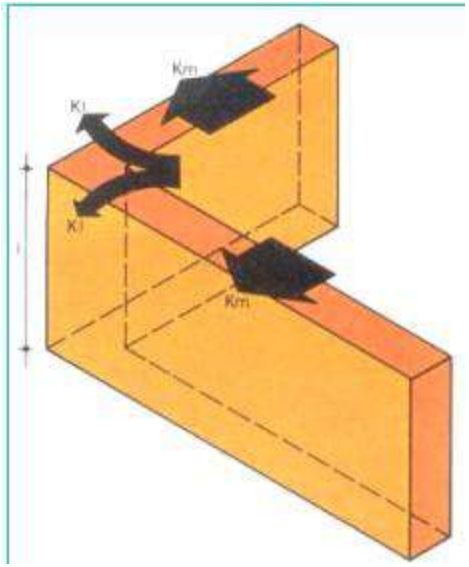
PONTI TERMICI

Ph.D. Ing. Alessandro Cavalletti
Professore a contratto Scuola Politecnica Genova

Email: alecavalletti@libero.it;
alessandro.cavalletti@edu.unige.it

Che cosa è un ponte termico?

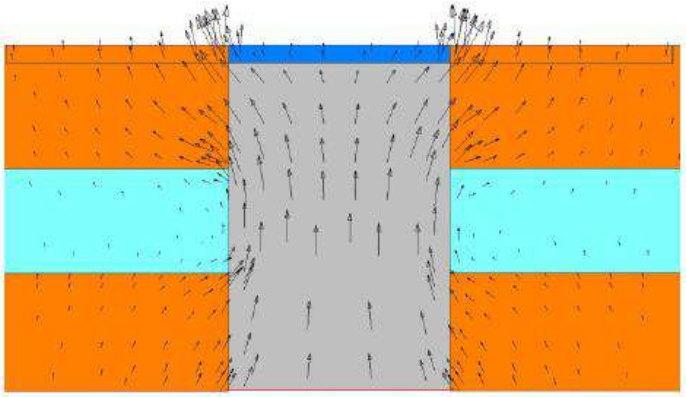


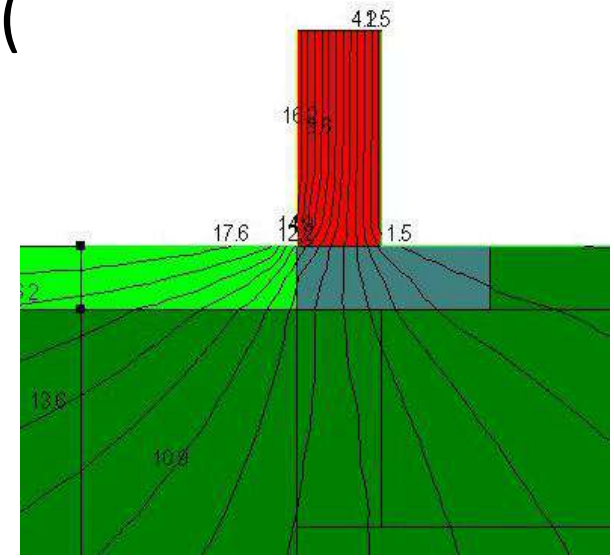
Parte dell'involucro edilizio ove vi è una maggiore facilità di passaggio di flusso termico dovuto a:

-Variazioni geometriche (angoli, diminuzione di spessori)

-Variazioni di conducibilità dei materiali (pilastri in murature a cassa vuota e simili)

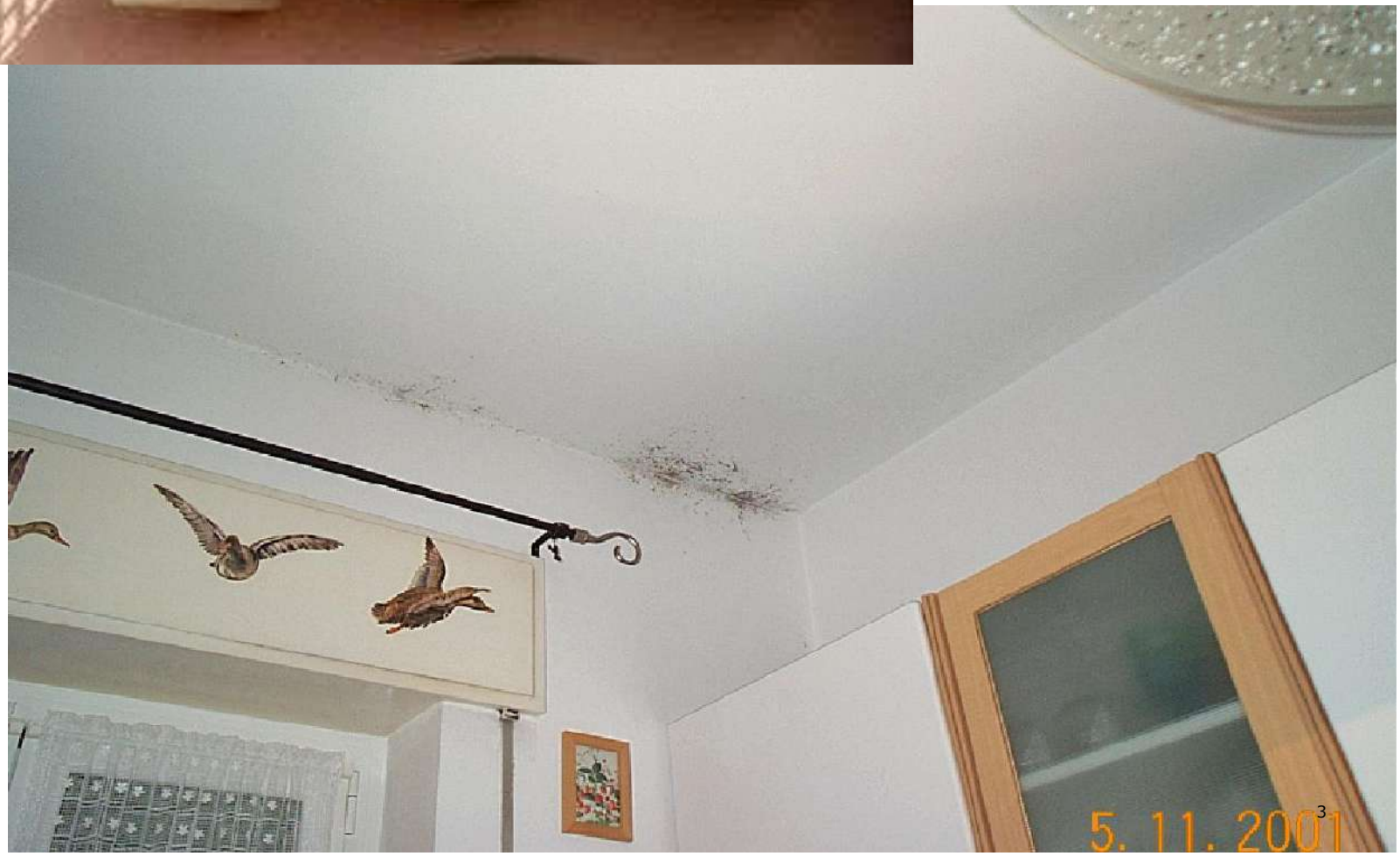
-Entrambi



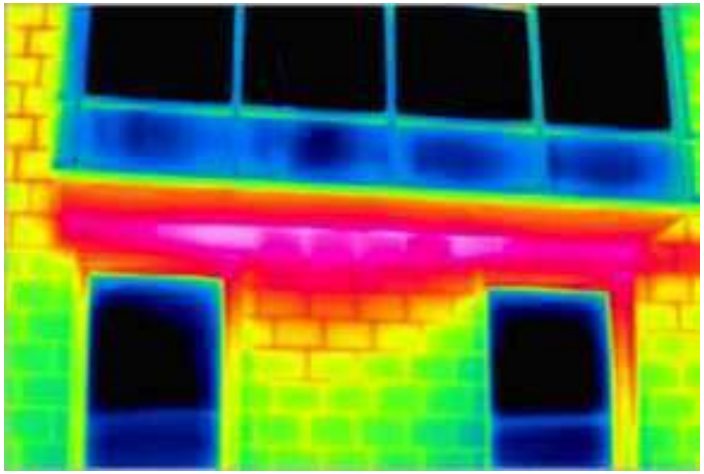


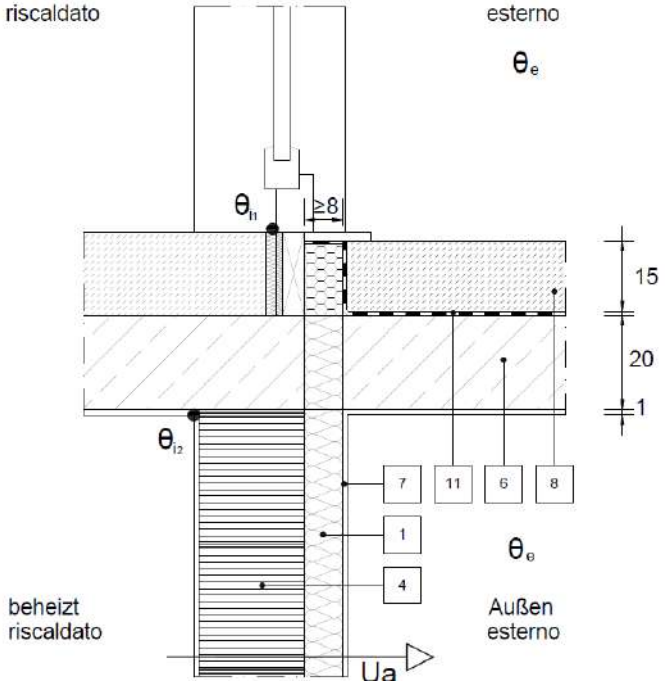


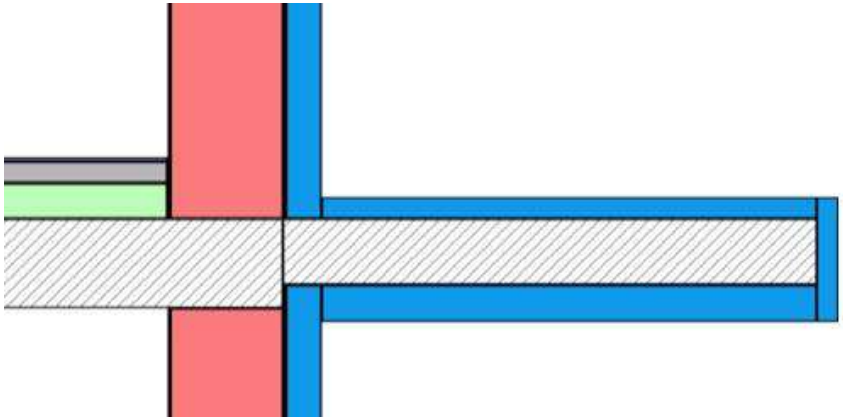
Ponte termico?

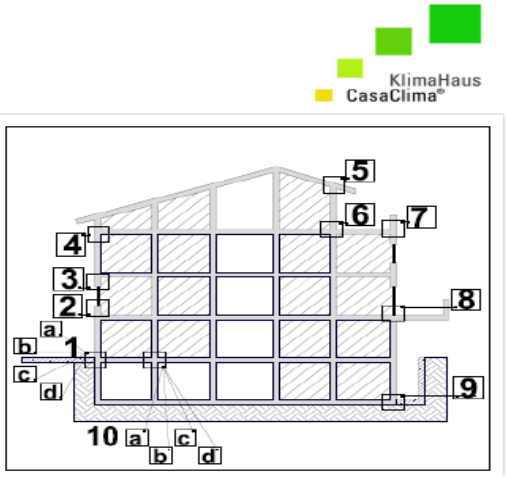


Dice CASA CLIMA : correggere ponte termico non calcolarlo !

















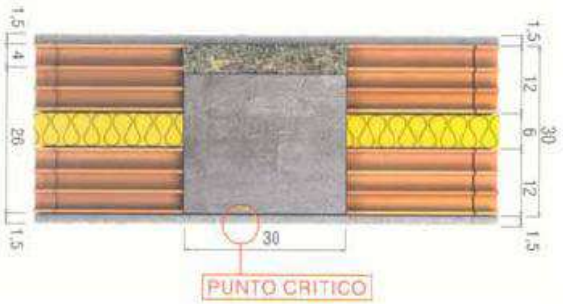






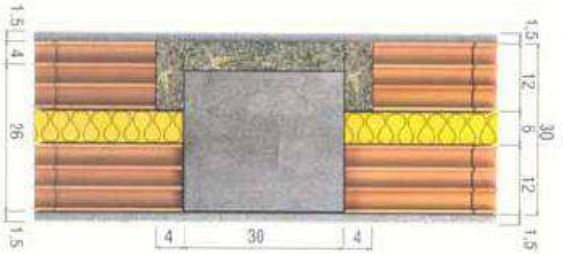
Correzione ponte termico

CORREZIONE PONTE TERMICI PILASTRO PARETE



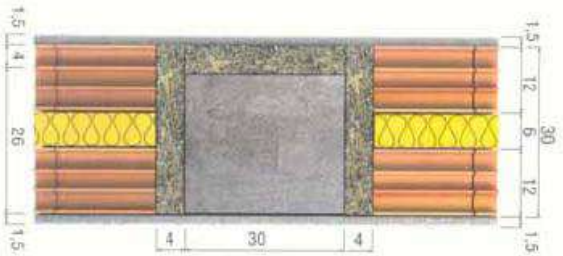
Ponte termico pilastro parete Correzione ordinaria

CO



Ponte termico pilastro parete Correzione accurata

CA



Ponte termico pilastro parete Correzione molto accurata

CMA

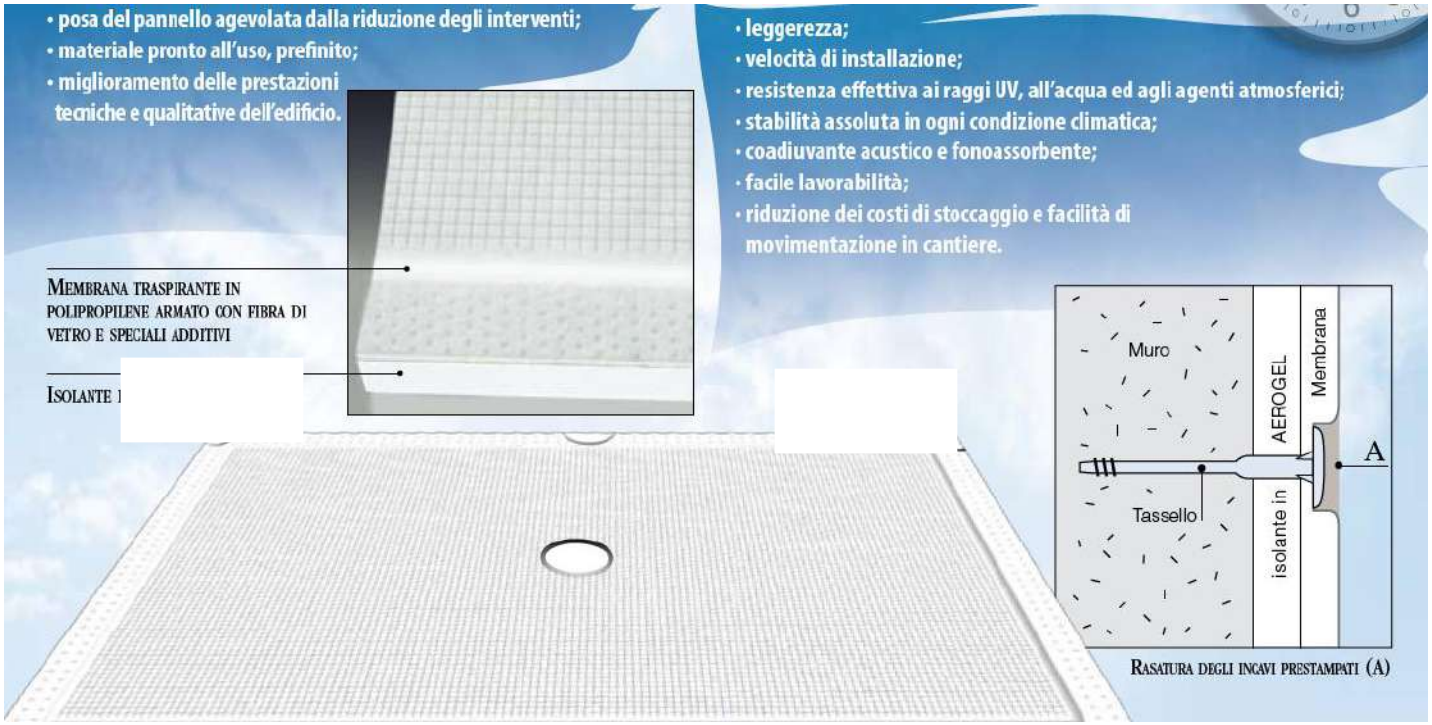
CORREGGERE PONTE TERMICO !



Correzione ponte termico

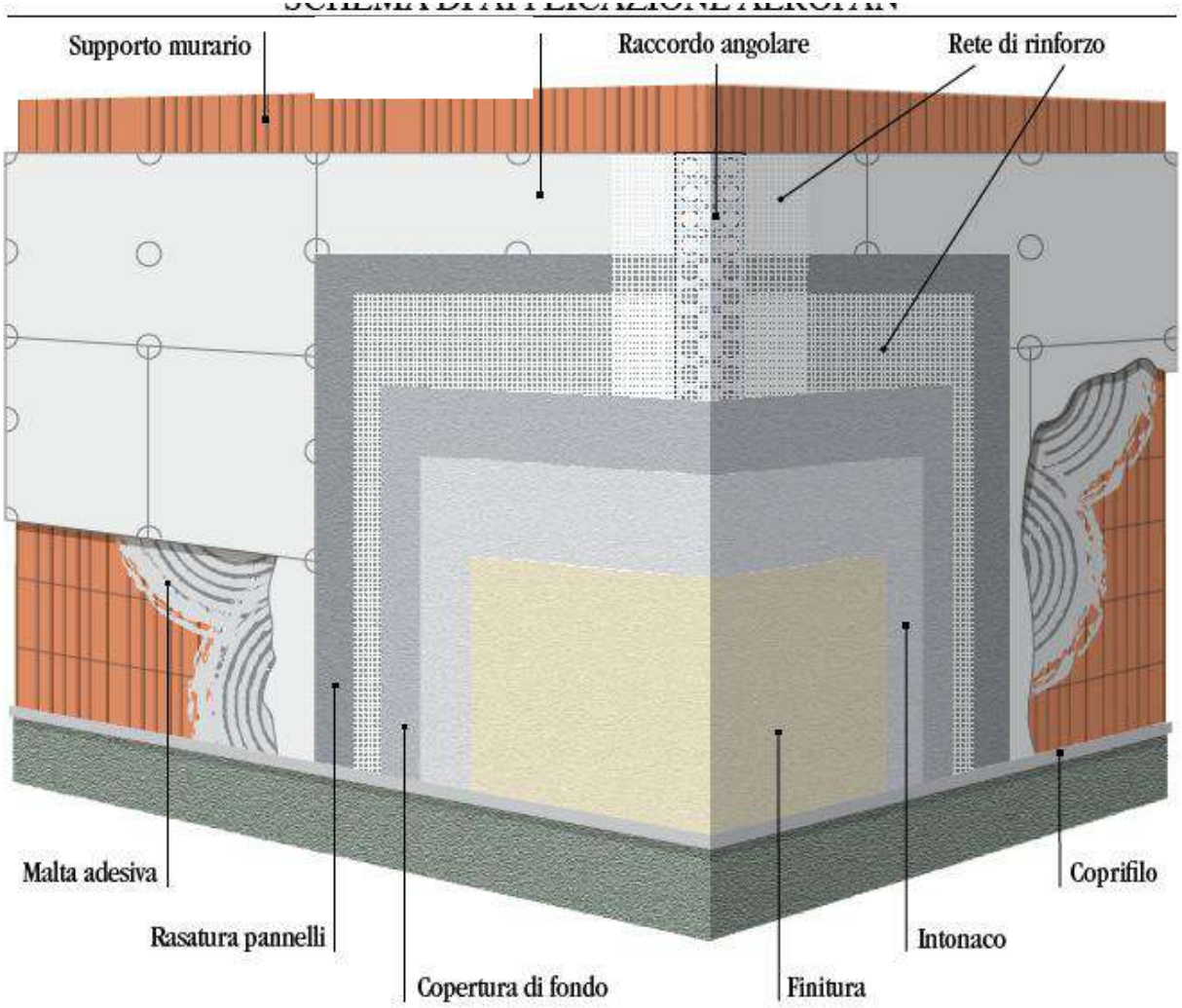
- posa del pannello agevolata dalla riduzione degli interventi;
- materiale pronto all'uso, prefinito;
- miglioramento delle prestazioni tecniche e qualitative dell'edificio.

- leggerezza;
- velocità di installazione;
- resistenza effettiva ai raggi UV, all'acqua ed agli agenti atmosferici;
- stabilità assoluta in ogni condizione climatica;
- coadiuvante acustico e fonoassorbente;
- facile lavorabilità;
- riduzione dei costi di stoccaggio e facilità di movimentazione in cantiere.



CARATTERISTICHE*

DATO TECNICO	VALORE	UNITÀ	METODO DI PROVA
Spessore	10	mm	-
Formato pannello	1200 x 600	mm	-
Conducibilità termica (λ_D) a 10 °C	0,013	W/(m·K)	EN12667
Resistenza termica	0,76	m^2K/W	-
Permeabilità al vapore acqueo	$4,51x10^{-6}$	$g/Pasm^2$	ASTM E 96
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	5	μ	ASTM E 96


Supporto murario
Raccordo angolare
Rete di rinforzo
Malta adesiva
Rasatura pannelli
Copertura di fondo
Finitura
Intonaco
Coprifilo



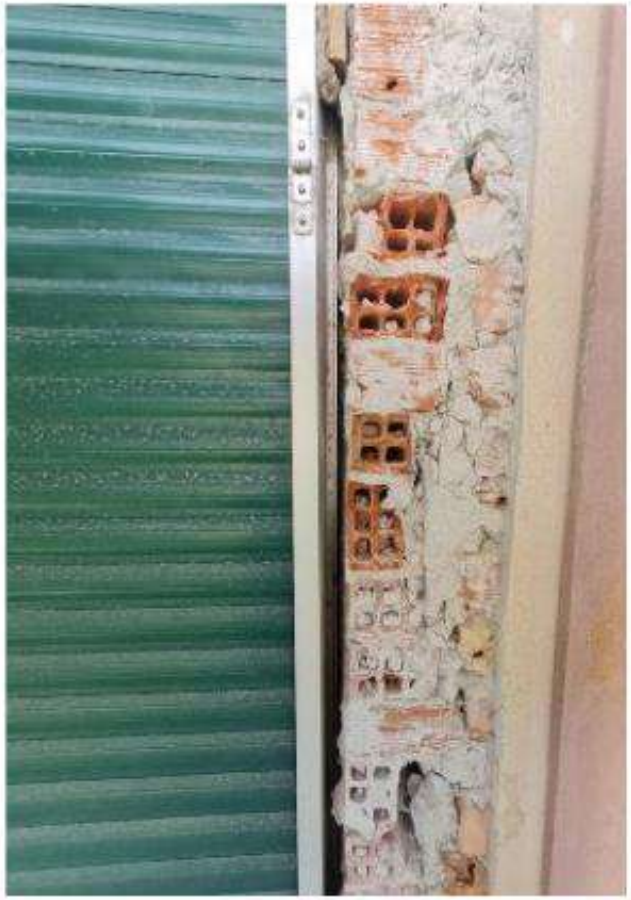
























Incidenza PT?

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DELLA STRUTTURA EDILIZIA

Codice : 04
Descrizione : PARETE ESTERNA
: PREFABBRICATA CON COIB.
Tipo : VE Verticale verso l'esterno

Caratteristiche degli strati (dall'interno verso l'esterno):

	Codice	Descrizione	s	l	C	M	δa (e-12)	δu (e-12)	R	T	ps	pv	
			m	W/mK	W/m²K	kg/mc	kg/s·m·Pa	kg/s·m·Pa	m²K/W	K	Pa	Pa	
01		Aria ambiente interno								20,0	2338	1169	
02		Strato liminare interno							0,123	19,1	2212	1169	
03	CLS004	St. chiusa (est. non prot	0,0500	1,260	25,200	2000	1,90	2,90	0,040	18,8	2172	944	
04	ISO86	Polistirolo esp. celle ch	0,0800	0,032	0,400	40	2,34	2,34	2,500	0,6	638	652	<
05	CLS004	St. chiusa (est. non prot	0,0500	1,260	25,200	2000	1,90	2,90	0,040	0,3	625	427	
06		Strato liminare esterno							0,043	0,0	611	427	
07		Aria ambiente esterno								0,0	611	427	

Totali struttura:

Spessore totale	m :	0,180
Resistenza termica materiali	mq K/W :	2,746
Trasmittanza termica totale	W/mq K :	0,3643

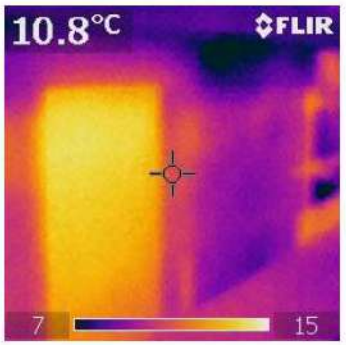
U_{media} = 1,72 W/m²K

Isolante intermedio o insufflaggio



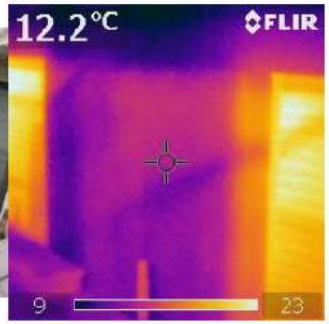
1)





4)





5)

INSUFFLAGGIO

COME SI VALUTA IL FLUSSO DISPERSO ?

~~Metodo forfettario~~ → abrogato

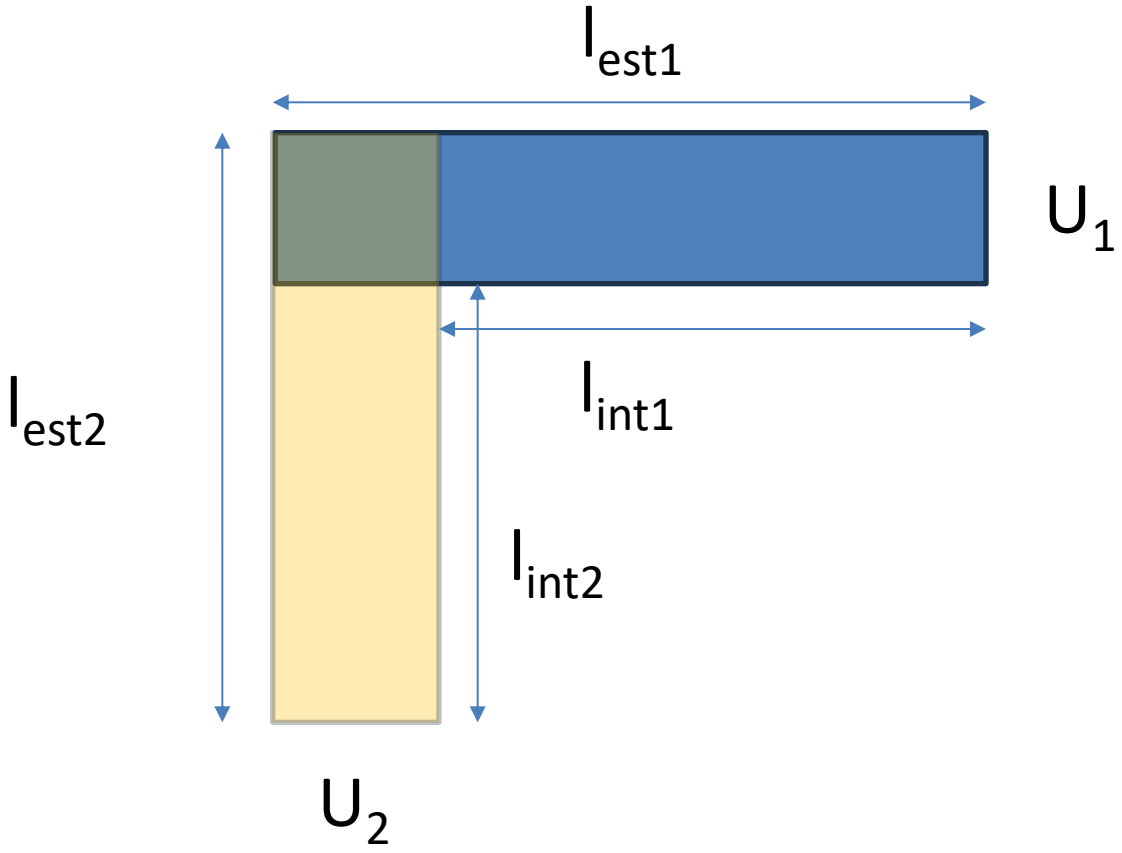
Metodo dello psi lineico :

$$\varphi = \psi L \Delta T \qquad q = UA(T_a - T_e)$$

- Abachi: CENED (Lombardia); OFEN (CH); CSTB (France)
- Uni 6946:08 (a mano)
- Modelli 2D o 3D (UNI 10211)

Considerazione sugli ordini di grandezza: avere un ponte termico con ψ = 1 W/m K significa che 1 m di PT disperde come 1 m^2 di parete in cassavuota! (U ≈ 1 W/m^2K)

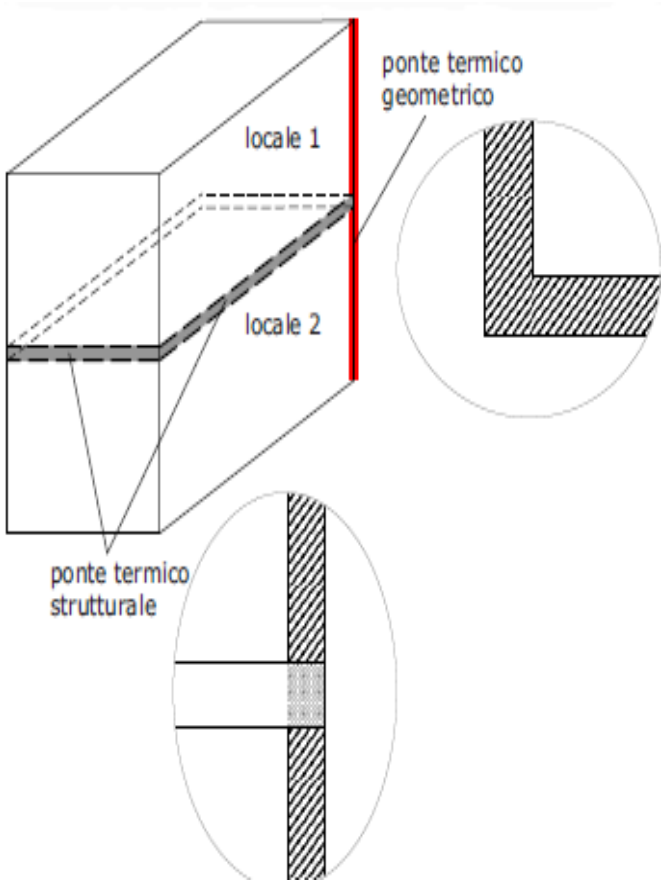
Esempio significato fisico ψ – angolo esterno pareti non coibentate

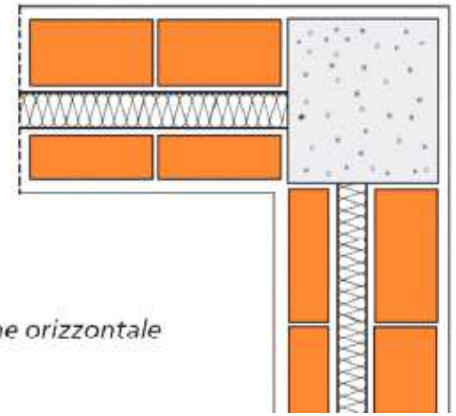


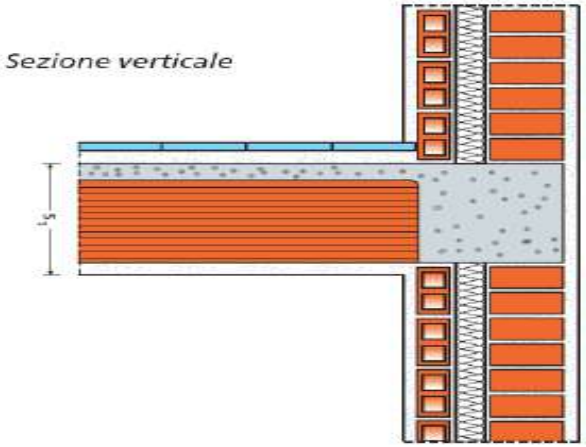
Misure interne: $U_1 \cdot l_{int1} + U_2 \cdot l_{int2}$ → perdo angolo → $\psi_{int} > 0$

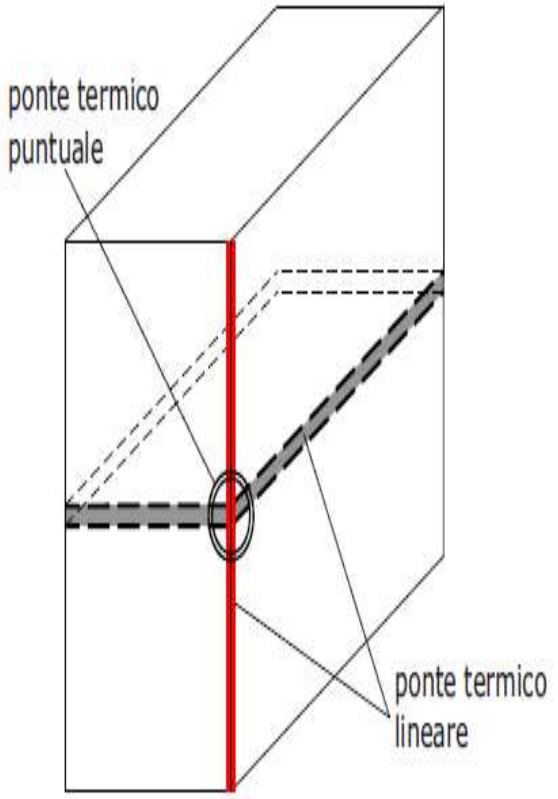
Misure esterne: $U_1 \cdot l_{est1} + U_2 \cdot l_{est2}$ → conto angolo x2 → $\psi_{est} < 0$

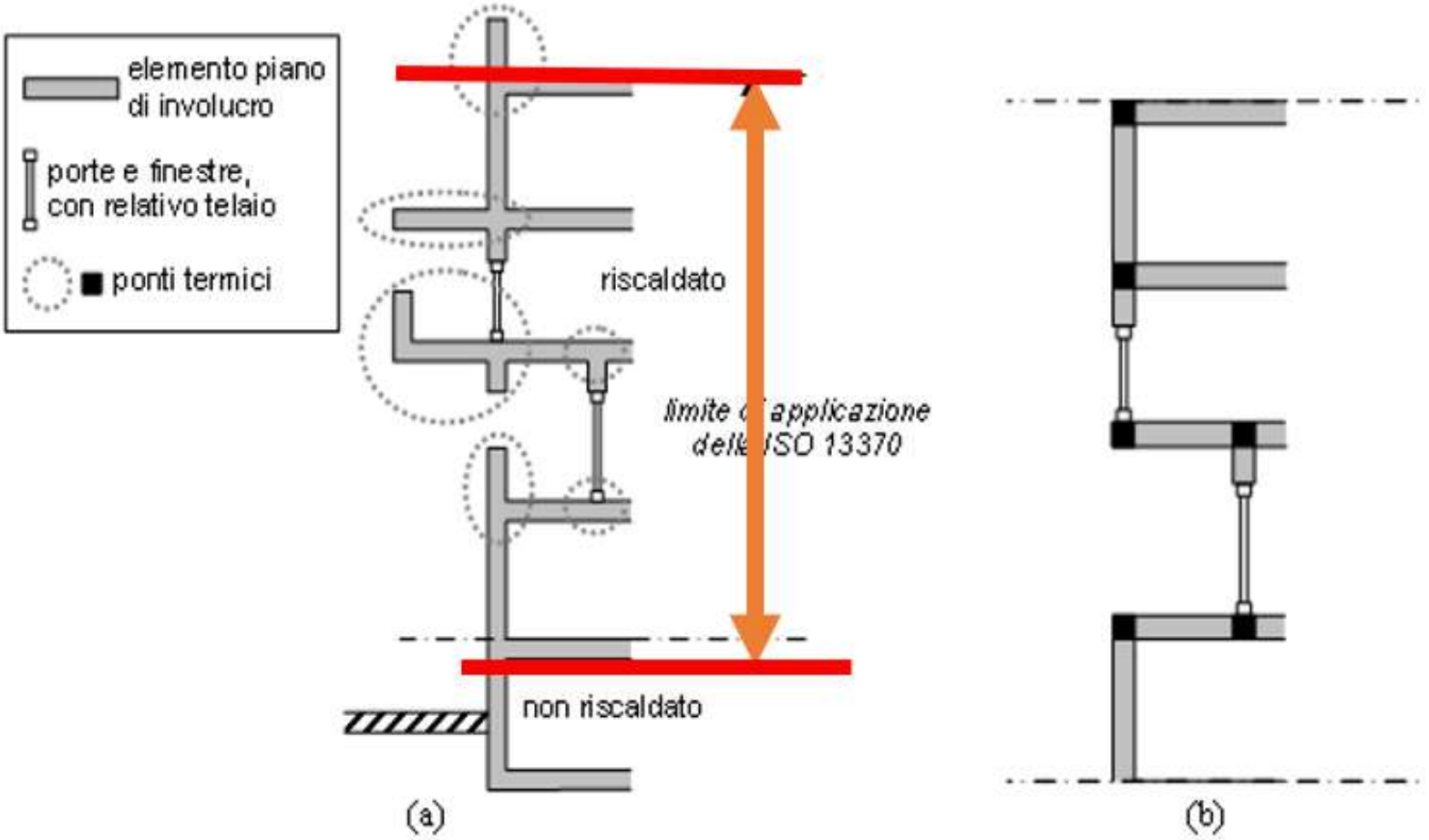
Considerazioni sulla lunghezza











Modellizzazione dell'involucro per la valutazione dei coefficienti di scambio secondo UNI EN ISO 13789:2008: situazione reale (a) e modello (b).

Calcolo dello psi

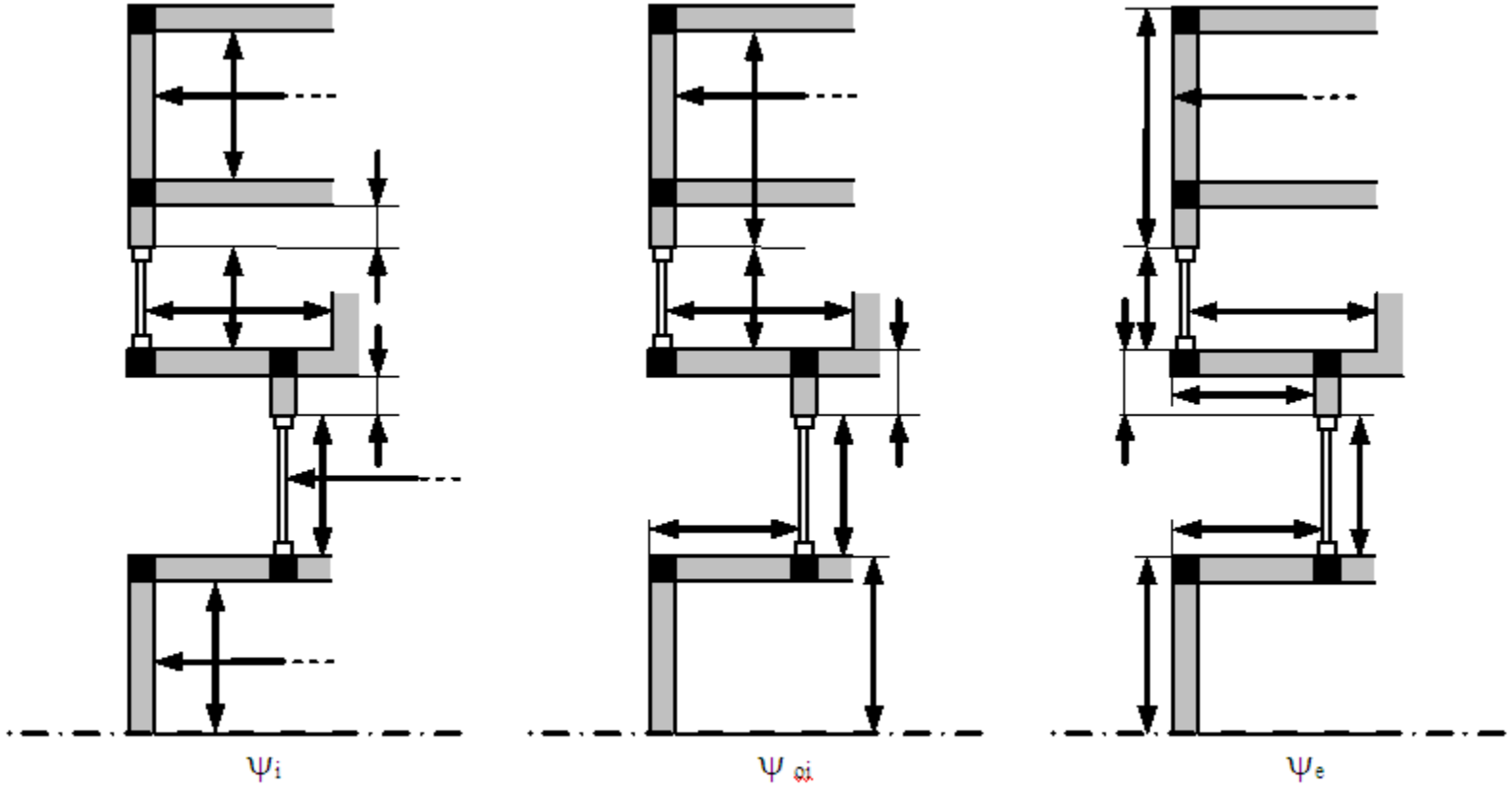
ψ_i riferito alle dimensioni interne

ψ_{oi} riferito alle dimensioni totali interne

ψ_e riferito alle dimensioni esterne

Celeste 2

Rev DM 28/10/2025 – solo misure esterne!



Sistemi dimensionali secondo UNI EN ISO 13789:2008: dimensioni interne, totali interne, esterne.

CASI IN CUI PSI È NEGATIVO

Il valore della trasmittanza termica lineare del ponte termico "Psi" può avere valore minore di 0 quando una superficie scambiante coinvolta nel ponte termico viene considerata due volte. Si riporta di seguito un'immagine esplicativa:

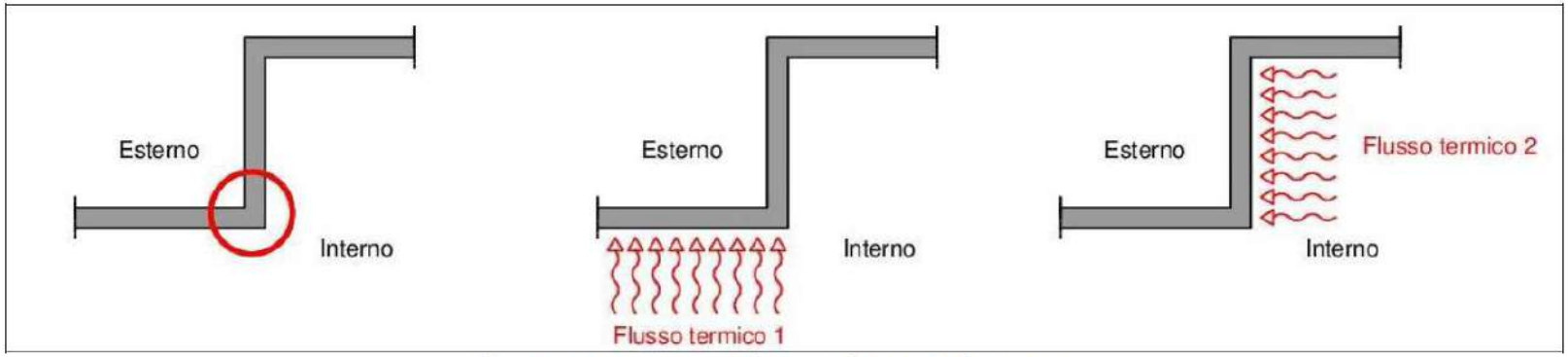
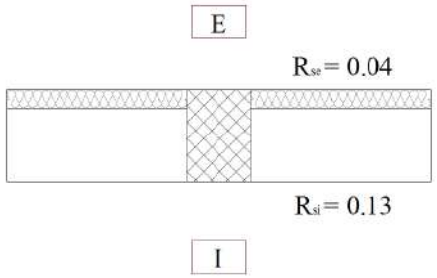


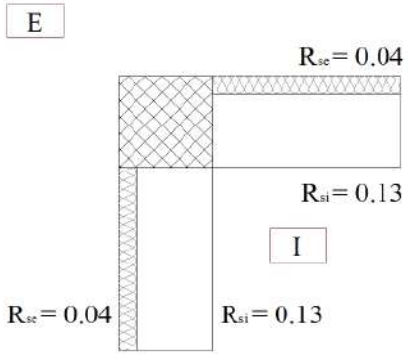
Figura 7.4.6: Esempio ponti termici parete

•Abachi (CENED) Solo 8 casi

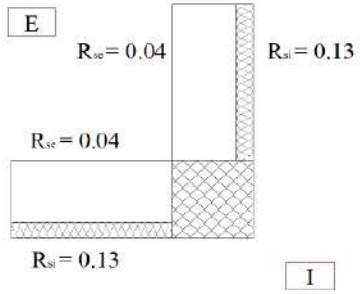
Parete con pilastro

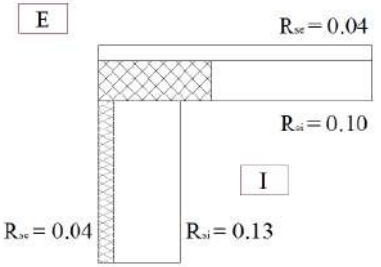


Angoli sporgenti rientranti con e senza pilastro

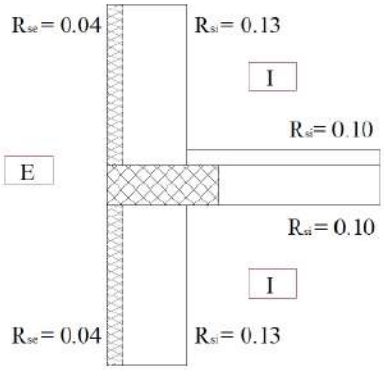


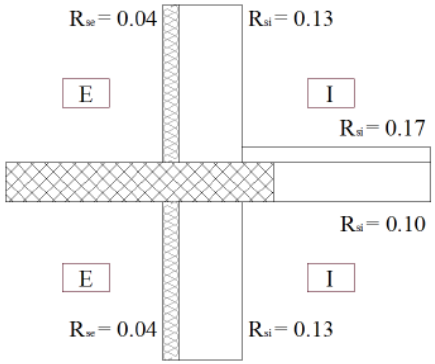
Parete verticale con tetto piano



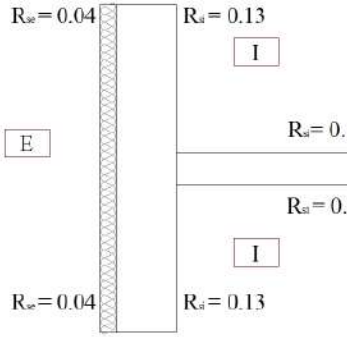


Parete verticale con solaio/ balcone

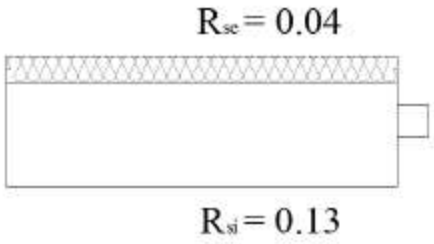




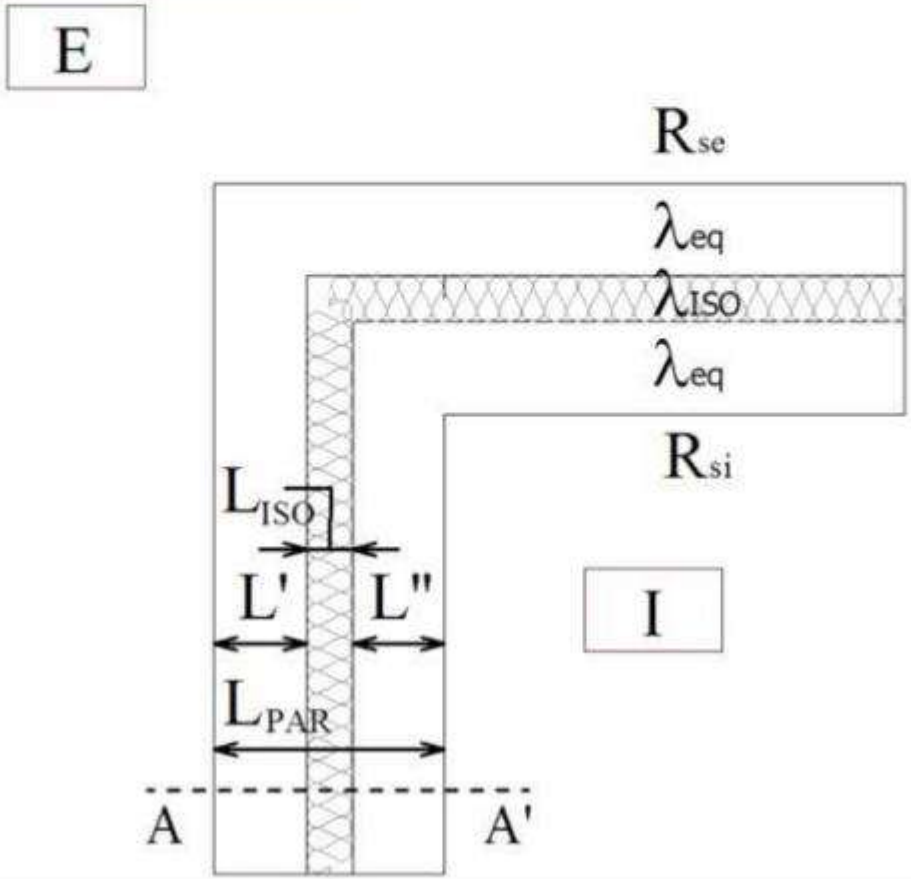
Parete est/int



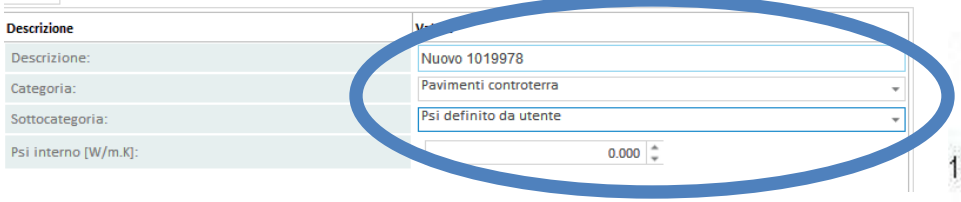
Parete esterna con serramento



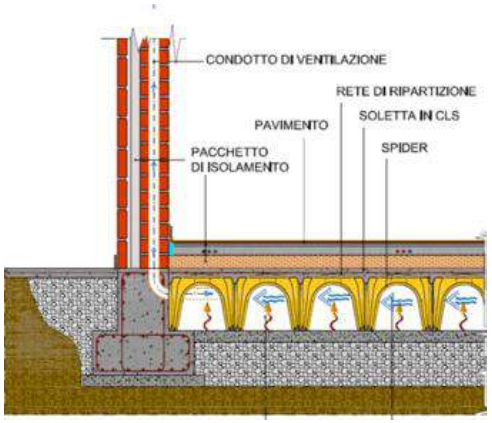
Descrizione	Valore
Descrizione:	Angolo esterno
Categoria:	Angoli esterni
Sottocategoria:	ANGOLO SPORGENTE ISOLATO IN MEZZERIA SENZA PILASTRO
Struttura parete	Parete esterna
Psi interno [W/m.K]:	0.128

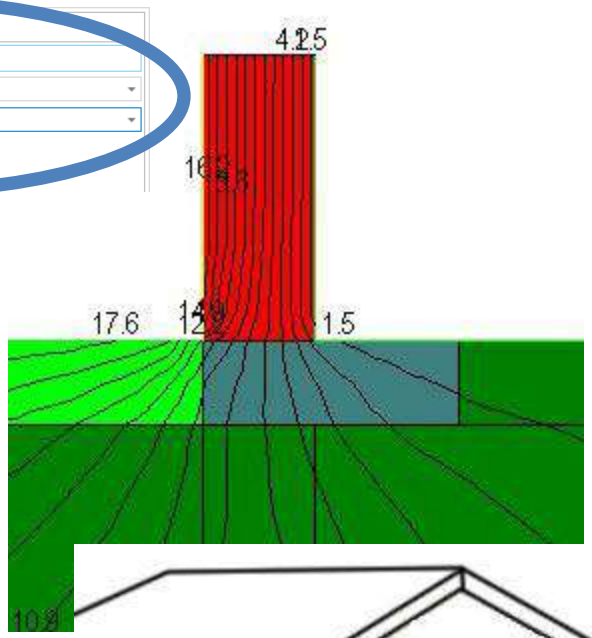


Mancano

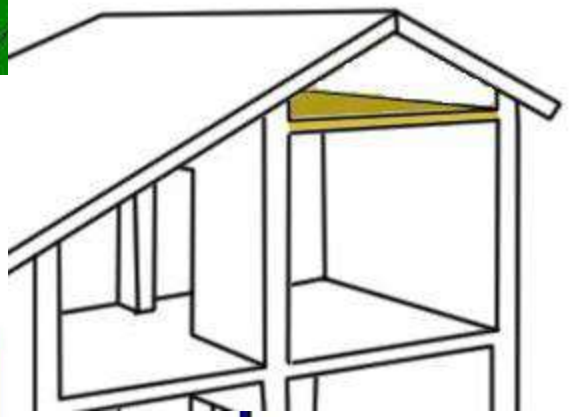


- Verso terreno o solai aerati

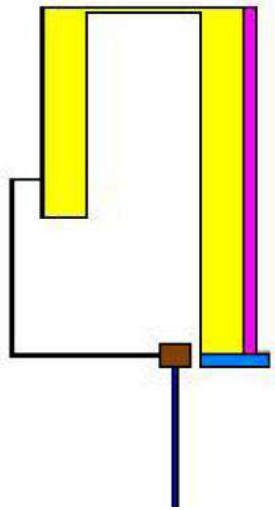


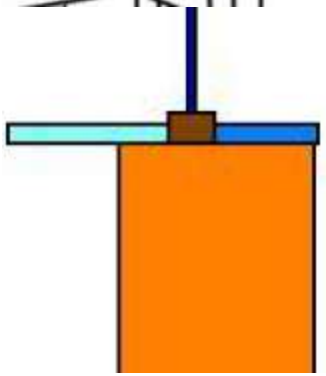


- Verso non riscaldati (U) (scale, cantine sottotetti)

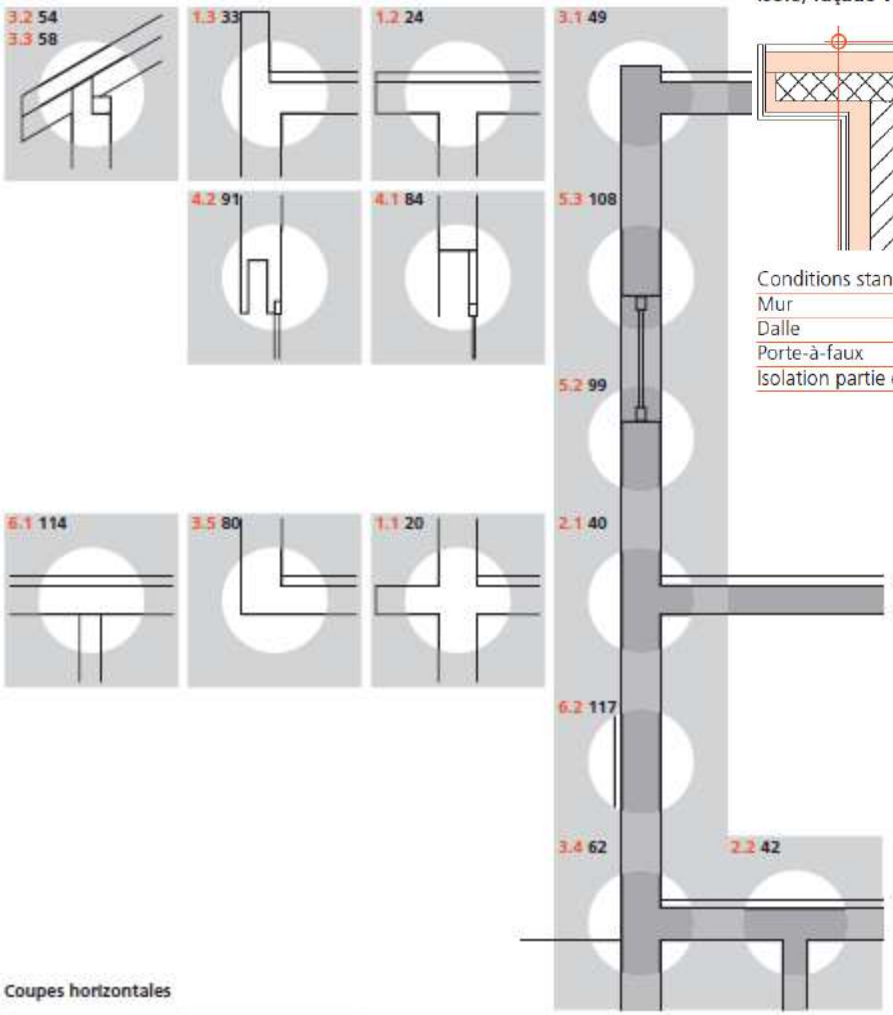


- Davanzali e mezzanini





OFEN Office fédéral de l'énergie



Isolé, façade ventilée

Conditions standard

Mur	Brique t.c.
Dalle	18–22 cm
Porte-à-faux	100 cm
Isolation partie en saillie	8 cm

1.2-A4

Valeur *U* façade en W/(m² · K)	Valeur *U* toiture en W/(m² · K)					
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12
0.20	0.13	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12
0.25	0.11	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12
0.30	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
0.35	0.07	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
0.40	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09

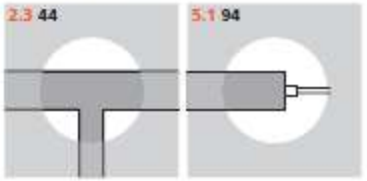
Valeur Ψ en W/(m · K)

Majorations

Mur en béton armé	+ 0.02 W/(m · K)
Dalle 24 cm	+ 0.02 W/(m · K)
Porte-à-faux 50 cm	– 0.05 W/(m · K)
Porte-à-faux 150 cm	+ 0.02 W/(m · K)
Isolation partie en saillie 4 cm	+ 0.06 W/(m · K)
Isolation partie en saillie 12 cm	– 0.04 W/(m · K)

SOLO COIBENTATI !

Coupes horizontales



0.0 Le premier chiffre en rouge indique le groupe-type, le second le sous-groupe du détail.

00 Le chiffre en noir indique le numéro de la page correspondante.

REGLES TH-U POUR LES BÂTIMENTS EXISTANTS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

MINISTÈRE DU LOGEMENT ET DE LA VILLE

CSTB
le futur en construction

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

2.4 – Exemple de fiche

Nature des parois

Mur	Plancher bas
Br	BP

Paramètres	Domaine d'emploi
Nature du mur inférieur	Béton
Nature du mur supérieur	Brique pleine Bloc perforation V Brique perforation H
Bac acier collaborant	Avec ouvrants
Placette	Sans
Résolant mur	1 à 3
Résolant plancher	1 à 3
Epaisseur plancher (E_{pb})	15 à 30 cm
Epaisseur mur (E_{mi})	20 à 30 cm

Domaine d'emploi

Indique la position de l'isolation du plancher

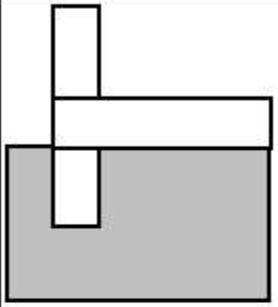
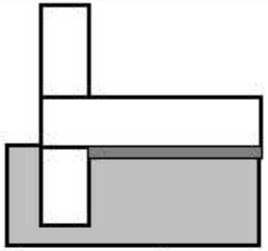
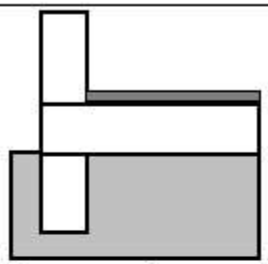
Plancher / Mur	Non isolé	Sous face	Par dessus
Non isolé	E_{pb} = 15 cm Ψ = 0.58 E_{pb} = 30 cm Ψ = 0.38	E_{pb} =15 cm E_{pb} = 30 cm Majoration : Avec bac collaborant : +0.10	Mur brique pleine Ψ = 0.56 Mur brique creuse Ψ = 0.27
ITI		E_{pb} = 15 cm Ψ = 0.62 E_{pb} = 30 cm Ψ = 0.54 Majoration : Avec bac collaborant : +0.10	
ITE	E_{pb} =15 cm Majoration :	E_{pb} =30 cm Mur brique pleine Ψ=0.371 Mur brique creuse Ψ = 0.65 Majoration : Avec bac collaborant : +0.04	E_{pb} =20 cm Mur brique pleine Ψ = 0.40 Mur brique creuse Ψ = 0.32 Majoration :

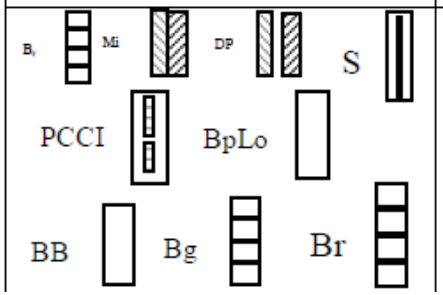
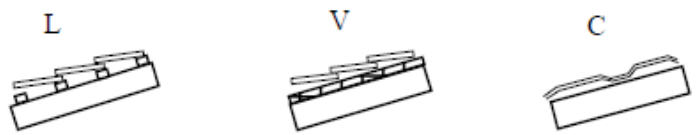
Indique la position de l'isolation du mur

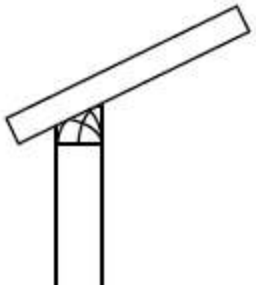
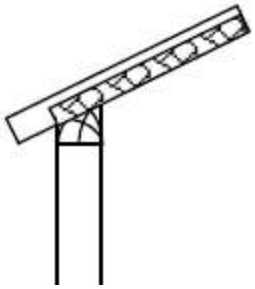
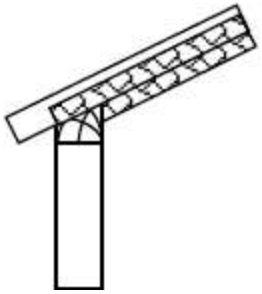
Illustration simplifiée du détail constructif.

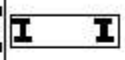
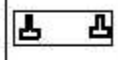
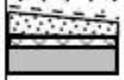
Valeurs principales de ponts thermiques exprimées en W/(m.K)

Majoration à appliquer sur la valeur principale de Ψ

<table>
<tr><th>Plancher
Mur</th><th>Non isolé</th><th>Sous face</th><th>Par dessus</th></tr>
<tr>
<td>Non isolé</td>
<td>
<u>Voile extérieur porteur</u>
Ψ = 0.50
<u>Voile intérieur porteur</u>
Ψ = 0.65
Majoration :
Avec nervure : +0.15</td>
<td>
<table>
<tr><th rowspan="2">Epaisseur voile intérieur</th><th colspan="2">$R_{isolant}$ en (m².K)/W</th></tr>
<tr><th>1</th><th>3</th></tr>
<tr><td>5 cm</td><td>0.75</td><td>0.88</td></tr>
<tr><td>10 cm</td><td>0.85</td><td>0.98</td></tr>
<tr><td>20 cm</td><td>1.05</td><td>1.20</td></tr>
</table>
Majoration :
Avec nervure : +0.15
E_p = 30 cm : +20%</td>
<td>
<table>
<tr><th rowspan="2">Epaisseur voile intérieur</th><th colspan="2">$R_{isolant}$ en (m².K)/W</th></tr>
<tr><th>1</th><th>3</th></tr>
<tr><td>5 cm</td><td>0.40</td><td>0.44</td></tr>
<tr><td>10 cm</td><td>0.59</td><td>0.62</td></tr>
<tr><td>20 cm</td><td>0.70</td><td>0.71</td></tr>
</table>
Extrapolation et interpolation possible
Majoration :
Avec nervure : +0.15</td>
</tr>
</table>

Mur	Toiture
	

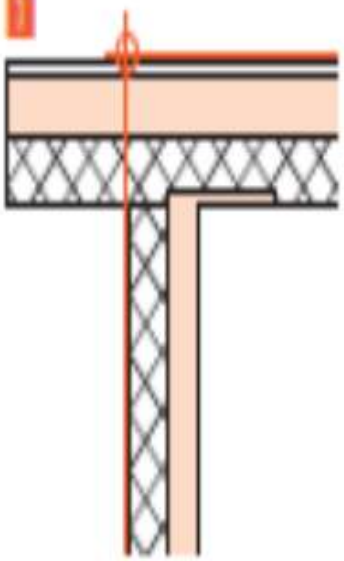
Plancher / Mur	Non isolé	Isolé en 1 couche (entre chevron)	Isolé en 2 couches (entre chevron et sous chevrons)
Non isolé			

Ph / Baie	OB	OM	OL	EP	BP	PLo	PLe	PSI	ISE	II	L	V	C
													
Fenêtre ou P. Fenêtre													
Façade panneau													
Façade rideau													

Non isolé, avec isolation sous bord de dalle, mur en béton armé

1.2-I2

1



Valeur U paroi en W/(m² · K)	Valeur U toiture, en W/(m² · K)					
	0.15	0.20 2	0.25	0.30	0.35	0.40
0.15	0.30	0.28	0.25	0.23	0.21	0.18
0.20	0.34	0.32	0.29	0.27	0.24	0.21
2 0.25	0.32	0.31 3	0.28	0.26	0.23	0.21
0.30	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21
0.35	0.29	0.29	0.26	0.25	0.22	0.20
0.40	0.26	0.26	0.24	0.23	0.20	0.18

Valeur Ψ en W/(m · K)

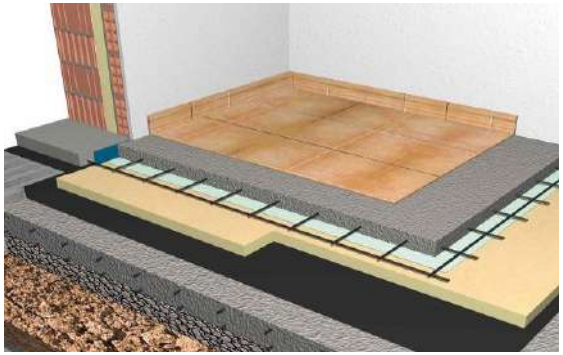
Conditions standard

Dalle ép.	20 cm

Majoration

Dalle ép. 18 cm	– 0.03 W/(m · K)
4 Dalle ép. 22 cm	+ 0.03 W/(m · K)
Dalle ép. 24 cm	+ 0.06 W/(m · K)

5 $\Psi = 0.31 + 0.03 = \mathbf{0.34\ W/(m \cdot K)}$

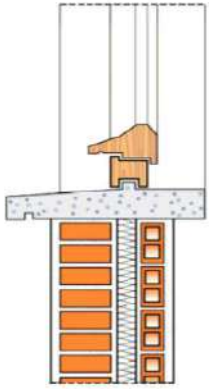


Università degli studi di Genova - Scuola Politecnica
DIME - Dipartimento di Ingegneria meccanica, energetica, gestionale e dei trasporti
Via all'Opera Pia 15A, 16145 Genova

Archetipo	Codifica	Numero	Sottogruppo
Giunzione tra una parete o tamponamento perimetrale e la soletta controterra	CTR	001-006	B8-B4
Piana della finestra	PF	001-003	T1-T4

Con i sottogruppi B, relativi alla codifica CTR, si indica il centro range del parametro B (dimensione caratteristica), di seguito introdotto, a cui il numero di archetipo associato fa riferimento.

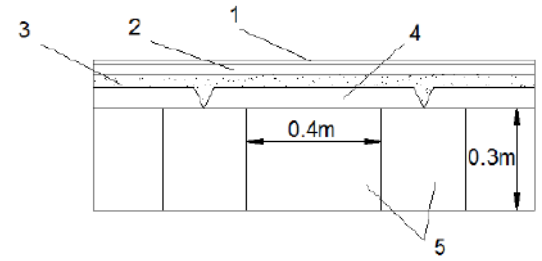
Con i sottogruppi T, relativi alla codifica PF, si indica il range di trasmittanze del telaio della finestra a cui il numero di archetipo fa riferimento. Tali gruppi di trasmittanze sono ricavati del prospetto B.2 della norma UNI 11300-1:2014.

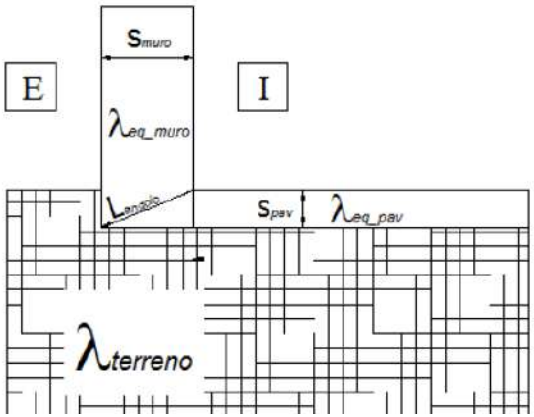


Stratigrafie introdotte nell'abaco

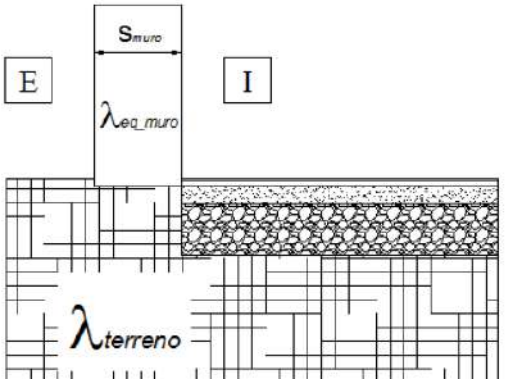
PARETE PORTANTE E SOLETTA CONTROTERRA

MURICCI

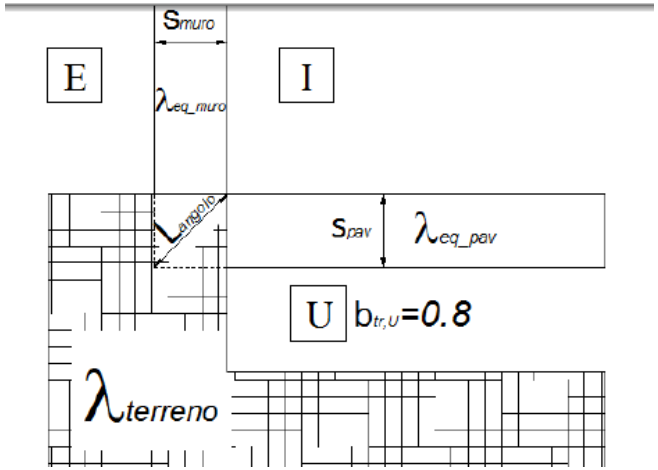




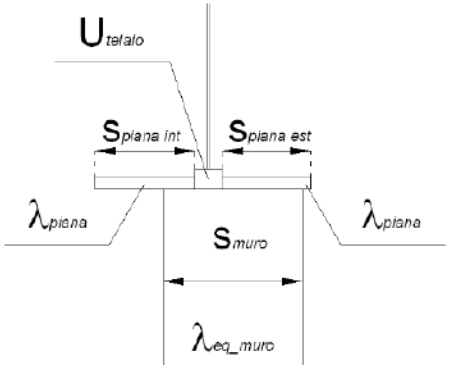
SOLAIO SU VESPAIO (sol13)

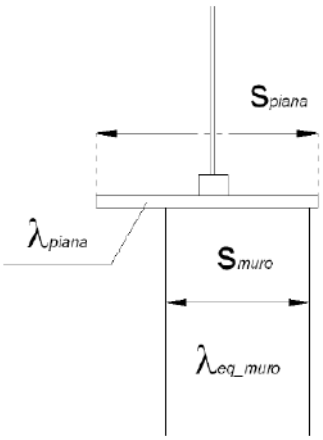


PARETE DI TAMPONAMENTO E SOLAIO SU INTERCAPEDINE O SEMINTERRATO.



PIANA DELLA FINESTRA

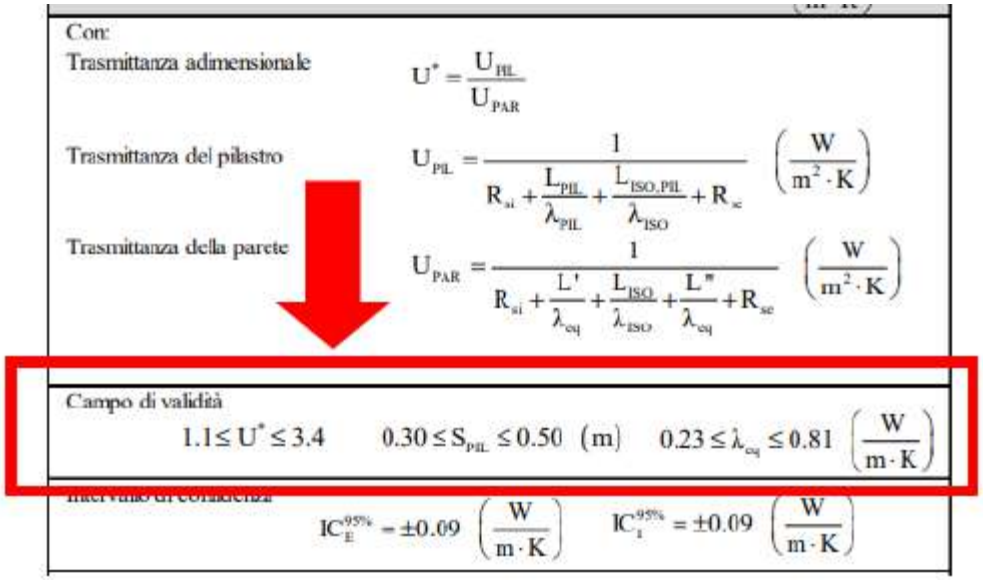




1) verificare che le strutture coinvolte nel ponte termico **rientrino nel campo di validità** indicato, per entrambi gli Abachi, nella scheda di ogni archetipo; a tal proposito, si veda il capitolo 2 "VADEMECUM PER IL CALCOLO DEL CAMPO DI VALIDITA' DEGLI ARCHETIPI DI PONTE TERMICO"

Se le strutture coinvolte nel ponte termico rientrano nei campi di validità indicati negli Abachi, è possibile proseguire con i punti 2 e 3, altrimenti, se le strutture coinvolte nel ponte termico NON rientrano nei campi di validità, occorre fare riferimento al successivo punto a).

ossia usare il calcolo bidimensionale


Con:

Trasmittanza adimensionale $U^* = \frac{U_{PIL}}{U_{PAR}}$

Trasmittanza del pilastro $U_{PIL} = \frac{1}{R_{si} + \frac{L_{PIL}}{\lambda_{PIL}} + \frac{L_{ISO,PIL}}{\lambda_{ISO}} + R_{se}} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

Trasmittanza della parete $U_{PAR} = \frac{1}{R_{si} + \frac{L'}{\lambda_{eq}} + \frac{L_{ISO}}{\lambda_{ISO}} + \frac{L''}{\lambda_{eq}} + R_{se}} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

Campo di validità

$1.1 \le U^* \le 3.4$ $0.30 \le S_{PIL} \le 0.50$ (m) $0.23 \le \lambda_{eq} \le 0.81 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

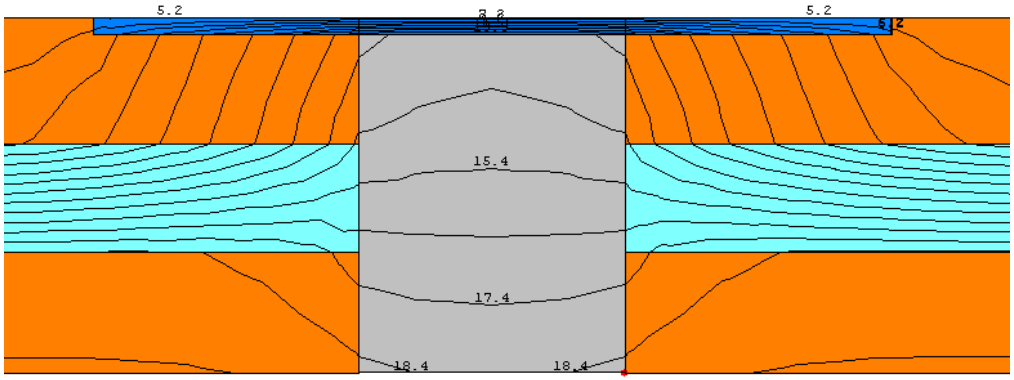
Intervallo di confidenza

$IC_E^{95\%} = \pm 0.09 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ $IC_\lambda^{95\%} = \pm 0.09 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

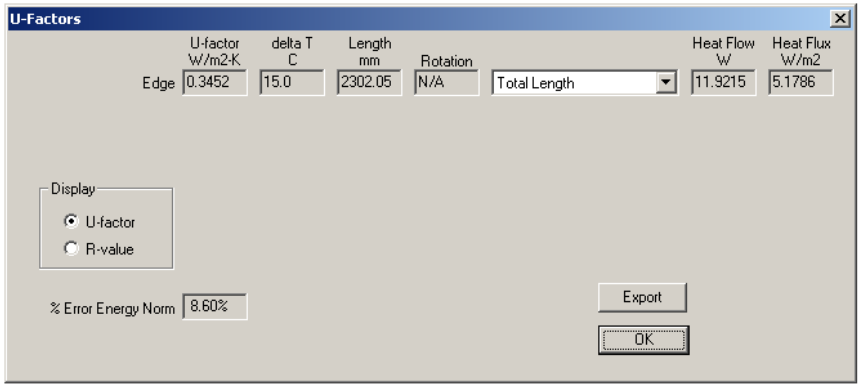
esempio di scheda

Nei casi mancanti modello 2D

(Therm 7.3)

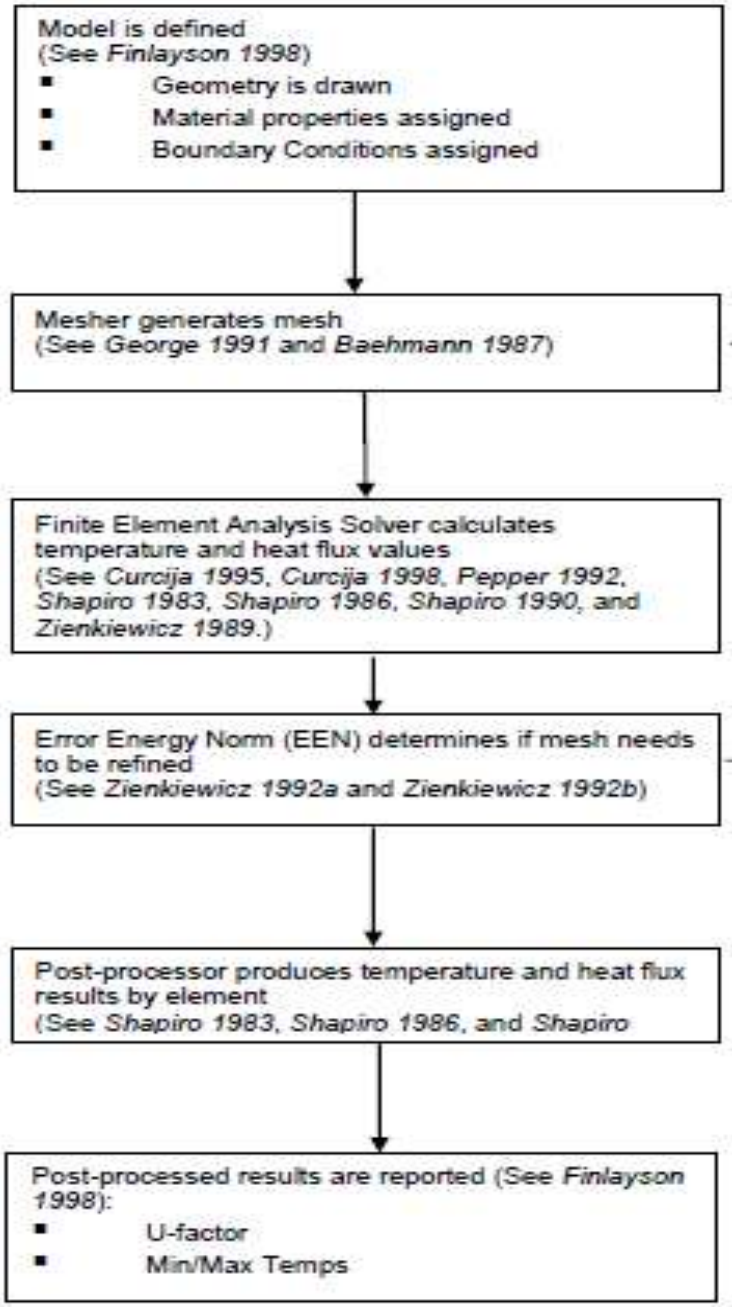


2 cm isolante su pt



	U	lunghezza				flusso
U factor	0.3452	2.302				0.79465

	U	lunghezza				flusso
parete	0.21	2.302				0.480307
						0
						0.480307
		ψ int				0.314343





$$\left\|\vec{e}\right\| = \left(\int_{\beta} (\vec{q_r} - \vec{q})^T (\vec{q_r} - \vec{q}) d\beta \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\%\ \ Error\ \ \ Energy\ \ \ Norm = \frac{\left\|\vec{e}\right\|}{\left\|\vec{q_r}\right\|} x100$$

EEN del 10% garantisce incertezze sui coefficienti di scambio termico dell'1%

Applicazione e Validazione Software

Data di Applicazione

Pubblicazione Norme

+180 Giorni

Obbligo di Applicazione per Sistemi di Calcolo

Limiti della Validazione CTI

Calcolo del Fabbisogno Energetico (UNI/TS 11300)



Tolleranza ammessa: Scostamento max ±5%

Altre Analisi (Trasmittanza, Condensa, Muffa, Ponti Termici)

NESSUNA validazione CTI richiesta.

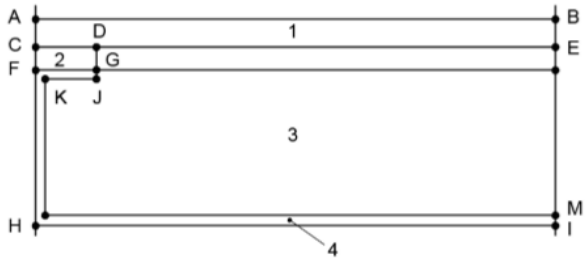
VALIDAZIONE

UNI 10211

C.1.3 Case 2

C.1.3.1 Description of model for case 2

An example of two-dimensional heat transfer is given in Figure C.2 and Tables C.1 and C.2.



Key

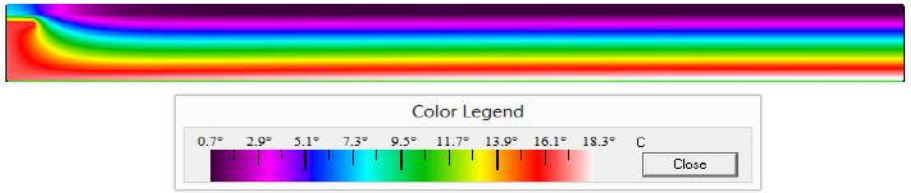
1 concrete
2 wood
3 insulation
4 aluminium

Figure C.2 — Test reference case 2: two-dimensional heat transfer

Table C.1 — Description of model for case 2

Dimensions mm	Thermal conductivity W/(m·K)	Boundary conditions
AB = 500	1: 1,15	AB: 0 °C with R_{se} = 0,06 m²·K/W
AC = 6	2: 0,12	HI: 20 °C with R_{si} = 0,11 m²·K/W
CD = 15	3: 0,029	
CF = 5	4: 230	
EM = 40		
GJ = 1,5		
IM = 1,5		
FG – KJ = 1,5		

MODELLO THERM CON EEN = 5%



RISULTATO THERM

Total heat flow rate :9,4999 W/m

DIFFERENZA MASSIMA CONSENTITA 0,1W/m

Caso studio architrave

Download software e librerie, installazione
https://windows.lbl.gov/therm-software-downloads

Installation Files

Important Notes: If you have installed previous versions of WINDOW 7.8, we recommend that you uninstall the older version and then install this latest version. This version will also not update WINDOW 7.6 versions -- it makes a completely new version. When you install this new version of WINDOW, a completely new set of directories is created, so that you can have other versions (WINDOW 7.4 and 7.6) installed at the same time.

Please post any issues or questions about this version on the THERM Forum, so that we can try to address them in our continuing development of this version.

- THERM 7.8.80 Setup Full *(THERM7_8_80_SetupFull.exe)*
  - **Complete installation if you have never installed THERM before**
- ***** Redistributable libraries *****
  - If you do not install them, you will get DLL errors when trying to run THERM

This version is NOT compatible with THERM 7.4, 7.6 or 7.7.

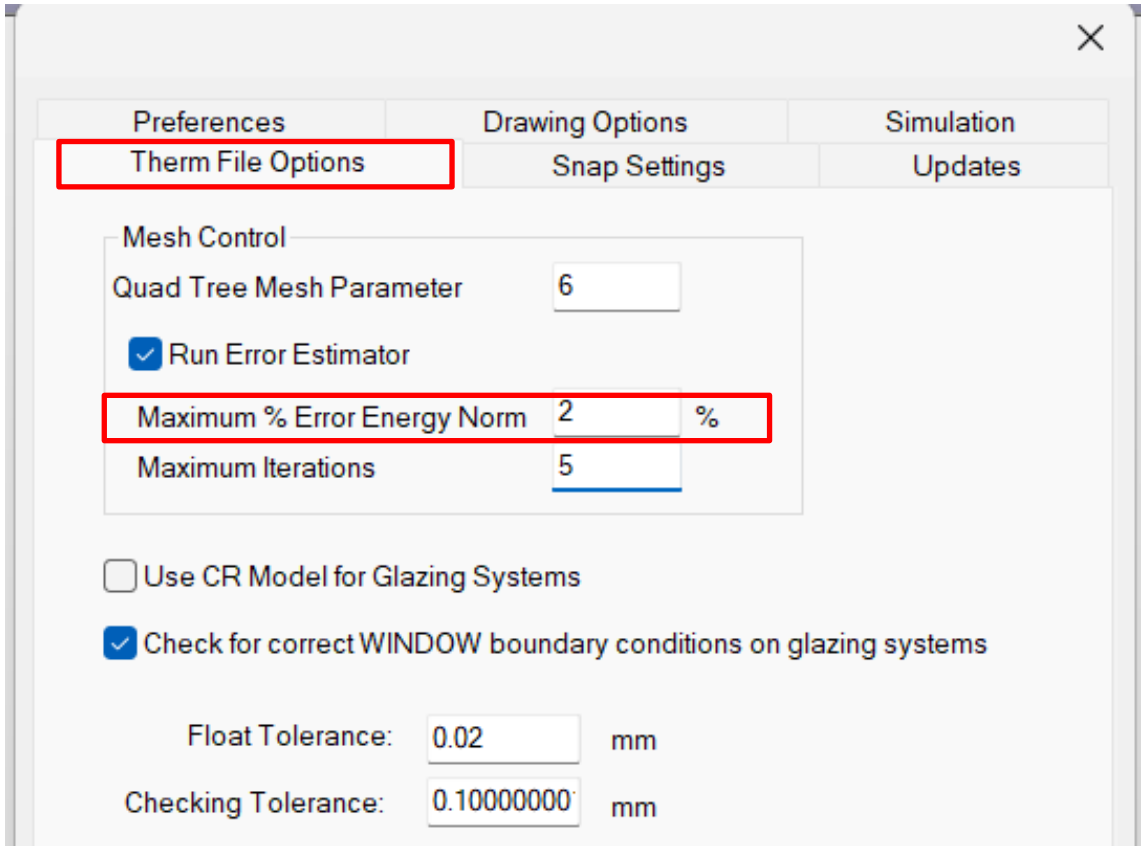
This version will not update THERM 7.4 or 7.7 versions -- it makes a completely new version

When you install this new version of THERM, a completely new set of directories is created, so that you can have other versions (THERM 7.4 and 7.6) installed at the same time.

We now have an **online forum** (Google Group) where you can ask questions and respond to questions by others.

Caso studio architrave

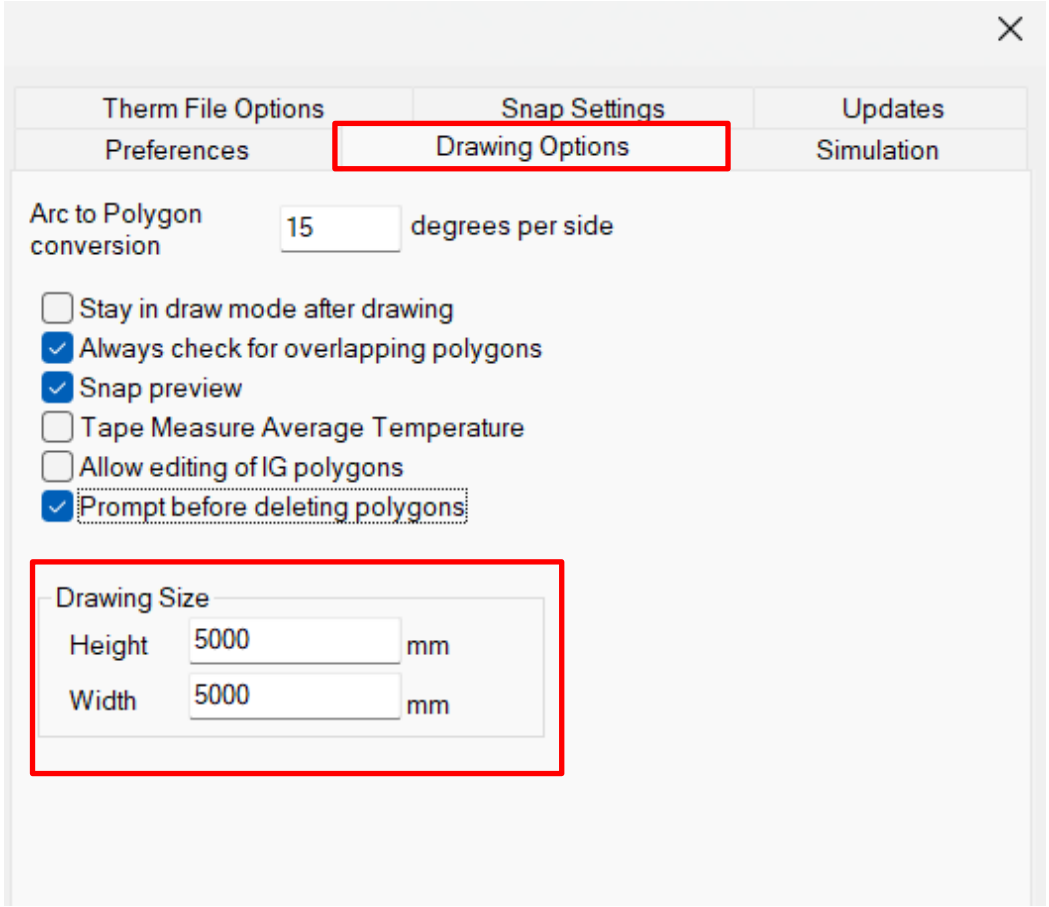
Settaggi iniziali software: Options →preferences → scheda «Therm File Options» settare al 2% l'errore massimo («maximum energy norm»). Eventualmente la scheda permette anche la modifica della mesh di deafult e delle iterazioni



Caso studio architrave

Settaggi iniziali software: aumentare le dimensioni del foglio indicando un'area di 5000 mm x 5000 mm (il programma nasce per nodi di finestre)

Options → preferences → scheda «Drawing Options», inserimento valori nel campo size



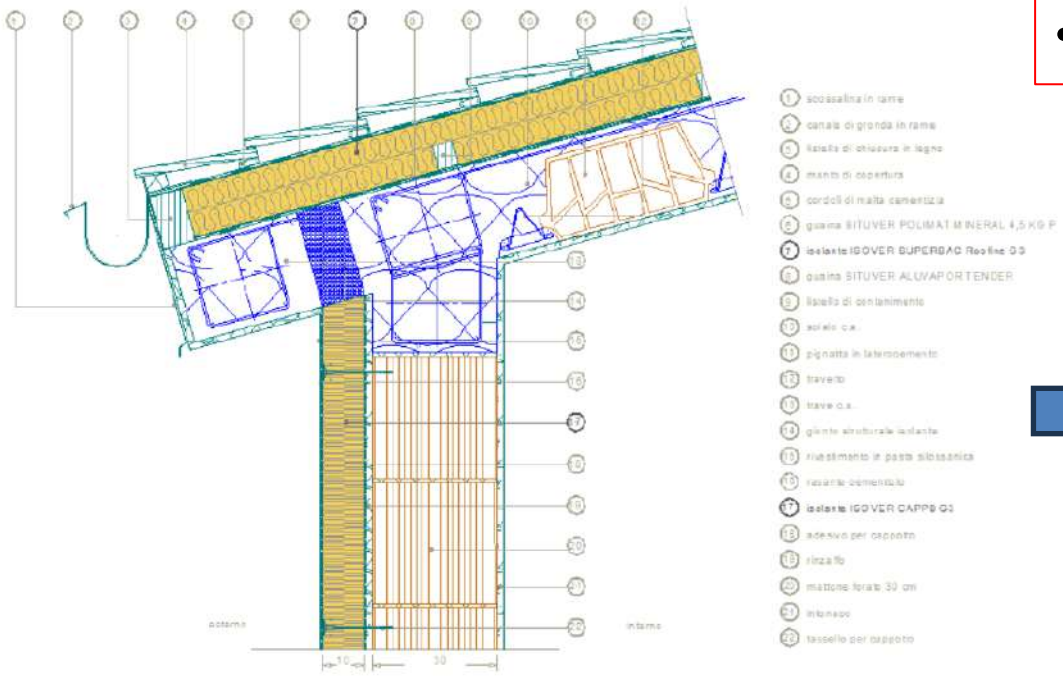
Caso studio architrave

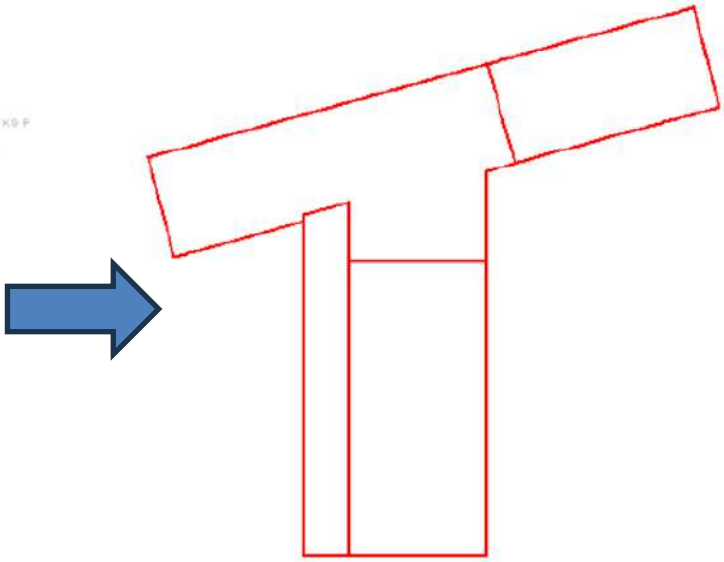
Importare disegno nodo
Disegni facili → posso provare interfaccia grafica programma
Disegni complicati → importare nodo da file dwg/dxf

NB in ogni caso semplifico!!!

NB cad pulito:

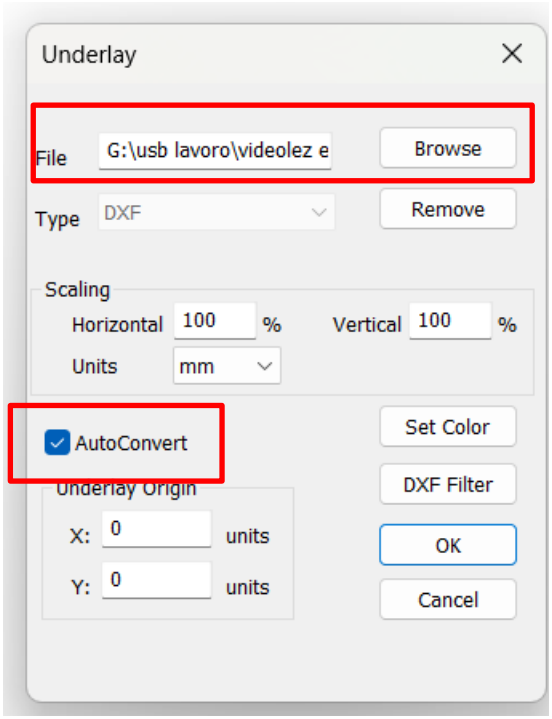
- no scritte, quote, blocchi, campiture
- avere tutte le linee del modello su un unico layer (eliminare gli altri)
- conversione di eventuali linee curve in spezzata
- File in mm
- Esplosione di tutte le linee, polilinee, blocchi
- Salvataggio in dxf2000/LT2000

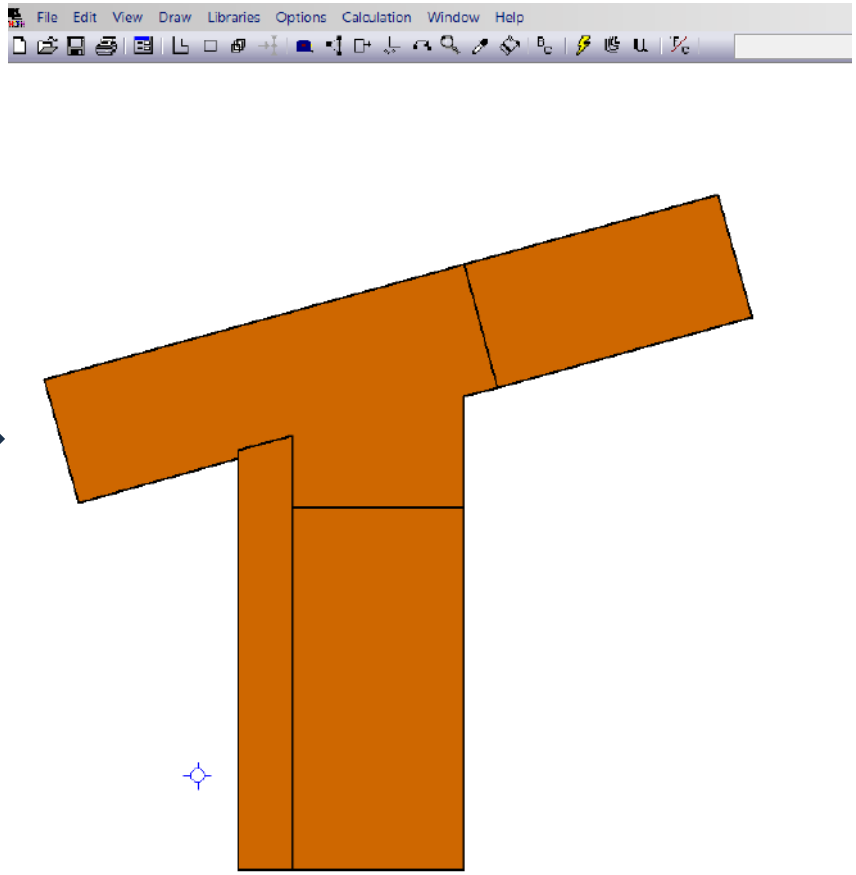




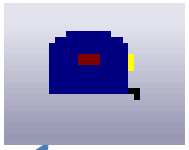
Caso studio architrave

Importare il dxf creato in therm: nuovo file, file → underlay → indicare il percorso e spuntare autoconvert → riconosce e crea già i poligoni ai quali assegneremo il materiale → se cad fatto bene, non ci sono errori



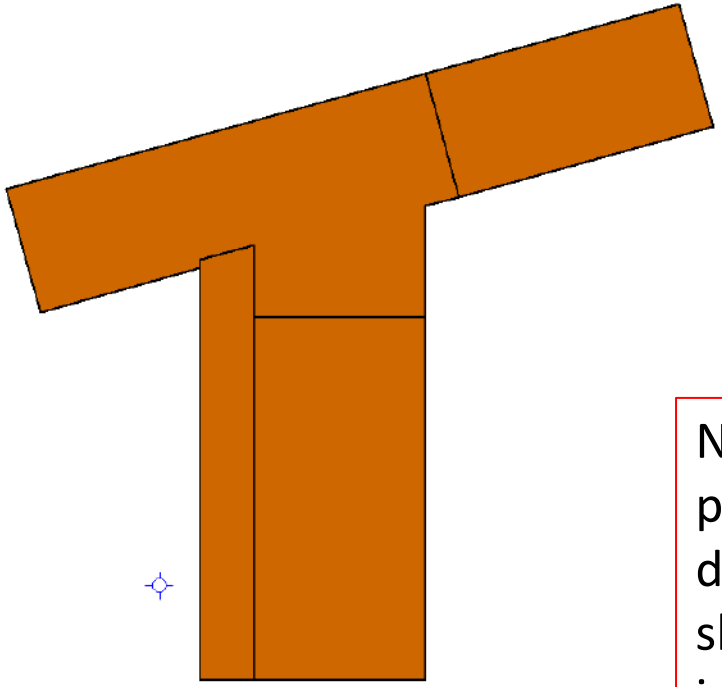


Caso studio architrave



Posso usare righello per verificare dimensioni post import corrette



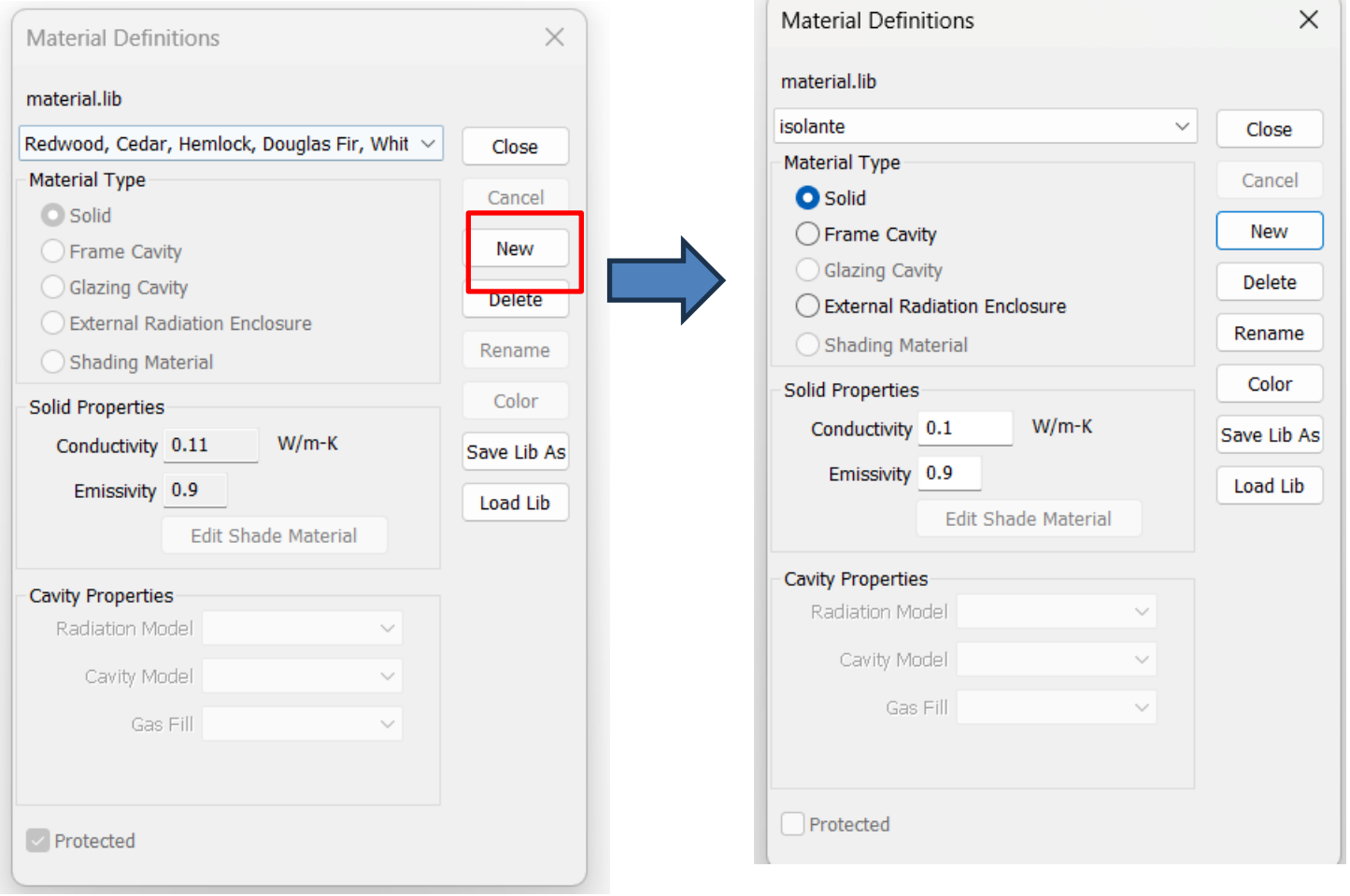


Poligoni con materiali tutti uguali → dobbiamo creare archivio con i materiali che vogliamo.
Libraries → Material library → new

NB il modello deve essere lungo almeno 1 m per lato o su asse di simmetria o il triplo della dimensione caratteristica del PT → crf slide successiva su condizioni al contorno e ipotesi adiabaticità

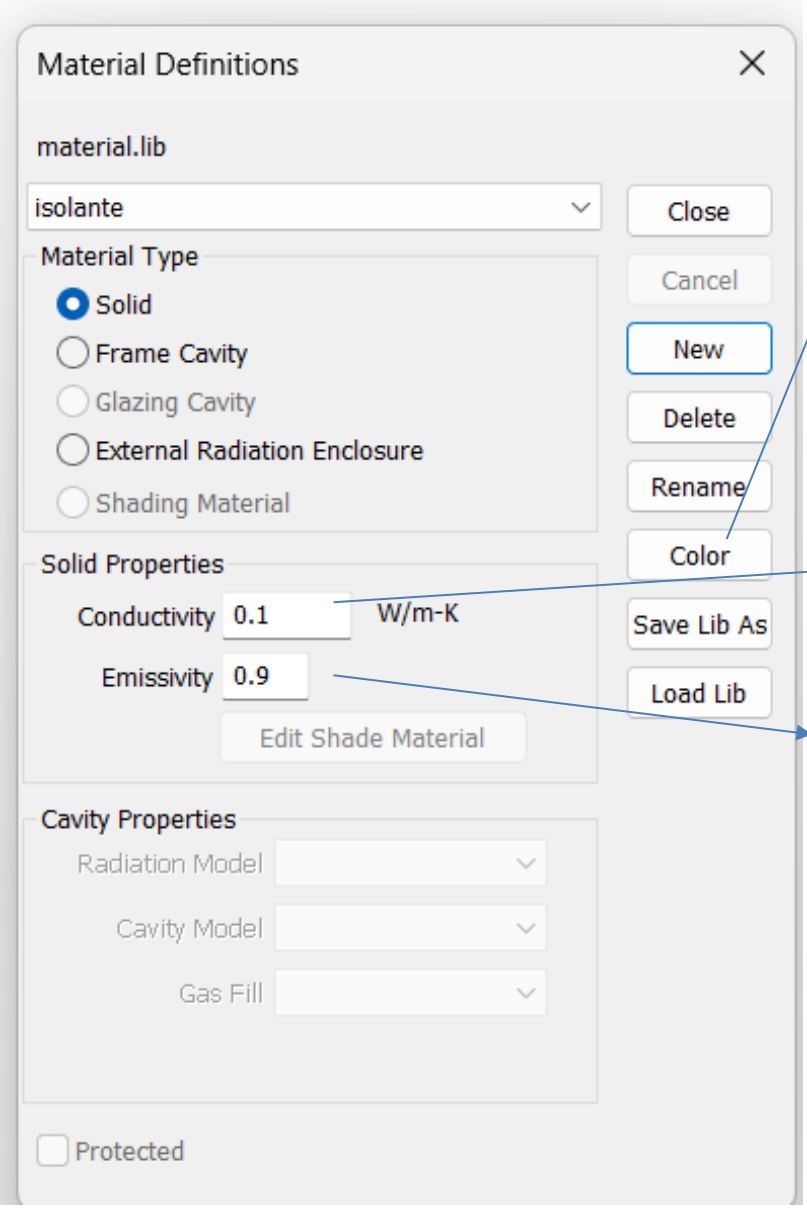
Caso studio architrave

Libraries → Material library → new → inserire il nome



Caso studio architrave

Definire un materiale in therm



Scegliere colore per identificare nel disegno il materiale

Conducibilità – scheda tecnica o UNI 10351

Emissività, se non nota, lasciare 0,9

Creare i seguenti materiali:
Isolante – 0,028 W/m K
Calcestruzzo – 1,4 W/m K
E i materiali multistrato???

DETERMINAZIONE DELLA LAMBDA EQUIVALENTE

DATI:

U_{PAR}, s_{PAR}

Resistenza superficiale [m^2K/W]	Direzione del flusso termico		
	ascendente ↑	orizzontale →	discendente ↓
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

$$\frac{1}{U_{par}} = R_{si} + \frac{s}{\lambda_{eq}} + R_{se}$$

Da cui

$$\lambda_{eq} = \frac{s}{\left(\frac{1}{U_{par}} - R_{si} - R_{se}\right)}$$

Esempio cassa vuota da 40 cm U =1.1 W/m²K

$$\lambda_{eq} = \frac{0.4}{\left(\frac{1}{1.1} - 0.13 - 0.04\right)} = 0.541\ W/mK$$

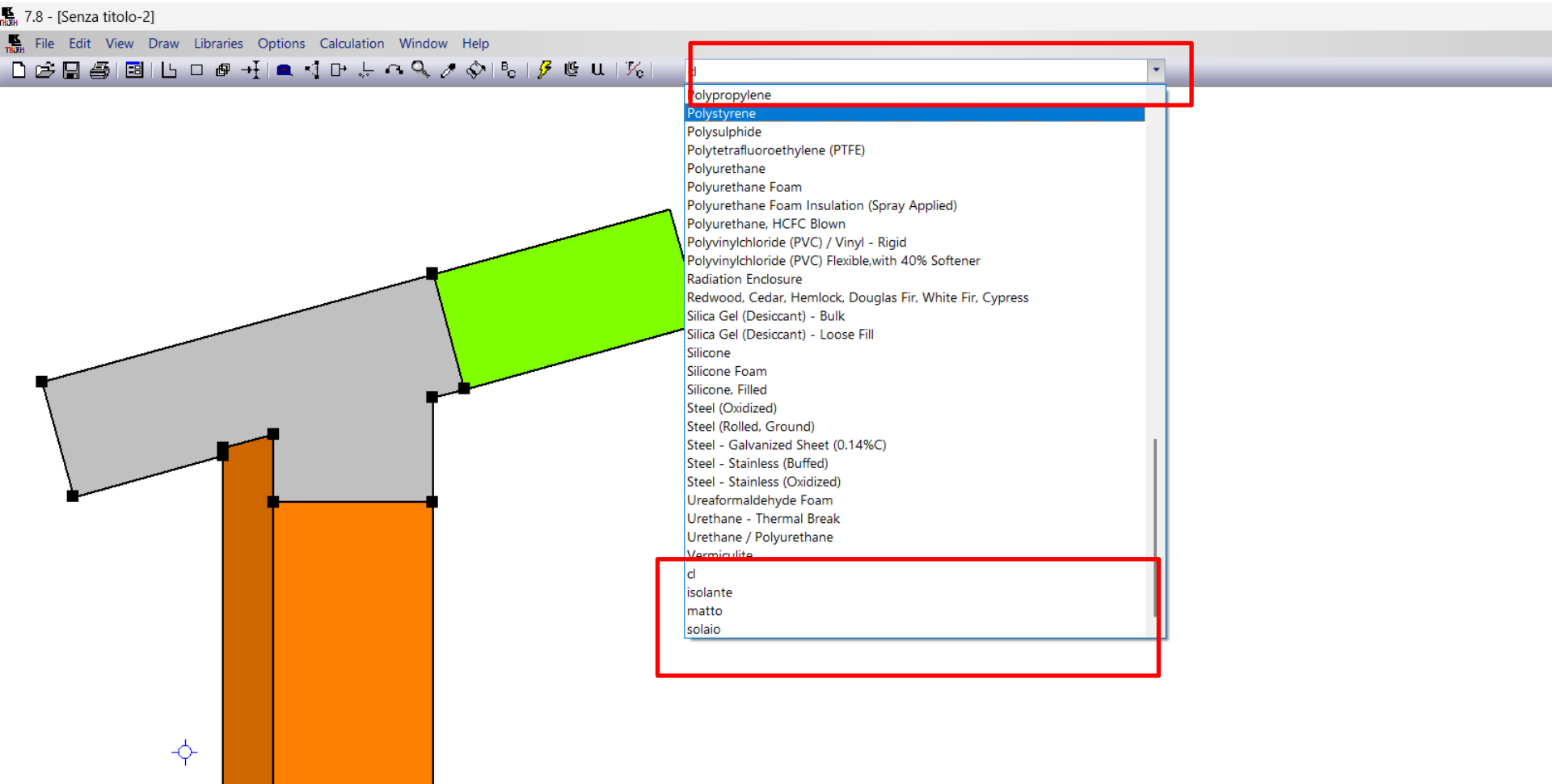
Muro cassa vuota				
	Spessore	Resistenza media	Conducibilità media	U fissata
Rsi		0.13		
MURO INTERNO DA 12	0.4	0.74	0.541	1.10
telaio				
parete				
Rse		0.04		
	0.4	0.91		
TRASMITTANZA	1.1	da celeste 2		
RESISTENZA TERMICA	0.909			

	DIREZIONE DEL FLUSSO TERMICO		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

Caso studio architrave

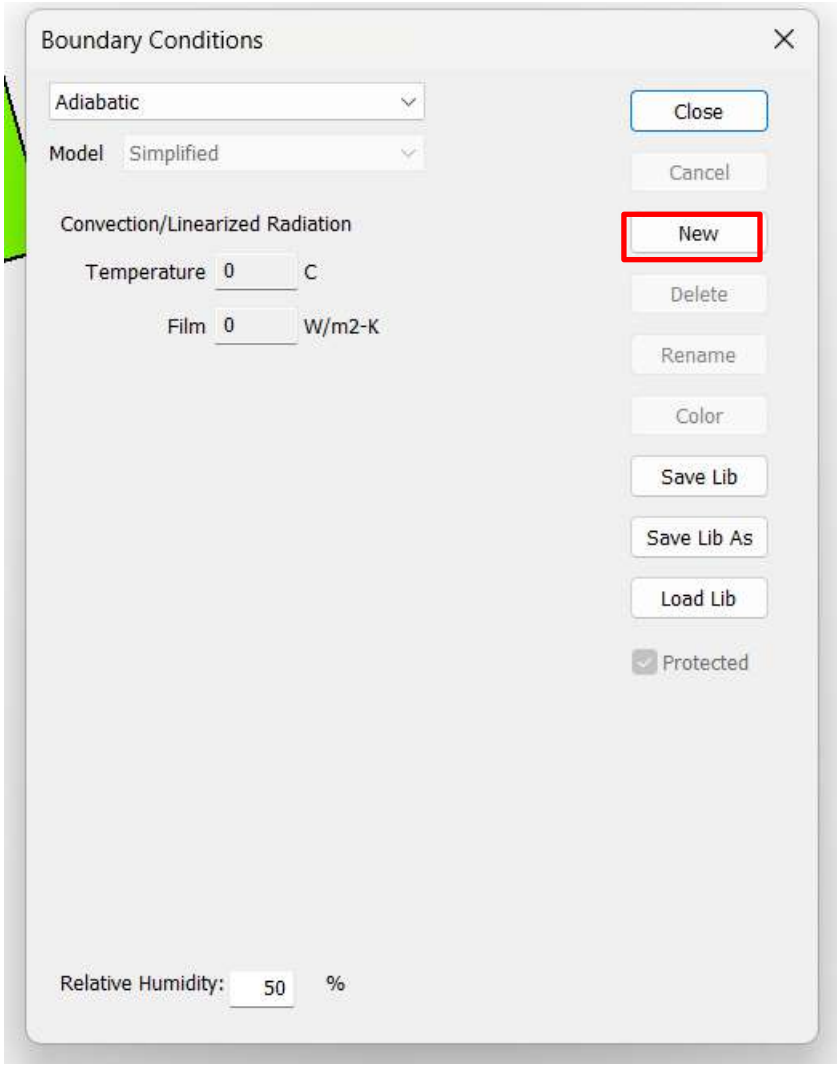
Elemento	s [cm]	U [W/m²K]	λ_{eq} [W/mK]
Muro	33	1	0,398
Solaio	25	1,25	0,379

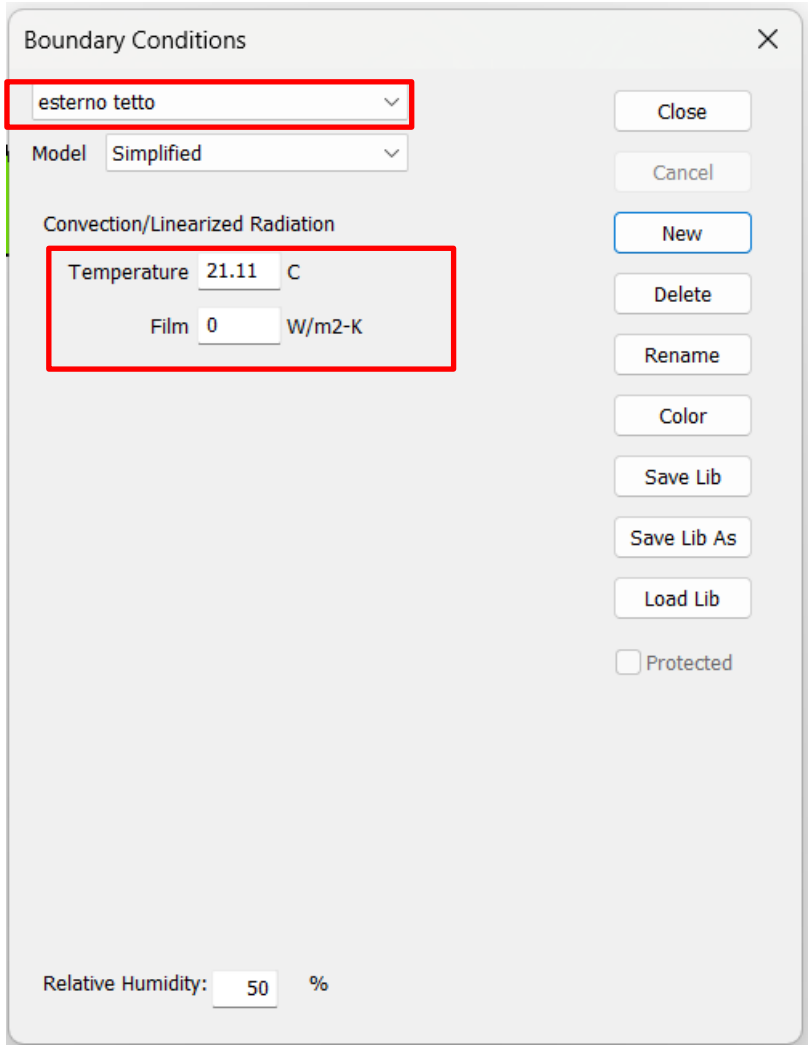
Per assegnare i materiali cosi creati: clic sx in area poligono e da menù a discesa scelgo il materiale (quelli nuovi sono di solito in fondo



Caso studio architrave

Libraries → boundary condition library → new → assegno il nome della nuova cc
Principalmente vanno assegnate: temperatura e film coefficient





Caso studio architrave

Temperatura: esterno, interno o ambiente non riscaldato

Tipologia di locale non riscaldato	Coefficiente b_{tr}	Temperatura interna stimata (T_u)
Locali interrati o seminterrati (senza finestre o serramenti esterni, es. cantine chiuse)	**0,50**	**~ 10 °C**
Vani scala interni (senza aperture dirette verso l'esterno o serramenti significativi)	**0,50**	**~ 10 °C**
Vani scala con serramenti esterni o porte verso l'esterno	**0,60**	**~ 8 °C**
Autorimesse / Box singoli (senza ventilazione permanente o continue aperture)	**0,60**	**~ 8 °C**
Spazi sottotetto (molto ventilati o con ampie superfici disperdenti verso l'esterno)	**0,80**	**~ 4 °C**
Autorimesse con aerazione permanente (es. parcheggi condominiali aperti o con griglie)	**1,00**	**Uguale a $T_{esterna}$**
Ambienti adiacenti a un solo muro esterno (senza serramenti)	**0,40**	**~ 12 °C**

Caso studio architrave

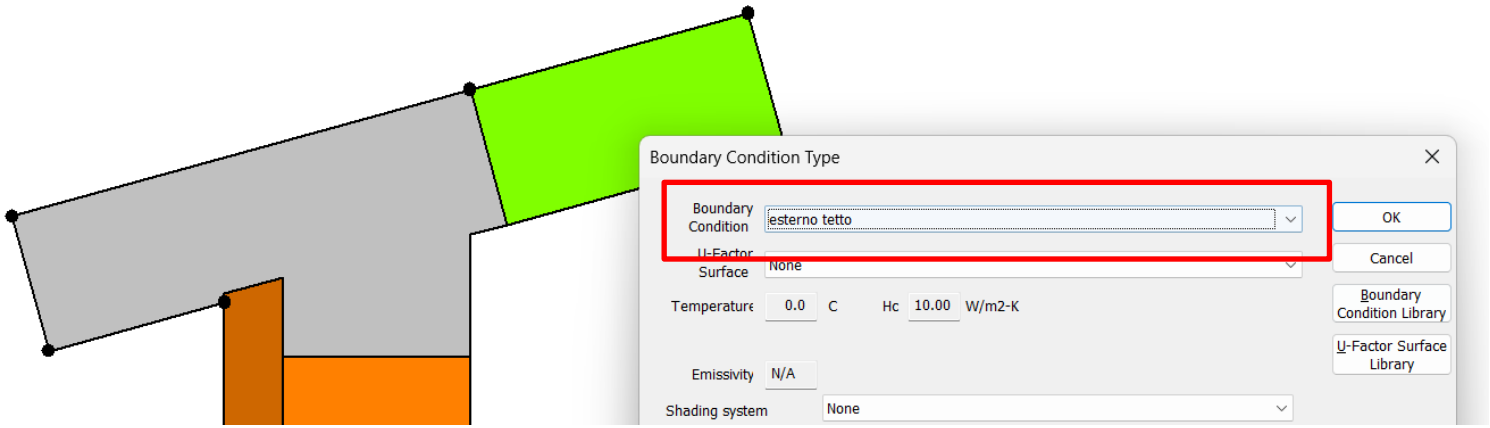
E il film coefficient?? È il reciproco del coefficiente liminare (R_{SI}, R_{SE})

	Resistenza	Film Coefficient
R_{si}	0.10	10
	0.13	8[1]
	0.17	5.88
R_{se}	0.04	25

Per assegnarle: schiaccio tasto «BC» sotto ai menù

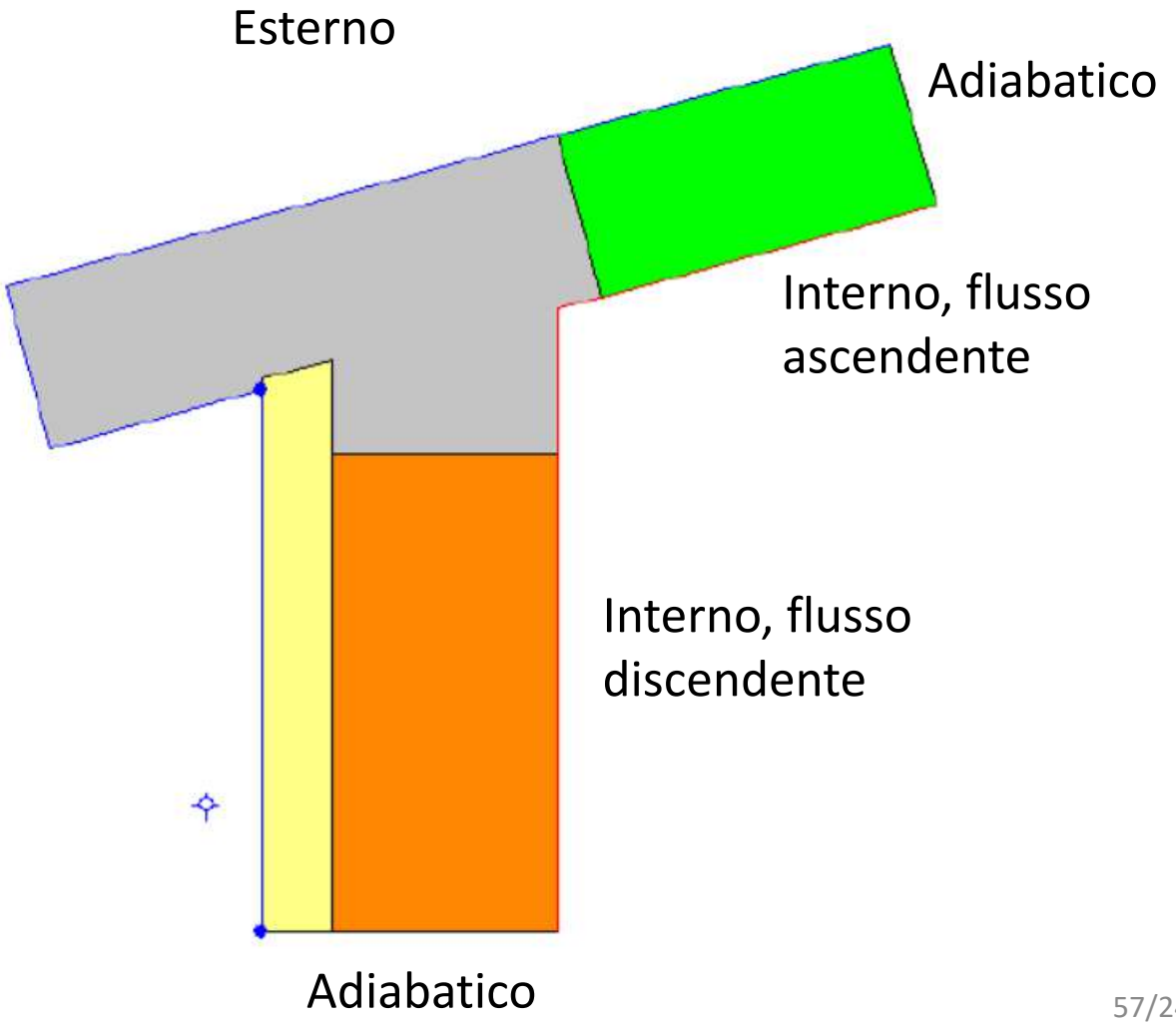


Col tasto sx tenendo premuto CTRL seleziono con un clic le varie linee che sono interessate dalla stessa BC. L'ultima linea va cliccata due volte (sempre premendo shift). In questa maniera si apre la schermata che permette di assegnare la BC



Caso studio architrave

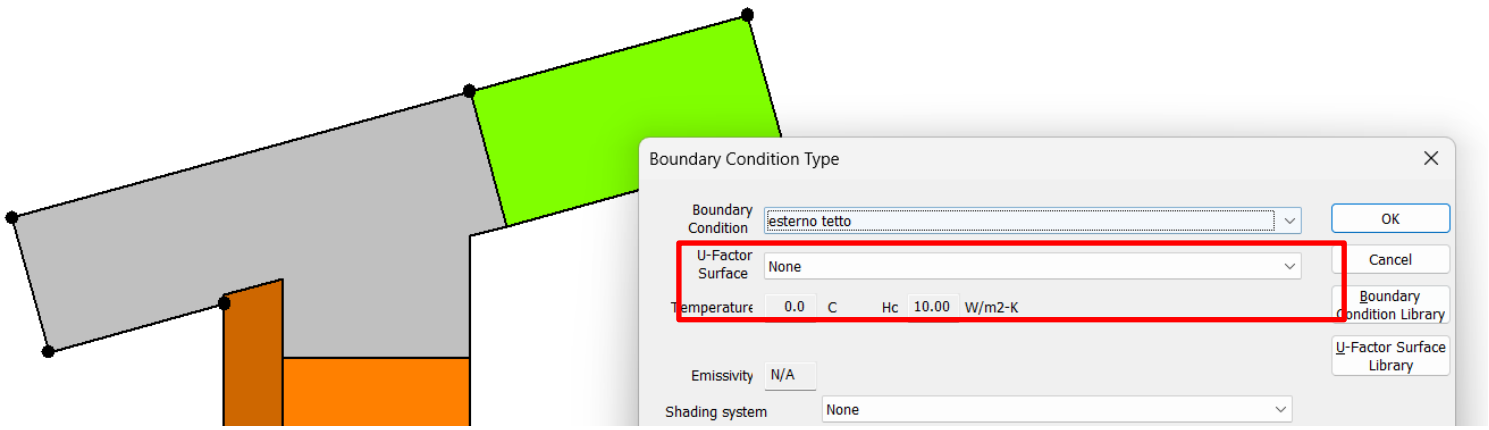
Ripetere i passaggi assegnando le condizioni al contorno come sotto riassunto



Caso studio architrave

Definizione di un Ufactor: mi permette di definire la frontiera attraverso la quale calcolo tramite FEM il flusso termico totale (i.e., PT + muro + solaio)
Libraries → Ufactor names → add → chiudo la finestra di dialogo

A questo punto torniamo sul disegno, selezioniamo i lati interni (se calcolo ψ_{int}) tenendo premuto ***CTRL*** e, sull'ultimo lato, facciamo doppio click col mouse (tasto sinistro). Si aprirà una finestra dove è indicato "multiple selection", non ci resta che assegnare l'Ufactor appena creato in *U-Factor Surface*.

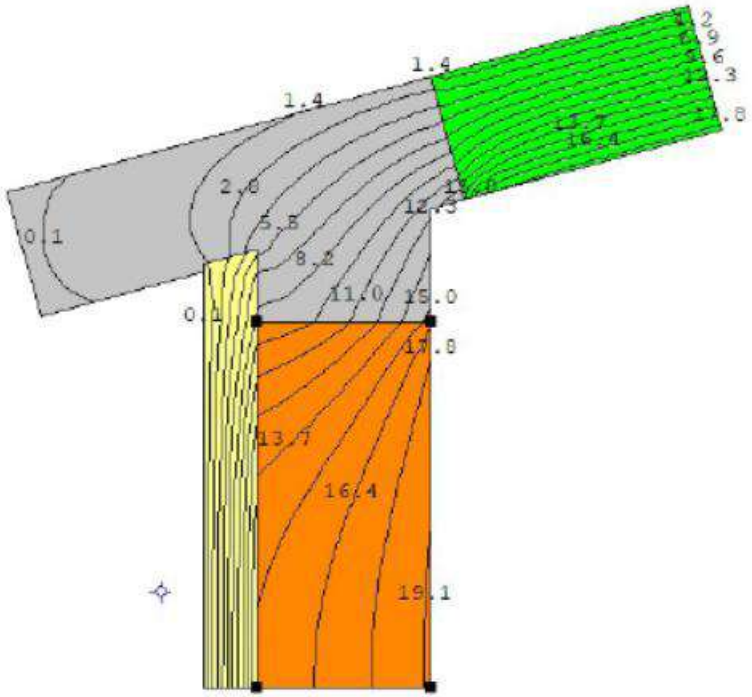


Caso studio architrave

Eseguire i calcoli tramite il pulsante posto sotto ai menù

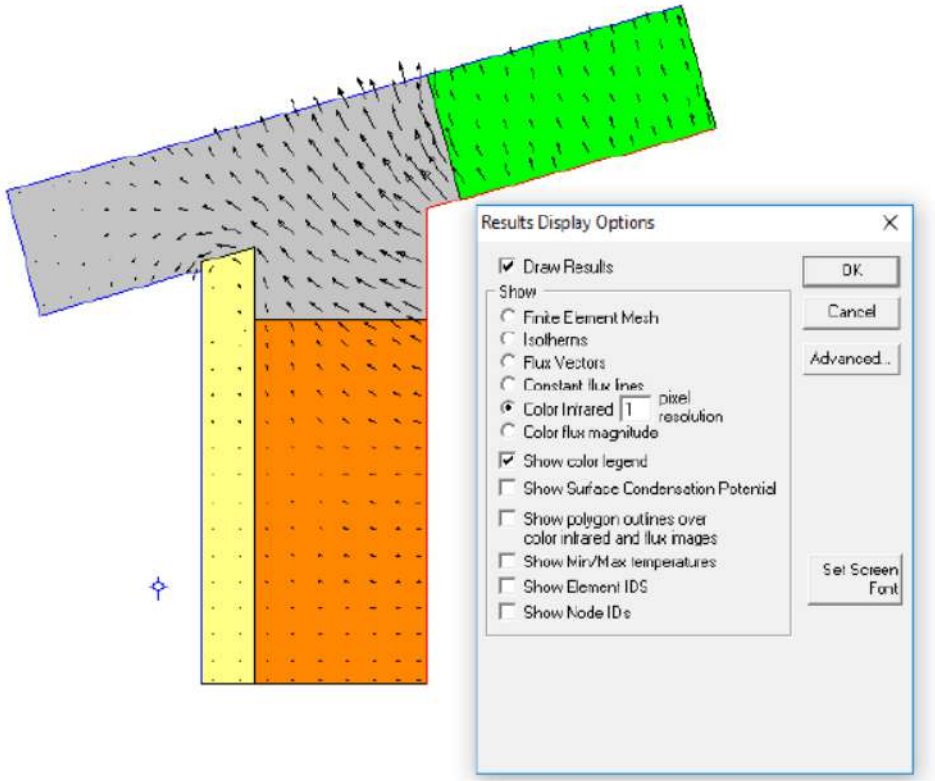


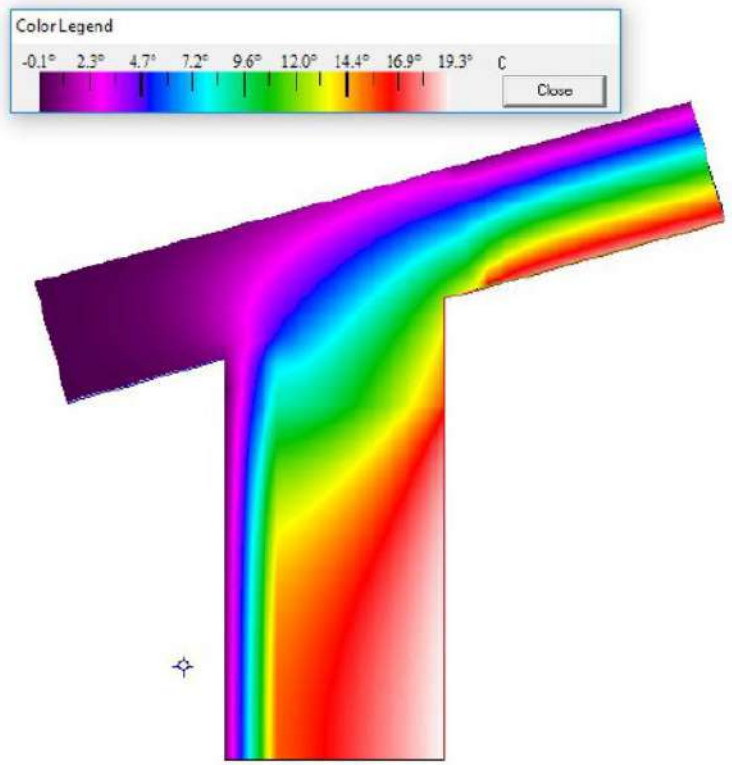
Posso visualizzare diversi elementi es: isoterme



Caso studio architrave

Posso visualizzare diversi elementi es: linee di flusso (a sinistra) o colori falsati (a destra)
Calculation – Display Options

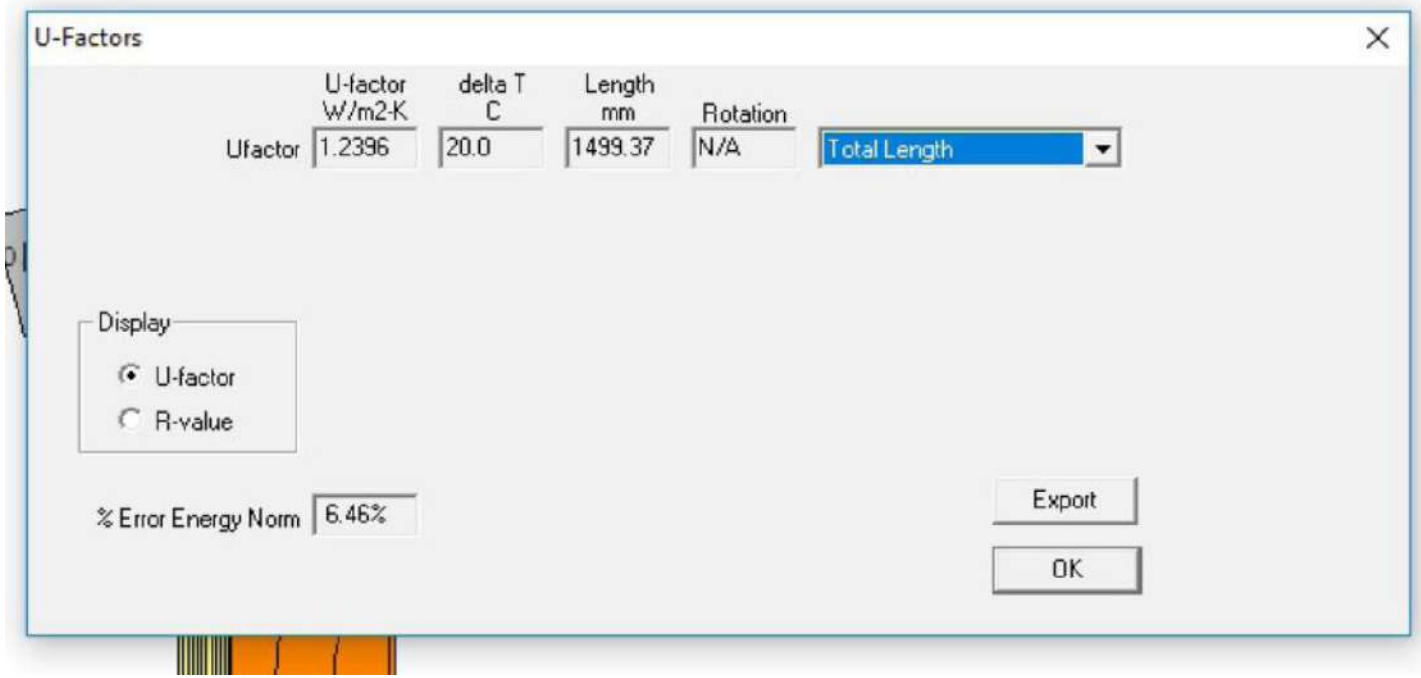




Caso studio architrave

Visualizzare U factor: tasto 

Oppure Calculation → Show U-Factors. Dal menù a discesa scegliere sempre l'ozpione «total length». Il valore stampato rappresenta il flusso totale dissipato lungo la frontiera precedentem,ente definita dall'Ufactor e la relativa lunghezza in mm



2.6 Calcolo della trasmittanza termica lineare

Come riportato nella norma UNI EN ISO 10211:2008, la trasmittanza termica lineare (Ψ) è pari all'incremento di flusso termico (rispetto al valore ottenuto con il calcolo monodimensionale) che si ha per lo sviluppo di un campo termico bi-tri dimensionale, in regime stazionario e diviso per una lunghezza caratteristica del ponte termico e per la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato, cioè:

$$\Psi = \frac{\Phi^{2D} - \sum_i^N \Phi_i^{1D}}{L_{PT} \cdot \Delta\theta}$$

La trasmittanza termica lineare è quindi una grandezza che consente di calcolare il flusso termico addizionale dovuto al ponte termico rispetto al flusso termico monodimensionale calcolato per gli elementi edilizi piani concorrenti e/o costituenti tale ponte termico ed è operativamente calcolabile dalla sua definizione come:

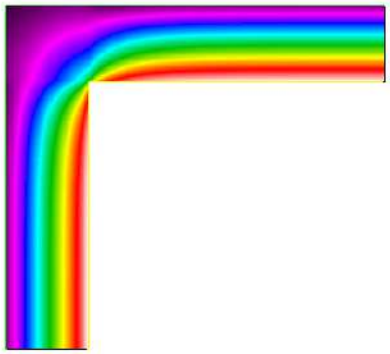
$$\Psi = \frac{\Phi^{2D}}{L_{PT} \cdot \Delta\theta} - \sum_i^N \frac{\Phi_i^{1D}}{L_{PT} \cdot \Delta\theta} = L_{2D} - \sum_i^N U_i \cdot l_i$$

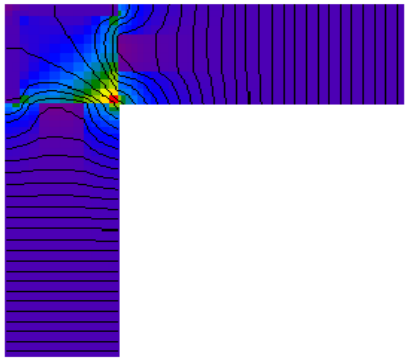
CALCOLO DEL CALORE DISPERSO IN REGIME STAZIONARIO

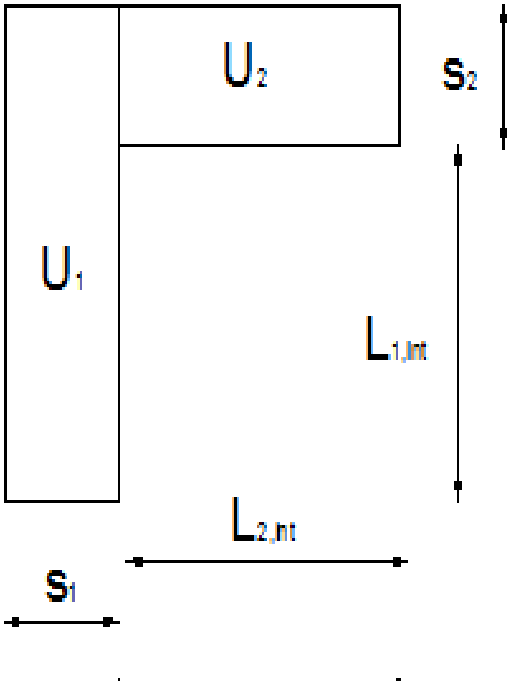
$$\varphi_{2D} = \varphi_{1,1D} + \varphi_{2,1D} + \varphi_{PT}$$

$$\varphi_{PT} = \varphi_{2D} - \varphi_{1,1D} - \varphi_{2,1D} = \varphi_{2D} - L_{1,\text{int}} z U_1 (\theta_{\text{int}} - \theta_{est}) - L_{2,\text{int}} z U_2 (\theta_{\text{int}} - \theta_{est})$$

$$\psi_i = \frac{\varphi_{2D}}{z(\theta_{\text{int}} - \theta_{est})} - L_{1,\text{int}} U_1 - L_{2,\text{int}} U_2$$







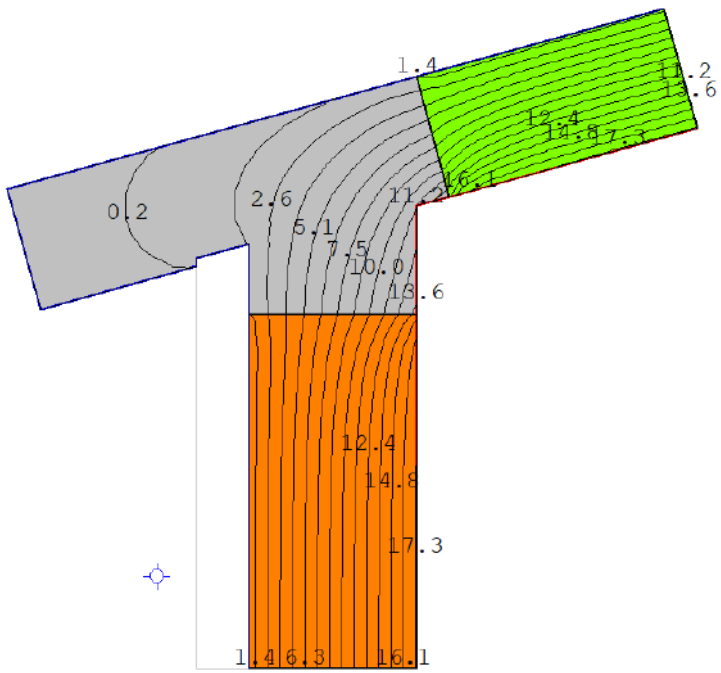
Caso studio architrave

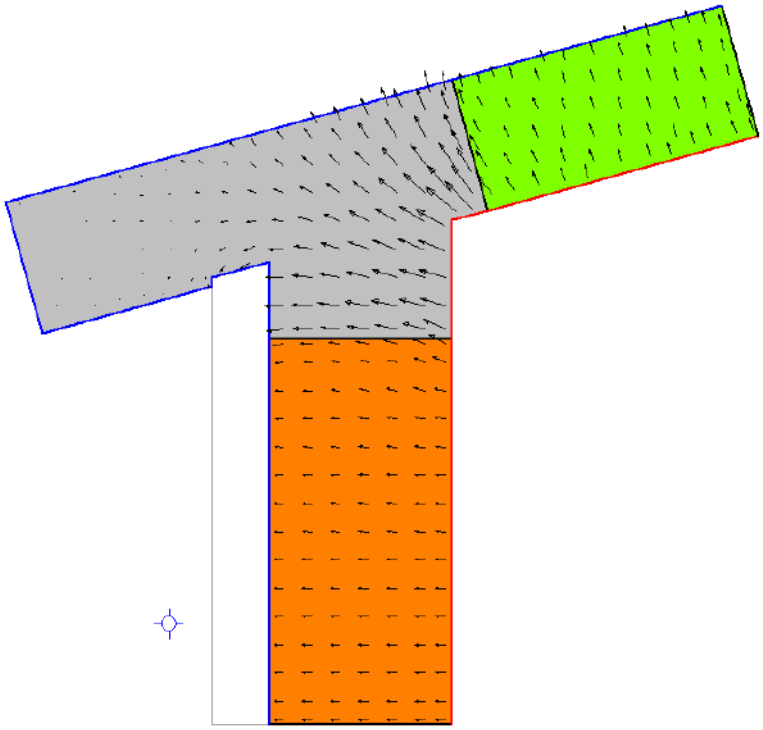
Materiale	U [W/m²K]	L [m]	ΔT	U*L*ΔT [W]
Ufactor	1,2396	1,499	(20-0) °C	37,163
Parete	0,220	0,920	(20-0) °C	4,048
solaio	1,250	0,580	(20-0) °C	14,5
Contributo PT	(37,163-4,048-14,5) W = 18,61 W			

Divido il risultato per 1 m (lunghezza di riferimento del PT, ortogonale al piano del disegno) e per lo stesso ΔT (20°C) e ottengo ψ_{int} = 0,931 W/mK

Osservazioni: la differenza di temperatura non è davvero importante perché diventa tutto adimensionale

Caso studio architrave – risultati – stato zero no iso

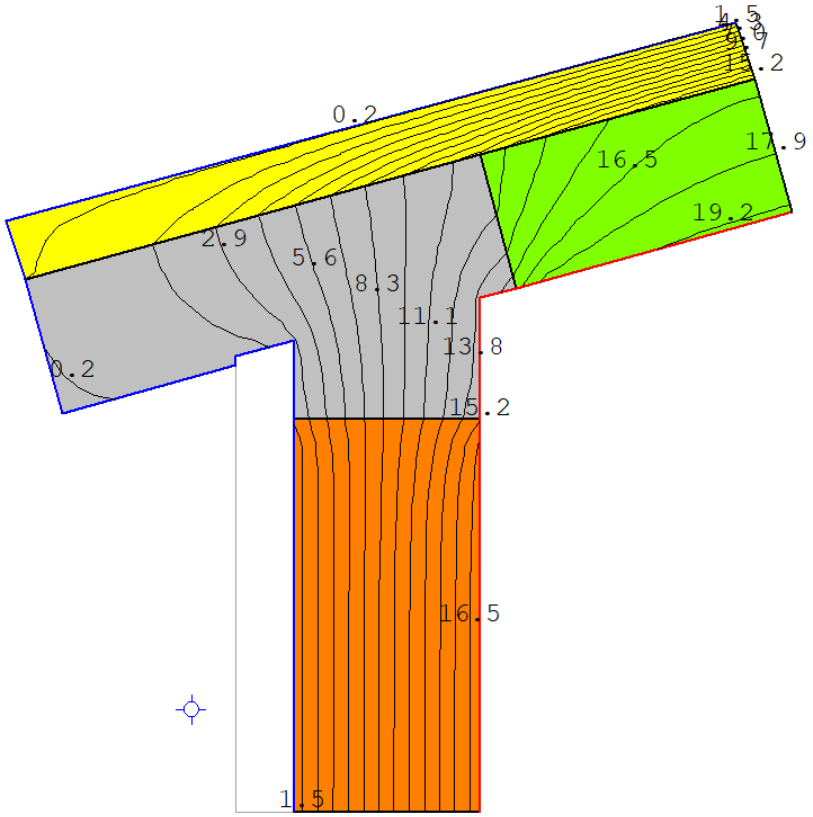


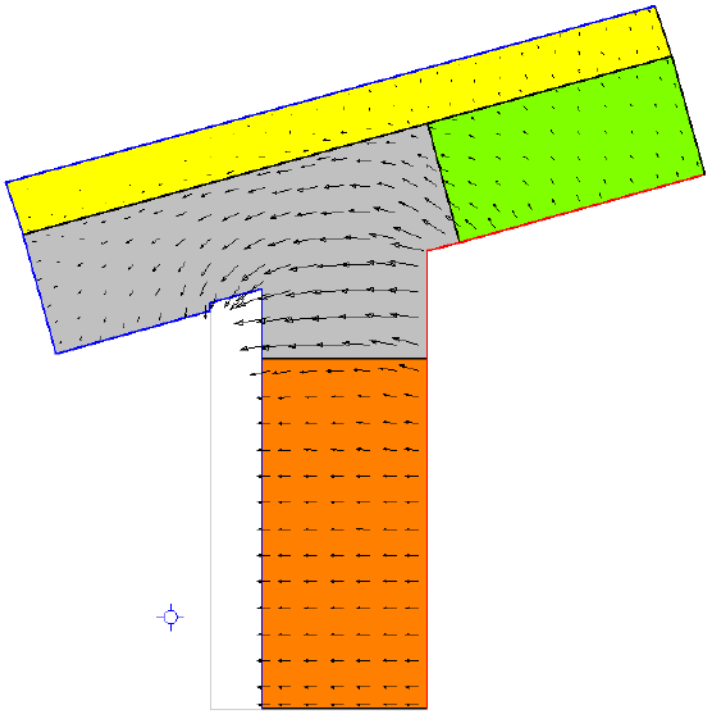


	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Edge	1.6034	20.0	1499.37	N/A	Total Length

ψ_{int} = 0,758 W/mK

Caso studio architrave – risultati – stato 1
iso tetto

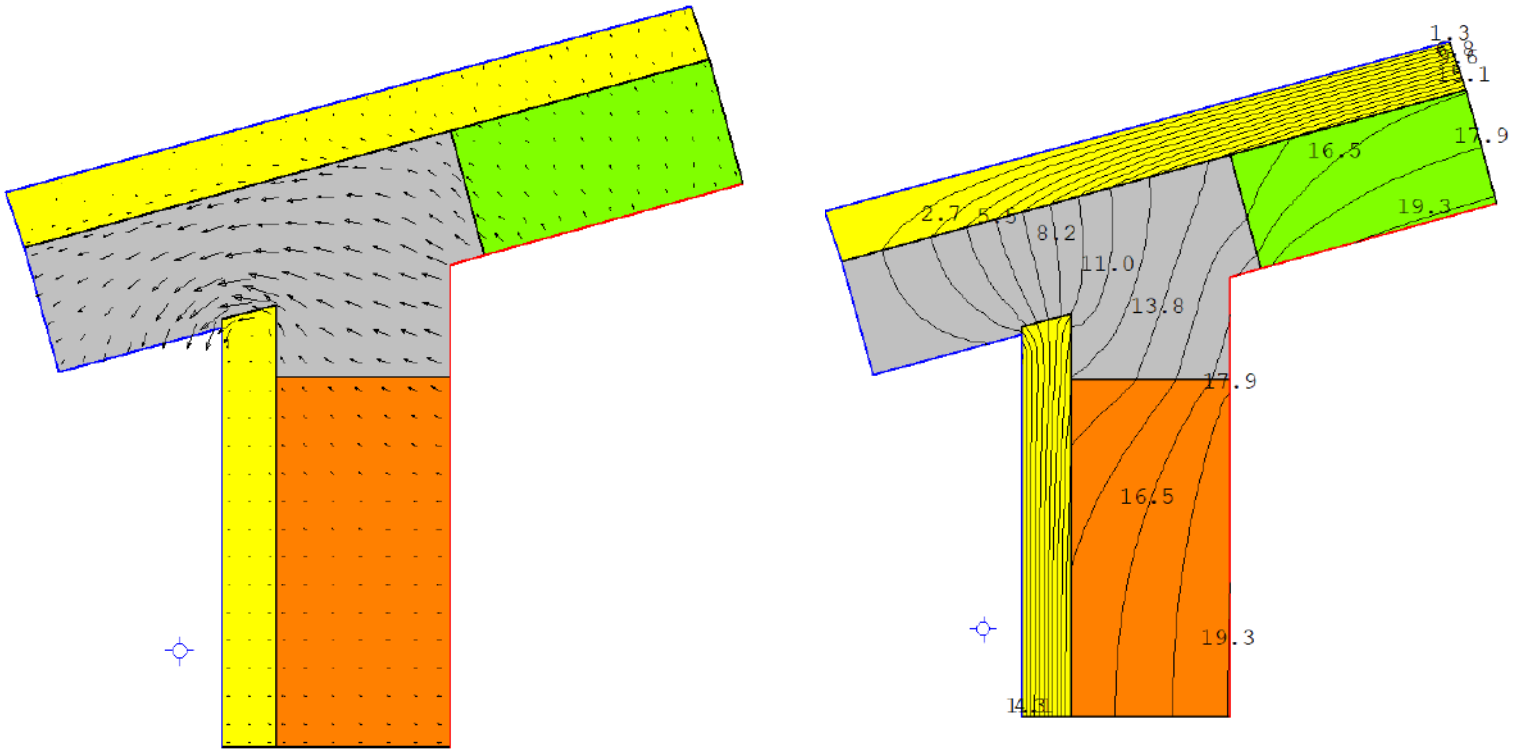




	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Edge	1.1079	20.0	1499.37	N/A	Total Length

ψ_{int} = 0,608 W/mK

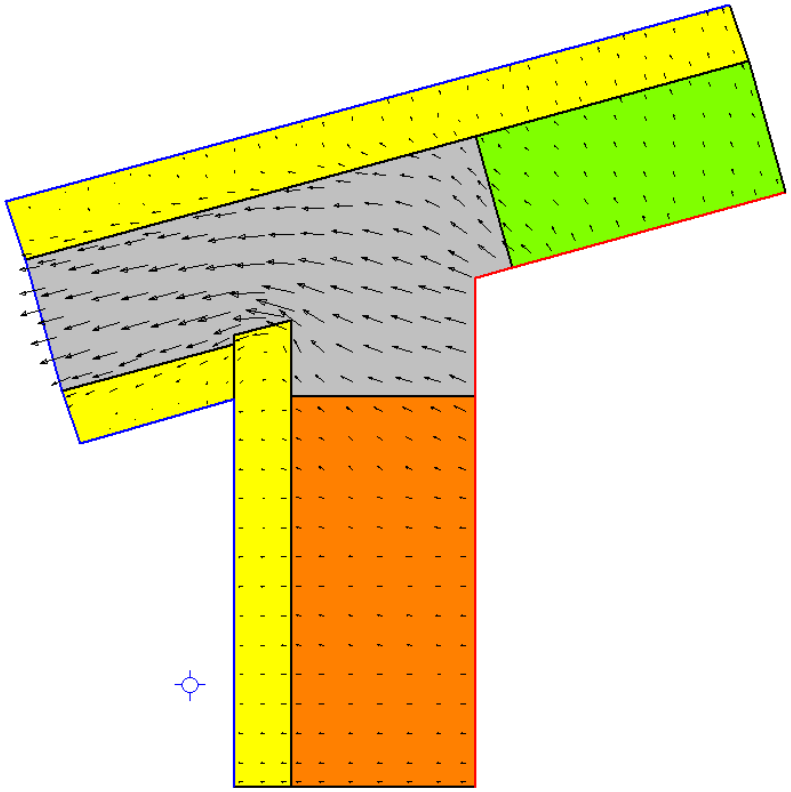
Caso studio architrave – risultati – stato 2
iso tetto + facciata

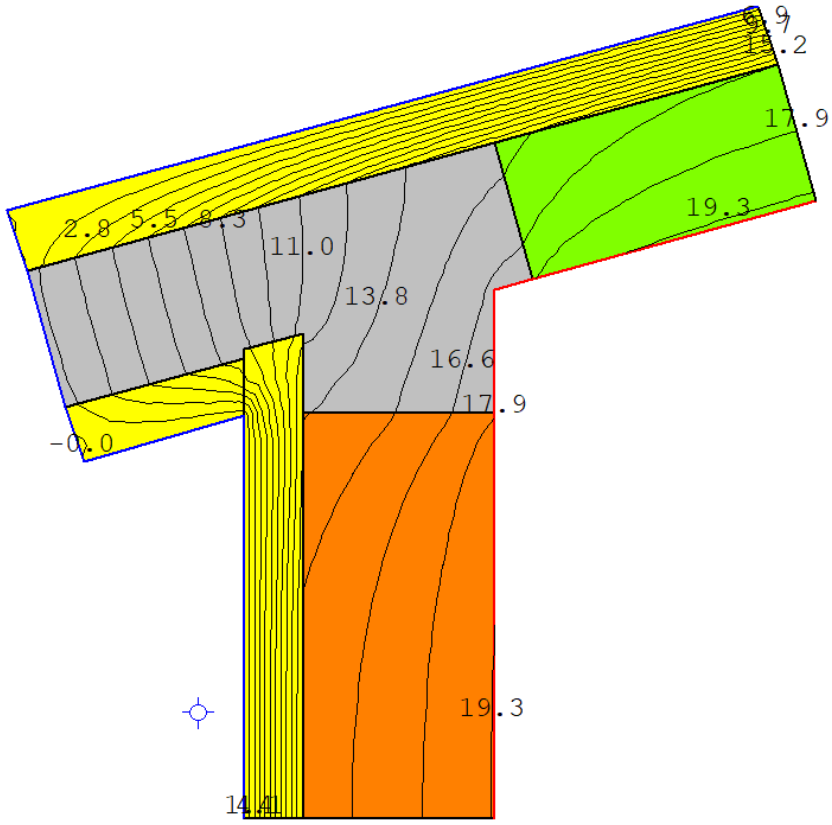


	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Edge	0.5594	20.0	1499.37	N/A	Total Length

ψ_{int} = 0,505 W/mK

Caso studio architrave – risultati – stato 3
iso tetto + facciata + cielino cornicione

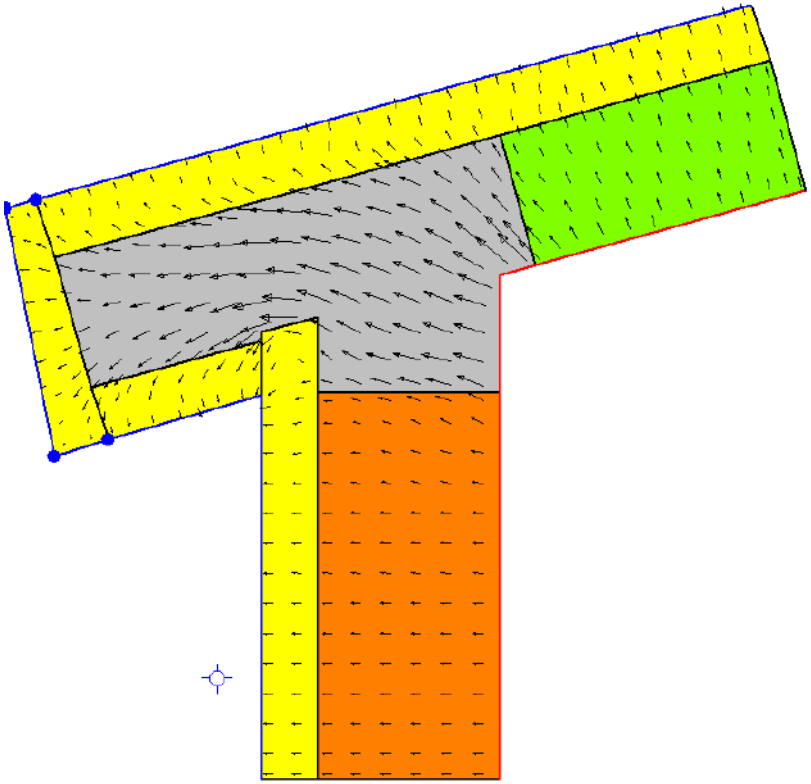


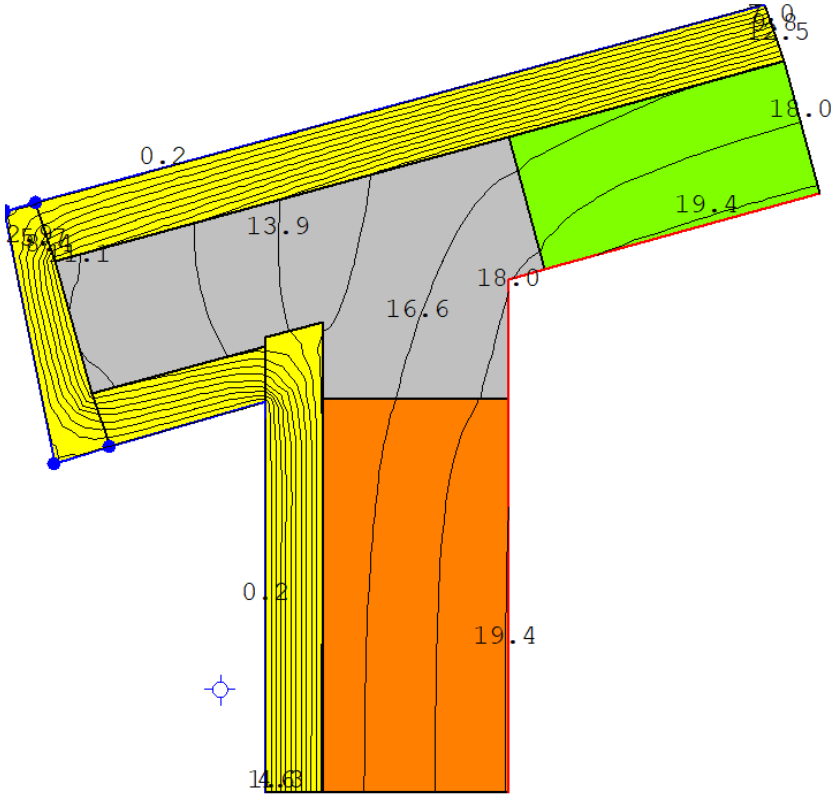


	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Edge	0.4829	20.0	1499.37	N/A	Total Length

ψ_{int} = 0,390 W/mK

Caso studio architrave – risultati – stato 4 iso tetto + facciata + cielino cornicione + fronte

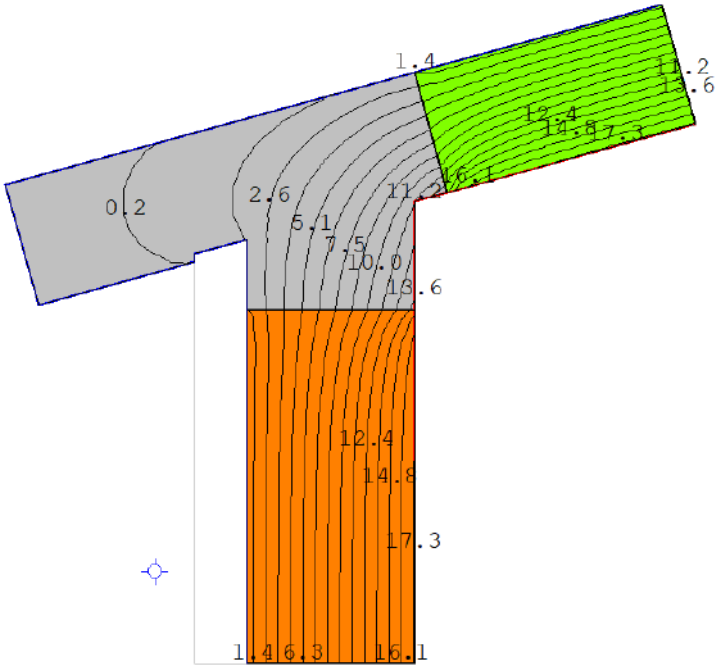


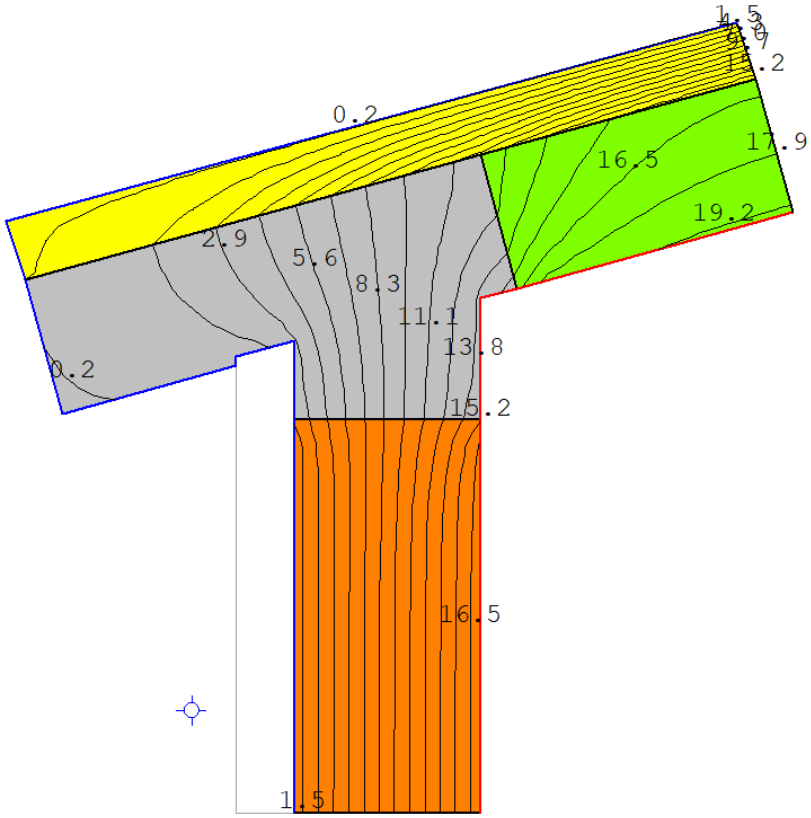


	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Edge	0.3551	20.0	1499.37	N/A	Total Length

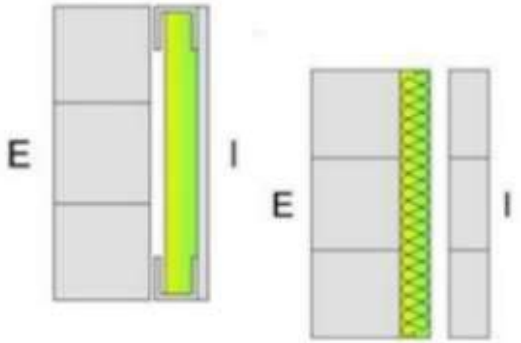
ψ_{int} = 0,198 W/mK

Caso studio architrave – commento sup adiabatiche





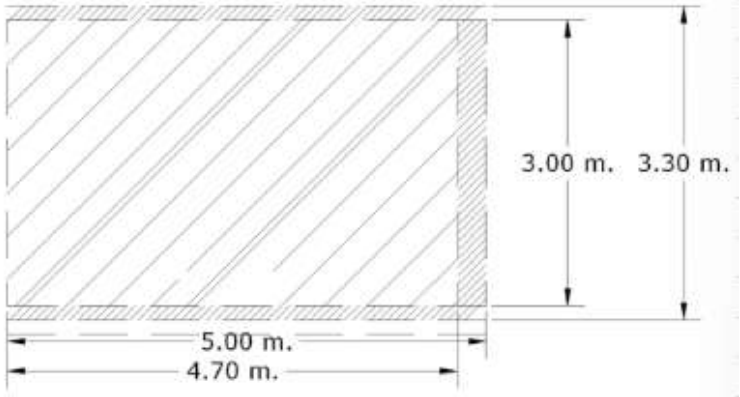
INSUFFLAGGIO E PONTI TERMICI



2. **In caso** di interventi di riqualificazione energetica dell'involucro opaco che prevedano l'**isolamento termico dall'interno o l'isolamento termico in intercapedine**, indipendentemente dall'entità della superficie coinvolta, i valori delle trasmittanze di cui alle tabelle da 1 a 4 dell'Appendice B, sono incrementati del 30%.

ESEMPIO

Zona climatica	U (W/m2K)		LIMITI PER INSUFFLAGGIO	
	2015(1)	2019/202	(+ 30%)	
A e B	0.450	0.430	0.585	0.559
C	0.380	0.340	0.494	0.442
D	0.340	0.290	0.442	0.377
E	0.300	0.260	0.390	0.338
F	0.280	0.240	0.364	0.312
I valori di trasmittanza delle precedenti tabelle si considerano				
considerano comprensive dell'effetto dei ponti termici				
ESEMPIO DI CALCOLO				

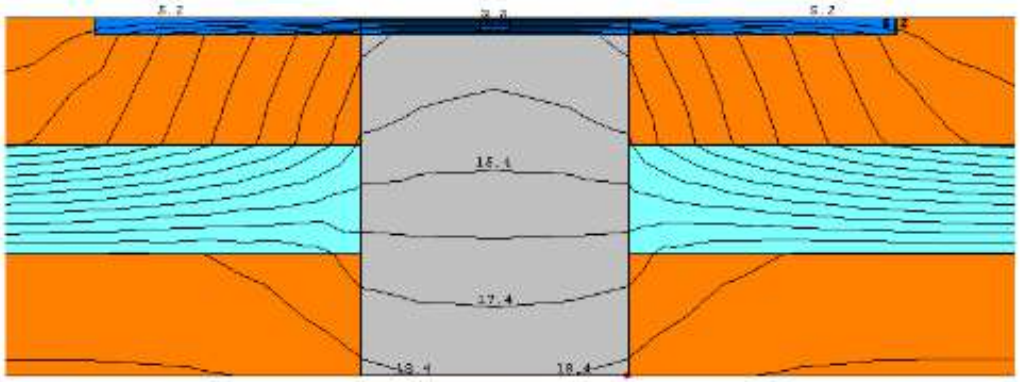


	cassa vuota originale			
	Spessore cm	Resistenza media	Conducibilità media	resistenza
Rsi		0.13		
intonaco di calce e gesso	1	0.014286	0.7	
mattoni forati da 8	8	0.2		0.2
intercapedine da 15	15	0.179856		0.17985612
mattoni forati da 12	12	0.309981		0.3099814
intonaco esterno	4	0.044444	0.9	
Rse		0.04		
	Rtot	0.916568		
	U	1.088651		

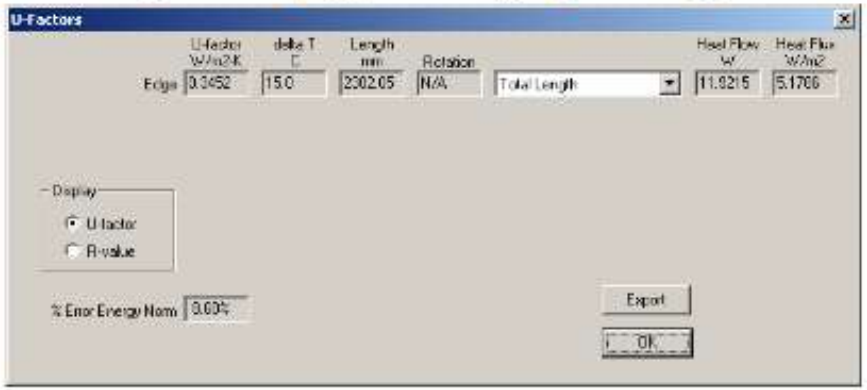
	Cassa vuota insufflata			
Rsi	cm	0.13		
intonaco di calce e gesso	1	0.014286	0.7	
mattoni forati da 8	8	0.2	0	0.2
isolante fiocchi cellulosa	15	4.054054	0.037	
mattoni forati da 12	12	0.309981	0	0.3099814
intonaco esterno	4	0.044444	0.9	
Rse		0.04		
Stot	40	4.792766	Rtot	
	U	0.208648		
per modello therm resto parete				
somma resistenze escluso isolante e liminari		0.568712		
spessore totale escluso isolante	25			
	lambda eq	0.44		

pilastro			
	Spessore cm	Resistenza media	Conducibilità media
Rsi		0.13	
pilastro	38	0.27	1.400
isolante nanotecnoclogie	2	1.11	0.018
Rse		0.04	
Stot	40	1.55	Rtot

U	0.644106

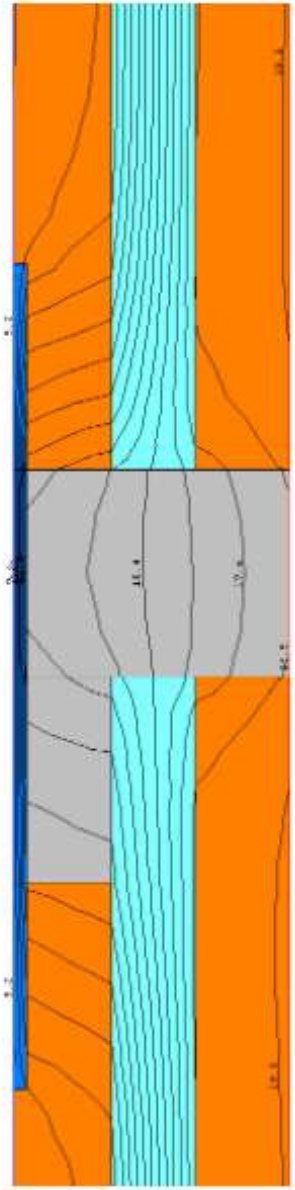


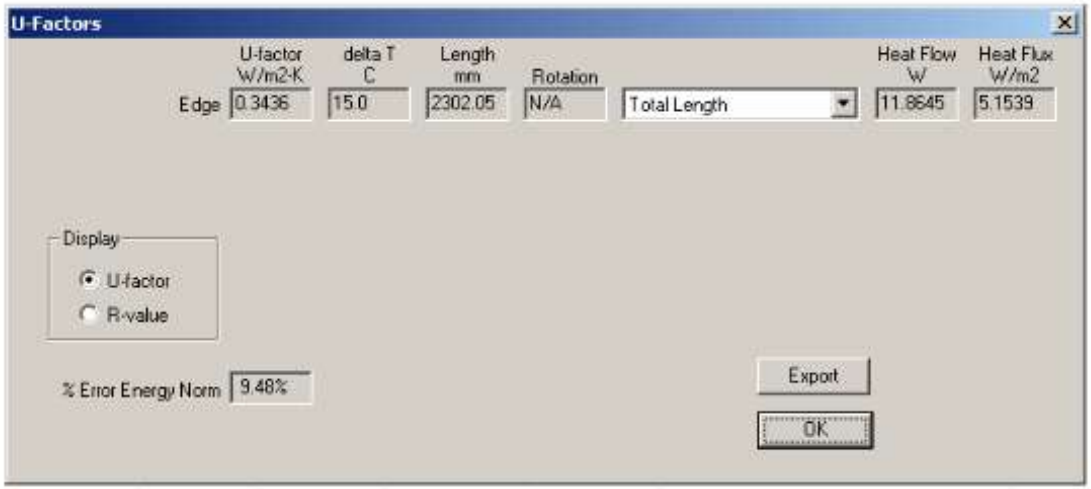
2 cm isolante su pt



	U	lunghezza				flusso
U factor	0.3452	2.302				0.79465

	U	lunghezza				flusso
parete	0.21	2.302				0.480307
						0
						0.480307
		ψ int				0.314343





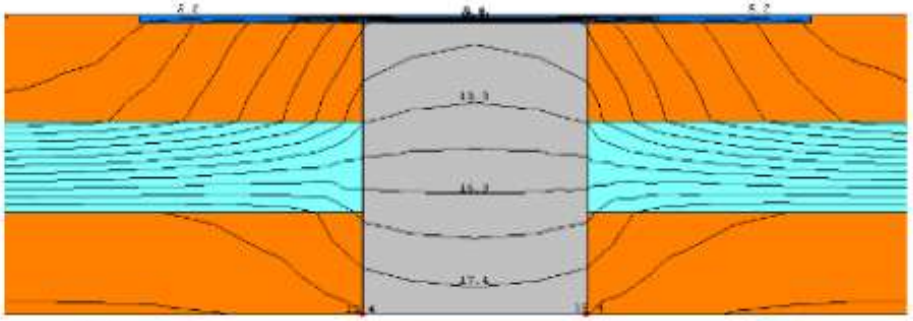
	U	lunghezza			flusso	
U factor	0.3436	2.302			0.790967	

	U	lunghezza			flusso	
parete	0.29	2			0.58	btr
					0	1
					0.58	
		ψ int			0.210967	

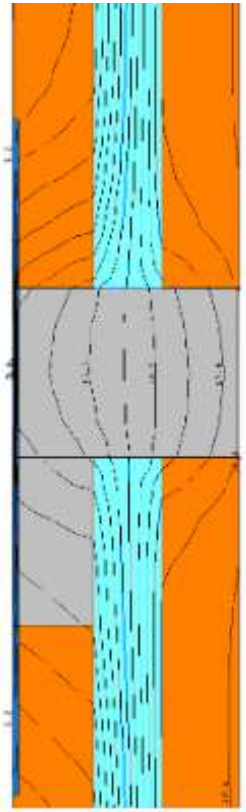
2 cm isolante su pt

ESEMPIO DI CALCOLO							
			b	h	S	U legge aum 30%	U progetto
Specchiatura complessiva	A		5	3.3	16.5	**0.377**	
Cassa Vuota insufflabile			4.7	3	14.1		**0.290**
calcolo U media				S	U progetto	H (W/K)	
Parete insufflata				14.1	0.208	2.9328	
Ponti termici		struttura		L	psi int	H (W/K)	
pilastro (psi intero) 2 cm isolato				3	0.314	0.942	
trave (psi dimezzato)	0.2109/2	2 cm isolato		10	0.1045	1.045	
H tot						4.9198	
Umedia						**0.29817**	

Se non ci fosse incremento non passerebbe la verifica ! ($U_{limbase}$ 0.29 W/m²K)
Con deroga passa comodo 0.377!!



Se 1 solo cm isolante su pt







	U	lunghezza			flusso
U factor	0.3902	2.302			0.89824

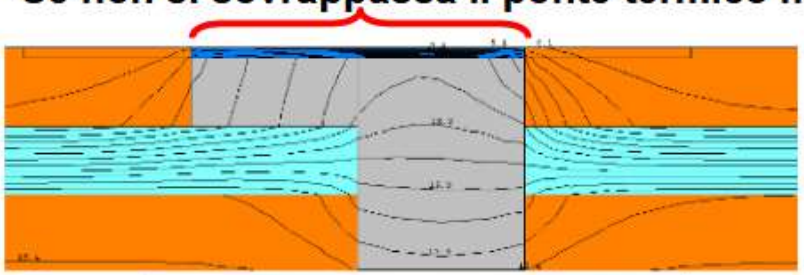
	U	lunghezza			flusso
parete	0.21	2.302			0.480307
					0
					0.480307
		ψ int			0.417933

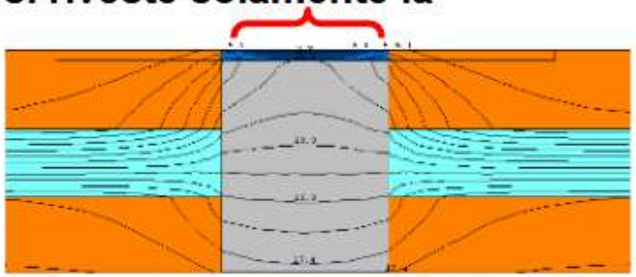
	U	lunghezza			flusso
U factor	0.396	2.302			0.911592

	U	lunghezza			flusso
parete	0.29	2			0.58
					0
					0.58
		ψ int			0.331592

ESEMPIO DI CALCOLO													
		b	h	S	U legge aum 30%	U progetto							
Specchiatura complessiva	A	5	3.3	16.5	**0.377**								
Cassa Vuota insufflabile		4.7	3	14.1		**0.290**							
			ISOLAMENTO 2 CM					ISOLAMENTO 1 CM					
calcolo U media			S	U progetto	H (W/K)				S		0	H (W/K)	
Parete insufflata			14.1	0.208	2.9328				14.1	0.208		2.9328	
Ponti termici		struttura	L	psi int	H (W/K)				L	psi int		H (W/K)	
pilastro (psi intero) 2 cm isolato			3	0.314	0.942			1 CM ISOLATO	3	0.41793		1.25379	
trave (psi dimezzato) 0.2109/2	2 cm isolato		10	0.1045	1.045			1 CM ISOLATO	10	0.1658		1.658	
H tot					4.9198							5.84459	
Umedia					**0.29817**	<0.377						**0.35422**	<0.377

Se non si sovrappassa il ponte termico ma si riveste solamente la









	U	lunghezza			flusso
U factor	0.4066	2.302			0.935993

	U	lunghezza			flusso
parete	0.25	2			0.58
					0
					0.58
		ψ int			0.355993

	U	lunghezza			flusso
U factor	0.4307	2.302			0.991471

	U	lunghezza			flusso
parete	0.21	2.302			0.480307
					0
					0.480307
		ψ int			0.511164

La verifica NON passa neppure con 2 cm di isolante

a filo	ISOLAMENTO 2 CM		
	S		0 H (W/K)
	14.1	0.208	2.9328
	L	psi int	H (W/K)
	3	0.511	1.533
	10	0.178	1.78
			6.2458
			0.37853 >0.377

Breve richiamo nei Requisiti Minimi attuali – focus PT

Ristrutturazioni **importanti di secondo livello**,
→ trasmittanza media
→ trasmittanza della sezione corrente
→ Verifica assenza condense e rischio di formazione muffe

Riqualificazioni energetiche,
→ trasmittanza della sezione corrente
→ Verifica assenza condense e rischio di formazione muffe

NB in primo livello, demolizione e ricostruzione, nuovo si verifica H'_t perdendo le trasmittanze medie. Restano le verifiche di condensa e rischio formazione muffe anche sui PT

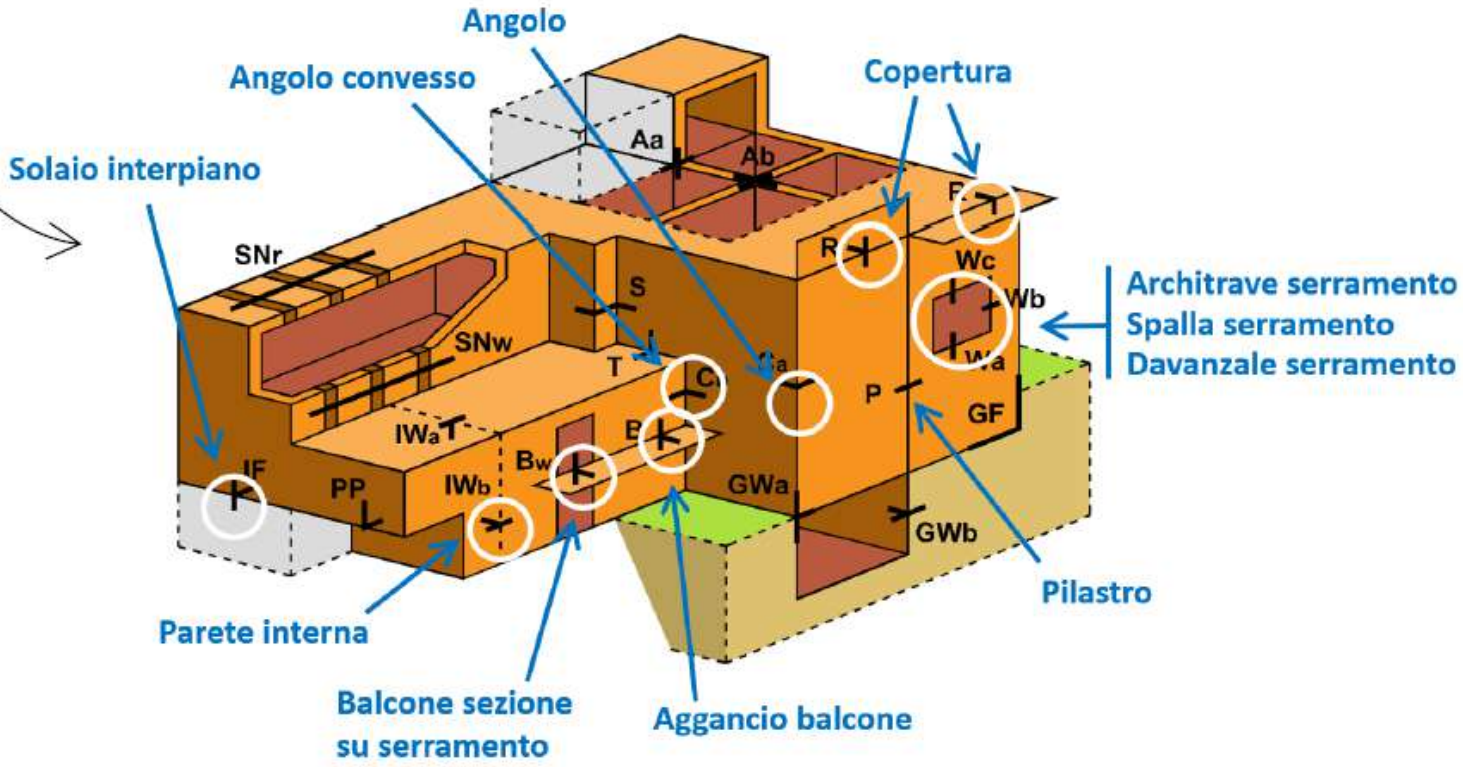
Trasmittanza media con ponti termici

$$\frac{\Sigma A \cdot U + \Sigma \Psi \cdot L}{\Sigma A} < \frac{\Sigma A \cdot U_{lim} + \Sigma \Psi_{tab} \cdot L}{\Sigma A}$$

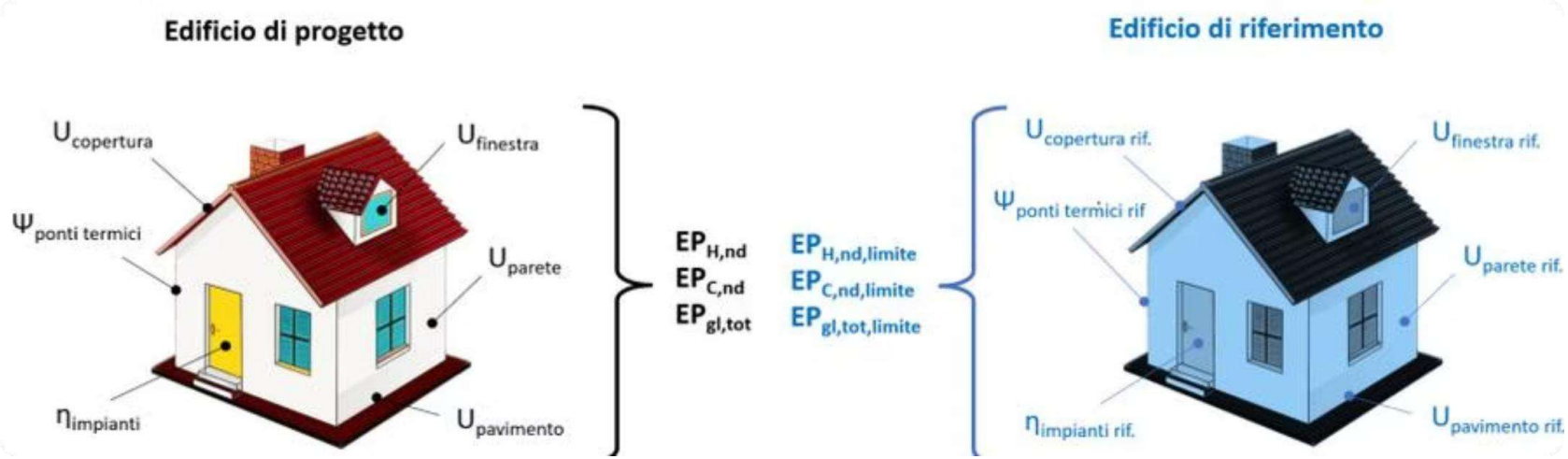
- con misure esterne lorde sulla porzione di involucro interessata dai lavori
- Solo ponti termici ricompresi in tabella
- Attribuire equamente (?) ciascun PT a ciascuna delle due strutture incidenti che lo collega

Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con nota del 12/06/26 dice che il PT va attribuito a metà tra le due strutture incidenti che collega.

Importante: Sono considerati all'interno del calcolo unicamente i ponti termici presenti nelle tabelle da 5 a 7. Le tipologie di ponti termici ivi non comprese non devono essere conteggiate né per il calcolo della trasmittanza termica di progetto né per il calcolo della trasmittanza termica limite.
Con riferimento allo schema del software IRIS i ponti termici considerati nel calcolo sono i seguenti
Maggiori dettagli sul software IRIS su www.anit.it/iris



Parametri dell'Edificio di Riferimento



Un edificio **identico a quello reale** per geometria, orientamento, ubicazione, destinazione d'uso e situazione al contorno, ma con caratteristiche termiche ed energetiche predeterminate.
Serve per calcolare gli indici limite:

- *EP_{H,nd}* — prestazione termica utile per il riscaldamento
- *EP_{C,nd}* — prestazione termica utile per il raffreddamento
- *EP_{gl,tot}* — prestazione energetica globale

Verifiche igrometriche

Verifica dell'assenza (ex UNI EN ISO 13788 e UNI EN ISO 10211):

- di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- di condensazioni interstiziali.

Si assumono come condizioni interne di utilizzazione quelle previste dal metodo delle classi di concentrazione.

(FAQ 2.25) Per il controllo del rischio muffa con l'espressione "con particolare attenzione ai ponti termici" si intende che la verifica deve essere effettuata sia sulla sezione corrente che sul ponte termico. Il calcolo deve essere effettuato con riferimento alle norme UNI EN ISO 13788 e UNI EN ISO 10211

Morale:

- I ponti termici vanno sempre considerati nel modello, anche se corretti e coibentati
- Un ponte termico è «corretto» quando il livello di coibentazione è tale da soddisfare le verifiche nelle quali è coinvolto (es H'_t, trasmittanza media, condense e rischio formazione muffe etc)
- Per le verifiche di condensa e rischio formazione muffa → specifica lezione, per ora ricordiamo solo che tali verifiche dipendono dalle temperature all'interfaccia dei vari strati → determinabili con modello FEM

CASO STUDIO CON THERM

NumFem Therm: the new Revit thermal simulation plug-in

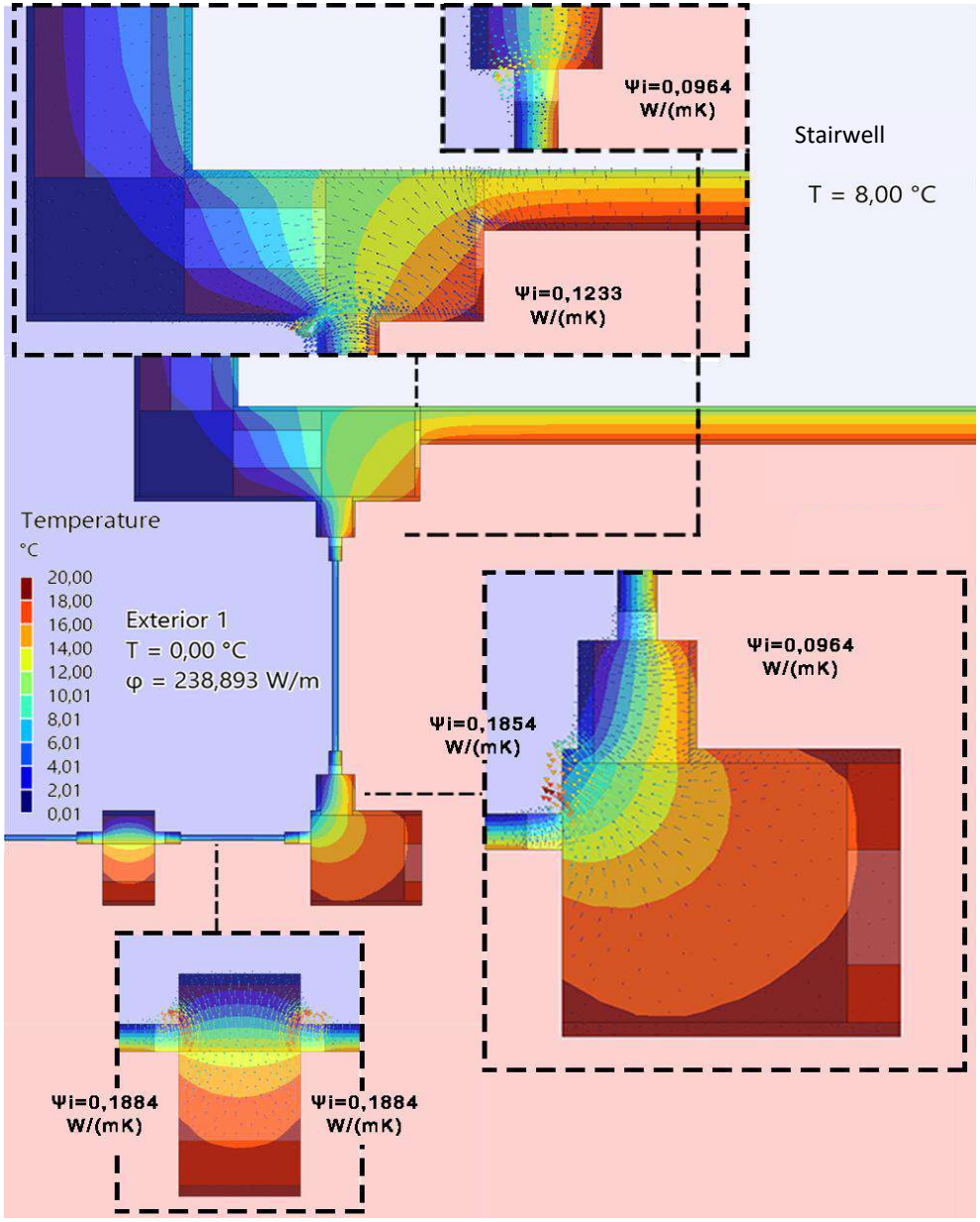
NumFem Therm rilasciato 25/03/ 2021, Dr. Ing. Hamid Badi e MSc. Olivier Bastide.

È il primo plug-in Revit al mondo sincronizzato direttamente con i dati BIM (Building Information Modeling).

È un risolutore di elementi finiti molto veloce e potente basato sugli ultimi miglioramenti matematici

Non è necessario utilizzare file dxf/dwg export-import

Dettaglio 1 – Stato attuale



- Alta trasmittanza dei muri
- Muro A (15 cm) $U_A = 1{,}973$ [W/m^{2}K]
- Muro B (40 cm) $U_B = 1{,}112$ [W/m^{2}K]
- Muro scale (: 15 cm) $U_{stairwell} = 1{,}618$ [W/m^{2}K]

- Alta trasmittanza serramenti $U_{windows} = 2{,}8$ [W/m^{2}K].

Dettaglio 1



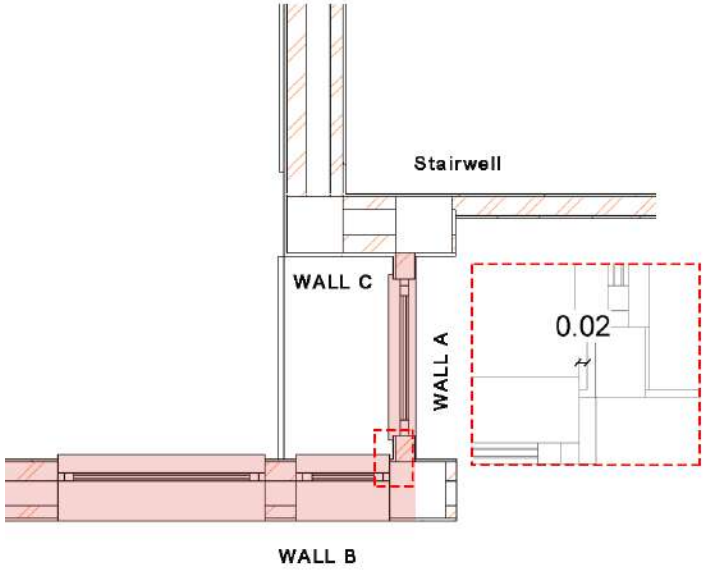
Revit modeling of detail 1 – intervention scenario 1

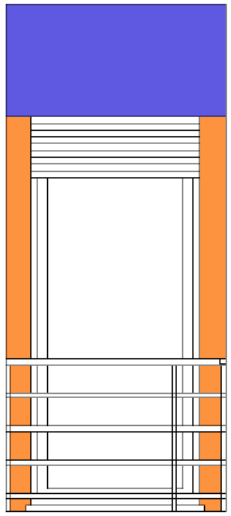
Osservazioni

- no cambio finestre
- No isolamento spalline
- Irregolarita dovute a differenti spessori
- Notevole riduzione spazio libero su balcone

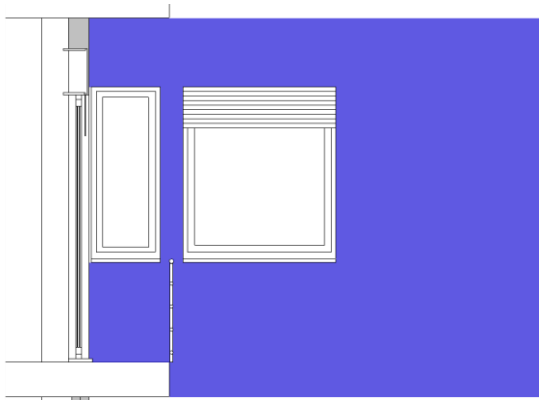
DETTAGLIO 1 SCENARIO DI INTERVENTO

- MURO A: PANNELLI AD ALTA PERFORMANZA cm (arancio) XPS 10 cm (in blu)
- MURO B : XPS 10 cm (in blu)



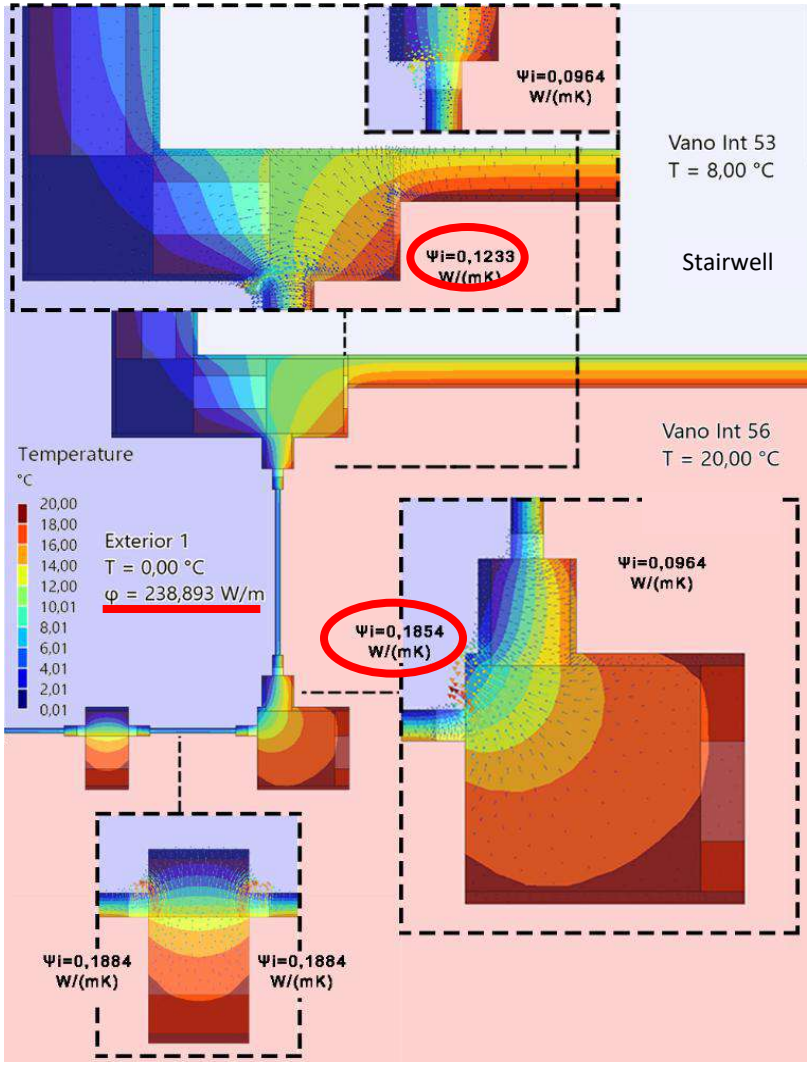


muro
A

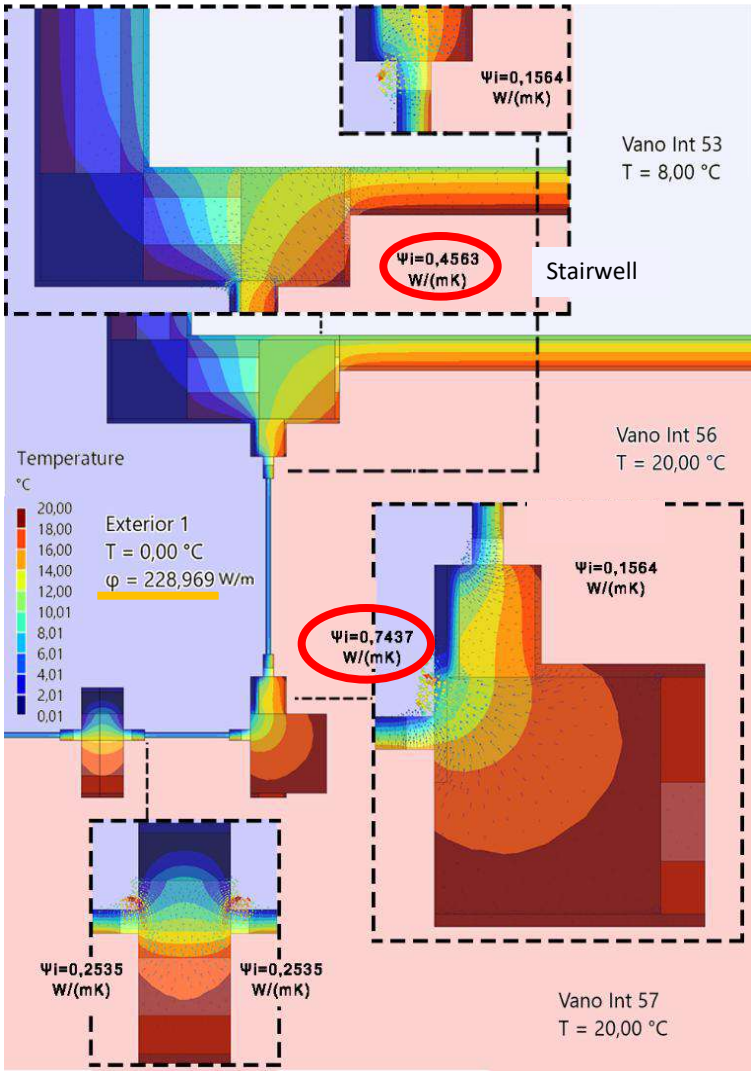


muro
B

Confronto attuale- scenario 21



stato iniziale



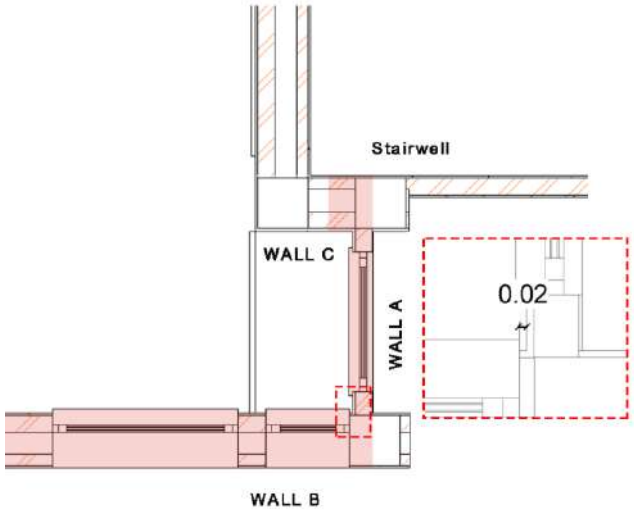
NumFem Therm– scenario 1

Dettaglio 1 –scenario 2

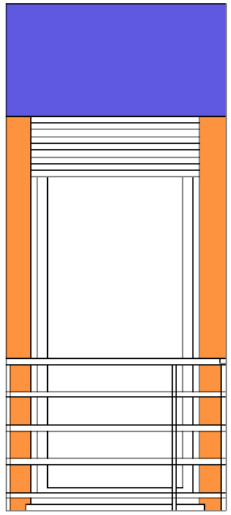
- MURO A: Pannelli alta performanza 2 cm (in arancio) XPS 10 cm (in blue)
- MURO B: Pannelli alta performanza 2 cm + insufflaggio 16 cm (in rosa)

  XPS 6 cm + insufflaggio16 cm (in verde)

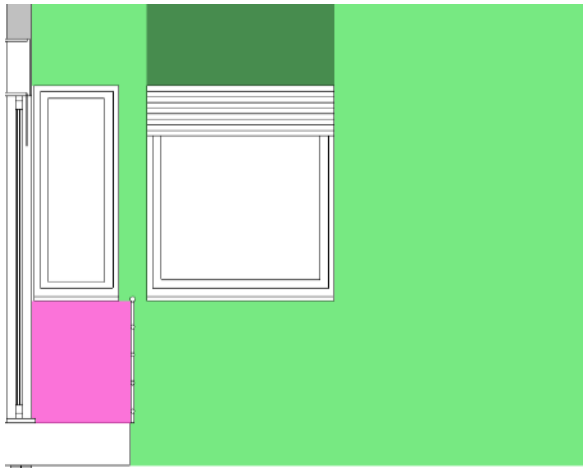
  XPS 6 cm (in VERDE SCURO)
- MURO C: Pannelli alta performanza 2 cm



Muri sui quali si interviene



MURO A

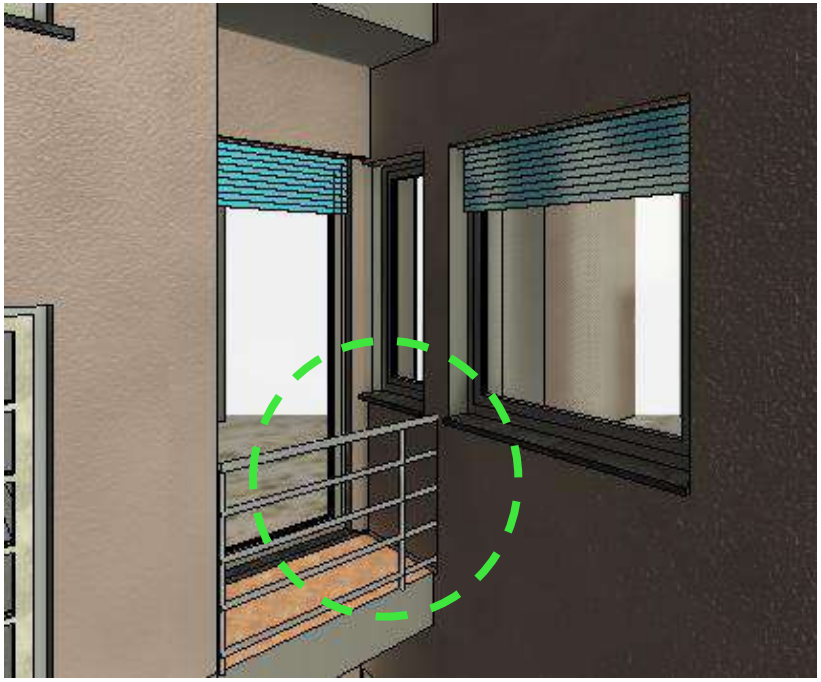


MURO B

Dettaglio –scenario 2

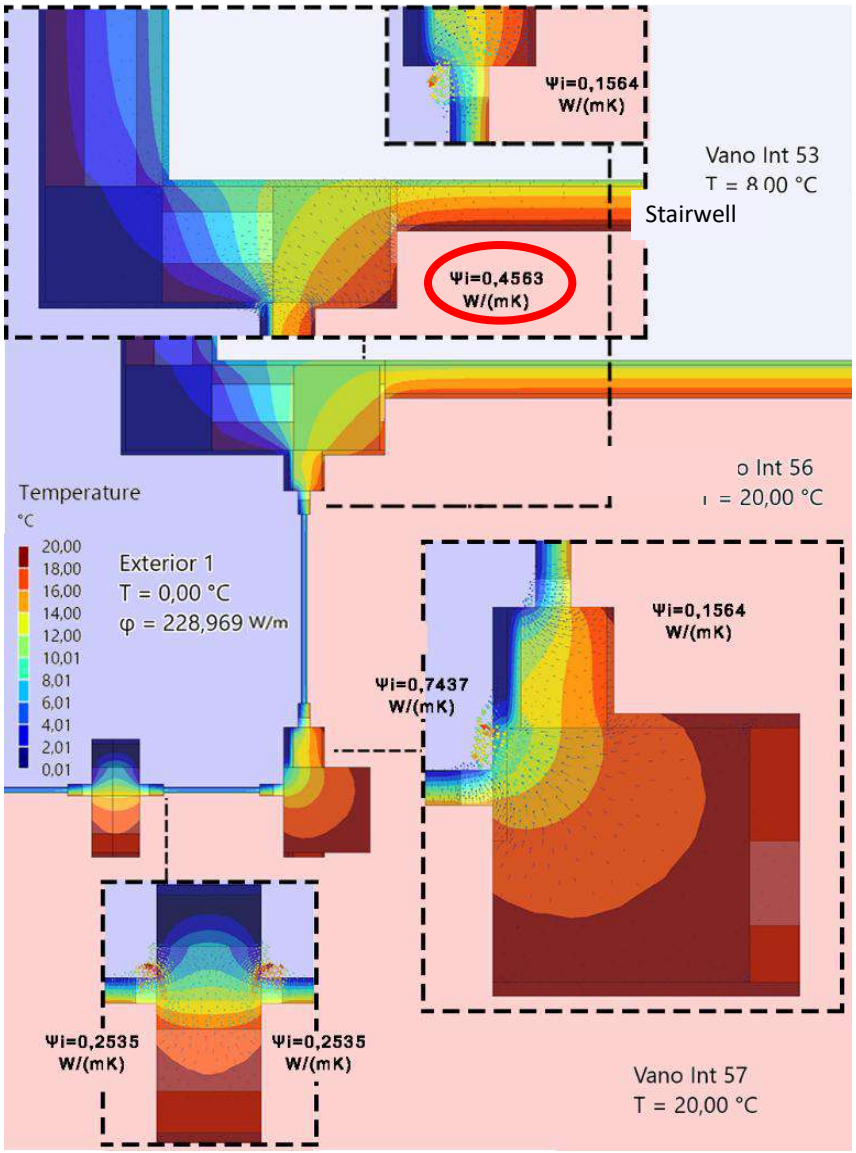


Revit model detail 1 –scenario 1

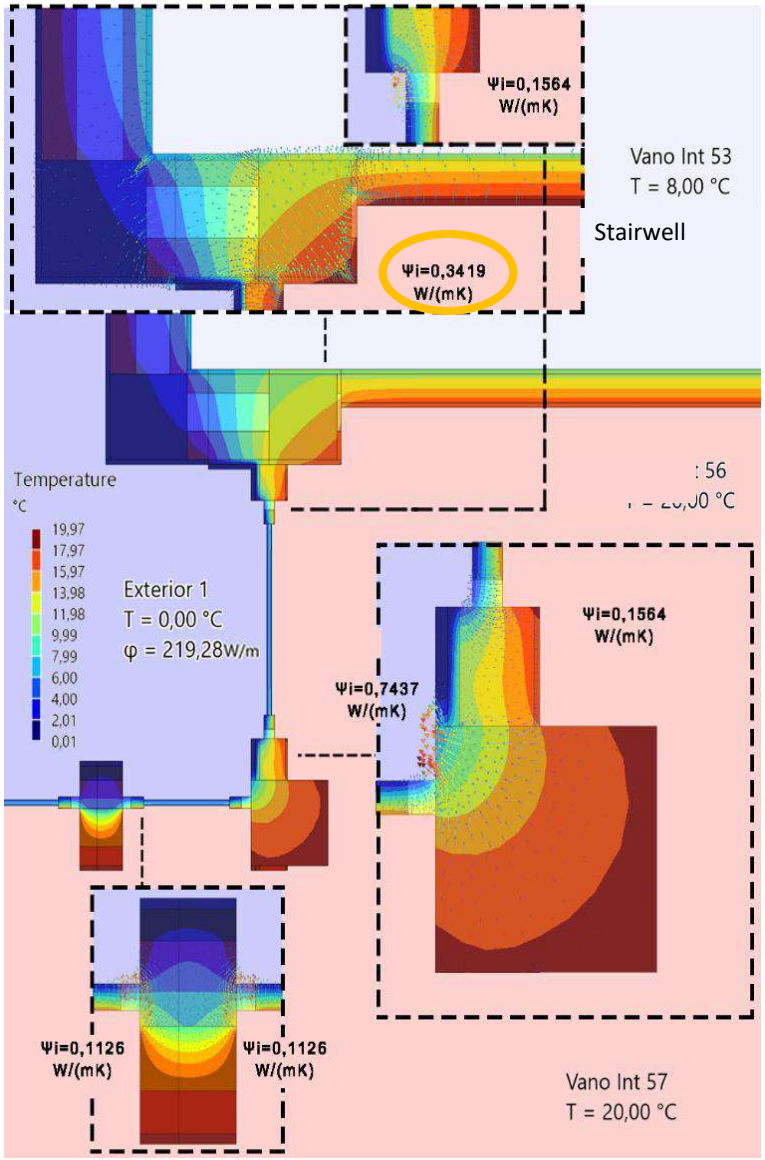


Revit model detail 1 –scenario 2

Confronto scenario 1 – scenario 2



NumFem Therm simulazione – scenario 1



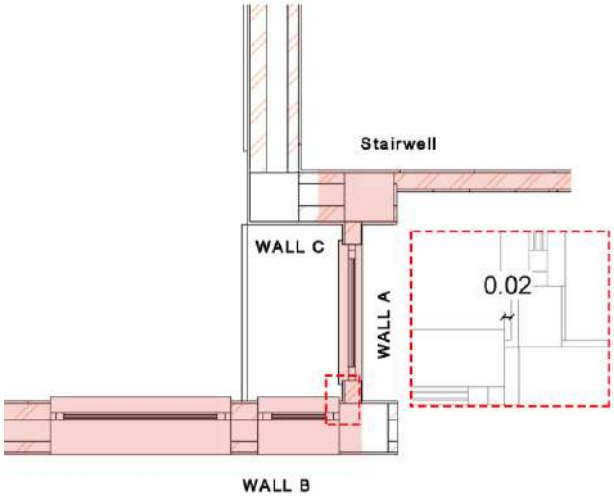
NumFem Therm simulazione – scenario 2

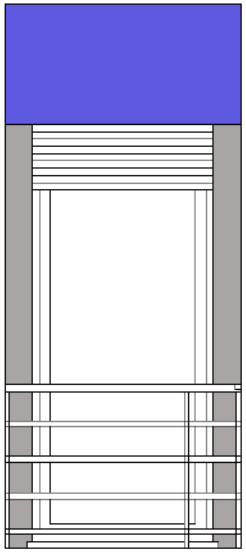
Dettaglio–scenario 3 CON SOTSITUZIONE FINESTRE

- MURO A: Pannelli alta performanza 4 cm (in grigio) XPS 10 cm **(in blu)**
- MURO B: Pannelli alta performanza 2 cm + insufflaggio cm (in rosa)

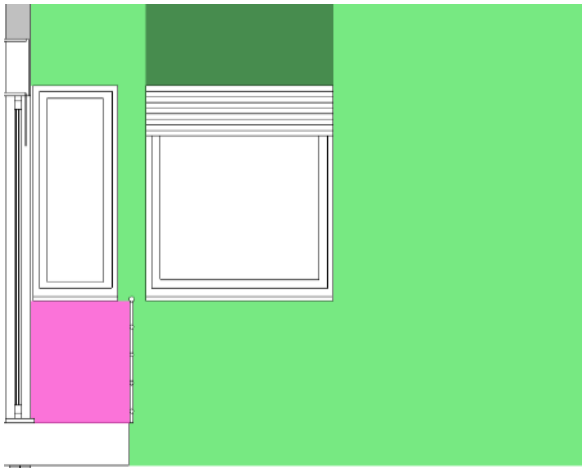
  XPS 6 cm + insufflaggio 16 cm (in verde)

  XPS 6 cm **(in verde scuro)**
- MURO C: Pannelli alta performanza 2 cm
- Muro vano scale : XPS 6 cm
- sostituzione serramenti e saplline





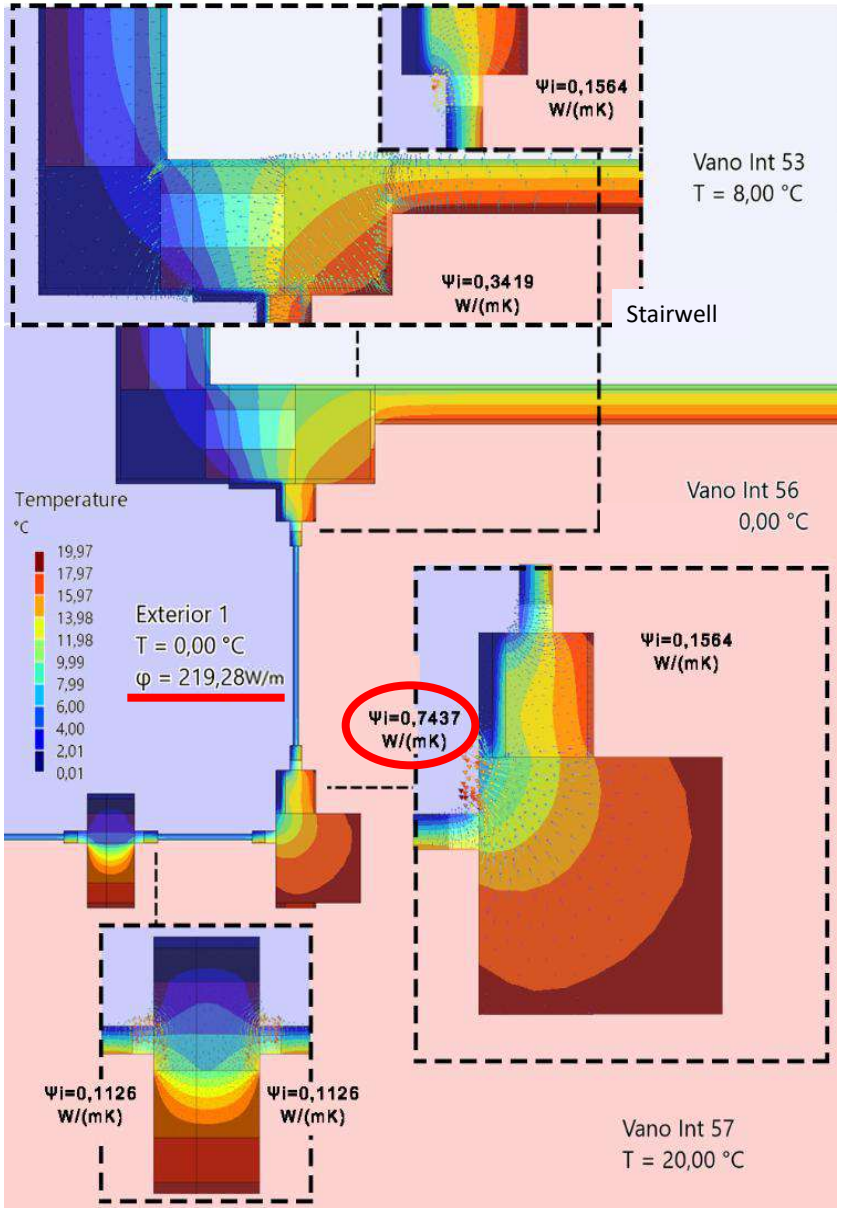
MURO A

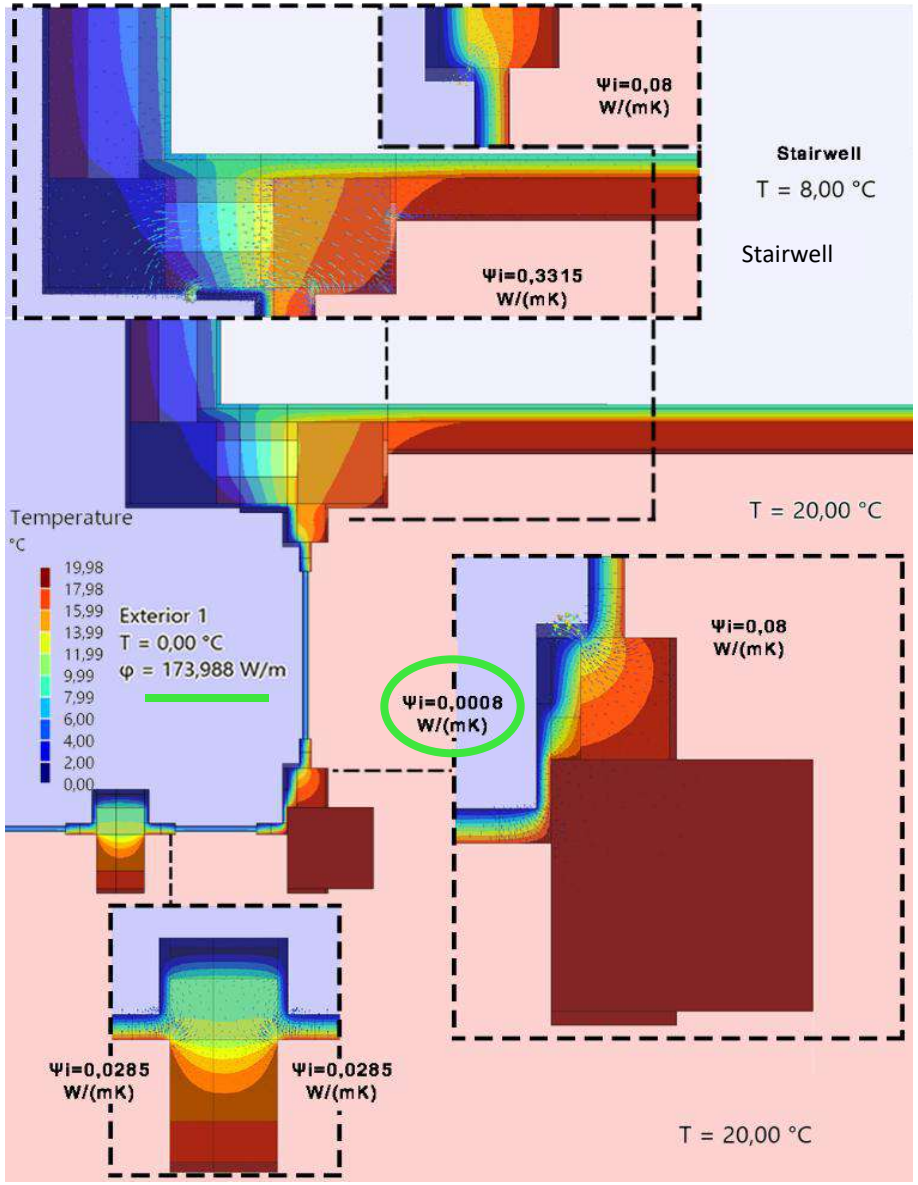


MURO B

Muri sui quali i interviene

Confronto scenario 2 – scenario 3 sost finestre

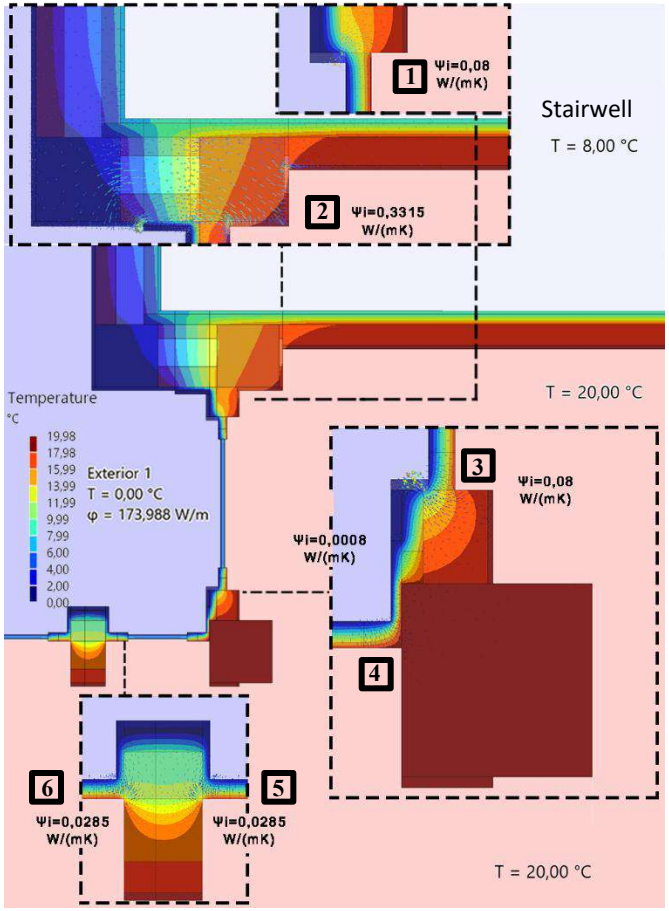




NumFem Therm simulazione – scenario 2

NumFem Therm simulazione – scenario 3

Verifica della trasmittanza media DM 26 Giugno 2015 (Appendice B)

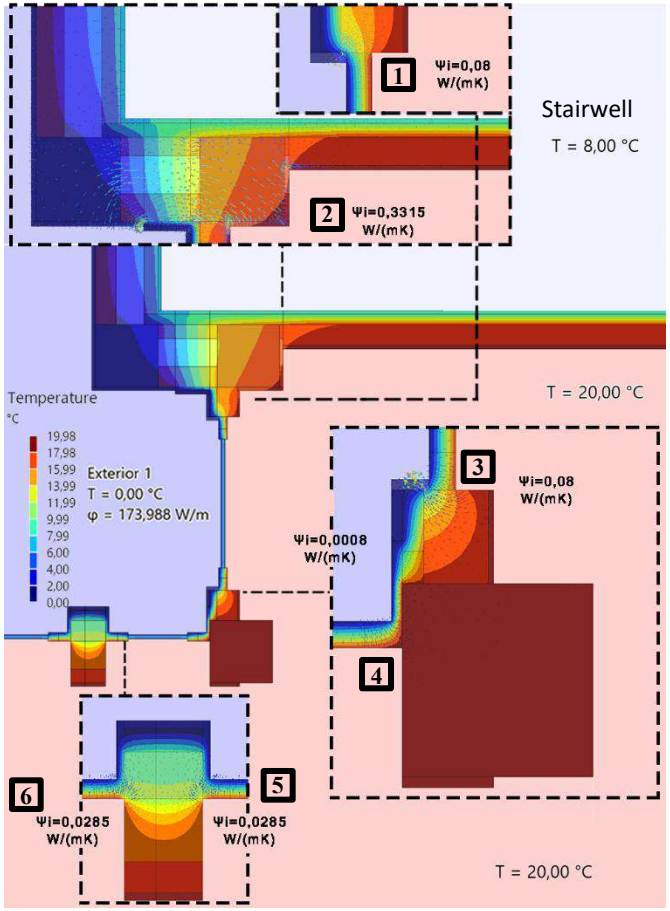


NumFem Therm simulazione

Zona Climatica	U[W/m²K] da gen, 2021
A e B	0,40
C	0,36
D	0,32
E	0,28
F	0,26

	U [W/m²K] valore calcolato (con ponti termici)	U [W/m²K] valore limite	Check
1	0,315	0,32	✓
2	0,311	0,32	✓
3	0,315	0,32	✓
4	0,26	0,32	✓
5	0,25	0,32	✓
6	0,25	0,32	✓

Verifica termoigrometrica di rischio condense superficiali sui ponti termici UNI EN ISO 13788:2013

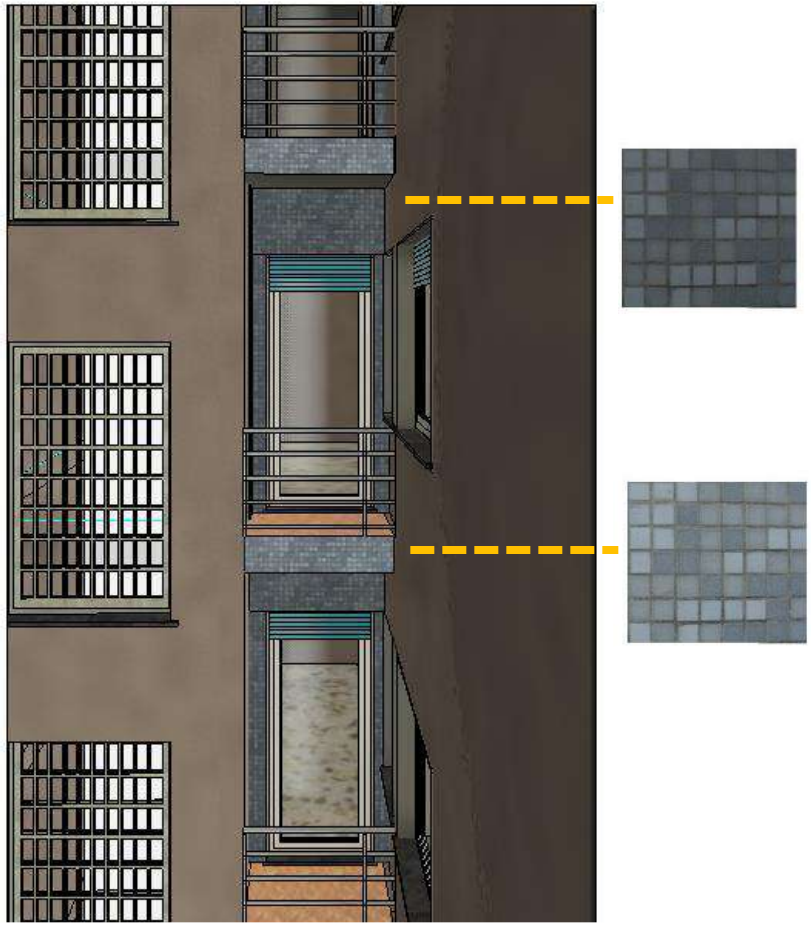


NumFem Therm simulazione

Month	T_i [°C]	T_e [°C]	$T_{si,min}$ [°C]	$f_{Rsi,min}$
January	20,0	9,4	14,8	0,5103
February	20,0	8,3	12,1	0,3247
March	20,0	11,5	14,7	0,3805
April	20,0	14,1	17,0	0,4918
May	18,0	16,4	0	0
June	20,8	20,8	0	0
July	23,3	23,3	0	0
August	23,4	23,4	0	0
September	21,4	21,4	0	0
October	18,0	17,9	0	0
November	20,0	14,2	16,1	0,3373
December	20,0	10,3	13,9	0,3692

	$T_{si,}$ [°C]	f_{Rsi}	> or <	$f_{Rsi,limit}$	Check
1	17,8	79 %	>	51 %	✓
2	18,4	85 %	>	51 %	✓
3	17,8	79 %	>	51 %	✓
4	18,6	87 %	>	51 %	✓
5	16,5	67 %	>	51 %	✓
6	16,5	67 %	>	51 %	✓

Dettaglio 1 soluzione architettonica



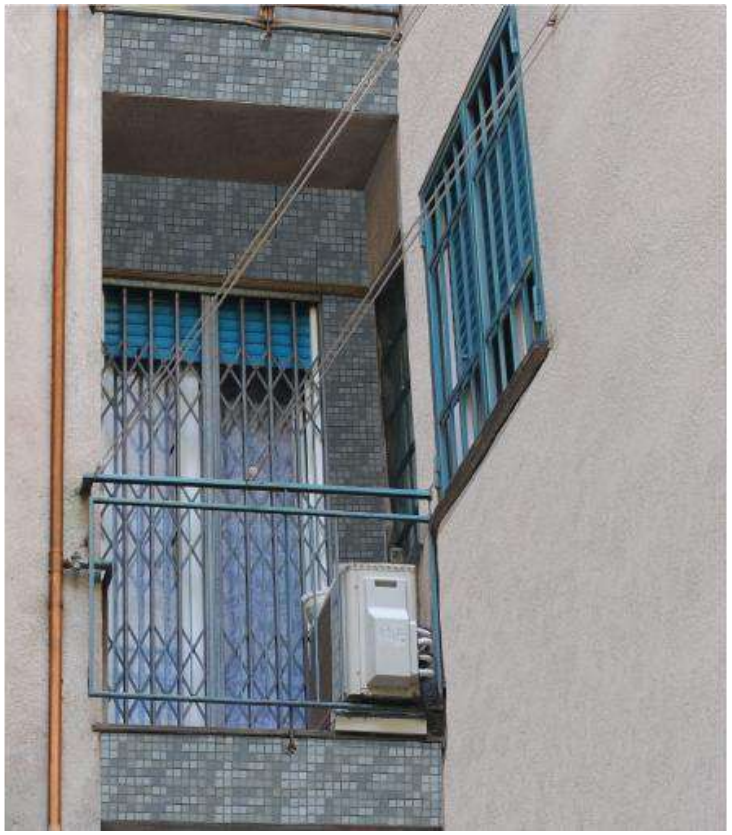
- Stesso colore delle piastrelline esistenti marcapiano
- colore più scuro per sottolineare il rientro



Render



Stato iniziale



Stato finale

Alcune note sui ponti termici

Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%]

Descrizione della struttura	Maggiorazione[11)]
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

Non più in uso!

Alcune note sui ponti termici

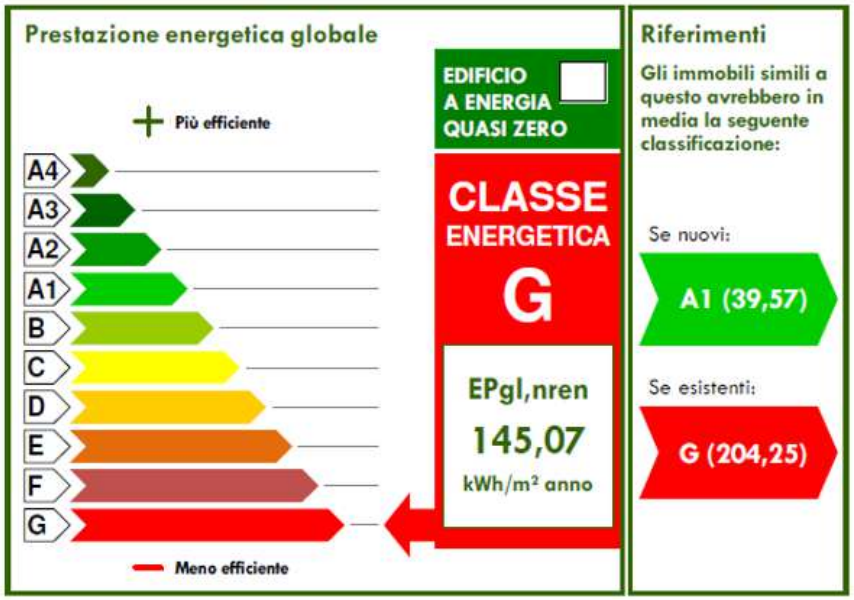
13. **In riferimento all'Appendice B, punto 1.1:** nel caso di chiusure tecniche trasparenti, chiusure tecniche opache e cassonetti, nel calcolo della trasmittanza limite comprensiva di ponti termici, non si attribuiscano ponti termici ai suddetti componenti. Le trasmittanze termiche limite di cui alla Tabella 4 sono quindi direttamente confrontabili con la trasmittanza termica dei componenti dichiarata dal produttore dei componenti.

14. **In riferimento all'Appendice B, punto 1.1, Tabella 4:** nell'ambito degli interventi di ristrutturazione di secondo livello e di riqualificazione energetica, i cassonetti vanno valutati separatamente dalle chiusure trasparenti. Il requisito sulla trasmittanza (Tabella 4) va quindi valutato solo qualora si intervenga sul cassonetto, sul singolo componente (cassonetto) indipendentemente dalla chiusura trasparente.

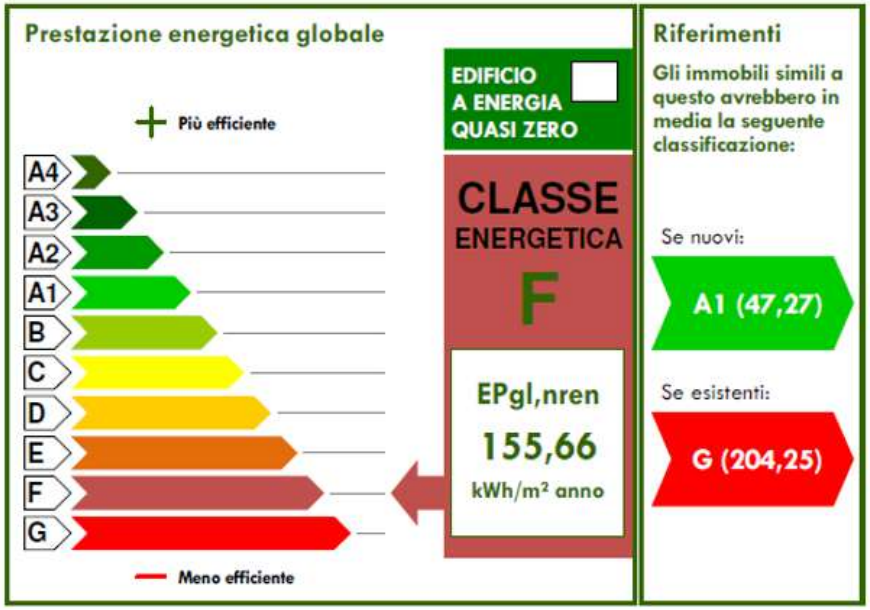
Alcune note sui ponti termici

Abitazione PT – caldaia a gas

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento

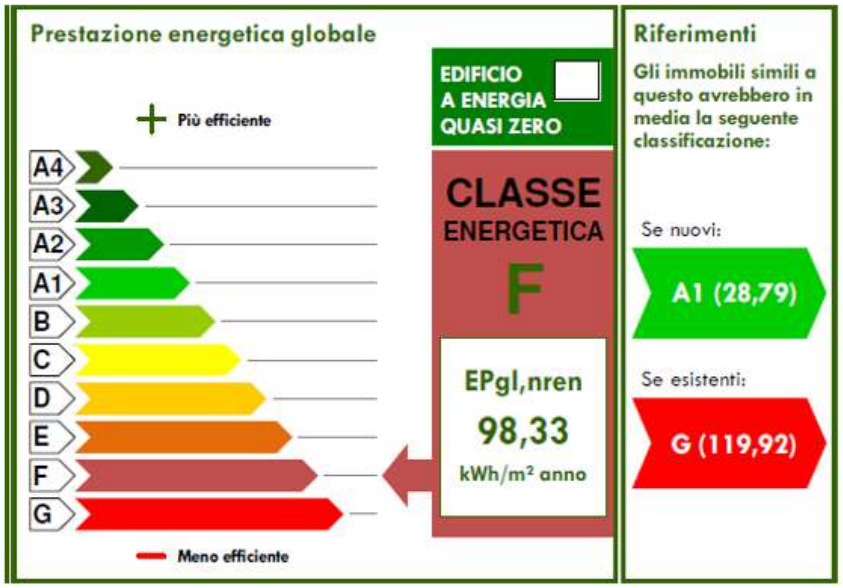


+7%

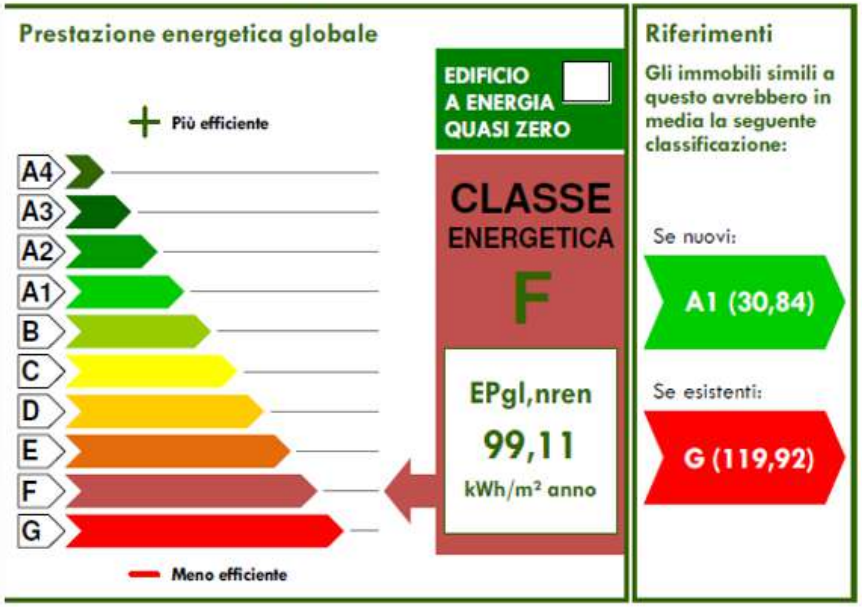
Alcune note sui ponti termici

Abitazione piano intermedio – caldaia a gas

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento

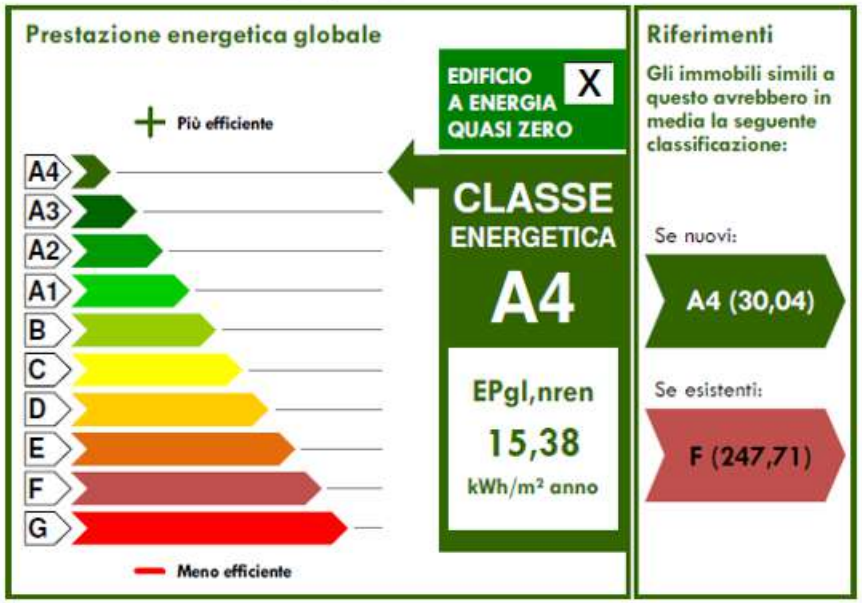


+1%

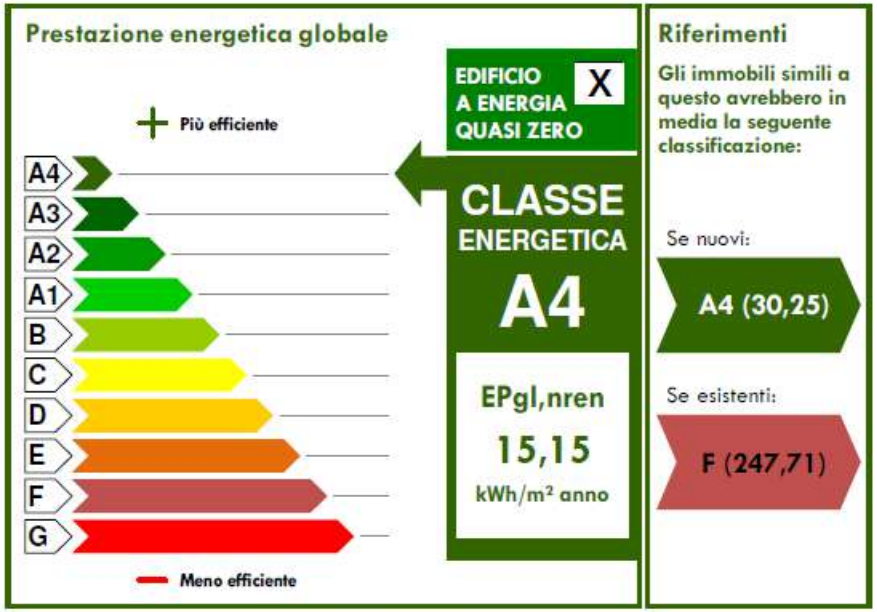
Alcune note sui ponti termici

Abitazione monofamiliare nuova

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento

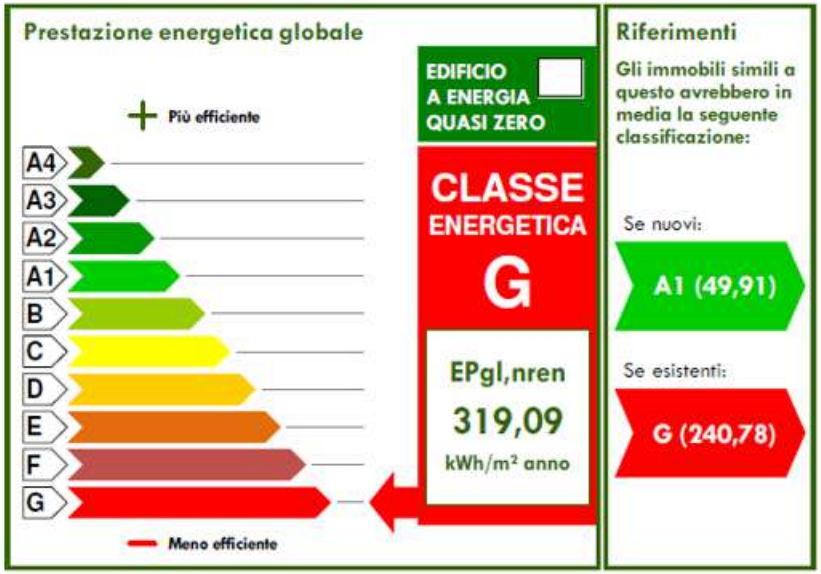


-1,5%

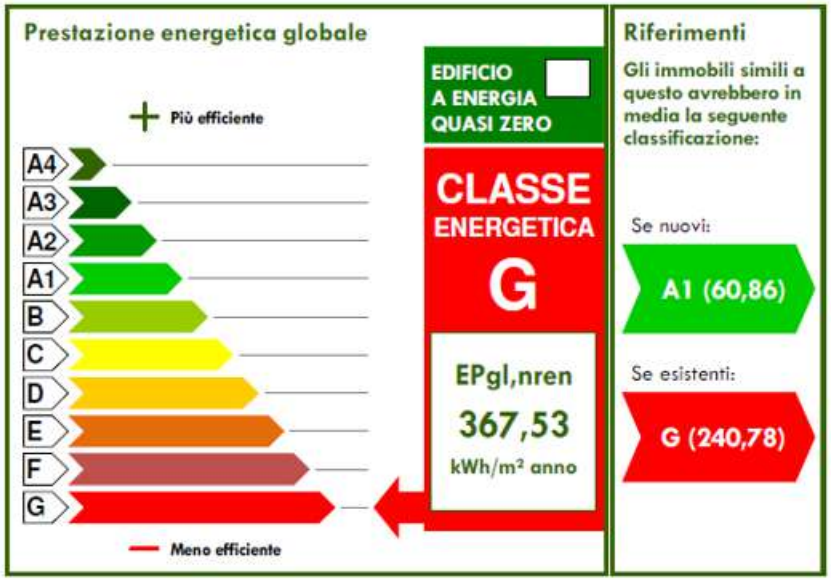
Alcune note sui ponti termici

Abitazione classe bassa

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento

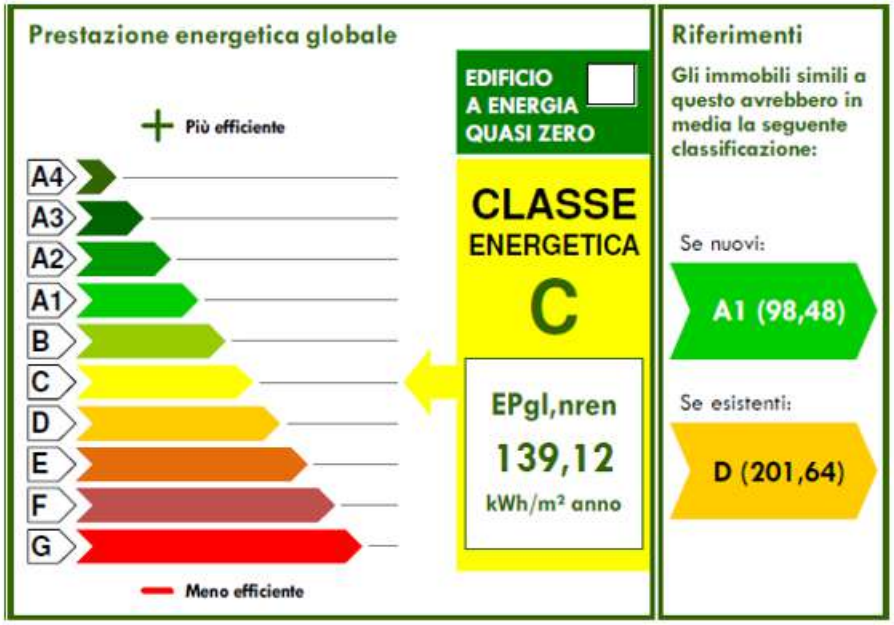


+15%

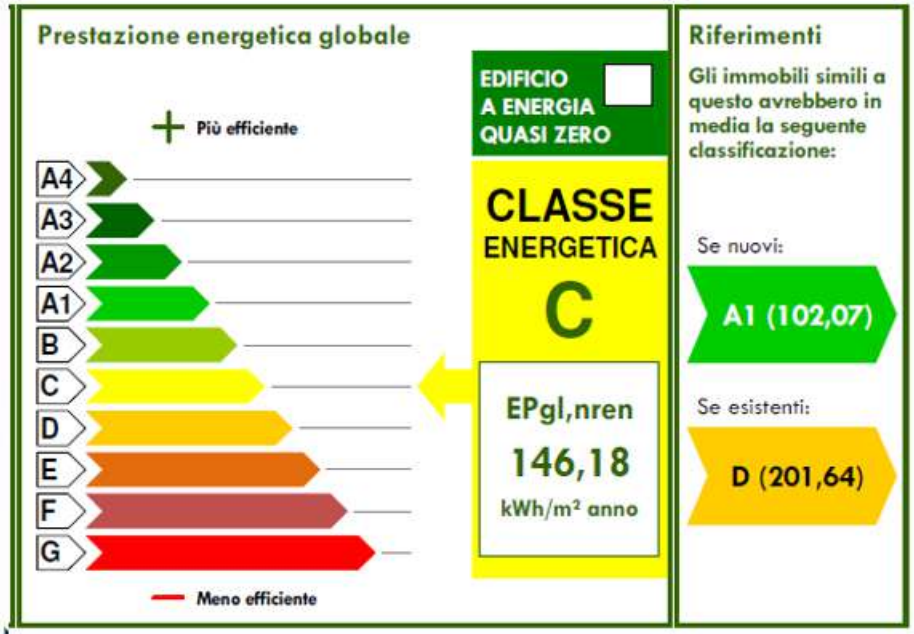
Alcune note sui ponti termici

Non residenziale classe alta

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento

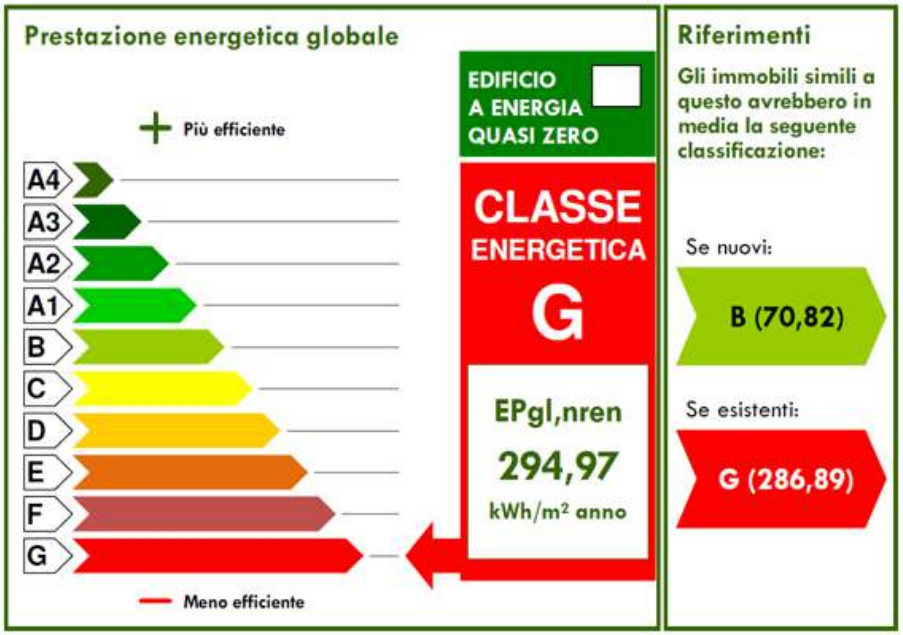


+6,5%

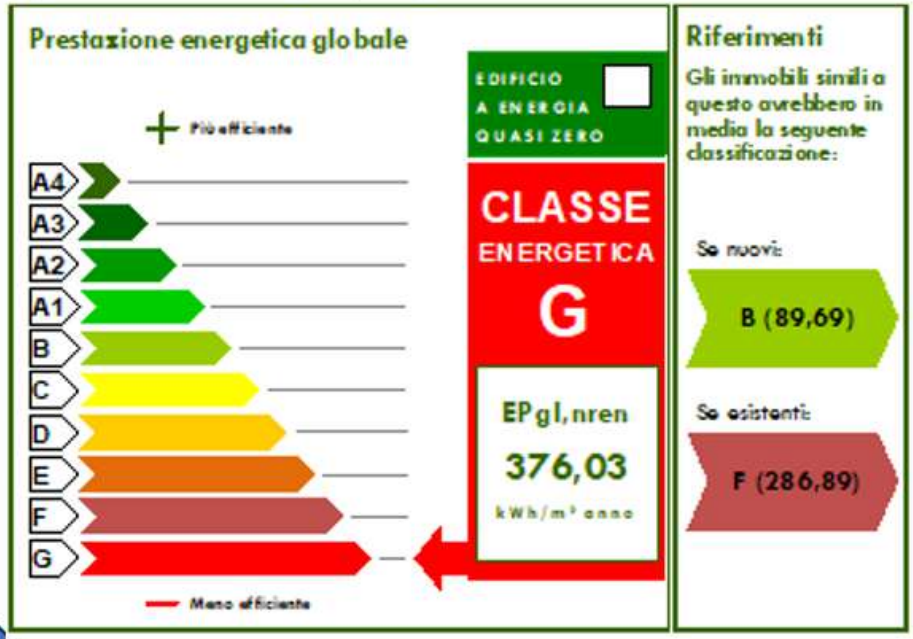
Alcune note sui ponti termici

Non residenziale classe bassa

Vecchio edificio di riferimento



Nuovo edificio di riferimento



+27%

Alcune note sui ponti termici – punteggi di non conformità verifica APE

P/I	Descrizione	U.M.	R	NR	Estremi intervallo di ammissibilità dove $p = 0$		Peso p	Ulteriori criteri di valutazione e relativi valori di riferimento
					x_2	x_3	$p_2^- \equiv p_3^+$	
Ψ·l	Prodotto tra la trasmittanza termica lineare e la lunghezza del corrispondente ponte termico [4]	W/K	✓	✓	- -	- -	6	Il peso è attribuito se il parametro Ψ·l ha valore nullo o in assenza di ponti termici.
			✓	✓	- -	- -	3	Il peso è attribuito se è stato considerato un solo ponte termico.



Prof. Ing. Paolo Cavalletti
(a contratto)
paolo.cavalletti@unige.it