

Lezione 2: carico termico degli edifici

Carico termico: potenza termica che interessa un edificio o parte di esso, assoggette le condizioni esterne le condizioni interne di temperatura, umidità, velocità dell'aria, ... Il carico termico consiste negli scambi termici con l'ambiente e gli eventuali apporti interni, ed eccezione della potenza termica fornita o sottratta all'edificio da parte dell'impianto di riscaldamento / climatizzazione / condizionamento.

- ▷ Il carico termico coincide con la potenza che l'impianto termico deve fornire per compensare gli apporti energetici esterni all'edificio, in determinate condizioni (ESTREME) di progetto.
- ▷ Quindi, la stima del carico termico serve per scegliere l'impianto termico, in grado di fornire la potenza termica necessaria nelle condizioni più gravose.

Regime invernale:

- Progettazione dell'isolamento:
 - calcolato in base al soddisfacimento dei valori limite di trasmittanza dei singoli componenti (o della trasmittanza equivalente dei componenti e dei punti termici ad essi associati, in accordo App B. D. N. 26/06/2015 "Reg. Minimi").
- Determinazione della potenza termica di riscaldamento che l'impianto termico deve erogare:
 - soddisfacimento del carico termico di picco, assegnate le caratteristiche del isolamento e note le temperature esterne (UNI 10349) e interne (20°C ed. civili, 18°C edifici industriali).

● Prestazioni energetiche sistema Edificio + Impianto : (DM 26/06/2015 e norme da esso richiamate, tra cui in particolare la UNI/TS 11300-1, 2, 3, 5)

▷ Verifica dei valori limite di rendimento globale stagionale del sistema edificio + impianto.

▷ In questo caso si considerano ipotesi di funzionamento più realistiche per il sistema, come ad esempio :

- variazione della temperatura esterna

- apporti gratuiti

- rendimento del sistema di regolazione e distribuzione

Nota : il calcolo delle prestazioni energetiche Ed + Imp. secondo D.M. 26/06/15 è talmente "oneroso" che può essere effettuato solo tramite software (CERTIFICATO, NON GRATUITO)

Requisiti minimi includere

Volendo essere cautelativi,
i pacchetti di temporaneo
dell'edificio considerato nel
progetto dovranno soddisfare
i valori limite di U previsti
dal Decreto Efficienza
Energetica

Come cambiano i limiti di trasmittanza per le detrazioni fiscali

Il Decreto Efficienza Energetica ha rivisto i valori limite delle trasmittanze termiche per gli interventi di isolamento termico e la sostituzione dei serramenti.

Fino all'emanazione del Decreto Efficienza Energetica i valori limite di trasmittanza sono stati dettati dalla combinazione del Decreto Requisiti Minimi e del D.M. 26/05/2008; per ritenere le verifiche soddisfatte, è sempre stato necessario rispettare il valore più restrittivo tra il Decreto Requisiti Minimi e le sue declinazioni regionali e il D.M. 26/05/2008, precedente di 5 anni.

Zona Climatica	Strutture verticali opache	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

TAB. 1: Valori limite di trasmittanza in W/m^2K introdotti dal D.M. 26/05/2008, revisione del precedente DM 08/02/2003

Zona Climatica	Strutture verticali opache	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A	0,40	0,32	0,42	3,00
B	0,40	0,32	0,42	3,00
C	0,36	0,32	0,38	2,00
D	0,32	0,26	0,32	1,80
E	0,28	0,24	0,29	1,40
F	0,26	0,22	0,28	1,00

TAB. 2: Valori limite di trasmittanza in W/m^2K introdotti dall'Allegato B del DM Requisiti Minimi

Nell'Art.5 del Decreto Efficienza Energetica sono richiamati i nuovi valori limite di trasmittanza contenuti nell'Allegato E:

Art. 5

(Spese per le quali spetta la detrazione)

1. La detrazione per la realizzazione degli interventi di cui all'articolo 2 spetta per le spese relative a:
ai interventi che comportano una riduzione della trasmittanza termica U degli elementi opachi costituenti l'involucro edilizio, purché detta trasmittanza non sia inferiore ai pertinenti valori di cui all'allegato E, comprensivi delle opere provvisoriale e accessorie, [...]

Zona Climatica	Strutture verticali opache	Coperture	Pavimenti	Serramenti
A	0,38	0,27	0,40	2,60
B	0,38	0,27	0,40	2,60
C	0,30	0,27	0,30	1,75
D	0,26	0,22	0,28	1,67
E	0,23	0,20	0,25	1,30
F	0,22	0,19	0,23	1,00

TAB. 2: Valori limite di trasmittanza in W/m^2K per l'ITE - Allegato E

Il sistema delle detrazioni fiscali si basa sul principio di riconoscere il bonus ad interventi premianti rispetto a quelli normalmente descritti dal Decreto Requisiti Minimi; da qui la necessità di avere dei valori limite per le trasmittanze più restrittivi rispetto agli altri. Il nuovo Decreto Efficienza Energetica riduce i valori di trasmittanza limite per tutte le tipologie di struttura, tranne per i serramenti in zona F, già molto contenuti.

Zona Climatica	Strutture verticali opache		Coperture		Pavimenti		Serramenti	
	Requisiti Minimi	DEE	Requisiti Minimi	DEE	Requisiti Minimi	DEE	Requisiti Minimi	DEE
A	0,40	0,38	0,32	0,27	0,42	0,40	3,00	2,60
B	0,40	0,38	0,32	0,27	0,42	0,40	3,00	2,60
C	0,36	0,30	0,32	0,27	0,38	0,30	2,00	1,75
D	0,32	0,26	0,26	0,22	0,32	0,28	1,80	1,67
E	0,28	0,23	0,24	0,20	0,29	0,25	1,40	1,30
F	0,26	0,22	0,22	0,19	0,28	0,23	1,00	1,00

TAB. 4: Confronto tra i valori limite di trasmittanza del Decreto Requisiti Minimi, Allegato B e del Decreto Efficienza Energetica, Allegato E (DEE)

Come spendere qualche parola in merito alla trattazione che il nuovo decreto fa dei ponti termici

Estratto ACC.B

D.M. 26/06/2015

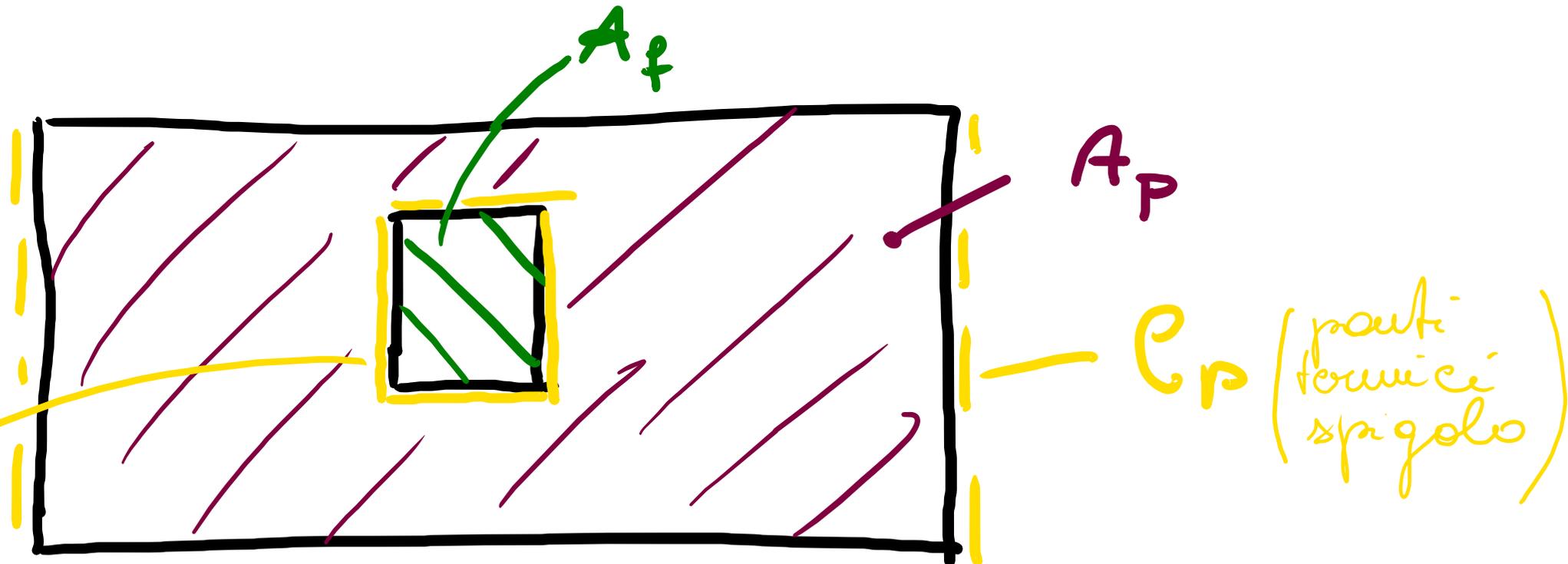
"Requisiti Minimi degli Edifici"

1. Nel caso in cui fossero previste aree limitate di spessore ridotto, quali sottofinestre e altri componenti, i limiti devono essere rispettati con riferimento alla trasmittanza media della rispettiva facciata
2. Nel caso di strutture delimitanti lo spazio climatizzato verso ambienti non climatizzati, i valori limite di trasmittanza devono essere rispettati dalla trasmittanza della struttura diviso per il fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato e non climatizzato, come indicato nella norma UNI TS 11300-1 in forma tabellare.
3. Nel caso di strutture rivolte verso il terreno, i valori limite di trasmittanza devono essere rispettati dalla trasmittanza equivalente della struttura tenendo conto dell'effetto del terreno calcolata secondo UNI EN ISO 13370.
4. I valori di trasmittanza delle precedenti tabelle 1, 2 e 3, si considerano comprensive dei ponti termici all'interno delle strutture oggetto di riqualificazione (a esempio ponte termico tra finestra e muro) e di metà del ponte termico al perimetro della superficie oggetto di riqualificazione.

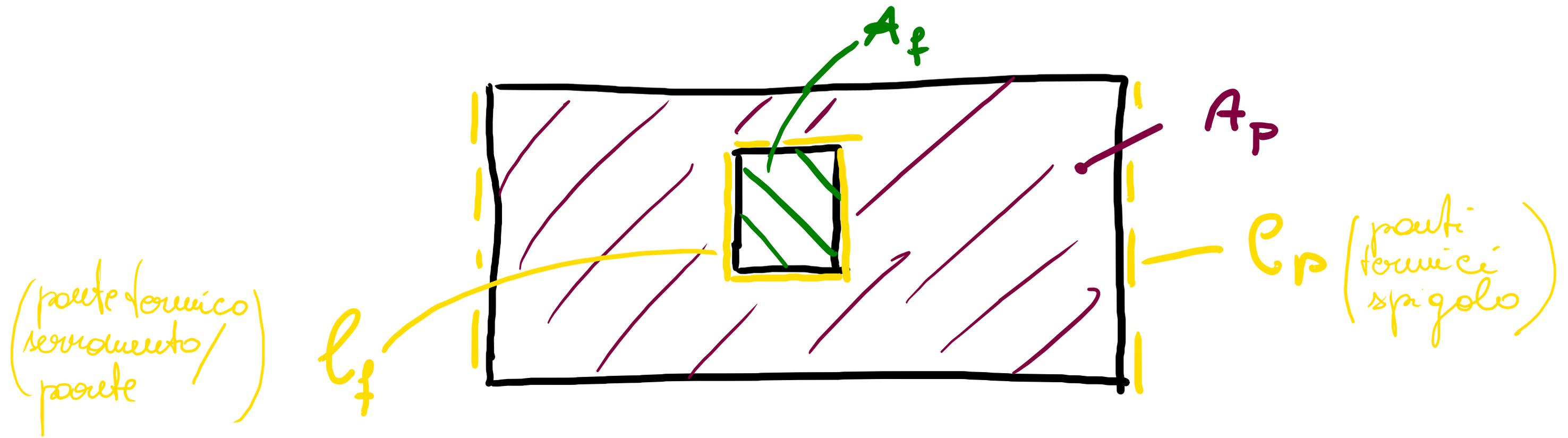
$$U_{eq} = \frac{\sum_j U_j A_j + \sum_k \chi_k l_k}{A_{rif}}$$

(ponte termico
serramento/
parete)

l_f



(parti termici
spigolo)



$$A_{c_g} = A_p + A_f \quad \left(\text{area della parete comprensiva del serramento} \right)$$

→ trasmittanza lucica parte fornicco spigolo edificio

$$U_{c_g} = \frac{A_f U_f + A_p U_p + \gamma_p l_p \times 0.5 + \gamma_f l_f}{A_{c_g}}$$

→ trasmittanza lucica parte fornicco serramento-parete

→ trasmittanza parete verticale opaca

Trasmittanza del serramento comprensiva del parte fornicco tra vetro e telaio

Il Carico Termico Invernale

Contributi al carico termico:

$$\dot{Q}_{TOT} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_{pt} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d + \dot{Q}_g$$

\dot{Q}_t : potenza termica uscente attraverso le superfici dell'involucro e scambiata con l'ambiente esterno per *conduzione, convezione, irraggiamento*.

Intermezzo: descrizione molto sintetica di conduzione, convezione, irraggiamento

Come abbiamo già ricordato, in inverno lo studio del carico termico dell'edificio adotta l'ipotesi di stazionarietà: le temperature interne ed esterne dell'aria sono assunte costanti. In particolare, la temperatura esterna invernale di progetto (UNI 10349-2:2016)

è definito come il valore minimo delle medie delle decadi annuali più fredde registrate nella località. Ad es. per Trieste la temperatura esterna di progetto è -5°C . Si applica poi una correzione per tenere conto della eventuale differenza di quota tra la località sede dell'intervento e la località di riferimento, in accordo a quanto segue:

La temperatura media esterna della località considerata nel periodo T ($\Theta_{e, com}$) è stata calcolata, in accordo alla UNI 10349/94, a partire dalla temperatura media esterna del capoluogo di riferimento nel periodo T ($\Theta_{e, prov}$) ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico, attraverso la seguente relazione:

$$\Theta_{e, com} = \Theta_{e, prov} - (z_{com} - z_{prov}) \delta$$

dove

- $\Theta_{e, prov}$ = temperatura esterna del capoluogo di provincia di riferimento nel periodo T
- z_{com} = altitudine s.l.m del comune considerato
- z_{prov} = altitudine s.l.m del capoluogo di provincia di riferimento
- δ = gradiente verticale di temperatura

ZONA GEOGRAFICA	δ ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)
Italia settentrionale transpadana	1/178
Italia settentrionale cispadana	1/200
Italia centrale e meridionale	1/147
Sicilia	1/174
Sardegna	1/192

Tabella 3

Ad esempio per il Comune di Rovereto (418 m s.l.m.), considerata Trieste come Coadiutorio di riferimento, si ha:

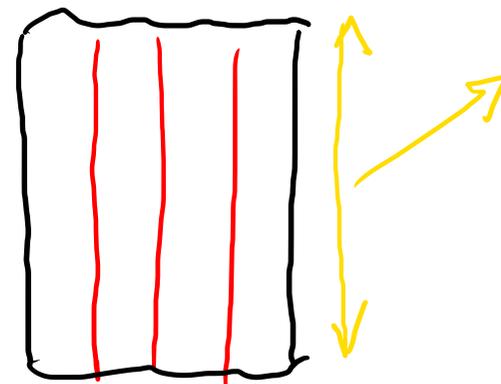
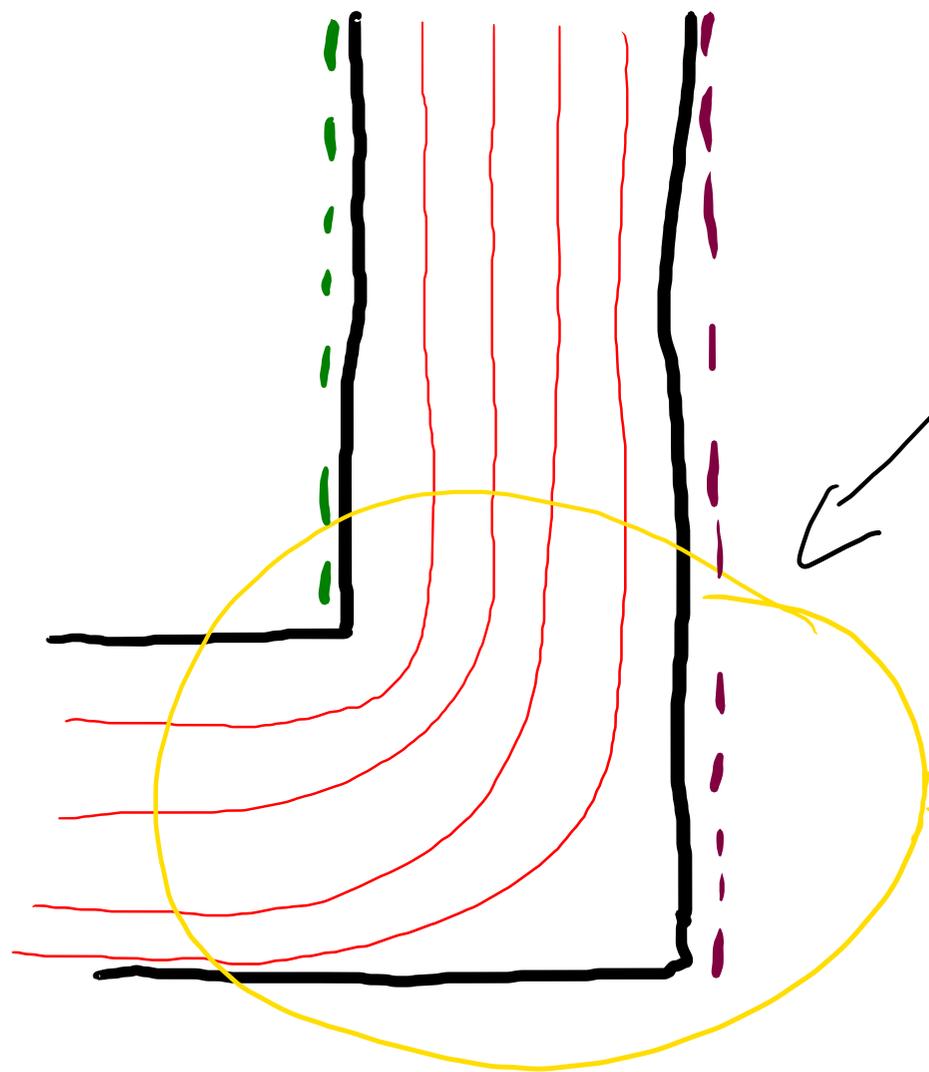
$$T_e = -5 - (418 - 0) \times \frac{1}{178} = -7,4^\circ\text{C} \Rightarrow -8^\circ\text{C}$$

Vengono proposte anche delle correzioni di temperatura in funzione della "struttura urbanistica" dell'intervento: per case isolate ad a, sottrarre 1-2°C alla temperatura esterna di progetto prevista dalla UNI 10349-2:2016.

Vediamo a cosa corrispondono i diversi contributi al carico termico:

- Q_t : dispersione termica verso l'esterno, attraverso l'involucro. Questo contributo non comprende i ponti termici (si assume flusso termico 1D, stazionario).

Q_t non considera il ponte termico ma fa riferimento ad una situazione ideale:



la lunghezza della parete può essere --- oppure --- ed il ponte termico deve essere calcolato coerentemente.

Ponte termico! Denominazione delle isoterme.

- Q_{pt} : contributo dei pareti termici
- Q_v : contributo della ventilazione
- Q_d : trasmissione verso locali non riscaldati o a temperatura diversa
- Q_{eg} : Apporti gratuiti (potenza metabolica degli occupanti, illuminazione, irraggiamento su superfici opache e trasparenti, ...).

Questo contributo si trascura nel calcolo del carico termico invernale, mentre deve essere considerato nel calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

Trasmissione attraverso componenti opachi dell'involucro

Ipotesi:

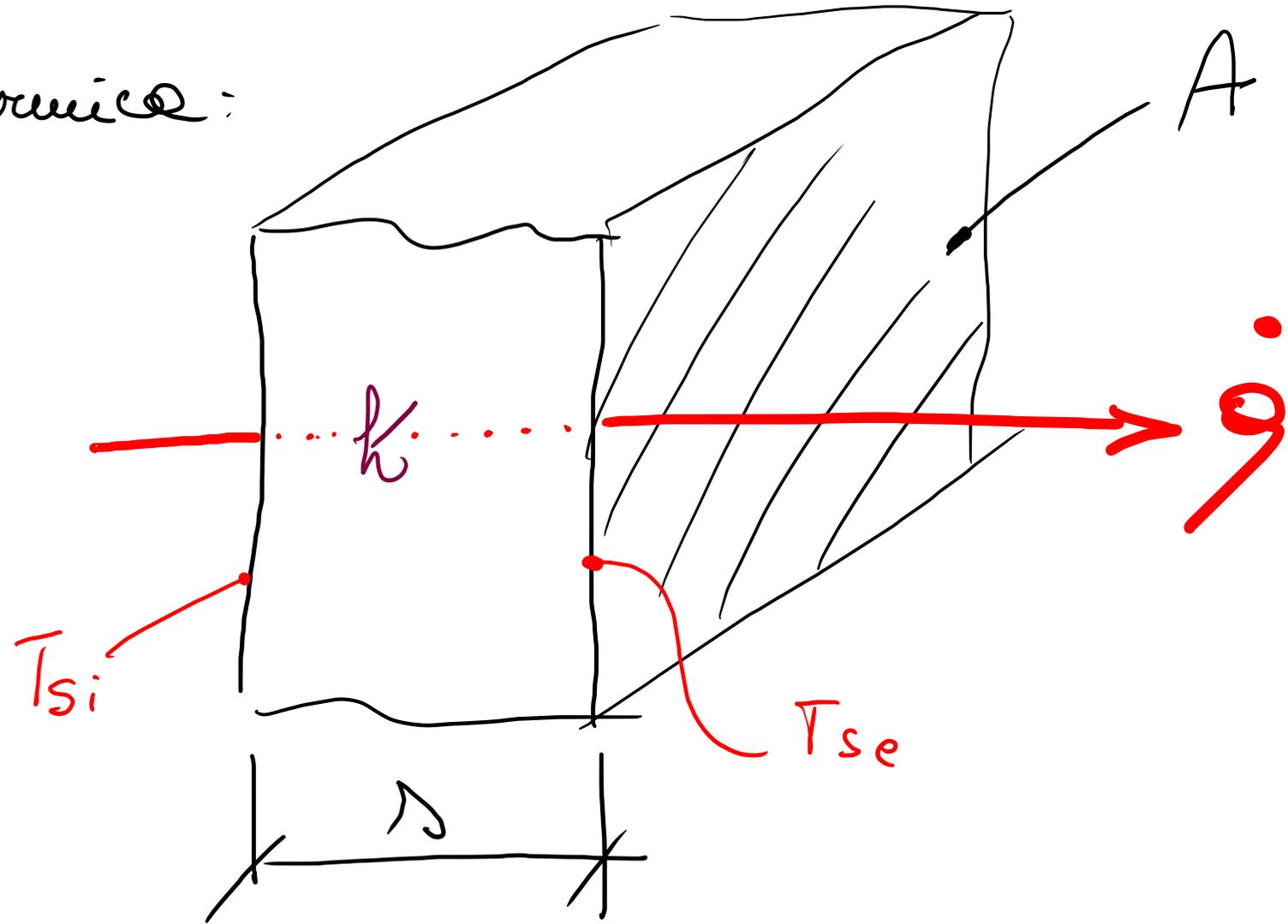
- $T = T(x)$ (mono-dimensionality del flusso termico)
- $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ (stazionarietà)

legge di Fourier per la conduzione termica:

$$\dot{q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\Delta T \equiv T_{se} - T_{si}$$

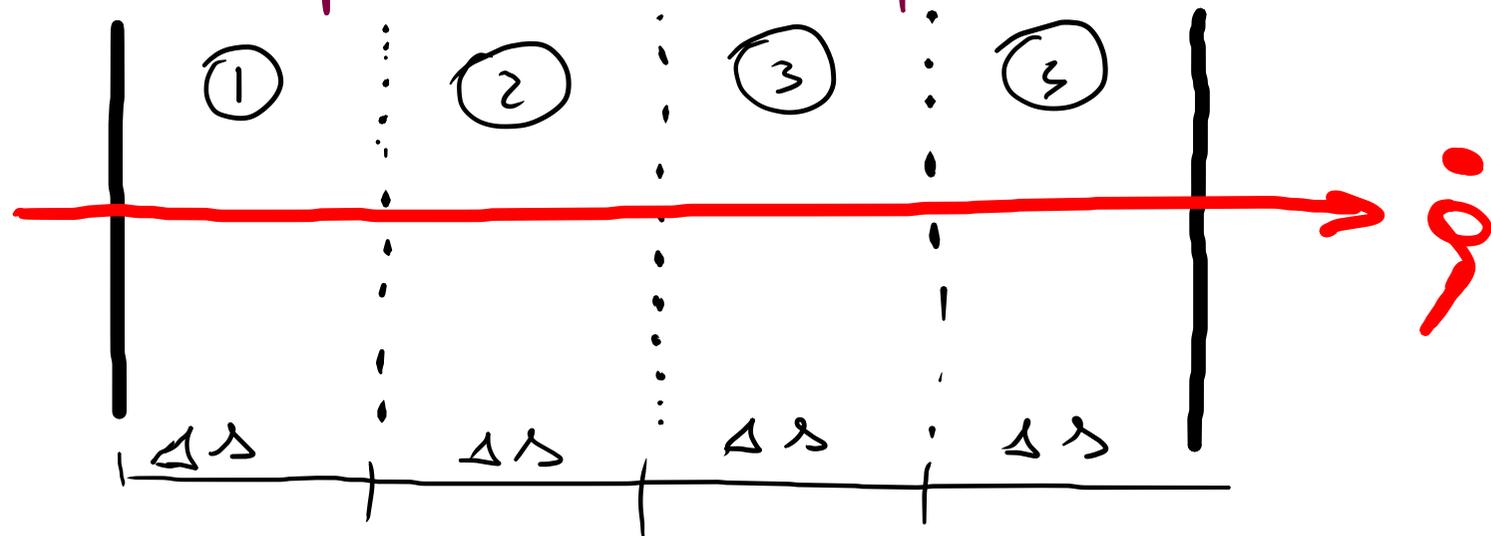
k : conducibilità termica del materiale (omogeneo, isotropo)



$$k = f(\tau, \sigma)$$

grado di saturazione in acqua, nel caso di materiali porosi

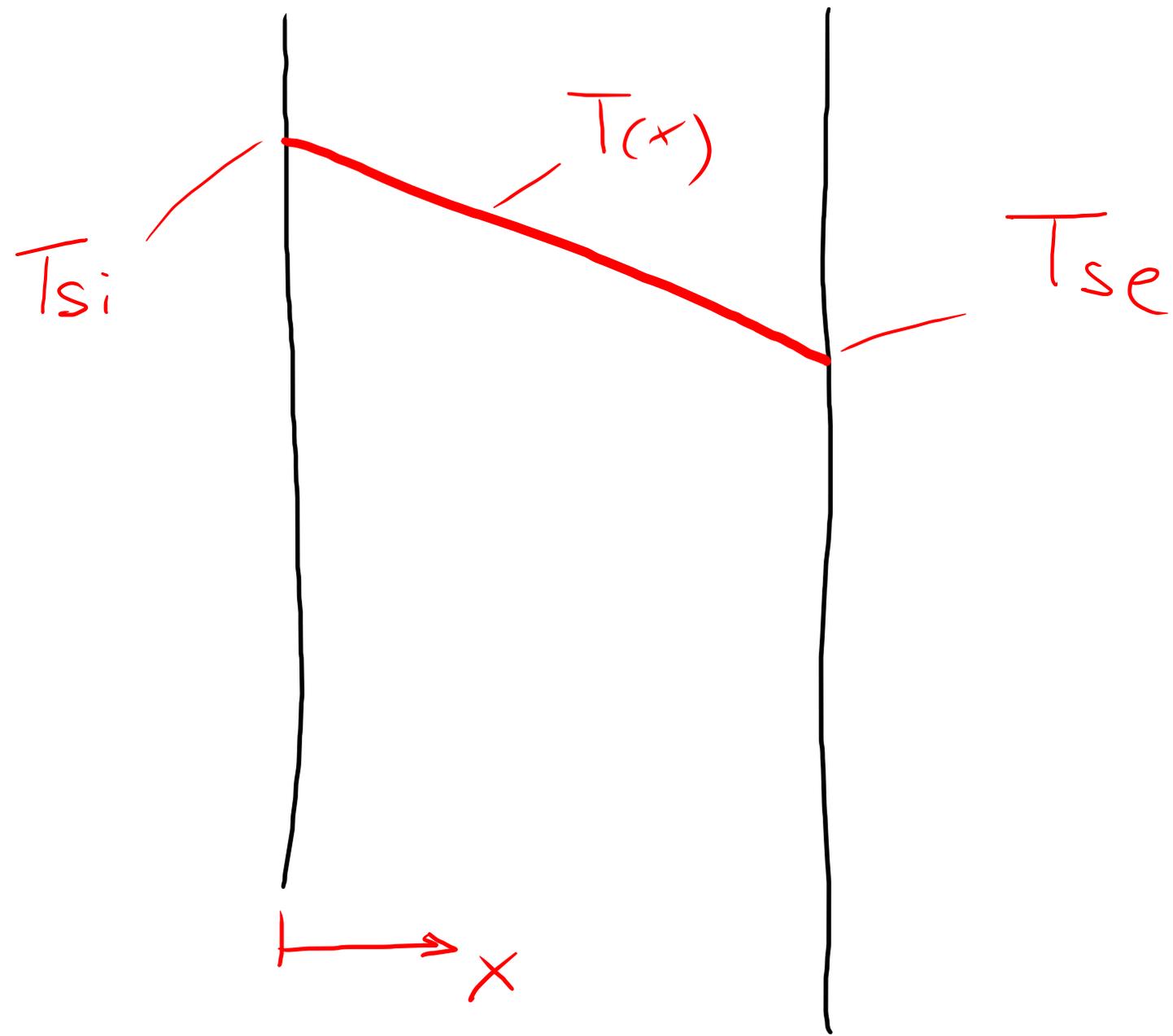
• Andamento di temperatura nella parete:



$$\dot{q} = -kA \frac{\Delta T_j}{\Delta s} \frac{1}{A}$$

$\Rightarrow \Delta T_j$ è costante

\Rightarrow la temperatura varia linearmente nella parete



Trasmittanza termica U :

$$\dot{q} = UA \Delta T$$

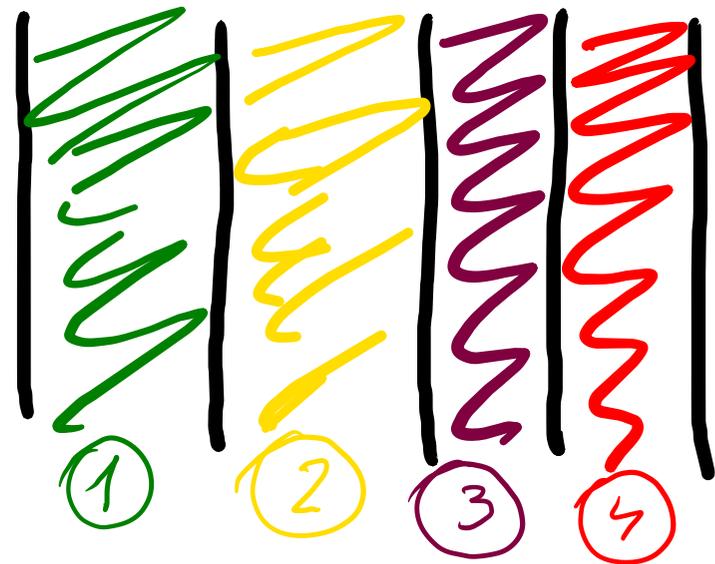
$$U = \frac{k}{\delta} \text{ per parete piana omogenea}$$

U si misura in Watt / m² Kelvin

Resistenza termica:

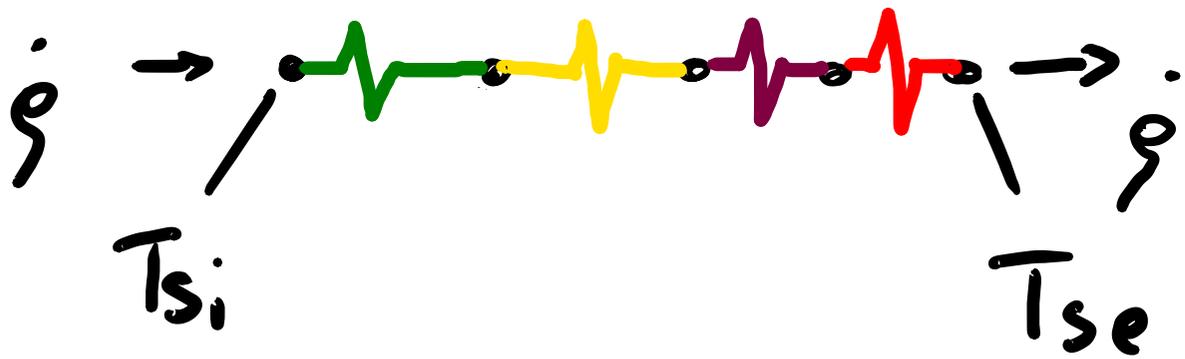
$$R \equiv 1/U \quad \text{m}^2 \text{K/W}$$

Resistori multistrato:



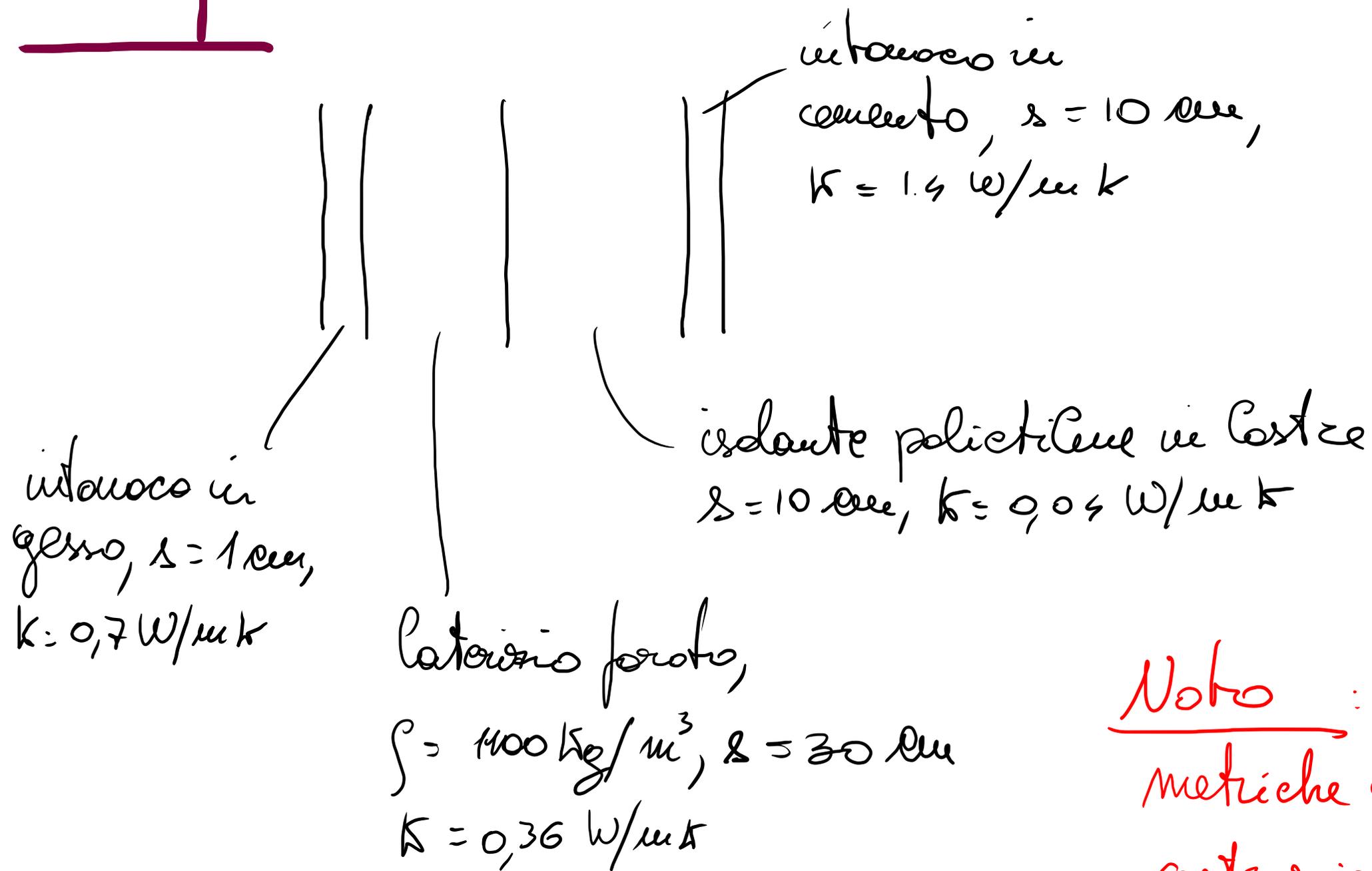
$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{\Delta_1}{\kappa_1} + \frac{\Delta_2}{\kappa_2} + \frac{\Delta_3}{\kappa_3} + \frac{\Delta_4}{\kappa_4}$$



$$U_{\text{tot}} = 1/R_{\text{tot}}$$

Esempio

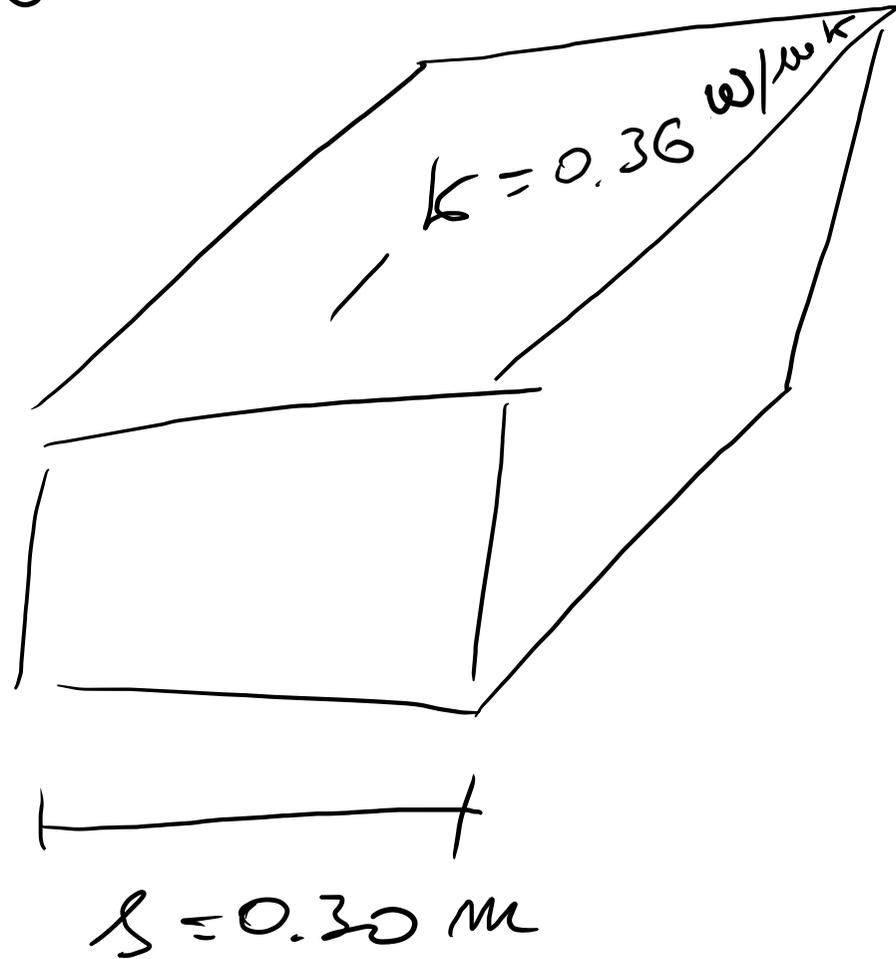


Nota: proprietà termo-igrometriche dei materiali da costruzione \Rightarrow UNI 10351:2015

NB! La norma distingue tra valori di k in condizioni di prova e di esercizio

NB! Spesso per i blocchi in laterizio ed in generale per i componenti pre-assemblati viene fornito direttamente il valore di resistenza termica R .

Es:



$$R = \frac{s}{k} = \frac{0.3}{0.36} = 0.83 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

↑
Il produttore di mattoni fornisce direttamente questo valore, in particolare per i mattoni forati o con inserti in materiale isolante.

Tomiamo d nostro esempio :

$$R = \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,3}{0,36} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{0,01}{1,4} = 3,35 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $= 24,8\% R$

$2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $= 75\% R$

$$q'' \equiv \frac{\dot{Q}}{A} = U \Delta T = \frac{\Delta T}{R} = \frac{20 - (-5)}{3,35} = 7,5 \text{ W/m}^2$$

Nota: gli ingegneri impiantisti affermano che "non ha senso adottare spessori di materiale isolante superiori ad un certo limite perché non se ne trae alcun beneficio". Ma questa affermazione è vera? Ed in che senso?

Consideriamo un caso limite: parete omogenea di spessore s e conducibilità termica k .

$$q'' = \frac{k}{s} \Delta T \quad \frac{\partial q''}{\partial s} = - \frac{k \Delta T}{s^2} = - \frac{q''}{s}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{1}{q''} \frac{\partial q''}{\partial s} \right| = \frac{1}{s}$$

Quindi il vantaggio relativo di incrementare lo spessore isolante decresce all'aumentare dello spessore stesso. Una valutazione in termini economici (che non si fa, se non per grandi opere) potrebbe essere basata su una funzione di costo C :

$$\begin{array}{l}
 \text{costo di } m^2 \rightarrow \ell = \ell_0 \cdot s + a \cdot q'' \cdot t \\
 \text{costo per } m^3 \text{ di vapore} \rightarrow \ell_0 \\
 \text{costo energia primaria per } J \text{ di energia termica dispersa} \rightarrow a \cdot q'' \cdot t \\
 \text{tempo} \rightarrow t
 \end{array}$$

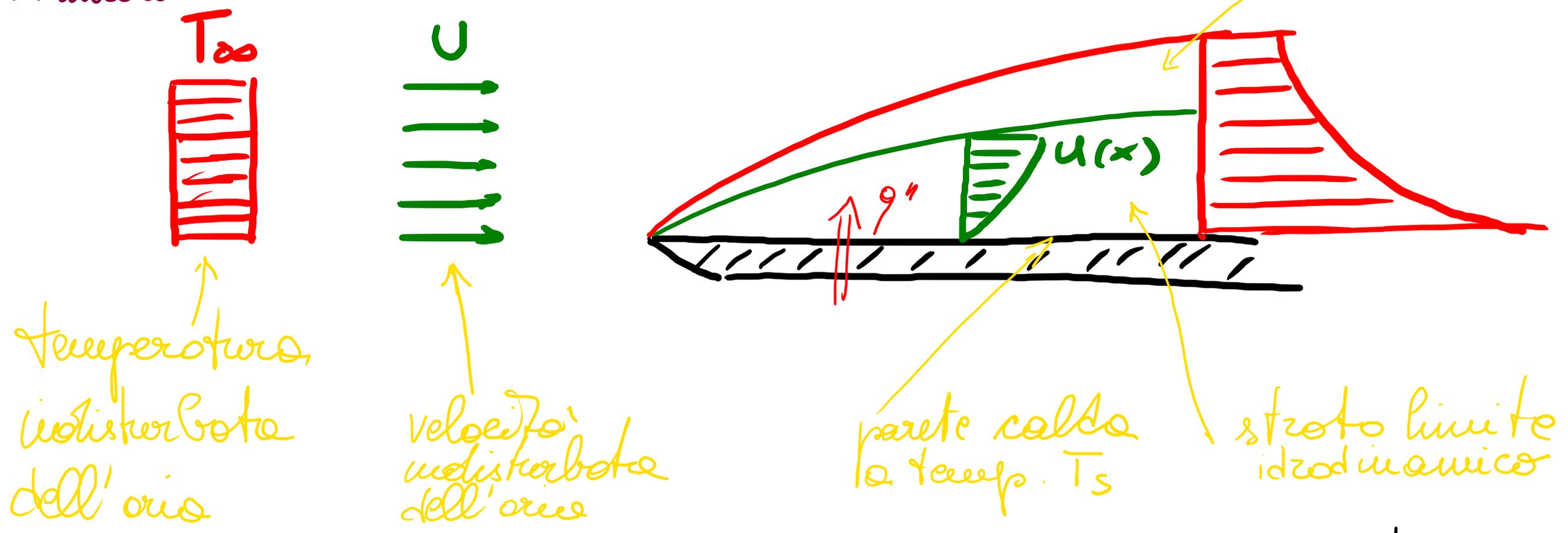
$$\ell = \ell_0 \cdot s + (a t k \Delta T) \cdot \frac{1}{s}$$

$$\frac{d\ell}{ds} = \ell_0 - \frac{a t k \Delta T}{s^2} \quad \frac{d\ell}{ds} = 0 \Rightarrow s = \sqrt{\frac{a t k \Delta T}{\ell_0}}$$

Questa equazione, a dir poco ~~roba~~ e che trascura svariate circostanze (ad es. la variabilità di ΔT , la durata del periodo di riscaldamento, le variabili del costo dell'energia, l'ottimizzazione, ...) ha il solo scopo di far comprendere come altre

un certo spessore di isolante non debba essere audace. Nella pratica si può ad esempio calcolare uno spessore di isolante δ_0 che garantisca i requisiti minimi sulle trasmittanze, e poi provare ad incrementare questo spessore del 10% o 20% valutando lo corrispondente riduzione di g'' ed il corrispondente aumento di costo ℓ per l'acquisto del materiale. Si potrebbe decidere di accettare un aumento di spessore δ se $\frac{\Delta g''}{g''} \geq \frac{\Delta \ell}{\ell}$.

Resistenze limitanti:



$$q''' \propto T_s - T_\infty; \quad q''' = \bar{h} (T_s - T_\infty) \leftarrow \text{"Legge di Newton per la convezione"}$$

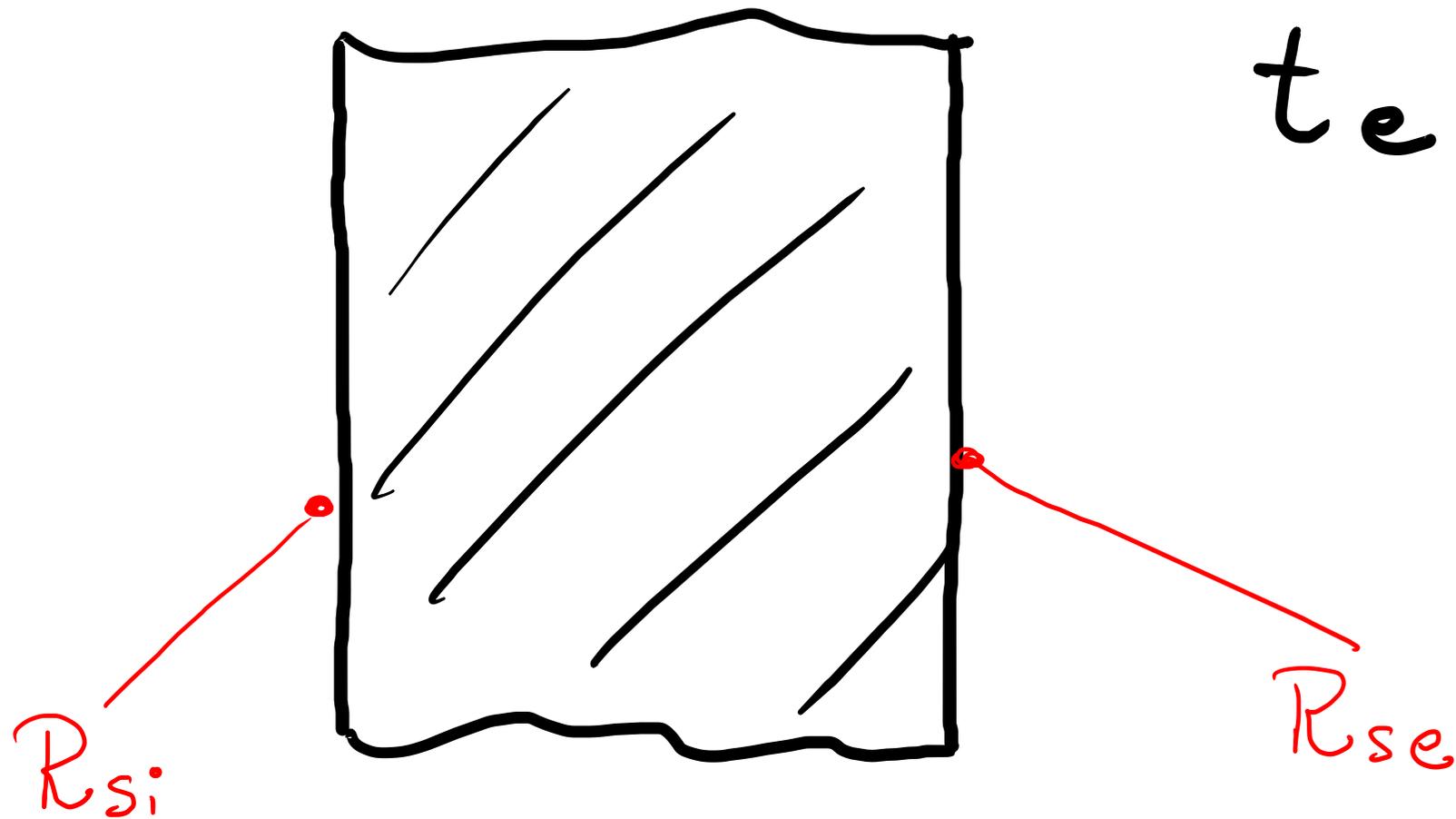
- dipende da:
- geometria
 - velocità e natura del flusso (laminare o turbolento)
 - effetti di galleggiamento
 - proprietà del fluido

coefficiente di scambio termico convettivo (medio per la superf. in esame)

$$\frac{1}{h} q'' = \Delta T \Rightarrow R = \frac{1}{h} \text{ resistenza termica laminare}$$

$$U = 1/R = h$$

t_i

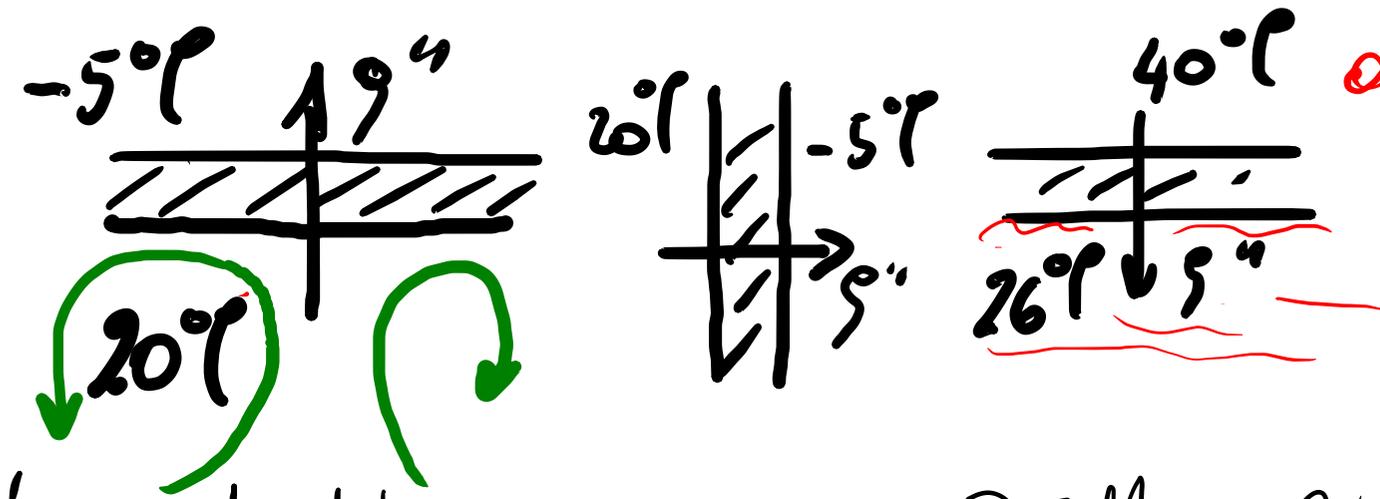


Direzione flusso termico

ISO 6946

	↑	⇒	↓
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

La dipendenza dalla direzione è motivata dal fatto che all'interno ho convezione naturale
 all'esterno ho con. forzata



Tetto freddo => stratificazione instabile => circolazione => bassa resistenza termica ed elevata trasmittanza.

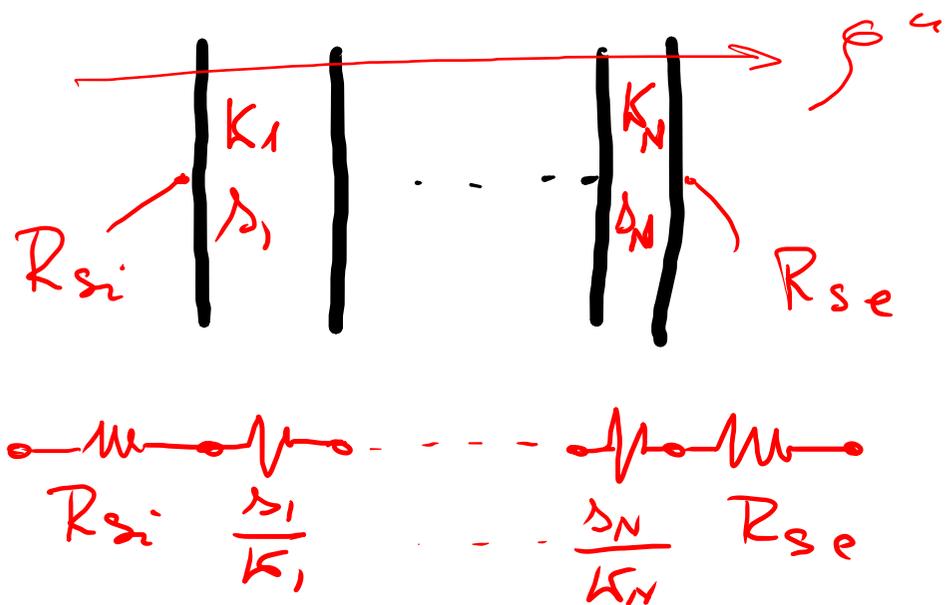
Tetto caldo => stratificazione stabile => assenza di circolazione => alta resistenza termica e bassa trasmittanza.

Nota: flusso considerato orientato e inclinato fino a $\pm 30^\circ$ rispetto all'orbitale.

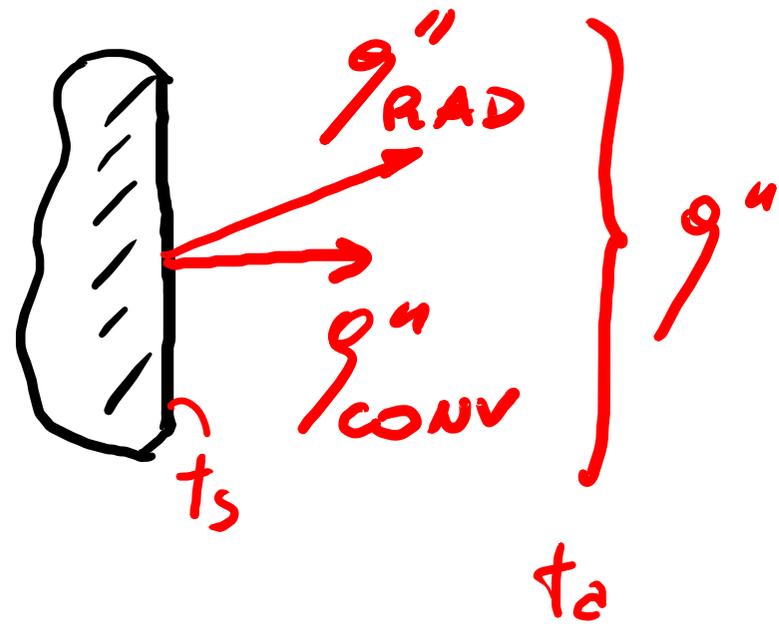
Trasmissione di parete spessa, incluse le resistenze convettive:

$$R_{tot} = R_{si} + \sum_j^N \frac{\delta_j}{K_j} + R_{se}$$

$$U_{tot} = 1/R_{tot}$$



Conversioni per R_{si} ed R_{se}



flusso termico scambiato per irraggiamento

$$q'' = q''_{RAD} + q''_{CONV}$$

← flusso termico scambiato x convezione

$$= h_r (t_s - t_a) + h_c (t_s - t_a)$$

↑
è una nota approssimativa! Qui si avrebbe t_{mr} !

$$q'' \frac{1}{h_r + h_c} = t_s - t_a$$

$$h \equiv h_r + h_c$$
$$R_s = \frac{1}{h_r + h_c}$$

resistenze in //

$$h_r = \epsilon h_{r0}$$

emissività della superficie (0-1)

$$h_{r0} = 4 \sigma T_m^3$$

$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

medio tra temperatura della superf. considerata e delle superfici limitrofe

Per superfici interne:

$$h_c = \begin{cases} 5.0 & \text{W/m}^2 \text{K} \\ 2.5 & \text{W/m}^2 \text{K} \\ 0.7 & \text{W/m}^2 \text{K} \end{cases}$$

per flusso termico ascendente
" " " orizzontale
" " " discendente

Per superfici esterne:

$$h_c = d_f + 4 \sigma$$

↑ vento a 10 m dal suolo. (m/s)

Per condizioni diverse da quelle considerate: UNI 6946 All. A.

MATERIALE	TIPO	T [°C]	ε
ACCIAIO	laminato a freddo	93	0,8
	lamierino grezzo	1000	0,6
	lamierino lucido	38	0,07
	non ossidato	100	0,08
	ossidato	25	0,8
ACQUA	Normale	20	0,98
	Distillata	20	0,96
ALLUMINIO	Opaco	17	0,89
	lucido	20	0,04
	non ossidato	25	0,02
	ossidato	200	0,11
	molto ossidato	93	0,2
ARGENTO	opaco	93	0,06
	lucido	38	0,01
ASFALTO - - 0.85		38	0,85
CALCE DOLOMIA		20	0,41
CALCESTRUZZO	Secco	36	0,95
	grezzo	20	0,95
CARBONE	normale	38	0,88
FULIGGINE	Nero fumo	24	0,96
GOMMA		25	0,95
GESSO	Intonaco	20	0,96
GHIACCIO		0	0,97
GHIAIA		38	0,28
GHISA		38	0,85
GOMMA		25	0,95
LEGNO		25	0,98
MATTONE	Normale	25	0,8
	Refrattario	17	0,68
	Mattonella	30	0,94
MOLIBDENO		100	0,03
NASTRO ISOLANTE ELETTRICO	nero	35	0,97
	Smaltato	100	0,37
ORO	Lucidato	38	0,02
	lucido	38	0,1
OTTONE	opaco	20	0,07
	Brunito	20	0,4

	ossidato	200	0,61
	non ossidato	25	0,04
MATERIALE	TIPO	T [°C]	ε
PANNELLI di GESSO		25	0,9
PANNELLI di LEGNO		17	0,91
PIOMBO	Lucidato	38	0,26
	rugoso	38	0,87
	ossidato	38	0,93
PERSPEX_PLEXIGLASS		17	0,86
PITTURA - VERNICE	con allume di Ag	20	0,26
	base di olio	20	0,87
	nero	20	0,94
PLASTICA	grigio	20	0,97
	nera	20	0,95
	bianca	20	0,84
POLIPROPILENE		17	0,97
RAME	ossidato	38	0,87
	ossidato nero	38	0,78
	inciso	38	0,09
	opaco	38	0,22
	corrugato		
	lucido	38	0,07
	lucido	38	0,04
	lappato	38	0,02
	laminato	38	0,64
	ruvido	38	0,74
	fuso	538	0,15
	lamina	38	0,57
SABBIA		20	0,76
SEGATURA (polvere)		20	0,75
TERRENO - SUOLO	normale	38	0,38
	arida	20	0,92
	molto umido	20	0,95
VERNICE - LACCA		20	0,98
VETRO		20	0,85
ZINCO	ossidato	260	0,11
	lucido	38	0,02

EMISSIVITA' DEI MATERIALI
www.TermografiaTOP.it



Nella **termografia edile** si hanno normalmente materiali con emissività molto alta ad esempio:

- emissività del calcestruzzo $\epsilon = 0,95$
- emissività intonaco a base di gesso $\epsilon = 0,96$
- emissività piastrelle $\epsilon = 0,93$
- emissività del legno $\epsilon = 0,98$

Strati omogenei

$$R_T = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}$$

APPENDICE A (Resistenza superficiale di superfici non piane)

Calcolo della **resistenza superficiale** (R_{sp}) in presenza di una parte sporgente costituita da materiale con $\lambda > 2 \text{ W/(mK)}$

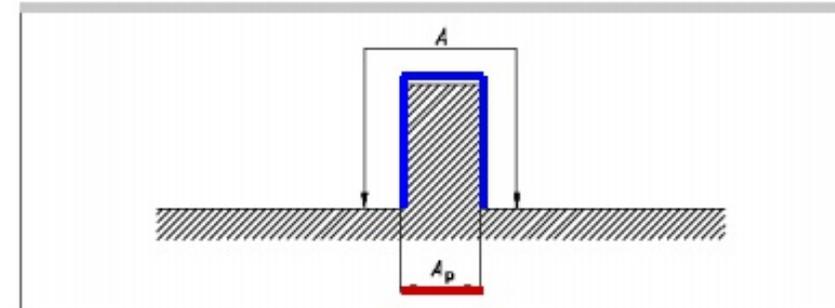
	Conducibilità
POLIURETANO	0,034
CALCESTRUZZO ALTA DENSITÀ	1,06
MALTA DI CEMENTO	1,40
MARMO	3,00

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A}$$

Resistenza superficiale	R_{se}	Direzione del flusso termico		
		Ascendente	Orizzontale	Discendente
		0,04	0,04	0,04

A = area effettiva della parete sporgente

Aree reale e proiettata



A_p = area della proiezione della parte sporgente

Effetto della esposizione della superficie :

$$Q_t = \gamma \cdot U \cdot A \cdot \Delta T$$

↑
coeff. di esposizione

Esposizione
(parete verticale)

γ

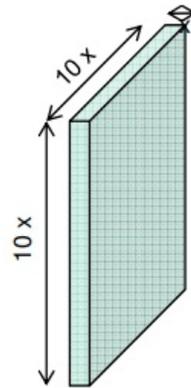
N	1,20
N-E	1,20
E	1,15
S-E	1,10
S	1,00
S-W	1,05
W	1,10
N-W	1,15

Intercapedini d'aria

APPENDICE B (Resistenza di intercapedini d'aria non ventilate)

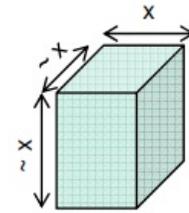
LAME D'ARIA

Larghezza e Lunghezza
10 volte maggiori dello
Spessore



CAVITÀ

Larghezza e Lunghezza
paragonabili allo
Spessore



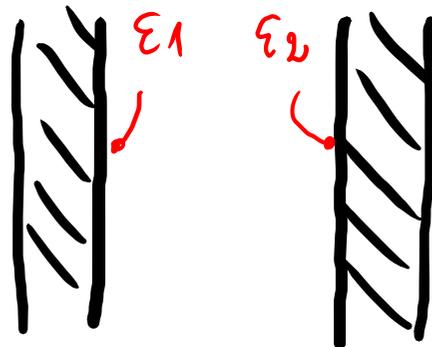
Se varia, per il calcolo della resistenza deve essere considerato il valore medio

APPENDICE B (Resistenza di intercapedini d'aria non ventilate)

LAME D'ARIA

CAVITÀ

Considereremo il caso più comune in cui due intercapedini siano prevalenti



RESISTENZA TERMICA DELL'INTERCAPEDINE

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

Coefficiente di conduzione/convezione

Coefficiente d'irraggiamento

$$h_r = E h_{ro}$$

Valori del coefficiente di irraggiamento h_{ro} del corpo nero

Temperatura °C	h_{ro} W/(m ² · K)
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

Emittanza tra le due superfici

$$E = \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1}$$

Emissività emisferiche delle superfici che delimitano l'intercapedine

RESISTENZA TERMICA DELL'INTERCAPEDINE

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

h_a → Coefficiente di conduzione/convezione
 h_r → Coefficiente d'irraggiamento

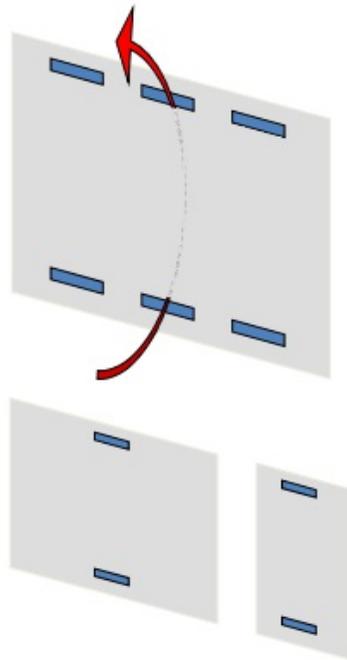
	h_a il più grande tra i due valori	
ASCENDENTE	1,95 W/(m ² ·K)	0,025/d W/(m ² ·K)
ORIZZONTALE	1,25 W/(m ² ·K)	0,025/d W/(m ² ·K)
DISCENDENTE	0,12d ^{-0,44} W/(m ² ·K)	0,025/d W/(m ² ·K)

d spessore dell'intercapedine d'aria nella direzione del flusso

1. NON VENTILATE

intercapedine d'aria con delle aperture verso l'esterno viene definita non ventilata se:

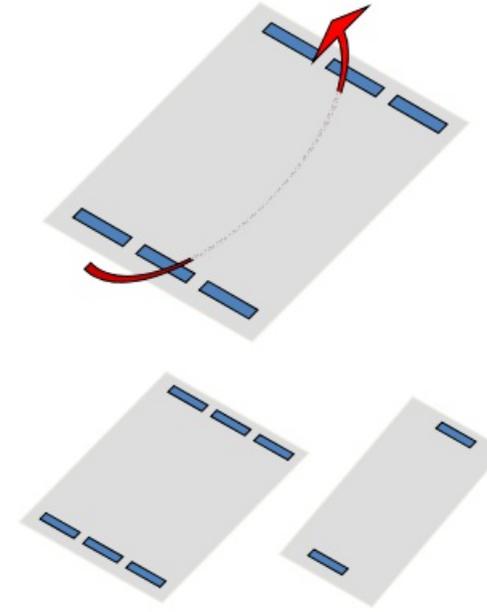
- ✓ le aperture sono disposte in modo da non permettere un flusso d'aria attraverso l'intercapedine
- ✓ se le aperture non sono maggiori di 500 mm² per metro di lunghezza per intercapedini d'aria verticali
- ✓ se le aperture non sono maggiori di 500 mm² per metro quadrato di superficie (parete) per intercapedini d'aria orizzontali



1. NON VENTILATE

intercapedine d'aria con delle aperture verso l'esterno viene definita non ventilata se:

- ✓ le aperture sono disposte in modo da non permettere un flusso d'aria attraverso l'intercapedine
- ✓ se le aperture non sono maggiori di 500 mm² per metro di lunghezza per intercapedini d'aria verticali
- ✓ se le aperture non sono maggiori di 500 mm² per metro quadrato di superficie (parete) per intercapedini d'aria orizzontali



1. NON VENTILATE

Le resistenze sono fornite dal PROSPETTO 2

Resistenza termica (in m² · K/W) di intercapedini d'aria non ventilata: superfici ad alta emissività

Spessore intercapedine d'aria mm	Senso 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

Nota - I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,9$$

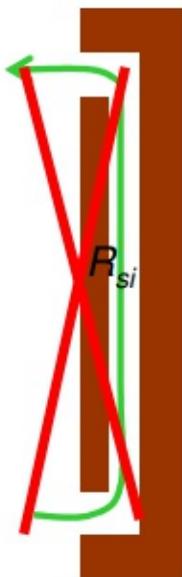
h_{r0} relativo a 10°C

I valori intermedi devono essere ottenuti per interpolazione lineare o come si è appena visto

3. FORTEMENTE VENTILATE

Sono così chiamate le intercapedini in cui le aperture sono maggiori di :

- ✓ 1500mm² per metro di lunghezza per intercapedini d'aria verticali
- ✓ 1500mm² per metro quadrato di superficie (parete) per intercapedini d'aria orizzontali



L'effetto della ventilazione dipende dalla dimensione e dalla distribuzione delle aperture, un **valore approssimativo** della **resistenza termica** di tale componente può essere:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v}$$

$R_{T,u}$ è la resistenza totale del componente in presenza di un'intercapedine non ventilata

$R_{T,v}$ è la resistenza totale del componente in presenza di un'intercapedine fortemente ventilata

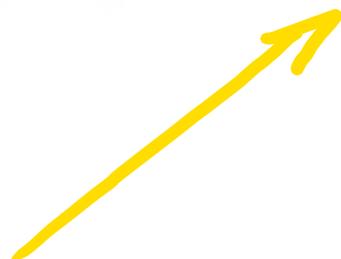
in questi casi viene **trascurata la resistenza termica dell'intercapedine d'aria** e di tutti gli strati che lo separano dall'ambiente esterno e includendo una **resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile** (R_{si})



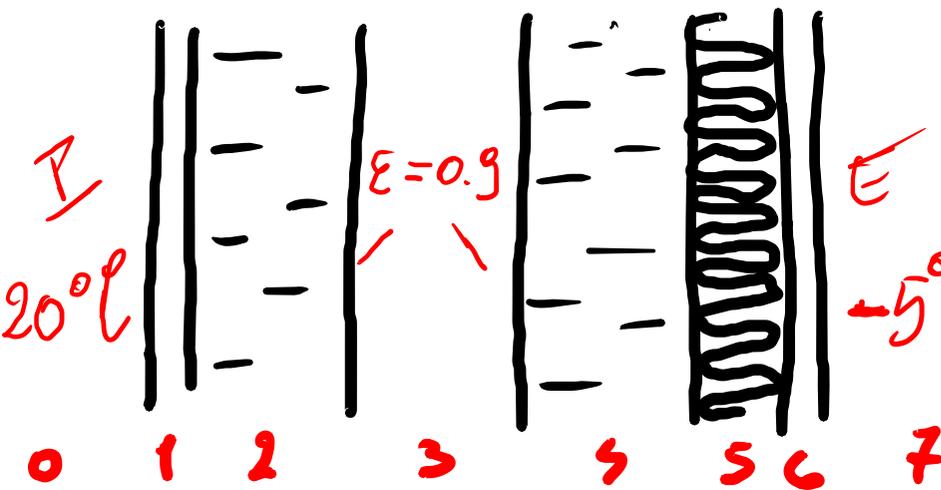
2. DEBOLMENTE VENTILATE

Si definiscono in questo modo le intercapedini in cui vi è un passaggio d'aria limitato, proveniente dall'ambiente esterno attraverso aperture aventi le seguenti caratteristiche:

- ✓ 500mm² < aperture < 1500mm² per metro di lunghezza per intercapedini d'aria verticali
- ✓ 500mm² < aperture < 1500mm² per metro quadrato di superficie per intercapedini d'aria orizzontali



Esempio: Trasmissione di una parete con intercapedine



- 1: intonaco calce/gesso
- 2 e 4: mattoni pieni
- 3: intercapedine non ventilata
- 5: lastrina di roccia
- 6: intonaco cemento

Caricamento in corso.

Strato	δ	λ	R	U
0	—	—	0,13	7,69
1	0,01	0,7	0,014	71,4
2	0,25	0,7	0,357	2,8
3	0,06		0,17	6,0
4	0,25	0,7	0,357	2,8
5	0,10	0,04	2,5	0,4
6	0,01	1,4	0,007	142,9
7	—	—	0,04	25

$U_p \approx 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_{int} = h_c + h_r$

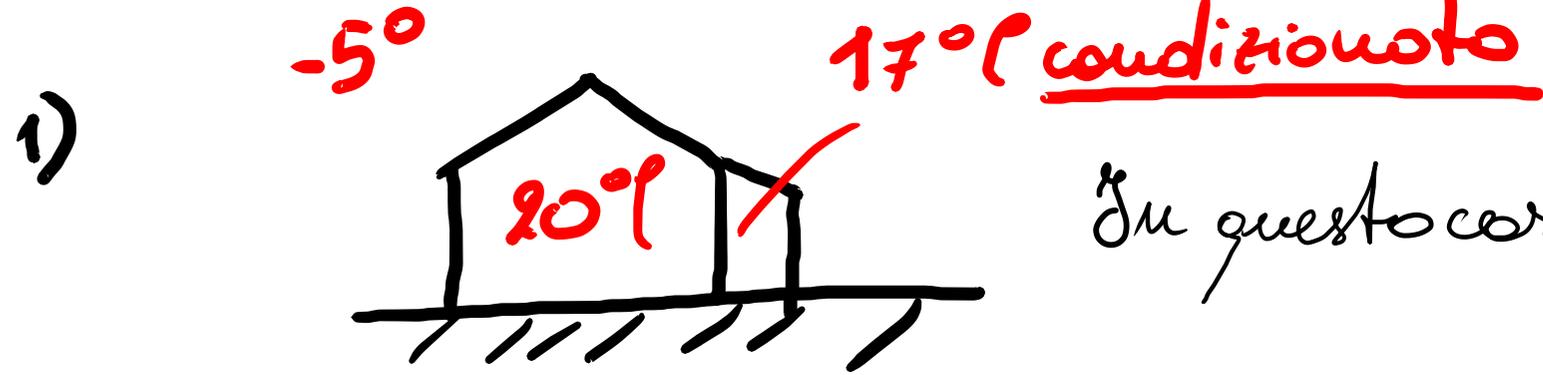
$\rightarrow h_c = \max\left[1,25 ; \frac{0,025}{0,06}\right]$

$= 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$

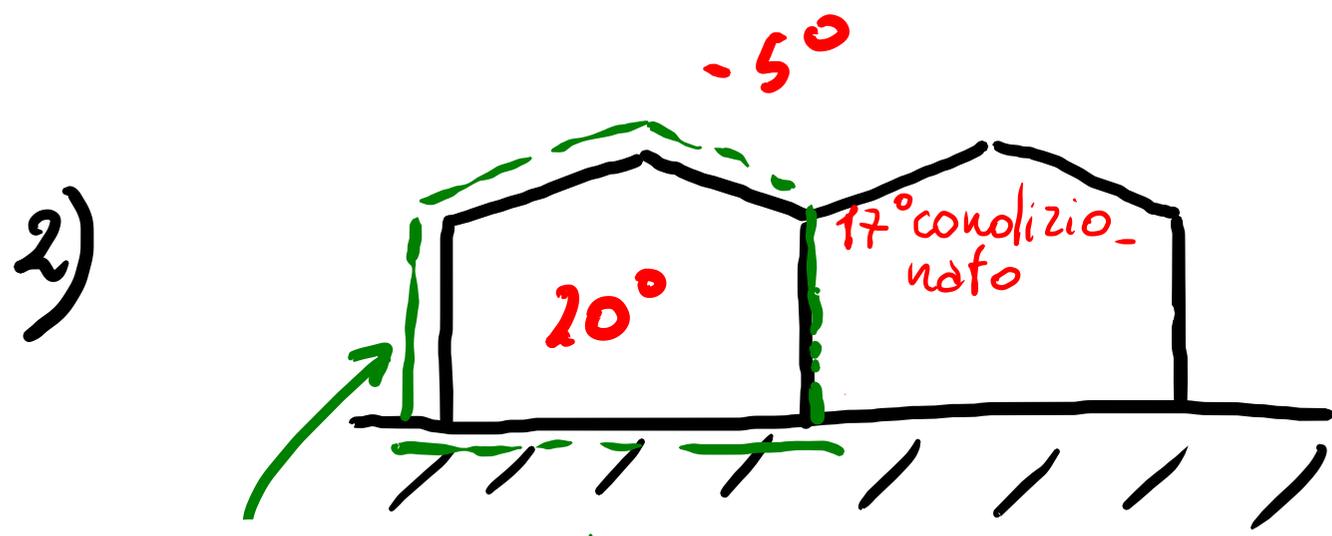
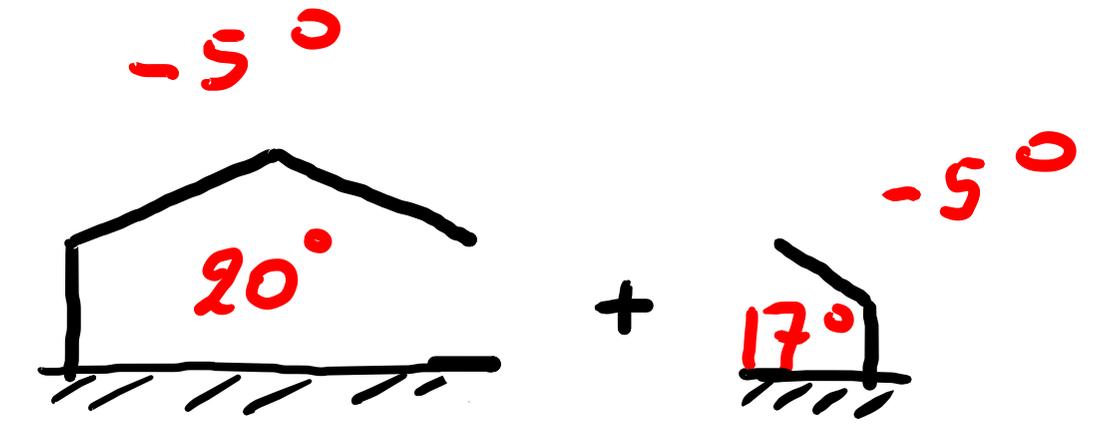
$h_r = \epsilon h_{r0} = 0,9 \times 4 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 285^3 \approx 4,73 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_{int} \approx 6 \text{ W/m}^2\text{K} ; R \approx 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$

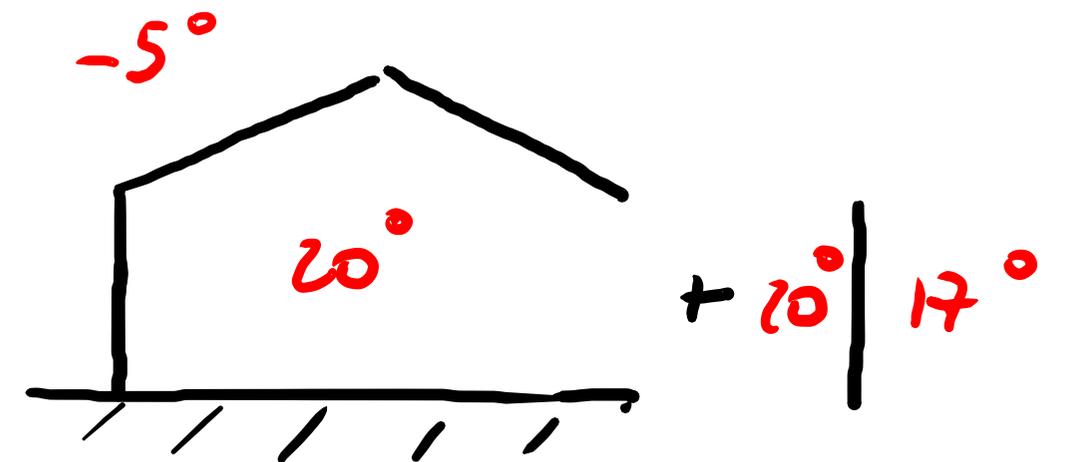
Potenza termica dispersa verso locali non condizionati
 a temperatura diversa:



In questo caso:

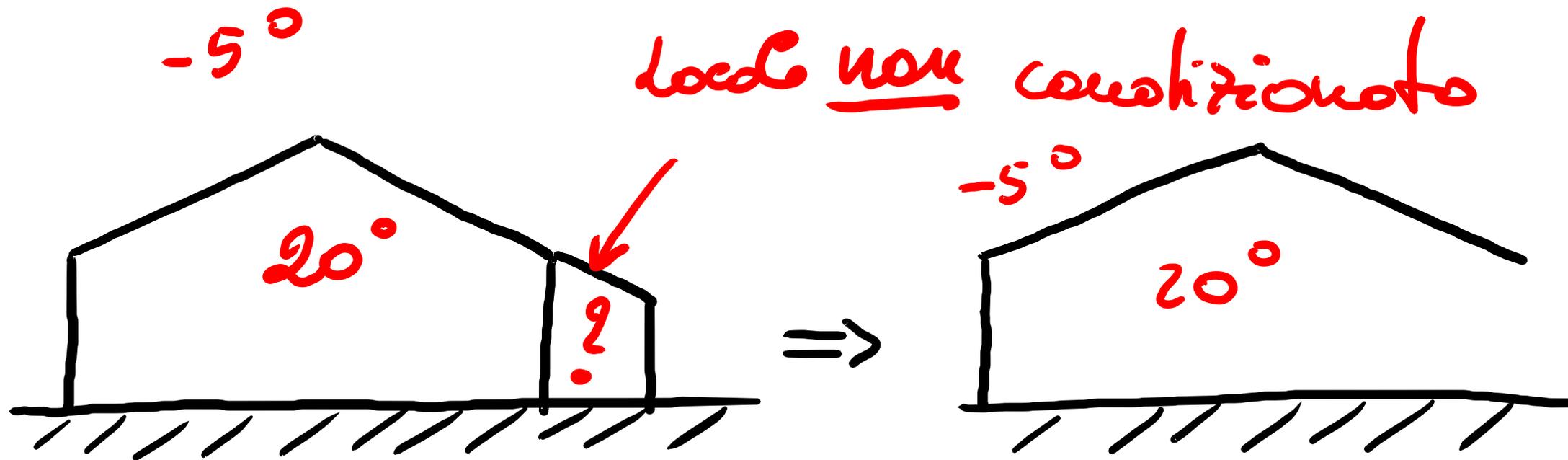


In questo caso:

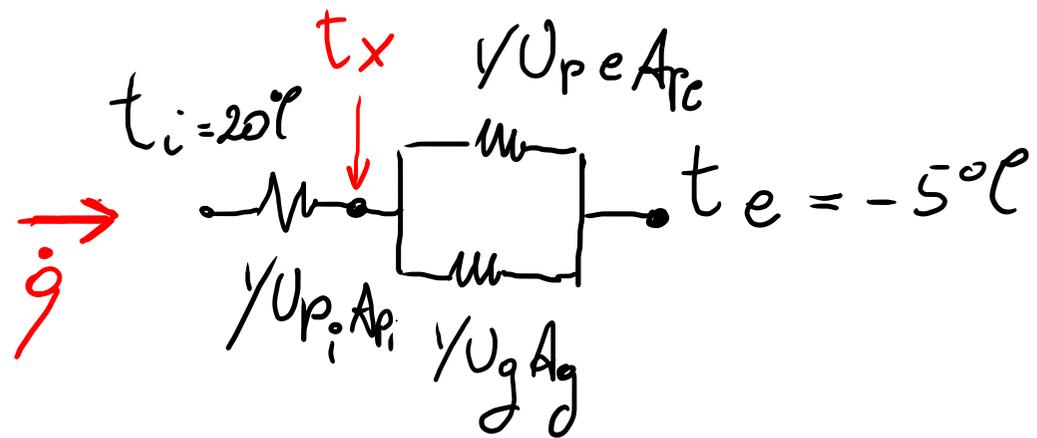


Solo questo edificio è
 oggetto del nostro calcolo

3)

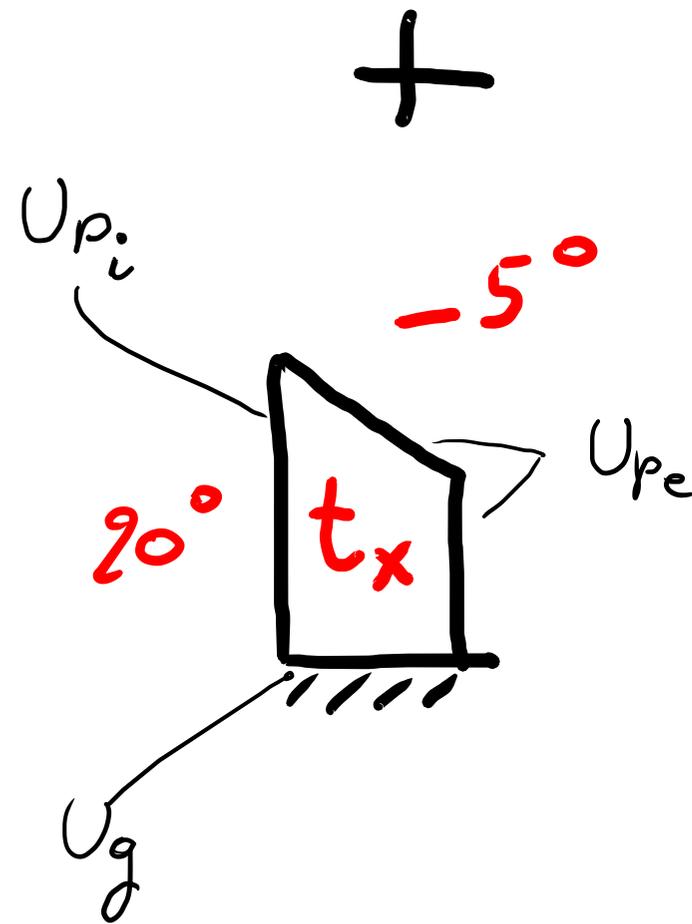


Schema:



$q \rightarrow$

$$\frac{1}{U_{p_i} A_{p_i}} + \frac{1}{U_{p_e} A_{p_e} + U_g A_g}$$



Dopo aver stabilito \dot{g} posso calcolare t_x (anche se di solito non è una grandezza di interesse).

Potenza termica dispersa per infiltrazioni d'aria esterne
& ricambi d'aria gestiti dall'impianto.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_V &= \dot{m}_a c_p (t_i - t_e) \\ &= \rho \dot{V}_e c_p (t_i - t_e) \end{aligned}$$

$\rho \sim 1,225 \text{ kg/m}^3$

$c_p \sim 1006 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

$$\dot{V}_e = nV$$

ricambi aria
nell'unità di tempo

volume dei locali interessati

"M" dipende da:

▷ destinazione d'uso dell'immobile e # di occupanti nel caso di ventilazione controllata

▷ della tenuta degli infissi e della permeabilità all'aria dei componenti dell'involucro nel caso di ventilazione non controllata.

▷ Per infissi a tenuta normale:

$M \sim \begin{cases} 0,5 \text{ volumi/h} & \text{per ambiente domestico} \\ 1-1,5 \text{ volumi/h} & \text{per ambienti commerciali.} \end{cases}$

Per il calcolo dei ricambi ora si utilizzi la Tab1 ricavata dalla norma UNI 10339

CATEGORIE EDIFICI stralcio dalla norma UNI10339		indice di affollamento	in base alla superficie L/s al m2	in base al volume ricambi orari	in base all'affollamento L/s persona
UFFICI	ambiente				
	singolo	0,06			11
	open space	0,12			11
	sale riunioni	0,8			10
	ced servizi	0,08		8	7
BIBLIOTECHE	sale mostre	0,3			6
	sale letture	0,3			5,5
	deposito libri		1,5		
	servizi			8	

Es: Biblioteca, sala lettura. Sup. in pianta 300 m².

$$\dot{V}_e = 1,5 \times 300 = 450 \text{ l/s}$$

oppure

$$\dot{V}_e = 0,3 \text{ Pers/m}^2 \times 300 \text{ m}^2 \times 5,5 \frac{\text{l}}{\text{s persona}}$$
$$= 495 \text{ l/s}$$

Alternativamente, assumendo $h = 3,00 \text{ m}$ altezza locali; $\dot{V}_e = (300 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m}) \times 8 \text{ ricambi/ora}$
 $= 7200 \text{ m}^3/\text{h} = 2 \text{ m}^3/\text{s} = 2000 \text{ l/s}$

Scambio termico controterra

UNI 13370

(Regime invernale)

Rilevante per la determinazione del carico termico estivo in regime armonico stabilizzato

Proprietà termiche del terreno

Categoria	Descrizione	Conducibilità termica λ [W/(m · K)]	Capacità termica per unità di volume ρc [J/(m ³ · K)]
1	argilla o limo	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	sabbia o ghiaia	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	roccia omogenea	3,5	$2,0 \times 10^6$

Nota: i valori di λ e ρc dipendono fortemente dal grado di saturazione in acqua del terreno.

Dimensione caratteristica del pavimento

Per tenere conto della natura tridimensionale del flusso termico nel terreno, le formule di questa norma sono espresse in termini di "dimensione caratteristica" del pavimento, B' , definita come l'area del pavimento divisa per il suo semiperimetro:

$$B' = \frac{A}{1/2 P} \quad [1]$$

In questa norma, P è il perimetro esposto del pavimento, ovvero la lunghezza totale delle pareti esterne che separano l'edificio riscaldato dall'ambiente esterno o da uno spazio non riscaldato esterno alla parte termicamente isolata del fabbricato.

~~La forma dell'edificio è importante perché la~~

Spessore equivalente

Per semplificare l'espressione dei coefficienti di accoppiamento termico viene introdotto il concetto di "spessore equivalente".

Una resistenza termica è rappresentata dal suo spessore equivalente definito come lo spessore di terreno che ha la stessa resistenza termica. Nella presente norma:

- d_t è lo spessore equivalente per pavimenti;
- d_w è lo spessore equivalente per pareti di piani interrati al di sotto del livello del terreno.

I coefficienti di accoppiamento termico in regime stazionario dipendono dal rapporto tra lo spessore equivalente e la dimensione caratteristica del pavimento;

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$$

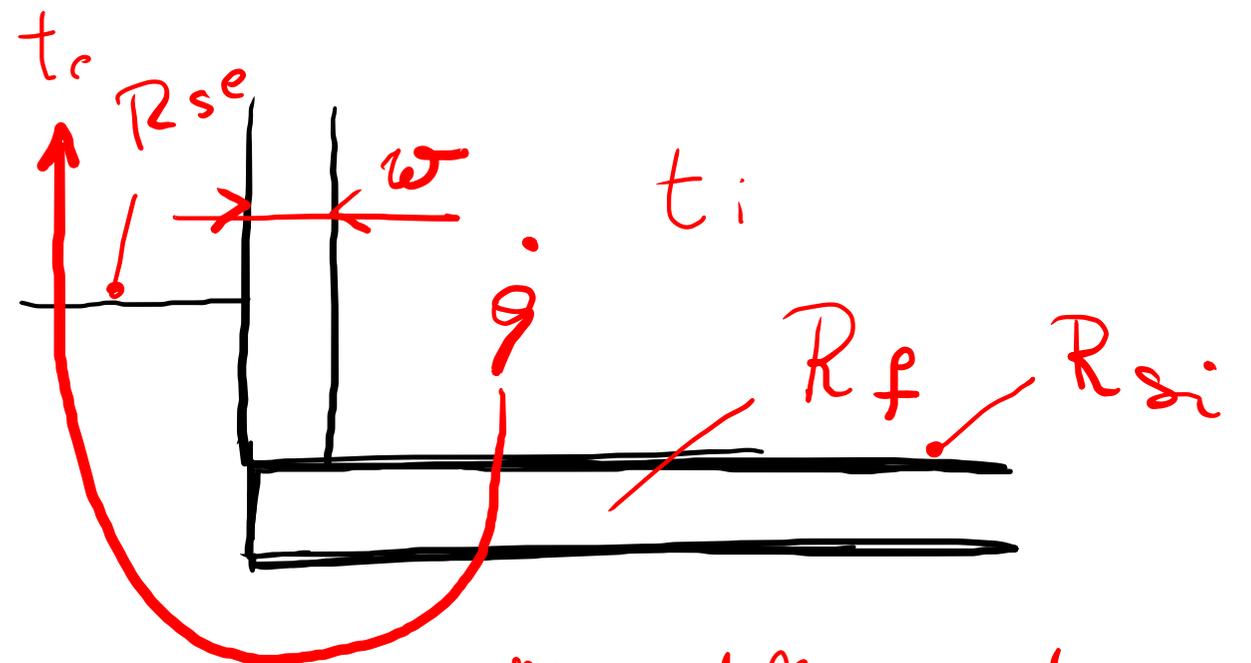
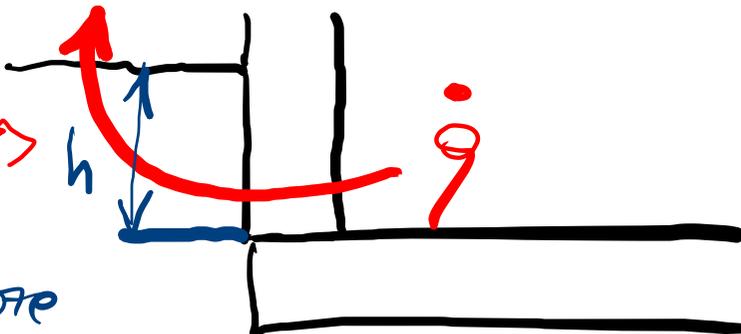
$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$$

$$\frac{W}{(m \cdot K)} \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

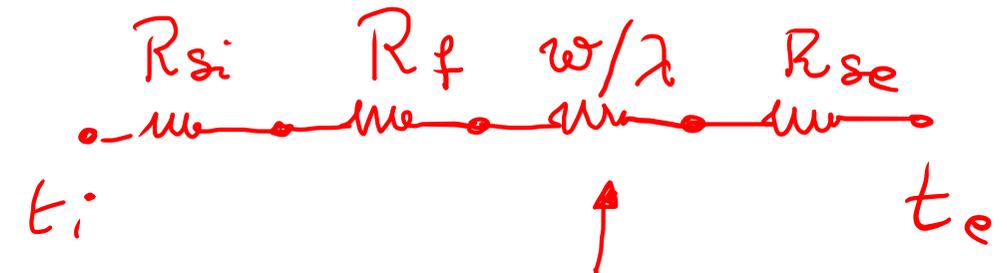
λ	conduttività termica del terreno non gelato	$W/(m \cdot K)$
w	spessore delle pareti esterne	m
R_{si}	resistenza superficiale interna	$m^2 \cdot K/W$
R_f	resistenza termica del pavimento	$m^2 \cdot K/W$
R_{se}	resistenza superficiale esterna	$m^2 \cdot K/W$

Come da formula ricavato per parete caratteristica

Anche in questo caso vale il modello di resistenza in serie.



Reg, g Il modello prevede una serie di 4 resistenze:



si assume che lo coefficiente termico equivalente del terreno corrisponda ad uno spessore di terreno pari a "w".

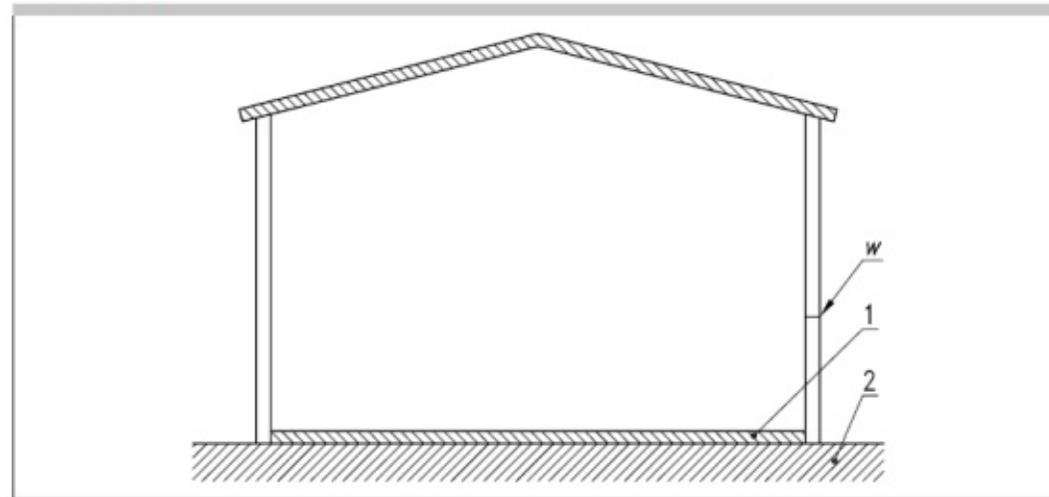
Calcolo della trasmittanza termica degli elementi di involucro opachi - terreno

PAVIMENTO CONTROTERRA NON ISOLATO O UNIFORMEMENTE ISOLATO

Sono considerati pavimenti controterra i pavimenti costituiti da una lastra a contatto con il terreno su tutta la sua superficie, siano essi sostenuti o meno dal terreno su tutta la loro area, e situati allo stesso livello, o in prossimità, del livello della superficie del terreno esterno (vedere figura 1). Tali pavimenti possono essere:

- privi di isolamento; o
- uniformemente isolati (sopra, sotto o internamente alla soletta) su tutta la loro area.

1 Soletta di pavimento
2 Terreno



$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$$

Calcolo della trasmittanza termica degli elementi di involucro opachi - terreno

Per calcolare la trasmittanza termica di base U_0 , si usano la [3] o la [4], a seconda dell'isolamento termico del pavimento.

Se $d_t < B'$ (pavimenti non isolati o moderatamente isolati) si ha:

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad [3]$$

Se $d_t \geq B'$ (pavimenti ben isolati) si ha:

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t} \quad [4]$$

Per pavimenti privi di isolamento perimetrale

$$U = U_0$$

e per pavimenti con isolamento perimetrale

$$U = U_0 + 2 \Delta \Psi / B'$$

Il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario è:

$$L_s = A U_0 + P \Delta \Psi \quad e \quad \dot{q}_i = L_s \Delta t$$

Per il calcolo del coefficiente di perdita di calore attraverso il terreno, in condizioni stazionarie L_s , si utilizza la Norma UNI EN ISO 13370 sul trasferimento di calore attraverso il terreno.

1. PAVIMENTO CONTROTERRA NON ISOLATO O UNIFORMEMENTE ISOLATO

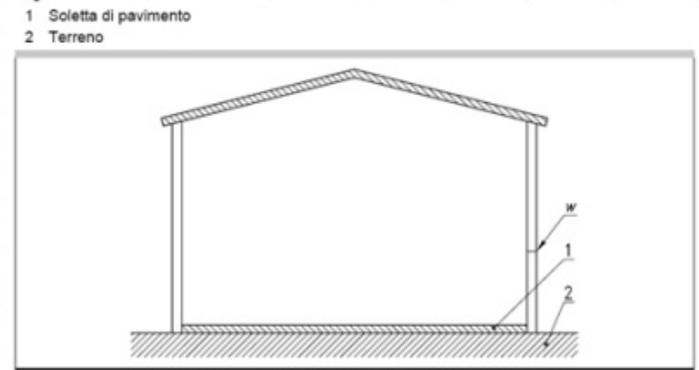
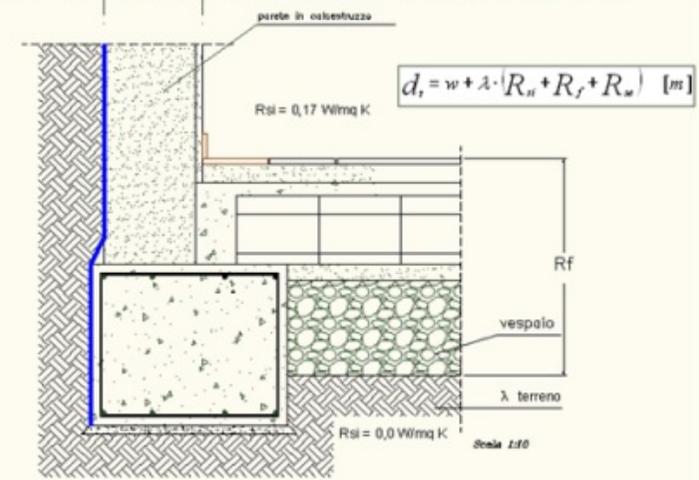
	s	lambda	C	R
Rsi				0,17
piastrelle	0,015	1		0,015
massetto in cls alleggerito	0,06	0,9		0,067
blocco solaio	0,26		2,857	0,350
massetto in cls alleggerito	0,05	0,9		0,056
ghiaione	0,3	1,2		0,250
Rse				0,000
	0,685		R tot	0,907
	0,385		Ktot	1,102
terreno	0,01	2		0,005
dt	0,29	2	0,907	2,104

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right)$$

Struttura n.2 nel file LEX10 Professional "Calcolo trasmittanza pavimento terreno 11 07 2014"

lambda	2	sabbia e ghiaia
Area pavimento	144,95	
Perimetro	62,83	
B'	4,61	
dt	2,104	dt < B'
pigreco B'	14,4954275	
A (Pigreco x B'/dt)+1	7,88789217	
ln (A)	2,06532895	
parte 1 formula	0,24096521	
S10 Uo	0,498	0,498 LEX10
Coeff. Acc. L	72,14	

$$L_s = A U$$



Calcolo della trasmittanza termica degli elementi di involucro opachi - terreno

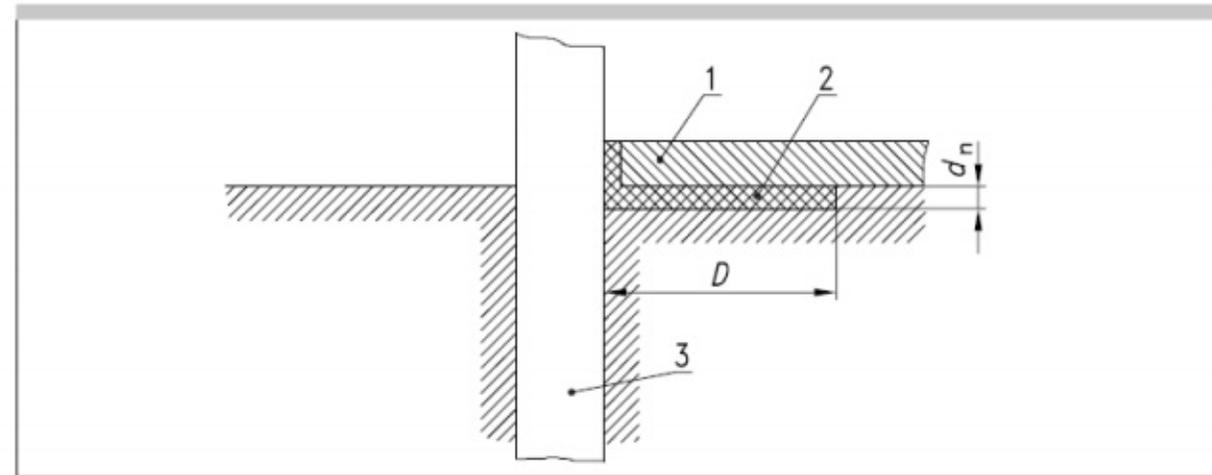
PAVIMENTO CONTROTERRA CON ISOLAMENTO PERIMETRALE

Un pavimento controterra può avere un isolamento perimetrale, disposto orizzontalmente o verticalmente lungo il perimetro del pavimento. Le formule presentate in questo punto sono valide quando la larghezza o profondità dell'isolamento perimetrale, D , è piccola in confronto alla larghezza dell'edificio.

figura 2 Rappresentazione schematica d'isolamento perimetrale orizzontale

Legenda

- 1 Soletta di pavimento
- 2 Isolamento perimetrale orizzontale
- 3 Parete di fondazione



Calcolo della trasmittanza termica degli elementi di involucro opachi - terreno

PAVIMENTO CONTROTERRA CON ISOLAMENTO PERIMETRALE ORIZZONTALE

per pavimenti con isolamento perimetrale

$$U = U_0 + 2 \Delta \Psi / B' \rightarrow \dot{Q} = U_0 A \Delta t + \Delta \Psi P \Delta t = A \Delta t \left(U_0 + \Delta \Psi \frac{P}{A} \right) =$$

Il coefficiente di accoppiamento termico in regime stazionario è:

$$L_s = A U_0 + P \Delta \Psi$$

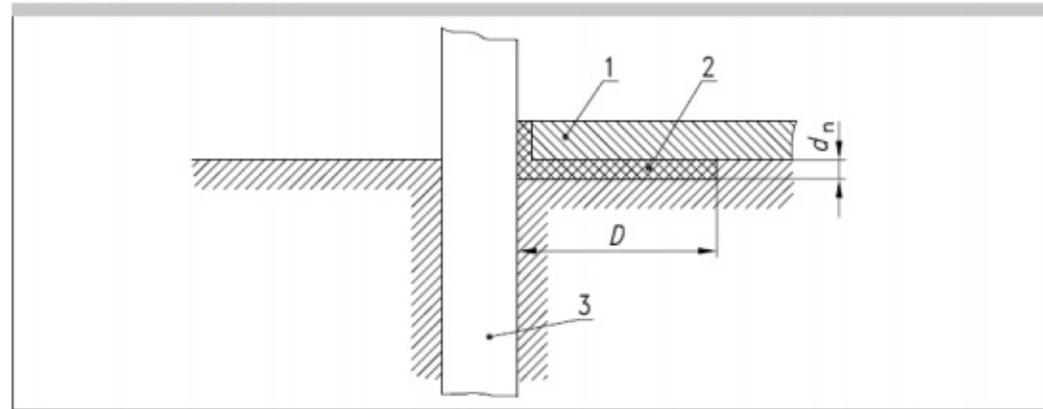
$$= A \Delta t \left(U_0 + \Delta \Psi 2 \frac{P}{2A} \right)$$

$$= A \Delta t \left(U_0 + 2 \frac{\Delta \Psi}{B'} \right)$$

figura 2 Rappresentazione schematica d'isolamento perimetrale orizzontale

Legenda

- 1 Soletta di pavimento
- 2 Isolamento perimetrale orizzontale
- 3 Parete di fondazione



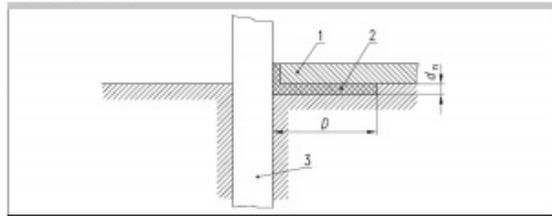
PAVIMENTO CONTROTERRA CON ISOLAMENTO PERIMETRALE ORIZZONTALE

Per isolamenti posizionati orizzontalmente lungo il perimetro del pavimento (vedere figura 2) si applica la formula [10]:

$$\Delta \Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad [10]$$

in cui D è la larghezza dell'isolamento perimetrale (m) e d_t è definito in 9.1.

Fig. 2.21 2 Rappresentazione schematica d'isolamento perimetrale orizzontale
Legenda
1 Soletta di pavimento
2 Isolamento perimetrale orizzontale
3 Parete di fondazione



$$d' = R' \lambda$$

in cui R' è la resistenza termica addizionale introdotta dall'isolamento perimetrale (o dalla fondazione), cioè la differenza tra la resistenza termica dell'isolamento perimetrale e quella del suolo (o della soletta di pavimento) che esso sostituisce:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda}$$

resistenza termica dell'isolamento perimetrale in $m^2 \cdot K/W$;

spessore dell'isolamento perimetrale, in m.

conducibilità termica del terreno, in $W/m K$

[8]

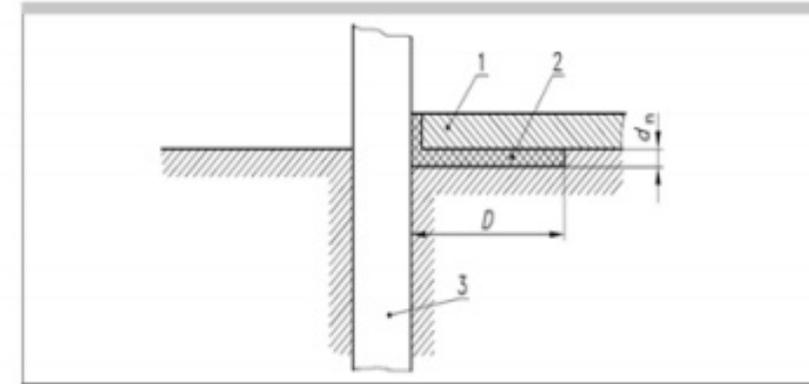
PAVIMENTO CONTROTERRA CON ISOLAMENTO PERIMETRALE

Isolamento perimetrale orizzontale

2 Rappresentazione schematica d'isolamento perimetrale orizzontale

Legenda

- 1 Soletta di pavimento
- 2 Isolamento perimetrale orizzontale
- 3 Parete di fondazione



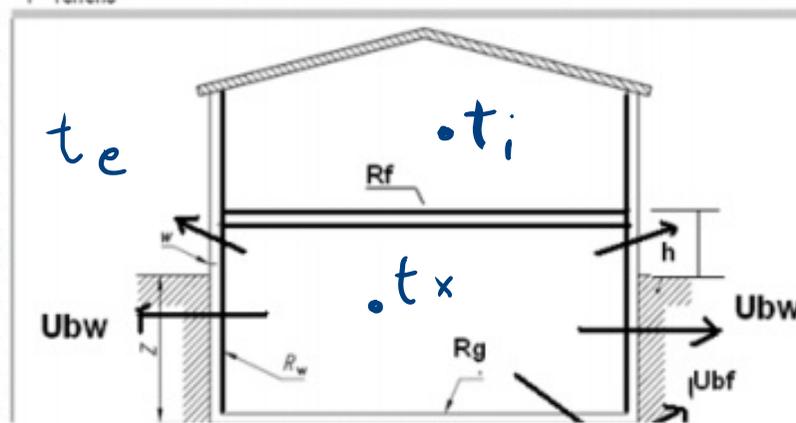
lambda terreno	2 W/mK
Uo	0,498
A	144,95
P	62,83
D	0,5
conducib. isolante	0,034 polistirene W/m K
dn spessore isolante	0,04 m
Rn resistenza termica isola	1,176 mq/W K
dn/lambda	0,020 mq/W K
R'	1,156
d'	2,313
lambda/pi	0,637
dt	2,104

X	(D/dt)	0,24
	(D/dt)+1	1,24
	ln (X)	0,213
	dt+d'	4,417
Y	[D/(dt+d')]+1	1,113
	ln (Y)	0,107
	$\Delta \psi = -x1*(x2-x3)$	-0,067
	LS= A*Uo+P * Δψ	67,90
	U	0,468

Calcolo della trasmittanza termica degli elementi di involucro opachi - terreno

PIANO INTERRATO NON RISCALDATO				
PAVIMENTO PIANO CANTINE				
		S10	R tot	0,831
			Ktot	1,204
		S12	Rg	0,907
			Ug	1,102
terreno	0,01	2		0,005
dt	0,3	2	0,907	2,114
lambda	2		sabbia e ghiaia	
Area pavimento	144,95			
Perimetro	62,83			
B'	4,61			
dt	2,114			
Z	2,800			
dt+1/2 Z	3,514		dt + 1/2 z < B'	
pigreco B'	14,4954275			
A	(Pigreco x B' / (dt+0,5z)) + 1		5,12448777	
ln (A)			1,63403057	
parte 1 formula			0,22209998	
Ubf			0,363	
V			348,50	
0,33 n V			34,50	
Calcolo Ubw				
Uw			2,983	
dW			0,670	
h			0,5	
C	2 lambda / pigreco * z		0,45472841	
B	z/dw + 1		5,176	
ln (B)			1,6440712	
D	1 + (0,5 dw) / (dw+z)		1,09659596	
Ubw			0,820	

ex Rf-Rg solaio su terreno
Uf
Rf pavimento su cantine



$$L_s = A U \quad [24]$$

La trasmittanza termica U si ricava da:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{AU_{bf} + zPU_{bw} + hPU_w + 0,33nV} \quad [25]$$

dove:

- U_f è la trasmittanza termica del pavimento (tra l'ambiente interno ed il piano interrato);
- U_w è la trasmittanza termica delle pareti del piano interrato sopra il livello del terreno;
- n è la portata d'aria di ventilazione nel piano interrato (ricambi d'aria all'ora);
- V è il volume d'aria del piano interrato.

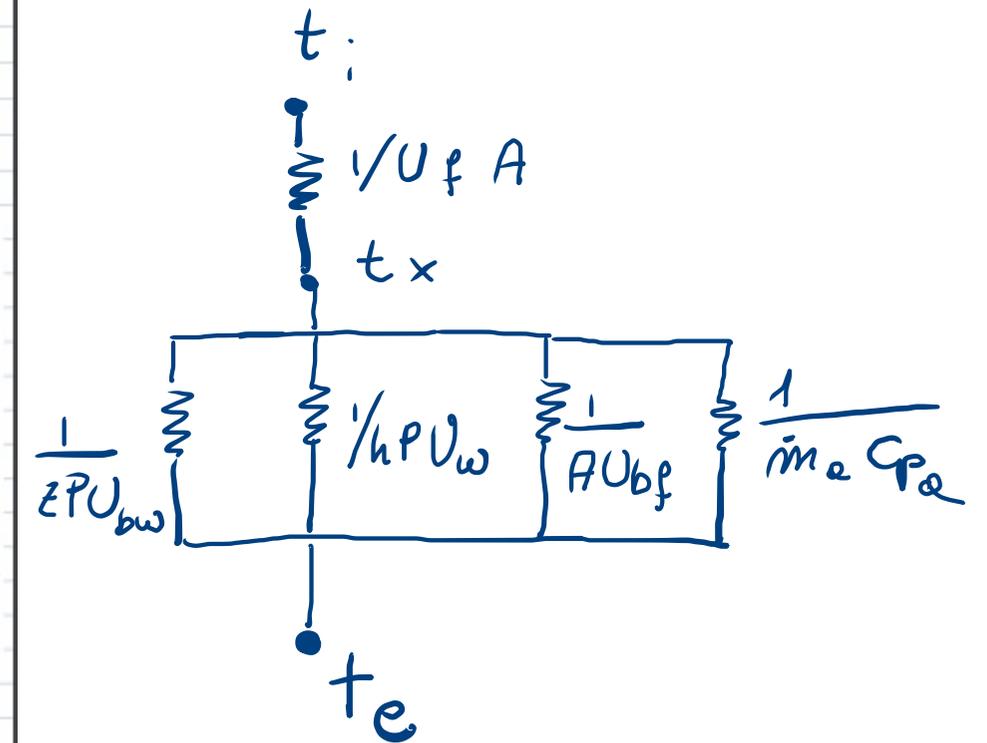
In mancanza di informazioni specifiche assumere un valore di $n = 0,3$ ricambi d'aria all'ora.

Se $(d_1 + 1/2 z) < B'$ (pavimenti di piani interrati non isolati o moderatamente isolati):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_1 + 1/2 z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_1 + 1/2 z} + 1 \right)$$

Calcolato in base alle [3 - 7] precedenti

PIANO INTERRATO
NON RISCALDATO



U_{bw} dipende dallo spessore equivalente totale delle pareti del piano interrato:

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad [21]$$

dove R_w rappresenta la resistenza termica di tutti gli strati delle pareti del piano interrato, mentre gli altri simboli sono definiti in 3.2.

Calcolare U_{bw} dalla seguente formula:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad [22]$$

La formula per U_{bw} utilizza sia d_w sia d_t . Essa è valida per $d_w \geq d_t$, come avviene di solito. Se, tuttavia, risulta $d_w < d_t$ nella formula [22] si deve sostituire d_t con d_w .

Ponti termici

$$\dot{Q}_{pt} = \left[\sum_i \psi_i l_i + \sum_j \chi_j \right] (t_i - t_e)$$

Trasmittanza lineica

Trasmittanza per tuolo

Calcolo Ponti Termici

La norma **UNI TS 11300-1:2014** (Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale) specifica le norme per il calcolo dei ponti termici.

In particolare, sono previste due possibili modalità di calcolo dei ponti termici:

- **calcolo numerico** (analisi agli elementi finiti) in accordo alla UNI EN ISO 10211:2008
- **calcolo con atlanti di ponti termici** conformi alla UNI EN ISO 14683:2008

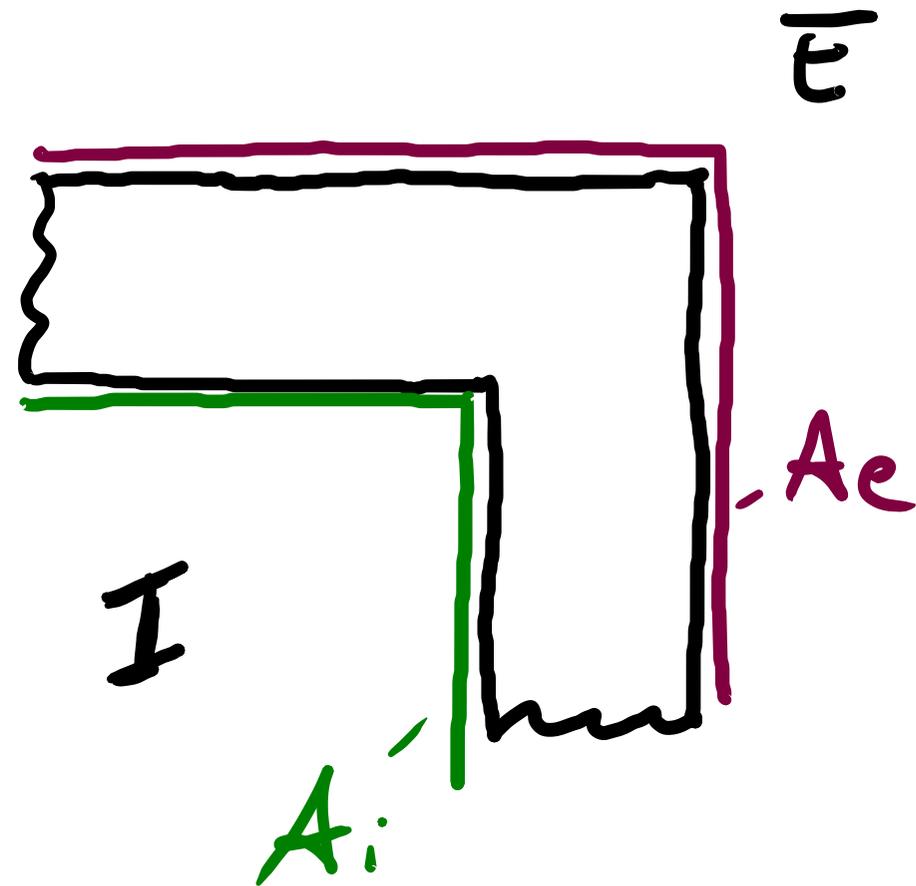
La norma, inoltre, vieta ogni tipo di semplificazione per gli edifici esistenti, come per esempio:

- il calcolo forfettario o la maggiorazione percentuale dei ponti termici
- l'abaco di ponti termici in allegato A alla norma UNI EN ISO 14683:2008

I ponti termici pesano in generale tra il 5% ed il 15% delle dispersioni attraverso l'involucro, nel caso di isolamento scarso e buono, rispettivamente.

ABACO CENED

Superficie di riferimento per parti forate



H : altezza interpiastre

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= A_i U \Delta t + \psi_i H \Delta t \\ &= A_e U \Delta t + \psi_e H \Delta t \end{aligned}$$

Poiché $A_e > A_i$, troveremo sicuramente $\psi_e < \psi_i$.

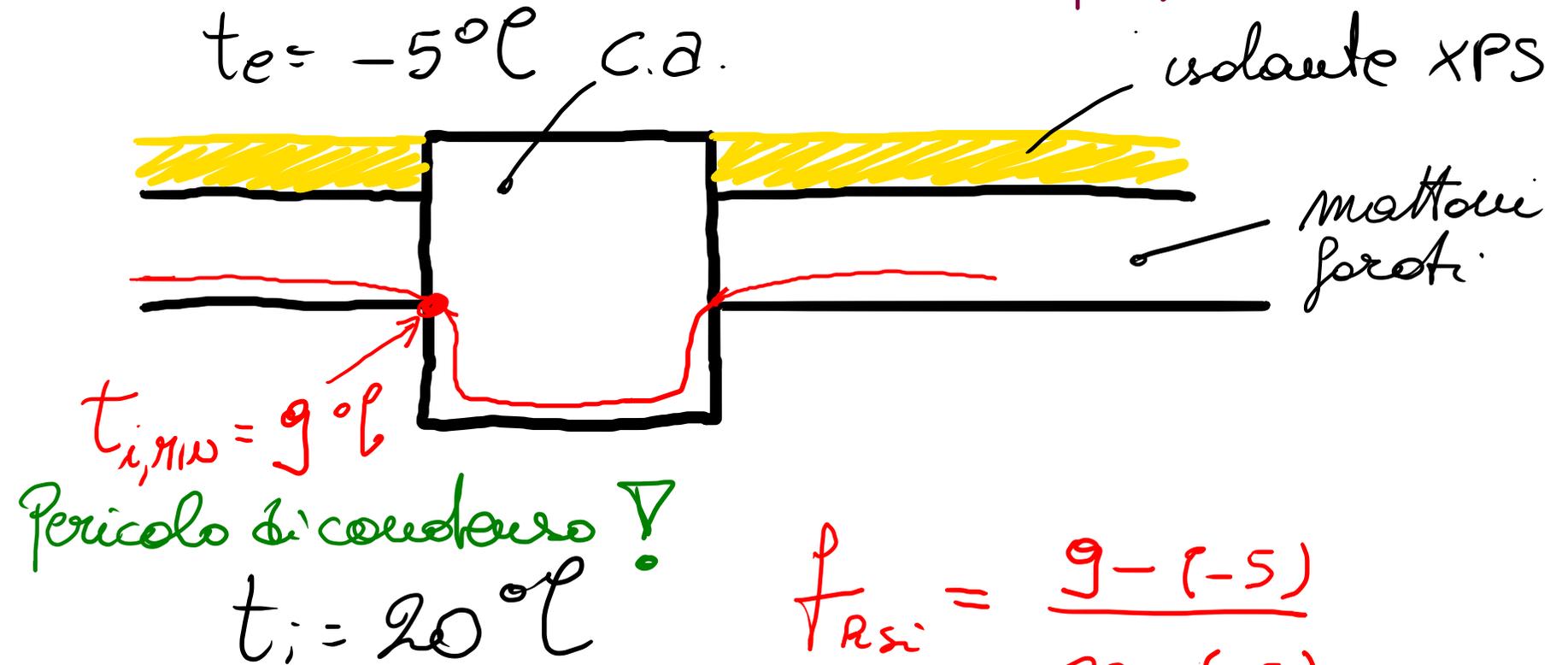
(in alcuni casi ψ può essere < 0).

Entrambe le scelte sono possibili e parimenti legittime !

Il fattore f_{Rsi} [da calcolo secondo EN 13788, NON secondo EN 10211]
che invece è la norma di riferimento per il calcolo di γ

- È un numero adimensionale, compreso tra 0 e 1, che quantifica le "boute" termica del modo costruttivo dal punto di vista delle temperature superficiali interne

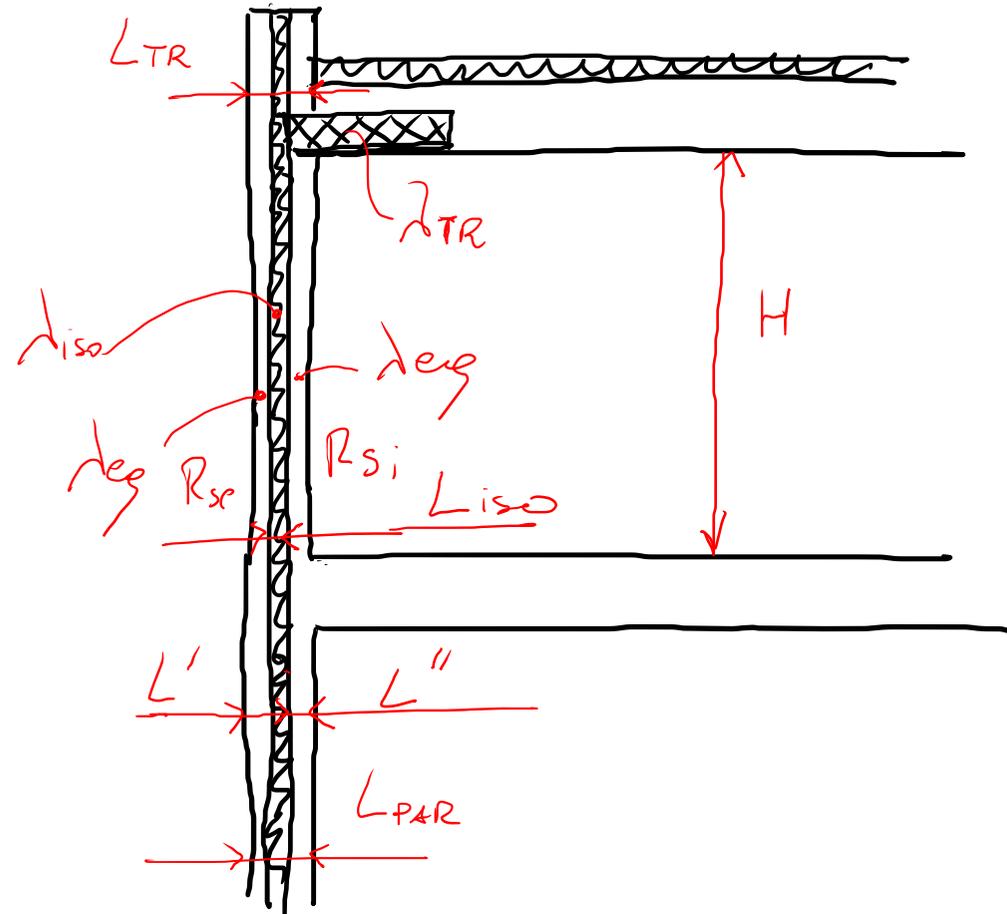
$$f_{Rsi} = \frac{t_{i,mw} - t_e}{t_i - t_e}$$



- f_{Rsi} serve soprattutto per confrontare diverse soluzioni tecniche atte a correggere il ponte termico.

$$f_{Rsi} = \frac{9 - (-5)}{20 - (-5)} = \frac{14}{25} = \underline{\underline{0,56}}$$

Esempio:



Vogliamo confrontare $U_{PAR} H$ con ψ_I .

$$U_{PAR} = \left[\frac{L' + L''}{\lambda_{deg}} + \frac{L_{iso}}{\lambda_{iso}} + R_{si} + R_{se} \right]^{-1}$$

$$\psi_I = -0.230 + 0.107(L' + L'' + L_{iso}) + 0.367 \lambda_{eq}$$

COP.015	PARETE ISOLATA IN MEZZERIA CON COPERTURA ISOLATA, TRAVE ISOLATA E PARAPETTO ISOLATO
Ponte termico formato dalla giunzione di una parete isolata in mezzeria con una copertura piana isolata superiormente. La trave è il parapetto sono isolati in mezzeria in modo continuo con la parete.	
SEZIONE VERTICALE	
TRASMITTANZA TERMICA LINEARE	
Riferita alle dimensioni esterne	$\psi_E = -0.512 - 0.027 \cdot L_{PAR} + 0.292 \cdot \lambda_{eq} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$
Riferita alle dimensioni interne	$\psi_I = -0.230 + 0.107 \cdot L_{PAR} + 0.367 \cdot \lambda_{eq} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$
Con:	
Campo di validità	$0.30 \leq L_{PAR} \leq 0.60 \text{ (m)} \quad 0.23 \leq \lambda_{eq} \leq 0.81 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$
Intervallo di confidenza	$IC_E^{-95\%} = \pm 0.05 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) \quad IC_I^{-95\%} = \pm 0.03 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$

$$\frac{\psi_I}{U_{PAR} H} =$$

$$= \left[-0.230 + 0.107(L' + L'' + L_{iso}) + 0.367 \lambda_{eq} \right] \times \left[\frac{L' + L''}{\lambda_{eq}} + \frac{L_{iso}}{\lambda_{iso}} + R_{si} + R_{se} \right] \frac{1}{H}$$

Ad es:

$L_{PAR} = 0.40 \text{ m}$	$\lambda_{iso} = 0.04 \text{ W/mK}$	$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$
$L_{iso} = 0.10 \text{ m}$	$\lambda_{eq} = 0.35 \text{ W/mK}$	$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$
$H = 2.70 \text{ m}$		

$$\frac{\psi_I}{U_{PAR} H} \approx \underline{\underline{-8\%}}$$

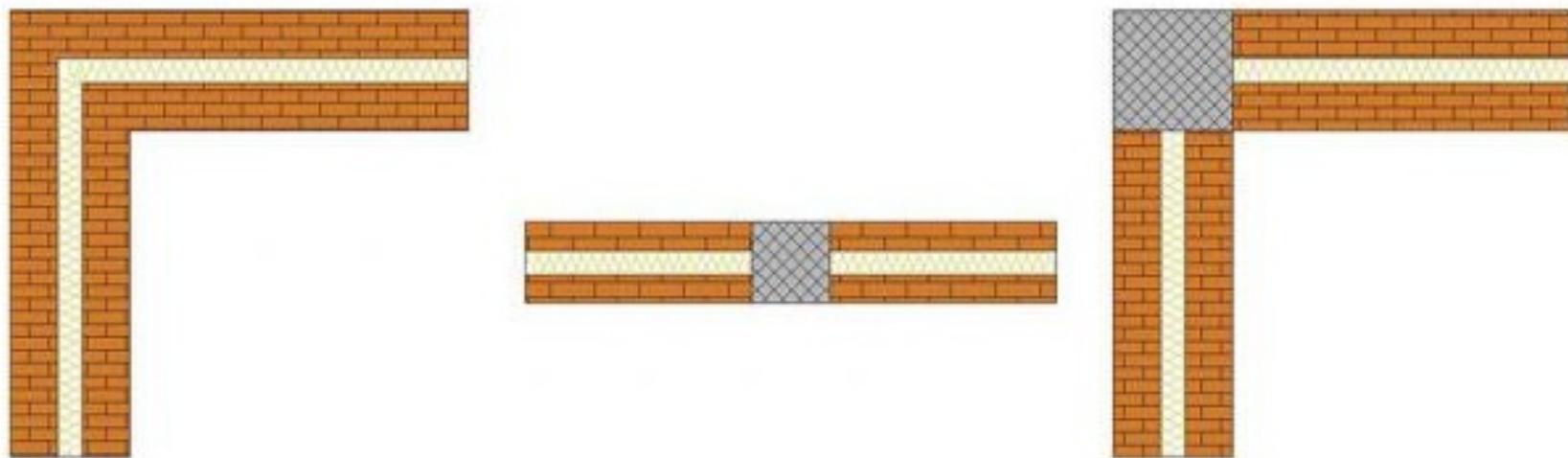


Fig. n. 1: L'immagine riassume le principali casistiche che causano un ponte termico. A sinistra, l'angolo fra pareti è un classico caso di ponte termico geometrico. Si manifesta quando la superficie disperdente misurata internamente differisce da quella misurata esternamente. Al centro, il pilastro su facciata è un esempio di ponte termico dovuto alla disomogeneità fra i materiali. Il laterizio è infatti interrotto dal calcestruzzo del pilastro, il quale è caratterizzato da una conduttività ben superiore. L'entità del ponte termico viene poi amplificata dall'interruzione del materiale isolante. A destra, il pilastro d'angolo rappresenta un caso di ponte termico misto, causato sia dalla geometria che dalla disomogeneità del materiale.

3. RISCHIO MUFFA IN CORRISPONDENZA DEI PONTI TERMICI

Qualitativamente, un ponte termico si manifesta come una zona dell'involucro caratterizzata da una temperatura superficiale inferiore rispetto a quella delle zone circostanti. Questa riduzione di temperatura, oltre ad essere causa di maggiori dispersioni, può condurre ad una problematica ben più tangibile ovvero la formazione di muffa superficiale. Tale fenomeno dipende da più fattori, anche non direttamente imputabili alla presenza del ponte termico, come la tipologia di substrato e la quantità di umidità relativa interna all'edificio.

Tramite la norma UNI EN ISO 13788 è possibile effettuare un calcolo di verifica, finalizzato a scongiurare la formazione di muffa, a partire da condizioni al contorno ben definite. In sostanza, se in corrispondenza del ponte termico la temperatura superficiale è tale da determinare un'umidità relativa maggiore dell'80%, si potrebbe verificare la formazione di muffa. Questa condizione, non è accettata dal D.M. 26.06.15, secondo quanto previsto nell'Allegato 1, paragrafo 2.3, punto 2.

I software di calcolo agli elementi finiti consentono generalmente di valutare sia la ψ che il rischio di formazione muffa; per quanto riguarda gli abachi, difficilmente riescono a dare informazioni riguardanti anche il rischio di formazione di muffa.

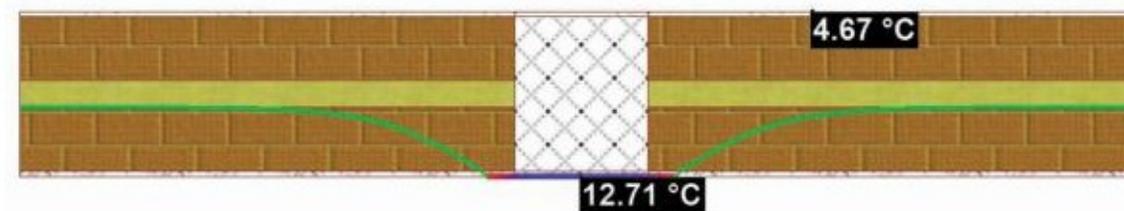


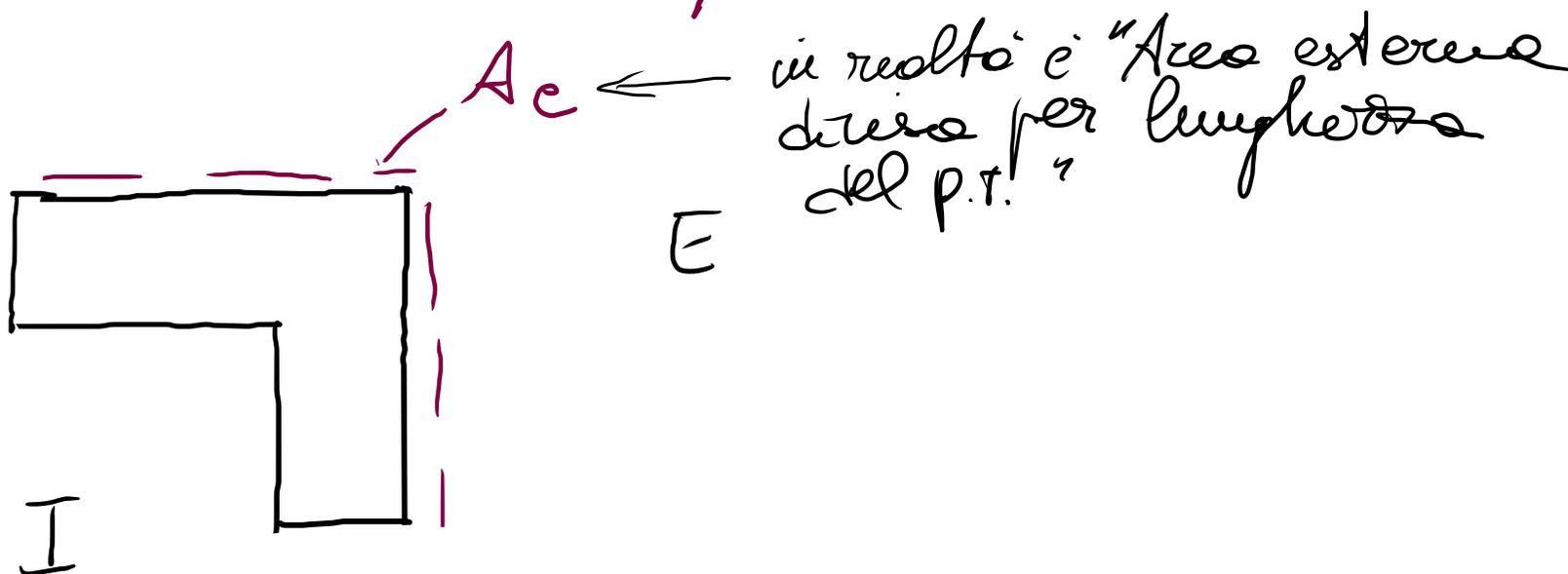
Fig. n. 2: Analisi agli elementi finiti con Mold Simulator del rischio di formazione muffa in corrispondenza di un pilastro su facciata non corretto. L'isoterma mostra la temperatura alla quale si manifesta il rischio di formazione muffa (a cui corrisponde una U.R.= 80%); se questa arriva ad affacciarsi sulla superficie interna della struttura significa che vi è rischio di formazione muffa

Cerchiamo di capire meglio il significato del coefficiente γ :

► \dot{Q}' : potenza termica effettiva
mezzo scambiato per metro
di lunghezza del P.T.

$$\dot{Q}'_{1D} = U'_{PAR,1D} \times A_e \times \Delta T \neq \dot{Q}$$

► Definiamo: $\dot{Q}' - \dot{Q}'_{1D} =: \gamma_e !$



Riferimenti normativi in merito allo verifica dei p.t. ai fini della contesa superficiale e della dispersione termica

Le due problematiche precedentemente indicate sono presenti in forma di verifica nelle leggi che regolamentano il risparmio energetico in edilizia: Legge 10/91, DLgs 192/05, DLgs 311/06 e DPR 59/09; e nella legislazione inerente la certificazione energetica degli edifici: DM 26/06/2009 "Linee guida nazionali per la certificazione".

NORMATIVE

	Norma	Titolo
PONTI TERMICI	UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica Metodi semplificati e valori di riferimento
	UNI EN ISO 10211	Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali Calcoli dettagliati
VERIFICHE DI CONDENSA	UNI EN ISO 13788	Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo
VERIFICHE ENERGETICHE	UNI TS 11300-1	Prestazione energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
VERIFICHE ENERGETICHE	UNI 10355	Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo
	UNI 10351	Materiale da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore
	UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici
	UNI EN ISO 10456	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto

Ponti termici di un'abitazione: quali sono i più comuni

- Pilastri
- Travi
- Cordoli
- Balconi, finestre e davanzali passanti
- Chiodi di fissaggio del cappotto isolante esterno
- By-pass termici (spazio tra pannello e pannello nei [cappotti termici](#)).

Supposto sulle dispersioni energetiche della presenza di ponti termici (ordine di grandezza)

Descrizione della struttura	Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5%
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15%
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5%
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10%
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10%
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20%
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30%

Correzione dei ponti termici

La correzione dei **ponti termici** può avere due finalità: da un lato eliminare i **fattori di degrado**, quali muffe, condense e umidità, aumentando la temperatura superficiale all'interno dell'ambiente, dall'altro ridurre le **dispersioni termiche**. In questo capitolo forniremo le indicazioni tecniche di massima per la correzione dei ponti termici.

Cosa vuol dire correggere i ponti termici

L'espressione "correzione del ponte termico" non sottintende avere un "ponte termico corretto". In generale, la correzione del ponte termico indica una **"riduzione" delle dispersioni termiche** della discontinuità, mentre il "ponte termico corretto" si riferisce al tipo di verifica da effettuare per ottemperare ai limiti di trasmittanza termica per le chiusure edilizie.

In sostanza, la riduzione di un ponte termico potrebbe non indicare un ponte termico corretto. Quale che sia la finalità, dal punto di vista pratico la soluzione tecnica per la correzione dei ponti termici (vedi Figura 1) può portare a un miglioramento del **coefficiente di trasmissione lineica** mediante l'inserimento di uno strato isolante, oppure mediante un taglio termico isolante in modo da separare gli elementi di continuità e di collegamento tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno.

La correzione del ponte termico per le verifiche di condensazione superficiale è tale se non si verificano rischi con le condizioni imposte dal DPR 59/09 che prevede l'assenza di condensazione superficiale con condizioni fisse di temperatura dell'aria interna ($T=20\text{ °C}$) e di umidità relativa ($UR = 65\%$), nel caso non siano presenti impianti in grado di gestire l'umidità relativa interna.

La correzione pertanto è considerata sufficiente se la temperatura superficiale interna del punto critico risulta essere $T_{si} \geq 13,2\text{ °C}$ (temperatura di rugiada corrispondente alle condizioni di verifica sopra indicate).

La definizione di ponte termico è contenuta all'interno dell'Allegato A del D.Lgs 192/2005: il ponte termico è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro)[...] Il ponte termico si definisce corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente. Il ponte termico corretto non ha un reale senso fisico, ma viene introdotto dall'allegato per motivazioni legate alle verifiche richieste dai decreti nazionale o regionali sulle strutture di un progetto. La valutazione della correzione o meno del ponte termico si esegue infatti con questa modalità: a partire dall'elemento di superficie e dalla dimensione del ponte termico si valuta la disuguaglianza $[(\Psi_{PT} * l_{PT}) / A_{PAR}] > (0,15 * U_{PAR})$ Dove Ψ_{PT} è la trasmittanza lineica del ponte termico l_{PT} è la lunghezza di sviluppo del ponte termico A_{PAR} è l'area della struttura su cui è applicato il ponte termico U_{PAR} è la trasmittanza termica della struttura. Se la disuguaglianza è negativa la verifica di trasmittanza riguarderà la trasmittanza termica della struttura; in caso contrario la verifica verrà eseguita sulla trasmittanza incrementata per la presenza del ponte termico, senza ulteriori implicazioni sulla reale correzione o meno della fuoriuscita di calore dovuta alla presenza del ponte termico. Il fatto che un ponte termico sia considerato corretto non significa che quindi non debba essere conteggiato come dispersione nell'edificio, ma semplicemente che l'eventuale verifica richiesta in fase di progetto verrà fatta con la trasmittanza U della parete originale, senza incrementi.

La simulazione numerica dei ponti termici:

- Attualmente la legge impone il calcolo di ψ tramite software certificato
- "Therma" è un software open-source per la modellazione dei p.t. agli elementi finiti.

ESEMPIO APPLICAZIONE THERMA

Esempi:

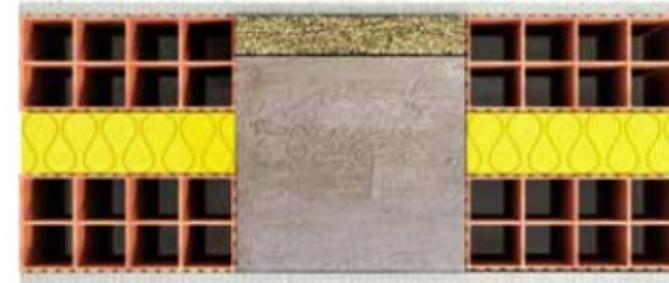
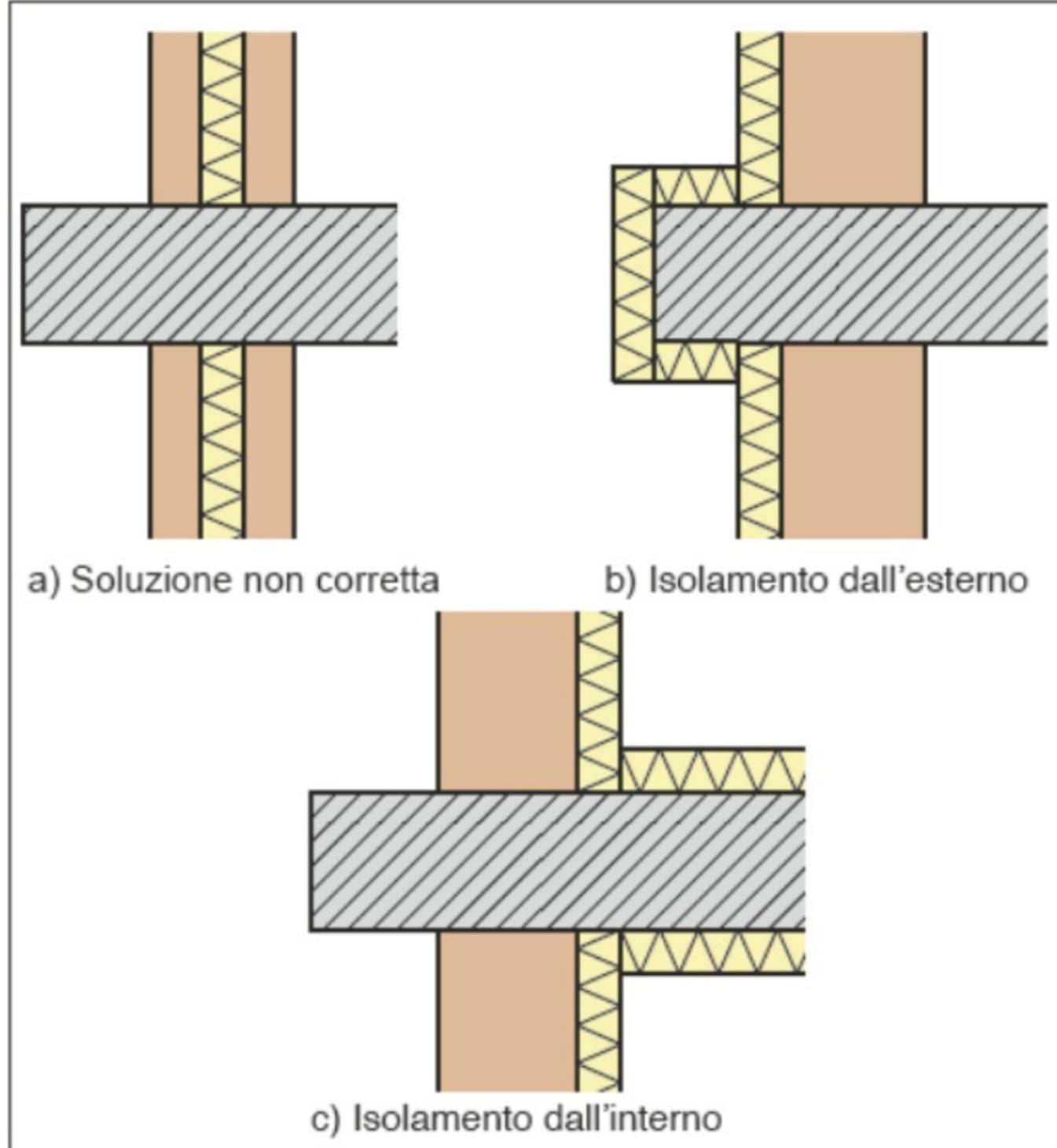


Fig. 4
Ponte termico pilastro in parete
Correzione ordinaria (CO)

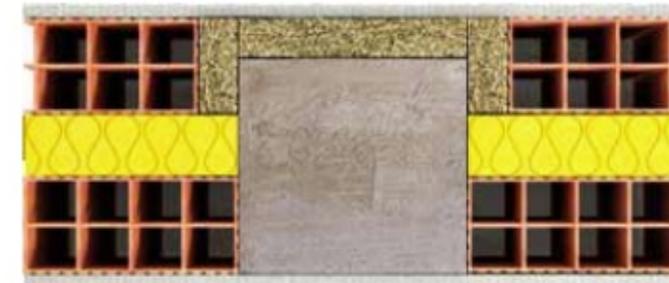


Fig. 5
Ponte termico pilastro in parete
Correzione accurata (CA)



Fig. 6
Ponte termico pilastro in parete
Correzione molto accurata (CMA)

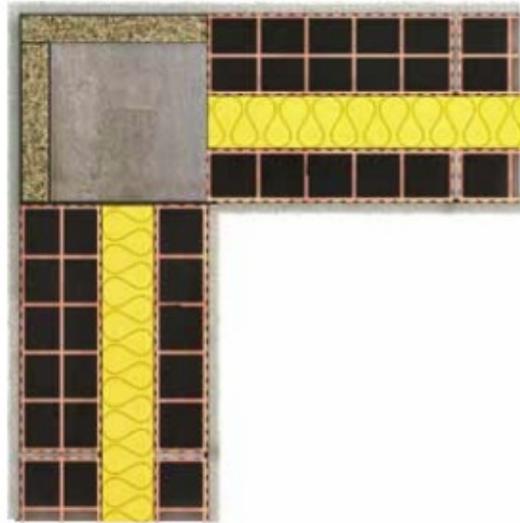


Fig. 7
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione ordinaria (CO)

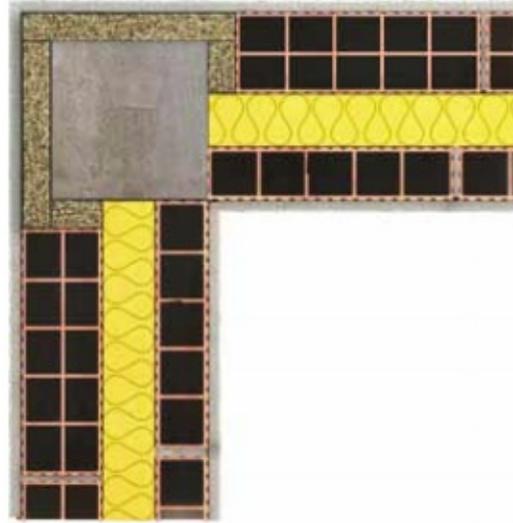


Fig. 8
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione accurata (CA)

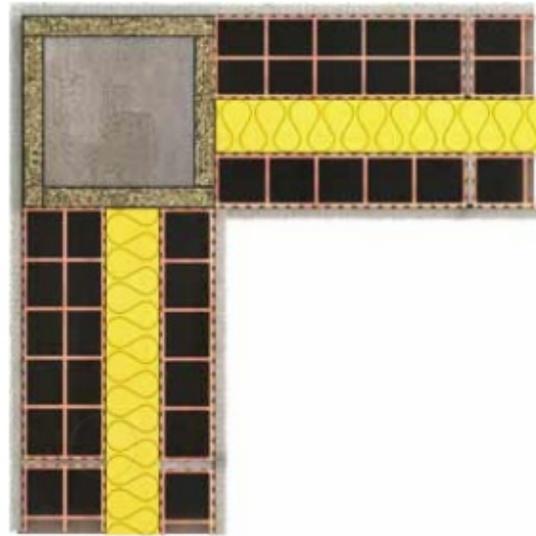


Fig. 9
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione molto accurata (CMA)

Solaio e parete

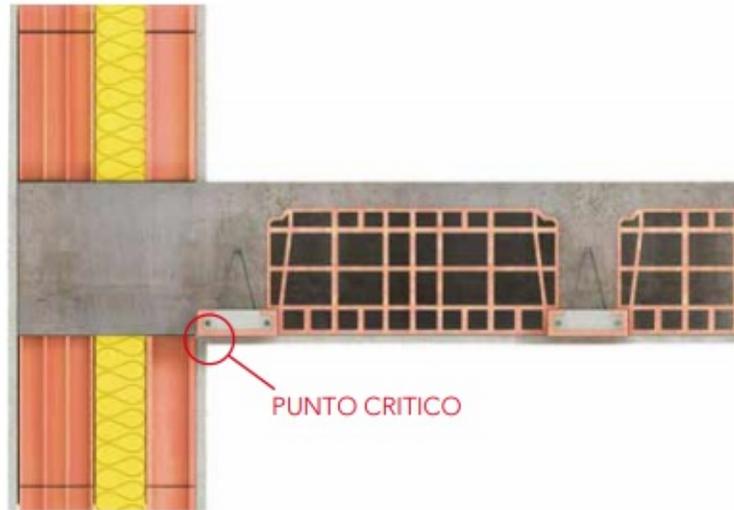


Fig. 10
Ponte termico solaio a parete
Non corretto

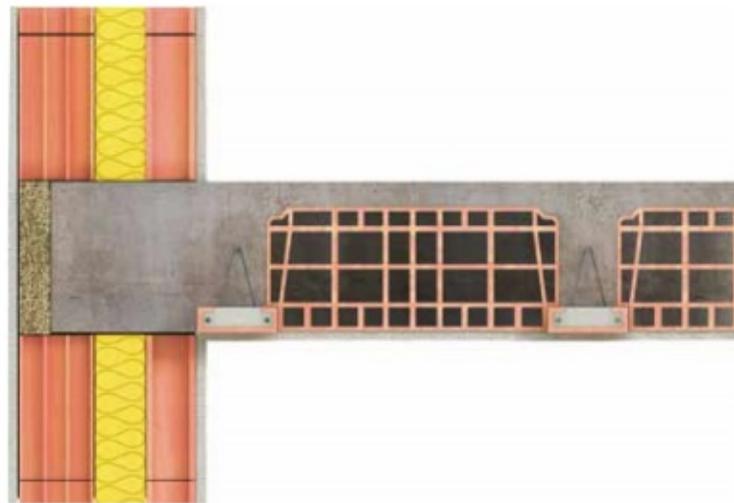


Fig. 11
Ponte termico solaio a parete
Correzione ordinaria (CO)

Solaio e sbalzo (elementi aggettanti)

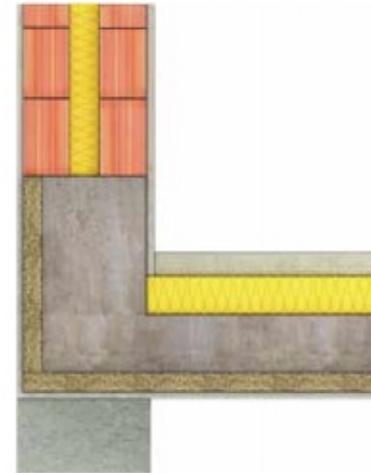


Fig. 12
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione ordinaria (CO)

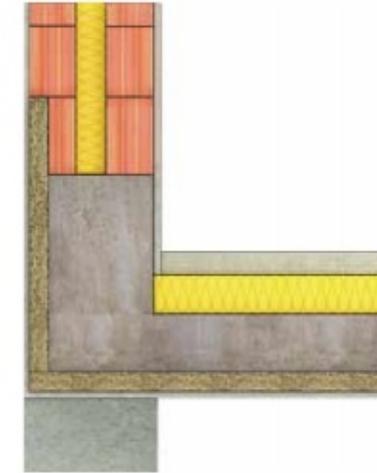


Fig. 13
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione accurata (CA-1)

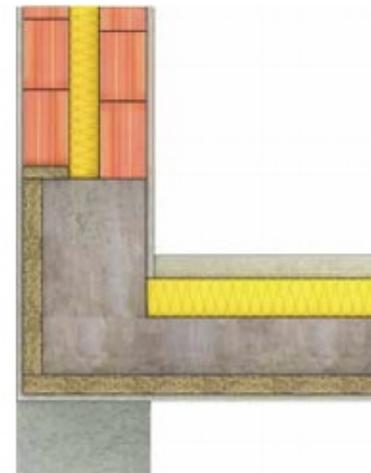


Fig. 14
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione molto accurata (CA-2)

Parete controterra

isolante
indicato in blu

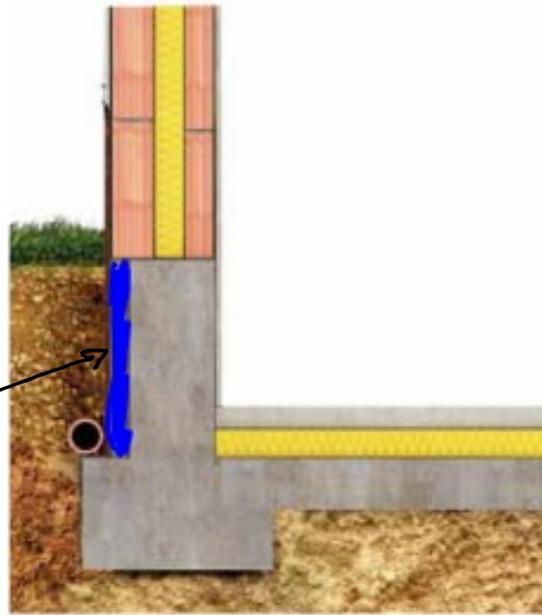


Fig. 15
Ponte termico parete controterra
Correzione ordinaria (CO)

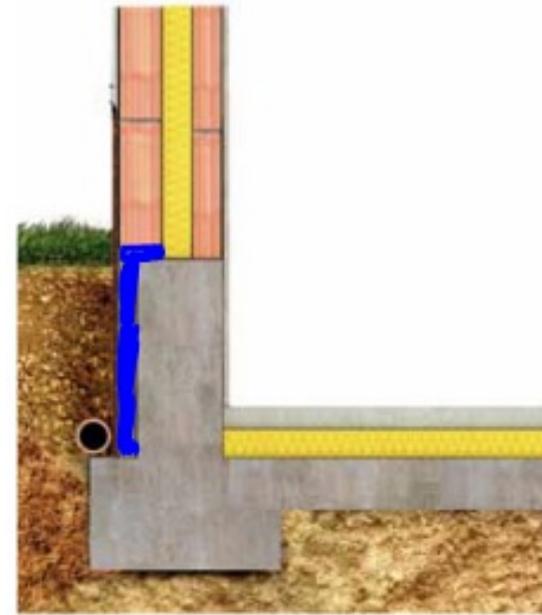


Fig. 16
Ponte termico parete controterra
Correzione accurata (CA-1)

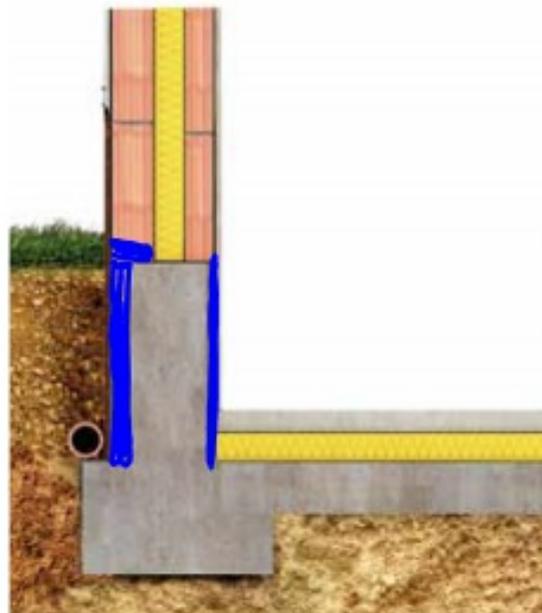


Fig. 17
Ponte termico parete controterra
Correzione accurata (CA-2)

Ponti termici negli edifici di nuova costruzione

Per gli edifici di nuova costruzione la correzione dei ponti termici non esiste. Il ponte termico deve essere studiato nella fase di progetto in modo che la discontinuità termica sia del tutto eliminata. ~~Il ponte termico deve essere studiato nella fase di progetto in modo che la discontinuità termica sia del tutto eliminata.~~

Ponti termici negli edifici esistenti

È difficile evitare del tutto un ponte termico negli edifici esistenti attraverso una ristrutturazione dell'isolamento termico dell'involucro. Rispetto agli edifici nuovi ci sono molti vincoli geometrici e costruttivi.

La normativa cerca di indurre a una "correzione" del ponte termico attraverso il confronto con la trasmittanza termica limite media. In sostanza, al fine di correggere un ponte termico, bisogna necessariamente aumentare l'isolamento termico sull'involucro.

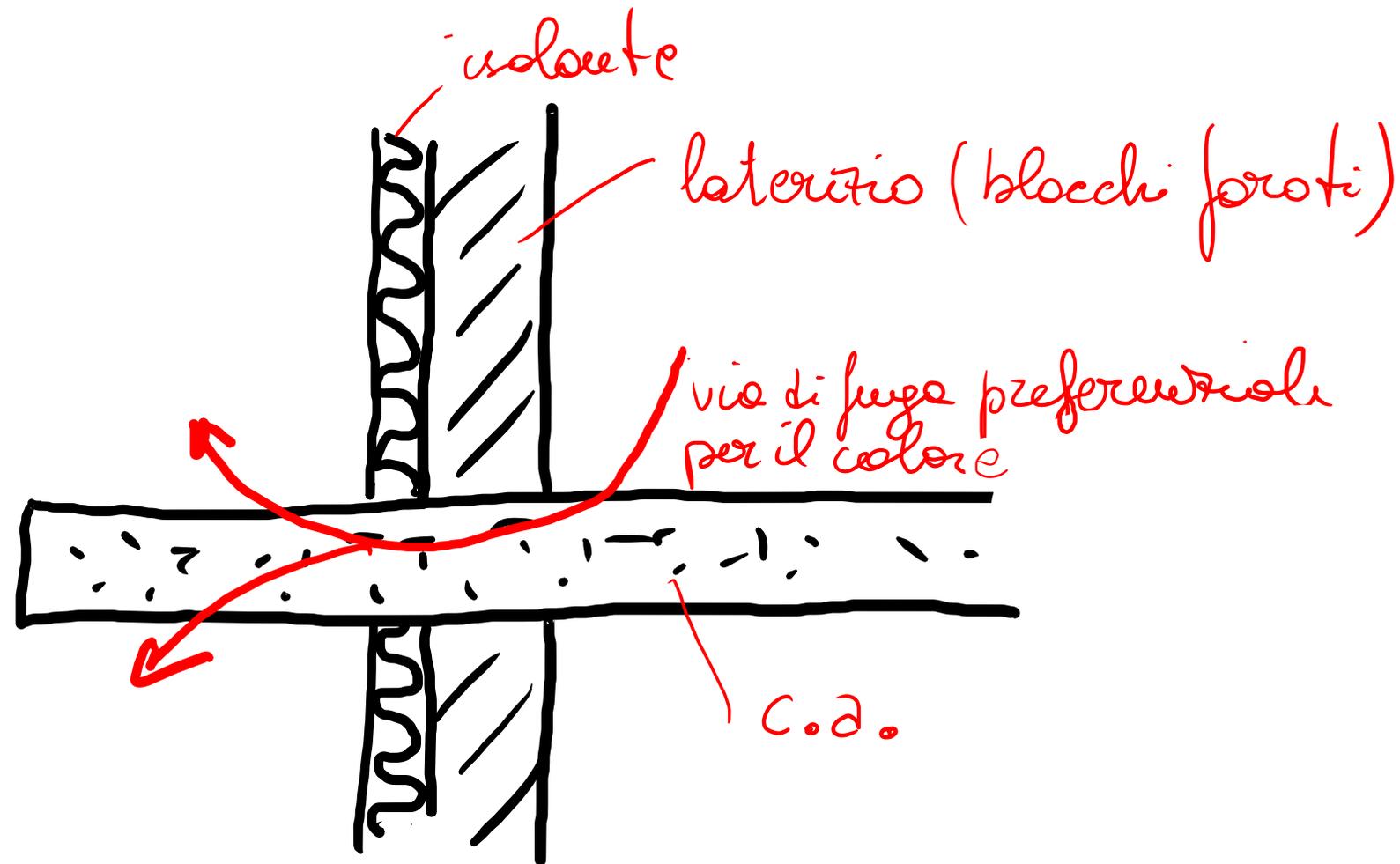
In alcuni casi questo comporta un peggioramento della situazione facendo aumentare la trasmittanza termica lineica ~~Il ponte termico deve essere studiato nella fase di progetto in modo che la discontinuità termica sia del tutto eliminata.~~

~~Il ponte termico deve essere studiato nella fase di progetto in modo che la discontinuità termica sia del tutto eliminata.~~ per alcuni ponti termici (intersezione tra due muri, spigoli, intersezione balcone-muro, ecc.). In queste situazioni, prima di scegliere la soluzione "facile" di intervento solo con la tecnica dell'isolamento termico, è necessario prevedere e studiare soluzioni ad hoc che localizzino il fenomeno e ne riducano gli effetti (taglio termico del balcone, bancali isolati, ecc.).

Posso ridurre questo
trasmettente invece
di ridurre χ_k ?

$$U_{eq} = \frac{\sum_j U_j A_j + \sum_k \chi_k l_k}{\sum_j A_j}$$

Ad esempio: intersezione balcone - muro.

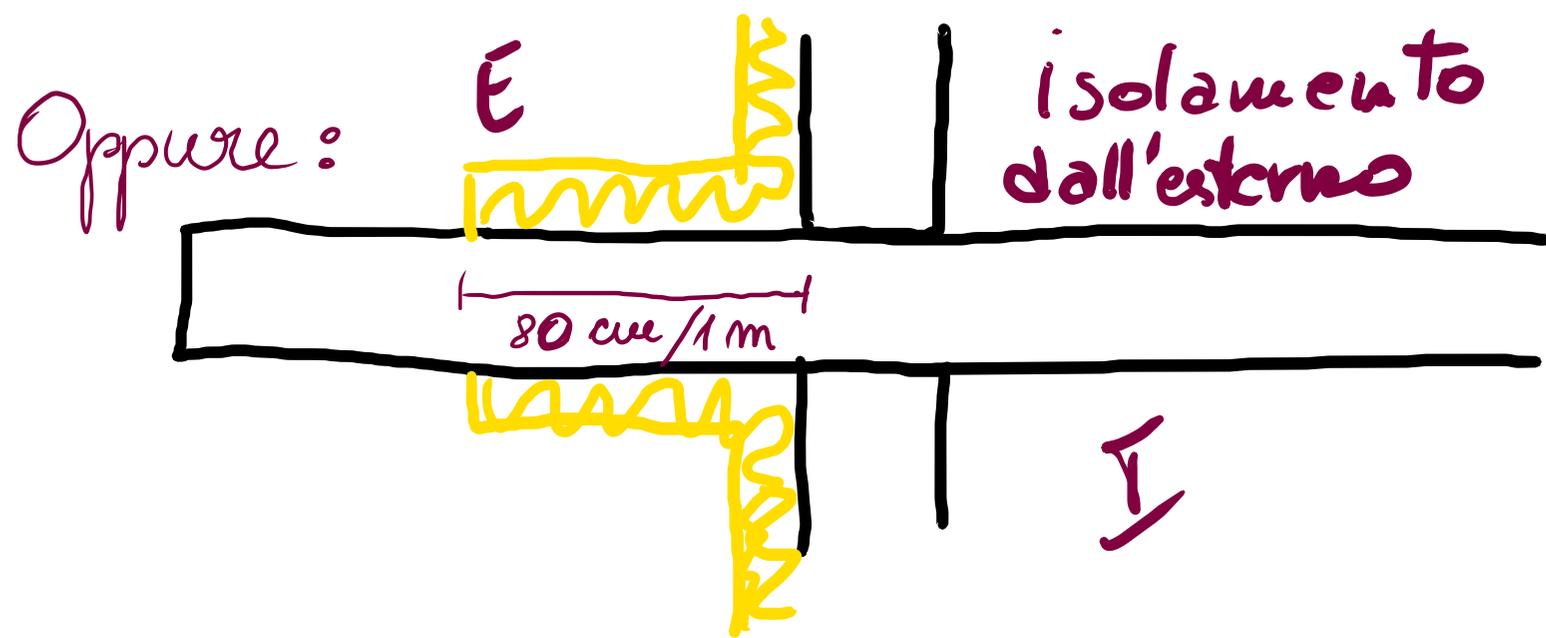
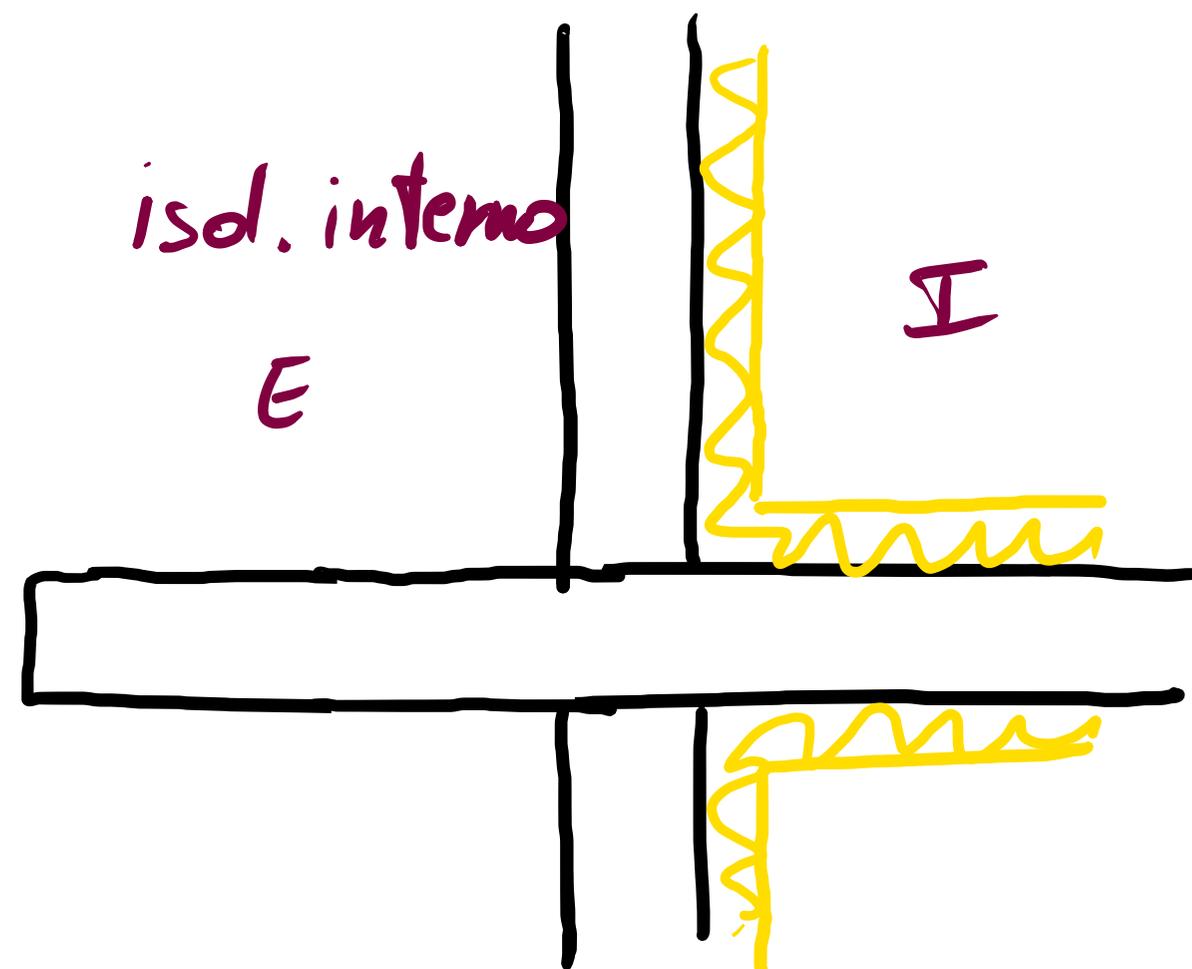
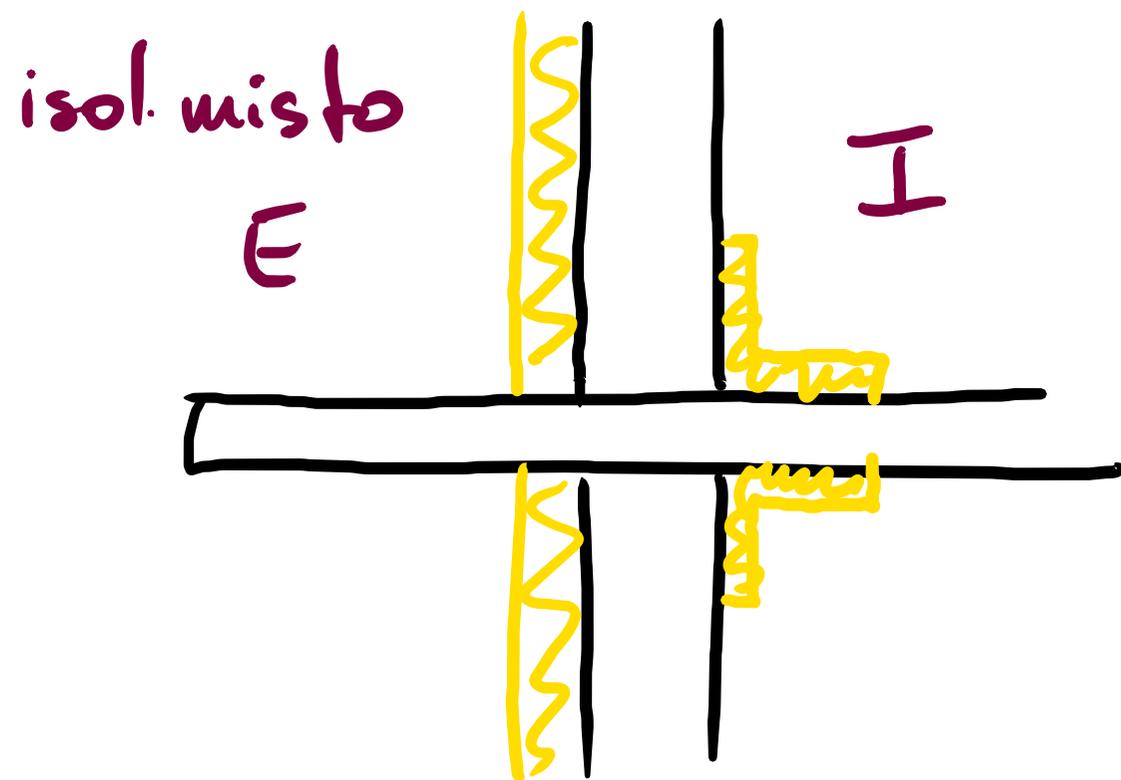


Aumentando lo spessore dell'isolante, senza correggere il p.t., causa un aumento del calore disperso attraverso il balcone, in quanto la "via di fuga" attraverso la parete è stata impedita. Ciò si manifesta in un aumento della trasmittanza lineica del parete.

Taglio termico del balcone

Si tratta dell'inserimento di uno strato isolante tra il balcone e il solaio interno in modo da poter avere una certa continuità dell'isolamento del muro (vedi Figura 3). In commercio ne esistono di diverse tipologie e di diverso materiale. Alcune tipologie presentano dei ferri per poter permettere la continuità dell'armatura tra il solaio interno e il balcone esterno, mentre in altre è possibile inserire i ferri di armatura dopo l'installazione del taglio termico e prima del getto di calcestruzzo. In generale, per garantire un corretto funzionamento della mensola, in corrispondenza del taglio termico si usano materiali che resistono bene sia alla trazione (armatura in acciaio) sia alla compressione (elementi ad alta densità) fornendo comunque un buon isolamento termico.

Da un punto di vista termico, la soluzione garantisce la riduzione del ponte termico di circa il 70-80% rispetto a una soluzione tradizionale (assenza del taglio termico). In alternativa, è possibile risolvere il problema del ponte termico del balcone "staccandolo" dalla struttura muraria e fissandolo o attraverso tiranti posti sul tetto, oppure attraverso dei pilastri.



Altri casi :

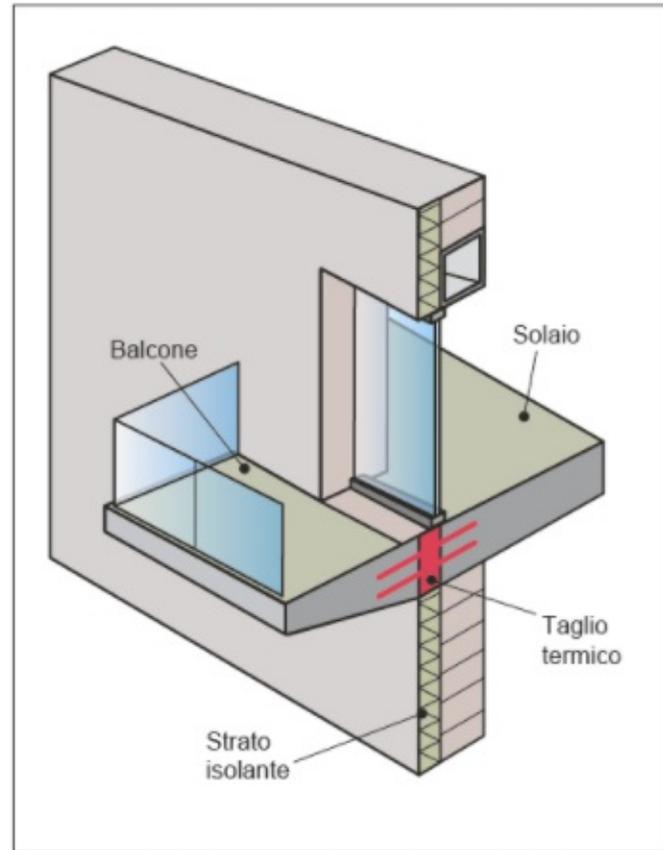


Figura 3 - Taglio termico del balcone

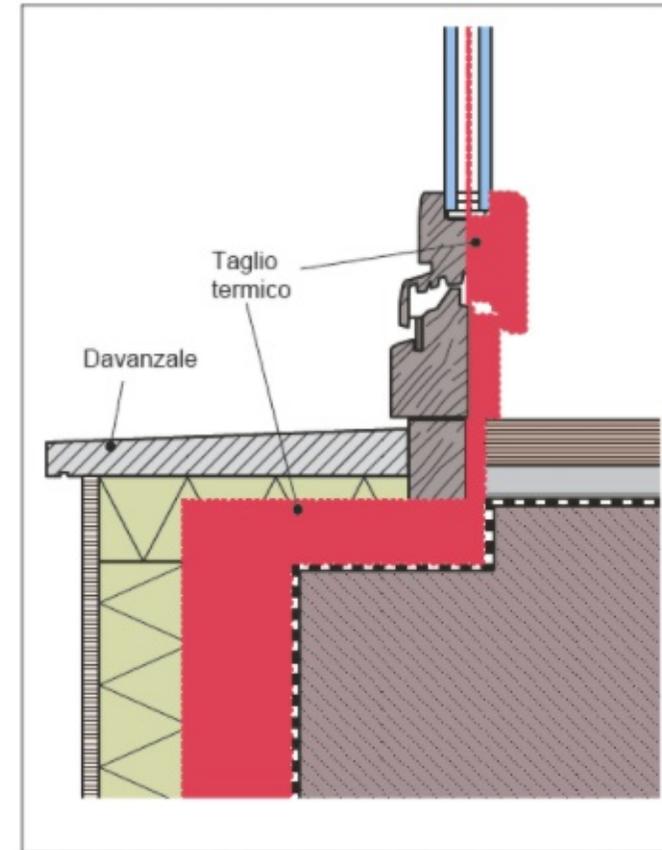
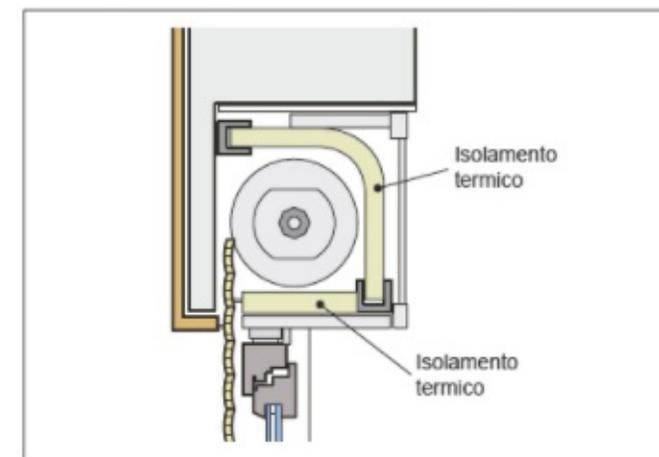
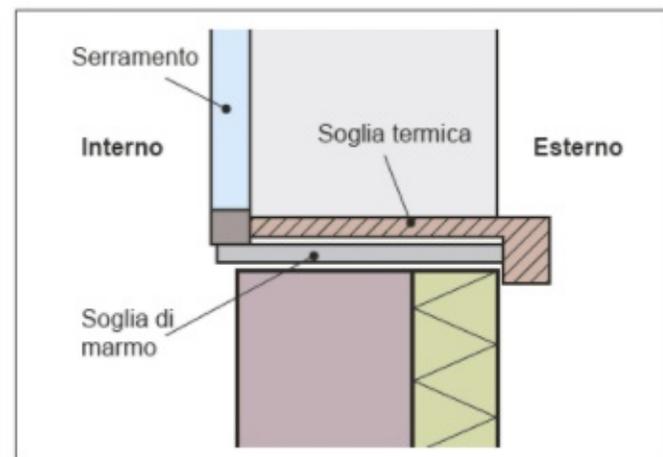
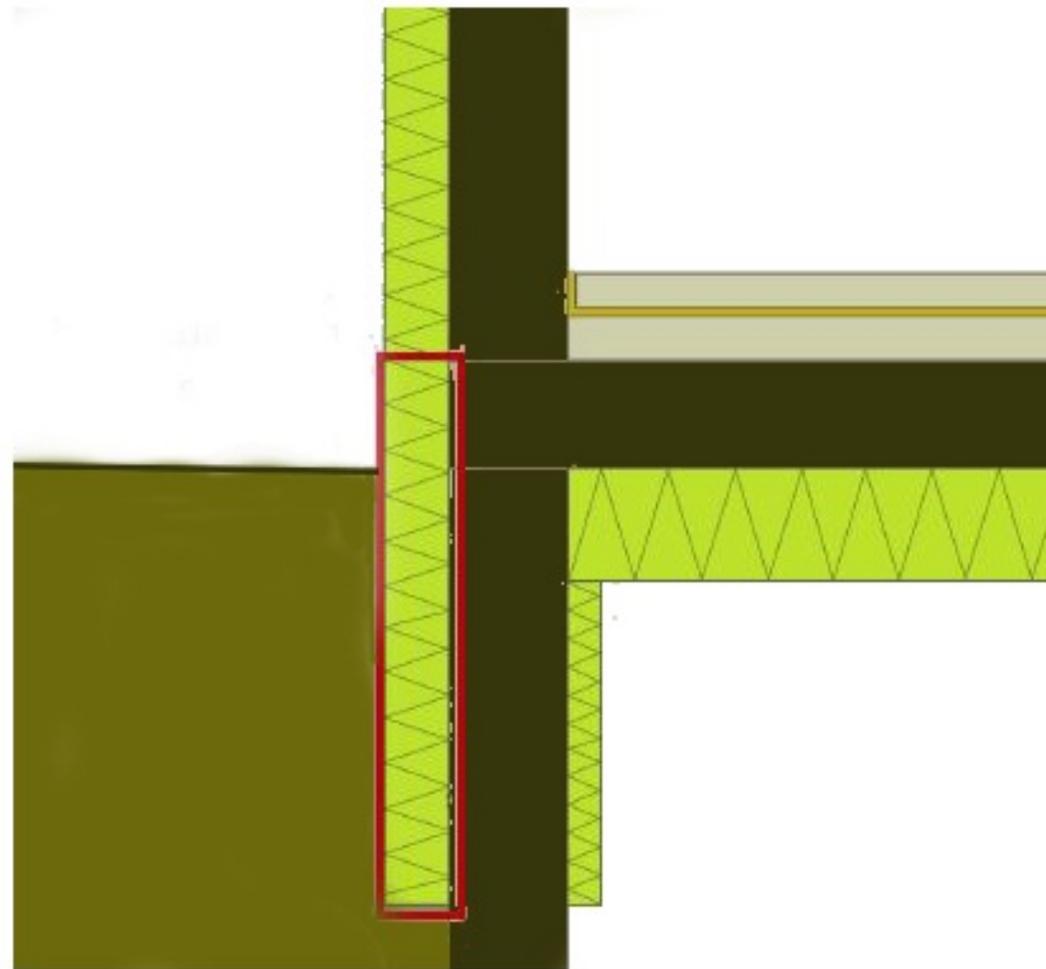


Figura 4 - Riduzione del ponte termico del balcone tramite un rivestimento isolante



Nodo fondazione:



Apporti gratuiti

- ▷ Gli apporti gratuiti vengono trascurati nel calcolo del carico termico invernale, mentre da essi non si può prescindere nel calcolo del carico termico estivo.
- ▷ Valuteremo quindi in modo dettagliato questo apporto quando parleremo del fabbisogno termico estivo.

Esercitazione

Calcolare il carico termico, nelle seguenti ipotesi:

- $\frac{\partial}{\partial t} = 0$;
- flusso 1D ideolato see superficie esterne
- parti termici pesano 15% del totale
- considerare $t_m = t_e = -5^\circ\text{C}$ lato esterno e $t_m = t_i = 20^\circ\text{C}$ interno

Soluzioni:

$$K_{c.a.} = 2,3 \text{ W/mK}$$

$$h_{r, \text{int}} = 5,71 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r, \text{ext}} = 5,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{c, \text{ext}} = \begin{cases} 7,64 \text{ W/m}^2\text{K} & \text{pareti} \\ 10,14 \text{ W/m}^2\text{K} & \text{copertura} \end{cases}$$

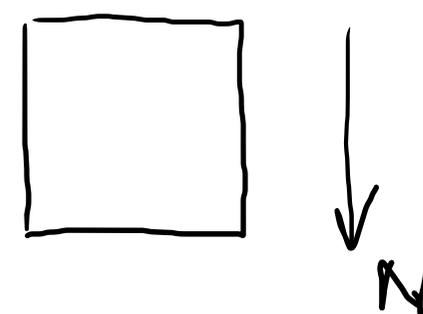
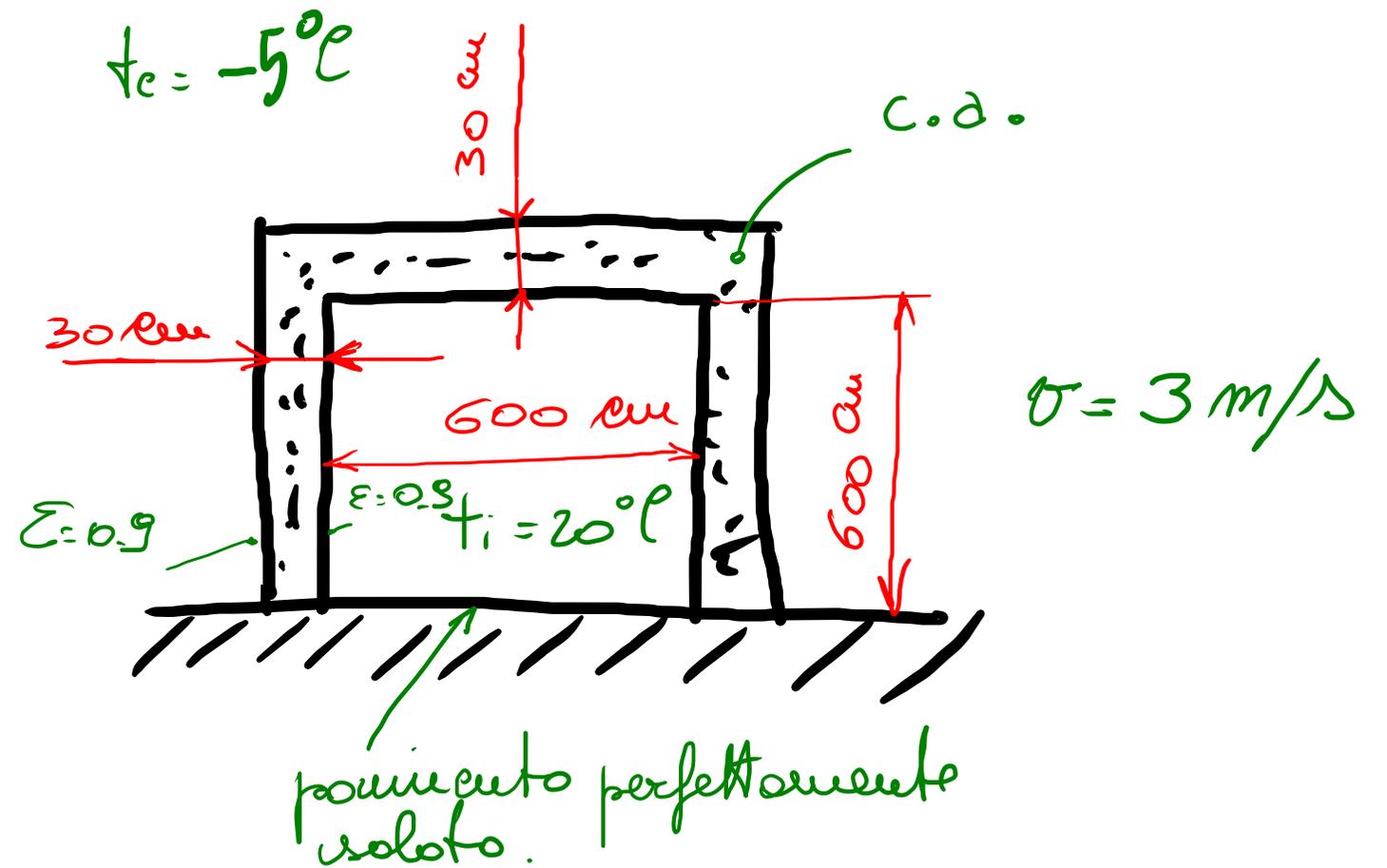
$$h_{c, e} = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r, \text{ext}} = 4,23 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{r, \text{ext}} = 3,81 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{Si} = \begin{cases} 0,131 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} & \text{pareti} \\ 0,059 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} & \text{tetto} \end{cases}$$

$$R_{se} = 0,05 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$



$$R = R_{si} + \frac{\lambda}{k} + R_{se} = \begin{cases} 0,31 \text{ m}^2\text{k/w} & \text{parete} \Rightarrow U = 3,2 \text{ w/m}^2\text{k} \\ 0,28 \text{ m}^2\text{k/w} & \text{tetto} \Rightarrow U = 3,6 \text{ w/m}^2\text{k} \end{cases}$$

$$Q_{+} = \sum_j \gamma_j U_j (t_i - t_e)$$

$$= 1,20 \times 3,2 \times 36 \times 25$$

$$+ 1,15 \times 3,2 \times 36 \times 25$$

$$+ 1,10 \times 3,2 \times 36 \times 25$$

$$+ 1,00 \times 3,2 \times 36 \times 25$$

$$+ 1,00 \times 3,6 \times 36 \times 25$$

$$\approx 16,06 \text{ kW}$$

parete esp. N

E

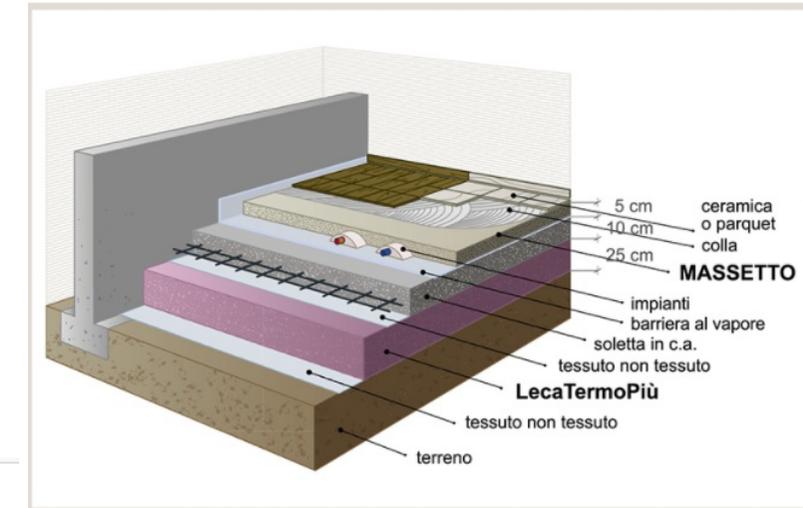
W

S

copertura

Aggiungiamo ora lo scambio termico verso il terreno

Consideriamo un pavimento controterra, senza isolamento perimetrale.



Foglio di lavoro senza nome

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Dati Strumenti Componenti aggiuntivi Guida Ultima modifica è avvenuta 9 minuti fa

100% € % .0 .00 123 ▾ Predefinito... ▾ 10 ▾ B I S A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Stratigrafia pavimento controterra					dt (m)	A [mq]	P [m]	B' [m]	pi	ti [°C]	te [°C]	
2		lambda [W/m K]	Spessore [m]	Rs=s/lambda [mq K/W]		16,41779503	36	24	3	3,141592654	20	-5	
3	Rsi												
4	Terreno	3	0			U0 [W/mq K]	0,1686454869 (se dt>=B'; pavimento ben isolato)						
5	Isolante	0,04	0,2			U0 [W/mq K]	0,1053279266 (se dt<B'; pavimento scarsamente isolato)						
6	Soletta cemento armato	2,3	0,15			U0 [W/mq K]	0,1686454869 (U0 scelto in base a condizione su dt)						
7	Massetto	1,4	0,05			Qbf [kW]	0,1517809382						
8	Rivestimento ceramica	1,2	0,01										
9	Rse												
10													
11													
12													
13		Rbf [mq K/W]	5,10926501	(senza resistenze liminari)									
14		Ubf [W/mq K]	0,1957228678	(senza resistenze liminari)									
15													
16													
17													
18	Stratigrafia parete laterale												
19		lambda [W/m K]	Spessore [m]	Rs=s/lambda [mq K/W]									
20	Rsi												
21	Intonaco calce/gesso	0,7	0,01										
22	Cemento armato	2,3	0,3										
23	Isolante lana di roccia	0,04	0,14										
24	Intonaco cemento	1,4	0,01										
25	Rse												
26													
27													
28		Spessore pacchetto [m]	0,46										
29		Rw [mq K/W]	3,821863354										
30		Uw [W/mq K]	0,2616524735										
31													

pavimento molto ben isolato. La potenza dispersa è irrilevante (150 W)

Segue: utile manuale su "ponti ferroviari",
riportante strategie di costruzione di diverse
tipologie di P.T.

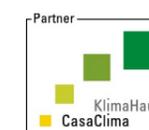
PONTI
TERMICI



Celenit

INDICE DEI CONTENUTI

4	6	8	10	12	14
PONTI TERMICI	VERIFICA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE	VERIFICA ENERGETICA	SOLUZIONI CELENIT	SOLUZIONI 1. Pilastro in parete	SOLUZIONI 2. Pilastro in angolo
16	18	20	22	24	26
SOLUZIONI 3. Solaio a parete	SOLUZIONI 4. Solaio a sbalzo piano pilotis	SOLUZIONI 5. Parete controterra	SOLUZIONI 6. Parete controterra su locale non riscaldato	SOLUZIONI 7. Copertura piana	SOLUZIONI 8. Copertura inclinata finto trave
28	30	31	32	35	38
SOLUZIONI 9. Copertura inclinata trave a sbalzo	SOLUZIONI 10. Serramento	CONCLUSIONI	MATERIALI	POSA IN OPERA	NOTE



Il logo ANAB è riferito ai prodotti:
Celenit AB, Celenit ABE, Celenit N, Celenit NB, Celenit R, Celenit S, Biosilenzio.
Il logo PEFC è riferito ai pannelli in lana di legno.
TUV Italia ha certificato che i pannelli Celenit contengono una percentuale minima di materiale riciclato pre-consumatore pari al 15% del peso, (certificato n° TUVIT - LMR - 0004)

PONTI TERMICI

Le perdite di calore attraverso gli elementi strutturali di un edificio, ovvero i ponti termici, possono raggiungere e superare il 20% delle dispersioni totali e sono causa di condense interne, macchie, muffe col conseguente deterioramento delle parti costruttive.

I ponti termici si verificano prevalentemente in presenza di strutture con materiali che trasmettono energia in maniera differente, ovvero con diversi valori di conducibilità termica λ . Ad esempio, nei casi di pilastri o di travi di bordo in cemento armato a contatto con pareti o coperture isolate. La presenza di un ponte termico comporta generalmente due tipologie di problemi: il primo di natura igienico-sanitaria poiché può provocare la formazione di condensazione superficiale e di muffa all'interno degli ambienti abitativi; il secondo di tipo energetico-ambientale dato che la presenza di un ponte termico genera maggiori dispersioni e quindi maggiori consumi che possono aumentare anche più del 20%. I ponti termici sono quindi nodi che devono essere analizzati e corretti.

È necessario effettuare la verifica in fase di progettazione in modo da integrare le soluzioni nell'insieme dell'edificio e poiché spesso sono interventi che non possono essere messi in atto a posteriori.

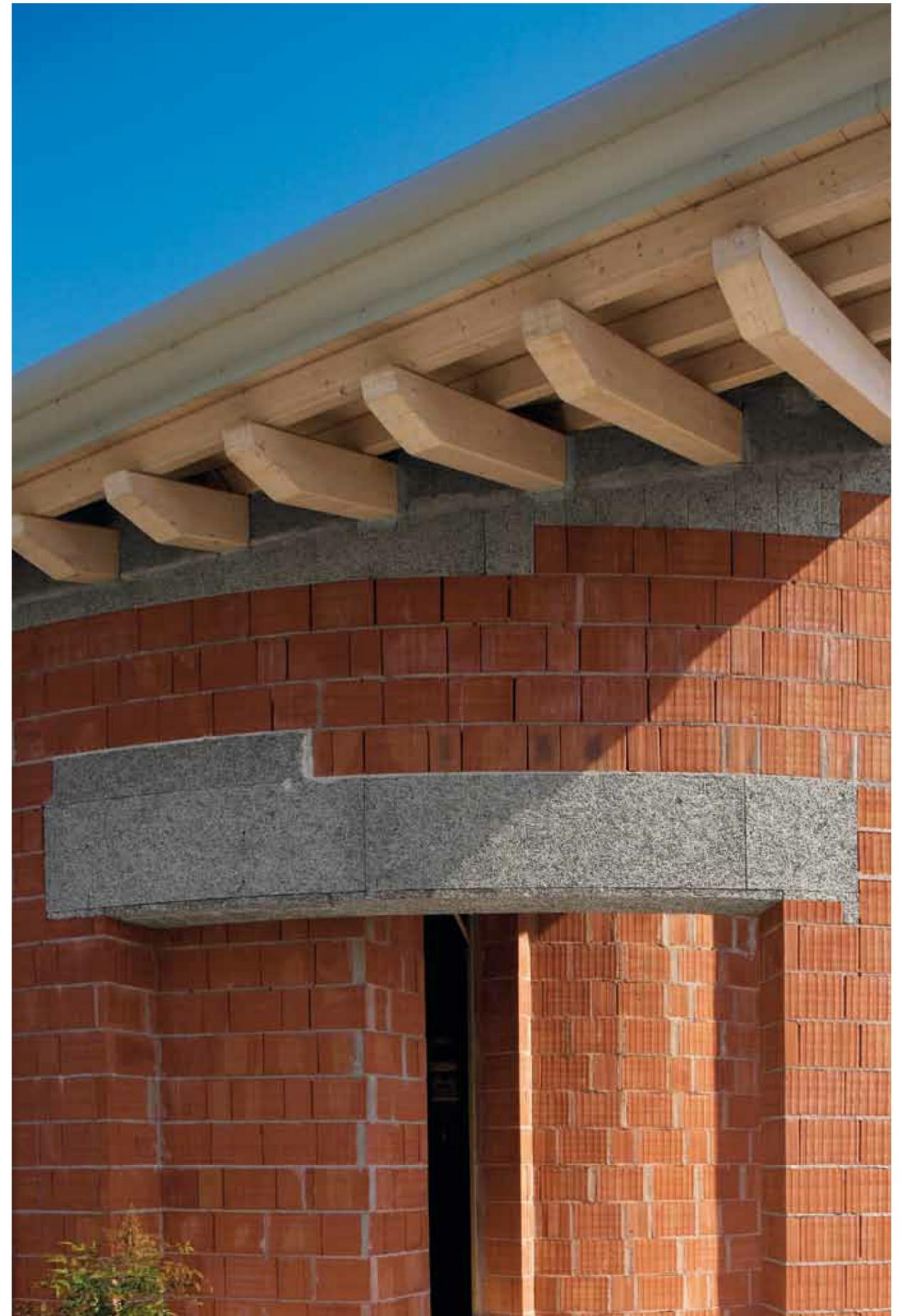
L'attuale legislazione ha reso gli edifici molto più isolati rispetto al passato, per questo non porre un'adeguata

cura nella correzione dei ponti termici comporta maggiori danni energetici e di salubrità ambientale rispetto a prima.

Le due problematiche precedentemente indicate sono presenti in forma di verifica nelle leggi che regolamentano il risparmio energetico in edilizia: Legge 10/91, DLgs 192/05, DLgs 311/06 e DPR 59/09; e nella legislazione inerente la certificazione energetica degli edifici: DM 26/06/2009 "Linee guida nazionali per la certificazione".

Quali sono le verifiche relative ai ponti termici presenti nella legislazione nazionale? Il DPR 59/09 prende in esame il problema dei ponti termici dal punto di vista dell'igiene e salubrità degli ambienti e delle dispersioni energetiche. Tale norma impone l'assenza di condensazione superficiale interna sulle superfici delle strutture con condizioni al contorno imposte e, dal punto di vista energetico, introduce dei limiti legati alle dispersioni dell'involucro.

Il seguente opuscolo analizza la correzione dei ponti termici per questi due aspetti.



VERIFICA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE

La correzione del ponte termico per le verifiche di condensa- zione superficiale è tale se non si verificano rischi con le condizioni imposte dal DPR 59/09 che prevede l'assenza di condensa- zione superficiale con condizioni fisse di temperatura dell'aria interna ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e di umidità relativa ($UR = 65\%$), nel caso non siano presenti impianti in grado di gestire l'umidità relativa interna.

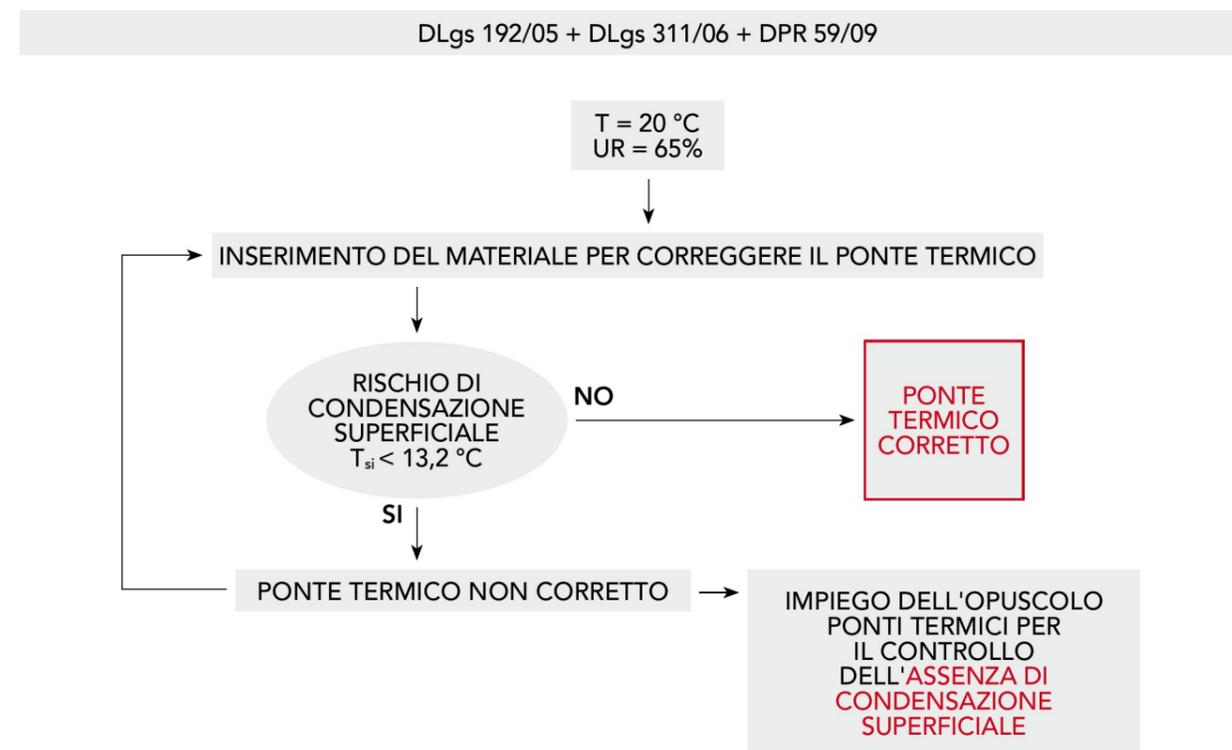
Tali condizioni sono severe poichè viene ipotizzata un'elevata quantità di vapore acqueo sempre presente nell'ambiente riscaldato e la temperatura di saturazione corrisponde a $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se la temperatura superficiale del ponte termico nel punto critico ha un valore minore di $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ si è in presenza del rischio di formazione di

condensa- zione superficiale.

La correzione pertanto è considerata sufficiente se la temperatura superficiale interna del punto critico risulta essere $T_{si} \geq 13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Per un corretto impiego di questo manuale è necessario seguire le indicazioni del Diagramma 1: si deve procedere all'inserimento del tipo di prodotto Celenit e del suo spessore sino a che il ponte termico non risulti corretto. Nelle soluzioni proposte nelle pagine successive, sono stati evidenziati spessori e materiali adatti alla correzione del ponte termico in oggetto in relazione alla località dell'edificio oggetto di indagine, alla geometria della struttura e alle caratteristiche termiche dei materiali.

DIAGRAMMA 1. Verifiche di condensa- zione per il ponte termico



ESEMPIO DI VALUTAZIONE DELLA CONDENSAZIONE

La Figura 1 mostra il ponte termico che si sviluppa nel nodo parete-solaio.

Le condizioni al contorno ipotizzate simulano una giornata invernale.

Il ponte termico tra solaio e parete è evidente poichè la temperatura nello spigolo dell'ambiente interno è compresa tra 7 e $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ e provoca un elevato rischio di formazione di condensa- zione superficiale.

Per correggere il ponte termico ed evitare il rischio di forma- zione di condensa è necessario inserire uno strato di pannelli Celenit in corrispondenza del ponte termico.

L'intera struttura in cemento armato in seguito all'intervento ha una temperatura che poco si discosta da quella dell'aria: temperatura nello spigolo pari a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 2). Evitare i ponti termici o correggerli è quindi un'operazione semplice ma indispensabile se si vuole evitare la formazione di muffa e condensa.

Le considerazioni svolte in questo esempio sono relative al caso di edilizia residenziale; il progettista è tenuto a valutare, in funzione della destinazione d'uso e della località, se le strutture sono soggette o meno ai fenomeni di condensa.

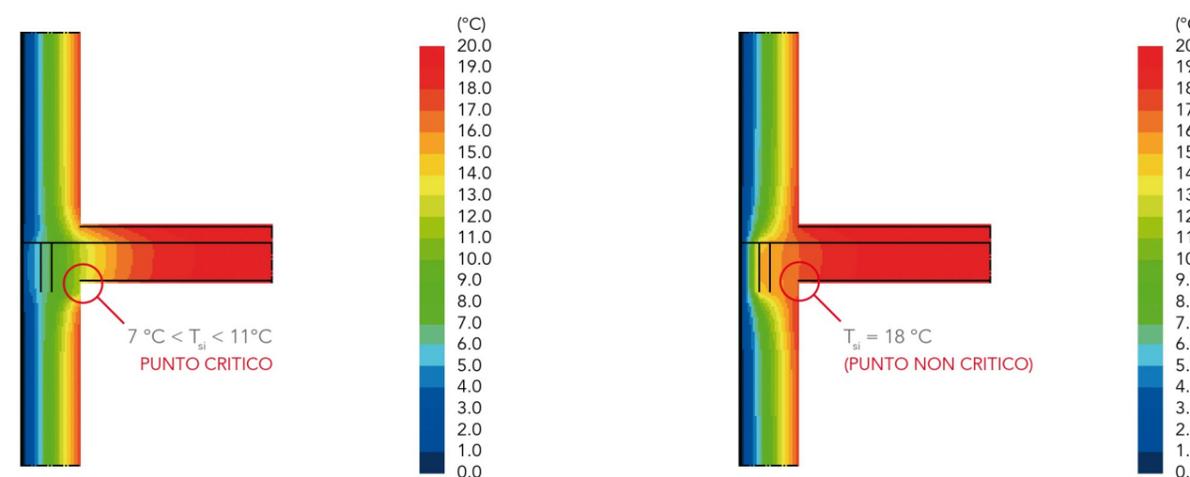
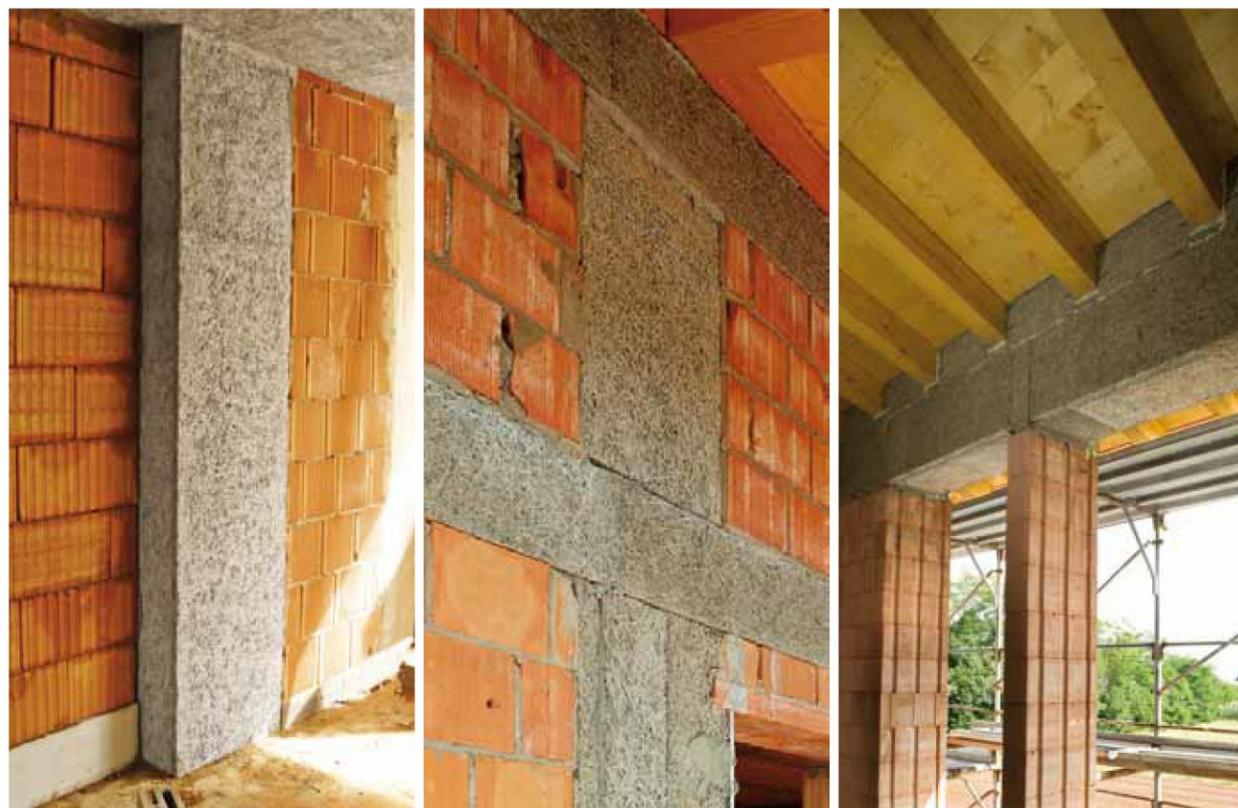


Fig. 1: Ponte termico privo di correzione

Fig. 2: Ponte termico corretto con pannelli Celenit

VERIFICA ENERGETICA

Il DLgs 192/05, il DLgs 311/06 e il DPR 59/09 impongono che gli edifici abbiano elevate prestazioni di isolamento globali dell'involucro ed un impianto di riscaldamento efficiente.

Il Diagramma 2 riassume le possibilità offerte al progettista per l'isolamento dell'involucro, in rispetto delle prescrizioni per gli edifici di nuova costruzione e per gli esistenti oggetto di ristrutturazione integrale o parziale. In generale, sia che si esegua un calcolo complessivo di fabbisogno energetico per il riscaldamento (e raffrescamento), sia che si realizzi un calcolo di verifica delle trasmittanze dei componenti, è necessario confrontarsi con il parametro denominato

"coefficiente lineico" che descrive l'aumento della dispersione energetica dovuto al ponte termico.

Nel calcolo del fabbisogno energetico per il rispetto dei limiti di EP_i , la valutazione analitica dei ponti termici è obbligatoria e deve essere sviluppata attraverso l'impiego dei coefficienti lineici in accordo con la normativa di riferimento UNI TS 11300-1.

Invece le verifiche di trasmittanza termica con metodo semplificato si effettuano sul valore medio delle pareti e/o delle coperture comprensive della dispersione aggiuntiva dovuta ai ponti termici, valutabile con i coefficienti lineici piuttosto che ricorrendo al metodo della parete fittizia.

IL COEFFICIENTE LINEICO Ψ

Il calcolo agli elementi finiti alla base delle indicazioni del manuale permette la valutazione dei coefficienti lineici Ψ in funzione della tipologia di ponte termico, delle dimensioni geometriche esterne e delle caratteristiche termiche dei materiali impiegati. Il calcolo è eseguito in accordo con le norme UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211.

Il coefficiente lineico è il parametro espresso in W/mK che permette di valutare le maggiori dispersioni dovute alla presenza di un ponte termico. Il prodotto tra il coefficiente lineico e la lunghezza (o profondità) del ponte termico restituisce i valori di coefficienti dispersivi

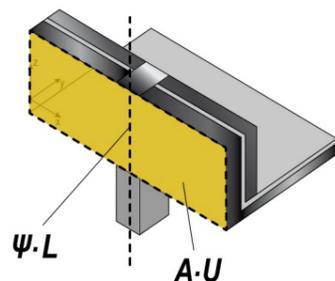
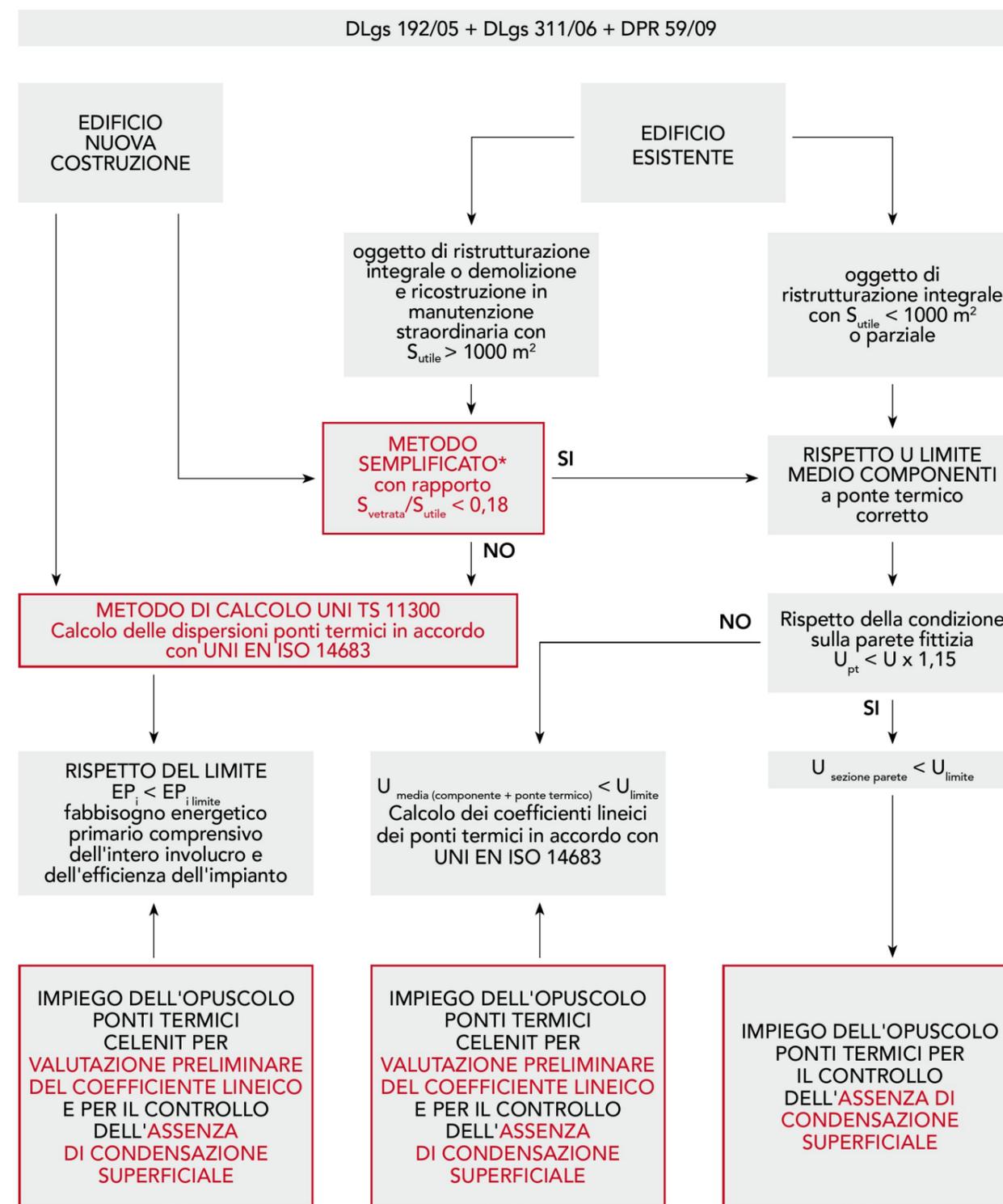


Fig.3 : Il coefficiente lineico Ψ spiega come varia la dispersione rispetto al semplice prodotto tra area A della struttura e trasmittanza termica U : $H=(U \cdot A)+(\Psi \cdot L)$

H [W/K] da sommare alle dispersioni delle pareti, delle coperture e dei serramenti per la valutazione delle dispersioni energetiche. Per meglio comprendere il significato del coefficiente lineico si faccia riferimento all'immagine (Fig. 3).

Modellando la dispersione energetica della parete comprensiva del ponte termico di un pilastro come prodotto di trasmittanza U per l'area A della parete, è necessario aggiungere la presenza del ponte termico attraverso il coefficiente lineico Ψ moltiplicato per la lunghezza L del ponte termico. La somma dei due coefficienti dispersivi descrive in maniera raffinata il comportamento della parete nel suo complesso. Nell'opuscolo sono indicati per le varie tipologie di ponte termico i diversi coefficienti lineici. Tali dati mostrano che, dopo aver assicurato l'assenza di condensa, è possibile progettare la correzione del ponte termico anche con lo scopo di ridurre i consumi dell'edificio: minori valori del coefficiente lineico significano minore dispersione dovuta al ponte termico. I valori presenti sono puramente indicativi poiché legati a tutte le condizioni imposte su geometria e materiali impiegati per il calcolo.

DIAGRAMMA 2. Verifiche energetiche per il ponte termico



* Nel caso di utilizzo del METODO SEMPLIFICATO (art. 4, comma 8-DPR 59/09) con rapporto tra superficie trasparente complessiva dell'edificio e superficie utile inferiore a 0,18 si attribuisce all'edificio un valore $EP_i = EP_{i\limite}$. Tale valore fa sì che ai fini della certificazione energetica l'edificio ricada indicativamente entro classe C.

Per sviluppare dunque le verifiche sulle trasmittanze U_{limite} [W/m^2K] vi sono due possibilità:

1. Il ponte termico è definibile corretto (secondo le indicazioni del DLgs 311), ovvero la trasmittanza della parete fittizia è inferiore alla trasmittanza della sezione moltiplicata per 1,15: $U_{pt} < U \times 1,15$
2. Il ponte termico non è definibile corretto e quindi è necessario controllare che la trasmittanza media delle strutture oggetto di indagine sia minore di quella limite: $U_{media} < U_{limite}$

SOLUZIONI CELENIT

Nelle pagine successive vengono indicate le soluzioni dei ponti termici più frequenti che prevedono l'utilizzo di pannelli Celenit di vario tipo e spessore. Per bilanciare le proprietà isolanti della muratura e delle parti in calcestruzzo, i pannelli Celenit vengono utilizzati all'interno del cassero di contenimento del getto, oppure vengono applicati successivamente.

I calcoli e le valutazioni sulla temperatura superficiale interna e dei coefficienti lineici in corrispondenza dei ponti termici sono stati eseguiti per mezzo del programma ad elementi finiti CelPT*, considerando le condizioni di umidità relativa interna del DPR 59/09 (65%) e con le seguenti condizioni di temperatura dell'aria:

Temperatura aria interna T	20°C
Temperatura aria esterna T	-5°C, 0 °C, 5°C
Temperatura del locale non riscaldato	0°C, 5°C, 10°C

ZONE CLIMATICHE

Le differenti temperature dell'aria esterne sono state ipotizzate in riferimento alla suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche presente nel DPR 412/93.

- Zona A - B
- Zona C
- Zona D
- Zona E - F

- Zona A, B, C: temperatura di riferimento aria esterna 5°C;
 - Zona D: temperatura di riferimento aria esterna 5 °C o 0 °C a seconda della temperatura media mensile del mese più freddo;
 - Zona E, F: temperatura di riferimento aria esterna 0 °C;
 - Zona F con gradi giorno >4000: temperatura di riferimento aria esterna -5 °C.
- La temperatura di riferimento di -5 °C è dunque riferibile solo a località con inverni particolarmente rigidi e ad elevate altitudini.



*Il CelPT è un software che valuta i ponti termici per mezzo di calcoli agli elementi finiti in accordo con le indicazioni della norma UNI EN ISO 14683 e della norma UNI EN ISO 10211.

CASI ANALIZZATI

Il manuale si configura innanzitutto come utile strumento di consultazione per la risoluzione dei problemi di rischio di condensazione superficiale ed anche come strumento di consultazione per una valutazione energetica del ponte termico. In quest'ultimo caso il progettista ha a disposizione dei valori orientativi che possono aiutarlo in fase di verifica preliminare. Tutte le valutazioni sui ponti termici che sono parte dei contenuti della relazione Ex Legge 10 rimangono di competenza e cura del progettista che deve realizzarli e rendicontarli in accordo con la norma UNI EN ISO 13788.

In ogni tipologia di ponte termico è possibile definire il valore della temperatura superficiale interna nel punto più critico, corretto con i materiali Celenit in vari spessori, evidenziando le temperature superficiali che si sviluppano. Per quanto riguarda le dispersioni energetiche, ogni tipologia di correzione ha un corrispondente valore di coefficiente lineico Ψ riferito alle dimensioni esterne del ponte termico. I risultati dei calcoli sono sintetizzati in tabelle, dove vengono riportati i valori delle temperature superficiali e di coefficiente lineico in corrispondenza del ponte termico.

I dati sono suddivisi per tipologia e spessore di prodotto utilizzato per la correzione, la quale può essere: CO (correzione ordinaria), CA (correzione accurata), CMA (correzione molto accurata).

Nelle tabelle, i colori indicano:

- rischio di condensazione superficiale
- correzione che permette di raggiungere le temperature superficiali minime per evitare la formazione di condensa superficiale secondo i limiti di legge (DPR 59/09).

Il servizio di assistenza tecnica è a disposizione per eventuali chiarimenti o verifiche energetiche e igrometriche del ponte termico.

NORMATIVE

	Norma	Titolo
PONTI TERMICI	UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica Metodi semplificati e valori di riferimento
	UNI EN ISO 10211	Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali Calcoli dettagliati
VERIFICHE DI CONDENZA	UNI EN ISO 13788	Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo
VERIFICHE ENERGETICHE	UNI TS 11300-1	Prestazione energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
VERIFICHE ENERGETICHE	UNI 10355	Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo
	UNI 10351	Materiale da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore
	UNI 10349	Riscaldamento e raffreddamento degli edifici. Dati climatici
	UNI EN ISO 10456	Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto

1. Pilastro in parete

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del pilastro inserito nella parete. La temperatura superficiale interna indicata nella tabella è relativa al punto più critico situato in corrispondenza della superficie interna del pilastro.

La stratigrafia della parete è in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E.

La correzione accurata (CA) e molto accurata (CMA), da effettuarsi in zone climatiche con clima particolarmente rigido, restituiscono valori di temperatura simili e pertanto la scelta del tipo di correzione è esclusivamente dettata da motivi tecnologici e di facilità di posa in opera.

La correzione molto accurata (CMA) inoltre elimina il ponte acustico del nodo parete - pilastro.



Fig. 4
Ponte termico pilastro in parete
Correzione ordinaria (CO)



Fig. 5
Ponte termico pilastro in parete
Correzione accurata (CA)



Fig. 6
Ponte termico pilastro in parete
Correzione molto accurata (CMA)

1. Pilastro in parete

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico Ψ [W/mK]
1	CO	Celenit N	20	13,5	14,8	16,1	0,66
1	CO	Celenit N	25	13,8	15,1	16,3	0,62
1	CA	Celenit N	25	15,0	16,0	16,8	0,48
1	CMA	Celenit N	25	14,5	15,6	16,7	0,46
1	CO	Celenit N	30	14,1	15,3	16,5	0,58
1	CO	Celenit N	40	14,5	15,6	16,7	0,53
1	CA	Celenit N	40	16,0	16,8	17,6	0,34
1	CO	Celenit N	50	14,9	15,9	16,9	0,48
1	CA	Celenit N	50	16,5	17,2	17,9	0,28
1	CO	Celenit N	75	15,7	16,6	17,4	0,38
1	CA	Celenit N	75	17,3	17,8	18,4	0,17
1	CO	Celenit P3	25	14,0	15,2	16,4	0,60
1	CO	Celenit P3	35	14,6	15,7	16,7	0,52
1	CA	Celenit P3	35	16,2	17,0	17,7	0,31
1	CO	Celenit P3	50	15,2	16,2	17,1	0,44
1	CA	Celenit P3	50	17,1	17,2	18,3	0,19
1	CO	Celenit P3	75	16,0	16,8	17,6	0,34
1	CO	Celenit P3	100	16,7	17,4	18,0	0,25
1	CO	Celenit E3	35	14,7	15,7	16,8	0,51
1	CA	Celenit E3	35	16,5	17,2	17,9	0,28
1	CO	Celenit E3	50	15,3	16,2	17,2	0,43
1	CO	Celenit E3	75	16,0	16,8	17,6	0,33
1	CO	Celenit E3	100	16,7	17,4	18,0	0,25
1	CO	Celenit G3	25	14,1	15,3	16,5	0,58
1	CO	Celenit G3	35	14,7	15,8	16,8	0,50
1	CA	Celenit G3	35	16,6	17,3	18,0	0,26
1	CO	Celenit G3	50	15,3	16,3	17,2	0,42
1	CO	Celenit G3	75	16,1	16,9	17,7	0,32
1	CO	Celenit G3	100	16,8	17,4	18,1	0,24

■ rischio di condensazione superficiale
■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

Nelle diverse zone climatiche per evitare il rischio di formazione di condensazione superficiale è necessario impiegare con una correzione ordinaria almeno 20 mm di Celenit.

Per un'ottimale correzione del ponte termico è importante valutare lo spessore del materiale isolante ma soprattutto la tipologia di intervento. Ad esempio a livello di dispersione energetica la correzione molto accurata con sp. 25 mm presenta valori migliori rispetto ad una correzione ordinaria con sp. 50 mm.

2. Pilastro in angolo

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del pilastro inserito in angolo tra due pareti.

La stratigrafia della parete è in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E.

Se il pilastro ha una dimensione maggiore o rientra verso l'interno il valore di temperatura potrebbe diminuire,

pertanto il caso considerato non è da ritenersi cautelativo. Il punto critico del pilastro è l'angolo.

La correzione accurata (CA) prevede che lo strato di isolamento sia continuo rispetto a quello di parete.

La correzione molto accurata (CMA) comporta isolare tutto il pilastro.

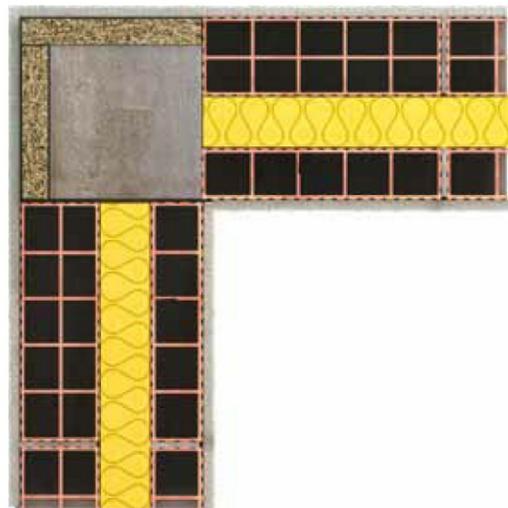


Fig. 7
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione ordinaria (CO)

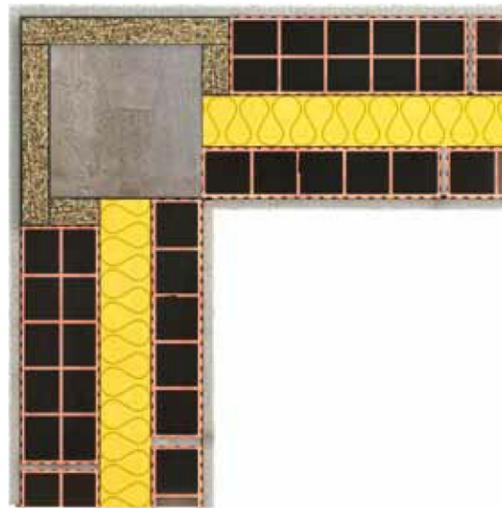


Fig. 8
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione accurata (CA)

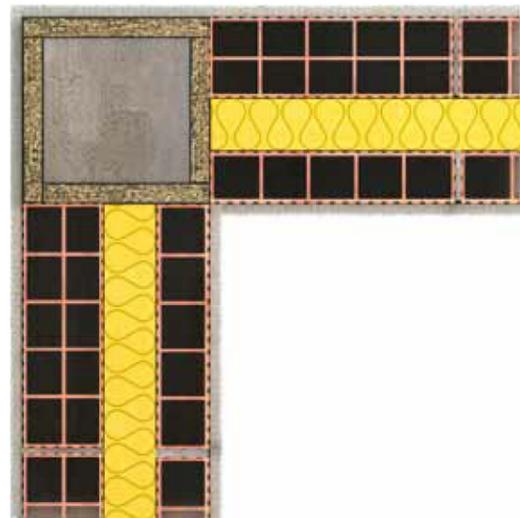


Fig. 9
Ponte termico di pilastro in angolo
Correzione molto accurata (CMA)

2. Pilastro in angolo

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico Ψ [W/mK]
2	CO	Celenit N	20	7,7	10,2	12,6	0,22
2	CO	Celenit N	25	8,0	10,4	12,8	0,21
2	CO	Celenit N	30	8,3	10,6	13,0	0,20
2	CO	Celenit N	35	8,6	10,9	13,1	0,19
2	CO	Celenit N	40	8,8	11,1	13,3	0,18
2	CO	Celenit N	50	9,3	11,4	13,6	0,16
2	CA	Celenit N	50	10,9	12,8	14,6	0,10
2	CMA	Celenit N	50	17,2	17,8	18,3	-0,09
2	CO	Celenit N	75	10,4	12,3	14,2	0,11
2	CA	Celenit N	75	12,5	14,0	15,5	0,03
2	CMA	Celenit N	75	17,7	18,2	18,6	-0,12
2	CO	Celenit P3	25	8,2	10,6	12,9	0,20
2	CO	Celenit P3	35	8,9	11,1	13,3	0,17
2	CO	Celenit P3	50	9,8	11,8	13,9	0,14
2	CA	Celenit P3	50	12,1	13,7	15,3	0,05
2	CMA	Celenit P3	50	17,7	18,1	18,6	-0,12
2	CO	Celenit P3	75	10,9	12,7	14,5	0,09
2	CA	Celenit P3	75	13,9	15,1	16,3	-0,02
2	CO	Celenit P3	100	12,0	13,6	15,2	0,05
2	CO	Celenit E3	35	9,0	11,2	13,4	0,17
2	CO	Celenit E3	50	9,9	11,9	13,9	0,13
2	CA	Celenit E3	50	12,5	14,0	15,5	0,04
2	CMA	Celenit E3	50	17,8	18,2	18,7	-0,12
2	CO	Celenit E3	75	11,0	12,8	14,6	0,09
2	CA	Celenit E3	75	14,1	15,3	16,7	-0,03
2	CO	Celenit E3	100	12,0	13,6	15,2	0,05
2	CO	Celenit G3	25	8,3	10,7	13,0	0,20
2	CO	Celenit G3	35	9,1	11,3	13,5	0,16
2	CO	Celenit G3	50	10,0	12,0	14,0	0,13
2	CA	Celenit G3	50	12,7	14,2	15,6	0,03
2	CMA	Celenit G3	50	17,9	18,3	18,7	-0,13
2	CO	Celenit G3	75	11,1	12,9	14,7	0,08
2	CA	Celenit G3	75	14,5	15,6	16,7	-0,04
2	CO	Celenit G3	100	12,2	13,8	15,3	0,04

■ rischio di condensazione superficiale
 ■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5 \text{ }^\circ\text{C}$) è necessaria la correzione molto accurata del ponte termico (Fig. 9) con uno spessore minimo di 50 mm di pannelli Celenit. In zone climatiche mediamente fredde ($T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$), si deve correggere accuratamente il ponte termico con almeno uno spessore di 75 mm di prodotti Celenit N.

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il nodo tra il solaio e la parete. Il punto critico considerato nella sezione è tendenzialmente l'attacco inferiore del solaio con la parete e la sua criticità o meno dipende dalla stratigrafia

della parete stessa. Tale stratigrafia della parete è in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E.

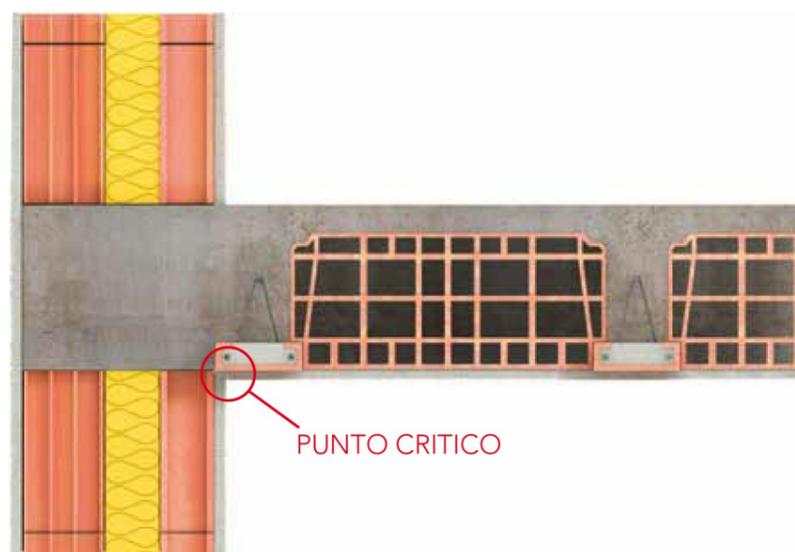


Fig. 10
Ponte termico solaio a parete
Non corretto

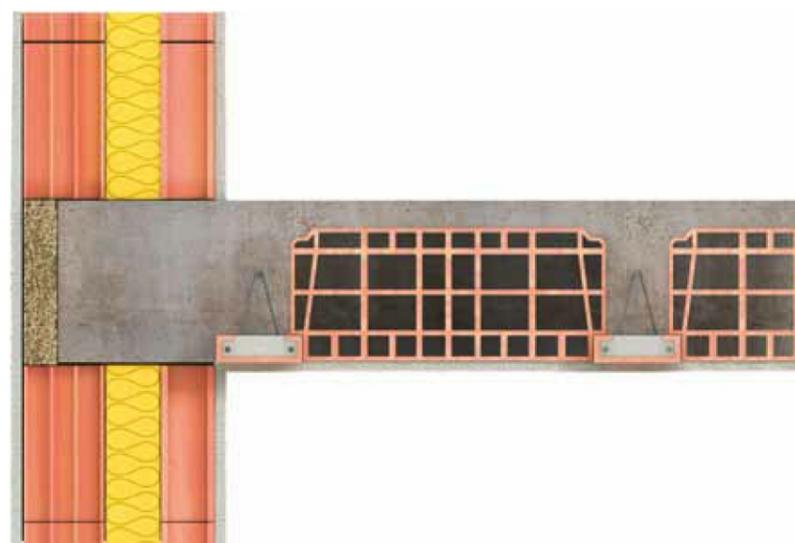


Fig. 11
Ponte termico solaio a parete
Correzione ordinaria (CO)

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
3	CO	Celenit N	20	14,9	15,9	0,72
3	CO	Celenit N	25	15,1	16,1	0,68
3	CO	Celenit N	30	15,4	16,3	0,64
3	CO	Celenit N	35	15,5	16,4	0,60
3	CO	Celenit N	40	15,7	16,6	0,57
3	CO	Celenit N	50	16,0	16,8	0,52
3	CO	Celenit N	75	16,7	17,3	0,41
3	CO	Celenit P3	25	15,3	16,2	0,66
3	CO	Celenit P3	35	15,7	16,6	0,57
3	CO	Celenit P3	50	16,3	17,0	0,48
3	CO	Celenit P3	75	16,9	17,5	0,36
3	CO	Celenit P3	100	17,5	18,0	0,27
3	CO	Celenit E3	35	15,8	16,7	0,55
3	CO	Celenit E3	50	16,3	17,1	0,46
3	CO	Celenit E3	75	16,9	17,6	0,36
3	CO	Celenit E3	100	17,7	18,0	0,26
3	CO	Celenit G3	25	15,4	16,3	0,64
3	CO	Celenit G3	35	15,9	16,7	0,55
3	CO	Celenit G3	50	16,4	17,1	0,46
3	CO	Celenit G3	75	17,0	17,6	0,35
3	CO	Celenit G3	100	17,6	18,0	0,25

■ rischio di condensazione superficiale
■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

La correzione del ponte termico con uno spessore di almeno 20 mm di Celenit N assicura un ridotto rischio di condensazione superficiale nelle varie località. La riduzione significativa delle dispersioni energetiche si ottiene correggendo il ponte termico con almeno 50 mm di Celenit N, oppure utilizzando i pannelli Celenit P3, E3 e G3.

4. Solaio a sbalzo - piano pilotis

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso dei solai a sbalzo (elementi aggettanti). La stratigrafia della parete è in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E. Per la correzione accurata del ponte termico è possibile allungare il percorso della dispersione di almeno 30 cm (CA-1) o rendere lo strato d'isolamento continuo, inserendo alla base della parete un pannello di Celenit N da 20 mm (CA-2).

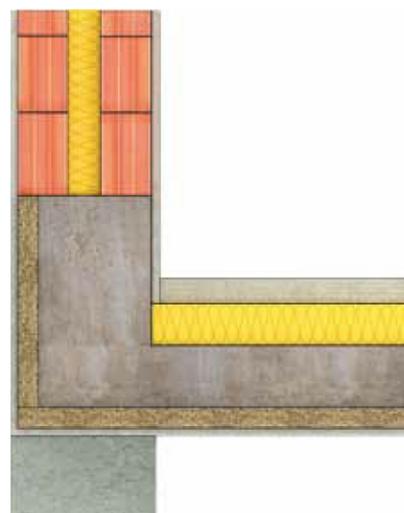


Fig. 12
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione ordinaria (CO)

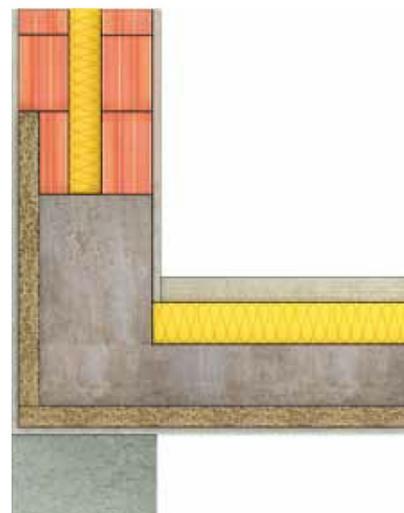


Fig. 13
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione accurata (CA-1)

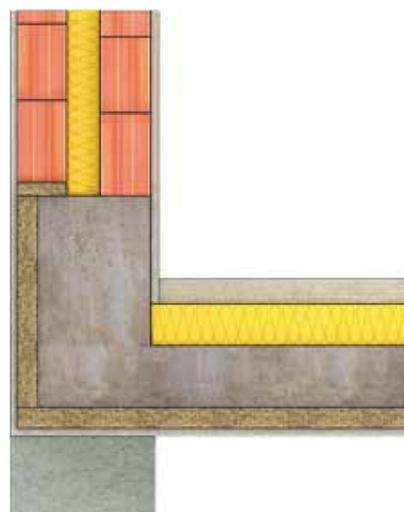


Fig. 14
Ponte termico solaio a sbalzo
Correzione molto accurata (CA-2)

4. Solaio a sbalzo - piano pilotis

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico Ψ [W/mK]
4	CO	Celenit N	20	9,8	11,8	13,9	0,54
4	CO	Celenit N	25	10,2	12,1	14,1	0,51
4	CO	Celenit N	30	10,5	12,4	14,3	0,48
4	CO	Celenit N	35	10,8	12,6	14,5	0,45
4	CO	Celenit N	40	11,0	12,8	14,6	0,43
4	CO	Celenit N	50	11,4	13,1	14,8	0,39
4	CA-1	Celenit N	50	11,8	13,5	15,1	0,34
4	CA-2	Celenit N	50	11,9	13,5	15,2	0,32
4	CO	Celenit N	75	12,3	13,7	15,3	0,32
4	CA-1	Celenit N	75	12,6	14,0	15,5	0,27
4	CA-2	Celenit N	75	12,7	14,2	15,6	0,24
4	CO	Celenit P3	25	10,4	12,3	14,2	0,49
4	CO	Celenit P3	35	11,1	12,9	14,7	0,42
4	CO	Celenit P3	50	11,9	13,5	15,1	0,35
4	CO	Celenit P3	75	12,6	14,1	15,6	0,28
4	CA-1	Celenit P3	75	13,1	14,5	15,8	0,22
4	CA-2	Celenit P3	75	13,3	14,7	16,0	0,18
4	CO	Celenit P3	100	13,2	14,5	15,9	0,22
4	CA-1	Celenit P3	100	13,6	14,9	16,1	0,17
4	CA-2	Celenit P3	100	13,9	15,1	16,3	0,12
4	CO	Celenit E3	35	11,3	13,0	14,8	0,40
4	CO	Celenit E3	50	12,0	13,6	15,2	0,33
4	CO	Celenit E3	75	12,7	14,1	15,6	0,27
4	CA-1	Celenit E3	75	13,2	14,5	15,9	0,22
4	CA-2	Celenit E3	75	13,5	14,8	16,1	0,16
4	CO	Celenit E3	100	13,2	14,6	15,9	0,22
4	CA-1	Celenit E3	100	13,6	14,9	16,2	0,17
4	CA-2	Celenit E3	100	13,9	15,1	16,3	0,12
4	CO	Celenit G3	25	10,6	12,5	14,3	0,47
4	CO	Celenit G3	35	11,4	13,1	14,8	0,39
4	CO	Celenit G3	50	12,1	13,7	15,2	0,33
4	CO	Celenit G3	75	12,8	14,2	15,7	0,26
4	CA-1	Celenit G3	75	13,3	14,6	16,0	0,21
4	CA-2	Celenit G3	75	13,6	14,9	16,2	0,15
4	CO	Celenit G3	100	13,3	14,7	16,0	0,20
4	CA-1	Celenit G3	100	13,8	15,0	16,3	0,16
4	CA-2	Celenit G3	100	14,1	15,3	16,4	0,10

■ rischio di condensazione superficiale
 ■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche con condizioni invernali particolarmente rigide ($T = -5 \text{ °C}$) è necessario impiegare spessori di almeno 75 mm di prodotti Celenit P3, E3 o G3 con una correzione accurata del ponte termico. Nelle zone climatiche mediamente fredde ($T = 0 \text{ °C}$) è possibile utilizzare il Celenit N di spessore 75 mm oppure gli altri prodotti Celenit P3, E3 e G3 di spessore 50 mm. In zone climatiche con $T = 5 \text{ °C}$ è sufficiente l'impiego di Celenit N, spessore 20 mm.

5. Parete controterra

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso della parete controterra.

La stratigrafia della parete e del solaio sono in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E. Il punto critico del ponte termico che caratterizza la parete controterra è legato alla dispersione attraverso il terreno. Nei casi in cui non risulti sufficiente la correzione ordinaria, CO (Fig. 15),

realizzata con isolamento all'esterno della parete, è opportuno correggere accuratamente.

La correzione accurata, CA-1 (Fig. 16), viene realizzata inserendo alla base della parete un pannello Celenit N da 20 mm mentre la correzione accurata, CA-2 (Fig. 17), con Celenit N da 25 mm posto all'interno e in continuità con il materiale isolante impiegato nella soletta a contatto con il terreno.

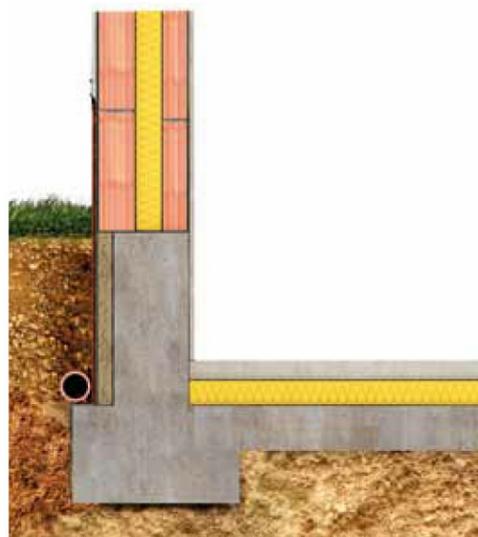


Fig. 15
Ponte termico parete controterra
Correzione ordinaria (CO)

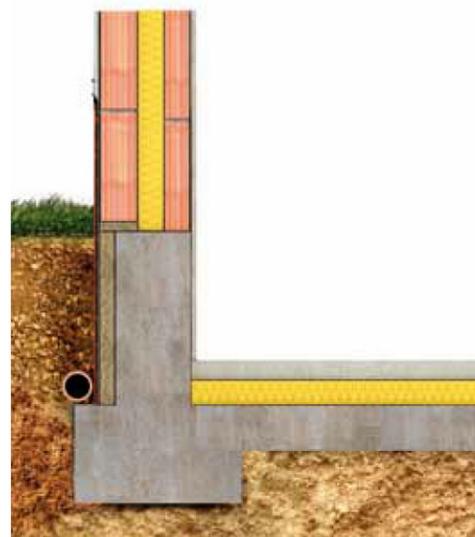


Fig. 16
Ponte termico parete controterra
Correzione accurata (CA-1)

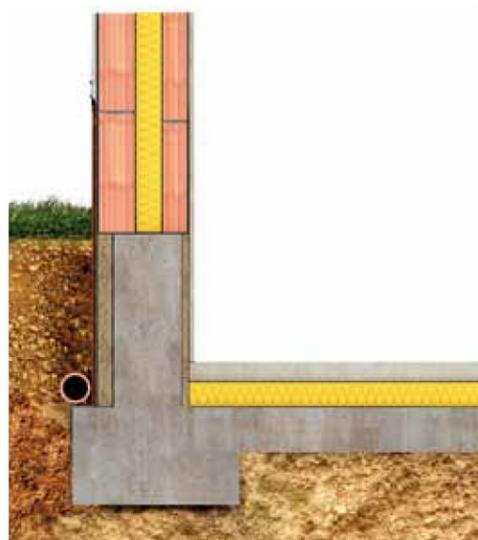


Fig. 17
Ponte termico parete controterra
Correzione accurata (CA-2)

5. Parete controterra

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico Ψ [W/mK]
5	CO	Celenit N	20	11,3	13,0	14,8	1,30
5	CO	Celenit N	25	11,5	13,2	14,9	1,26
5	CO	Celenit N	30	11,7	13,4	15,0	1,23
5	CO	Celenit N	35	11,9	13,5	15,1	1,20
5	CO	Celenit N	40	12,0	13,6	15,2	1,17
5	CO	Celenit N	50	12,3	13,8	15,4	1,13
5	CO	Celenit N	75	12,8	14,3	15,7	1,04
5	CA-1	Celenit N	75	13,1	14,5	15,9	0,98
5	CA-2	Celenit N	75	13,4	14,8	16,3	0,69
5	CO	Celenit P3	25	11,6	13,3	15,0	1,24
5	CO	Celenit P3	35	12,1	13,7	15,3	1,16
5	CO	Celenit P3	50	12,6	14,1	15,6	1,08
5	CO	Celenit P3	75	13,2	14,5	15,9	0,98
5	CA	Celenit P3	75	13,4	14,7	16,1	0,92
5	CO	Celenit P3	100	13,6	14,9	16,1	0,91
5	CA-1	Celenit P3	100	13,8	15,0	16,3	0,85
5	CA-2	Celenit P3	100	14,2	15,4	16,7	0,60
5	CO	Celenit E3	35	12,2	13,8	15,3	1,14
5	CO	Celenit E3	50	12,7	14,2	15,6	1,06
5	CO	Celenit E3	75	13,2	14,6	15,9	0,97
5	CA	Celenit E3	75	13,5	14,8	16,1	0,91
5	CO	Celenit E3	100	13,6	14,9	16,1	0,91
5	CA-1	Celenit E3	100	13,8	15,0	16,3	0,85
5	CA-2	Celenit E3	100	14,2	15,4	16,7	0,60
5	CO	Celenit G3	25	11,7	13,4	15,0	1,22
5	CO	Celenit G3	35	12,3	13,8	15,4	1,13
5	CO	Celenit G3	50	12,8	14,2	15,7	1,05
5	CO	Celenit G3	75	13,3	14,6	16,0	0,96
5	CA	Celenit G3	75	13,6	14,9	16,1	0,90
5	CO	Celenit G3	100	13,7	14,9	16,2	0,89
5	CA-1	Celenit G3	100	13,9	15,1	16,3	0,83
5	CA-2	Celenit G3	100	14,3	15,5	16,8	0,59

■ rischio di condensazione superficiale
 ■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5 \text{ }^\circ\text{C}$) per evitare rischi di condensazione superficiale è sufficiente correggere il ponte termico con almeno uno spessore di 75 mm di Celenit P3, E3, G3. Per le zone climatiche con $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ sono sufficienti 25 mm di Celenit N per evitare il rischio di condensazione superficiale ma, ai fini della riduzione delle dispersioni termiche, è opportuno orientarsi verso soluzioni con coefficiente lineico inferiore.

6. Parete controterra su locale non riscaldato

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del nodo tra parete controterra e solaio su locale non riscaldato. La stratigrafia della parete e del solaio sono in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E. Il controsoffitto del solaio è realizzato con Celenit AB sp. 25 mm a vista e Celenit FL/45 sp. 40 mm inserito in intercapedine.

Nel punto critico vi sono valori di temperature superficiale ridotti che comportano rischi di condensa. È necessario effettuare la correzione del ponte termico inserendo del materiale isolante Celenit come cassero a perdere tra il terreno e la struttura portante (Fig.18). Per correggere il ponte termico accuratamente è necessario posizionare Celenit N da 20 mm sotto la parete per dare continuità allo strato isolante (Fig. 19).



Fig. 17 Ponte termico parete controterra su locale non riscaldato. Non corretto



Fig. 18 Ponte termico parete controterra su locale non riscaldato. Correzione ordinaria (CO)



Fig. 19 Ponte termico parete controterra su locale non riscaldato. Correzione accurata (CA)

6. Parete controterra su locale non riscaldato

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
6	CO	Celenit N	20	12,6	14,2	15,8	0,45
6	CO	Celenit N	25	12,8	14,3	15,9	0,44
6	CO	Celenit N	30	12,9	14,5	16,0	0,43
6	CO	Celenit N	35	13,1	14,6	16,1	0,43
6	CO	Celenit N	40	13,2	14,7	16,2	0,42
6	CO	Celenit N	50	13,4	14,9	16,4	0,41
6	CO	Celenit N	75	13,8	15,2	16,6	0,40
6	CA	Celenit N	75	14,1	15,4	16,8	0,38
6	CO	Celenit P3	25	12,9	14,4	16,0	0,44
6	CO	Celenit P3	35	13,2	14,7	16,3	0,42
6	CO	Celenit P3	50	13,6	15,0	16,5	0,42
6	CO	Celenit P3	75	14,0	15,4	16,8	0,42
6	CO	Celenit P3	100	14,3	15,7	17,0	0,41
6	CO	Celenit E3	35	13,3	14,8	16,3	0,42
6	CO	Celenit E3	50	13,7	15,1	16,5	0,42
6	CO	Celenit E3	75	14,0	15,4	16,8	0,42
6	CO	Celenit E3	100	14,4	15,7	17,0	0,41
6	CO	Celenit G3	25	13,0	14,5	16,1	0,43
6	CO	Celenit G3	35	13,4	14,8	16,3	0,43
6	CO	Celenit G3	50	13,7	15,1	16,6	0,43
6	CO	Celenit G3	75	14,1	15,5	16,8	0,43
6	CO	Celenit G3	100	14,4	15,7	17,0	0,43

■ rischio di condensazione superficiale
 ■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5 \text{ }^\circ\text{C}$) per evitare il rischio di condensazione superficiale è necessario impiegare spessori di 40 mm di Celenit N, mentre per zone climatiche mediamente fredde ($T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) è necessario intervenire con almeno 20 mm di Celenit N.

7. Copertura piana

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del nodo tra parete e una copertura piana in calcestruzzo armato isolata all'estradosso con un pannello Celenit G3 da 100 mm. La stratigrafia della parete e del solaio sono in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59

per la zona climatica E. L'intervento di correzione riguarda la parte della struttura interessata dal maggior flusso termico dispersivo, può fermarsi contro il cordolo ma è più efficace se effettuata come in Figura 21.

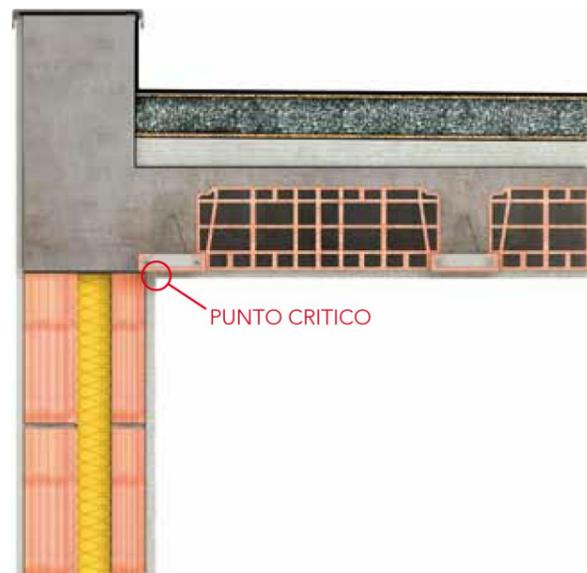


Fig. 20
Ponte termico della copertura piana
Non corretto

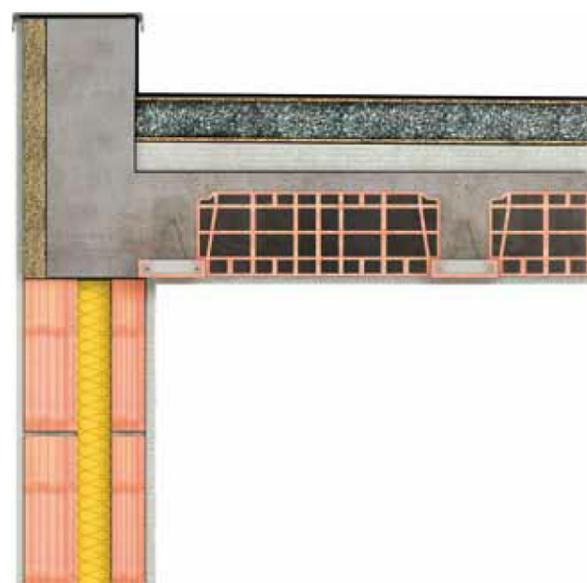


Fig. 21
Ponte termico della copertura piana
Correzione ordinaria (CO)

7. Copertura piana

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
7	CO	Celenit N	20	12,3	13,8	15,4	0,72
7	CO	Celenit N	25	12,5	14,0	15,5	0,69
7	CO	Celenit N	30	12,6	14,1	15,6	0,67
7	CO	Celenit N	35	12,7	14,2	15,7	0,66
7	CO	Celenit N	40	12,9	14,3	15,7	0,66
7	CO	Celenit N	50	13,1	14,5	15,9	0,62
7	CO	Celenit N	75	13,5	14,8	16,1	0,49
7	CO	Celenit P3	25	12,6	14,0	15,5	0,68
7	CO	Celenit P3	35	12,9	14,3	15,8	0,64
7	CO	Celenit P3	50	13,3	14,6	16,0	0,59
7	CO	Celenit P3	75	13,7	15,0	16,2	0,47
7	CO	Celenit P3	100	14,1	15,3	16,4	0,50
7	CO	Celenit E3	35	13,0	14,4	15,8	0,63
7	CO	Celenit E3	50	13,4	14,7	16,0	0,58
7	CO	Celenit E3	75	13,7	15,0	16,2	0,46
7	CO	Celenit E3	100	14,1	15,3	16,4	0,50
7	CO	Celenit G3	25	12,6	14,1	15,6	0,67
7	CO	Celenit G3	35	13,0	14,4	15,8	0,62
7	CO	Celenit G3	50	13,4	14,7	16,0	0,58
7	CO	Celenit G3	75	13,8	15,0	16,3	0,46
7	CO	Celenit G3	100	14,1	15,3	16,5	0,49

■ rischio di condensazione superficiale
■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5 \text{ }^\circ\text{C}$) per evitare il rischio di condensazione superficiale è necessario impiegare spessori di 75 mm di Celenit N, oppure 50 mm di Celenit P3, E3, G3 mentre per zone climatiche mediamente fredde ($T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$) è necessario intervenire con almeno 20 mm di Celenit N.

8. Copertura inclinata - finto trave

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del nodo tra parete e attacco di una copertura a falda in legno isolato con Celenit CG/F a vista, sp. 62,5 mm, strato superiore con Celenit FL/150, sp. 100 mm e Celenit N sp. 20 mm.

Le stratigrafie della parete e del solaio sono in accordo

con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E.

Per una correzione accurata (CA) del ponte termico è necessario inserire come cassero a perdere, sul lato interno del cordolo in calcestruzzo, un ulteriore strato di Celenit N spessore 25 mm.



Fig. 22
Ponte termico della copertura inclinata
Correzione ordinaria (CO)



Fig. 23
Ponte termico della copertura inclinata
Correzione ordinaria (CA)

8. Copertura inclinata - finto trave

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
8	CO	Celenit N	20	12,0	13,6	15,2	0,88
8	CO	Celenit N	25	12,4	13,9	15,4	0,83
8	CA	Celenit N	25	14,4	15,6	16,7	0,47
8	CO	Celenit N	30	12,6	14,1	15,6	0,79
8	CO	Celenit N	35	12,9	14,3	15,7	0,75
8	CO	Celenit N	40	13,1	14,5	15,9	0,71
8	CA	Celenit N	40	14,9	15,9	16,9	0,42
8	CO	Celenit N	50	13,4	14,8	16,1	0,66
8	CO	Celenit N	75	14,1	15,3	16,5	0,55
8	CO	Celenit P3	25	12,6	14,1	15,5	0,80
8	CA	Celenit P3	25	14,6	15,6	16,7	0,46
8	CO	Celenit P3	35	13,2	14,6	15,9	0,70
8	CO	Celenit P3	50	13,9	15,1	16,3	0,60
8	CO	Celenit P3	75	14,5	15,6	16,7	0,49
8	CO	Celenit P3	100	15,0	16,0	17,0	0,40
8	CO	Celenit E3	35	13,4	14,7	16,0	0,67
8	CO	Celenit E3	50	14,0	15,2	16,4	0,58
8	CO	Celenit E3	75	14,6	15,7	16,8	0,48
8	CO	Celenit E3	100	15,1	16,0	17,0	0,40
8	CO	Celenit G3	25	12,7	14,2	15,6	0,78
8	CA	Celenit G3	25	14,6	15,7	16,8	0,45
8	CO	Celenit G3	35	13,4	14,8	16,1	0,66
8	CO	Celenit G3	50	14,0	15,2	16,4	0,57
8	CO	Celenit G3	75	14,7	15,8	16,8	0,46
8	CO	Celenit G3	100	15,2	16,1	17,1	0,38

■ rischio di condensazione superficiale
■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5\text{ °C}$) per evitare il rischio di condensazione superficiale è necessario impiegare spessori di 50 mm di Celenit N, mentre per le zone mediamente fredde ($T = 0\text{ °C}$) sono necessari spessori di almeno 20 mm di Celenit N. Per ridurre le dispersioni termiche invece è necessario orientarsi verso soluzioni che presentano un valore inferiore del coefficiente lineico.

9. Copertura inclinata - trave a sbalzo

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso del nodo tra parete e attacco di una copertura a falda in legno, con pacchetto di prodotti Celenit posizionato sopra il perlinato: Celenit FL/150 sp. 100 mm tra due strati di Celenit N, rispettivamente di sp. 30 mm e 20 mm. Le stratigrafie della parete e della copertura sono in

accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E. Per una correzione accurata (CA) del ponte termico è necessario inserire sul lato interno del cordolo in calcestruzzo come cassero a perdere un ulteriore strato di Celenit N spessore 25 mm.

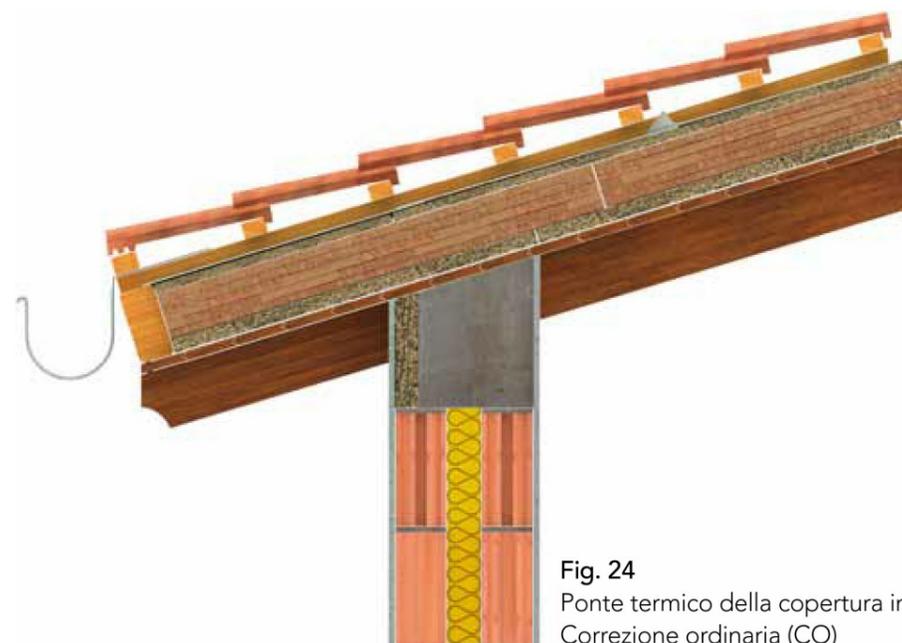


Fig. 24
Ponte termico della copertura inclinata
Correzione ordinaria (CO)

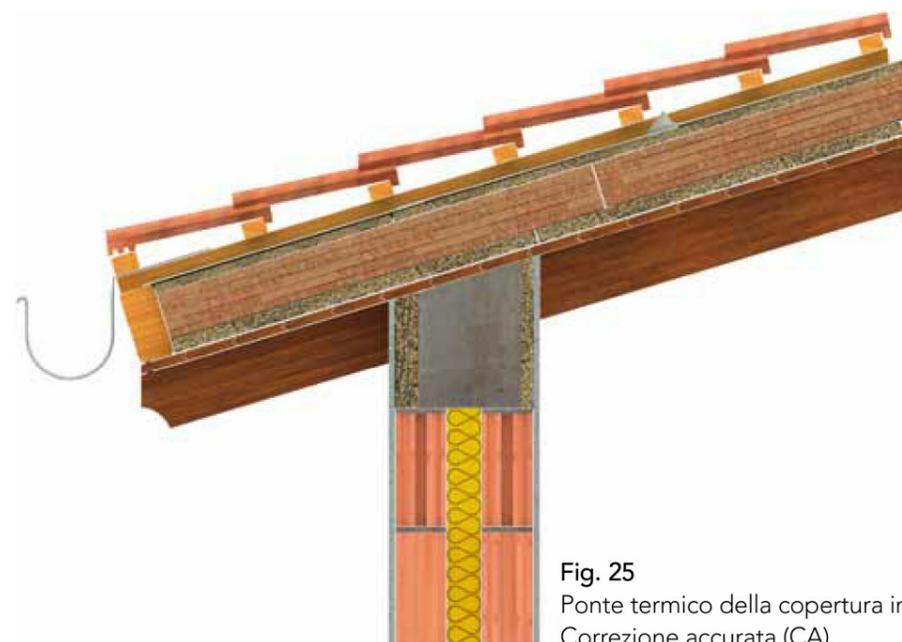


Fig. 25
Ponte termico della copertura inclinata
Correzione accurata (CA)

9. Copertura inclinata - trave a sbalzo

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
9	CO	Celenit N	20	14,0	15,2	16,4	1,08
9	CO	Celenit N	25	14,4	15,5	16,6	1,00
9	CA	Celenit N	25	15,0	16,0	17,0	0,67
9	CO	Celenit N	30	14,8	15,8	16,9	0,93
9	CO	Celenit N	35	15,1	16,1	17,0	0,87
9	CO	Celenit N	40	15,3	16,3	17,2	0,82
9	CA	Celenit N	40	15,6	16,4	17,3	0,57
9	CO	Celenit N	50	15,8	16,6	17,5	0,73
9	CO	Celenit N	75	16,6	17,2	17,9	0,56
9	CO	Celenit P3	25	14,7	15,7	16,8	0,95
9	CA	Celenit P3	25	15,1	16,1	17,1	0,64
9	CO	Celenit P3	35	15,5	16,4	17,3	0,78
9	CO	Celenit P3	50	16,3	17,0	17,8	0,61
9	CO	Celenit P3	75	17,0	17,6	18,2	0,45
9	CO	Celenit P3	100	17,6	18,1	18,6	0,34
9	CO	Celenit E3	35	15,7	16,5	17,4	0,73
9	CO	Celenit E3	50	16,4	17,1	17,9	0,58
9	CO	Celenit E3	75	17,1	17,7	18,3	0,43
9	CO	Celenit E3	100	17,6	18,1	18,6	0,33
9	CO	Celenit G3	25	14,9	15,9	16,9	0,91
9	CA	Celenit G3	25	15,3	16,2	17,2	0,62
9	CO	Celenit G3	35	15,8	16,6	17,5	0,71
9	CO	Celenit G3	50	16,5	17,2	17,9	0,56
9	CO	Celenit G3	75	17,2	17,8	18,3	0,40
9	CO	Celenit G3	100	17,8	18,2	18,7	0,29

■ rischio di condensazione superficiale
■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

In zone climatiche particolarmente rigide nei mesi invernali ($T = -5\text{ °C}$) e mediamente fredde ($T = 0\text{ °C}$) per evitare il rischio di condensazione superficiale è necessario impiegare spessori di almeno 20 mm di Celenit N. Per ridurre le dispersioni termiche invece è necessario orientarsi verso soluzioni che presentano un valore inferiore del coefficiente lineico.

10. Serramento

DESCRIZIONE

Il ponte termico in oggetto riguarda il caso dell'attacco serramento-parete in laterizio.

In assenza di correzione del ponte termico il punto critico è situato nell'attacco serramento parete in laterizio.

La correzione avviene con interposizione di materiale Celenit N da 20 cm tra il serramento e la parete.

La stratigrafia della parete e del solaio sono in accordo con la trasmittanza limite imposta dal DPR 59 per la zona climatica E.

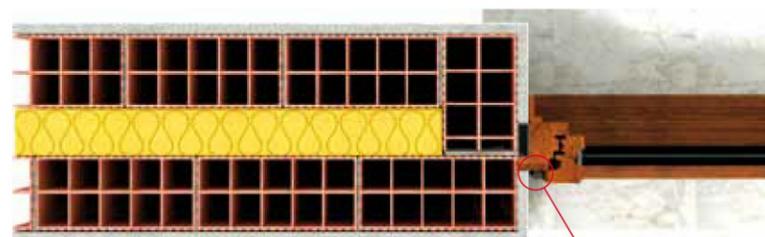


Fig. 26
Ponte termico attacco serramento
Non corretto

PUNTO CRITICO

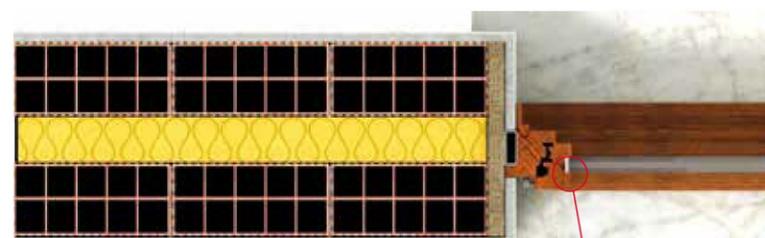


Fig. 27
Ponte termico attacco serramento
Correzione ordinaria (CO)

PUNTO CRITICO

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN CORRISPONDENZA DEL PONTE TERMICO

Caso	Correzione	Materiale	Spessore [mm]	Temperatura aria esterna -5°C	Temperatura aria esterna 0°C	Temperatura aria esterna 5°C	Coefficiente lineico ψ [W/mK]
10	CO	Celenit N	20	15,9	16,7	17,5	0,11

■ rischio di condensazione superficiale

■ assenza di rischio di condensazione superficiale (DPR 59/09)

CONCLUSIONE

La correzione è necessaria nelle località con condizioni climatiche invernali particolarmente rigide; in seguito alla correzione, per la quale è sufficiente l'impiego di pannelli Celenit N dello spessore di 20 mm, il punto critico diventa la superficie del serramento.

- Nelle zone climatiche A, B e C ($T = 5^\circ\text{C}$) nella maggior parte dei casi è sufficiente correggere i ponti termici con Celenit N, sp. 20 mm e il rischio di condensazione superficiale è molto ridotto. Per ridurre le dispersioni termiche invece è necessario scegliere soluzioni che presentano un valore inferiore del coefficiente lineico. Tali prestazioni si ottengono utilizzando uno spessore maggiore di Celenit N o con i pannelli accoppiati (Celenit P3-G3-E3) oppure effettuando una correzione accurata del ponte termico.

- Nelle zone climatiche mediamente fredde D, E e F ($T = 0^\circ\text{C}$) la tipologia di ponte termico influenza la scelta del materiale; in generale sono sufficienti 30-50 mm di spessore a seconda del tipo di materiale. Se la tipologia di ponte termico è caratterizzata da un elevato rapporto tra superficie esterna ed interna disperdente (ad esempio parete-piano pilotis o pilastro inserito in angolo) è necessario impiegare spessori maggiori o effettuare una correzione accurata.

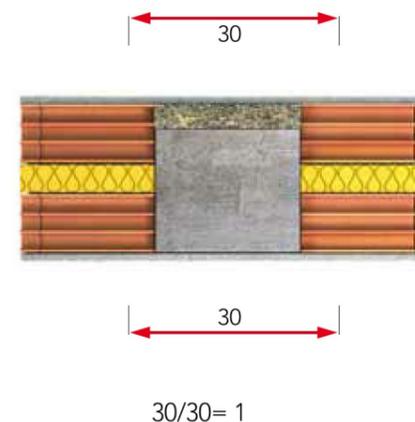


Fig. 28
Rapporto unitario tra superficie disperdente tra interno ed esterno

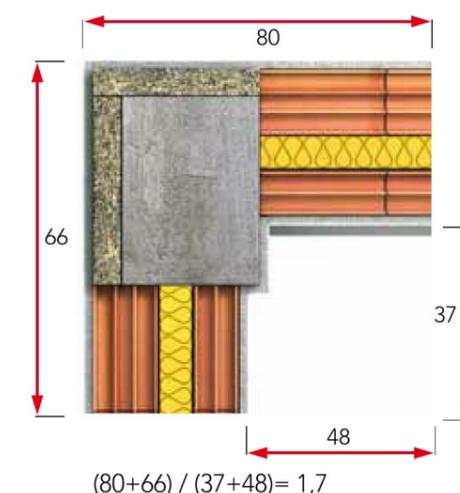


Fig. 29
Rapporto tra superficie disperdente tra interno ed esterno >1

- Nelle zone climatiche con inverni particolarmente rigidi ($T = -5^\circ\text{C}$) è necessario intervenire in alcuni casi con spessori elevati di materiale isolante (75 mm) e nei casi in cui non risulta essere sufficiente, è opportuno correggere più accuratamente il ponte termico dando continuità allo strato d'isolamento. Tale accuratezza permette l'impiego di spessori ridotti.

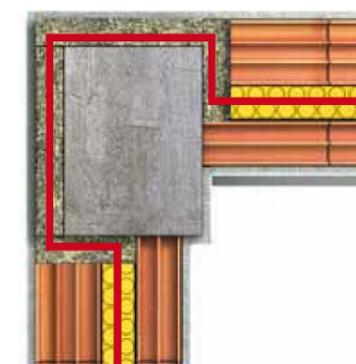


Fig. 30
Continuità dello strato di isolante

CELENIT N

Celenit N è un pannello isolante termico ed acustico in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza. È conforme alla norma UNI EN 13168, prodotto da azienda certificata UNI EN ISO 9001: 2008.

Il pannello Celenit N presenta il marchio ANAB ICEA, per le caratteristiche di ecobiocompatibilità dei materiali e del processo produttivo. Il legname impiegato proviene da foreste gestite in maniera sostenibile (certificazione PEFC per la Catena di Custodia). TÜV Italia ha certificato che il 15% in peso del pannello Celenit N è composto da materiale riciclato pre-consumatore.



Caratteristiche tecniche	Simbolo	Descrizione - Dati								Unità di misura
		15	20	25	30	35	40	50	75	
Spessore	d	15	20	25	30	35	40	50	75	mm
Lunghezza	l	2400 1200	2000	2400 2000	2000	2400 2000	2000	2400 2000	2000	mm
Larghezza	b	600								mm
Massa superficiale	-	8	10	11,5	13	14	16	18	26	kg/m ²
Resistenza termica dichiarata	R _D	0,20	0,30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,75	1,10	m ² K/W
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ	5								-
Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione	σ ₁₀	≥ 200				≥ 150				kPa

CELENIT P3

Celenit P3 è un pannello isolante termico ed acustico composto da 2 strati (sp. 5 mm ciascuno) in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza e da uno strato interno di polistirene espanso sinterizzato autoestinguente a norma. È conforme alla norma UNI EN 13168, prodotto da azienda certificata UNI EN ISO 9001: 2008.

Il legname impiegato proviene da foreste gestite in maniera sostenibile (certificazione PEFC per la Catena di Custodia). TÜV Italia ha certificato che il 15% in peso del pannello Celenit P3 è composto da materiale riciclato pre-consumatore.



Caratteristiche tecniche	Simbolo	Descrizione - Dati					Unità di misura
		25 (5/15/5)	35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	
Spessore	d	25 (5/15/5)	35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	mm
Lunghezza	l	2000					mm
Larghezza	b	600					mm
Massa superficiale	-	8	8,2	8,5	9,0	9,4	kg/m ²
Resistenza termica dichiarata	R _D	0,45	0,70	1,10	1,75	2,40	m ² K/W
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ	43					-
Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione	σ ₁₀	50					kPa

CELENIT E3

Celenit E3 è un pannello isolante termico ed acustico composto da 2 strati (sp. 5 mm ciascuno) in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza e da uno strato interno di polistirene espanso estruso autoestinguente a norma. È conforme alla norma UNI EN 13168, prodotto da azienda certificata UNI EN ISO 9001: 2008. Il legname impiegato proviene da foreste gestite in maniera sostenibile (certificazione PEFC per la Catena di Custodia). TÜV Italia ha certificato che il 15% in peso del pannello Celenit E3 è composto da materiale riciclato pre-consumatore.



Caratteristiche tecniche	Simbolo	Descrizione - Dati				Unità di misura
		35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	
Spessore	d	35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	mm
Lunghezza	l	2000				mm
Larghezza	b	600				mm
Massa superficiale	-	8,5	9,0	9,8	10,5	kg/m ²
Resistenza termica dichiarata	R _D	0,80	1,25	1,90	2,45	m ² K/W
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ	84				-
Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione	σ ₁₀	200				kPa

CELENIT G3

Celenit G3 è un pannello isolante termico ed acustico composto da due strati (sp. 5 mm ciascuno) in lana di legno di abete rosso, mineralizzata e legata con cemento Portland ad alta resistenza e da uno strato interno di polistirene espanso sinterizzato contenente particelle di grafite. È conforme alla norma UNI EN 13168, prodotto da azienda certificata UNI EN ISO 9001: 2008.

Il legname impiegato proviene da foreste gestite in maniera sostenibile (certificazione PEFC per la Catena di Custodia). TÜV Italia ha certificato che il 15% in peso del pannello Celenit G3 è composto da materiale riciclato pre-consumatore.



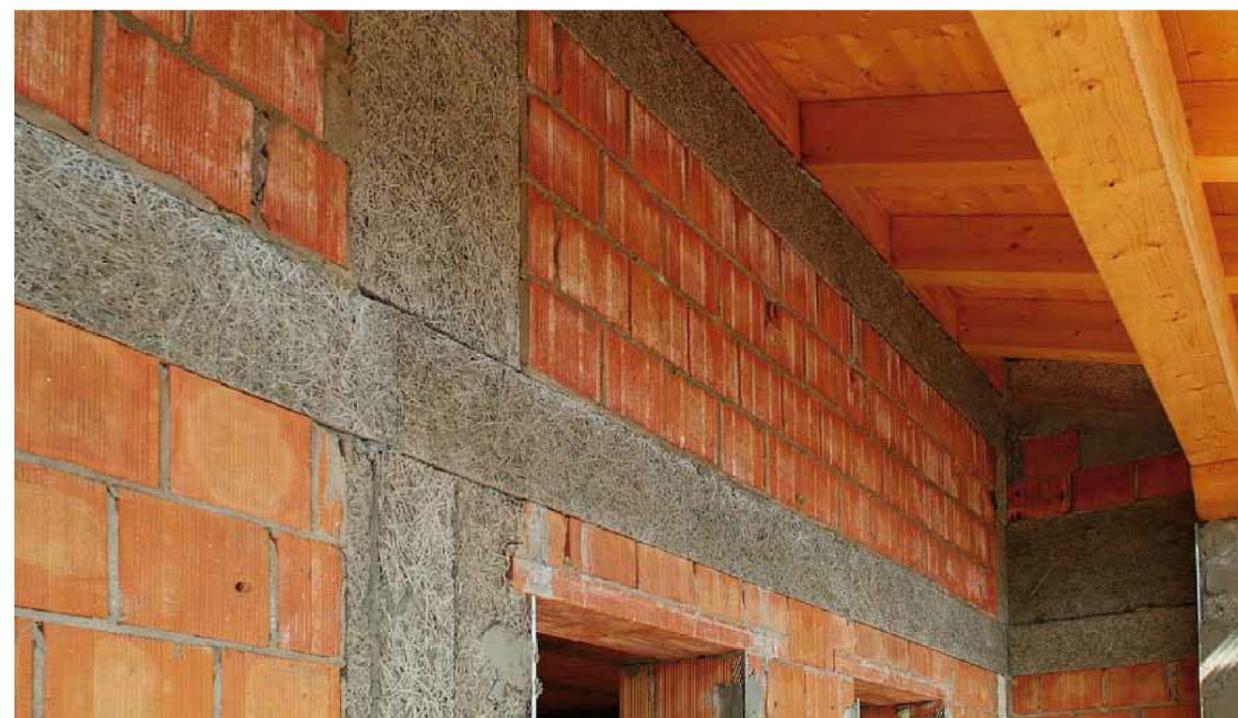
Caratteristiche tecniche	Simbolo	Descrizione - Dati					Unità di misura
		25 (5/15/5)	35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	
Spessore	d	25 (5/15/5)	35 (5/25/5)	50 (5/40/5)	75 (5/65/5)	100 (5/90/5)	mm
Lunghezza	l	2000					mm
Larghezza	b	600					mm
Massa superficiale	-	8,0	8,2	8,5	9,0	9,4	kg/m ²
Resistenza termica dichiarata	R _D	0,50	0,85	1,35	2,15	2,95	m ² K/W
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo	μ	27					-
Sollecitazione a compressione al 10% di deformazione	σ ₁₀	50					kPa

STRISCE PER LA CORREZIONE DEI PONTI TERMICI

Materiale	Spessore [mm]	Dimensioni [cm]	Resistenza termica [m ² K/W]
Celenit N	25	200x30	0,35
Celenit N	50	200x30	0,75
Celenit N	75	200x30	1,10



Materiale	Spessore [mm]	Dimensioni [cm]	Resistenza termica [m ² K/W]
Celenit P3	35	200x30	0,70
Celenit P3	50	200x30	1,10
Celenit P3	75	200x30	1,75
Celenit P3	100	200x30	2,40
Celenit E3	35	200x30	0,80
Celenit E3	50	200x30	1,25
Celenit E3	75	200x30	1,90
Celenit E3	100	200x30	2,45
Celenit G3	25	200x30	0,50
Celenit G3	35	200x30	0,85
Celenit G3	50	200x30	1,35
Celenit G3	75	200x30	2,15
Celenit G3	100	200x30	2,95



Per massimizzare i benefici ed assicurare una migliore resa estetica che duri nel tempo, è importante seguire delle precise indicazioni di posa. È consigliabile l'utilizzo dei pannelli Celenit direttamente come cassatura per il getto di calcestruzzo. In questo modo si ottiene un elevato risparmio di tempo ed un

risultato migliore. È pure possibile una applicazione successiva con colla e tasselli ad espansione direttamente sulla struttura di calcestruzzo. Nel caso in cui il cantiere si protragga a lungo nel tempo, si consiglia una volta posizionati i pannelli di effettuare almeno un primo strato di rinzafo.

APPLICAZIONE AL MOMENTO DEL GETTO DI CALCESTRUZZO

Il procedimento consigliato consiste nell'esecuzione di partizioni portanti mediante getti di calcestruzzo all'interno di pannelli Celenit disposti parallelamente e trattenuti da opportuni elementi.

I sistemi costruttivi con getti di calcestruzzo in opera sono: cassaforma a telaio, pannelli d'armatura per cassaforma, sistema montanti e distanziatori e sistema modulare di sostegno.

Cassaforma a telaio

Con il sistema cassaforma a telaio si correggono i ponti termici su:

- pilastro in parete (sol. 1);
- pilastro in angolo (sol. 2);
- solaio a sbalzo (sol. 4);
- parete controterra (sol. 5-6).

Tale sistema costruttivo consiste nel rivestimento interno del cassero ad elementi componibili con pannelli Celenit sfalsati e bene accostati, mantenuti in posizione con chiodi senza testa.

Nel caso di pannelli accoppiati è necessaria l'applicazione di ancore in plastica (Fig. 1), minimo 6 per pannello, mentre se si vogliono lasciare a vista, si utilizzano delle spirali metalliche (Fig. 2). Entrambi i fissaggi devono essere disposti sul perimetro del pannello (Fig. 3).

Per l'isolamento dei pilastri possono essere fornite strisce di pannelli Celenit, utili per una più veloce applicazione.



Fig. 1
Ancore in plastica

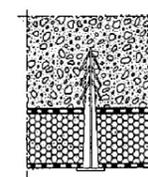


Fig. 2
Spirali metalliche



Fig. 3
Disposizione dei fissaggi

Pannelli d'armatura per cassaforma

Rivestendo internamente le casseforme si correggono i ponti termici su:

- pilastro in parete (sol. 1);
- pilastro in angolo (sol. 2);
- solaio a parete (sol. 3);
- solaio a sbalzo (sol. 4);
- copertura piana (sol. 7);
- copertura inclinata (sol. 8-9).

La cassaforma è costituita da pannelli in legno (solitamente tavole gialle) e poi rivestita internamente con i pannelli Celenit.

Non è necessario fissare i pannelli, tranne nel caso del ponte termico su solaio a parete piana e su copertura piana e inclinata dove i pannelli vanno tenuti in posizione da chiodi senza testa.

Se si impiegano i pannelli composti (Celenit P3, G3, E3) è necessario l'applicazione di ancore in plastica (Fig. 1), minimo 6, da disporre sul perimetro del pannello (Fig. 3). Per l'isolamento del pilastro e del solaio a parete possono essere fornite strisce di pannelli Celenit, utili per una più veloce applicazione.

Montanti e distanziatori

Con il sistema montanti e distanziatori si correggono i ponti termici su:

- pilastro in parete (sol. 1);
- pilastro in angolo (sol. 2);
- parete controterra (sol. 5-6).

I pannelli Celenit vengono utilizzati come cassero a perdere per l'isolamento termico della struttura portante. Inoltre, nel caso di parete controterra verso l'esterno, è possibile applicare direttamente sui pannelli la guaina bituminosa senza pretrattamento (primer) in quanto vi aderisce in modo tenace e permanente. All'interno costituiscono una superficie facilmente intonacabile oppure possono essere rivestiti con cartongesso, incollato direttamente al pannello.

Con questa metodologia viene eliminato l'impiego dei

pannelli d'armatura come cassera per il getto in calcestruzzo.

L'interasse tra le staffe e i montanti verticali varia a seconda dello spessore del getto in calcestruzzo e dei pannelli isolanti impiegati, in ogni caso deve essere minimo di 20 - 25 cm.

Il getto deve essere ad altezza di piano (3 m).

Si consiglia l'impiego di pannelli Celenit S in quanto hanno una larghezza di 50 cm, ma, utilizzando distanziatori modulari, è possibile utilizzare anche pannelli Celenit N e gli accoppiati (Celenit P3, G3, E3). Per i compositi è necessaria l'applicazione di ancore in plastica (Fig. 1), minimo 6 per pannello.

I fissaggi devono essere disposti sul perimetro del pannello (Fig. 3).

Sistema modulare di sostegno

Con il sistema modulare di sostegno si correggono i ponti termici su:

- rivestimento di solaio (sol. 4).

Tali strutture permettono l'utilizzo dei pannelli Celenit come cassero a perdere. Nel caso si impieghi il Celenit N deve avere uno spessore minimo di 35 mm, mentre i pannelli compositi (Celenit P3, G3, E3) almeno 50 mm.

Se si impiegano i pannelli accoppiati è necessario l'applicazione di ancore in plastica (Fig. 1), minimo 6 per pannello, mentre se si vogliono lasciare a vista, si utilizzano delle spirali metalliche (Fig. 2).

Entrambi i fissaggi devono essere disposti sul perimetro del pannello (Fig. 3).



APPLICAZIONE SUCCESSIVA AL GETTO DI CALCESTRUZZO

L'applicazione dei pannelli successiva al getto di calcestruzzo è possibile solo per le partizioni verticali e consiste nel fissaggio meccanico dei pannelli Celenit in uno spessore minimo di 25 mm.

Si utilizzano i pannelli Celenit N, P3, G3, E3 per la correzione del ponte termico su:

- pilastro in parete (sol. 1);
- pilastro in angolo (sol. 2);
- solaio a parete (sol. 3);
- copertura piana (sol. 7);
- copertura inclinata (sol. 8-9).

È consigliabile utilizzare i pannelli da cappotto Celenit N/C o Celenit G3/C per:

- pareti controterra (sol. 5-6).

Per la posa si procede con l'applicazione di una malta adesiva con spatola dentata su tutta la superficie del pannello. Prima che faccia presa, è necessario fissare i tasselli ad espansione con rondelle in plastica, almeno 5 per i pannelli di dimensioni 120x60 cm, mentre 8 per pannelli 200x60 cm (Fig. 4). Tali fissaggi devono penetrare per almeno 4-5 cm sulla struttura portante e vanno applicati prima sul perimetro e poi al centro. Anche per pilastri e cordoli, dove si utilizzano pannelli di larghezza inferiore, il fissaggio deve essere perimetrale e al centro.

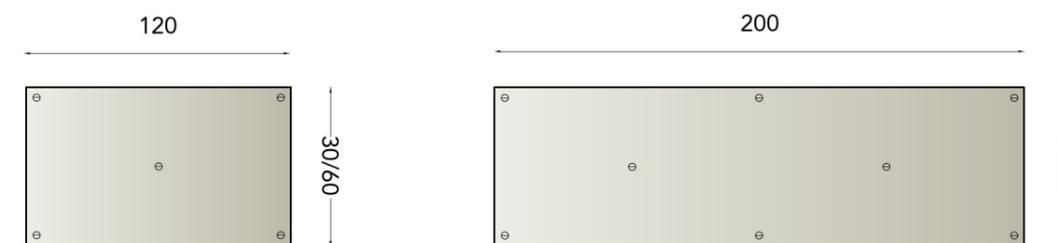


Fig. 4
Disposizione fissaggi

FINITURA

Si rimanda alle istruzioni di posa dei produttori di intonaci e alle schede tecniche dei prodotti per la presa visione delle modalità ed avvertenze applicative.

Qui di seguito si danno alcune indicazioni per la tipologia di intonaco e la posa che devono essere verificate con la ditta applicatrice dell'intonaco.

Per una finitura ottimale, prima dell'applicazione è consigliabile assicurarsi che i pannelli siano perfettamente asciutti e che siano tutti posizionati correttamente ovvero ben accostati, sfalsati e aderenti al supporto.

Dopo la messa in opera si procede con un primo strato di intonaco costituito da un rinzaffo di sabbia grossa e cemento per uno spessore di 8 mm circa.

Completata la presa e quando il rinzaffo si è completamente asciugato, si applica uno strato di intonaco con rete armata in superficie.

La rete deve essere posizionata su tutta la superficie del pannello avendo cura di interessare almeno 25-30 cm di muratura. Si procede poi con la finitura.

Per ridurre le tensioni termiche, si consigliano tinte chiare.

CELENIT SPA
PANNELLI ISOLANTI
TERMICI ED ACUSTICI
PER L'EDILIZIA

35019 Onara di Tombolo (PD)
Via Bellinghiera, 17
Tel. +39 049.5993544
Fax +39 049.5993598
E-mail: info@celenit.com
www.celenit.com

