

ANALISI DEI PONTI TERMICI: IL SIGNIFICATO DEL COEFFICIENTE Ψ

di

* Giorgio Galbusera

Premessa

Come sappiamo il coefficiente Ψ rappresenta la trasmittanza termica lineica di un ponte termico, ovvero il parametro attraverso il quale si attribuisce l'incidenza del nodo nel calcolo della dispersione energetica. Questo coefficiente è usato per valutare le perdite per trasmissione di un edificio in accordo con la norma UNI/TS 11300-1, ma anche per valutare il rispetto della trasmittanza media U_m delle strutture opache e del coefficiente $H't$ in accordo con le indicazioni di legge. Vista l'importanza e la trasversalità di questo parametro, riportiamo di seguito alcune riflessioni sul significato normativo di Ψ e su come deve essere valutato in una serie di condizioni tipiche (ponte termico verso l'esterno, verso ambiente non riscaldato, verso il terreno, ponte termico con cassonetto). Questo approfondimento è tratto dall'Appendice B del Manuale di IRIS 5.1 del 29 novembre 2021.

Il significato del coefficiente Ψ , Manuale di IRIS

Il coefficiente Ψ secondo la norma UNI EN ISO 10211 è un parametro che descrive l'influenza del ponte termico lineare sul flusso termico totale. Va inteso quindi non come parametro a sé stante, ma come parte del calcolo del coefficiente di dispersione dell'involucro all'interno della seguente formula:

$$H = \sum(U \cdot A) + \sum(\Psi \cdot l) \quad [B.1]$$

dove:

H è il coefficiente di dispersione per trasmissione espresso in W/K ;

$\sum(U \cdot A)$ è la sommatoria delle trasmittanze degli elementi disperdenti moltiplicate per l'area degli stessi;

$\sum(\Psi \cdot l)$ è la sommatoria dei coefficienti di trasmittanza lineica dei ponti termici moltiplicati per l'estensione lineare degli stessi.

Il calcolo del coefficiente Ψ è condotto in accordo con la seguente formula:

$$\Psi = L_{2D} - \sum(U \cdot l) \quad [B.2]$$

dove:

Ψ è il coefficiente di trasmittanza lineica; è indicato come "interno" (Ψ_i) o "esterno" (Ψ_e) in base alla geometria considerata nel calcolo [W/mK];

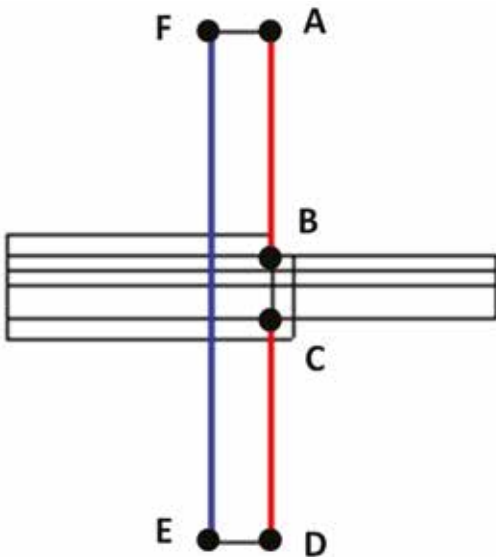
L_{2D} è il coefficiente d'accoppiamento termico ottenuto dal calcolo 2D agli elementi finiti del ponte termico [W/mK];

U è la trasmittanza termica del componente di separazione tra le zone termiche individuate;

l è la lunghezza a cui si applica la trasmittanza termica (la lunghezza può riferirsi alle dimensioni interne o esterne del ponte termico) [m].

Il software IRIS per determinare il valore dei coefficienti Ψ esegue un calcolo secondo norma attraverso la seguente procedura:

- 1- identifica il valore di L_{2D} per il ponte termico in oggetto. Il dato è calcolato come rapporto tra il flusso termico del nodo analizzato agli elementi finiti (flusso ϕ espresso in W) e il salto termico definito delle condizioni al contorno del ponte termico;
- 2- calcola la sommatoria $\sum(U \cdot l)$ per gli elementi che compongono il ponte termico;
- 3- risolve l'equazione [B.2] utilizzando sia le dimensioni interne che esterne del ponte termico per ottenere il valore di Ψ_i e Ψ_e .



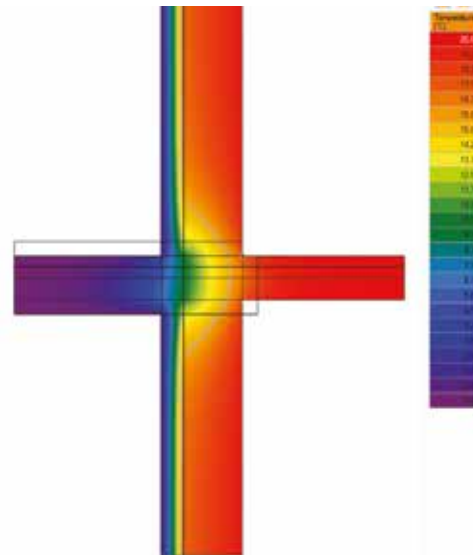
Schema del ponte termico

Di seguito riportiamo tre esempi di calcolo che illustrano come sono eseguiti i calcoli per un ponte termico che divide:

- l'ambiente riscaldato dall'ambiente esterno,
- l'ambiente riscaldato dall'ambiente esterno e da un ambiente non riscaldato,
- l'ambiente riscaldato dal terreno.

Coefficiente Ψ verso l'ambiente esterno

Consideriamo un ponte termico di un balcone schematizzato come segue. Le superfici a contatto con l'ambiente riscaldato (a 20°C) sono AB e CD. La superficie a contatto con l'ambiente esterno (a 0°C) è EF. I piani di taglio AF e ED sono determinati a una distanza dal nodo pari a 1m (oppure pari a 3 volte lo spessore della sezione dell'elemento omogeneo se superiore).



Distribuzione delle temperature agli elementi finiti

1)	$\Phi_{ABCD} = \Phi_{EF}$	nell'esempio $\Phi = 29.2 \text{ W}$
2)	$L_{2D} = \Phi / (T_{ai} - T_{ae})$	nell'esempio $L_{2D} = 29.2 / (20 - 0) = 1.46 \frac{W}{K}$
3)	$\Psi_i = L_{2D} - (S_{AB} \cdot U_{AF}) - (S_{CD} \cdot U_{DE})$	nell'esempio $\Psi_i = 1.46 - 1.75 \cdot 0.20 - 1.75 \cdot 0.20 = 0.76 \text{ W/mK}$ dove 1.75 è l'altezza della parete
4)	$\Psi_e = L_{2D} - S_{EF} \cdot U_{AF}$	nell'esempio $\Psi_e = 1.46 - 3.8 \cdot 0.20 = 0.70 \text{ W/mK}$

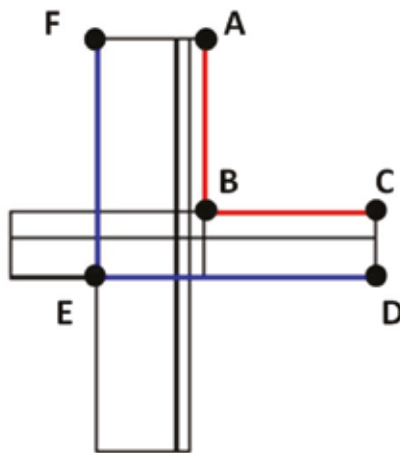
Risultati del calcolo

Coefficiente Ψ verso locali non riscaldati

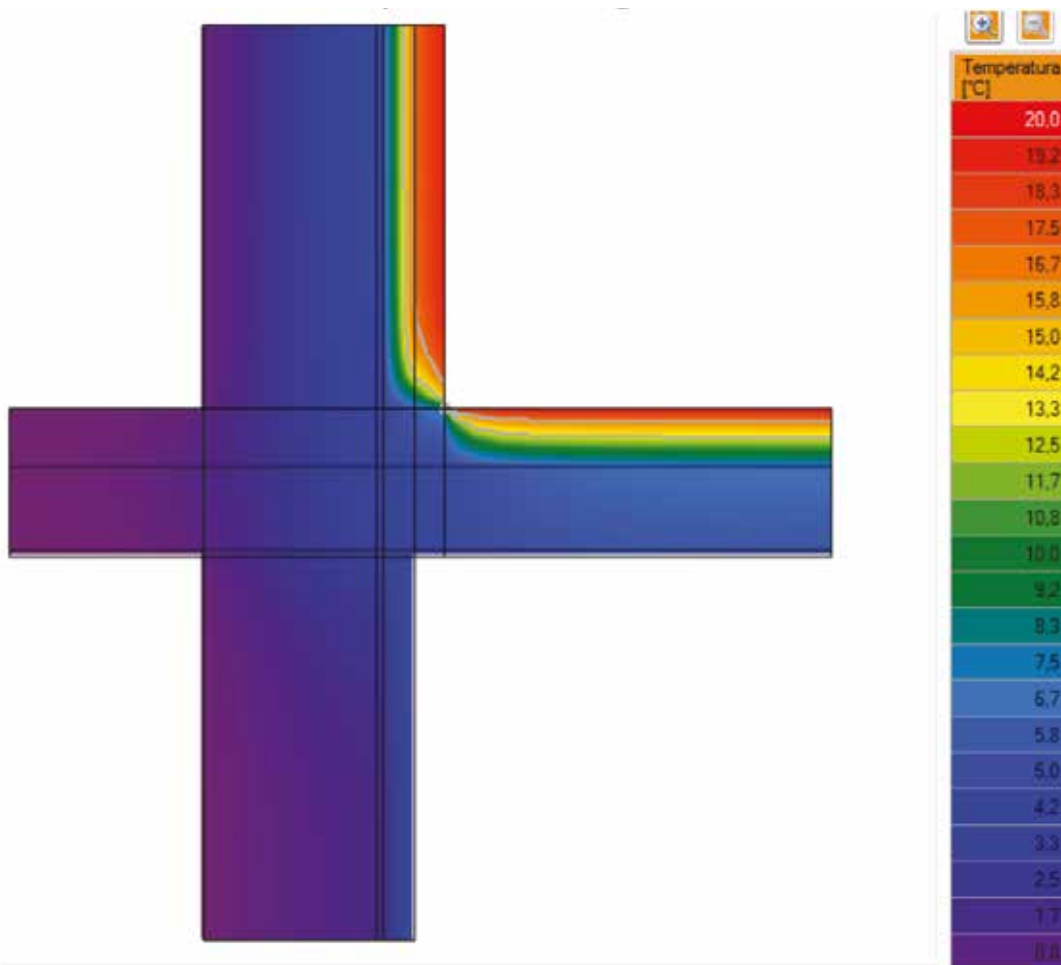
In presenza di locali non riscaldati la valutazione del coefficiente lineico diventa più elaborata.

Nell'esempio schematizzato di seguito le superfici a contatto con l'ambiente riscaldato (a 20°C) sono AB e BC. La superficie a contatto con l'esterno (a

0°C) è definita dal tratto EF e quella a contatto con il locale non riscaldato (a 5°C) dal tratto DE. I piani di taglio AF e CD sono determinati a una distanza dal nodo pari a 1m (oppure pari a 3 volte lo spessore della sezione dell'elemento omogeneo se superiore).



Schema del ponte termico



Distribuzione delle temperature agli elementi finiti

1)	$\Phi_{ABC} = \Phi_{DEF}$	nell'esempio $\Phi = 15.4 \text{ W}$
2)	$L_{2D} = \Phi / (T_{ai} - T_{ae})$	nell'esempio $L_{2D} = 15.4 / (20 - 0) = 0.77 \frac{\text{W}}{\text{K}}$
3)	$\Psi_i = L_{2D} - (S_{AB} \cdot U_{AF}) - b_{tr,U} \cdot (S_{BC} \cdot U_{CD})$	nell'esempio $\Psi_i = 0.77 - 1 \cdot 0.45 - 0.75 \cdot (1 \cdot 0.23) = 0.15 \text{ W/mK}$ dove $b_{tr,U} = \frac{T_{ai} - T_{nr}}{T_{ai} - T_{ae}} = 0.75$ e dove 1 è la lunghezza dei tratti considerati
4)	$\Psi_e = L_{2D} - (S_{EF} \cdot U_{AF}) - b_{tr,U} \cdot (S_{DE} \cdot U_{CD})$	nell'esempio $\Psi_e = 0.77 - 1.45 \cdot 0.45 - 0.75 \cdot (1.50 \cdot 0.23) = -0.14 \text{ W/mK}$ dove $b_{tr,U} = \frac{T_{ai} - T_{nr}}{T_{ai} - T_{ae}} = 0.75$ e dove 1.45 e 1.50 sono le lunghezza dei tratti

Risultati del calcolo

Coefficiente Ψ verso il terreno

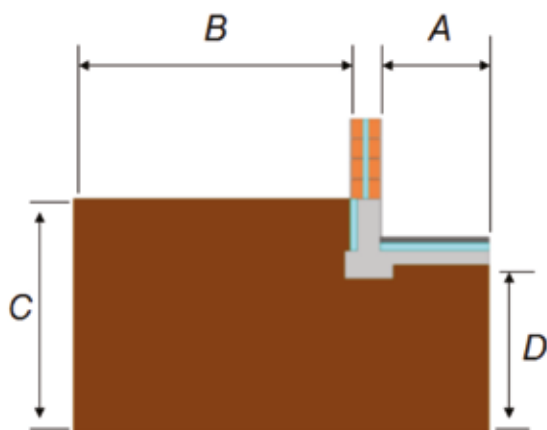
In presenza di ponti termici a contatto con il terreno la norma UNI EN ISO 10211 prevede un calcolo del coefficiente L2D considerando due differenti criteri per la definizione dei piani di taglio a seconda che l'obiettivo sia la valutazione della temperatura

superficiale o del flusso termico.

IRIS calcola entrambi i criteri e usa sempre la più grande delle due dimensioni per definire i quattro piani di taglio A, B, C e D.

I criteri della norma sono descritti nella tabella seguente.

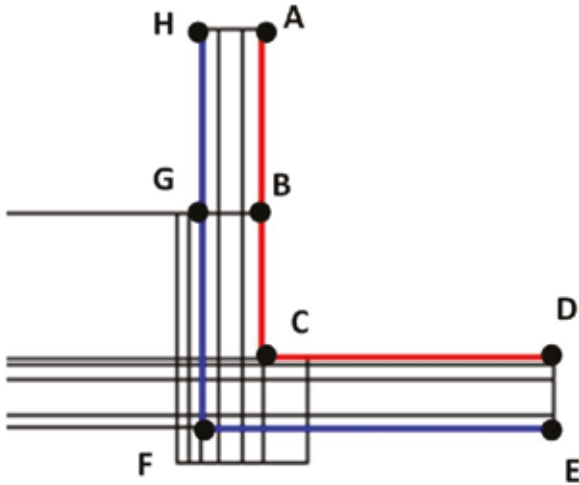
Obiettivo del calcolo		
	Temperatura superficiale	Flusso termico e temperatura superficiale
A	Almeno tre volte lo spessore della parete	0.5 x dimensione (larghezza o lunghezza) del pavimento perpendicolare alla parete in questione
B	Almeno tre volte lo spessore della parete	2.5 x larghezza del pavimento (intesa come la dimensione minima tra larghezza o lunghezza del pavimento)
C	Almeno 3 metri	2.5 x larghezza del pavimento
D	Almeno 1 metro se il pavimento è interrato per almeno 2 metri. Altrimenti almeno 3 metri.	2.5 x larghezza del pavimento se il pavimento è interrato per almeno 2 metri. Altrimenti 2.5 x larghezza del pavimento.



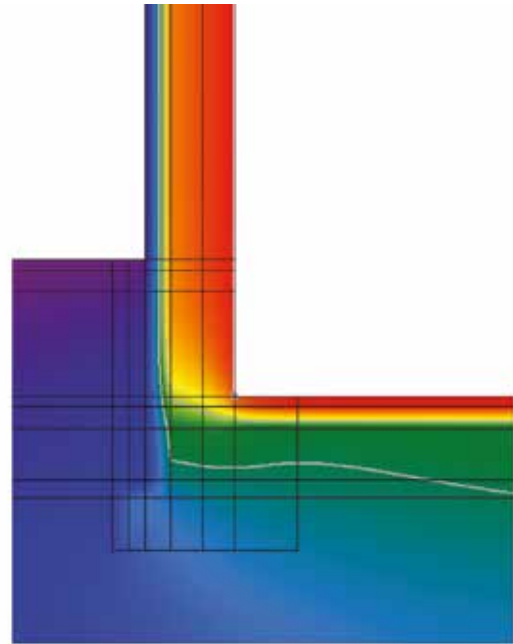
Descrizione delle dimensioni minime per la posizione del piano di taglio per nodi comprendenti il terreno in funzione dell'obiettivo del calcolo. Fonte: UNI EN ISO 10211, Prosp. 1.

Nell'esempio schematizzato di seguito si analizza un esempio in cui le superfici a contatto con l'ambiente riscaldato (a 20°C) sono ABC e CD; la superficie a

contatto con l'esterno (a 0°C) è definita dal tratto GH e quella a contatto con il terreno dal tratto orizzontale EF e dal tratto verticale FG.



Schema del ponte termico



Distribuzione delle temperature agli elementi finiti

1)	$\Phi_{ABCD} = \Phi_{EFGH}$	nell'esempio $\Phi = 20.1 \text{ W}$
2)	$L_{2D} = \Phi / (T_{ai} - T_{ae})$	nell'esempio $L_{2D} = 20.1 / (20 - 0) = 1.0 \frac{\text{W}}{\text{K}}$
3)	$\Psi_i = L_{2D} - S_{AB} \cdot U_{AH} - S_{BC} \cdot U_{BG} - S_{CD} \cdot U_{DE}$ dove $U_{BG} = U_{bw}$ ovvero trasmittanza della struttura parete-terreno e $U_{DE} = U_{bf}$ ovvero trasmittanza della struttura solaio-terreno calcolate in accordo con UNI EN ISO 13370.	nell'esempio si ipotizza: $U_{bw} = 0.209 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{bf} = 0.248 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_i = 1.0 - 1 \cdot 0.238 - 0.65 \cdot 0.209 - 2.3 \cdot 0.248 = 0.06 \text{ W/mK}$
4)	$\Psi_e = L_{2D} - S_{GH} \cdot U_{AH} - S_{GF} \cdot U_{BG} - S_{EF} \cdot U_{DE}$ dove $U_{BG} = U_{bw}$ ovvero trasmittanza della struttura parete-terreno e $U_{DE} = U_{bf}$ ovvero trasmittanza della struttura solaio-terreno calcolate in accordo con UNI EN ISO 13370	nell'esempio si ipotizza: $U_{bw} = 0.209 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{bf} = 0.248 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\Psi_e = 1.0 - 1 \cdot 0.238 - 1.15 \cdot 0.209 - 2.75 \cdot 0.248 = -0.16 \text{ W/mK}$

Risultati del calcolo

Coefficiente Ψ dei ponti BW con cassonetto

I ponti termici BW possono essere modellati descrivendo serramenti e serramenti con cassonetti.

Nei nodi BW in particolare vengono impiegate nei calcoli dei coefficienti dispersivi solo due trasmittanze: la struttura opaca, se presente, e il serramento

Per questo motivo, il nodo cassonetto non può essere calcolato direttamente con IRIS.

Suggeriamo quindi di procedere nel modo seguente (si specifica che non si tratta di metodo normativo, ma di una procedura messa a punto per il solo utilizzo di IRIS):

1. Simulare al posto del cassonetto una parete omogenea che abbia la stessa resistenza del cassonetto stesso. È possibile fare questo ricavando dal valore di resistenza termica del cassonetto (preso dalla scheda tecnica o da un valore normativo) e dal suo spessore un valore di conduttività termica equivalente.

Trasmittanza nota del cassonetto

$$U_{\text{cassonetto}} = 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Spessore cassonetto

$$s = 0,605 \text{ m}$$

Resistenza totale

$$R_{\text{tot}} = 1/U = 0,333 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistenze superficiali

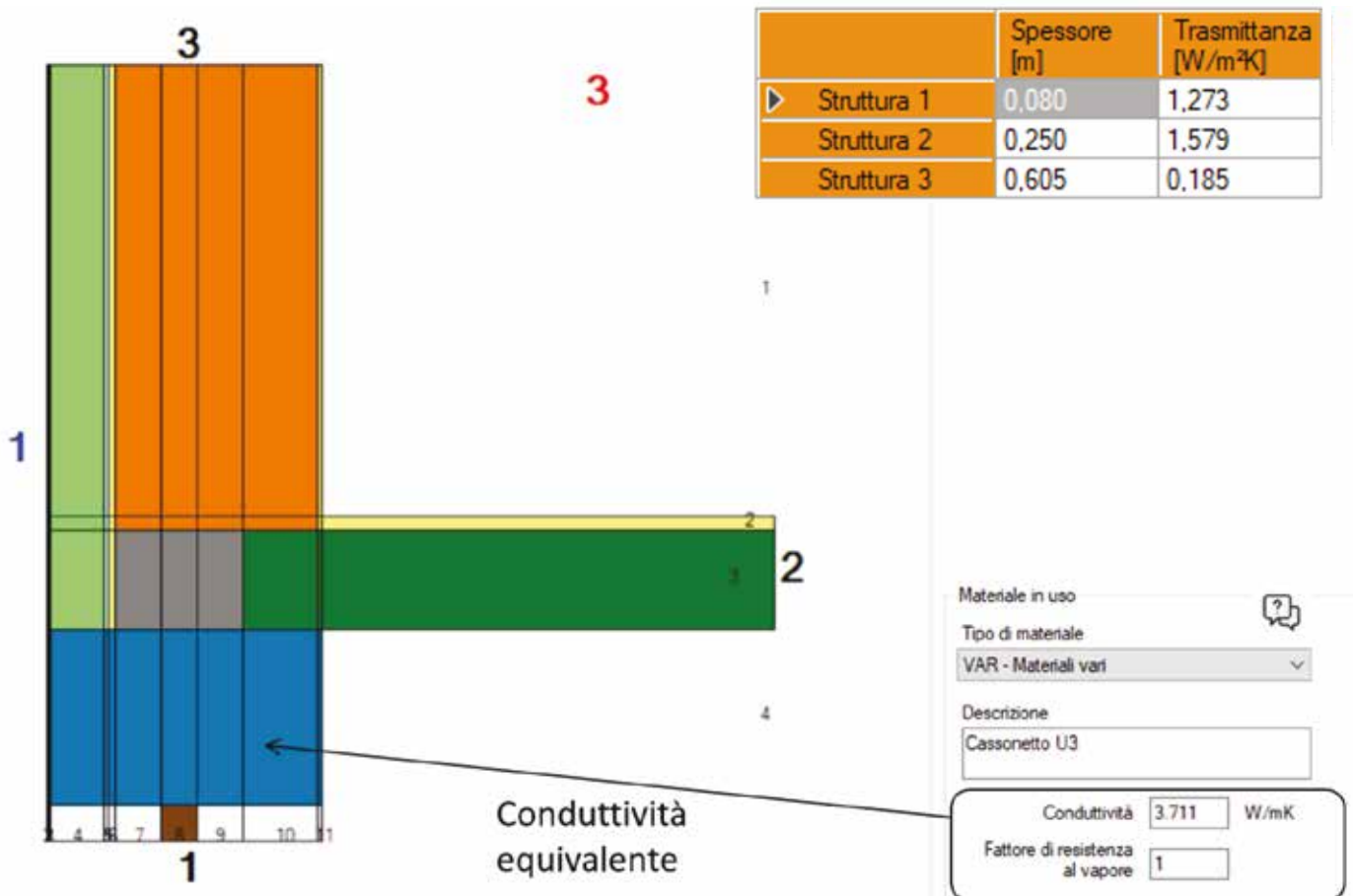
$$R_{\text{si}} + R_{\text{se}} = (0,13 + 0,04) \text{ m}^2\text{K/W} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistenza solo cassonetto

$$R_{\text{cassonetto}} = R_{\text{tot}} - (R_{\text{si}} + R_{\text{se}}) = 0,163 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Conduttività equivalente

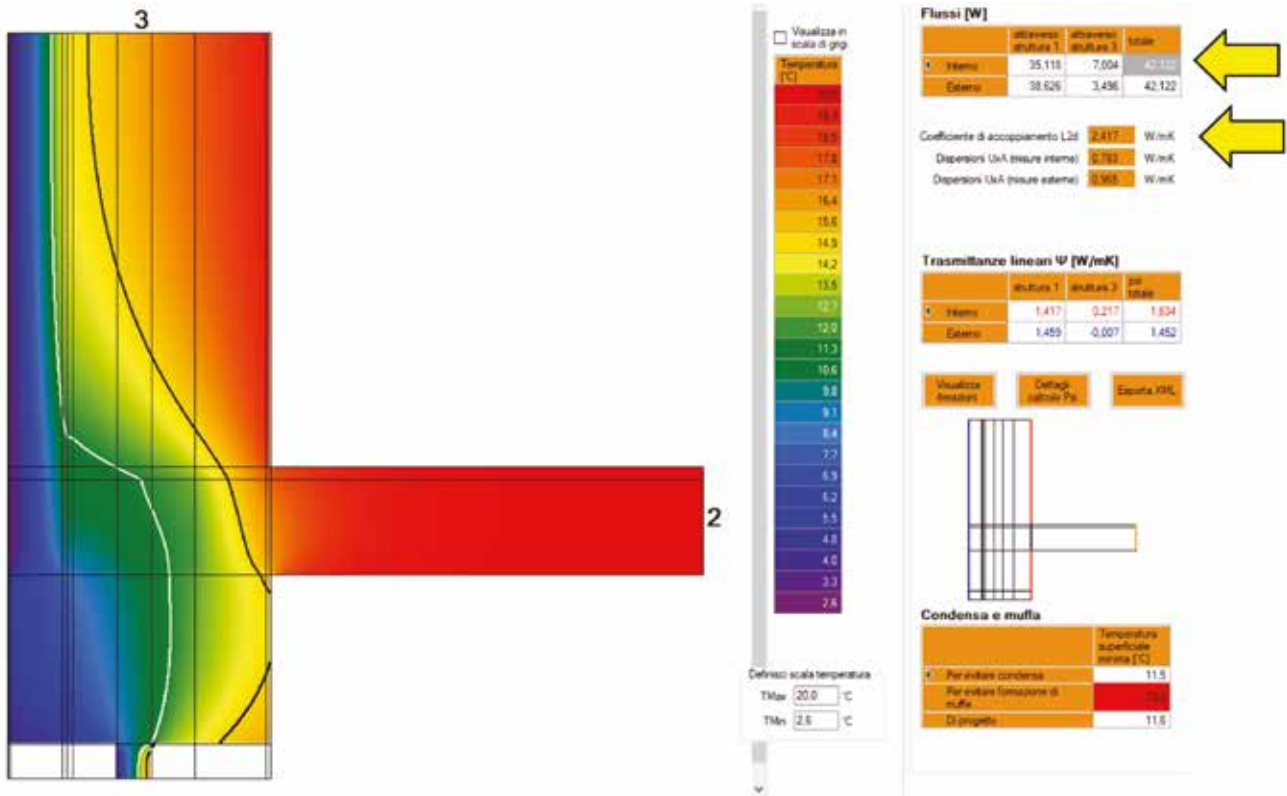
$$\lambda_{\text{eq.cassonetto}} = s / R_{\text{cassonetto}} = 3,711 \text{ W/mK}$$



2. Cliccando “calcola il ponte termico” si ricava da IRIS il valore del flusso e dell’L2D.

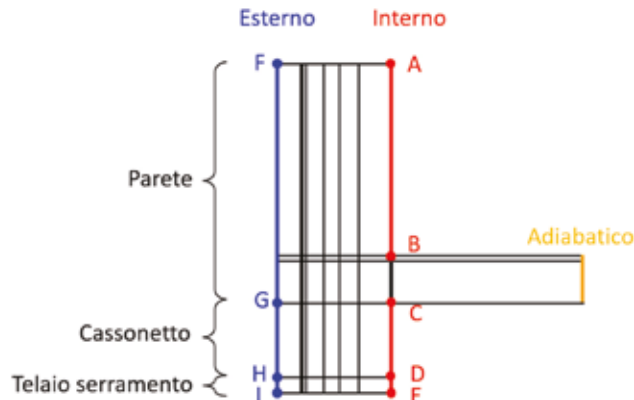
Nel nostro caso:

- Flusso = 42,122 W
- L2D = 2,417 W/mK



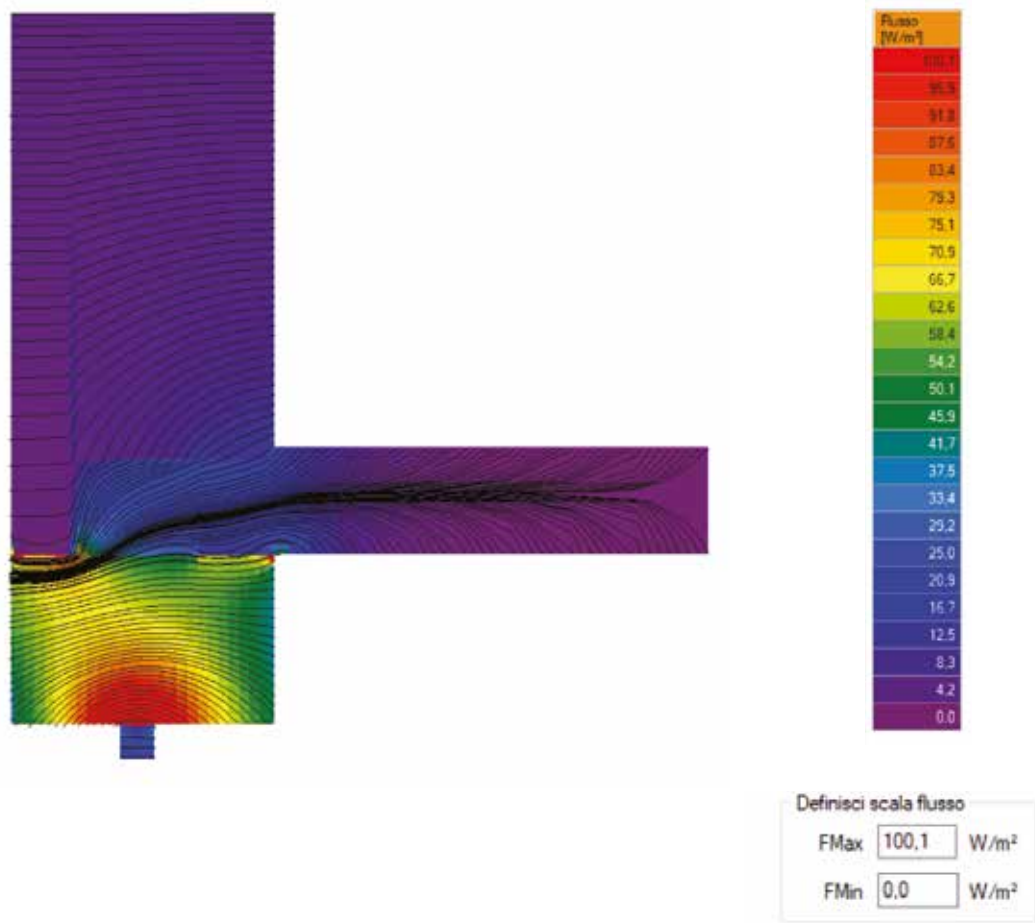
3. A questo punto è necessario ricavare i valori di UxA per le 3 strutture in gioco (ovvero parete, cassonetto e telaio del serramento) valutate sia con le dimensioni esterne che interne:

	Trasmittanza	Area esterna	UxA	Area interna	UxA
	[W/m²K]	[m²]	[W/K]	[m²]	[W/K]
Parete	0,185	1,25	0,231	1,00	0,185
Cassonetto	3,000	0,39	1,170	0,39	1,170
Telaio serramento	1,300	0,08	0,104	0,08	0,104
Totale			1,505		1,459



4. Poiché IRIS non attribuisce 3 valori di trasmittanza alle 3 diverse strutture ma ne usa solo 2, nel calcolo di Ψ viene attribuita erroneamente all'area del cassonetto la stessa trasmittanza del telaio del serramento. Per valutare correttamente il valore di Ψ è necessario quindi calcolare manualmente la trasmittanza lineica con la formula [B.2] come segue:

Trasmittanza lineica esterna: $\Psi_e = L2D - (U_xA) = 2,417 - 1,505 = 0,917 \text{ W/mK}$
 Trasmittanza lineica interna: $\Psi_i = L2D - (U_xA) = 2,417 - 1,459 = 0,958 \text{ W/mK}$



Distribuzione del flusso lungo il nodo ottenuta con l'analisi agli elementi finiti di IRIS. Come si vede il cassonetto, seppur considerato omogeneo è attraversato da un forte flusso termico. **E**

** Giorgio Galbusera,
Staff Tecnico ANIT.*