

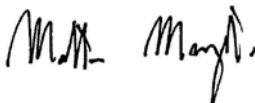
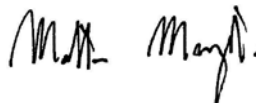

# RAPPORTO DI PROVA

| RITC\_081\_2022 |

**VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO PUNTUALE INDOTTO DA SISTEMI DI FISSAGGIO, SOTTOSTRUTTURA E MONTANTI CONTROPARETE DEL PRODOTTO DENIMINATO "RESISTO 5.9" CON STAFFE HILTI DELLA DITTA "PROGETTO SISMA SRL", FIORANO MODENESE (MO).**

LUOGO E DATA DI EMISSIONE:	Faenza, 02/03/2022
COMMITTENTE:	Progetto Sisma srl
STABILIMENTO:	Via Capucchiera, 7 - 41042 Fiorano Modenese (Mo)
TIPO DI PRODOTTO:	Sistema integrato strutturale e isolante
NORMATIVE APPLICATE:	UNI EN ISO 6946; UNI EN ISO 10211; UNI EN 1745
DATA RICEVIMENTO CAMPIONI:	27/12/2021
DATA ESECUZIONE PROVE:	Febbraio 2022
PROVE ESEGUITE PRESSO:	CertiMaC, Faenza

*NOTA: I risultati contenuti nel presente rapporto di prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove di seguito descritte. E' inoltre ad uso esclusivo del Committente nell'ambito dei limiti previsti dalla normativa cogente e non può essere riprodotto (in forma cartacea o digitale) parzialmente, senza l'approvazione scritta del laboratorio.*

Esecuzione	Redazione	Approvazione
<u>_Ing. Mattia Morganti_</u> 	<u>_Ing. Mattia Morganti_</u> 	<u>_Ing. Luca Laghi_</u> 
Revisione -		Pagina 1 di 10

## 1 Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto la descrizione dei modelli di calcolo applicati ad una geometria tridimensionale in regime di scambio termico stazionario messi a punto per la determinazione della trasmittanza termica puntuale di una stratigrafia complessa in corrispondenza delle staffe metalliche. Tale sistema, denominato Resisto 5.9, è prodotto dall'azienda Progetto sisma e viene descritto nei documenti al Rif. 2-c. I calcoli sviluppati hanno l'obiettivo di comparare, in termini prestazionali e quindi attraverso la valutazione della trasmittanza termica e dei coefficienti di accoppiamento termico, la performance termica della stratigrafia teorica (senza componenti metallici e cavità d'aria), con quella reale (compresi telaio, staffe, viteria e cavità d'aria), al fine di determinare il coefficiente  $\chi$  (W/K), che quantifica la dispersione dovuta alla presenza di un ponte termico puntuale, altrimenti detto ponte termico tridimensionale.

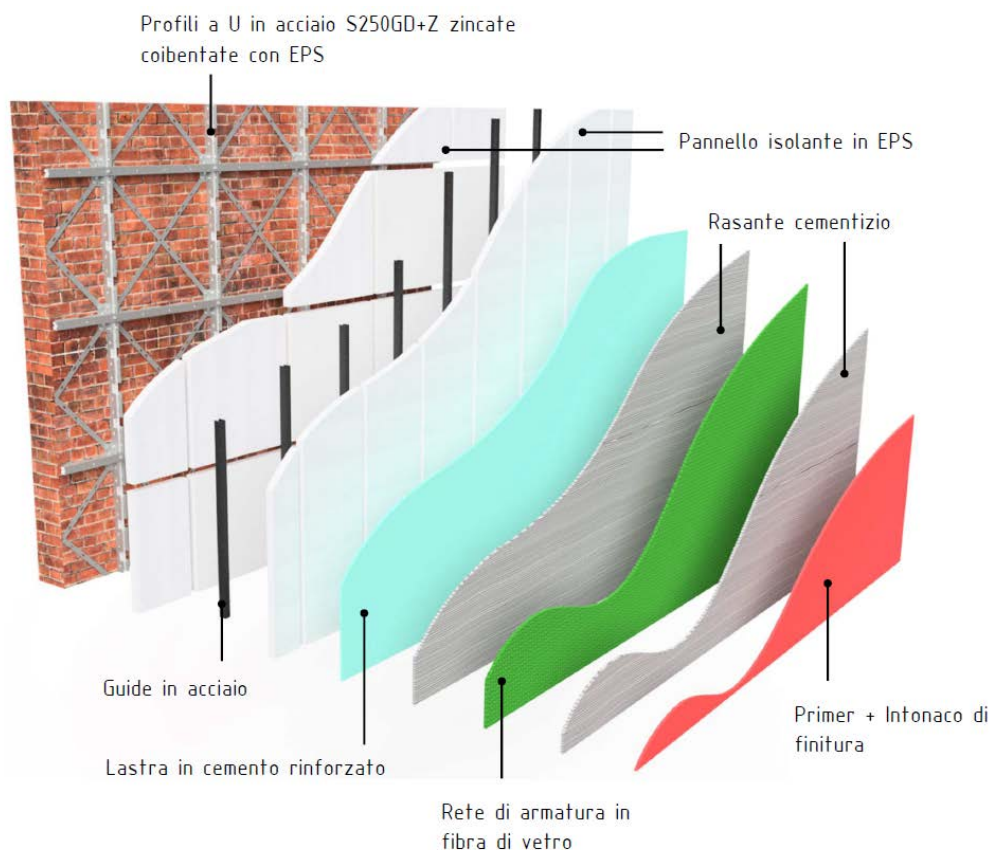


Figura 1. Immagine della stratigrafia fornita dal committente

Il sistema si compone da una sottostruttura metallica costituita da montanti verticali, correnti orizzontali, piastre presso-piegate e profili diagonali con la funzione, nell'insieme, di rinforzo strutturale. All'interno degli spazi generati da questa struttura, vengono posizionati pannelli isolanti in EPS al di sopra dei quali viene posizionata un'orditura metallica esterna in alluminio (di Hilti) fissata ai correnti orizzontali sottostanti. Nei

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 2 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022

vuoti di questa struttura viene applicato un secondo strato di pannelli di EPS, tenuto in posizione da una lastra in fibrocemento soprastante. Infine il sistema viene completato da una finitura variabile a seconda delle esigenze e costituita da due strati di rasante cementizio con rete di rinforzo in fibra di vetro e un primer per l'applicazione dell'intonachino di finitura. In Figura 1 è riportata l'immagine della stratigrafia del sistema completo.

La presente analisi prende in considerazione il telaio metallico strutturale, le staffe in alluminio, l'isolante, la viteria, le cavità d'aria e la lastra in fibrocemento. Non è invece stata considerata la parte di finitura esterna, composta da intonaci e rete d'armatura (poiché questa è variabile nelle varie applicazioni).

I valori termici per la suddetta tipologia di prodotto sono stati determinati mediante la metodologia di calcolo definita dai documenti ai Riff. 2-d, 2-e ed a partire dai modelli di calcolo validati rispetto ai requisiti di accuratezza richiesti dalle stesse norme.

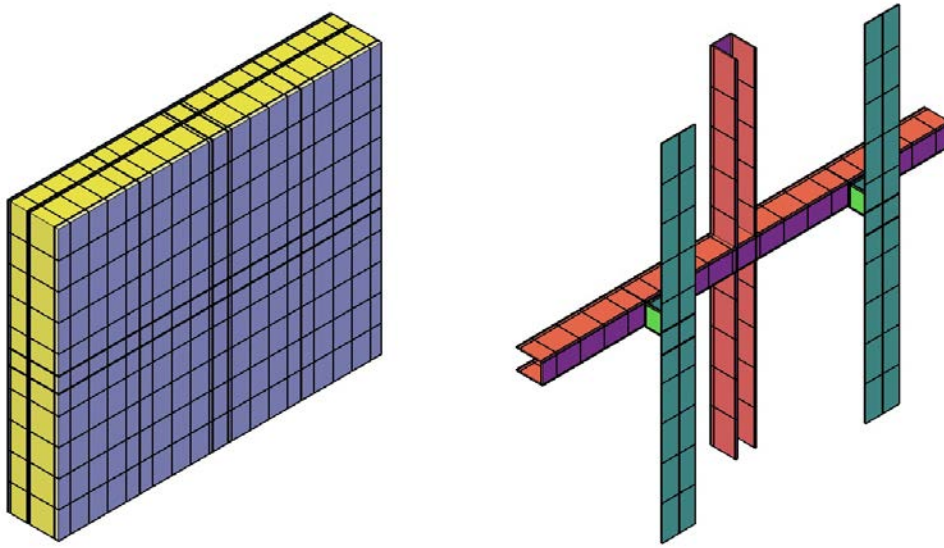
## 2 Riferimenti

- Preventivo: prot. 22031/lab del 26/01/2022.
- Conferma d'ordine: mail del 27/01/2022.
- Sistema Resisto 5.9: scheda tecnica, manuale di posa, stratigrafia.
- UNI EN 6946:2008. Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.
- UNI EN ISO 10211:2018. Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati.
- UNI EN 1745:2020. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i Valori termici di progetto.

## 3 Descrizione del metodo di calcolo della trasmittanza termica dell'elemento

La trasmittanza, espressa in  $W/m^2K$ , e i coefficienti di accoppiamento, in  $W/K$ , sono stati determinati, secondo le direttive della norma del Rif. 2-e, mediante il modello di calcolo tridimensionale basato sul metodo degli elementi finiti (F.E.M.) e messo a punto con il programma Ansys 18.2, applicato ad una porzione di facciata di dimensione  $1200 \times 1000 \text{ mm}^2$ . Tale scelta è stata effettuata conformemente alla norma al Rif. 2-e, che specifica il posizionamento dei piani di taglio della geometria da sottoporre ad analisi numerica. Le dimensioni sono state scelte per fare in modo che il flusso termico ai bordi dell'elemento considerato non sia disturbato dall'effetto del ponte termico puntuale. In questo modo è possibile valutare l'effetto del solo ponte termico dovuto alla presenza del telaio e delle staffe metalliche.

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 3 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022



**Figura 2. Schema complessivo e staffe metalliche presenti**

In Figura 2 è possibile vedere l'elemento completo considerato sulla sinistra, mentre sulla destra sono visibili le sole travi metalliche, che danno origine al ponte termico (in rosso il telaio strutturale in acciaio, in verde le staffe in alluminio di sostegno della lastra in fibrocemento).

L'elemento considerato è costituito dal telaio strutturale (in rosso), ottenuto dall'intersezione di un montante verticale ed un corrente orizzontale, entrambi con sezione a C, di dimensione 60x75 mm. La cavità all'interno è riempita di isolante. Le staffe a L (in verde) che reggono la lastra in fibrocemento sono montate sul corrente orizzontale distanziate 60 cm una dall'altra e posizionate in modo simmetrico rispetto all'asse verticale. Queste staffe sono dotate alla base di un profilo in polipropilene con spessore pari a 6 mm che ha la funzione di interrompere il ponte termico dovuto alla staffa stessa (thermostop). Queste staffe sono vincolate al corrente orizzontale del telaio attraverso una vite in acciaio e sorreggono la lastra in fibrocemento grazie ad un profilo a T, anch'esso in alluminio, vincolato sulla sommità delle staffe stesse (Figura 3). Lo spessore totale dell'isolante è pari a 16 cm.



**Figura 3. Staffa e profili a T**

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 4 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022

## 4 Dati di calcolo per la determinazione del comportamento termico della stratigrafia

### 4.1 Geometria e proprietà termiche dei materiali utilizzati

Il calcolo è stato effettuato a partire dalla geometria indicata in Figura 2. I valori da attribuire alla conducibilità termica per ciascuno dei materiali presenti in stratigrafia sono stati presi dalle schede tecniche del prodotto.

Materiale	Conducibilità termica [W/mK]
Polipropilene, sp. 6 mm	0,117
Staffe in alluminio	160
Isolante (sp. 160 mm)	0,035
Lastra in fibrocemento	0,35

Tabella 1. Caratteristiche termo-fisiche di riferimento considerate per la simulazione

La geometria del sistema prevede la formazione di una cavità d'aria di spessore pari a 10 mm tra la muratura sottostante e il primo strato di isolante. Tale configurazione ha reso necessario il calcolo della conducibilità della cavità d'aria, ai sensi della norma al Rif. 2-d. I risultati sono riportati in Tabella 2.

Cavità d'aria	Conducibilità termica eq. [W/mK]
Cavità sp. 10 mm	0,067

Tabella 2. Caratteristiche termo-fisiche delle cavità d'aria

### 4.2 Modalità di calcolo

La presenza di ponti termici determina flussi termici tridimensionali, che possono essere determinati con precisione utilizzando metodi numerici di calcolo dettagliati (Rif. 2-e). In molte applicazioni i calcoli numerici, basati sulla rappresentazione bidimensionale dei flussi termici, forniscono risultati di accuratezza adeguata, particolarmente quando l'elemento costruttivo è uniforme in una direzione. Quando, come in questo caso, l'elemento considerato non presenta uniformità in una dimensione, occorre ricorrere a calcoli numerici basati su geometrie tridimensionali.

In Figura 4 è riportata la geometria oggetto di calcolo, mentre in Figura 5 è visibile il dettaglio della zona in cui si verifica il contatto tra la staffa di sostegno (verde) e il telaio strutturale (rosso). L'elemento colorato in giallo è lo spessore di polipropilene (thermostop).

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 5 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022

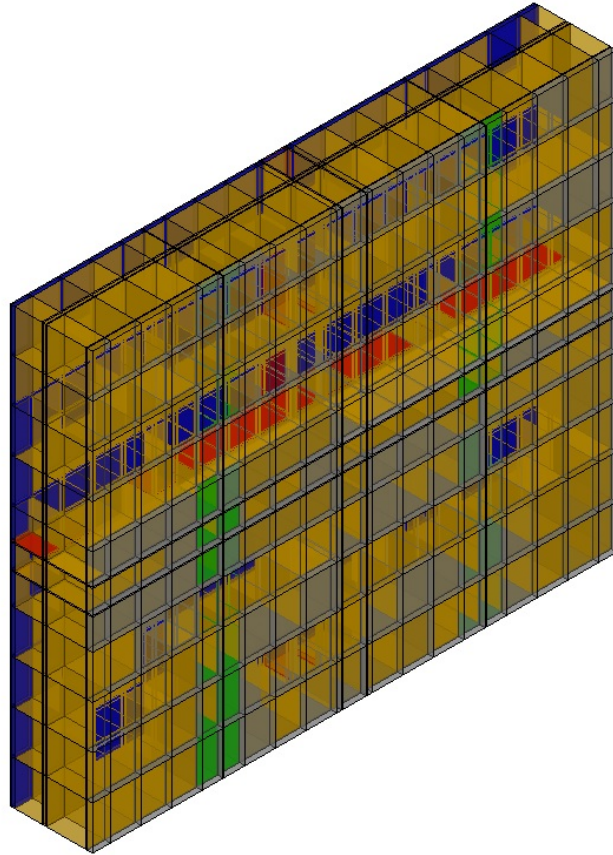


Figura 4. Geometria utilizzata per il calcolo

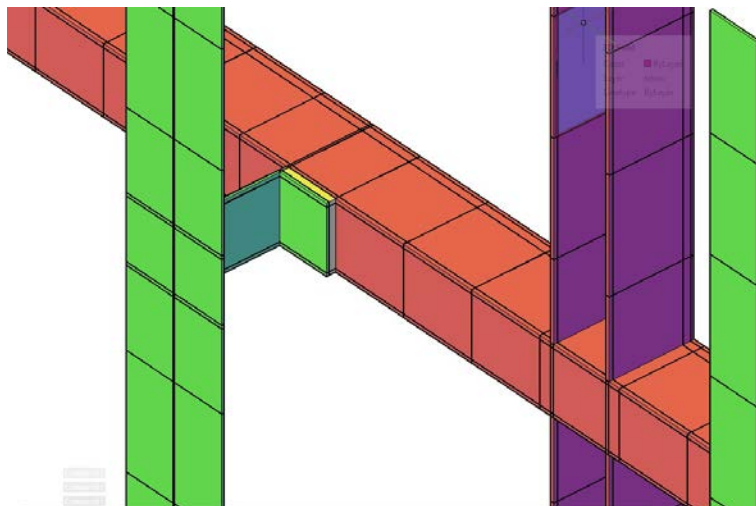


Figura 5. Dettaglio della sezione di contatto tra telaio (rosso) e staffa (verde) con thermostop (giallo)

### 4.3 Condizioni al contorno

La norma del Rif. 2-e indica le condizioni al contorno necessarie per la definizione del modello e fa riferimento alle temperature interna ed esterna ed ai valori di resistenza termica superficiale, interna ed esterna (Tabella 3).

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 6 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022



Condizioni al contorno del calcolo	
Grandezza fisica	Valore nominale
Temperatura interna $T_i$	20 °C
Temperatura esterna $T_e$	0 °C
Resistenza superficiale interna $R_{si}$	0,13 m <sup>2</sup> K/W
Resistenza superficiale esterna $R_{se}$	0,04 m <sup>2</sup> K/W

**Tabella 3. Condizioni al contorno applicate**

#### 4.4 Tipologia di elemento e mesh

Considerata la geometria in oggetto, il calcolo dei parametri termici mediante il metodo degli elementi finiti (F.E.M.) è stato eseguito utilizzando elementi tridimensionali di tipo esaedrico strutturati.

L'infittimento della mesh (dimensioni e distribuzione degli elementi) è stato definito, in relazione alla specificità della geometria della sezione della parete, mediante il metodo di calcolo messo a punto, secondo le direttive riguardanti l'accuratezza dei risultati riportate nella norma al Rif. 2-f, con il programma di calcolo Ansys 18.2. Al fine di garantire una accuratezza dei calcoli significativamente inferiore al limite del 2% indicato dalla norma del Rif. 2-f, è stata implementata una mesh con elementi a dimensione via via decrescente per i vari componenti che costituiscono la stratigrafia (Tabella 4).

Nodi	Elementi
2.204.224	2.134.821

**Tabella 4. Numerosità degli elementi e dei nodi della mesh**

In corrispondenza di una dimensione della mesh tale da restituire un numero di elementi e nodi come riportato in Tabella 4, con buona approssimazione si può considerare la soluzione numerica come validata, poiché ulteriori infittimenti non portano a variazioni significative della soluzione. In tali circostanze quindi, ossia quando la soluzione risulta "invariante" a fronte di una progressiva riduzione della dimensione degli elementi della mesh, si considera la soluzione numerica come validata poiché indipendente dalla dimensione della mesh e quindi dal livello di discretizzazione imposto.

## 5 Risultati del calcolo

In Tabella 5 si riportano i risultati dei calcoli di flusso termico (HF), coefficiente di accoppiamento termico ( $L^{3D}$ ), trasmittanza termica (U) e coefficiente di trasmittanza termica puntuale ( $\chi$ ) effettuati sulle stratigrafie caratteristiche descritte in Tabella 1.

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 7 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022

Resisto 5.9 + staffe Hilti	HF [W]	L <sup>3D</sup> [W/K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	χ [W/K]
indisturbata	4,8681	0,2434	0,2028	-
con sistema completo	6,28033	0,3140	0,2617	0,0706

**Tabella 5. Risultati dei calcoli**

Il valore del coefficiente di accoppiamento L<sup>3D</sup> viene definito dividendo il flusso di calore che attraversa la porzione di parete per il salto termico ( $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a cui sono sottoposte le facciate interna ed esterna. Dividendo ulteriormente tale valore per l'area della porzione di parete considerata (1200x1000 mm<sup>2</sup>), si ottiene il valore della trasmittanza termica U. La quantificazione dell'effetto del ponte termico puntuale viene effettuata grazie al parametro trasmittanza termica puntuale  $\chi$  [W/K], i cui valori sono riportati nell'ultima colonna di Tabella 5. Tali risultati si ottengono sottraendo il valore del coefficiente di accoppiamento della parete senza ponte termico dall'analogo valore ottenuto in caso di parete con ponte termico.

Nelle immagini seguenti, vengono mostrate graficamente le distribuzioni di temperatura (Figura 6) e gli andamenti vettoriali del flusso termico (Figura 7 e Figura 8).

Le immagini relative alle curve isoterme delle stratigrafie mostrano la distorsione del flusso termico dovuta alla presenza dei componenti metallici.

Le immagini relative agli andamenti vettoriali mettono in risalto la traiettoria preferenziale del flusso termico, che segue i profili metallici, in quanto componenti ad elevata conducibilità in un dominio caratterizzato prevalentemente da materiale isolante.

Si sottolinea come i parametri termici calcolati per la condizione indisturbata facciano riferimento ad un sistema ideale e non reale, nel quale i materiali isolanti "galleggiano" sulla cavità d'aria. È evidente che il sistema, così come descritto, non può esistere senza fissaggi meccanici.

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 8 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022



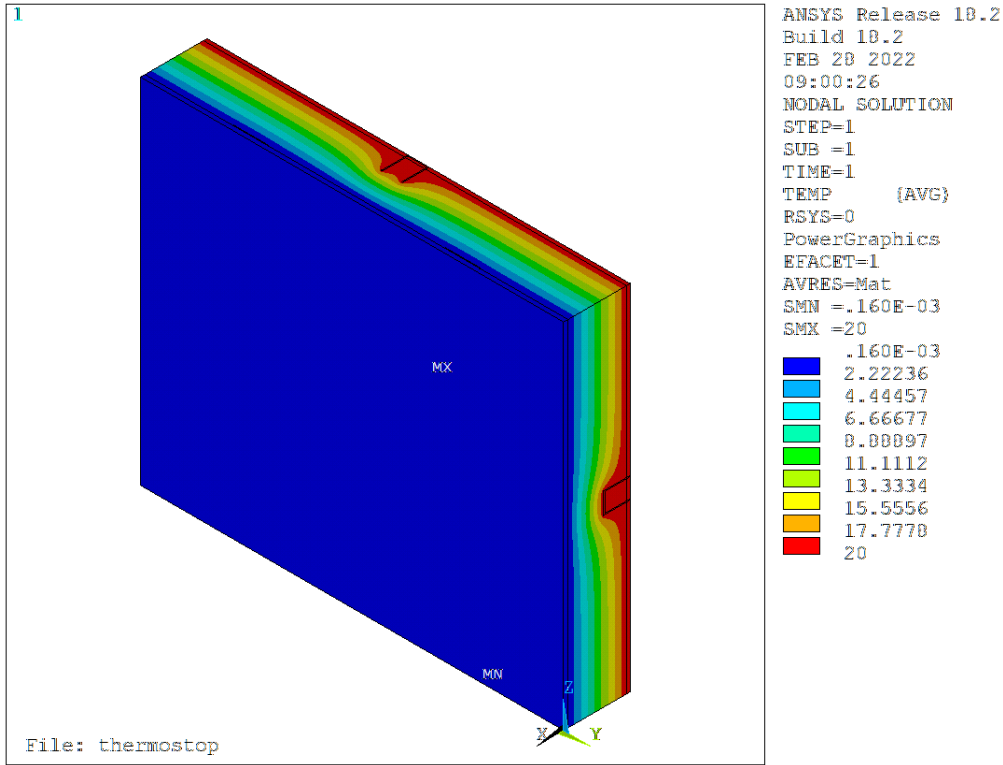


Figura 6. Andamento delle curve isoterme all'interno della stratigrafia [°C]

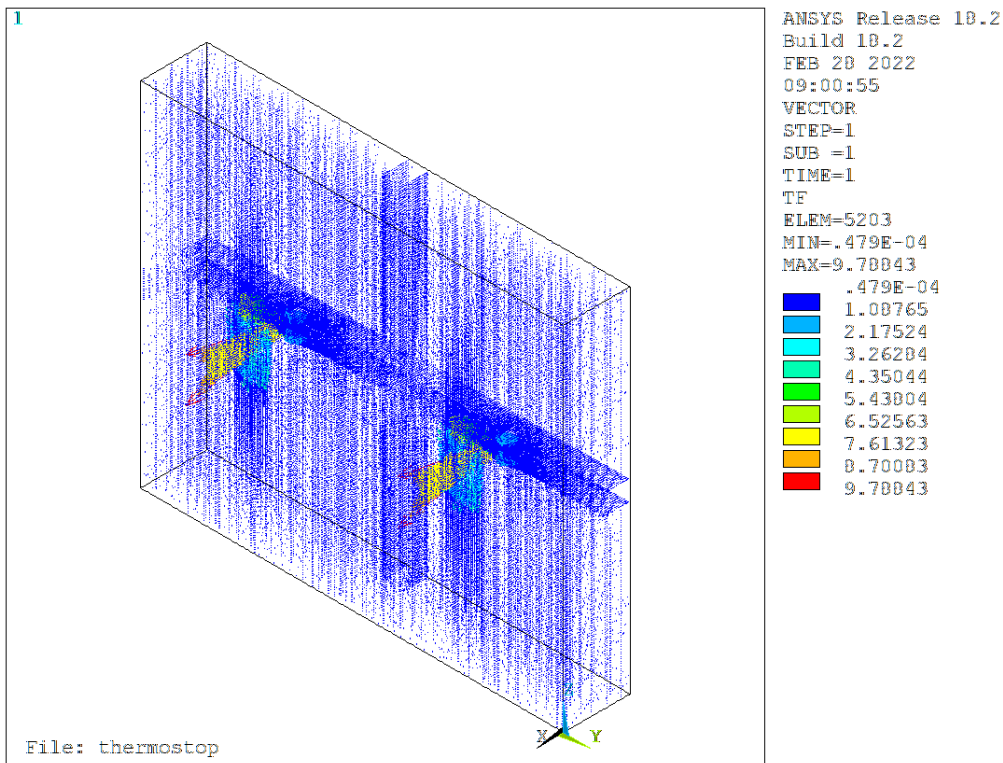


Figura 7. Andamento vettoriale del flusso termico all'interno della stratigrafia

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 9 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022

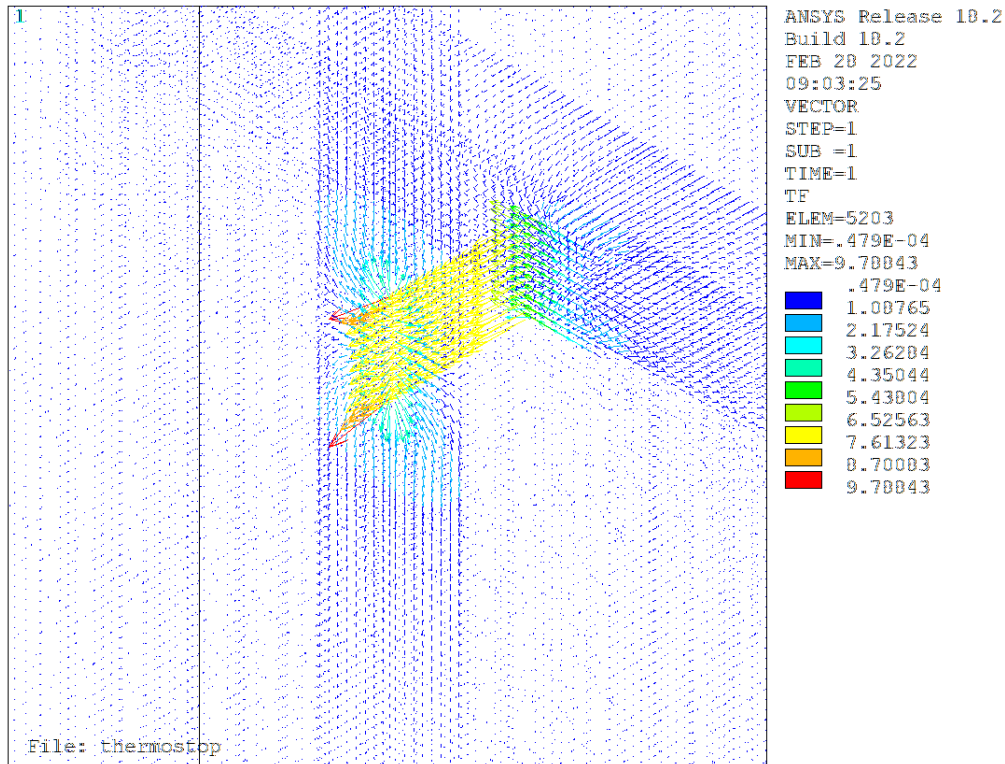


Figura 8. Dettaglio della distribuzione vettoriale del flusso termico in corrispondenza del ponte termico

## 6 Conclusioni

I calcoli, eseguiti nell'ambito dei requisiti di accuratezza del modello previsti dalla norma al Rif. 2-e, hanno consentito di valutare l'entità del ponte termico dovuto alla presenza dei componenti metallici.

In particolare, la trasmittanza termica della parete passa da 0,2028 W/m²K (caso indisturbato) a 0,2617 W/m²K (in presenza di tutti i componenti) con un coefficiente di trasmittanza termica puntuale  $\gamma = 0,0706$  W/K.

## 7 Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Progetto Sisma s.r.l.	1 copia

Rev. -	Esecuzione	Redazione	Approvazione	Pagina 10 di 10
	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Mattia Morganti_	_Ing. Luca Laghi_	RITC_081_2022