

Ponti termici in edilizia: l'importanza della geometria dei nodi costruttivi

Ing. Pascale Virginia Luisella

Una raccolta di esempi mostra, attraverso l'analisi agli elementi finiti del nodo parete – serramento, come la configurazione geometrica dei nodi costruttivi sia un fattore determinante nella correzione dei ponti termici, in quanto, a parità di materiali impiegati, determina l'entità degli scambi termici che hanno luogo attraverso i punti di discontinuità dei componenti edilizi.

Efficienza energetica? Anche la geometria conta!

In un momento storico in cui tutti gli sforzi tecnologici sono volti all'efficientamento energetico delle attività di origine antropica, un ruolo fondamentale per il conseguimento del risparmio di energia nel settore delle costruzioni è rivestito dalla corretta progettazione dell'involucro edilizio. Sono infatti le caratteristiche dell'involucro a determinare i fabbisogni energetici dei fabbricati ed il conseguente dimensionamento delle dotazioni impiantistiche.

I materiali edili oggi disponibili sul mercato risultano sempre più performanti e consentono di raggiungere risultati impensabili rispetto al passato. Tuttavia, la scelta corretta dei materiali (che, è bene ricordarlo, deve essere basata su un'analisi a tutto tondo, che prenda in considerazione non solo la conducibilità termica, ma anche le caratteristiche di massa, resistenza, traspirabilità, permeabilità all'acqua, reazione al fuoco e potere fonoisolante dei materiali da porre in opera), da sola non è sufficiente ad ottimizzare le prestazioni dell'involucro.

La corretta progettazione dell'involucro edilizio si deve fondare su un approccio olistico, che prenda in considerazione sia le caratteristiche dei materiali sia la geometria dei nodi costruttivi. Infatti, se da un lato la scelta dei materiali edili riveste un ruolo fondamentale nel garantire il comfort termoigrometrico, il comfort acustico e sulla sicurezza dei fabbricati, è il fattore geometrico che, a parità di materiali impiegati, determina i fabbisogni energetici degli edifici.

Una particolare attenzione deve essere posta nella progettazione di dettaglio dei nodi costruttivi, i quali, se trascurati, costituiscono i principali punti di criticità dell'involucro edilizio, con conseguente aumento degli scambi termici tra interno ed esterno¹ ed incremento del rischio di formazione di muffe e condense.

Il nodo costruttivo parete - finestra in sei diverse configurazioni geometriche

Nelle Figure da 1 a 6 vengono proposti due esempi dei valori assunti dal ponte termico tra parete esterna e finestra, rispettivamente in corrispondenza della spalletta (Figure da 1 a 3) e del davanzale (Figure da 4 a 6) del serramento, in funzione del posizionamento di quest'ultimo nel vano finestra.

La parete è di tipo portante, realizzata in blocchi di Poroton 800 rivestiti con cappotto esterno in lana minerale. I davanzali sono in marmo con coibentazione in EPS idrofobizzato. Il serramento

¹ È bene ricordare che, quando si parla di scambi termici tra ambiente interno ed ambiente esterno, ci si riferisce sia alle dispersioni di calore invernali dall'interno verso l'esterno, sia agli apporti di calore dall'esterno verso l'interno che si verificano durante i mesi estivi, quando si ha l'inversione dei flussi termici.

ha un vetro doppio stratificato con camera d'aria in Argon e telaio in PVC ed è installato nel vano finestra con controtelaio in legno-PVC; il quarto lato inferiore del controtelaio è realizzato in PVC.

In entrambi gli esempi, il serramento viene posizionato: sul filo esterno della muratura (Figure 1 e 4), in corrispondenza della mezzeria della muratura (Figure 2 e 5) e sul filo interno della muratura (Figure 3 e 6).

La modellazione dei nodi costruttivi è stata condotta applicando la metodologia prevista dalle norme UNI EN ISO 10211 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati" e UNI EN ISO 13788 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo".

Le simulazioni agli elementi finiti dei ponti termici sono state condotte nelle condizioni invernali standard definite dalla norma UNI/TS 11300 -1 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale". I dati climatici sono stati ricavati dalla norma UNI 10349 - 1 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata".

Calcolo agli elementi finiti dei ponti termici nel nodo parete - finestra

I risultati delle simulazioni, riportati nella Tabella 1, mostrano come nessuno dei ponti termici analizzati presenti il rischio di formazione di muffe, in quanto il valore di f_{Rsi} (fattore di temperatura sulla superficie interna) risulta sempre superiore rispetto al valore di $f_{Rsi,max}$ (fattore di temperatura del mese più critico)². Tuttavia appare evidente che, a parità di materiali

2 Il fattore di temperatura in corrispondenza alla superficie interna si ottiene dividendo la differenza tra la temperatura della superficie interna e la temperatura dell'aria esterna per la differenza tra la temperatura dell'aria interna e la temperatura dell'aria esterna calcolata con una resistenza superficiale interna R_{si} :

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e).$$

Poiché la crescita di muffe è condizionata da:

- fattore di temperatura sulla superficie interna, f_{Rsi} ,
- produzione interna di umidità p_i ,
- temperatura dell'aria interna θ_i ,

ai fini della valutazione del rischio di formazione di muffe, per ciascuno dei mesi dell'anno, occorre eseguire i seguenti passi:

- definire la temperatura dell'aria esterna θ_e ,
- definire l'umidità esterna p_e ,
- definire la temperatura interna θ_i ,
- calcolare l'umidità relativa interna p_i ,
- calcolare il valore minimo accettabile dell'umidità volumica a saturazione v_{sat} , o della pressione di saturazione P_{sat} , con un valore massimo di umidità relativa in corrispondenza della superficie $\phi_{si} = 0,8$:

$$v_{sat}(\theta_{si}) = v_i / 0,8 \text{ oppure } P_{sat}(\theta_{si}) = p_i / 0,8,$$

- determinare la temperatura superficiale minima accettabile, $\theta_{si,min}$ a partire dall'umidità volumica a saturazione minima accettabile.

Si definisce mese critico quello con il più alto valore richiesto di $f_{Rsi,min}$, dove:

$$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e).$$

Il fattore di temperatura per questo mese viene indicato con $f_{Rsi,max}$ e il componente edilizio deve essere progettato in modo tale da avere un fattore f_{Rsi} sempre maggiore di $f_{Rsi,max}$, ovvero $f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$

impiegati, il posizionamento del serramento sul filo esterno della muratura risulta essere il più performante, in quanto garantisce i più bassi valori di trasmittanza termica lineare del ponte termico ψ_e^3 (trasmittanza termica lineare del ponte termico calcolata in riferimento alle dimensioni esterne delle strutture).

Ciò è determinato dal fatto che il posizionamento del serramento sul filo esterno della muratura determina un flusso di calore attraverso il ponte termico inferiore rispetto ai flussi riscontrabili posizionando il serramento in mezzeria o sul filo interno della muratura. Il posizionamento del serramento sul filo interno della muratura risulta essere invece la configurazione più sfavorevole, in quanto è quella che fornisce la maggiore superficie di contatto tra l'aria esterna ed il vano finestra e, di conseguenza, è anche quella che dà luogo al maggiore scambio termico tra ambiente esterno ed ambiente interno.

Ponte termico parete - finestra	Posizione del serramento	ψ_e	f_{Rsi}	$f_{Rsi,max}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$
Spalletta	Filo muro esterno	0,001	0,812	0,391	SI
	Mezzeria	0,014	0,817	0,391	SI
	Filo muro interno	0,031	0,834	0,391	SI
Davanzale	Filo muro esterno	0,044	0,814	0,391	SI
	Mezzeria	0,057	0,824	0,391	SI
	Filo muro interno	0,080	0,830	0,391	SI

Tabella 1. Valori assunti dai parametri associati al ponte termico tra parete esterna e finestra, rispettivamente in corrispondenza della spalletta e del davanzale del serramento, in funzione del posizionamento di quest'ultimo nel vano finestra.

3 Gli scambi termici che hanno luogo in corrispondenza di nodi costruttivi tra strutture che separano due ambienti possono essere maggiori o minori delle dispersioni associate alle strutture che compongono il modello geometrico dei nodi costruttivi; la differenza tra il flusso di calore reale e quello attribuito alle strutture in base alla loro sezione corrente è descritta dalla trasmittanza termica lineare ψ del ponte termico, che esprime tale differenza per unità di lunghezza del ponte termico e per ogni grado Kelvin di differenza di temperatura tra i due ambienti. Pertanto

$$\psi = (\Phi - \sum_i (U_i \times l_i \times l \times \Delta T \times f_i)) / (l \times \Delta T) \text{ [W/mK]}, \text{ dove:}$$

- U_i [W/m²K] è la trasmittanza termica della struttura i-esima di separazione tra due ambienti (negli esempi citati in questo articolo l'ambiente interno e l'ambiente esterno),

- l_i [m] è la lunghezza della struttura i-esima, si considera la dimensione interna della struttura per il calcolo di ψ_i e la dimensione esterna per il calcolo di ψ_e (parametro di riferimento utilizzato in questo articolo),

- Φ [W] è il flusso termico che attraversa il nodo costruttivo, calcolato agli elementi finiti,

- l [m] è la lunghezza del ponte termico, che viene assunta pari ad 1 m, in quanto il modello utilizzato è bidimensionale,

- ΔT [K] è il valore assoluto della differenza di temperatura tra i due ambienti attraverso i quali avviene lo scambio termico (negli esempi citati in questo articolo $\Delta T = |T_i - T_e|$, dove T_i [°C] è la temperatura dell'ambiente interno e T_e [°C] è la temperatura dell'ambiente esterno),

- $f_i = (T_a - T_c) / (T_a - T_b)$, dove T_a [°C] è la temperatura del primo ambiente coinvolto nello scambio termico, T_b [°C] è la temperatura del secondo ambiente coinvolto nello scambio termico e T_c [°C] è la temperatura dell'ambiente con cui avviene lo scambio termico attraverso la struttura i-esima (negli esempi citati in questo articolo tutte le strutture che compongono i nodi costruttivi separano l'ambiente interno dall'ambiente esterno, pertanto $f_i = (T_i - T_e) / (T_i - T_e) = 1$).

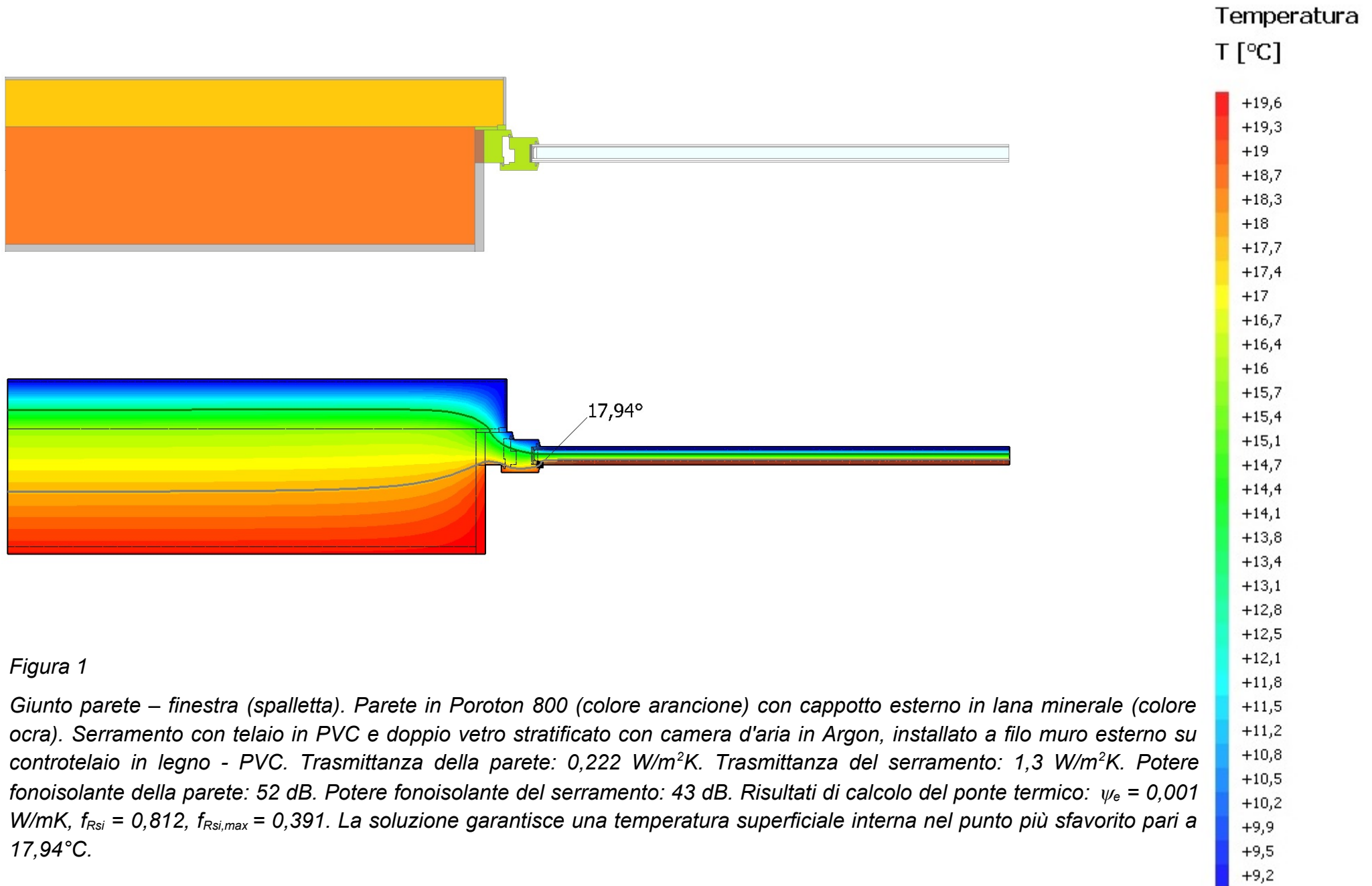


Figura 1

Giunto parete – finestra (spalletta). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore oca). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato a filo muro esterno su controtelaio in legno - PVC. Trasmittanza della parete: 0,222 W/m²K. Trasmittanza del serramento: 1,3 W/m²K. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,001$ W/mK, $f_{Rsi} = 0,812$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a 17,94°C.

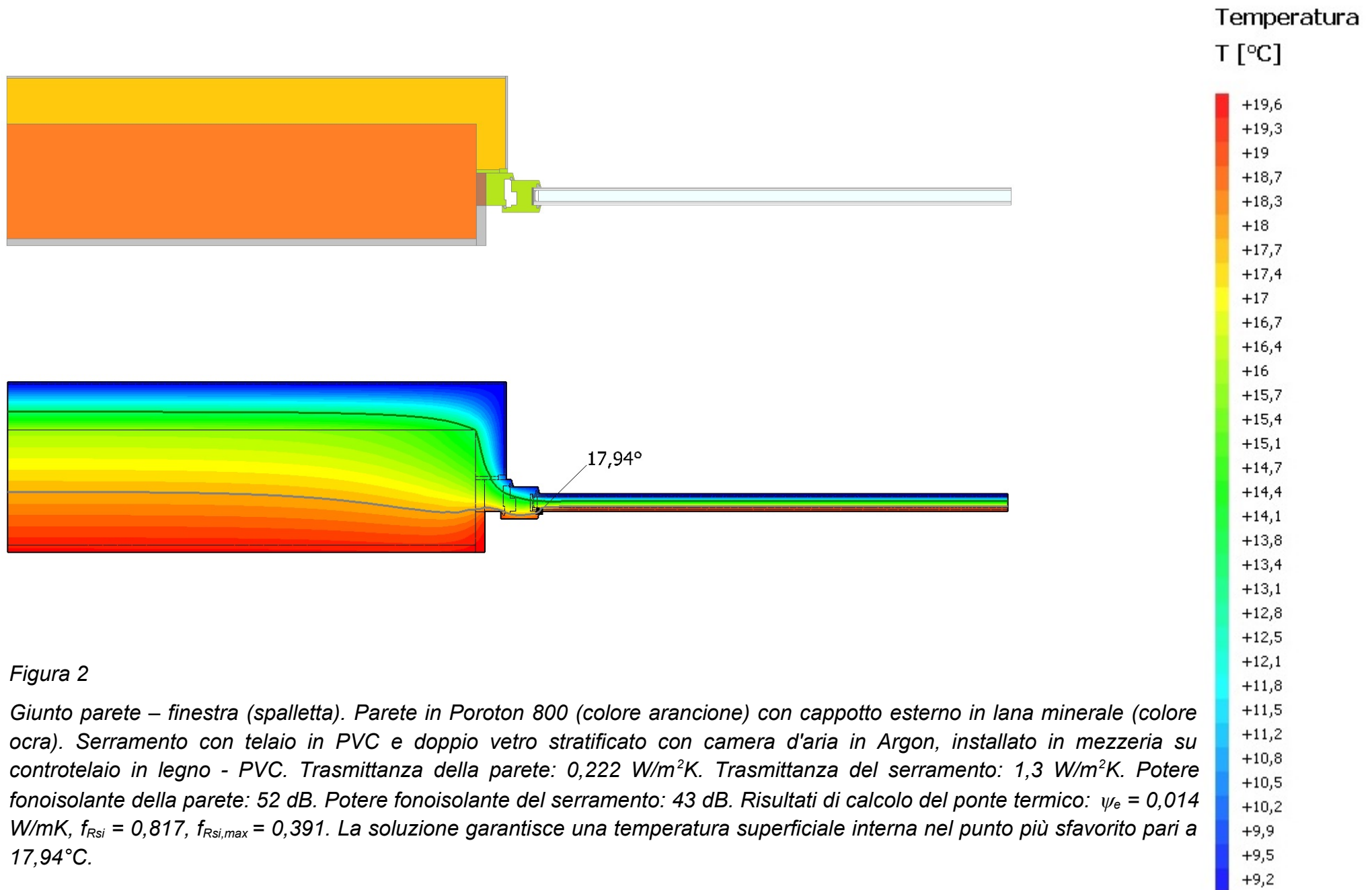


Figura 2

Giunto parete – finestra (spalletta). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore ocra). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato in mezzeria su controtelaio in legno - PVC. Trasmittanza della parete: 0,222 W/m²K. Trasmittanza del serramento: 1,3 W/m²K. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,014$ W/mK, $f_{Rsi} = 0,817$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a 17,94°C.

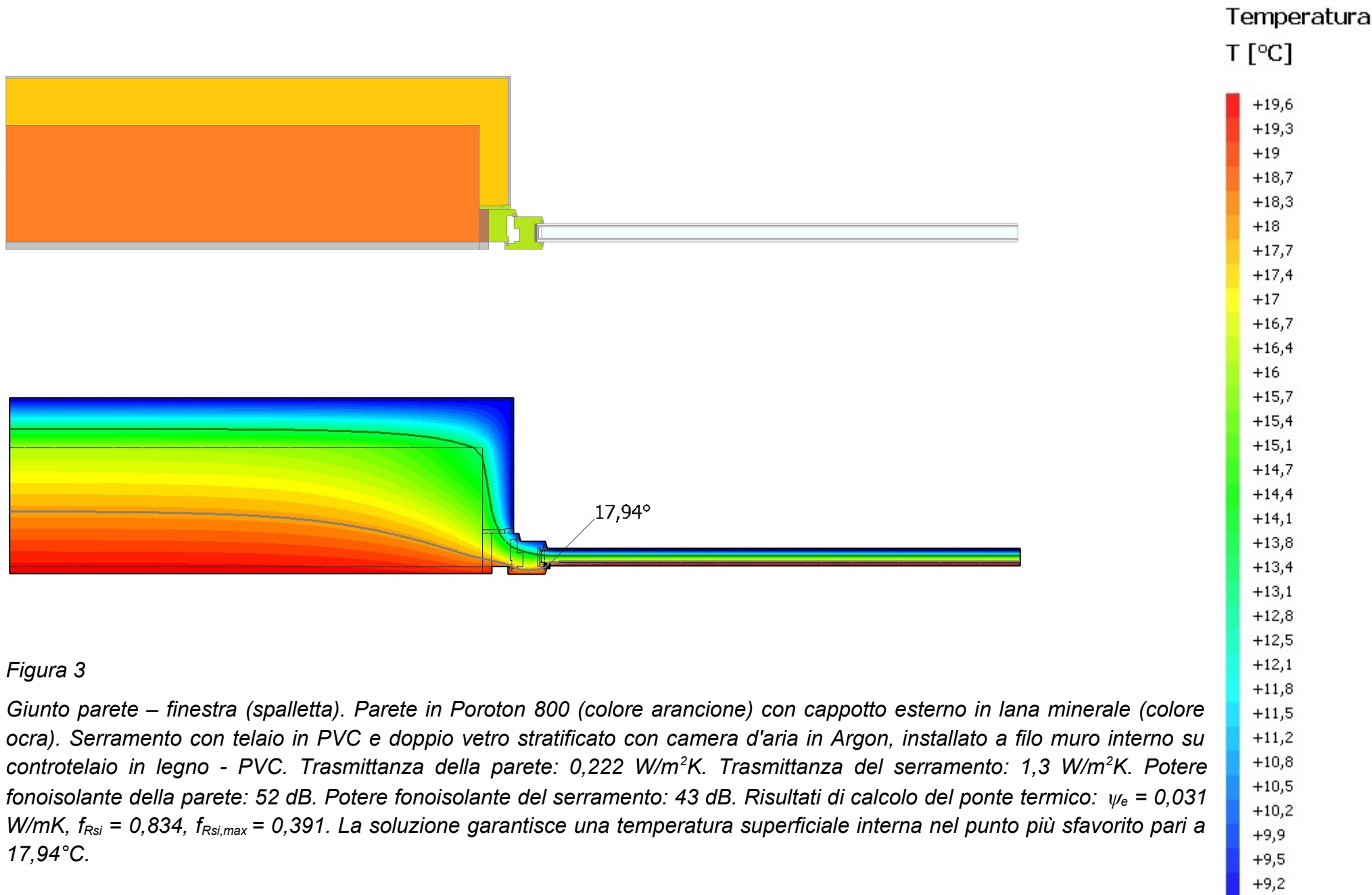


Figura 3

Giunto parete – finestra (spalletta). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore ocra). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato a filo muro interno su controtelaio in legno - PVC. Trasmittanza della parete: $0,222 \text{ W/m}^2\text{K}$. Trasmittanza del serramento: $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,031 \text{ W/mK}$, $f_{Rsi} = 0,834$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a $17,94^\circ\text{C}$.

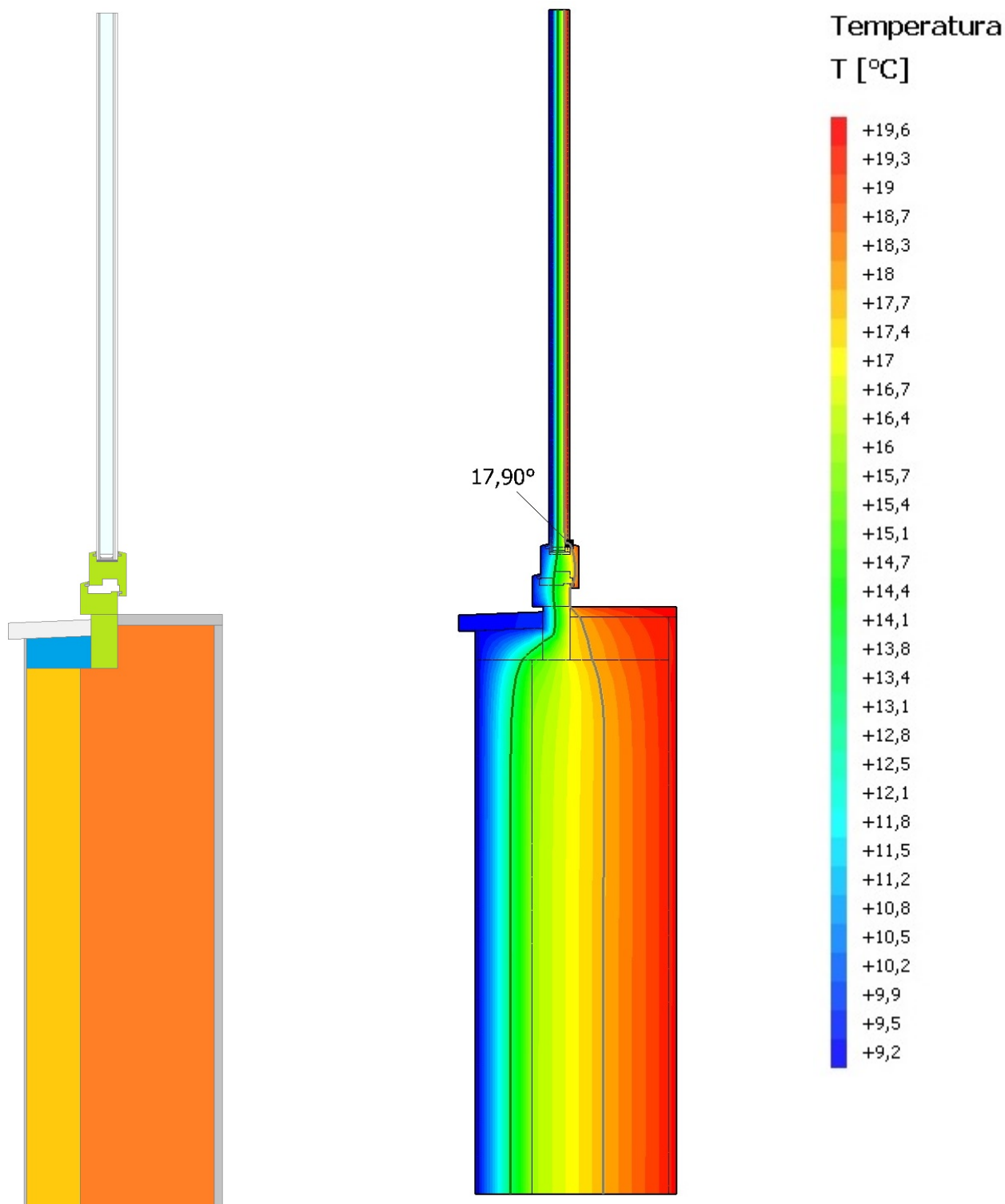


Figura 4

Giunto parete – finestra (davanzale). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore ocra). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato a filo muro esterno su contro telaio con quarto lato in PVC. Trasmittanza della parete: $0,222 \text{ W/m}^2\text{K}$. Trasmittanza del serramento: $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,044 \text{ W/mK}$, $f_{Rsi} = 0,814$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a $17,9^\circ\text{C}$.

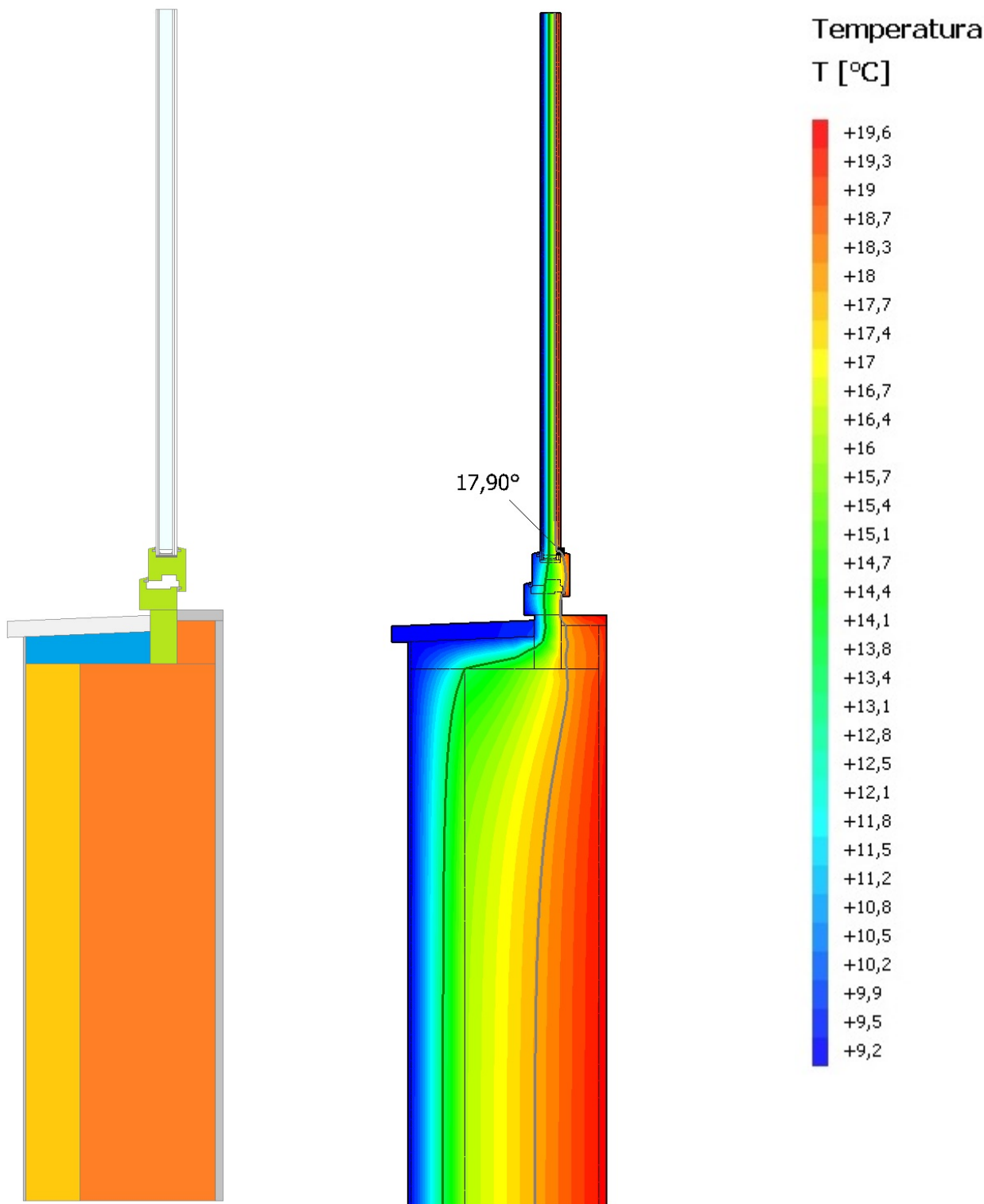


Figura 5

Giunto parete – finestra (davanzale). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore ocra). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato in mezzeria su controtelaio con quarto lato in PVC. Trasmittanza della parete: 0,222 W/m²K. Trasmittanza del serramento: 1,3 W/m²K. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,057$ W/mK, $f_{Rsi} = 0,824$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a 17,9°C.

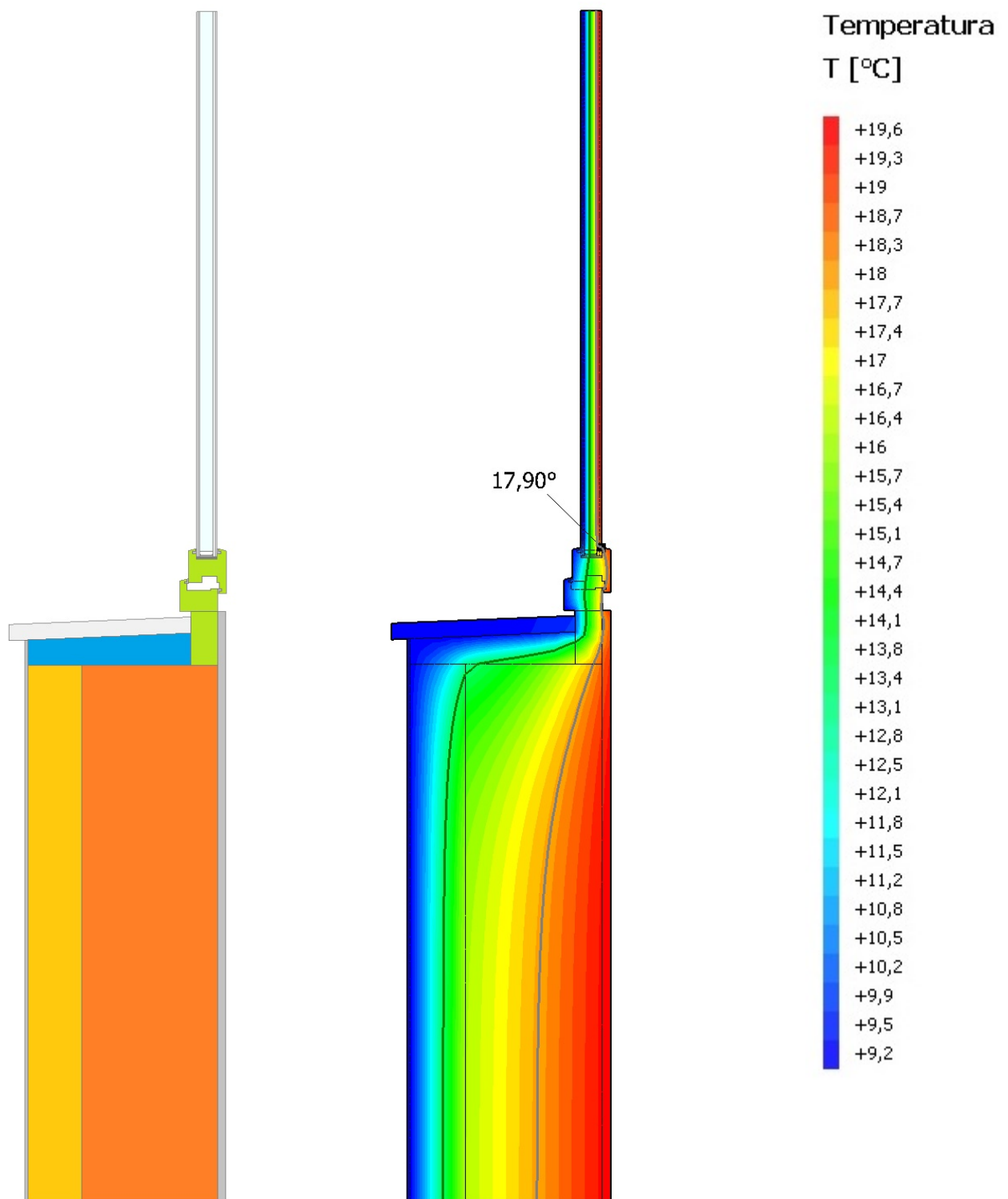


Figura 6

Giunto parete – finestra (davanzale). Parete in Poroton 800 (colore arancione) con cappotto esterno in lana minerale (colore ocra). Serramento con telaio in PVC e doppio vetro stratificato con camera d'aria in Argon, installato a filo muro interno su contro telaio con quarto lato in PVC. Trasmittanza della parete: $0,222 \text{ W/m}^2\text{K}$. Trasmittanza del serramento: $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Potere fonoisolante della parete: 52 dB. Potere fonoisolante del serramento: 43 dB. Risultati di calcolo del ponte termico: $\psi_e = 0,080 \text{ W/mK}$, $f_{Rsi} = 0,830$, $f_{Rsi,max} = 0,391$. La soluzione garantisce una temperatura superficiale interna nel punto più sfavorito pari a $17,9^\circ\text{C}$.