0,15 0,17 0,19 0,22 0,25		
— calcestruzzo di inerti espansi di origine vulcanica (valori orientativi di calcolo per pareti interne o esterne protette)	1 000 1 200 1 400												0,38 0,47 0,58	

(segue prospetto)

(segue dal prospetto)

Materiale	ρ (kg/m ³)	$\delta_s \cdot 10^{12}$ (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 conducibilità dei materiali di fibre minerali subisce aumenti, al crescere della temperatura media, che vanno da 0,4% / K per materiali pesanti a 0,6% / 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 e di ciascun isolamento composto di più strati sovrapposti di resistenza nota.						
— fibre di vetro						
— feltri resinati	11	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,048	} 10	0,053
	14			0,044		0,048
	16			0,042		0,046
— pannelli semirigidi	16	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,042	} 10	0,046
	20			0,039		0,043
	30			0,036		0,040
— pannelli rigidi (i valori minimi della conducibilità corrispondono a densità comprese tra 30 e 100 kg/m ³)	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,035	10	0,036
— fibre minerali ottenute da rocce felspatiche						
— feltri resinati	30	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,041	} 10	0,045
	35			0,040		0,044
— pannelli semirigidi	40	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,038	} 10	0,042
	55			0,036		0,040
	80			0,035		0,039
— pannelli rigidi	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,034	10	0,038
	125	} $\cong 150$	} $\cong 150$	0,034	} 10	0,038
	100			0,044		0,048
— pannelli in fibre orientate	100	$\cong 150$	$\cong 150$	0,044	10	0,048

(segue prospetto)

UNI 10355

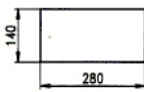
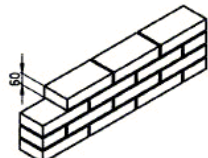
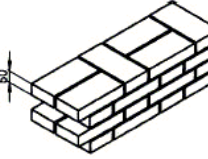
Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.

Fornisce i valori delle resistenze termiche unitarie relative alle tipologie di murature e solai maggiormente diffuse in Italia. Si basa sui risultati conseguiti da prove di laboratorio e verifiche mediante calcolo, condotte nel corso degli ultimi anni.

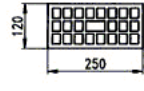
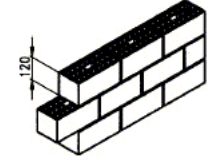
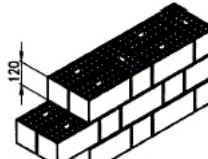
Per questi materiali si possono trovare valori di conducibilità termica.

Si tratta di conducibilità apparente:

$$\lambda^* = s/R$$

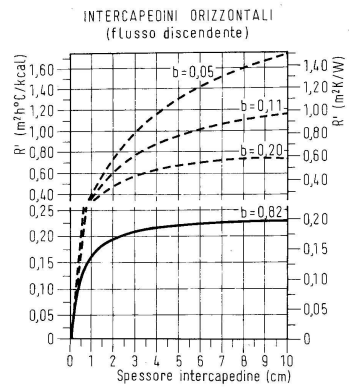
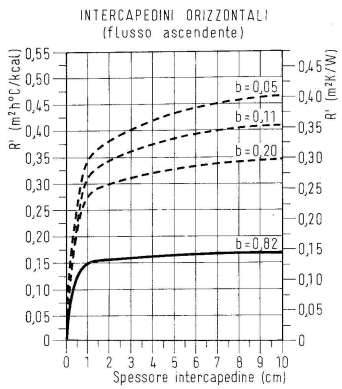
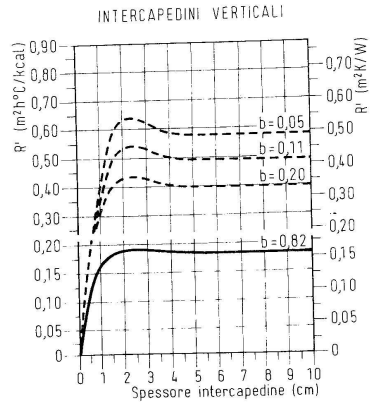
Prospetto I - Strutture verticali realizzate con elementi di laterizio											
Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento			Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura %	tipo	Spessore mm	Tipo di giunto		Massa volumica** kg/m ³	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² /K/W	Fattore di correzione %
 <p>Fig. 1 Mattone pieno</p>	 <p>a)</p>	1.1.01	-	-	140	CM	GC	1800	252	0,18	5
	 <p>b)</p>	1.1.01	-	-	280	CM	GC	1800	504	0,36	3

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento (segue prospetto)

(segue del prospetto)											
Rappresentazione dell'elemento	Rappresentazione della struttura	Caratteristiche elemento			Caratteristiche struttura						
		Codice	Foratura %	tipo	Spessore mm	Tipo di giunto		Massa volumica** kg/m ³	Massa superficiale kg/m ²	Resistenza termica m ² /K/W	Fattore di correzione %
 <p>Fig. 4 Mattone semipieno</p>	 <p>a)</p>	1.1.04	41	V	120	CM	GC	1800	140	0,24	9
	 <p>b)</p>	1.1.04	41	V	250	CM	GC	1800	297	0,47	9

** Valore riferito al materiale costituente l'elemento (segue prospetto)

Intercapedini d'aria



ESEMPI DI TRASMITTANZE TERMICHE

Vetro semplice

$$s = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$$

$$\lambda = 1 \text{ W/(m K)}$$



$$R_v = \frac{s}{\lambda} = \frac{0,004 \text{ m}}{1 \text{ W/(m K)}} = 0,004 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

$$R_i = 1/\alpha_i = 1/8 = 0,125 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

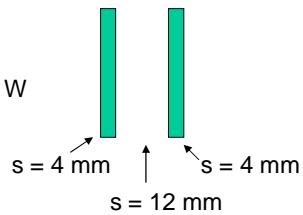
$$R_e = 1/\alpha_e = 1/25 = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

$$R_{\text{tot}} = R_e + R_i + R_v = 0,04 + 0,004 + 0,125 = 0,169 \text{ m}^2 \text{ K / W}$$

$$U_g = 1/R_{\text{tot}} = 1 / 0,169 = 5,92 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Intercapedini d'aria

$$R_v = 0,004 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$



$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9 \longrightarrow 1/\varepsilon_1 = 1,11$$

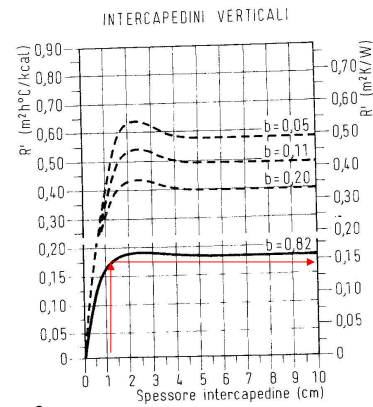
$$b = \frac{1}{2,22 - 1} = 0,82$$

Dal grafico $R' = 0,15 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$

$$R_{\text{tot}} = R_e + R_v + R' + R_v + R_i = 0,04 + 0,004 + 0,15 + 0,004 + 0,125 = 0,323 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

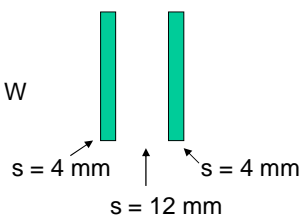
$$U_g = 1/R_{\text{tot}} = 1 / 0,323 = 3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$b = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$



Intercapedini d'aria

$$R_v = 0,004 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$



$$\varepsilon_1 = 0,9; \varepsilon_2 = 0,2 \longrightarrow 1/\varepsilon_1 = 1,11$$

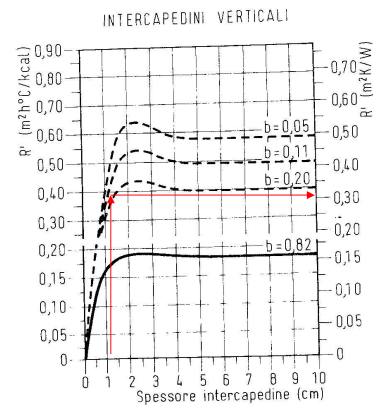
$$b = \frac{1}{6,11 - 1} = 0,196$$

Dal grafico $R' = 0,30 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$

$$R_{\text{tot}} = R_e + R_v + R' + R_v + R_i = 0,04 + 0,004 + 0,30 + 0,004 + 0,125 = 0,473 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

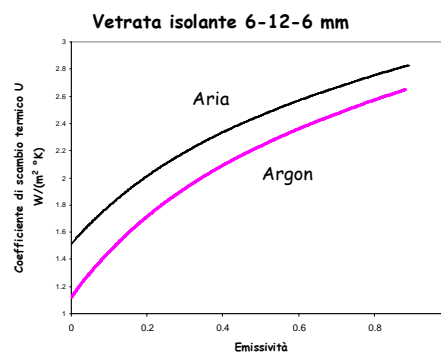
$$U_g = 1/R_{\text{tot}} = 1 / 0,473 = 2,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$b = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$



Influenza del gas contenuto nell'intercapedine

% di gas	Argon	Krypton
100%	1.9	1.7
90%	2.0	1.8
70%	2.0	1.9
50%	2.1	2.0



Influenza del gas contenuto nell'intercapedine

U [W/(m² K)]	Aria	Argon	Krypton
Lastra singola	5.7		
Doppia	2.8	2.7	2.5
Tripla	1.9	1.7	1.6

U [W/(m² K)]	Aria	Argon	Krypton
Doppia float	2.8	2.7	2.5
Doppia Ag-Ag	1.6	1.2	0.9
Tripla float	1.9	1.7	1.6
Tripla Ag-Ag	0.9	0.7	0.4

Trasmittanze termiche per telai di legno e metallo-legno (vedere figura D.3) in funzione dello spessore del telaio d_f

Legenda

X Spessore del telaio d_f in mm

Y U_f in $(W/m^2 \cdot K)$

A Legno duro (densità 700 kg/m^3)

$\lambda = 0,18 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

B Legno tenero (densità 500 kg/m^3)

$\lambda = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$

UNI 10077 parte 1

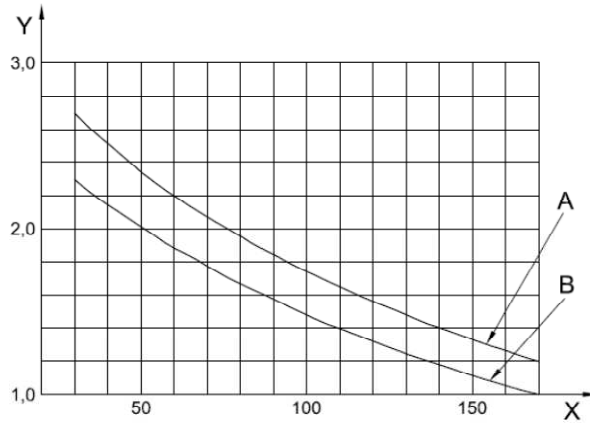
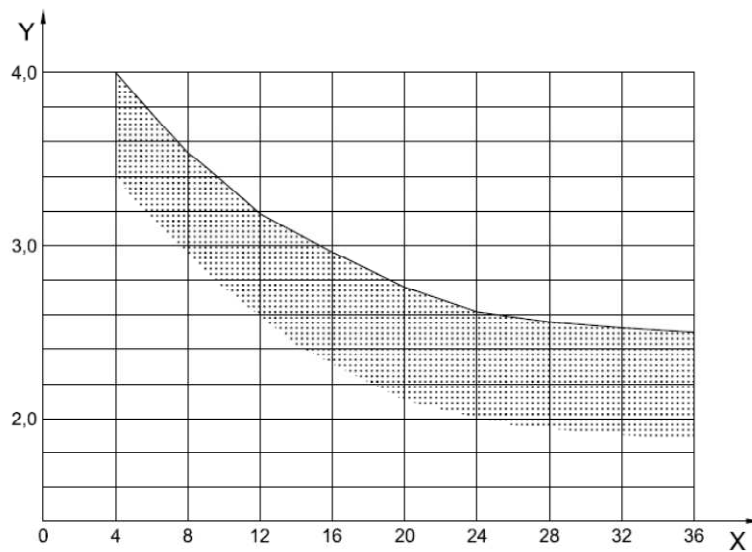


figura D.4 U_{f0} - Valori per telai metallici con taglio termico

Legenda

X La più piccola distanza tra sezioni opposte di alluminio, d , in mm

Y Trasmittanza termica, U_f , in $(W/m^2 \cdot K)$



DISPERSIONI AL TERRENO (EN 12831)

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad [m] \quad (9)$$

where:

- A_g = area of the considered floor slab in square metres (m^2). For a whole building, A_g is the total ground floor area. For part of a building, e.g. a building entity in a row of houses, A_g is the ground floor area under consideration;
- P = perimeter of the considered floor slab in metres (m). For a whole building, P is the total perimeter of the building. For part of a building, e.g. a building entity in a row of houses, P includes only the length of external walls separating the heated space under consideration from the external environment.

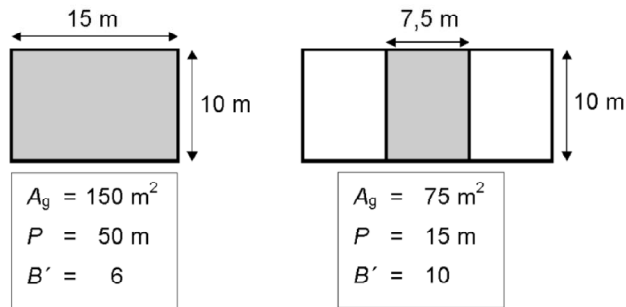


Figure 2 – Determination of the characteristic parameter B'

Floor slab on ground level

The equivalent thermal transmittance of the basement floor is given in figure 3 and table 4, as a function of the thermal transmittance of the floor and the characteristic parameter B' .

