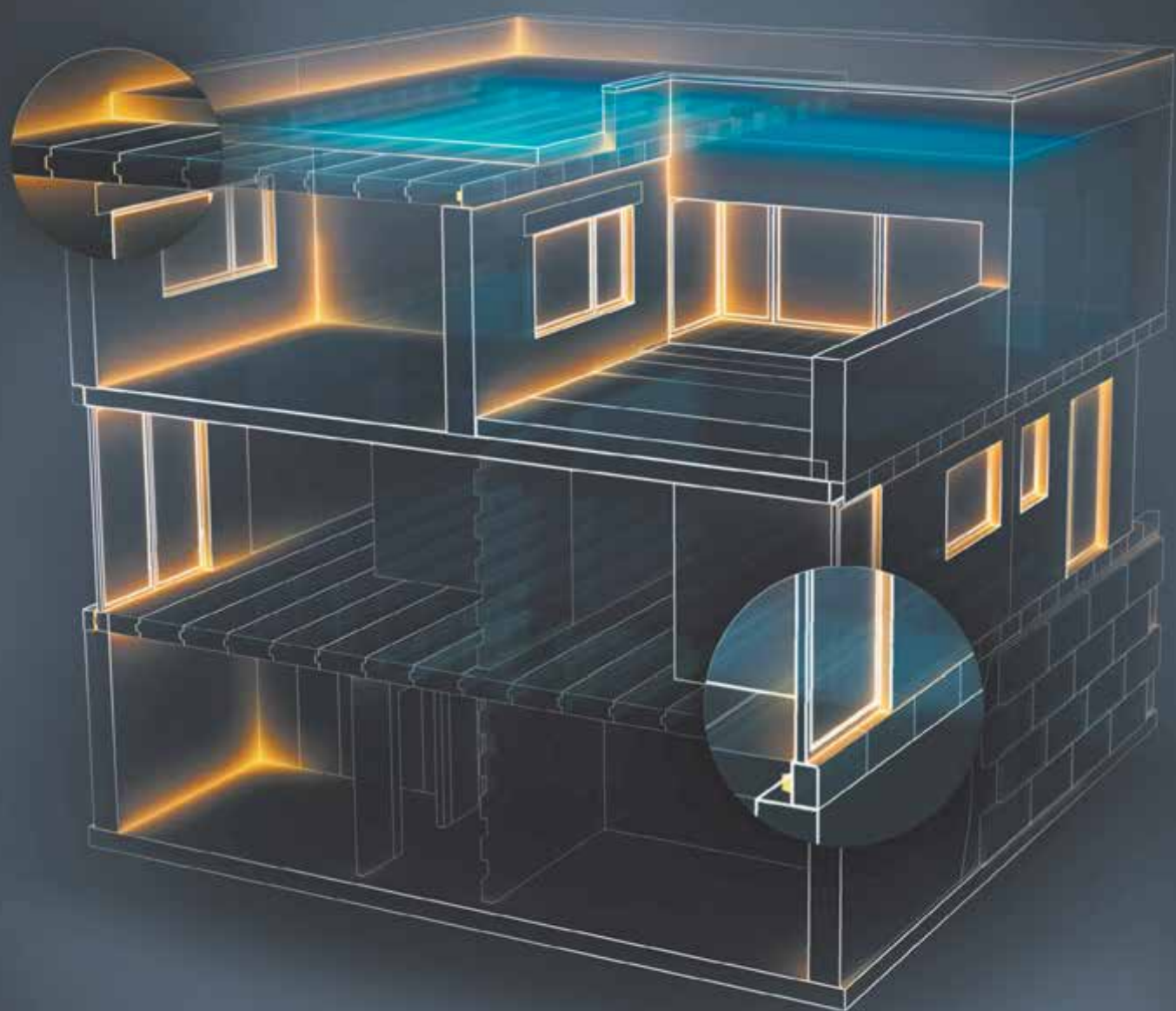


Ytong - Sistemi in calcestruzzo aerato autoclavato

## MANUALE PONTI TERMICI



**COSTRUIRE IL FUTURO, RIQUALIFICARE L'ESISTENTE**

**multipor®**

**YTONG®**

## Editore



Xella Italia Srl

Via Zanica 19K | Località Padergnone | 24050 Grassobbio (BG)

Tel: +39 035 4522272 Fax + 39 035 4233351

www.ytong.it ytong-tecnici@xella.com

Autore: Günther Gantioler

Calcoli: Günther Gantioler, Monika Legierska, Luca Senettin



TBZ GmbH Srl

Via Maso della Pieve 60a, 39100 Bolzano (BZ)

Tel: +39 0471 251701 Fax: +39 0471 252621

www.tbz.bz info@tbz.bz

Copyright Xella Italia Srl e TBZ Srl

## Prefazione

Chi si occupa di calcoli energetici o di costruzioni di edifici a basso consumo energetico deve necessariamente prendere in considerazione anche il problema dei cosiddetti “ponti termici”, elementi che provocano condense, muffe e dispersioni termiche. L’argomento non è di immediata comprensione ma se si capiscono le regole base, il problema può essere risolto in maniera semplice ed efficace.

L’uso di abachi ponti termici, come descritto nella UNI EN ISO 14683, costituisce un metodo semplice ed appropriato per trattare i ponti termici sia per uso nel calcolo energetico che anche per l’analisi delle condense e del rischio muffa tramite il calcolo della temperatura superficiale minima interna.

### ***Scopi e obiettivi dell’ “Abaco Ponti Termici Ytong” sono:***

- definire ponti termici
- riportare le norme di riferimento
- informare sulla valenza e l’utilità di un abaco ponti termici evoluto
- spiegare come leggere l’abaco ponti termici evoluto
- riportare i valori  $\Psi$  e  $f_{Rsi}$  di alcuni esempi di ponti termici

***NON è scopo di questa brochure dare le istruzioni per il calcolo ad elementi finiti di ponti termici.***

# Indice

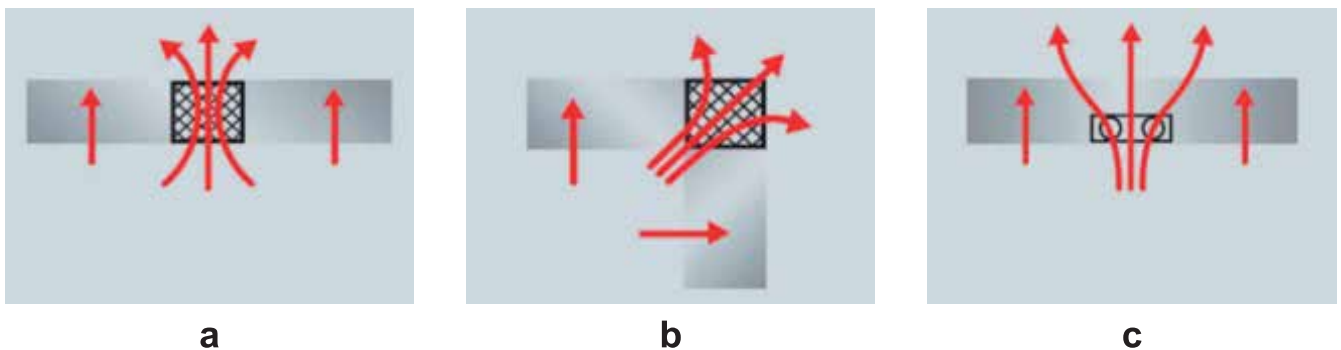
<b>1</b>	<b>Introduzione ai ponti termici</b>	<b>2</b>
1.1	Definizione/causa	2
1.2	Effetti negativi dei ponti termici	2
1.3	L'incidenza dei ponti termici: metodi di calcolo a confronto	2
1.4	L'aspetto energetico: la trasmittanza termica lineare $\Psi$	4
1.4.1	L'effetto sul calcolo energetico $\Psi$	4
1.5	L'aspetto termoigrometrico: il fattore di temperatura $f_{R_{si}}$	5
1.5.1	L'effetto sulla temperatura superficiale interna $T_{simin}/f_{R_{si}}$	5
1.6	Il calcolo dei ponti termici ad elementi finiti - UNI EN ISO 10211	7
1.7	Condizioni al contorno da applicare	9
<b>2</b>	<b>Riferimento normativo</b>	<b>9</b>
2.1	UNI/TS 11300:2008	9
2.2	UNI EN ISO 14683:2001	10
2.2.1	Il calcolo numerico	10
2.2.2	Abaco ponti termici	10
2.2.3	Calcoli manuali	11
2.2.4	Valori di progetto della trasmittanza termica lineica	11
2.3	UNI EN ISO 10211	11
2.4	UNI EN ISO 13788	12
2.5	D.lgs 311/06 – D.P.R. 59/2009	13
2.6	Gerarchia tra norme tecniche e requisiti di legge	14
<b>3</b>	<b>Abaco ponti termici</b>	<b>16</b>
3.1	Come leggere l'abaco	18
3.2	Temperature medie dell'aria esterna dei capoluoghi di provincia (UNI 10349) nel mese di gennaio e relativi valori $f_{R_{si,max}}$ per rischio muffa e condensa superficiale	19
3.3	Pilastrini correnti - (struttura portante a telaio)	20
3.4	Pilastrini d'angolo - (struttura portante a telaio)	22
3.5	Finestre in battuta	24
3.6	Finestre in luce	26
3.7	Cordoli normali in c.a. (muratura portante in zona non sismica)	28
3.8	Cordoli ribassati in c.a. (muratura portante in zona sismica)	30
3.9	Balconi a sbalzo in c.a. su cordoli ribassati (muratura portante in zona sismica)	32
3.10	Cordoli in c.a. con trave tipo REP (struttura portante a telaio)	36
3.11	Travi di bordo in c.a. in spessore di solaio (struttura portante a telaio)	38
<b>4</b>	<b>Esempi di calcolo</b>	<b>40</b>
4.1	Esempio 1	40
4.2	Esempio 2	42
4.3	Esempio 3: balconi	42
4.4	Esempio 4: $R_{si}$ diversi e obiettivo del calcolo	43
<b>5</b>	<b>FAQ</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>45</b>
6.1	Norme	45
6.2	Collana	45

# 1 Introduzione ai ponti termici

## 1.1 Definizione/causa

Un ponte termico è la parte dell'involucro edilizio dove la temperatura superficiale interna e la resistenza termica, altrove uniforme, cambiano in modo significativo per effetto di:

- combinazione e penetrazione di materiali a conduttività termica diversa, p.es. pilastri in cemento armato nel muro di tamponamento
- differenze tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno, p.es. in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento/soffitto balconi o angoli della parete esterna.
- stratigrafie con materiali a spessori variabili, p.es. cavedi su impianti.



## 1.2 Effetti negativi dei ponti termici

I ponti termici producono due effetti:

- una modifica del flusso termico
- una modifica della temperatura interna superficiale

I procedimenti per il calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali, benché siano simili tra di loro, non sono identici. Anche se normalmente si tratta la problematica dei ponti termici per la stagione invernale, lo stesso vale, con direzione opposta, anche per quella estiva.

## 1.3 L'incidenza dei ponti termici: metodi di calcolo a confronto

Considerare i ponti termici nel calcolo energetico e nella progettazione di edifici sani è molto importante. Di seguito vengono riportati i metodi di calcolo maggiormente utilizzati:

- Il primo metodo prevede il calcolo del valore PSI ad elementi finiti secondo norma UNI EN ISO 10211 ed è il metodo considerato più attendibile in quanto si avvicina maggiormente a quanto accade nella realtà;
- Il secondo metodo, definito "k", calcola soltanto la parete di tamponamento senza tenere conto degli eventuali ponti termici;
- Il terzo metodo definito "k- medio" ne tiene conto in modo ponderato sulle superfici;
- Il quarto metodo prevede il calcolo del valore U secondo norma UNI EN ISO 6946, che per quanto si avvicini più del secondo e terzo metodo alle dispersioni reali, dà un risultato inaccettabile in quanto l'errore è maggiore rispetto ai limiti di validità del metodo stesso.



Di seguito si analizza l'incidenza dei ponti termici sul calcolo energetico e si confrontano diversi metodi di calcolo relativi a una parete di 3,2 m di altezza e 6,6 m di lunghezza costituita da blocchi Ytong con trasmittanza di 0,31 W/m<sup>2</sup>K, nella quale ci sono 2 pilastri in cemento armato di dimensioni 0,30 x 0,30 m (Fig. 1).

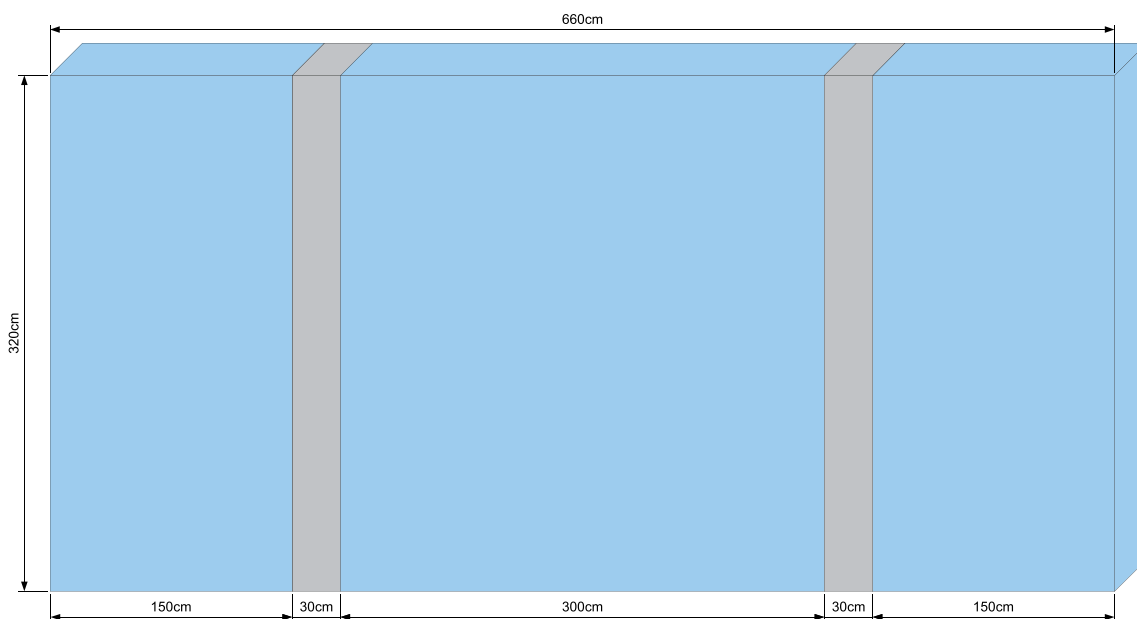


Fig. 1: Parete con tamponamento in blocchi YTONG CLIMA e pilastri in CA.

Come si può osservare dalla tabella sottostante (Fig. 1.1), se non si considera il pilastro (metodo "k"), la dispersione energetica della parete è circa un terzo (35%) di quella calcolata ad elementi finiti (metodo "PSI") portando a un risultato energetico troppo buono. Anche con il metodo del k-medio il valore di dispersione è di circa 2/3 del metodo PSI (65%), mentre il calcolo della UNI EN ISO 6946 è quello che porta ai risultati più vicini (90%) al metodo PSI.

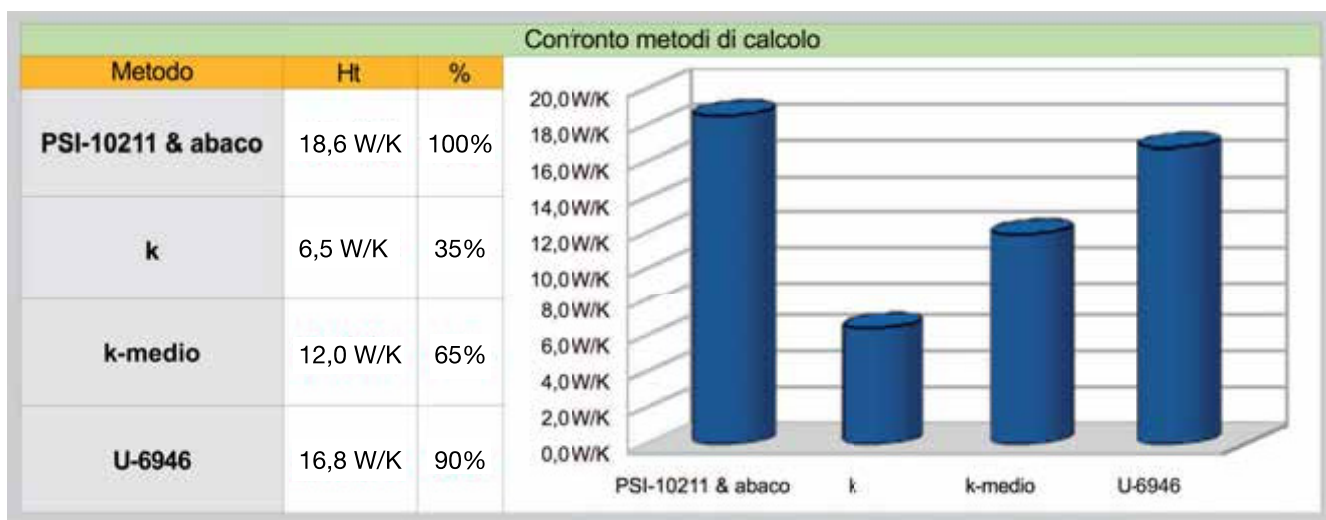


Fig. 1.1: Confronto dei risultati della prestazione termica di una parete (6,6 x 3,2 m) con 2 pilastri in c.a. (0,3 x 0,3 m), calcolati con differenti metodi - flusso termico

Oltre ai metodi precedentemente descritti esiste un ulteriore metodo che consente di calcolare gli stessi ponti termici in modo più semplice e con un livello di accuratezza maggiore. Tale metodo prevede l'utilizzo di **abachi evoluti dei ponti termici**, come quello che stiamo trattando nel presente documento (vedi normativa UNI EN ISO 14683).

## 1.4 L'aspetto energetico: la trasmittanza termica lineare $\Psi$

Come indicato nei capitoli precedenti, la trasmittanza termica lineica descrive il flusso di calore aggiuntivo alla trasmittanza dell'elemento costruttivo di riferimento (parete, tetto,...) in corrispondenza di ponti termici lineari (balconi, pilastri, cordoli,...). Viene anche utilizzata per specificare altri elementi lineari come tubazioni. L'unità di misura è  $W/mK$ , ed esprime il flusso termico per metro di lunghezza e per grado di differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno. È indipendente dalla differenze di temperatura interno-esterno.

Similmente alla trasmittanza termica lineica, quella puntiforme  $\chi$  descrive il flusso di calore aggiuntivo al singolo punto di dispersione, come chiodi, tasselli, ecc o anche elementi più ampi tridimensionali come la base di pilastri o angoli di case. L'unità di misura è  $W/K$  al pezzo, perciò il flusso termico per ogni elemento per grado di differenza di temperatura interno-esterno. In questo fascicolo, per semplificare il calcolo, non vengono trattate le trasmittanze termiche puntiformi.

### 1.4.1 L'effetto sul calcolo energetico $\Psi$

Secondo la norma UNI EN ISO 13790 e la norma UNI/TS 11300 (l'implementazione italiana della 13790) la perdita di calore per trasmissione  $Q_T$  di un elemento costruttivo è dato da:

$$Q_T = U \cdot A \cdot \sum_a \Delta T \quad [Wh/a]$$

In pratica la perdita di calore è data dal prodotto della trasmittanza  $U$  dell'elemento costruttivo, per la sua superficie  $A$ , per la somma totale annuale delle differenze di temperature interno-esterno orarie (questo come somma stagionale in gradi giorno o somme mensili - orari in gradiore per le simulazioni dinamiche).

Per lasciare inalterato questo concetto, al flusso unidimensionale della trasmittanza termica  $U_{1D}$  (= il valore  $U$  dell'elemento senza disturbi del ponte termico) si aggiungono, in presenza di ponti termici, la trasmittanza termica lineica  $\Psi$  moltiplicato per la lunghezza dei ponti termici e la trasmittanza puntiforme  $C$  moltiplicato per il numero di punti disperdenti  $pz$ :

$$Q = (U_{1D} \cdot A + \Psi \cdot l + \chi \cdot pz) \cdot \sum_a \Delta T \quad [Wh/a]$$

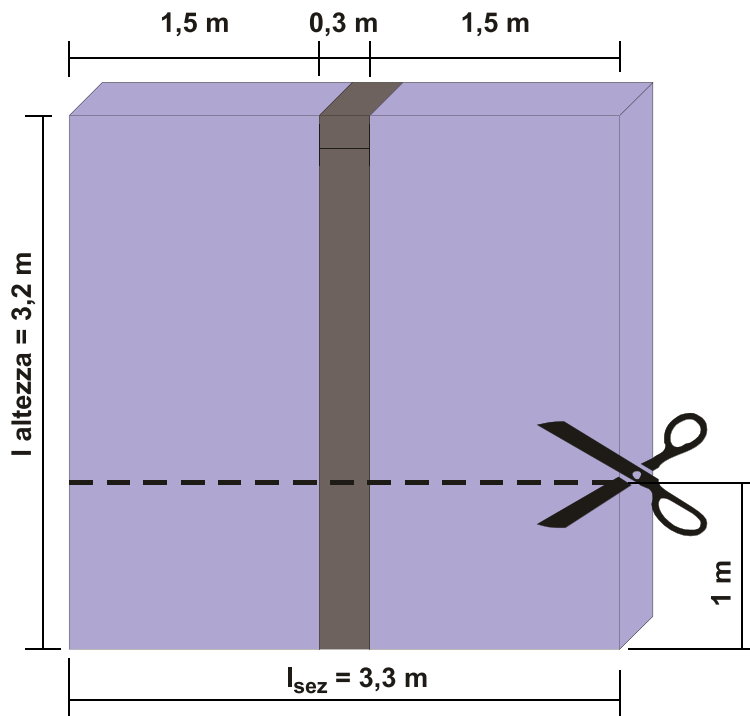
In questo fascicolo per semplificazione non trattiamo i ponti termici puntiformi quindi la formula precedente si trasforma in:

$$Q = (U_{1D} \cdot A + \Psi \cdot l) \cdot \sum_a \Delta T \quad [Wh/a]$$

Ritornando sull'esempio citato all'inizio con il pilastro in spessore, la formula diventa:

$$Q = (U_{1D} \cdot l_{sez} \cdot l_{altezza} + \Psi \cdot l_{altezza}) \cdot \sum_a \Delta T \quad [Wh/a]$$

L'altezza della parete è di un piano = 3,2 m, mentre la larghezza totale è di 3,3 m (= 1,5 m muratura, 0,3 m pilastro, 1,5 m muratura). La larghezza della muratura analizzata deve essere tale da non subire più nessuna influenza del ponte termico all'inizio ed alla fine della parete. Soltanto così il valore U della parete nelle estremità corrisponde al valore  $U_{1D}$  non disturbato e la sezione analizzata comprende tutto l'effetto del ponte termico. I software di calcolo ad elementi finiti controllano anche questo aspetto e avvertono l'utente, se la lunghezza della sezione è troppo corta. Convenzionalmente la lunghezza della muratura dal pilastro corrente è uguale a 1,5 m (norma UNI EN 10211).



Il calcolo può essere semplificato come segue:

- l'altezza della sezione limitata a 1 m:

$$Q = (U \cdot l_{sez} \cdot 1 m + \Psi \cdot 1 m) \cdot \sum_a \Delta T = (U \cdot l_{sez} + \Psi) \cdot \sum_a \Delta T \quad [Wh/a]$$

- la differenza di temperatura resa indipendente dalla differenza di temperatura reale tra interno ed esterno

$$q = (U \cdot l_{sez} + \Psi) \Delta T \quad [W/m]$$

Tenendo conto che il valore  $\Psi$  è indipendente dalla differenza di temperatura interno-esterno, (in termini pratici è una perdita di calore per ogni Kelvin, similmente a quanto accade per la trasmittanza), per il calcolo si potrebbe usare anche 1 K di differenza. Per evidenziare meglio e più realisticamente le isoterme convenzionalmente si sceglie una differenza di 25 K ( $T_i = 20^\circ C$ ;  $T_e = -5^\circ C$ ).

Lo  $\Psi$  è l'effetto **AGGIUNTIVO**, applicato al calcolo non disturbato con il valore U, su TUTTA la sezione/parete. Perciò migliore è il livello di isolamento della porzione di parete a destra e sinistra del pilastro, maggiore è l'incidenza del ponte termico.

## 1.5 L'aspetto termoigrometrico: il fattore di temperatura $f_{Rsi}$

Il fattore di temperatura  $f_{Rsi}$  descrive, in maniera indipendente dalla temperatura esterna, quanto il ponte termico riduce la temperatura superficiale interna. È costituito dal rapporto della differenza tra le temperature della superficie interna e dell'aria esterna e la differenza delle temperature dell'aria interna ed esterna, calcolate con una specifica resistenza superficiale interna  $R_{si}$ .

$$f_{Rsi} = \frac{(T_{si} - T_e)}{(T_i - T_e)}$$

Rappresenta in percentuale l'abbassamento della temperatura superficiale interna:

- $f_{Rsi} = 1,00$  = nessun abbassamento della  $T_{si}$ , cioè uguale all'aria interna;
- $f_{Rsi} = 0,50$  = la  $T_{si}$  è a metà tra temperatura dell'aria interna e quella esterna.

N.B. Più alto è il valore di  $f_{Rsi}$  e meno il ponte termico tenderà ad abbassare la temperatura superficiale interna.

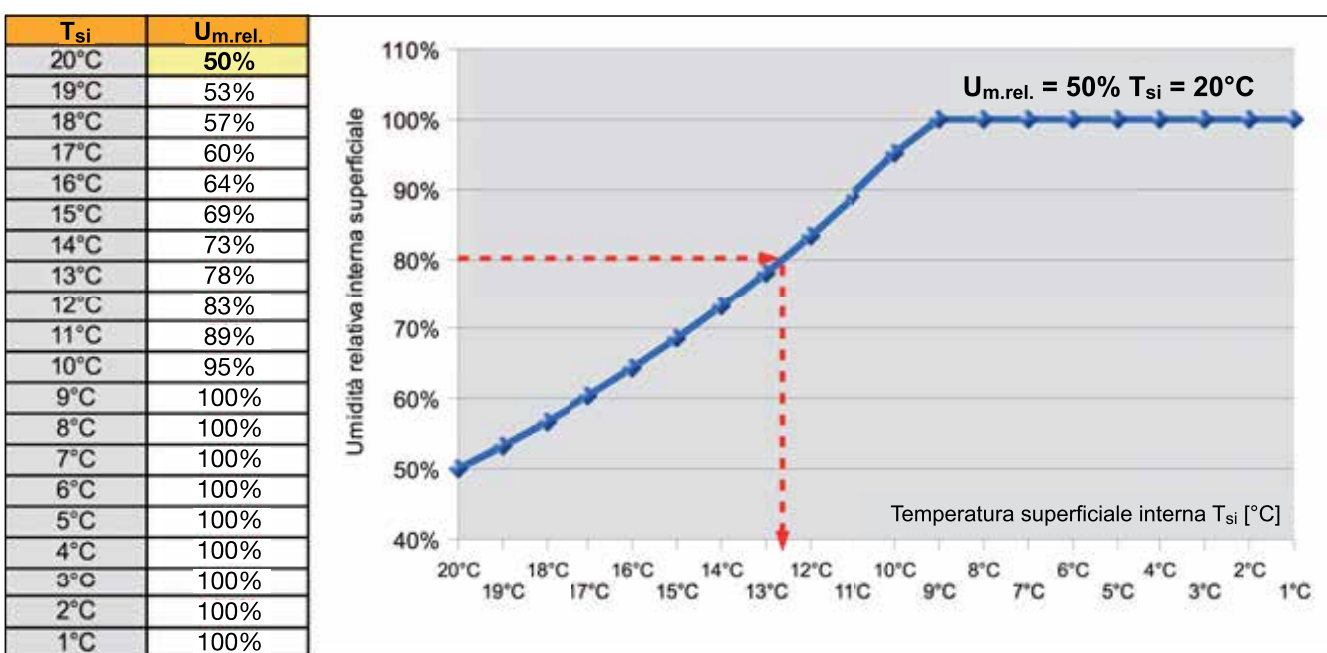
### 1.5.1 L'effetto sulla temperatura superficiale interna $T_{simin}/f_{Rsi}$

I ponti termici influenzano la temperatura superficiale interna: in inverno il flusso di calore in corrispondenza del ponte termico è più alto, la rispettiva temperatura superficiale interna  $T_{si}$  di conseguenza è più bassa. In edilizia sono di particolare importanza quelle condizioni in cui la temperatura superficiale interna scende sotto quella di rugiada, quella di rischio muffa o quella di comfort.

Il controllo della temperatura superficiale minima interna  $T_{smin}$  viene eseguito per diverse finalità:

Condizione	Effetto	Applicato a	Um.rel. limite	$T_{smin}$ con clima standard 20°C/50%/-5°C
$T_{smin} < T_{rugiada}$	condensa superficiale	controllo condensa e serramenti	100%	9,3°C
$T_{smin} < T_{muffa}$	rischio muffa	controllo rischio muffa	80%	12,6°C
$T_{smin} < T_{comfort}$	discomfort	case passive	-	17,0°C

Avvicinandosi al ponte termico, la temperatura superficiale interna scende e contemporaneamente l'umidità relativa locale sale. Per evitare fenomeni di muffa, condensa superficiale o corrosione, l'umidità relativa deve rimanere sotto i rispettivi limiti. Questi limiti pertanto definiscono la temperatura superficiale interna minima accettabile:



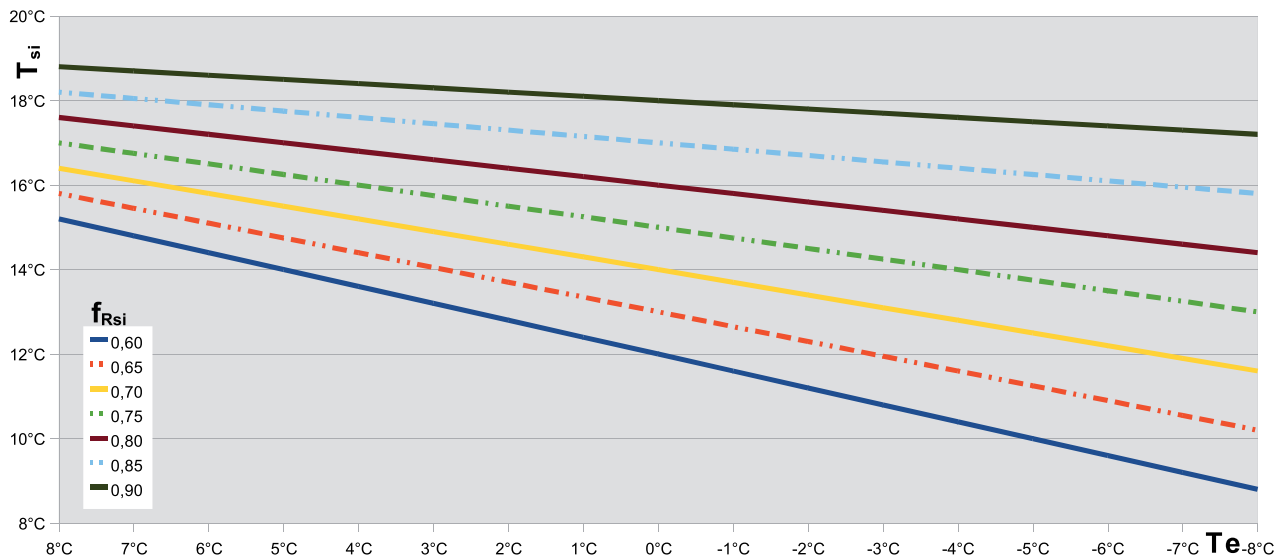
Attenzione: la verifica dei ponti termici mediante calcolo ad elementi finiti rileva soltanto la temperatura superficiale, mentre il controllo delle condense interstiziali deve essere effettuato con altri software che tengono conto del microclima definito (temperature ed umidità interne/esterne, caratteristiche dei materiali, uso dell'edificio, ... vedi UNI EN ISO 13788 e EN ISO 15026).

In modo analogo alla verifica della temperatura superficiale interna minima, viene usato il fattore di temperatura  $f_{Rsi}$ .

Rispetto alla temperatura superficiale interna minima  $T_{si}$ , il vantaggio del calcolo (e verifica) del valore  $f_{Rsi}$  è che quest'ultimo vale in modo indipendente dalla temperatura esterna, mentre la  $T_{si}$  è influenzata direttamente dal clima esterno di progetto. La tabella seguente riepiloga questa relazione:

20°C																	
Te Temperatura media mensile dell'aria esterna più bassa (Gennaio)																	
$f_{Rsi}$	8°C	7°C	6°C	5°C	4°C	3°C	2°C	1°C	0°C	-1°C	-2°C	-3°C	-4°C	-5°C	-6°C	-7°C	-8°C
0,60	15,2°C	14,8°C	14,4°C	14,0°C	13,6°C	13,2°C	12,8°C	12,4°C	12,0°C	11,6°C	11,2°C	10,8°C	10,4°C	10,0°C	9,6°C	9,2°C	8,8°C
0,65	15,8°C	15,5°C	15,1°C	14,8°C	14,4°C	14,1°C	13,7°C	13,4°C	13,0°C	12,7°C	12,3°C	12,0°C	11,6°C	11,3°C	10,9°C	10,6°C	10,2°C
0,70	16,4°C	16,1°C	15,8°C	15,5°C	15,2°C	14,9°C	14,6°C	14,3°C	14,0°C	13,7°C	13,4°C	13,1°C	12,8°C	12,6°C	12,2°C	11,9°C	11,6°C
0,75	17,0°C	16,8°C	16,5°C	16,3°C	16,0°C	15,8°C	15,5°C	15,3°C	15,0°C	14,8°C	14,5°C	14,3°C	14,0°C	13,8°C	13,5°C	13,3°C	13,0°C
0,80	17,6°C	17,4°C	17,2°C	17,0°C	16,8°C	16,6°C	16,4°C	16,2°C	16,0°C	15,8°C	15,6°C	15,4°C	15,2°C	15,0°C	14,8°C	14,6°C	14,4°C
0,85	18,2°C	18,1°C	17,9°C	17,8°C	17,6°C	17,5°C	17,3°C	17,2°C	17,0°C	16,9°C	16,7°C	16,6°C	16,4°C	16,3°C	16,1°C	16,0°C	15,8°C
0,90	18,8°C	18,7°C	18,6°C	18,5°C	18,4°C	18,3°C	18,2°C	18,1°C	18,0°C	17,9°C	17,8°C	17,7°C	17,6°C	17,5°C	17,4°C	17,3°C	17,2°C

Relazione tra  $T_{si}$  e  $f_{Rsi}$ .



## 1.6 Il calcolo dei ponti termici ad elementi finiti - UNI EN ISO 10211

Il calcolo dei ponti termici eseguito con programmi ad elementi finiti segue la legge di Fourier. Questo metodo divide la sezione analizzata in celle (chiamata griglia o mesh - più è fitta e più accurato è il risultato) che rappresentano ognuna dei nodi di calcolo, collegati con molle, le quali indicano sia il legame macroelementare che le sollecitazioni a cui sono sottoposti (termica = velocità delle molecole). L'analisi viene condotta in maniera bi o tri-dimensionale.

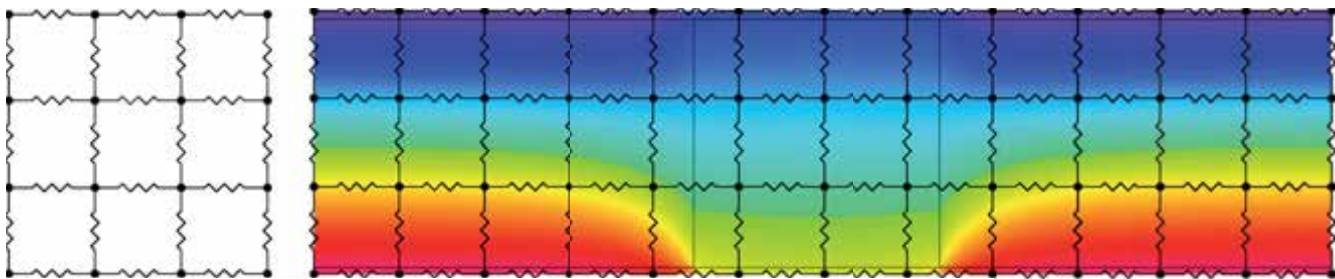
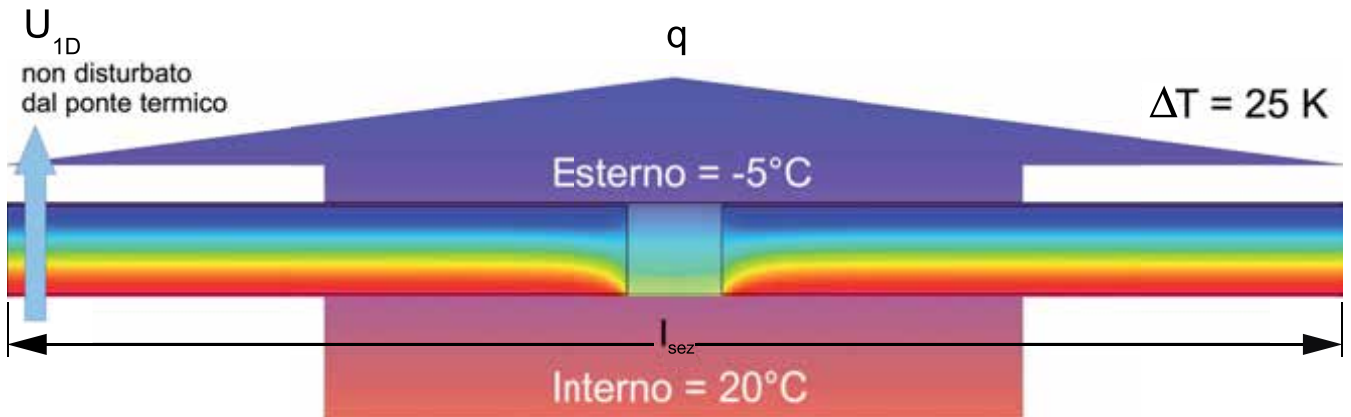


Fig. 1.2: Metodo Fourier a molle per simulare il flusso di calore; es. di griglia 13 x 4 = 52 nodi

Nel caso di ponti termici ripetitivi in un elemento costruttivo altrimenti uniforme, come travetti, listelli, giunti di malta tra blocchi di muratura o pilastri in cemento armato o legno, l'influenza di questi elementi può essere inclusa nel calcolo della trasmittanza termica (soltanto se l'errore del calcolo U è inferiore al 10% altrimenti si deve passare al calcolo ad elementi finiti) in riferimento alla norma EN ISO 6946.

**Il calcolo ad elementi finiti segue la procedura seguente:**

- individuare i ponti termici
- scegliere la sezione di taglio
- definire la griglia dei nodi necessaria
- disegnare la stratigrafia nel programma di calcolo con le distanze minime dal ponte termico
- definire le condizioni al contorno (temperature e resistenze superficiali, tagli adiabatici)
- definire l'obiettivo del calcolo (l'errore accettato per un risultato a norma)
- effettuare il calcolo iterativo per arrivare al flusso termico complessivo  $q$
- calcolare dal flusso termico complessivo  $q$  il valore  $L_{2D}$  (coefficiente di accoppiamento termico lineico) e  $\Psi$  (trasmissione termica lineica PSI) e/o analizzare la temperatura superficiale interna minima  $T_{\text{simin}}$ , il rispettivo  $f_{\text{Rsi}}$ .



Il metodo ad elementi finiti calcola il flusso termico complessivo della sezione (attenzione! NON della superficie intera) e ne sottrae il prodotto tra  $U_{1D}$  e la lunghezza della sezione (flusso attraverso la parete senza ponte termico), ottenendo quindi il flusso termico che viene provocato dal ponte termico:

$$q_{\text{sezione}} = L_{2D} \cdot \Delta T = (U_{1D} \cdot l + \Psi) \cdot \Delta T \quad [W/m]$$

Pertanto:

$$\Psi = \frac{q_{\text{sezione}}}{\Delta T} - U_{1D} \cdot l = L_{2D} - U_{1D} \cdot l \quad [W/mK]$$

Il calcolo standard è quello con due condizioni di temperatura (aria interna e aria esterna). Un caso particolare è costituito dagli elementi a contatto con il terreno, che ne hanno tre: temperatura dell'aria interna, dell'aria esterna e la temperatura del terreno.



## 1.7 Condizioni al contorno da applicare

Per i diversi scopi di calcolo devono essere applicati secondo le norme UNI EN ISO 10211 e UNI EN 13788 differenti condizioni al contorno. Riassumiamo di seguito le condizioni più importanti:

1. PSI utilizzato per calcolo energetico	Rsi	Rse
1.1 verso aria esterna	0,13	0,04
1.2 verso ambienti non riscaldati	0,13	0,04
1.3 verso terreno	0,13	0,04

*Nota: Per il calcolo energetico la scelta delle temperature interne ed esterne è indifferente per il risultato, poiché il valore  $\Psi$  è riferito a una differenza di 1 grado Kelvin, come avviene per il calcolo della trasmittanza.*

2. $T_{\text{simin}}$ per controllo condensa/muffa/comfort	Rsi	Rse	Ti	Te
2.1 superficie vetrata	0,13	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.2 metà superiore della stanza	0,25	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.3 metà inferiore della stanza	0,35	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.4 dietro mobili liberi staccati dalla parete	0,40	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.5 angoli poco ventilati, ...	0,50	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.6 dietro mobili fissati sulla parete	1,00	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{mese freddo}}$
2.5 contro terreno (profondità 3 m)	0,35	0,04	$T_{i\text{progetto}}$	$T_{e\text{med annuale}}$

*Nota: Per il calcolo delle condense superficiali (come prescritto dal D.Lgs. 311/06), NON si fa riferimento alla temperatura esterna di progetto ma alla temperatura esterna media del mese più freddo, indicata in tabella come  $T_{e\text{ mese freddo}}$  (vedi nella tabella a pag. 19 il valore in riferimento al capoluogo della rispettiva provincia).*

## 2 Riferimento normativo

### 2.1 UNI/TS 11300:2008

La specifica tecnica UNI/TS 11300:2008 rimanda a disposizioni contenute in altre pubblicazioni, in particolare per i ponti termici alla UNI EN ISO 14683.

Soltanto per la stima dei ponti termici in edifici esistenti, dove la determinazione della trasmittanza spesso è difficile, questa norma fornisce dei riferimenti su maggiorazioni percentuali dovute a ponti termici in varie situazioni:

Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici esistenti [%]	
Descrizione della struttura	Maggiorazione
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%

Tab. 1: Prospetto 4 della UNI/TS 11300:2008

## 2.2 UNI EN ISO 14683:2001

La norma UNI EN ISO 14683, specifica dei **metodi semplificati per la determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari** che si manifestano nei giunti dei diversi elementi dell'edificio, mentre tratta i ponti termici associati agli infissi delle facciate.

*Cit: "Il calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali può essere effettuato con precisione utilizzando metodi numerici di calcolo dettagliati, in accordo con la EN ISO 10211-1 (flusso termico tridimensionale) o con il UNI EN ISO 10211-2 (flusso termico bidimensionale). Tuttavia, per ponti termici lineari, possono essere usati metodi semplificati che consentono di ottenere una stima adeguata della trasmittanza termica lineica. [...]".*

UNI EN ISO 14683, pag 1, introduzione

Il paragrafo 5.1 propone quattro differenti tipologie di calcolo semplificato della trasmittanza termica lineica  $\Psi$  (d'ora in poi semplicemente  $\Psi$ ), indicando anche, come indice di validità del calcolo, una percentuale di incertezza.

Metodi	Incertezza prevista di $\Psi$
Calcolo numerico ad elementi finiti	$\pm 5\%$
Abaco dei ponti termici evoluto	$\pm 5\%$
Abaco dei ponti termici semplice	$\pm 20\%$
Calcoli manuali	$\pm 20\%$
Valori di progetto	0-50%

Tab. 2: Prospetto 1 UNI EN ISO 14683:2001

**N.B. Da notare che l'abaco ha la stessa attendibilità di un calcolo specifico a elementi finiti.**

### 2.2.1 Il calcolo numerico

Il calcolo numerico ad elementi finiti, può essere eseguito in accordo con le normative EN ISO 10211 (sia bidimensionale che tridimensionale) quando siano ben noti tutti i dettagli progettuali dell'edificio.

### 2.2.2 Abachi dei ponti termici

Gli esempi delle tipologie edilizie riportati negli abachi di ponti termici presentano essenzialmente alcuni parametri prefissati (per esempio dimensioni e materiali). In generale gli esempi forniti in un abaco non corrispondono esattamente alla particolare tipologia considerata, quindi l'applicazione del valore di  $\Psi$  preso dall'abaco, introduce un'incertezza in un particolare dettaglio.

Può essere utilizzato il valore di  $\Psi$  preso da un abaco, a condizione che le dimensioni e le proprietà termiche dell'esempio dell'abaco siano simili o termicamente meno favorevoli di quelle del dettaglio considerato. I calcoli numerici forniti nell'abaco, su cui sono basati i valori della trasmittanza termica lineica, devono essere condotti in accordo con la UNI EN ISO 10211-1. L'abaco deve anche fornire le seguenti informazioni:

- indicazioni chiare sull'ottenimento dei valori di  $\Psi$  a partire dai valori forniti dall'abaco;
- dimensioni del dettaglio e valori della trasmittanza termica delle parti omogenee;
- resistenze superficiali interna ed esterna utilizzate per il calcolo dei valori forniti nell'abaco.

Quando i dettagli del ponte termico non sono ancora completamente definiti/progettati, gli abachi evoluti cartacei forniscono strumenti utili per il progettista. Tuttavia si possono utilizzare software di calcolo con database, dove si possono variare le dimensioni e i materiali: l'accuratezza diventa in questo caso quella del calcolo numerico.

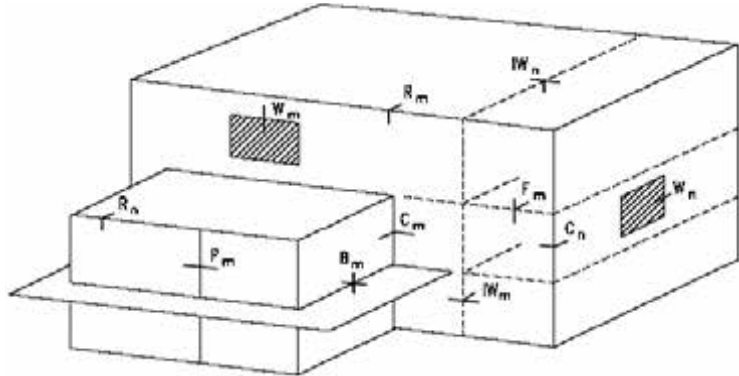
Preferibilmente, l'abaco dovrebbe fornire informazioni sull'influenza prodotta dalle variazioni delle conduttività termiche o delle dimensioni dei componenti edilizi che includono il ponte termico sulla trasmittanza termica lineica di un dato dettaglio. Questo si può realizzare mediante coefficienti tabulati che correlino la variazione della trasmittanza termica lineica con la variazione della conduttività termica e/o delle dimensioni.

### 2.2.3 Calcoli manuali

Esistono numerosi metodi di calcolo manuale eseguibili con operazioni su calcolatrici o mediante un semplice software. Tuttavia non si può fornire un'indicazione generale sull'accuratezza di questi metodi, dato che la maggior parte dei calcoli manuali si applica solo a un tipo specifico di ponte termico (per esempio costruzioni con lamine metalliche). Perciò un metodo di calcolo manuale può essere molto accurato nello specifico intervallo di applicazione, ma poco accurato al di fuori di questo campo.

### 2.2.4 Valori di progetto della trasmittanza termica lineica

I valori di progetto di  $\Psi$  per un intervallo di tipologie di ponti termici bidimensionali comunemente ricorrenti sono riportati nel prospetto A2 (abaco ponti termici della UNI EN ISO 14683). Questi devono essere utilizzati quando l'effettivo valore di  $\Psi$  non è noto, ma possono anche essere utilizzati quando non sono disponibili dettagli sul particolare ponte termico o nel caso in cui un valore approssimato di  $\Psi$  sia appropriato per l'accuratezza richiesta nella determinazione della perdita totale di calore.



## 2.3 UNI EN ISO 10211

La **UNI EN ISO 10211** è la norma principale a cui si fa riferimento per il calcolo ad elementi finiti di ponti termici. Questa spiega il metodo di calcolo, le condizioni al contorno e le limitazioni (p.es. definendo calcoli stazionari, con temperature e caratteristiche materiali fisse, ...). Come risultato si ottengono le trasmittanze termiche lineiche, le trasmittanze termiche puntuali e le temperature superficiali minime.

Nella parte 1 della norma viene anche descritto il metodo di validazione del software con tre esempi di calcolo e i rispettivi risultati.

Per quanto riguarda i serramenti, il nodo dell'attacco del telaio del serramento al muro deve essere analizzato secondo la norma UNI EN ISO 10221, mentre la norma UNI EN ISO 10077 definisce il metodo di calcolo della trasmittanza termica specifica del serramento, usando un metodo ad elementi finiti più preciso.

## 2.4 UNI EN ISO 13788

La norma **UNI EN ISO 13788** descrive il metodo di calcolo del rischio muffa, delle condense superficiali e delle condensazioni interstiziali (sostituendo il vecchio metodo "Glaser" stagionale). Per il controllo delle condense superficiali e del rischio muffe definisce le scelte microclimatiche (attenzione, cambiate dal D.Lgs 311/06) usando un calcolo mensile. Trovato il mese più rischioso si controlla con il calcolo ad elementi finiti secondo la UNI EN ISO 10211, se le temperature superficiali della stratigrafia progettata rientra nei limiti formazione muffa o condense superficiali. Questo controllo si fa verificando che il valore  $f_{Rsi}$  calcolato con il programma a elementi finiti sia maggiore di quello massimo richiesto nel mese più critico, ovvero quello con l' $f_{Rsi,max}$ :

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$$

Utilizzando il metodo B.2 che prevede condizioni di umidità relativa e temperatura interna costante (rispettivamente UR = 50+5% e T = 20°C), per alcune località italiane si ottengono i seguenti valori di  $f_{Rsi}$ , che risultano minori del limite di 0,70 dato dallo standard DIN tedesco, calcolato con una temperatura esterna fissa (e non variabile in base all'effettiva località dell'edificio) e pari a -5°C e con una umidità relativa interna del 50%.

N.B. con le condizioni al contorno previste dalla norma tedesca DIN, la temperatura superficiale limite (nella formazioni di muffa) la temperatura interna risulta pari a 12.6°C (valore ricorrente in lettura tecnica), mentre con le condizioni dettate dalla norma UNI EN 13788 la temperatura superficiale minima è costante e pari a 14.1°C.

### Calcolo pericolo di muffa secondo UNI EN ISO 13788:2003; metodo B.2 UNI $U_m=55\%$

Umidità relativa interna limite per crescita muffa	80%	$f_{Rsi}$ da calcolo a elementi finiti	0,700
--	-----	--	-------

Luogo	$T_e$	$T_i$	$j_i$	$p_{sat,i}$	$p_i$	$p_{sat}(q_{si})$	$T_{smin}$	$f_{Rsi,max}$	a norma?
Bolzano	1,2°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,685</b>	<b>OK</b>
Milano	1,7°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,677</b>	<b>OK</b>
Torino	0,4°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,698</b>	<b>OK</b>
Verona	2,4°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,664</b>	<b>OK</b>
Bologna	2,1°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,670</b>	<b>OK</b>
Firenze	5,3°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,598</b>	<b>OK</b>
Roma	7,6°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,523</b>	<b>OK</b>
Napoli	10,5°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,377</b>	<b>OK</b>
Potenza	3,6°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,639</b>	<b>OK</b>
Palermo	11,1°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,335</b>	<b>OK</b>
Cagliari	10,2°C	20°C	55%	2.337 Pa	1.285 Pa	1.607 Pa	14,1°C	<b>0,397</b>	<b>OK</b>

$T_e$	Temperatura media mensile dell'aria esterna (calcolata in tabella per ogni località per il mese di gennaio)
$T_i$	Temperatura dell'aria interna (stabilita dalla norma UNI EN 13788, appendice nazionale; metodo B2)
$j_i$	Umidità relativa media mensile dell'aria interna (stabilita dal D.lgs 311/06; allegato I, punto 8)
$p_{sat,i}$	Media mensile della pressione di saturazione nell'aria interna (calcolato)
$p_i$	Media mensile della pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria interna (calcolata)
$p_{sat}(T_{si})$	Pressione di saturazione minima accettabile (calcolata)
$T_{smin}$	Temperatura superficiale interna minima accettabile (calcolata)
$f_{Rsi}$	Fattore di temperatura misurato (calcolato)
$f_{Rsi,max}$	Fattore di temperatura di progetto massimo del mese critico (calcolato)

## 2.5 D.lgs 311/06 - D.P.R. 59/2009

Il decreto legislativo 311/06 prima (allegato I; punto 8) e il DPR 59/2009 poi, chiedono per la concessione edilizia di tutti gli edifici, tranne quelli industriali, il controllo della condensa interstiziale e la verifica dell'assenza della condensa superficiale con i seguenti parametri, più severi rispetto alla UNI EN ISO 13788, metodo B.2:

- Temperatura interna 20°C; Umidità relativa interna 65%
- Media mensile temperatura esterna della località nel mese con  $f_{Rsi,max}$  - solitamente il mese più freddo (ad es. Cogne (AO) -5.6°C)

**N.B. Con le condizioni al contorno interne previste dal DPR 59/2009, e ipotizzando una temperatura esterna ( $T_e$ ) di -5 °C, la temperatura superficiale minima interna paria a 13.2°C.**

### Calcolo assenza condensa superficiale: DPR 59/2009, metodo UNI EN ISO 13788 – B.2 con UR 65%

Capoluogo di riferimento	Milano	122 m
Comune dell'oggetto	Milano	122 m
Fattore altitudine	178 m/K	$\Delta$ alt. 0

Umidità relativa interna limite per condensa sup.	100%
---	------

Mese	$T_e$	$T_i$	$j_i$	$p_{sat,i}$	$p_i$	$p_{sat}(T_{si})$	$T_{simin}$	$f_{Rsi}$	
Gennaio	1,7°C	20°C	65%	2.337 Pa	1.519 Pa	1.519 Pa	13,2°C	0,630	
Febbraio	4,2°C							0,571	
Marzo	9,2°C							0,373	
Aprile	14,0°C								
Maggio	17,9°C								
Giugno	22,5°C								
Luglio	25,1°C								
Agosto	24,1°C								
Settembre	20,4°C								
Ottobre	14,0°C								
Novembre	7,9°C								0,440
Dicembre	3,1°C								0,599

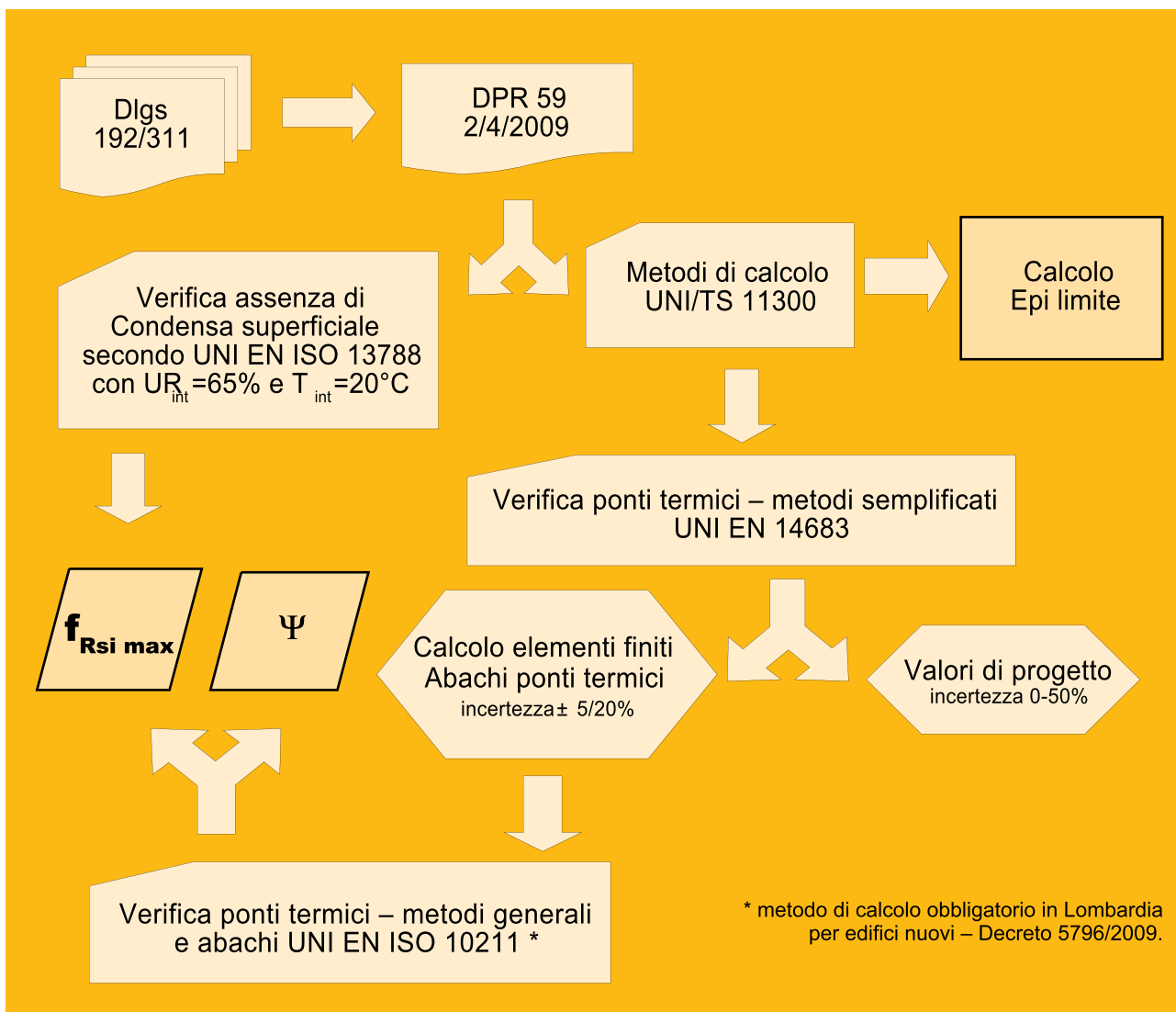
Mese più critico secondo $f_{Rsi,max}$	Gennaio
--	---------

$f_{Rsi,max}$	0,630
$f_{Rsi}$ da calcolo a elementi finiti	0,750
Struttura a NORMA?	OK

$T_e$	Temperatura media mensile dell'aria esterna della località (calcolata secondo UNI 10349)
$T_i$	Temperatura dell'aria interna (stabilita dalla norma UNI EN 13788, appendice nazionale; metodo B2)
$j_i$	Umidità relativa media mensile dell'aria interna (stabilita dal D.lgs 311/06; allegato I, punto 8)
$p_{sat,i}$	Media mensile della pressione di saturazione nell'aria interna (calcolato)
$p_i$	Media mensile della pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria interna (calcolata)
$p_{sat}(T_{si})$	Pressione di saturazione minima accettabile (calcolata)
$T_{simin}$	Temperatura superficiale interna minima accettabile (calcolata)
$f_{Rsi}$	Fattore di temperatura misurato (calcolato)
$f_{Rsi,max}$	Fattore di temperatura di progetto massimo del mese critico (calcolato)

## 2.6 Gerarchia tra norme tecniche e requisiti di legge

Prima di procedere con la lettura dell'abaco, riteniamo sia fondamentale illustrare la gerarchia e le connessioni esistenti tra le varie norme e leggi citate sin qui.





# **Abaco**

# **Ponti Termici**

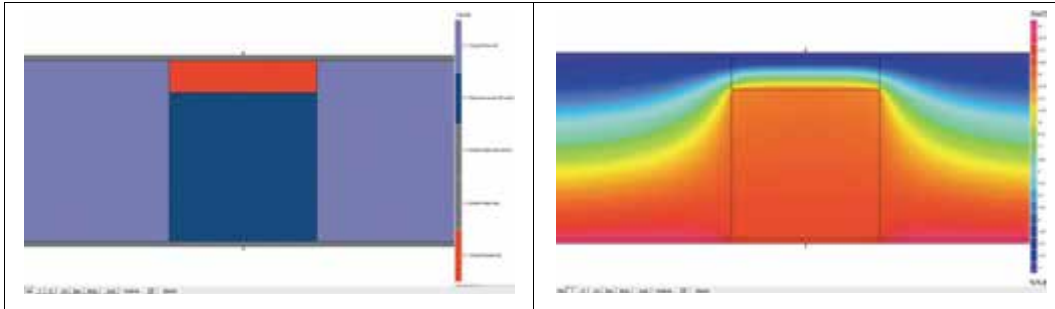
---

### 3 Abaco ponti termici: dettagli precalcolati

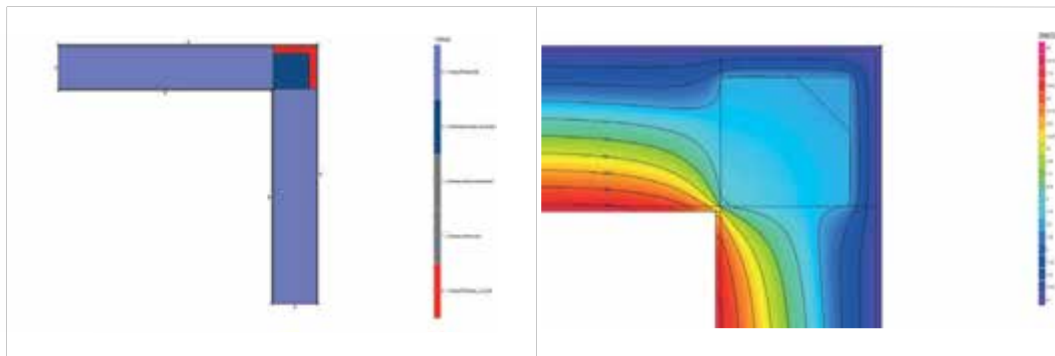
Nelle pagine seguenti sono riportati gli abachi di tutti i dettagli sotto elencati.

A pag. 18 viene illustrato come leggere l'abaco e trovare agevolmente i risultati energetici e sulle temperature relative al dettaglio analizzato.

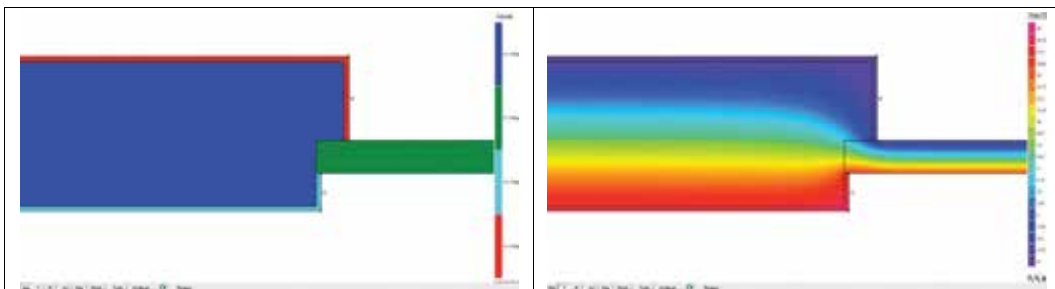
**Pag. 20 - Pilastrini correnti - (struttura portante a telaio) - Dettaglio 3.3**



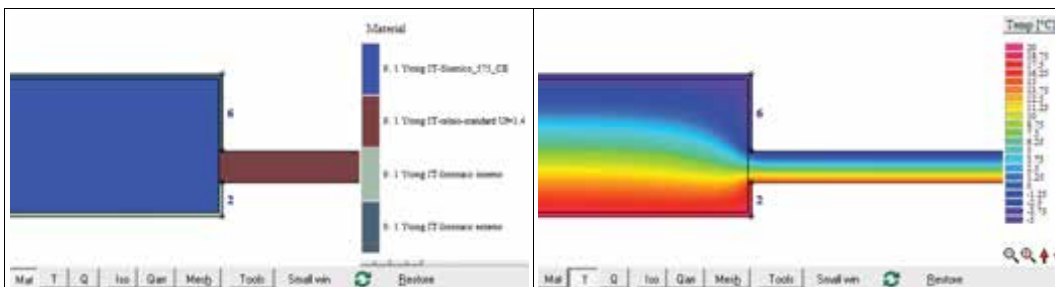
**Pag. 22 - Pilastrini d'angolo - (struttura portante a telaio) - Dettaglio 3.4**



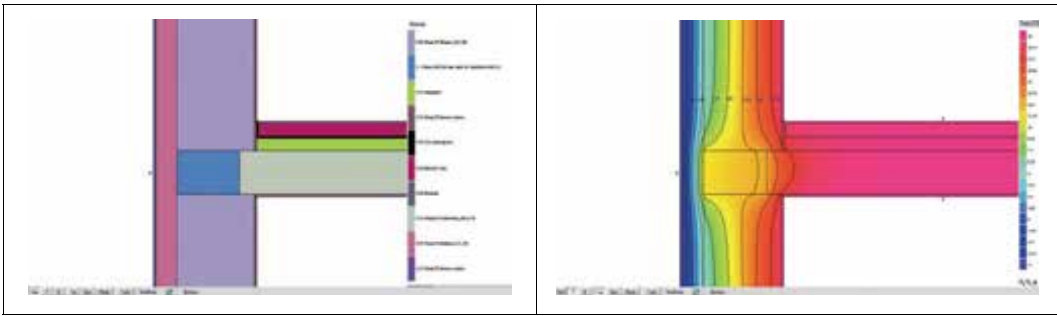
**Pag. 24 - Finestre in battuta - Dettaglio 3.5**



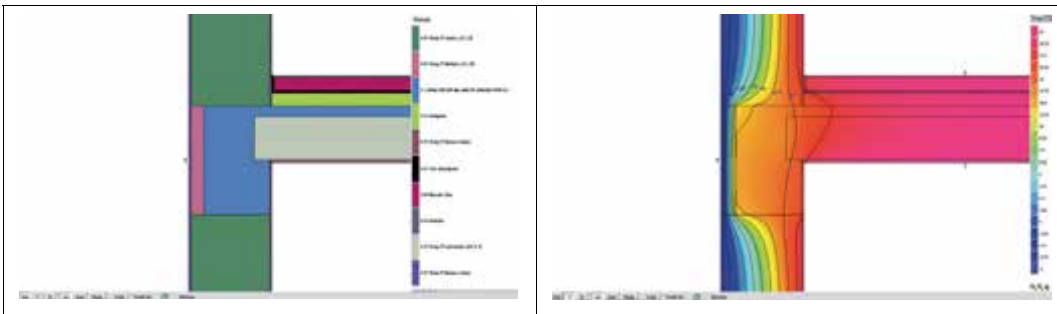
**Pag. 26 - Finestre in luce - Dettaglio 3.6**



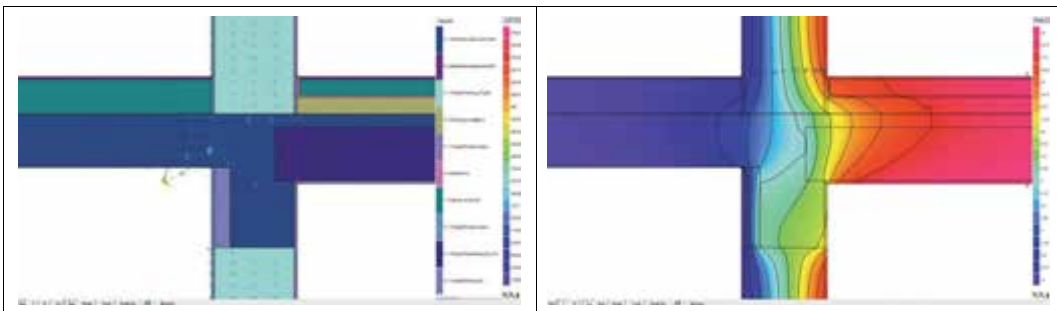
**Pag. 28** - Cordoli normali in c.a. (muratura portante in zona non sismica) - Dettaglio 3.7



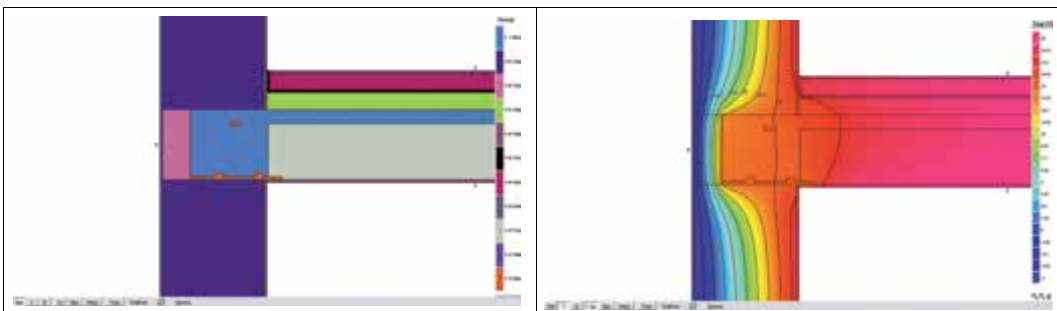
**Pag. 30** - Cordoli ribassati in c.a. (muratura portante in zona sismica) - Dettaglio 3.8



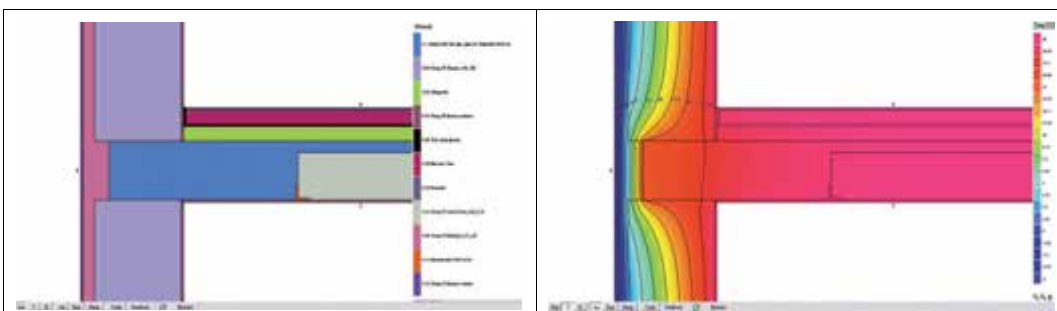
**Pag. 32** - Balconi a sbalzo in c.a. su cordoli ribassati (muratura portante in zona sismica) - Dettaglio 3.9



**Pag. 36** - Cordoli in c.a. con trave tipo REP (struttura portante a telaio) - Dettaglio 3.10



**Pag. 38** - Travi di bordo in c.a. in spessore di solaio (struttura portante a telaio) - Dettaglio 3.11



### 3.1 Come leggere l'abaco

**Tabella raggruppata per tipo di blocco**

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>

d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	Ψ <sub>PSI</sub>	f <sub>Rsi</sub>
25	5	25	0	0	0	-0,020	0,688
25	6	25	0	0	0	-0,024	0,706
25	8	25	0	0	0	-0,031	0,736
25	10	25	0	0	0	-0,035	0,760
25	12	25	0	0	0	-0,039	0,779
25	14	25	0	0	0	-0,042	0,795
25	16	25	0	0	0	-0,044	0,809
25	18	25	0	0	0	-0,046	0,821
25	20	25	0	0	0	-0,048	0,831
25	24	25	0	0	0	-0,051	0,848
25	30	25	0	0	0	-0,053	0,867

Variabili del gruppo    
 Risultati energetici    
 Risultati temperatura

U<sub>1D</sub>: Trasmittanza U della parete senza ponte termico (UNI EN 6946)

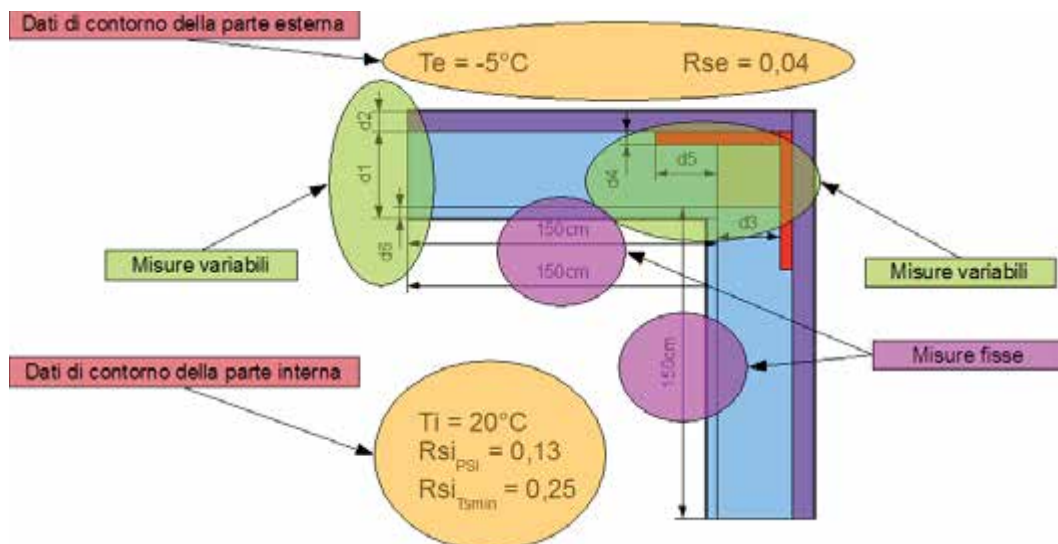
Ψ<sub>e</sub>: Trasmittanza termica lineica Ψ in riferimento alle misure esterne (UNI EN 10211)

f<sub>Rsi</sub>: Fattore di temperatura del ponte termico, da usare per il controllo del rischio muffa secondo la UNI EN 13788 e della condensa superficiale secondo il DPR 59/09 - come spiegato a pag. 6-7, si ricorda che l'f<sub>Rsi</sub> è indipendente dal delta di temperature tra interno ed esterno usato per il calcolo.

Durante la consultazione dell'abaco, per una stima rapida della T<sub>simin</sub> (Temperatura superficiale interna minima) utilizzare la tabella con le temperature esterne dei capoluoghi di provincia riportata a pagina 15, calcolando T<sub>simin</sub> con la seguente formula:

$$T_{simin} = f_{Rsi} \cdot (T_i - T_e) + T_e \text{ dove:}$$

- T<sub>i</sub> = 20°C
- R<sub>se</sub> = 0.25
- f<sub>Rsi</sub> da tabelle abaco
- T<sub>e</sub> = media mensile mese più freddo



Esempio schema ponte termico utilizzato nel calcolo.

### 3.2 Temperature medie dell'aria esterna dei capoluoghi di provincia (UNI 10349) nel mese di gennaio e relativi valori $f_{Rsi,max}$ per rischio muffa e condensa superficiale.

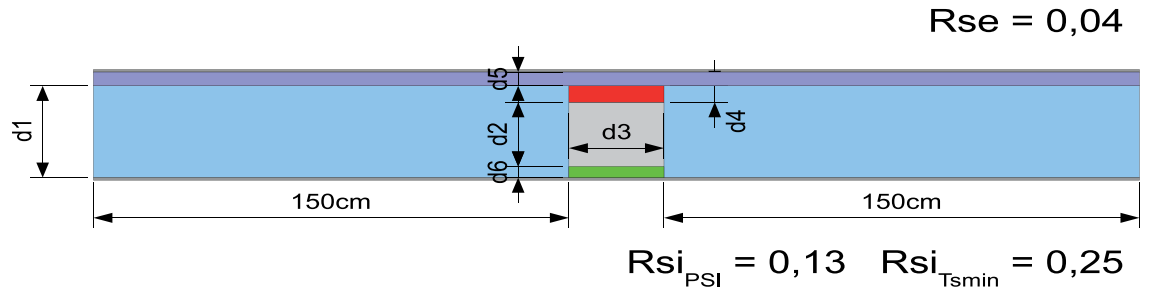
I seguenti valori tabulati possono essere usati per le verifiche del rischio muffa secondo la EN 13788 e della condensa superficiale secondo il D.Lgs 311/06 - DPR 59/09 come indicato nei paragrafi precedenti e, usando i valori  $f_{Rsi}$  ricavati dagli abachi seguenti, per il calcolo della temperatura superficiale minima interna  $T_{simin}$ , secondo quanto spiegato nel paragrafo 3.1 Come leggere l'abaco.

Provincia		Te mese freddo media gennaio °C	$f_{Rsi,max}$ DPR 59/09 condensa sup.	$f_{Rsi,max}$ EN 13788 rischio muffa
AG	AGRIGENTO	10,4	0,29	0,39
AL	ALESSANDRIA	0	0,66	0,71
AN	ANCONA	6,3	0,50	0,57
AO	AOSTA	-0,3	0,67	0,71
AR	AREZZO	5,1	0,54	0,60
AP	ASCOLI PICENO	5,5	0,53	0,59
AT	ASTI	-0,4	0,67	0,71
AV	AVELLINO	5,5	0,53	0,59
BA	BARI	8,6	0,40	0,48
BT	B. - A. - T.	8,5	0,41	0,49
BL	BELLUNO	0,1	0,66	0,70
BN	BENEVENTO	6,8	0,48	0,55
BG	BERGAMO	3,1	0,60	0,65
BI	BIELLA	-1,4	0,68	0,72
BO	BOLOGNA	2,1	0,62	0,67
BZ	BOLZANO	1,2	0,64	0,69
BS	BRESCIA	1,5	0,63	0,68
BR	BRINDISI	9,3	0,36	0,45
CA	CAGLIARI	10,3	0,30	0,39
CL	CALTANISSETTA	7,2	0,47	0,54
CB	CAMPOBASSO	3,7	0,58	0,64
CI	CARBONIA - IGLESIAS	9,7	0,34	0,43
CE	CASERTA	8,7	0,40	0,48
CT	CATANIA	10,7	0,27	0,37
CZ	CATANZARO	8,3	0,42	0,50
CH	CHIETI	5,8	0,52	0,58
CO	COMO	2,9	0,60	0,65
CS	COSENZA	8,1	0,43	0,50
CR	CREMONA	0,7	0,65	0,69
KR	CROTONE	9,5	0,35	0,44
CN	CUNEO	1,1	0,64	0,69
EN	ENNA	4,5	0,56	0,62
FM	FERMO	4,4	0,56	0,62
FE	FERRARA	1,4	0,63	0,68
FI	FIRENZE	5,3	0,54	0,60
FG	FOGGIA	6,4	0,50	0,57
FC	FORLI' - CESENA	3	0,60	0,65
FR	FROSINONE	5,8	0,52	0,58
GE	GENOVA	7,9	0,44	0,51
GO	GORIZIA	4,7	0,56	0,61
GR	GROSSETO	6,8	0,48	0,55
IM	IMPERIA	8,6	0,40	0,48
IS	ISERNIA	5,5	0,53	0,59
SP	LA SPEZIA	6,7	0,49	0,56
AQ	L'AQUILA	2	0,62	0,67
LT	LATINA	8,3	0,42	0,50
LE	LECCE	9	0,38	0,46
LC	LECCO	3,9	0,58	0,63
LI	LIVORNO	7,5	0,46	0,53
LO	LODI	0,9	0,64	0,69
LU	LUCCA	6,1	0,51	0,58
MC	MACERATA	3,8	0,58	0,64
MN	MANTOVA	1	0,64	0,69
MS	MASSA CARRARA	6,8	0,48	0,55
MT	MATERA	7,7	0,45	0,52

Provincia		Te mese freddo media gennaio °C	$f_{Rsi,max}$ DPR 59/09 condensa sup.	$f_{Rsi,max}$ EN 13788 rischio muffa
VS	MEDIO CAMPIDANO	8,9	0,39	0,47
ME	MESSINA	11,7	0,18	0,29
MI	MILANO	1,7	0,63	0,68
MO	MODENA	1,4	0,63	0,68
MB	MONZA E BRIANZA	1,5	0,63	0,68
NA	NAPOLI	10,5	0,28	0,38
NO	NOVARA	0,9	0,64	0,69
NU	NUORO	6,2	0,51	0,57
OG	OGLIASTRA	9	0,38	0,46
OT	OLBIA - TEMPIO	9,8	0,33	0,42
OR	ORISTANO	9,6	0,35	0,43
PD	PADOVA	1,9	0,62	0,67
PA	PALERMO	11,1	0,24	0,34
PR	PARMA	0,9	0,64	0,69
PV	PAVIA	0,5	0,65	0,70
PG	PERUGIA	4	0,58	0,63
PU	PESARO - URBINO	3,6	0,59	0,64
PE	PESCARA	7,2	0,47	0,54
PC	PIACENZA	0,1	0,66	0,70
PI	PISA	6,7	0,49	0,56
PT	PISTOIA	5,3	0,54	0,60
PN	PORDENONE	2,3	0,62	0,67
PZ	POTENZA	3,6	0,59	0,64
PO	PRATO	5,6	0,53	0,59
RG	RAGUSA	8,6	0,40	0,48
RA	RAVENNA	1,9	0,62	0,67
RC	REGGIO CALABRIA	11,1	0,24	0,34
RE	REGGIO EMILIA	1,1	0,64	0,69
RI	RIETI	3,7	0,58	0,64
RN	RIMINI	3,1	0,60	0,65
RM	ROMA	7,6	0,45	0,52
RO	ROVIGO	1,3	0,64	0,68
SA	SALERNO	10,4	0,29	0,39
SS	SASSARI	8,7	0,40	0,48
SV	SAVONA	6,6	0,49	0,56
SI	SIENA	4,8	0,55	0,61
SR	SIRACUSA	11,3	0,22	0,32
SO	SONDRIO	0,5	0,65	0,70
TA	TARANTO	9,2	0,37	0,45
TE	TERAMO	5,1	0,54	0,60
TR	TERNI	6,6	0,49	0,56
TO	TORINO	0,4	0,65	0,70
TP	TRAPANI	11	0,24	0,34
TN	TRENTO	1,5	0,63	0,68
TV	TREVISO	2,8	0,60	0,66
TS	TRIESTE	4,9	0,55	0,61
UD	UDINE	3,5	0,59	0,64
VA	VARESE	1,2	0,64	0,69
VE	VENEZIA	3,3	0,59	0,65
VB	V. - C. - O.	2,9	0,60	0,65
VC	VERCELLI	0,2	0,66	0,70
VR	VERONA	2,4	0,61	0,66
VV	VIBO VALENTIA	7,2	0,47	0,54
VI	VICENZA	2,4	0,61	0,66
VT	VITERBO	5,7	0,52	0,59

### 3.3 Pilastrì correnti (struttura portante a telaio)

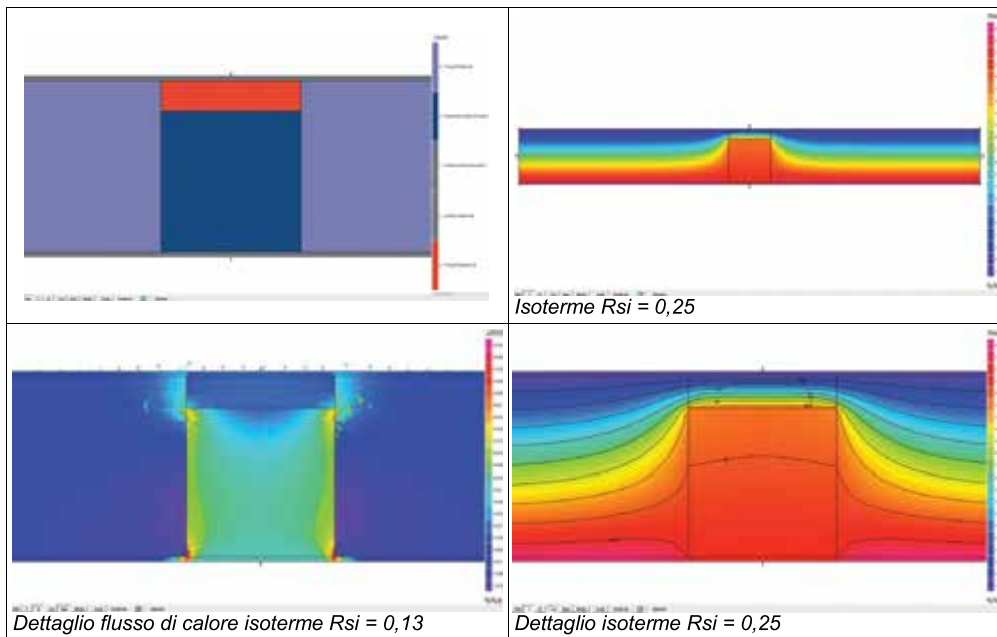
Dettaglio: **Attacco a pilastri correnti**



Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda, x=y$
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor (cappotto)	115	0,045
3	Multipor (sul pilastro)	115	0,045
4	Intonaco interno	1.400	0,800
5	Intonaco esterno	1.600	0,900
6	Calcestruzzo armato	2.200	2,100

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore pilastro in c.a.
d3	Larghezza pilastro in c.a.
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Spessore cappotto minerale (se presente)
d6	Spessore muratura di rivestimento interno del pilastro (se presente)



### Muratura di tamponamento monostrato

Blocco: Ytong Clima = 350 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda = 0,098$  W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	$\Psi_e$	fRsi
30	25	25	5	0	0	0,180	0,786
36	25	25	10	0	0	0,104	0,846
36	30	30	6	0	0	0,191	0,809

Blocco: Ytong Climagold = 300 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda = 0,085$  W/mk

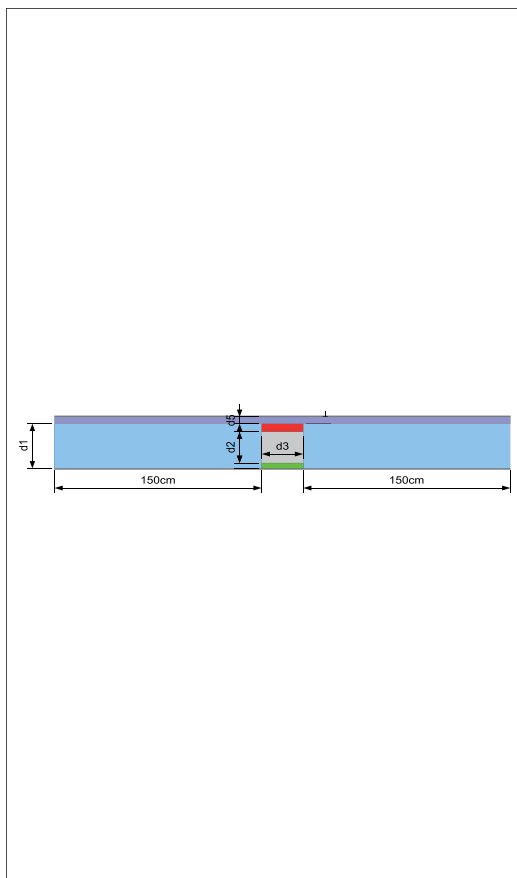
d1	d2	d3	d4	d5	d6	$\Psi_e$	fRsi
42	30	30	12	0	0	0,104	0,870
42	25	25	12	0	5	0,066	0,892
48	25	25	14	0	8	0,052	0,911
48	30	30	12	0	5	0,084	0,894



## Muratura di tamponamento con cappotto

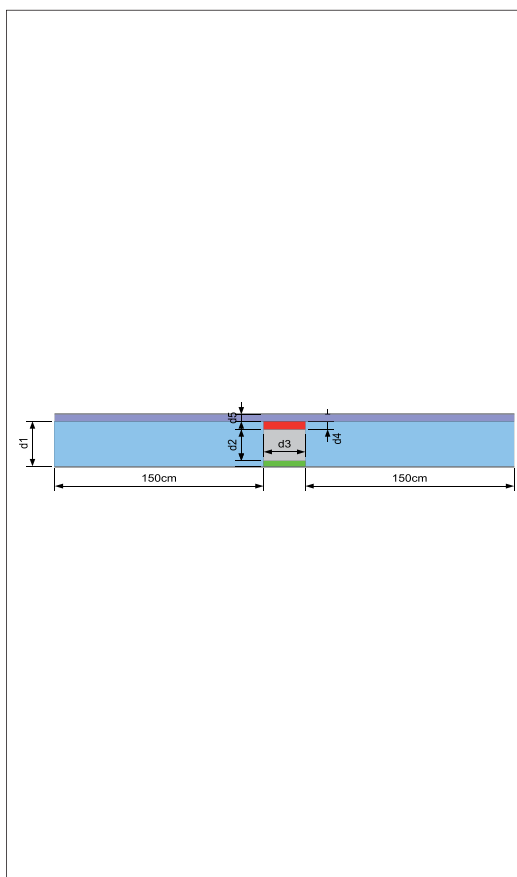
Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
25	25	25	0	5	0	0,146	0,811
25	25	25	0	6	0	0,121	0,830
25	25	25	0	8	0	0,089	0,858
25	25	25	0	10	0	0,068	0,877
25	25	25	0	12	0	0,054	0,891
25	25	25	0	14	0	0,044	0,903
25	25	25	0	16	0	0,037	0,912
25	25	25	0	18	0	0,031	0,919
25	25	25	0	20	0	0,027	0,925
25	25	25	0	24	0	0,021	0,935
25	25	25	0	30	0	0,015	0,946



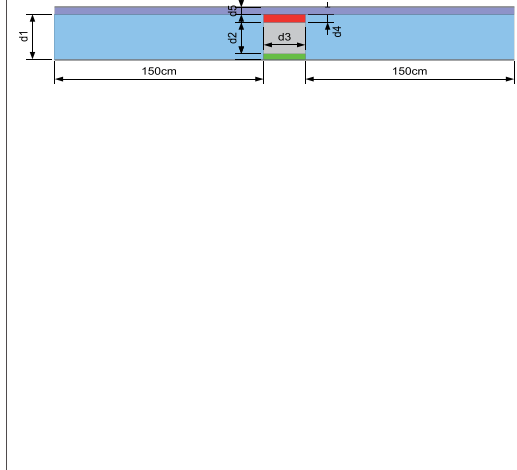
Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
30	30	30	0	5	0	0,180	0,813
30	30	30	0	6	0	0,151	0,832
30	30	30	0	8	0	0,113	0,858
30	30	30	0	10	0	0,088	0,877
30	30	30	0	12	0	0,070	0,891
30	30	30	0	14	0	0,058	0,902
30	30	30	0	16	0	0,049	0,911
30	30	30	0	18	0	0,041	0,919
30	30	30	0	20	0	0,036	0,924
30	30	30	0	24	0	0,027	0,935
30	30	30	0	30	0	0,020	0,945



Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
30	25	25	5	5	0	0,074	0,860
30	25	25	5	6	0	0,065	0,870
30	25	25	5	8	0	0,051	0,885
30	25	25	5	10	0	0,042	0,897
30	25	25	5	12	0	0,035	0,907
30	25	25	5	14	0	0,029	0,915
30	25	25	5	16	0	0,025	0,922
30	25	25	5	18	0	0,021	0,928
30	25	25	5	20	0	0,019	0,933
30	25	25	5	24	0	0,015	0,941
30	25	25	5	30	0	0,011	0,950

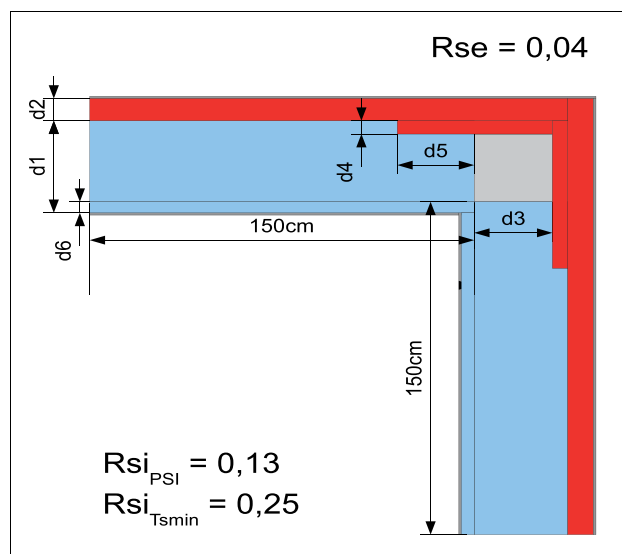
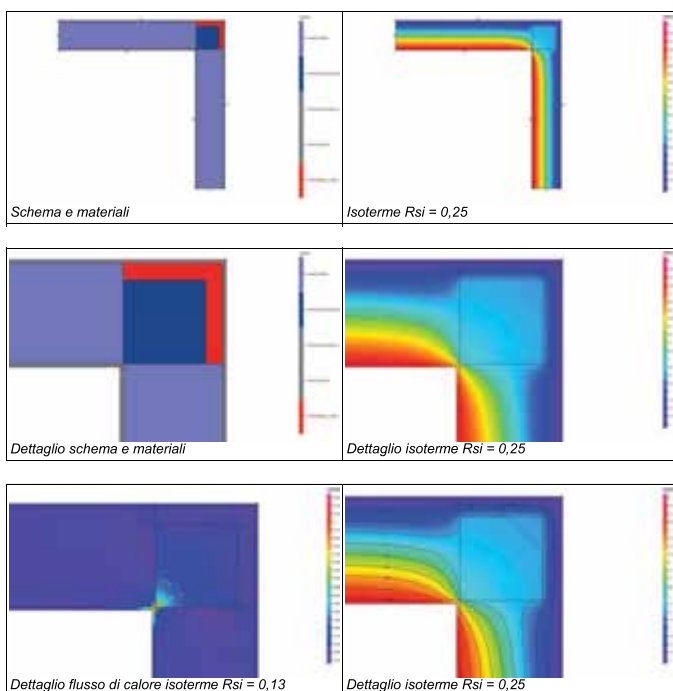


Mattone: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
36	30	30	6	5	0	0,089	0,868
36	30	30	6	6	0	0,079	0,876
36	30	30	6	8	0	0,064	0,890
36	30	30	6	10	0	0,052	0,901
36	30	30	6	12	0	0,044	0,910
36	30	30	6	14	0	0,037	0,917
36	30	30	6	16	0	0,032	0,923
36	30	30	6	18	0	0,028	0,929
36	30	30	6	20	0	0,025	0,933
36	30	30	6	24	0	0,020	0,941
36	30	30	6	30	0	0,014	0,950

### 3.4 Pilastri d'angolo (struttura portante a telaio)

Dettaglio: Attacco a pilastri d'angolo



#### Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ x=y
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor (cappotto)	115	0,045
3	Multipor (sul pilastro)	115	0,045
4	Intonaco interno	1.400	0,800
5	Intonaco esterno	1.600	0,900
6	Calcestruzzo armato	2.200	2,100

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore cappotto minerale (se presente)
d3	Dimensioni pilastro a sez. quadrata
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Sporgenza isolante su pilastro (se presente)
d6	Spessore rivestimento interno pilastro (se presente)

#### Muratura di tamponamento monostrato

Blocco: Ytong Klima = 350 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,098 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	$\Psi_e$	fRsi
30	0	25	5	0	0	-0,038	0,680
36	0	25	10	0	0	-0,068	0,733
36	0	30	6	0	0	-0,030	0,690

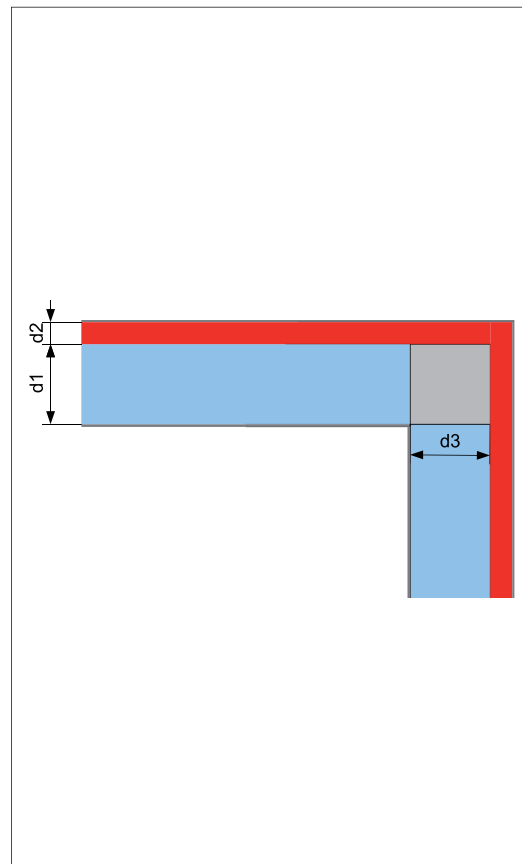
Blocco: Ytong Climagold = 300 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,085 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	$\Psi_e$	fRsi
42	0	30	12	0	0	-0,047	0,756
42	0	25	6	12	12	-0,111	0,882
42	0	25	6	0	12	-0,109	0,881
42	0	25	12	0	6	-0,102	0,869
48	0	25	14	0	8	-0,110	0,889
48	0	30	12	0	6	-0,097	0,873

## Muratura di tamponamento con cappotto

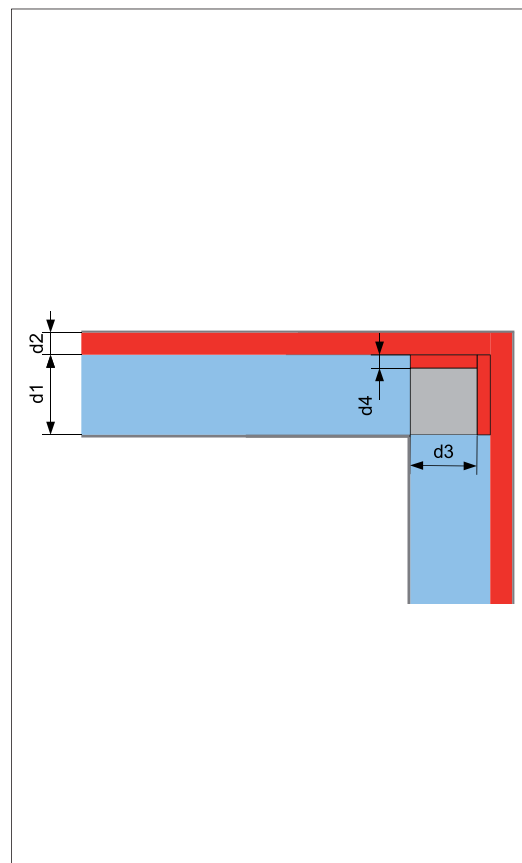
Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
25	5	25	0	0	0	-0,020	0,688
25	6	25	0	0	0	-0,024	0,706
25	8	25	0	0	0	-0,031	0,736
25	10	25	0	0	0	-0,035	0,760
25	12	25	0	0	0	-0,039	0,779
25	14	25	0	0	0	-0,042	0,795
25	16	25	0	0	0	-0,044	0,809
25	18	25	0	0	0	-0,046	0,821
25	20	25	0	0	0	-0,048	0,831
25	24	25	0	0	0	-0,051	0,848
25	30	25	0	0	0	-0,053	0,867



Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
30	5	30	0	0	0	-0,009	0,683
30	6	30	0	0	0	-0,014	0,700
30	8	30	0	0	0	-0,022	0,729
30	10	30	0	0	0	-0,028	0,752
30	12	30	0	0	0	-0,032	0,771
30	14	30	0	0	0	-0,036	0,787
30	16	30	0	0	0	-0,039	0,800
30	18	30	0	0	0	-0,041	0,812
30	20	30	0	0	0	-0,043	0,823
30	24	30	0	0	0	-0,046	0,840
30	30	30	0	0	0	-0,050	0,859



Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk

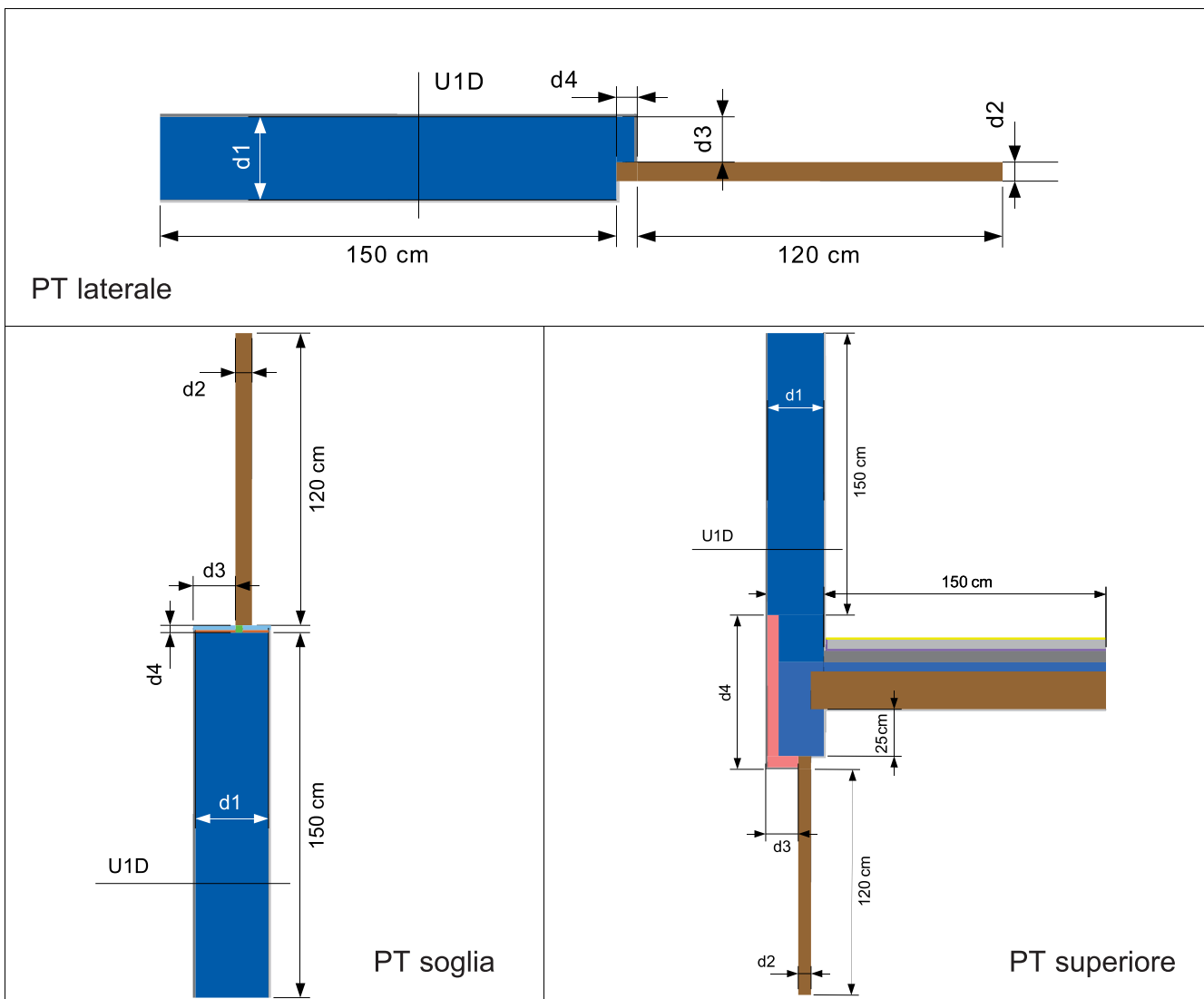
d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
30	5	25	5	0	0	-0,066	0,744
30	6	25	5	0	0	-0,066	0,756
30	8	25	5	0	0	-0,065	0,776
30	10	25	5	0	0	-0,065	0,792
30	12	25	5	0	0	-0,064	0,807
30	14	25	5	0	0	-0,064	0,819
30	16	25	5	0	0	-0,064	0,829
30	18	25	5	0	0	-0,064	0,838
30	20	25	5	0	0	-0,064	0,847
30	24	25	5	0	0	-0,064	0,860
30	30	25	5	0	0	-0,064	0,876

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	d6	Ψe	fRsi
36	5	30	6	0	0	-0,062	0,744
36	6	30	6	0	0	-0,062	0,755
36	8	30	6	0	0	-0,062	0,773
36	10	30	6	0	0	-0,062	0,789
36	12	30	6	0	0	-0,062	0,802
36	14	30	6	0	0	-0,062	0,813
36	16	30	6	0	0	-0,062	0,824
36	18	30	6	0	0	-0,062	0,833
36	20	30	6	0	0	-0,062	0,841
36	24	30	6	0	0	-0,062	0,854
36	30	30	6	0	0	-0,063	0,870

### 3.5 Finestre in battuta

Dettaglio: **Attacco serramento a battuta - muratura senza cappotto**



#### Abaco ponti termici

Materiali della costruzione			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ , x=y
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor (cappotto)	115	0,045
3	Isolante in XPS (sotto davanzale)	35	0,035
4	Intonaco interno	1.400	0,800
5	Intonaco esterno	1.600	0,900
6	Telaio standard 68 mm	500	0,130
7	Telaio performante 72 mm	500	0,100
8	Lastra di marmo sp. 2 cm	2.800	3,500
9	Schiuma PU	35	0,050
10	Malta cementizia	1.800	1,400

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore serramento
d3	Arretramentoseramento da filo esterno
d4	Laterale battuta su serramento
d4	Soglia
d4	Superiore

Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk

Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	Ψe	fRsi
laterale	30	6,8	16,4	6,8	0,067	0,8073
soglia				3,0	0,101	0,8084
superiore				82,0	0,141	0,8101
laterale	36	6,8	22,9	6,8	0,080	0,8091
soglia				3,0	0,116	0,8085
superiore				82,0	0,220	0,8099

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk

Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	Ψe	fRsi
laterale	30	6,8	16,4	6,8	0,067	0,8073
soglia				3,0	0,096	0,8075
superiore				82,0	0,207	0,8101
laterale	36	6,8	22,9	6,8	0,077	0,8091
soglia				3,0	0,108	0,8093
superiore				82,0	0,275	0,8099

Blocco: Ytong Clima = 350 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,098 W/mk

Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	Ψe	fRsi
laterale	30	6,8	16,4	6,8	0,066	0,8073
soglia				3,0	0,092	0,8084
superiore				85,6	0,338	0,8097
laterale	36	6,8	22,9	6,8	0,075	0,8091
soglia				3,0	0,102	0,8084
superiore				85,6	0,364	0,8098

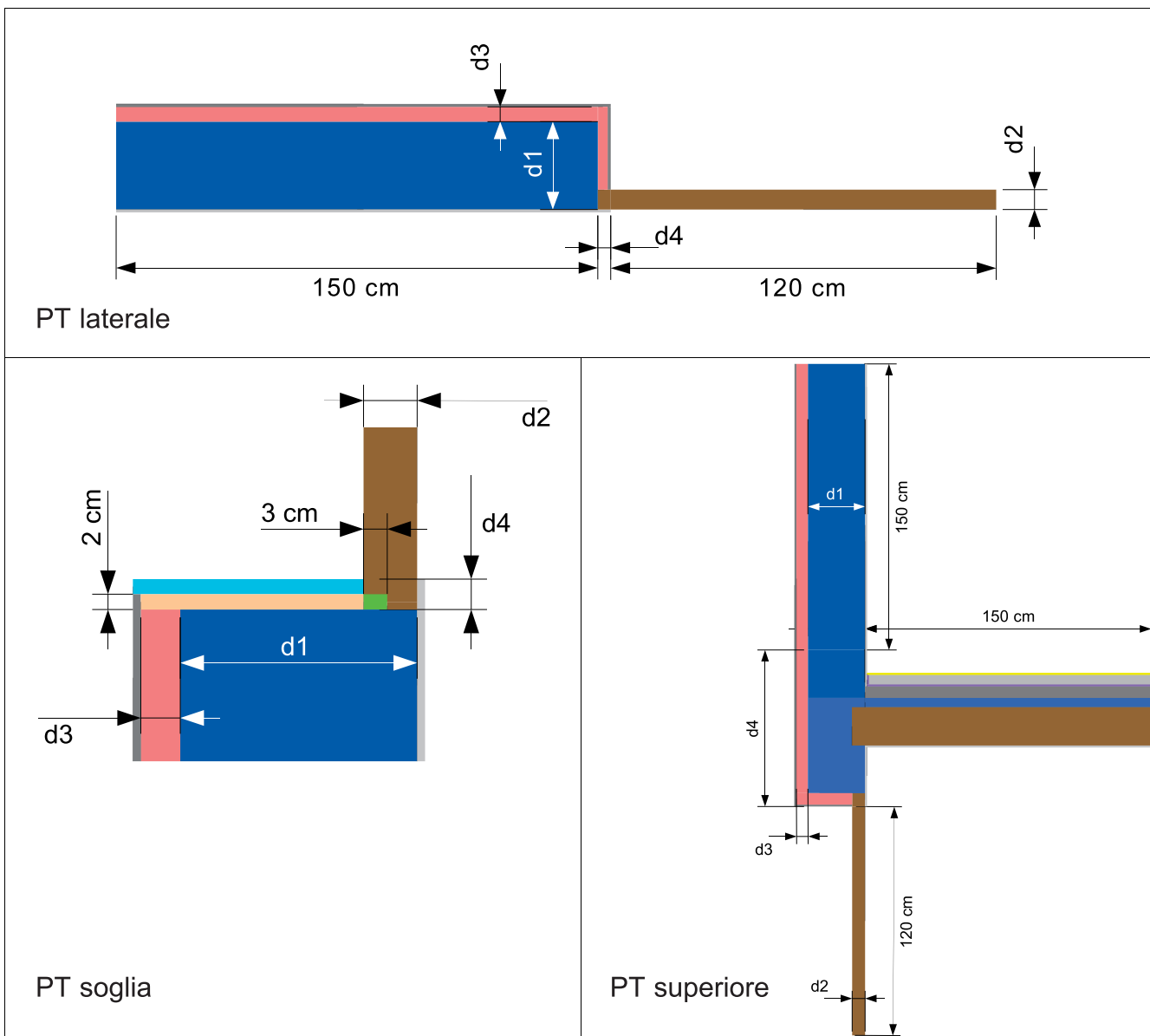
Blocco: Ytong Climagold = 300 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,085 W/mk

Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	Ψe	fRsi
laterale	42	7,2	28,0	7,2	0,066	0,8510
soglia				3,0	0,101	0,8430
superiore				88,1	0,373	0,8500
laterale	48	7,2	32,0	7,2	0,069	0,8521
soglia				3,0	0,105	0,8453
superiore				88,1	0,391	0,8512

### 3.6 Finestre in luce

Dettaglio: **Attacco serramento in luce - muratura portante con cappotto**



### Abaco ponti termici

Materiali della costruzione			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda, x=y$
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor (cappotto)	115	0,045
3	Isolante in XPS (sotto davanzale)	35	0,035
4	Intonaco interno	1.400	0,800
5	Intonaco esterno	1.600	0,900
6	Telaio standard 68 mm	500	0,130
7	Telaio performante 72 mm	500	0,100
8	Lastra di marmo sp. 2 cm	2.800	3,500
9	Schiuma PU	35	0,050

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore serramento
d3	Arretramentoserramento da filo esterno
d4	Laterale battuta su serramento
d4	Soglia
d4	Superiore



Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk  
 Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	ψ <sub>e</sub>	fR <sub>si</sub>
laterale	30	6,8	5	6	0,085	0,8069
soglia				4	0,100	0,8047
superiore				81	0,356	0,8069
laterale	30	6,8	6	6	0,087	0,8037
soglia				4	0,105	0,8047
superiore				81	0,332	0,8069
laterale	30	6,8	8	6	0,096	0,8069
soglia				4	0,113	0,8069
superiore				81	0,301	0,8069
laterale	30	7,2	10	6	0,089	0,8483
soglia				4	0,097	0,8473
superiore				81	0,270	0,8483
laterale	30	7,2	12	6	0,094	0,8483
soglia				4	0,103	0,8473
superiore				81	0,260	0,8483
laterale	30	7,2	14	6	0,099	0,8483
soglia				4	0,108	0,8473
superiore				81	0,254	0,8483
laterale	30	7,2	16	6	0,103	0,8483
soglia				4	0,112	0,8486
superiore				81	0,250	0,8507
laterale	30	7,2	18	6	0,105	0,8472
soglia				4	0,116	0,8486
superiore				81	0,248	0,8507
laterale	30	7,2	20	6	0,092	0,8483
soglia				4	0,110	0,8486
superiore				86	0,173	0,8483
laterale	30	7,2	24	6	0,097	0,8483
soglia				4	0,116	0,8494
superiore				86	0,171	0,8483
laterale	30	7,2	30	6	0,104	0,8483
soglia				4	0,152	0,8494
superiore				86	0,170	0,8483

Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk  
 Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

PT	d1	d2	d3	d4	ψ <sub>e</sub>	fR <sub>si</sub>
laterale	36	6,8	5	6	0,095	0,8069
soglia				4	0,111	0,8069
superiore				81	0,398	0,8069
laterale	36	6,8	6	6	0,098	0,8069
soglia				4	0,116	0,8069
superiore				81	0,382	0,8069
laterale	36	6,8	8	6	0,105	0,8069
soglia				4	0,123	0,8069
superiore				81	0,343	0,8069
laterale	36	7,2	10	6	0,098	0,8483
soglia				4	0,107	0,8486
superiore				81	0,312	0,8486
laterale	36	7,2	12	6	0,103	0,8483
soglia				4	0,112	0,8486
superiore				81	0,301	0,8507
laterale	36	7,2	14	6	0,108	0,8483
soglia				4	0,117	0,8483
superiore				81	0,294	0,8483
laterale	36	7,2	16	6	0,112	0,8483
soglia				4	0,121	0,8483
superiore				81	0,290	0,8483
laterale	36	7,2	18	6	0,115	0,8483
soglia				4	0,125	0,8494
superiore				81	0,287	0,8483
laterale	36	7,2	20	6	0,099	0,8483
soglia				4	0,128	0,8494
superiore				81	0,199	0,8483
laterale	36	7,2	24	6	0,105	0,8483
soglia				4	0,134	0,8494
superiore				81	0,196	0,8483
laterale	36	7,2	30	6	0,111	0,8483
soglia				4	0,141	0,8483
superiore				81	0,195	0,8483

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk  
 Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

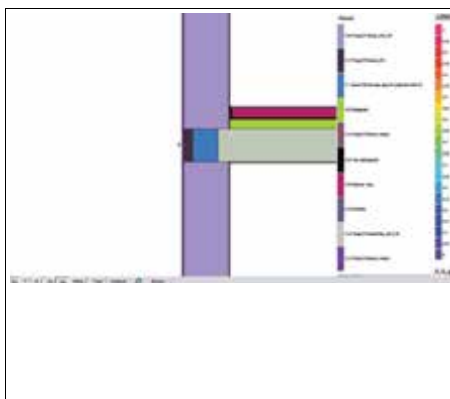
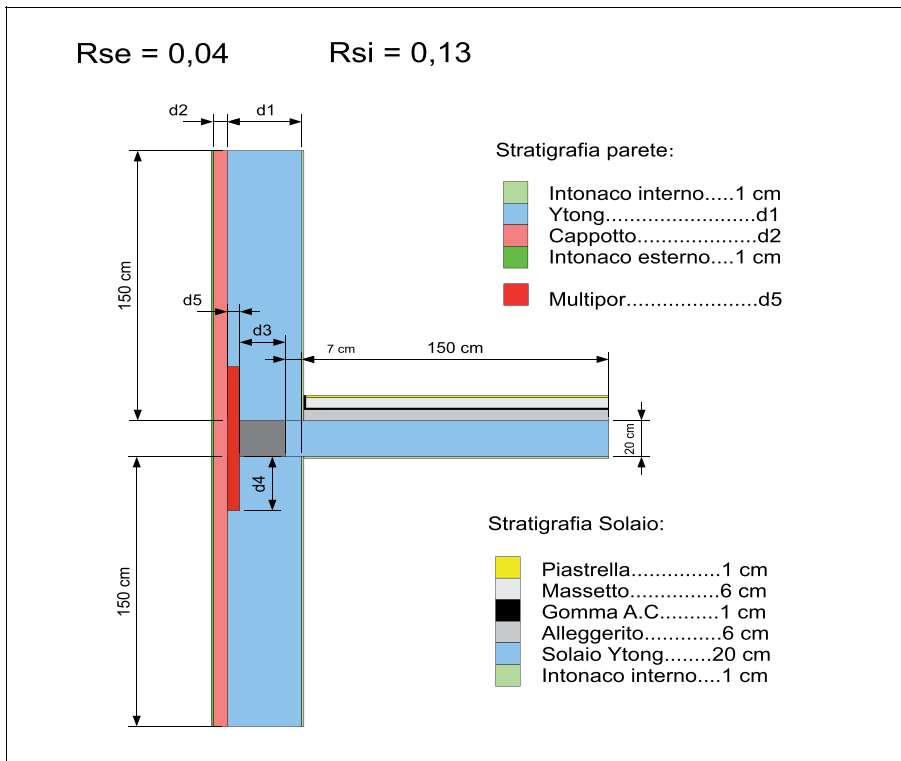
PT	d1	d2	d3	d4	ψ <sub>e</sub>	fR <sub>si</sub>
laterale	30	6,8	5	6	0,081	0,8069
soglia				4	0,091	0,8047
superiore				81	0,383	0,8069
laterale	30	6,8	6	6	0,084	0,8069
soglia				4	0,095	0,8047
superiore				81	0,355	0,8069
laterale	30	7,2	8	6	0,076	0,8483
soglia				4	0,089	0,8473
superiore				81	0,307	0,8474
laterale	30	7,2	10	6	0,105	0,8483
soglia				4	0,090	0,8473
superiore				81	0,286	0,8483
laterale	30	7,2	12	6	0,086	0,8483
soglia				4	0,095	0,8473
superiore				81	0,273	0,8483
laterale	30	7,2	14	6	0,090	0,8483
soglia				4	0,099	0,8473
superiore				81	0,265	0,8517
laterale	30	7,2	16	6	0,093	0,8483
soglia				4	0,102	0,8486
superiore				81	0,260	0,8507
laterale	30	7,2	18	6	0,096	0,8483
soglia				4	0,105	0,8486
superiore				81	0,256	0,8507
laterale	30	7,2	20	6	0,087	0,8483
soglia				4	0,108	0,8486
superiore				86	0,181	0,8483
laterale	30	7,2	24	6	0,092	0,8483
soglia				4	0,114	0,8494
superiore				86	0,177	0,8483
laterale	30	7,2	30	6	0,098	0,8483
soglia				4	0,112	0,8494
superiore				86	0,175	0,8483

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,120 W/mk  
 Telaio: d2=68: λ=0,13; d2=72: λ= 0,10

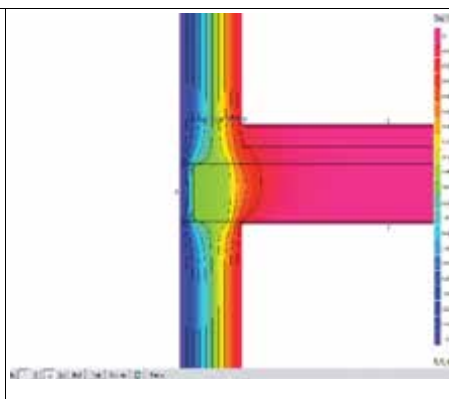
PT	d1	d2	d3	d4	ψ <sub>e</sub>	fR <sub>si</sub>
laterale	36	6,8	5	6,0	0,090	0,8069
soglia				4,0	0,101	0,8069
superiore				81,0	0,423	0,8069
laterale	36	7,2	6	6,0	0,079	0,8483
soglia				4,0	0,092	0,8473
superiore				81,0	0,383	0,8249
laterale	36	7,2	8	6,0	0,084	0,8483
soglia				4,0	0,098	0,8473
superiore				81,0	0,399	0,8392
laterale	36	7,2	10	6,0	0,089	0,8483
soglia				7,0	0,098	0,8486
superiore				81,0	0,328	0,8507
laterale	36	7,2	12	6,0	0,093	0,8483
soglia				7,0	0,102	0,8486
superiore				81,0	0,315	0,8507
laterale	36	7,2	14	6,0	0,097	0,8483
soglia				7,0	0,106	0,8483
superiore				81,0	0,306	0,8483
laterale	36	7,2	16	6,0	0,100	0,8483
soglia				7,0	0,110	0,8483
superiore				81,0	0,300	0,8483
laterale	36	7,2	18	6,0	0,103	0,8483
soglia				7,0	0,113	0,8494
superiore				81,0	0,296	0,8507
laterale	36	7,2	20	11,0	0,093	0,8483
soglia				7,0	0,116	0,8494
superiore				86,0	0,208	0,8483
laterale	36	7,2	24	11,0	0,098	0,8483
soglia				7,0	0,121	0,8494
superiore				86,0	0,203	0,8483
laterale	36	7,2	30	11,0	0,104	0,8483
soglia				7,0	0,127	0,8483
superiore				86,0	0,200	0,8483

### 3.7 Cordoli normali in c.a. (muratura portante in zona non sismica)

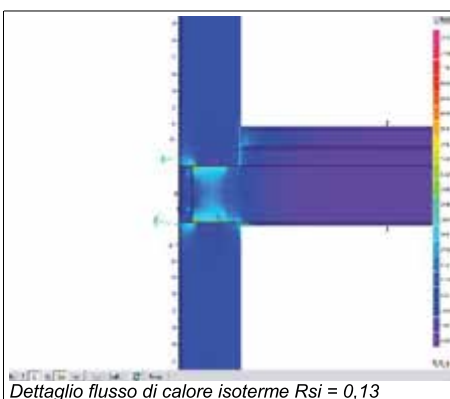
Dettaglio: **Cordolo Solaio – muratura portante – Normale**



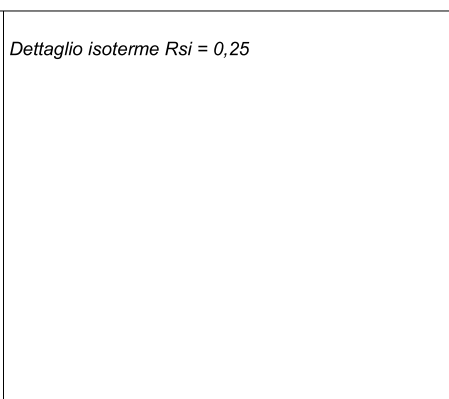
Dettaglio schema e materiali



Dettaglio isoterme  $R_{si} = 0,25$



Dettaglio flusso di calore isoterme  $R_{si} = 0,13$



Dettaglio isoterme  $R_{si} = 0,25$

## Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ x=y
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
3	Multipor	115	0,045
4	Intonaco interno	1.400	0,800
5	Intonaco esterno	1.600	0,900
6	Calcestruzzo armato	2.200	2,500
7	Piastrella	2.300	1,300
8	Massetto Cementizio	2.000	1,400
9	Gomma Anti-Calpestio	270	0,100
10	Alleggerito	300	0,350
11	Cappa collaborante	2.200	2,500
12	Calcestruzzo armato	2.200	2,500

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore cappotto minerale (se presente)
d3	Dimensioni pilastro a sez. quadrata
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Sporgenza isolante su pilastro (se presente)

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mK

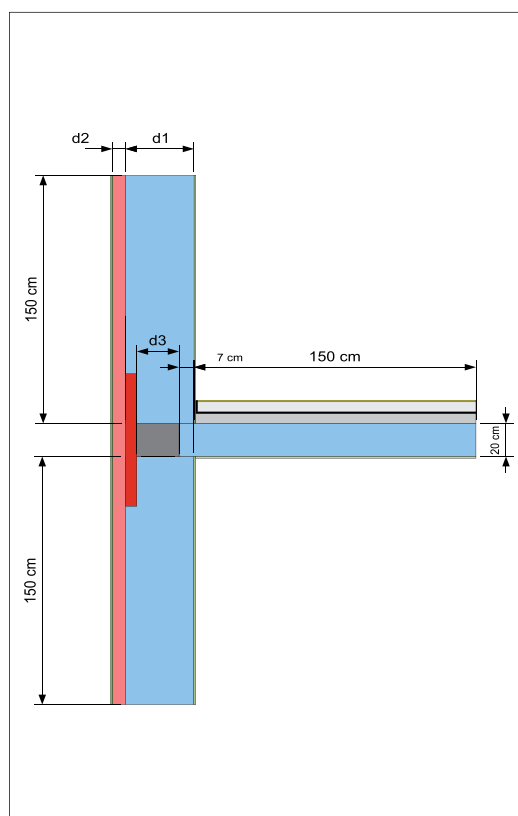
d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi	Tsmin
30	0	17	0	6	0,034	0,860	16,5°C
30	0	17	25	6	-0,017	0,883	17,1°C
36,5	0	23,5	0	6	0,055	0,865	16,6°C
36,5	0	23,5	25	6	0,013	0,884	17,1°C

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi	Tsmin
30	5	23	0	0	0,056	0,881	17,0°C
30	6	23	0	0	0,049	0,889	17,2°C
30	8	23	0	0	0,038	0,902	17,6°C
30	10	23	0	0	0,030	0,913	17,8°C
30	12	23	0	0	0,025	0,921	18,0°C
30	14	23	0	0	0,021	0,928	18,2°C
30	16	23	0	0	0,018	0,934	18,3°C
30	18	23	0	0	0,015	0,939	18,5°C
30	20	23	0	0	0,013	0,943	18,6°C
30	24	23	0	0	0,011	0,950	18,7°C
30	30	23	0	0	0,008	0,957	18,9°C

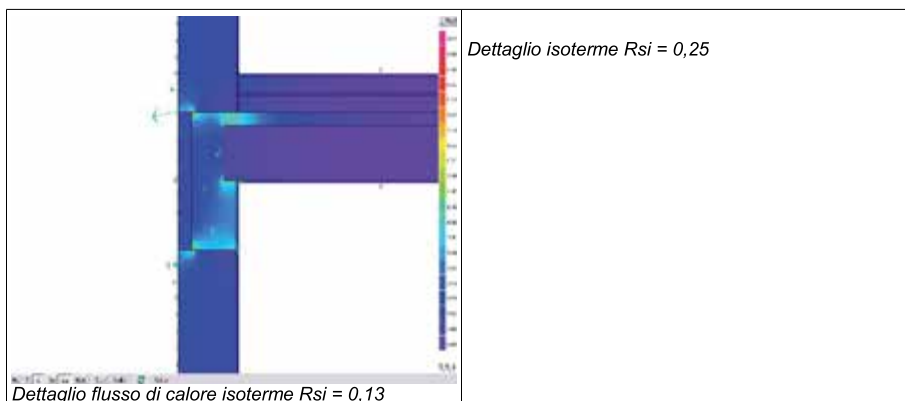
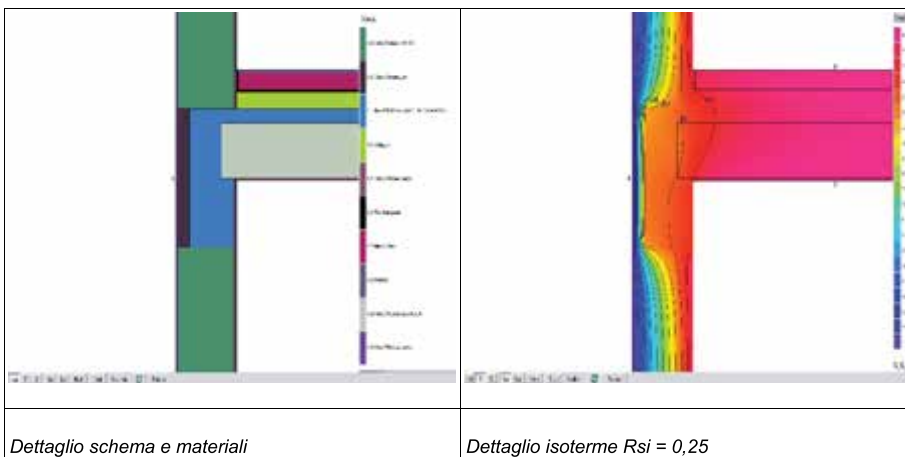
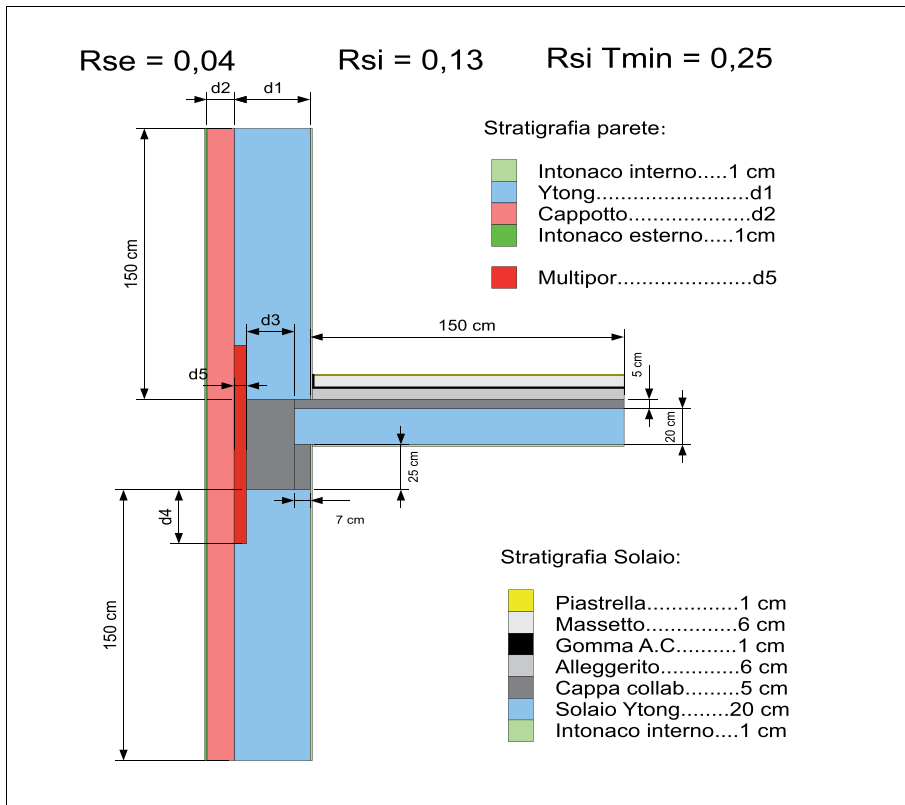
Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mK

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi	Tsmin
36,5	5	29,5	0	0	0,068	0,883	17,1°C
36,5	6	29,5	0	0	0,059	0,891	17,3°C
36,5	8	29,5	0	0	0,047	0,904	17,6°C
36,5	10	29,5	0	0	0,038	0,914	17,8°C
36,5	12	29,5	0	0	0,032	0,922	18,0°C
36,5	14	29,5	0	0	0,027	0,928	18,2°C
36,5	16	29,5	0	0	0,023	0,934	18,3°C
36,5	18	29,5	0	0	0,020	0,938	18,5°C
36,5	20	29,5	0	0	0,018	0,942	18,6°C
36,5	24	29,5	0	0	0,014	0,949	18,7°C
36,5	30	29,5	0	0	0,010	0,956	18,9°C



### 3.8 Cordoli ribassati in c.a. (muratura portante in zona sismica)

Dettaglio: **Cordolo Solaio – muratura portante – Ribassato**



## Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda, x=y$
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor	115	0,045
3	Intonaco interno	1.400	0,800
4	Intonaco esterno	1.600	0,900
5	Calcestruzzo armato	2.200	2,500
6	Piastrella	2.300	1,300
7	Massetto Cementizio	2.000	1,400
8	Gomma Anti-Calpestio	270	0,100
9	Alleggerito	300	0,350
10	Cappa collaborante	2.200	2,500
11	Calcestruzzo armato	2.200	2,500

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore cappotto minerale (se presente)
d3	Dimensioni pilastro a sez. quadrata
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Sporgenza isolante su pilastro (se presente)
d6	Spessore rivestimento interno pilastro (se presente)

Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda = 0,153$  W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	0	17	0	6	0,154	0,772
30	0	17	25	6	0,035	0,789
36	0	23	0	6	0,201	0,771
36	0	23	25	6	0,095	0,806

Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda = 0,153$  W/mk

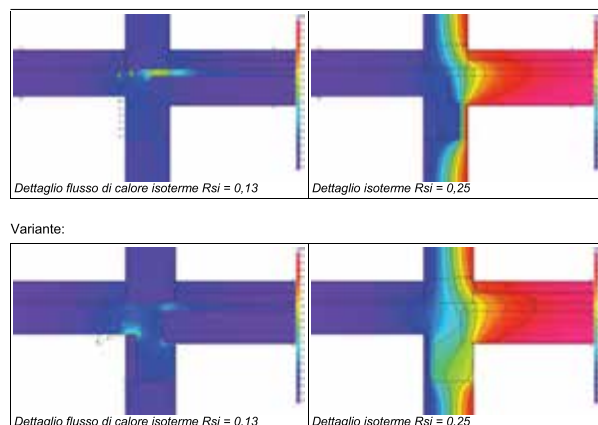
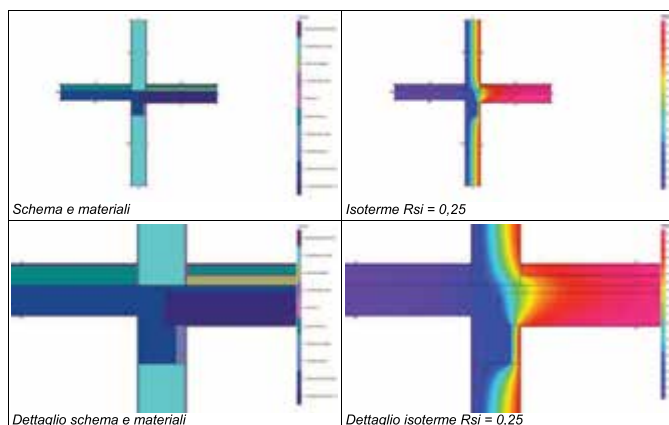
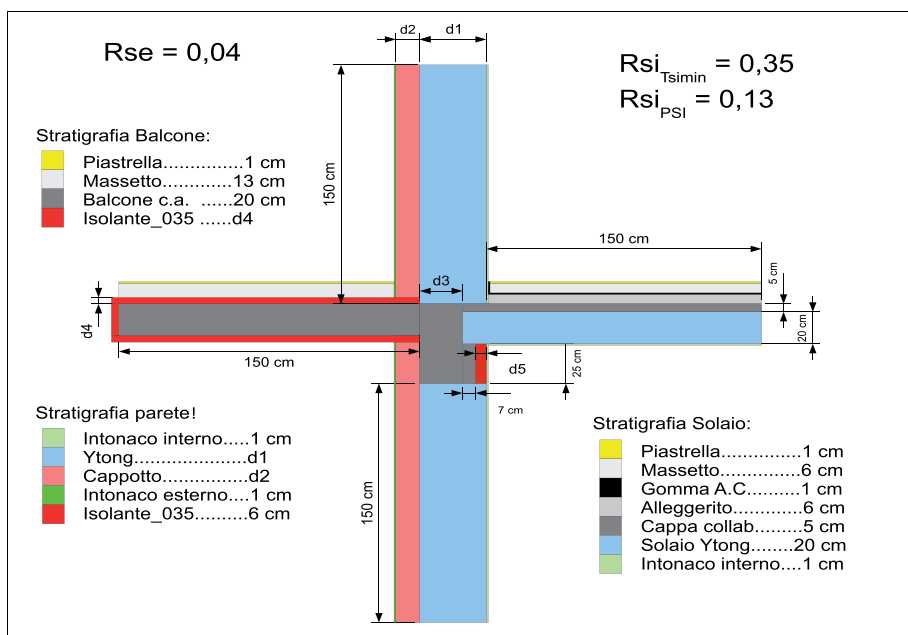
d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	5	23	0	0	0,213	0,792
30	6	23	0	0	0,177	0,813
30	8	23	0	0	0,129	0,844
30	10	23	0	0	0,098	0,866
30	12	23	0	0	0,078	0,882
30	14	23	0	0	0,063	0,895
30	16	23	0	0	0,052	0,905
30	18	23	0	0	0,044	0,913
30	20	23	0	0	0,038	0,920
30	24	23	0	0	0,029	0,931
30	30	23	0	0	0,020	0,943

Blocco: Ytong Sismico = 575 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda = 0,153$  W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
36	5	29	0	0	0,232	0,793
36	6	29	0	0	0,196	0,813
36	8	29	0	0	0,145	0,843
36	10	29	0	0	0,113	0,864
36	12	29	0	0	0,090	0,880
36	14	29	0	0	0,074	0,893
36	16	29	0	0	0,062	0,903
36	18	29	0	0	0,053	0,911
36	20	29	0	0	0,045	0,918
36	24	29	0	0	0,035	0,929
36	30	29	0	0	0,025	0,940

### 3.9 Balconi a sbalzo in c.a. su cordoli ribassati (muratura portante in zona sismica)

Dettaglio: **Attacco al balcone standard**



#### Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ x=y
1	Blocco Ytong		vedi tabella
2	Multipor	115	0,045
3	Intonaco interno	1.400	0,800
4	Intonaco esterno	1.600	0,900
5	Calcestruzzo armato	2.200	2,100
6	Isolante 035	30	0,035
7	Ytong Solaio	600	0,160
8	Piastrella	2.300	1,300
9	Massetto	2.000	1,400
10	Alleggerito	600	0,350
11	Gomma A.C.	150	0,100

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore blocco
d2	Spessore cappotto
d3	Larghezza cordolo
d4	Spessore isolante balcone
d5	Multipor interno 6 cm

Blocco: Ytong Sismico 30 cm = 575 kg/m <sup>3</sup> $\lambda = 0,153$ W/mk						
d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	0	17	0	6	0,356	0,796
30	5	17	0	6	0,369	0,831
30	6	17	0	6	0,376	0,834
30	8	17	0	6	0,387	0,840
30	10	17	0	6	0,395	0,844
30	12	17	0	6	0,400	0,848
30	14	17	0	6	0,402	0,852
30	16	17	0	6	0,403	0,856
30	18	17	0	6	0,403	0,859
30	20	17	0	6	0,402	0,862
30	24	17	0	6	0,398	0,868
30	30	17	0	6	0,388	0,875

Blocco: Ytong Sismico 30 cm = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	Ψe	fRsi
30	0	17	0	6	0,356	0,796
30	5	17	0	6	0,369	0,831
30	6	17	0	6	0,376	0,834
30	8	17	0	6	0,387	0,840
30	10	17	0	6	0,395	0,844
30	12	17	0	6	0,400	0,848
30	14	17	0	6	0,402	0,852
30	16	17	0	6	0,403	0,856
30	18	17	0	6	0,403	0,859
30	20	17	0	6	0,402	0,862
30	24	17	0	6	0,398	0,868
30	30	17	0	6	0,388	0,875

Blocco: Ytong Sismico 30 cm = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk

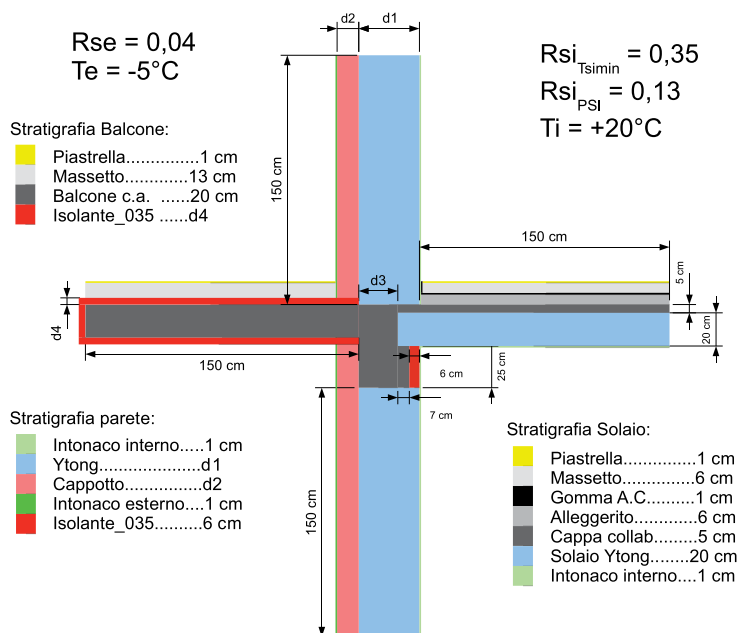
d1	d2	d3	d4	d5	Ψe	fRsi
30	0	17	0	6	0,356	0,796
30	0	17	2	6	0,212	0,823
30	5	17	2	6	0,292	0,849
30	12	17	2	6	0,321	0,867
30	30	17	2	6	0,326	0,890

Blocco: Ytong Sismico 30 cm = 575 kg/m<sup>3</sup> λ = 0,153 W/mk

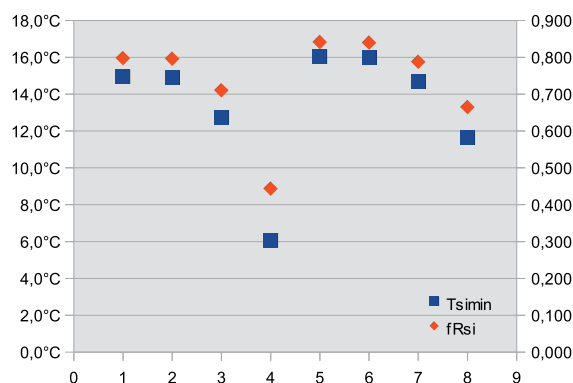
d1	d2	d3	d4	d5	Ψe	fRsi
30	0	17	0	6	0,356	0,796
30	5	17	6	6	0,221	0,864
30	5	17	6	0	0,403	0,720
30	12	17	6	6	0,246	0,886
30	12	17	6	0	0,372	0,768
30	30	17	6	6	0,262	0,906
30	30	17	6	0	0,343	0,816

### 3.9.1 Considerazione sull'isolamento dei balconi

Confronto tra materiali di coibentazione interna del cordolo (6 cm) con o senza cappotto (8 cm) e senza coibentazione intorno al balcone:

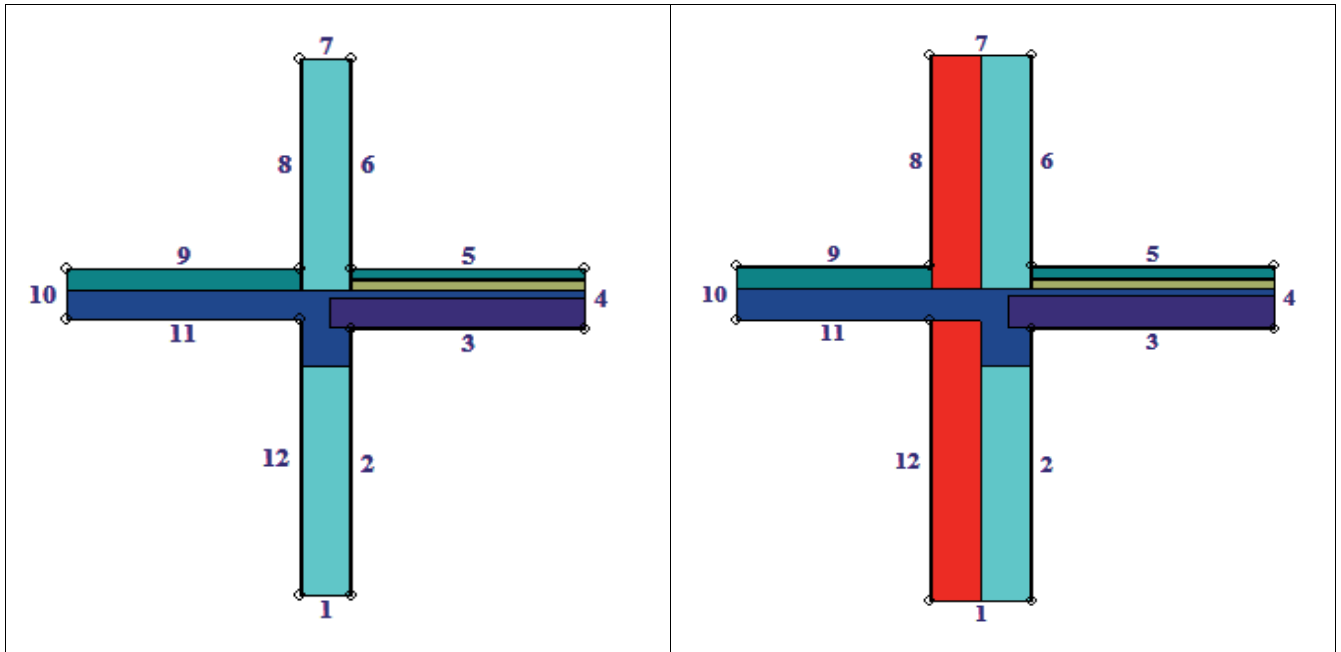


Nr	Nome Heat	Cappotto	Interno	Ts <sub>imin</sub>	fRsi
1	BalconiStd01a	0	Isolante	14,9°C	0,798
2	BalconiStd01b	0	Multipor	14,9°C	0,796
3	BalconiStd01c	0	Tavella	12,8°C	0,710
4	BalconiStd01d	0	C.A.	6,1°C	0,443
5	BalconiStd05a	8	Isolante	16,0°C	0,841
6	BalconiStd05b	8	Multipor	16,0°C	0,840
7	BalconiStd05c	8	Tavella	14,7°C	0,788
8	BalconiStd05d	8	C.A.	11,6°C	0,665

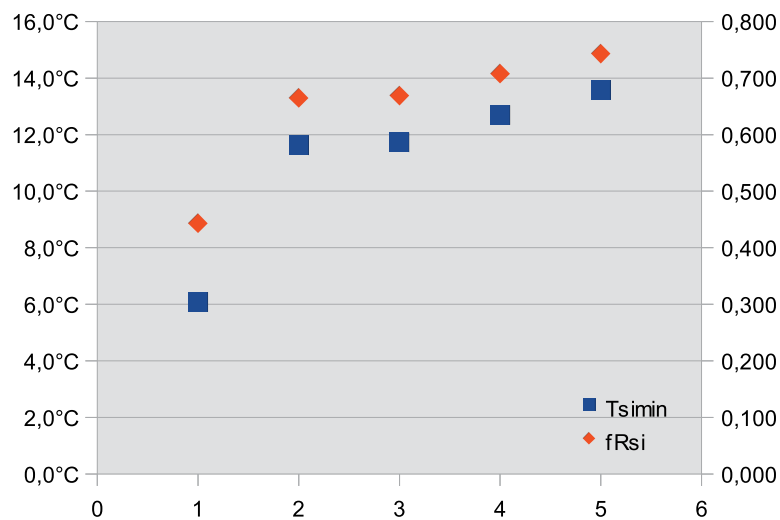




Confronto senza coibentazione interna del cordolo con diversi spessori di cappotto (0-8-12-20-30) e senza coibentazione intorno al balcone:

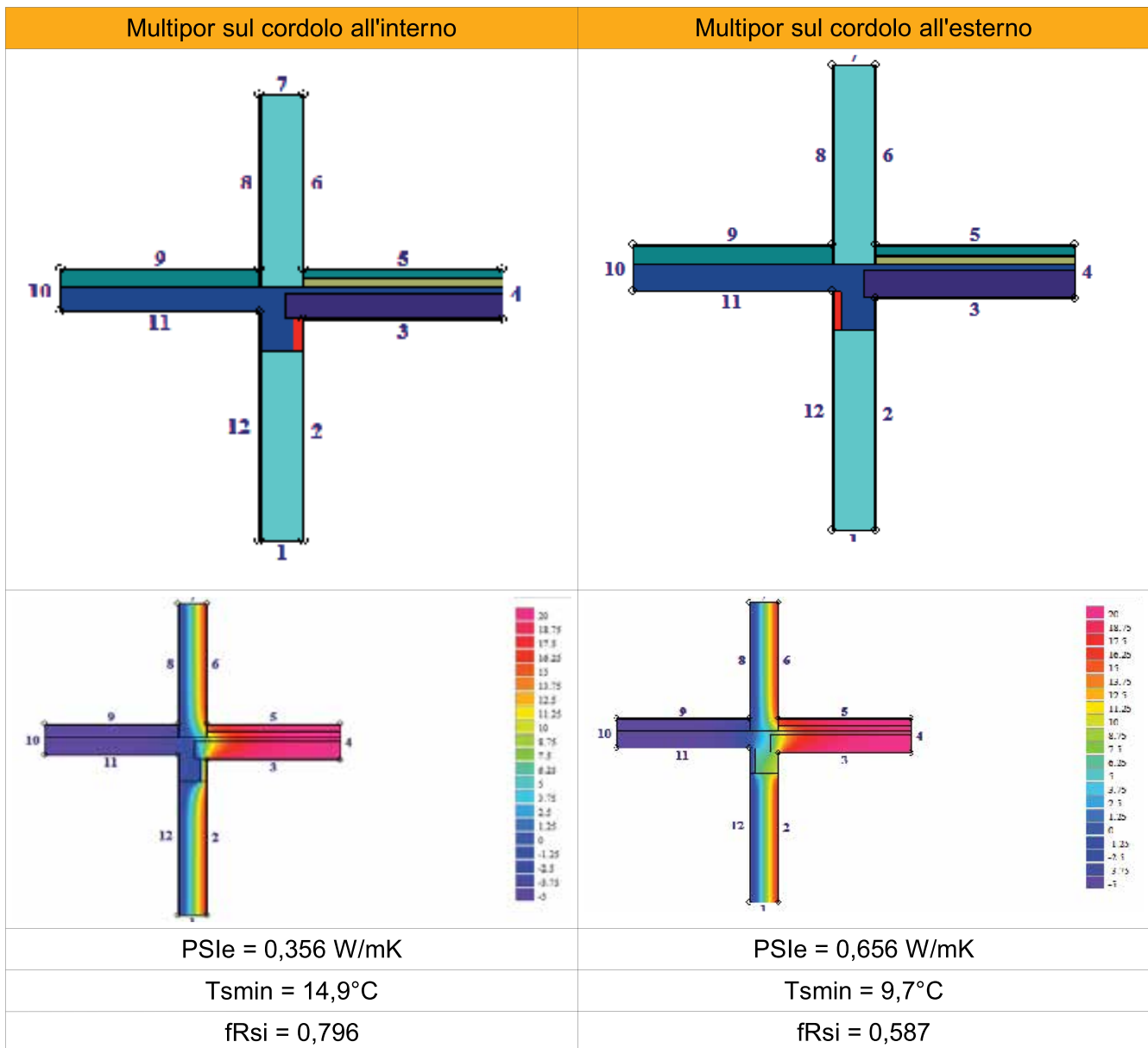


Nr	Nome Heat	Cappotto	Interno	Tsimin	fRsi
1	BalconiStd01d	0	C.A.	6,1°C	0,443
2	BalconiStd05d	8	C.A.	11,6°C	0,665
3	BalconiStd07b	12	C.A.	11,7°C	0,669
4	BalconiStd11b	20	C.A.	12,7°C	0,708
5	BalconiStd13b	30	C.A.	13,6°C	0,743



Neanche con 30 cm di cappotto si arriva senza coibentazione del cordolo interna a valori  $f_{Rsi} > 0,80$ .

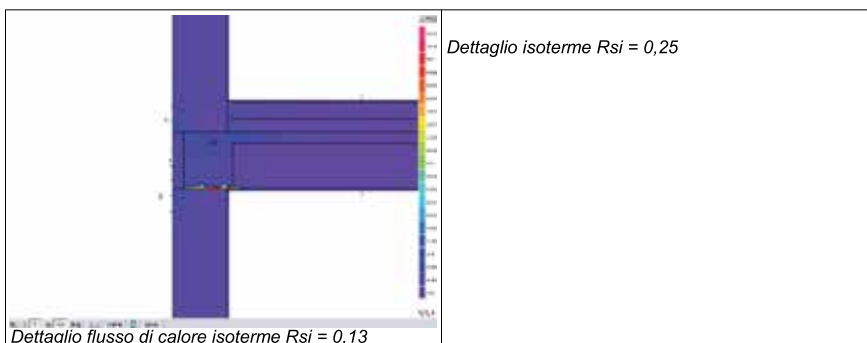
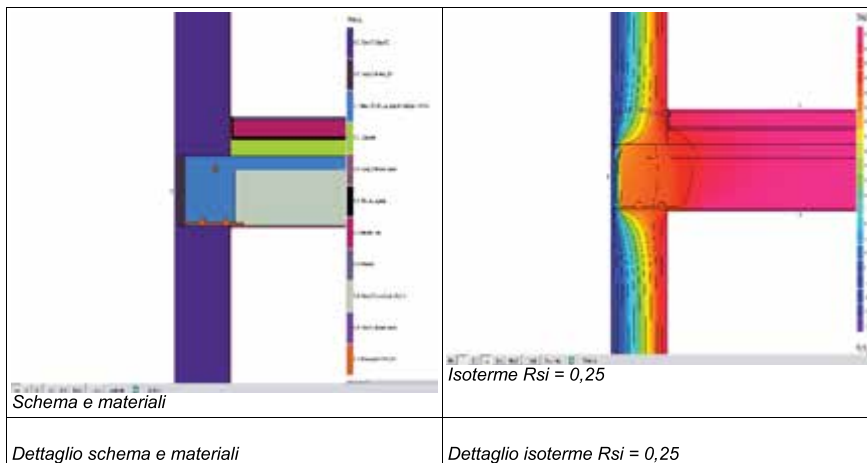
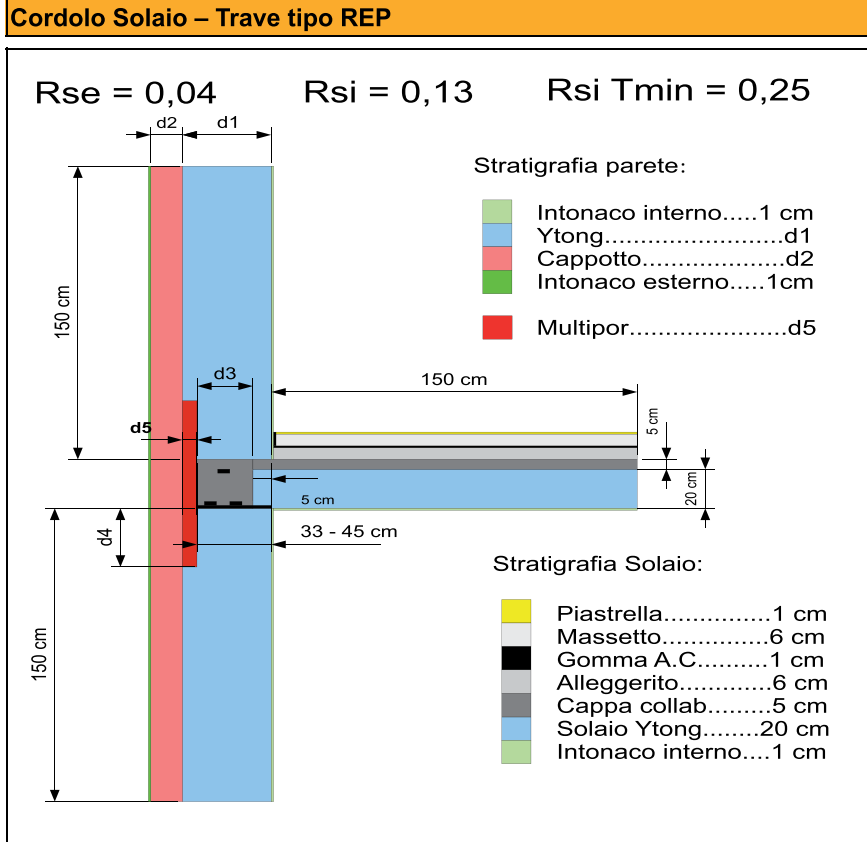
Confronto con coibentazione interna o esterna del cordolo senza cappotto e senza coibentazione intorno al balcone:



La coibentazione esterna del cordolo non aiuta molto, meglio mettere l'isolante all'interno.

### 3.10 Cordoli in c.a. con trave tipo REP (struttura portante a telaio)

Dettaglio:



## Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ x=y
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor	115	0,045
3	Intonaco interno	1.400	0,800
4	Intonaco esterno	1.600	0,900
5	Solaio Ytong	0,16	0,16

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore cappotto minerale (se presente)
d3	Dimensioni pilastro a sez. quadrata
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Sporgenza isolante su pilastro (se presente)

Blocco: Ytong Clima = 350 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,098 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	0	28	0	5	0,181	0,767
30	0	28	25	5	0,124	0,796
30	0	40	25	5	0,140	0,844
36	0	28	0	10	0,099	0,824
36	0	28	25	10	0,041	0,855
36	0	28	0	6	0,157	0,750
36	0	28	25	6	0,107	0,782

Blocco: Ytong Climagold = 300 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,085 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
42	0	28	0	12	0,087	0,827
42	0	28	25	12	0,049	0,853
42	0	28	0	6	0,134	0,885
42	0	28	25	6	0,107	0,895
48	0	28	0	14	0,071	0,901
48	0	28	25	14	0,037	0,916
48	0	28	0	12	0,080	0,911
48	0	28	25	12	0,049	0,922
48	0	40	25	12	0,069	0,876

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
25	5	28	0	0	0,142	0,797
25	6	28	0	0	0,118	0,818
25	8	28	0	0	0,087	0,847
25	10	28	0	0	0,067	0,868
25	12	28	0	0	0,053	0,884
25	12	40	0	0	0,058	0,912
25	14	28	0	0	0,043	0,896
25	16	28	0	0	0,036	0,906
25	18	28	0	0	0,031	0,914
25	20	28	0	0	0,026	0,920
25	24	28	0	0	0,020	0,931
25	30	28	0	0	0,014	0,876

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	5	28	0	0	0,142	0,766
30	6	28	0	0	0,120	0,788
30	8	28	0	0	0,090	0,821
30	10	28	0	0	0,071	0,844
30	12	28	0	0	0,057	0,861
30	14	28	0	0	0,047	0,875
30	16	28	0	0	0,040	0,886
30	18	28	0	0	0,034	0,895
30	20	28	0	0	0,029	0,903
30	24	28	0	0	0,023	0,916
30	30	28	0	0	0,016	0,929

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	5	28	0	5	0,073	0,848
30	6	28	0	5	0,064	0,859
30	8	28	0	5	0,051	0,876
30	10	28	0	5	0,041	0,889
30	12	28	0	5	0,034	0,900
30	14	28	0	5	0,029	0,909
30	16	28	0	5	0,024	0,916
30	18	28	0	5	0,021	0,922
30	20	28	0	5	0,018	0,928
30	24	28	0	5	0,014	0,936
30	30	28	0	5	0,010	0,946

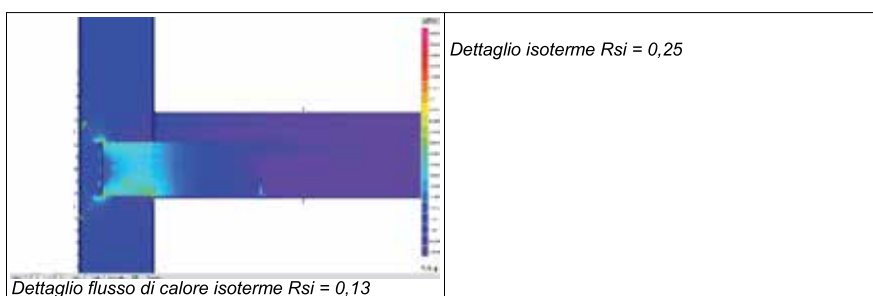
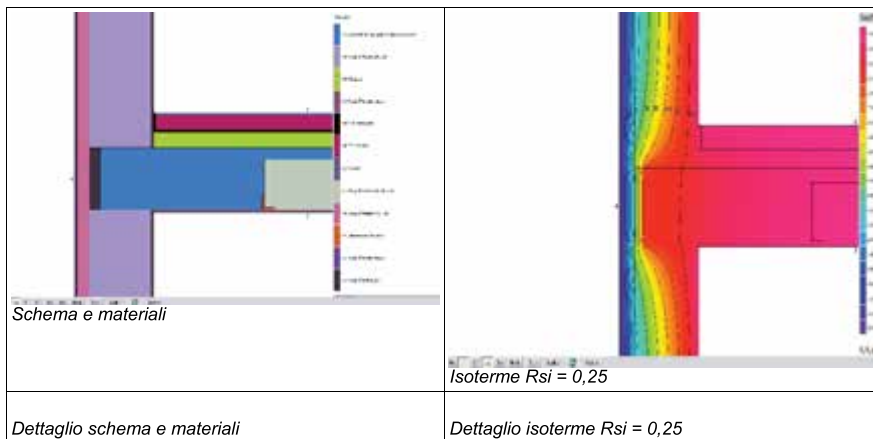
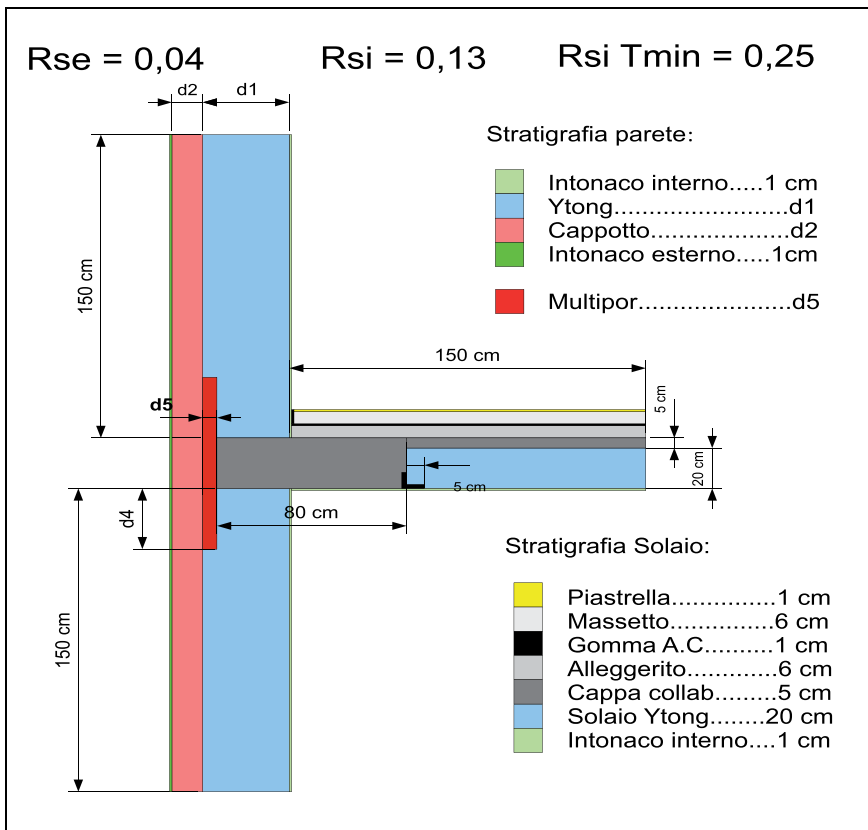
Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
36	5	28	0	6	0,073	0,832
36	6	28	0	6	0,065	0,836
36	8	28	0	6	0,052	0,854
36	10	28	0	6	0,043	0,868
36	12	28	0	6	0,036	0,880
36	12	40	0	6	0,043	0,914
36	14	28	0	6	0,031	0,890
36	16	28	0	6	0,027	0,898
36	18	28	0	6	0,023	0,905
36	20	28	0	6	0,021	0,911
36	24	28	0	6	0,016	0,921
36	30	28	0	6	0,012	0,933

### 3.11 Travi di bordo in c.a. in spessore di solaio (struttura portante a telaio)

Dettaglio:

#### Cordolo Solaio – Trave in SPESSORE



## Abaco ponti termici

Descrizione materiali			
Nr	Materiale	Densità	$\lambda$ , x=y
1	Blocco Ytong	vedi tabella	
2	Multipor	115	0,046
3	Intonaco interno	1.400	0,800
4	Intonaco esterno	1.600	0,900

Legenda quote/spessori	
d1	Spessore muro in blocchi YTONG
d2	Spessore cappotto minerale (se presente)
d3	Dimensioni pilastro a sez. quadrata
d4	Spessore isolante su pilastro
d5	Sporgenza isolante su pilastro (se presente)

Blocco: Ytong Clima = 350 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,098 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	0	-	0	5	0,189	0,861
30	0	-	25	5	0,131	0,879
36	0	-	0	10	0,105	0,900
36	0	-	25	10	0,046	0,919
36	0	-	0	6	0,178	0,872
36	0	-	25	6	0,124	0,889

Blocco: Ytong Climagold = 300 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,085 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
42	0	-	0	12	0,097	0,914
42	0	-	25	12	0,049	0,919
42	0	-	0	6	0,188	0,878
42	0	-	25	6	0,149	0,891
48	0	-	0	14	0,090	0,920
48	0	-	25	14	0,049	0,933
48	0	-	0	12	0,108	0,912
48	0	-	25	12	0,067	0,925

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
24	5	-	0	-	0,149	0,878
24	6	-	0	-	0,124	0,890
24	8	-	0	-	0,091	0,909
24	10	-	25	-	0,070	0,921
24	12	-	0	-	0,055	0,931
24	14	-	0	-	0,045	0,938
24	16	-	0	-	0,038	0,944
24	18	-	0	-	0,032	0,949
24	20	-	0	-	0,027	0,953
24	24	-	0	-	0,021	0,959
24	30	-	0	-	0,015	0,966

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	5	-	-	0	0,160	0,877
30	6	-	-	0	0,135	0,889
30	8	-	-	0	0,101	0,907
30	10	-	-	0	0,079	0,919
30	12	-	-	0	0,063	0,929
30	14	-	-	0	0,052	0,936
30	16	-	-	0	0,044	0,942
30	18	-	-	0	0,037	0,947
30	20	-	-	0	0,032	0,951
30	24	-	-	0	0,025	0,957
30	30	-	-	0	0,018	0,964

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
30	5	-	-	5	0,077	0,910
30	6	-	-	5	0,068	0,916
30	8	-	-	5	0,053	0,926
30	10	-	-	5	0,043	0,934
30	12	-	-	5	0,035	0,941
30	14	-	-	5	0,030	0,946
30	16	-	-	5	0,025	0,950
30	18	-	-	5	0,022	0,954
30	20	-	-	5	0,019	0,957
30	24	-	-	5	0,015	0,962
30	30	-	-	5	0,011	0,968

Blocco: Ytong Thermo = 450 kg/m<sup>3</sup>  $\lambda$  = 0,120 W/mk

d1	d2	d3	d4	d5	$\Psi_e$	fRsi
36	5	-	-	6	0,083	0,911
36	6	-	-	6	0,074	0,917
36	8	-	-	6	0,059	0,926
36	10	-	-	6	0,049	0,934
36	12	-	-	6	0,041	0,940
36	14	-	-	6	0,035	0,945
36	16	-	-	6	0,030	0,949
36	18	-	-	6	0,026	0,952
36	20	-	-	6	0,023	0,956
36	24	-	-	6	0,018	0,961
36	30	-	-	6	0,014	0,966

## 4 Esempi di calcolo

Per spiegare meglio il concetto del calcolo da compensazione tramite i valori PSI, analizziamo ora i seguenti esempi:

### 4.1 Esempio 1: parete con pilastro corrente

Il primo esempio è una parete esterna con pilastro in cemento armato. Il grafico mostra la parete tipo, che è composta da una parete in blocchi Ytong Climagold altamente isolante intonacata, interrotta da un pilastro in cemento armato (30 x 30 cm) con passo di ca.3,0 m.

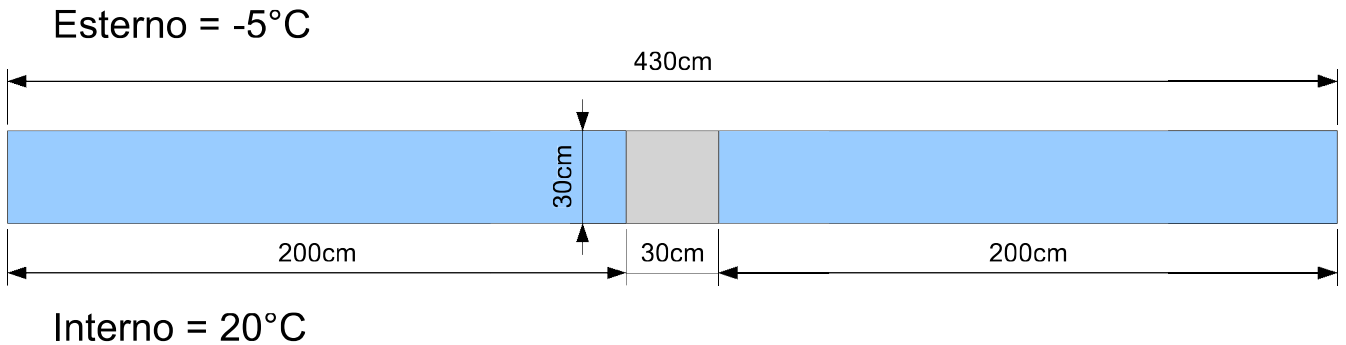


Fig. 4.1: Esempio di calcolo 1 con le misure: parete esterna con pilastro in c.a.

Parete di tamponamento in Ytong					Pilastro in cemento armato										
		Resistenza superficiale interna Rsi:		0,13			Resistenza superficiale interna Rsi:		0,13						
		Resistenza superficiale esterna Rse:		0,04			Resistenza superficiale esterna Rse:		0,04						
nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	$\lambda$ [W/mK]	s [cm]	D [m²K/W]	Stratigrafia 2	$\lambda$ [W/mK]	s [cm]	D [m²K/W]							
1	Intonaco interno	0,800	1,0	0,013	Intonaco interno	0,800	1,0	0,013							
2	Ytong	0,080	30,0	3,750	Pilastro in c.a. con acciai 2%	2,500	30,0	0,120							
3	Intonaco esterno	0,800	1,0	0,013	Intonaco esterno	0,800	1,0	0,013							
4															
5															
6															
7															
8															
9															
			Somma	<b>32,0</b>	<b>3,945</b>				Somma	<b>32,0</b>	<b>0,315</b>				
				Trasmittanza $U_{1D} = k$ [W/m²K]:		<b>0,253</b>						Trasmittanza $U_{1D} = k$ [W/m²K]:		<b>3,175</b>	

Fig. 4.2: Risultato di calcolo della trasmittanza U secondo UNI EN ISO 6946; software WaVE SpE

Per il calcolo sono stati usati i seguenti valori:

- parete composta da intonaco interno, spessore 1 cm,  $\lambda = 0,8$  W/mK  
blocco Ytong Climagold, spessore 30 cm,  $\lambda = 0,08$  W/mK  
intonaco esterno, spessore 1 cm,  $\lambda = 0,8$  W/mK
- pilastro di cemento armato larghezza 30 cm, profondità 30 cm;  $\lambda = 2,5$  W/mK

Calcolato con un software secondo il metodo di calcolo ad elementi finiti, la sezione della parete ha una perdita complessiva corrispondente al flusso di calore q pari a 51,221 W/m, che comprende ogni conduttanza termica della porzione di parete, dovuto alla differenza di temperatura interno - esterno di 25 K (20°C interni contro i -5°C esterni).

$$q = L_{2D} \cdot \Delta T = (U_{1D} \cdot l + \Psi) \cdot \Delta T \quad [W]$$



Conoscendo il valore di q (preso dal software di calcolo) e la differenza di temperatura interna/esterna (nel nostro caso 25 K = da 20°C interni a -5°C esterni) si può calcolare il valore di L<sub>2D</sub>:

$$L_{2D} = \frac{q}{\Delta T} = \frac{51,221}{25} = 2,049 \left[ \frac{W}{K} \right]$$

La differenza di temperatura è indifferente per il calcolo energetico. Più alto è il ΔT più grande sarà il flusso di calore. Per la visualizzazione delle isoterme e il controllo della temperatura superficiale interna minima si deve invece scegliere un valore secondo norma o corrispondente alla situazione reale.

Dal coefficiente di accoppiamento termico L<sub>2D</sub> si può adesso ricavare il valore Ψ del ponte termico, che corrisponde alla parte mancante. Si moltiplica infine, la trasmittanza della parte più importante della parete con la lunghezza totale della sezione scelta:

$$\Psi = L_{2D} - U_{ID} \cdot l_{sez} = 2,049 - 0,253 \cdot 4,3 = 0,961 \left[ W/K \right]$$

Come si vede, lo Ψ è la compensazione attribuita alla parete intera senza ponte termico. In questa maniera, noto il valore dello Ψ, si riesce a calcolare in maniera semplice il flusso di calore totale. Lo stesso vale per i ponti termici puntiformi.

Per arrivare al coefficiente di flusso termico totale HT si sommano il prodotto tra trasmittanza unidimensionale della parete senza ponte termico per la sua superficie, al prodotto tra il valore Ψ per la lunghezza:

$$HT = U_{ID} \cdot S + \Psi \cdot l_{PT} = 0,253 \cdot 8,9 \cdot 3,2 + 0,961 \cdot 3,2 \cdot 3 = 7,205 + 9,227 = 16,432 \left[ W/K \right]$$

La parete dell'esempio (NON la sezione analizzata in fig 4.1) ha 3 pilastri da 0,3 m e 2 porzioni di muratura di tamponamento da 4m ciascuna, pertanto la lunghezza totale è 8,9 m. L'altezza invece è assunta pari a 3,2 m. In queste condizioni si noti che il flusso di calore attraverso i ponti termici è più alto di quello che attraversa il muro intero! Il calcolo della trasmittanza secondo la UNI EN ISO 6946 NON è in questo caso a norma.

### Calcolo del valore U: UNI 6946

### Parete esterna valore U complessivo

Resistenza superficiale interna Rsi	0,13
Orizzontale	

Resistenza superficiale esterna Rse	0,04
Aria in quiete	

nr	Stratigrafia 1 dall'interno verso l'esterno	λ [W/mK]	Stratigrafia 2	λ [W/mK]	s [cm]	D [m²K/W]
1	Intonaco interno	0,800			1,0	0,013
2	Ytong	0,080	Pilastro in c.a. con acciai 2%	2,500	30,0	3,750
3	Intonaco esterno	0,800			1,0	0,013
4						
5						
6						
7						
8						
9						
			Percentuale superficie stratigrafia 2	7,0%	<b>32,0</b>	0,170

Somma

Trasmittanza U<sub>2D</sub> [W/m²K]: **0,649**

Resistenza termica R [m²K/W]: **1,541**

errore %P

**Il calcolo non è a norma!!**

Fig. 4.3: Risultato di calcolo della trasmittanza U secondo UNI EN ISO 6946; software WaVE

Come si vede dal risultato del calcolo, l'errore è del 22%, mentre per norma è accettato soltanto il 10%. La tabella seguente riassume il risultato del flusso di calore della nostra parete, ottenuto con diversi metodi:

Risultato	Calcolo k	Calcolo $k_{\text{medio}}$	Calcolo U	Calcolo elementi finiti
Trasmittanze	$k1 = 0,253 \text{ W/m}^2\text{K}$	$k1 = 0,253 \text{ W/m}^2\text{K}$ $k2 = 3,175 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,649 \text{ W/m}^2\text{K}$ <i>info non a norma</i>	
Ht coefficiente di perdita parete (altezza 3,2 m, larghezza 8,9 m)	7,2 W/K	12,6 W/K	18,5 W/K	14,9 W/K
% Ht	48%	84%	124%	100%

Tab. 3: Confronto dei risultati di diversi metodi di calcolo.

## 4.2 Esempio 2: confronto di pareti con pilastri

Se, al posto del Ytong Climagold ad alta prestazione termica, si usa un forato tradizionale con scarsa prestazione termica il valore del ponte termico  $\Psi$  diminuisce, perché il ponte termico non peggiora la parete. Per questo motivo i ponti termici inseriti in murature realizzate con blocchi altamente isolanti hanno valori  $\Psi$  molto più alti degli stessi ponti termici in murature realizzate con blocchi meno performanti; ma come si può notare, il flusso termico  $q$  si riduce comunque moltissimo usando blocchi alta prestazione. La temperatura superficiale interna minima praticamente non cambia, anzi, quella della parete scadente è più alta, perché viene riscaldata di più dal flusso trasversale della parete circostante.

Aspetto	Parete buona	Parete scarsa
$U_{1D}$ della parte senza ponte termico	$0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	$1,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
Coefficiente di trasmissione lineica $\Psi$	$0,96 \text{ W/mK}$	$0,64 \text{ W/mK}$
Flusso di calore $q$	$51 \text{ W/m}$	$151 \text{ W/m}$
Temperatura superficiale $T_{\text{smin}}$	$10,3^\circ\text{C}$	$10,4^\circ\text{C}$

Tab. 4: Confronto dei valori termici per una parete buona e una termicamente scarsa (4,3 m; sezione;  $\Delta T = 25\text{K}$ ).

## 4.3 Esempio 3: balconi

Nel terzo esempio analizziamo l'effetto di un balcone in cemento armato, alto 20 cm su tre diverse pareti esterne:

- una parete scarsa (quella precedentemente analizzata)
- una parete buona (in Ytong Climagold)
- una parete per edifici passivi (in Ytong Climagold, coibentato con 12 cm di Multipor)

La tabella mostra i risultati di calcolo ad elementi finiti:

Aspetto	Parete scarsa	Parete buona	Parete passiva
$U_{1D}$ della parte senza ponte termico	$1,258 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,253 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,144 \text{ W/m}^2\text{K}$
Coefficiente di trasmissione lineica $\Psi$	$0,415 \text{ W/mK}$	$0,697 \text{ W/mK}$	$0,614 \text{ W/mK}$
Flusso di calore $q$	$142 \text{ W/m}$	$44 \text{ W/m}$	$30 \text{ W/m}$
Temperatura superficiale $T_{\text{smin}}$	$12,6^\circ\text{C}$	$13,0^\circ\text{C}$	$14,2^\circ\text{C}$

Tab. 5: Confronto dei valori termici per un balcone (c.a. 20 cm in una parete scarsa/ buona e passiva ( $\Delta T = 25\text{K}$ )).

Anche in questo esempio vediamo, che negli elementi migliori il coefficiente  $\Psi$  del ponte termico è più alto, mentre i flussi termici scendono e la temperatura superficiale interna sale.

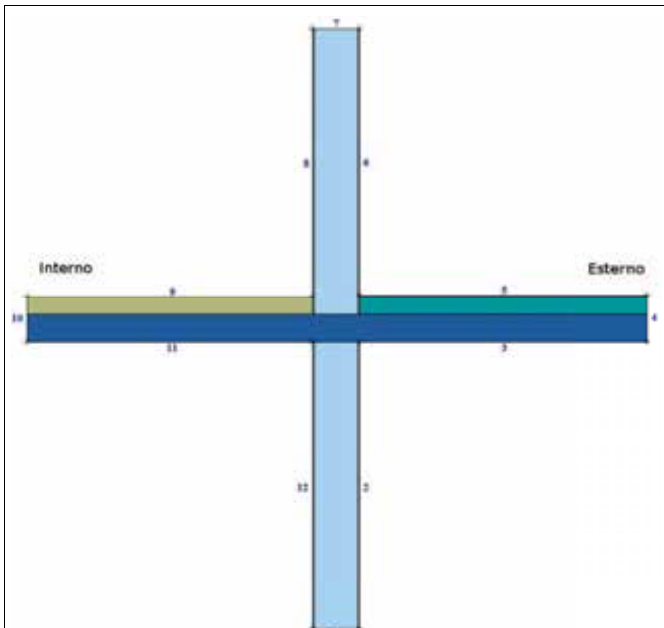


Fig. 4.4: Sezione studiata (2 m a ogni lato)

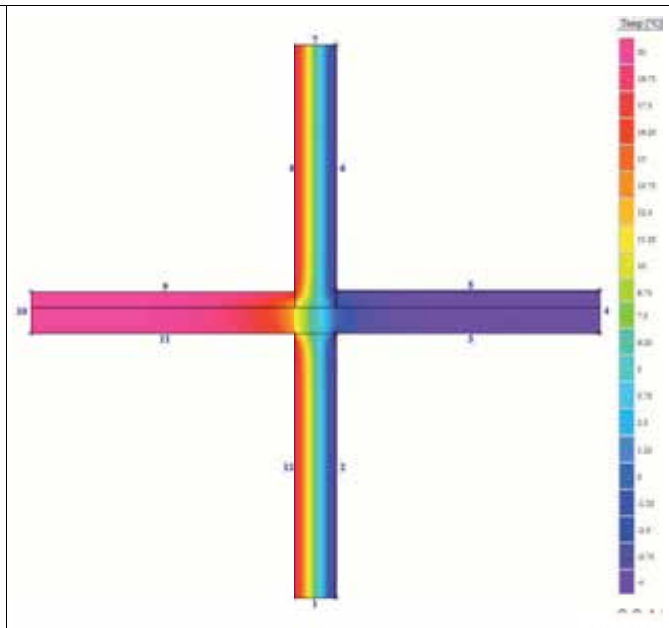


Fig. 4.5: Isotherme del calcolo ad elementi finiti

Un valore  $\Psi$  alto non significa sempre una situazione critica. Per avere una qualità buona, i valori  $\Psi$  sopra i 0,2 W/mK dovrebbero sempre insospettire e, per evitare con certezza danni dovuti a condense, è meglio progettare elementi con valori  $\Psi$  sotto lo 0,1.

#### 4.4 Esempio 4: Rsi diversi per diversi obiettivi di calcolo

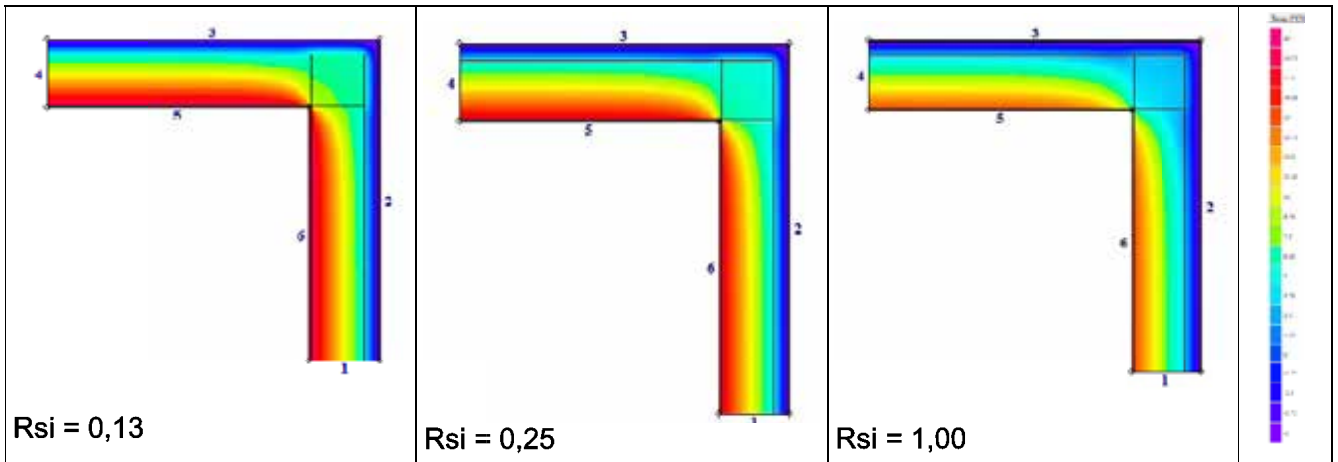
Come descritto nel capitolo 1.6 i valori di Rsi (resistenza superficiale interna) vengono differenziati per obiettivo di calcolo:

- 0,13 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è il valore  $\Psi$
- 0,13 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è  $T_{smin}$  e  $f_{Rsi}$  su vetrate
- 0,25 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è  $T_{smin}$  e  $f_{Rsi}$  sulla metà superiore della parete
- 0,35 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è  $T_{smin}$  e  $f_{Rsi}$  sulla metà inferiore della parete
- 0,35 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è  $T_{smin}$  e  $f_{Rsi}$  contro terreno
- 0,50 m<sup>2</sup>K/W se l'obiettivo di calcolo è  $T_{smin}$  e  $f_{Rsi}$  dietro mobili e angoli poco ventilati

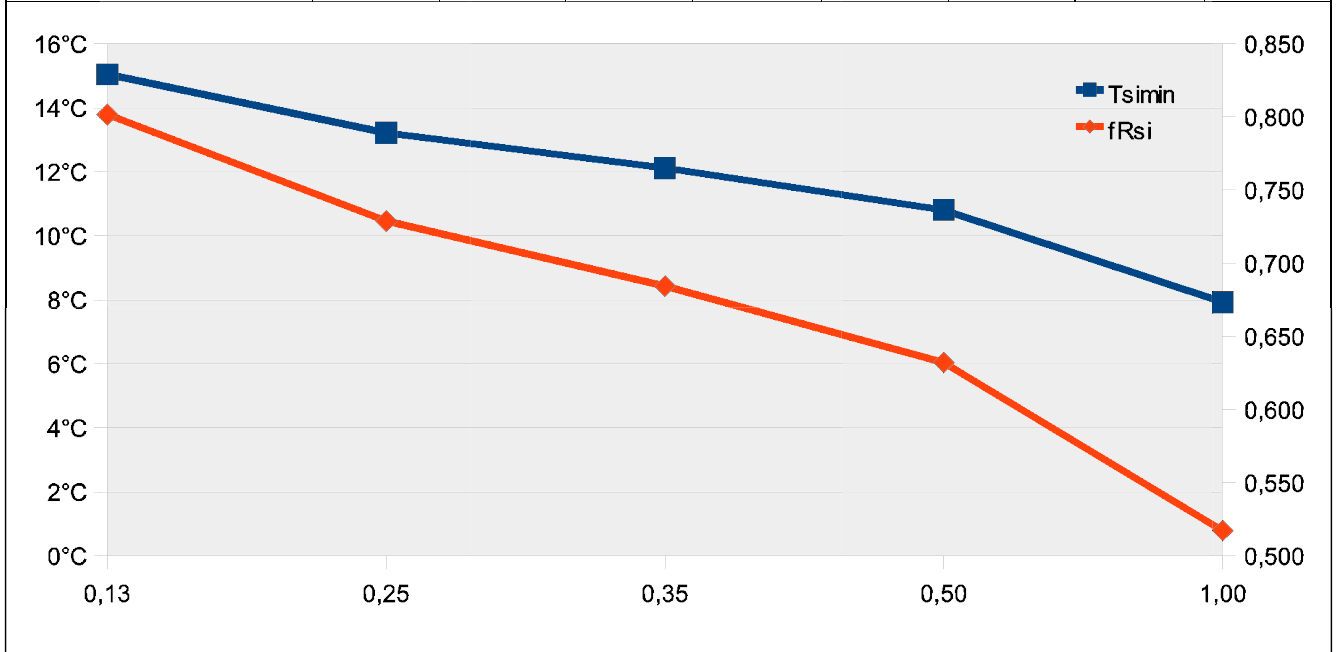
Riportiamo le differenze dei risultati per un pilastro d'angolo:

Esempio con pilastro d'angolo; blocco Ytong Thermo 30 cm; Pilastro 30x30; 8 cm cappotto Multipor:

Elemento	Rsi
Armadi fissati	1,00
Angoli poco ventilati	0,50
Armadi liberi	0,40
Metà inferiore della stanza	0,35
Metà superiore della stanza	0,25
Superfici vetrate	0,13



Nome Heat-File	Rsi	K	L2D	U1D	$\Psi_e$	$\Psi_i$	Tsimin	fRsi
FilastriAng19-013	0,13	20,591	0,824	0,224	-0,022	0,157	15,0°C	0,802
FilastriAng19-025	0,25	19,737	0,789	0,218	-0,034	0,140	13,2°C	0,729
FilastriAng19-035	0,35	19,123	0,765	0,213	-0,041	0,130	12,1°C	0,684
FilastriAng19-050	0,50	18,306	0,732	0,207	-0,049	0,117	10,8°C	0,632
FilastriAng19-100	1,00	16,130	0,645	0,187	-0,062	0,087	7,9°C	0,517



## 5 FAQ

**È vero che ponti termici su elementi costruttivi buoni sono più pericolosi che su elementi termicamente scarsi?**

NO, il valore PSI in elementi costruttivi buoni tende ad essere più alto rispetto ad elementi tradizionali perchè esso stesso è un valore relativo di peggioramento rispetto alla trasmittanza unidimensionale.

**Quali danni possono comportare i ponti termici?**

I ponti termici possono causare un flusso termico più alto, rischio di condense interstiziali, superficiali e muffe. Queste situazioni comportano deperimento dei materiali da costruzione ma soprattutto ambienti insalubri che riducono il comfort abitativo e possono generare patologie respiratorie.

## 6 Bibliografia

### 6.1 Norme

Nr	Titolo
[1]	EN 1745:1994: Masonry and masonry products – Methods of determining design thermal values
[2]	UNI EN ISO 6946:1999: Componente ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo
[3]	UNI EN 7345:1999: Isolamento termico – Grandezze fisiche e definizioni
[4]	UNI EN ISO 10211-1:2007: Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Parte 1: Metodi generali
[5]	UNI EN ISO 10211-2:2003: Ponti termici in edilizia – Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Parte 2: Ponti termici lineari
[6]	UNI EN ISO 10456:2001: Procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto
[7]	UNI/TS 11300-1:2008: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
[8]	UNI/TS 11300-2:2008: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
[9]	UNI EN 12524:2001: Proprietà igrometriche – valori tabulati di progetto
[10]	UNI EN ISO 13370:2001: Trasferimento di calore attraverso il terreno
[11]	UNI EN ISO 13788:2003: Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di calcolo
[12]	UNI EN 13789:2008: Prestazioni termica degli edifici – Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione – Metodo di calcolo
[13]	UNI EN ISO 13790:2008: Prestazione termica degli edifici – Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
[14]	UNI EN ISO 14683:2001: Ponti termici in edilizia - Coefficienti di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento

### 6.2 Collana

Anno	Cliente	Titolo
2004	Riwega	Fisica Edile dei tetti
2006	Riwega	Tetti Klimahouse
2007	Riwega	Restyling Tetti Klimahouse & Fisica Edile dei tetti
2008	NQCI – BASF	La legge 311/06



**YTONG**

**Xella Italia S.r.l.**

Via Zanica 19K

Località Padergnone

24050 Grassobbio (BG)

Per informazioni:

Numero Verde: 800 88 00 77

Fax Verde: 800 33 66 22

[ytong-vendite.it@xella.com](mailto:ytong-vendite.it@xella.com)

Tel.: 035 452 22 72

Fax: 035 423 33 50

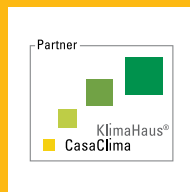
[www.ytong.it](http://www.ytong.it)

[ytong-it@xella.com](mailto:ytong-it@xella.com)



Questo prodotto è stato stampato con tecnologie digitali ecosostenibili, su carta riciclata e con inchiostro a base di sostanze vegetali.

**Crediamo nella diffusione  
di una cultura dell'edilizia sostenibile:**



Ytong®, Multipor® e Xella® sono marchi registrati di Xella Group.

**NOTA:** La presente brochure è edita dalla Xella Italia S.r.l. I dati e le indicazioni contenute nella presente brochure e in tutte le nostre pubblicazioni hanno carattere esclusivamente esemplificativo ed informativo e rispondono agli standard attuali della tecnica delle costruzioni Ytong al momento della stampa. I dati e le indicazioni riportati nella presente brochure possono essere cambiati o aggiornati da Xella Italia S.r.l. in qualsiasi momento senza preavviso e a sua disposizione. Il cliente non è esonerato dall'obbligo di verificare i dati e di adeguarsi alle normative vigenti, anche a livello locale, alla data dell'acquisto o dell'utilizzo dei materiali, nonché dall'obbligo del controllo statico, che deve essere necessariamente eseguito da un progettista autorizzato. In riferimento alla normativa europea REACH, Xella Italia S.r.l. dichiara di non integrare nelle sue produzioni prodotti che, in normali condizioni di utilizzo, liberano nell'ambiente delle sostanze chimiche. **Edizione 2014.**

A4pterm/Gi&Gi/09/14/250/1