

RELAZIONE DI CALCOLO DEL PONTE TERMICO

Calcolo della trasmittanza lineica del ponte termico e
verifica del rischio di formazione di muffa

Confronto esemplificativo tra un davanzale non coibentato e il
davanzale monolitico System Posa

Disclaimer: il presente studio è stato condotto a puro titolo esemplificativo e il suo contenuto non intende e non deve in alcun modo sostituire una relazione di calcolo del ponte termico agli elementi finiti eseguita da un professionista certificato. System Posa S.r.l. declina ogni responsabilità derivante dall'utilizzo del presente documento in contesti reali.

INDICE

	Paragrafo	Pagina
1	PREMESSA METODOLOGICA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO	3
3	VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO	4
4	DAVANZALE NON COIBENTATO	4
5	DAVANZALE COIBENTATO MONOLITICO	10
6	CONCLUSIONI	16

1. PREMESSA

Il ponte termico è una discontinuità dell'involucro edilizio nella quale la resistenza termica non è uniforme e cambia in modo significativo; i ponti termici localizzati per la maggioranza dei casi nelle giunzioni tra gli elementi e provocano due effetti:

- Modifica del flusso termico
- Modifica della temperatura superficiale

rispetto agli stessi elementi privi di ponte termico.

La presente relazione riporta la valutazione della trasmittanza lineica ψ del ponte termico tramite analisi ad elementi finiti, per ponti termico geometrico o strutturale. Per ciascun ponte termico è analizzata la distribuzione del flusso termico, il coefficiente di accoppiamento termico e la mappa delle temperature interne al nodo. La valutazione del rischio di formazione di muffa e quindi di condensa superficiale si ottiene valutando la temperatura superficiale raggiunta sulla faccia interna.

2. NORMA DI RIFERIMENTO E METODO DI CALCOLO

Di seguito le norme di riferimento utilizzate per il calcolo.

UNI EN ISO 10211 - Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - General calculation methods.

UNI EN ISO 13788 - Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods

UNI EN ISO 6946 - Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method

Il metodo di calcolo utilizzato nella valutazione del ponte termico si basa su quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 10211.

La norma specifica la definizione dei limiti geometrici del modello e dei criteri da adottare per la sua suddivisione, le condizioni termiche al contorno, i valori termici e le relazioni da utilizzare.

La norma si fonda sulle seguenti ipotesi:

- le condizioni termiche si intendono stazionarie
- tutte le proprietà fisiche sono indipendenti dalla temperatura
- non ci sono sorgenti di calore all'interno delle strutture edilizie

3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO

L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

Il presente metodo numerico rispetta tutte le regole contenute nell'appendice A. In particolare:

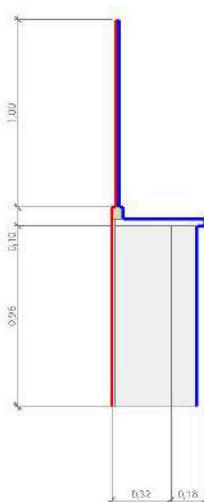
- Fornisce le temperature e i flussi termici
- Consente di calcolare temperature e flussi termici anche in posizioni diverse da quelle indicate.
- Converte alla soluzione analitica (dove esiste) all'aumentare delle suddivisioni.
- Determina il numero di suddivisioni seguendo questa regola: esegue la somma dei valori assoluti di tutti i flussi termici che entrano nell'oggetto considerato, per n suddivisioni e per $2n$ suddivisioni. La differenza tra i due risultati non deve essere maggiore del 2% o in alternativa si aumenta il numero di suddivisioni fino a che il criterio non è soddisfatto.
- Le iterazioni di calcolo proseguono finché la somma di tutti i flussi termici (positivi o negativi) entranti nell'oggetto, divisa per la metà della somma dei valori assoluti dei medesimi flussi termici è minore di 0.001.

4. DAVANZALE NON COIBENTATO

Di seguito si riportano i dettagli, il contesto e i risultati del calcolo prendendo in considerazione un davanzale privo di coibentazione.

4.1. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO

Si riporta di seguito il modello geometrico di ponte termico con il dettaglio dei materiali componenti e delle conduttività termiche utilizzate nella valutazione della trasmittanza.



DETTAGLIO DEI MATERIALI

	MATERIALE	λ [W/mK]
Vetro	Vetro da finestre 2500	1,000
Argon	Argon	0,017
Vetro	Vetro da finestre 2500	1,000
LEGNO	legname grezzo, legno di larice, essiccazione artificiale $\lambda = 0,15$ - Schnittholz Lä rauh, tech.trock. $\lambda = 0,15$	0,150
MARMO	Marmo (2800 kg a m3)	3,500
Intonaco	Intonaco di calce e gesso	0,700
Poroton	POROTON® SERIE 700	0,161
EPS	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033

4.2. CONDIZIONI AL CONTORNO

Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.

Nelle condizioni al contorno sono specificati l'ambiente interno e uno o più ambienti esterni con le relative resistenze di calcolo.

DETTAGLIO DEI CONFINI

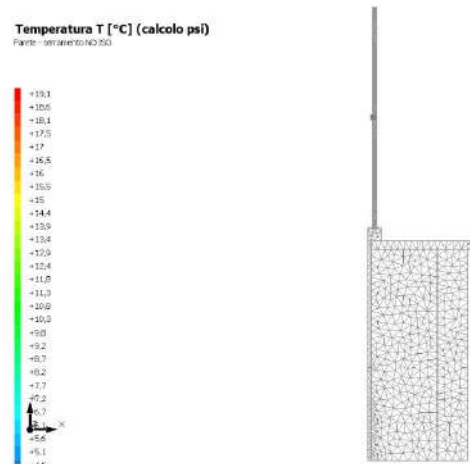
	Confine	T [°C]	R [m ² K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
5	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
6	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
7	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
8	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
9	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
10	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04
11	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	2,5	0,04

4.3. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

Per portare a convergenza il risultato finale il Ponte termico calcolato è stato suddiviso in triangoli, la mesh di calcolo.

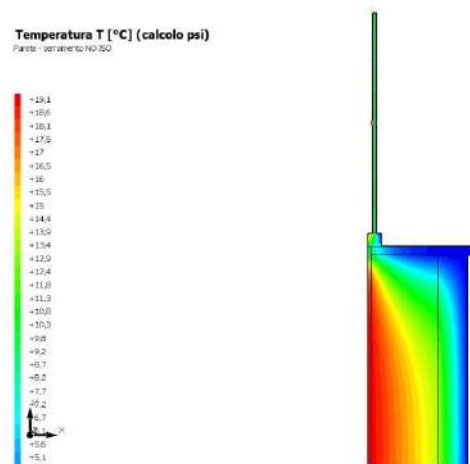
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi: **1928**

Di seguito la rappresentazione della mesh di calcolo del ponte termico:



4.4. CURVE DI TEMPERATURA

In base al modello di ponte termico e alle sue condizioni al contorno si ottiene la seguente distribuzione di temperatura all'interno degli elementi:



4.5. RISULTATI DI CALCOLO

Di seguito vengono esposti i risultati di calcolo relativi alla struttura di ponte termico. Il principale risultato il flusso termico per ogni metro di lunghezza e per ogni grado di differenza di temperatura: la trasmittanza termica lineica del ponte termico viene ottenuta per differenza tra la dispersione del modello geometrico comprensivo di ponte termico e la dispersione in assenza di discontinuità.

Flusso Φ	33,71 W/m
Ψ interno	1,9260 W/mK
Ψ esterno	1,9260 W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	1,93 W/mK
Temperatura minima	8,3 °C

4.6. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

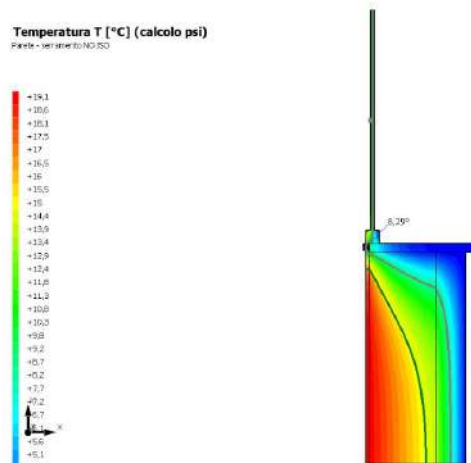
Il metodo di calcolo della condensa superficiale su superficie interna è contenuto nella norma UNI EN ISO 13788 che prevede il calcolo del fattore di temperatura superficiale f_{Rsi} calcolato come segue

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Con θ_{si} temperatura superficiale interna [°C]

θ_e temperatura dell'aria esterna [°C]

θ_i temperatura dell'aria interna [°C]



La norma precisa che al fine di evitare formazione di muffa, l'umidità superficiale critica da considerare nella valutazione della pressione di saturazione deve essere pari all' 80%.

I dati climatici utilizzati nella verifica sono riferiti al comune di Bologna.

Di seguito il dettaglio di pressione e temperatura valutati lungo tutto l'arco dell'anno:

Tipo di calcolo: **Classi di concentrazione**

Classe di edificio: **Edifici con indice di affollamento non noto**

Mese	Te [°C]	φ_e [%]	Pe [Pa]	Δp [Pa]	Pi [Pa]	Psi [Pa]	Tsi [°C]	Ti [°C]	fRsi
ottobre	15,60	75,7	1.340,9	256,2	1.597,1	1.996,4	17,48	20,00	0,4274
novembre	9,30	77,3	905,1	479,8	1.385,0	1.731,2	15,24	20,00	0,5554
dicembre	3,80	80,8	647,6	675,1	1.322,7	1.653,4	14,53	20,00	0,6623
gennaio	1,30	80,6	540,6	763,9	1.304,5	1.630,6	14,31	20,00	0,6959
febbraio	5,40	58,3	522,7	618,3	1.141,0	1.426,2	12,26	20,00	0,4700
marzo	9,60	57,8	690,6	469,2	1.159,8	1.449,7	12,51	20,00	0,2799
aprile	13,60	62,7	976,1	327,2	1.303,3	1.629,1	14,30	20,00	0,1094

Te temperatura esterna media mensile [°C]

φ_e umidità relativa esterna [%]

Pe pressione esterna [Pa]

ΔP variazione di pressione [Pa]

Pi pressione interna [Pa]

Psi pressione di saturazione interna [Pa]

Tsi Temperatura superficiale interna [°C]

fRsi Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

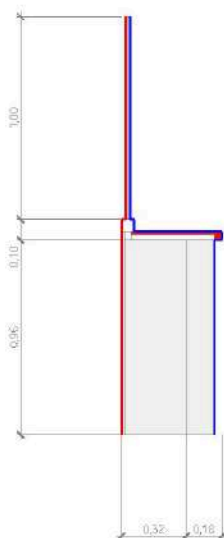
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,331
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,696
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} < f_{rsi, max}$: possibile presenza di muffa

5. DAVANZALE COIBENTATO MONOLITICO

Passiamo di seguito a riportare i dettagli, il contesto e i risultati del calcolo prendendo in considerazione il davanzale coibentato monolitico.

5.1. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO

Si riporta di seguito il modello geometrico di ponte termico con il dettaglio dei materiali componenti e delle conduttività termiche utilizzate nella valutazione della trasmittanza.



DETTAGLIO DEI MATERIALI

	MATERIALE	λ [W/mK]
Vetro	Vetro da finestre 2500	1,000
Argon	Argon	0,017
Vetro	Vetro da finestre 2500	1,000
LEGNO	legname grezzo, legno di larice, essiccazione artificiale $\lambda = 0,15$ - Schnittholz Lä rauh, tech.trock. $\lambda = 0,15$	0,150
XPS	Schlüter Kerdi Board	0,033
Gres	Pavimentazione interna-gres	1,470
XPS	Schlüter Kerdi Board	0,033
Intonaco	Intonaco di calce e gesso	0,700
Poroton	POROTON® SERIE 700	0,161
EPS	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033

5.2. CONDIZIONI AL CONTORNO

Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.

Nelle condizioni al contorno sono specificati l'ambiente interno e uno o più ambienti esterni con le relative resistenze di calcolo.

DETTAGLIO DEI CONFINI

	Confine	T [°C]	R [m ² K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
5	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
6	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
7	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
8	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
9	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
10	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
11	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	1,3	0,04
12	Interno	20,0	0,13
13	Interno	20,0	0,13
14	Interno	20,0	0,13

5.3. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

Per portare a convergenza il risultato finale il Ponte termico calcolato è stato suddiviso in triangoli, la mesh di calcolo.

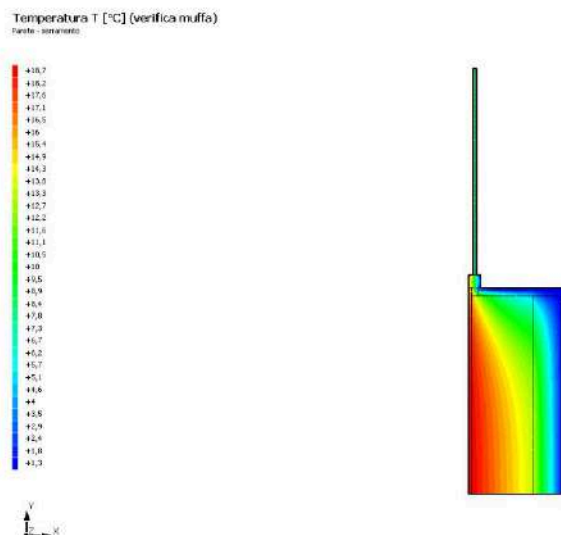
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi: **2004**

Di seguito la rappresentazione della mesh di calcolo del ponte termico:



5.4. CURVE DI TEMPERATURA

In base al modello di ponte termico e alle sue condizioni al contorno si ottiene la seguente distribuzione di temperatura all'interno degli elementi:



5.5. RISULTATI DI CALCOLO

Di seguito vengono esposti i risultati di calcolo relativi alla struttura di ponte termico. Il principale risultato il flusso termico per ogni metro di lunghezza e per ogni grado di differenza di temperatura: la trasmittanza termica lineica del ponte termico viene ottenuta per differenza tra la dispersione del modello geometrico comprensivo di ponte termico e la dispersione in assenza di discontinuità.

Flusso Φ	31,26 W/m
Ψ interno	1,6717 W/mK
Ψ esterno	1,6717 W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	1,67 W/mK
Temperatura minima	15,7 °C

5.6. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

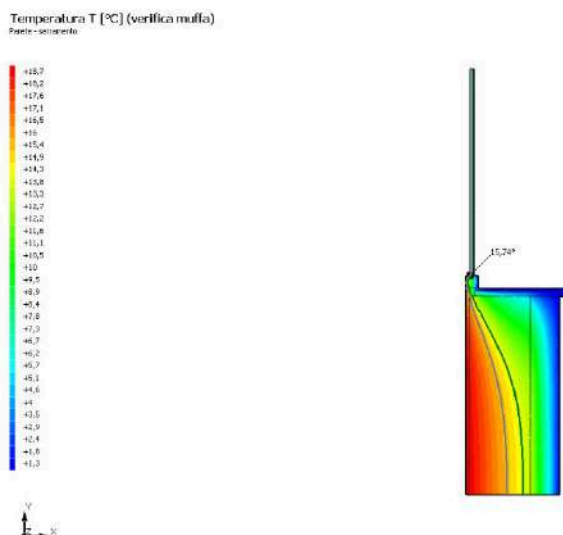
Il metodo di calcolo della condensa superficiale su superficie interna è contenuto nella norma UNI EN ISO 13788 che prevede il calcolo del fattore di temperatura superficiale f_{Rsi} calcolato come segue

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Con θ_{si} temperatura superficiale interna [°C]

θ_e temperatura dell'aria esterna [°C]

θ_i temperatura dell'aria interna [°C]



La norma precisa che al fine di evitare formazione di muffa, l'umidità superficiale critica da considerare nella valutazione della pressione di saturazione deve essere pari all' 80%.

I dati climatici utilizzati nella verifica sono riferiti al comune di Bologna.

Di seguito il dettaglio di pressione e temperatura valutati lungo tutto l'arco dell'anno:

Tipo di calcolo: **Classi di concentrazione**

Classe di edificio: **Edifici con indice di affollamento non noto**

Mese	Te [°C]	φ_e [%]	Pe [Pa]	Δp [Pa]	Pi [Pa]	Psi [Pa]	Tsi [°C]	Ti [°C]	fRsi
ottobre	15,60	75,7	1.340,9	256,2	1.597,1	1.996,4	17,48	20,00	0,4274
novembre	9,30	77,3	905,1	479,8	1.385,0	1.731,2	15,24	20,00	0,5554
dicembre	3,80	80,8	647,6	675,1	1.322,7	1.653,4	14,53	20,00	0,6623
gennaio	1,30	80,6	540,6	763,9	1.304,5	1.630,6	14,31	20,00	0,6959
febbraio	5,40	58,3	522,7	618,3	1.141,0	1.426,2	12,26	20,00	0,4700
marzo	9,60	57,8	690,6	469,2	1.159,8	1.449,7	12,51	20,00	0,2799
aprile	13,60	62,7	976,1	327,2	1.303,3	1.629,1	14,30	20,00	0,1094

Te temperatura esterna media mensile [°C]

φ_e umidità relativa esterna [%]

Pe pressione esterna [Pa]

ΔP variazione di pressione [Pa]

Pi pressione interna [Pa]

Psi pressione di saturazione interna [Pa]

Tsi Temperatura superficiale interna [°C]

fRsi Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico fR_{si}	0,772
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico fR_{siAmm}	0,696
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi, max}$: assenza di muffa

6. CONCLUSIONI

L'analisi FEM conferma che l'utilizzo del nostro davanzale coibentato consente una sensibile riduzione del ponte termico nel nodo parete-serramento.

Il coefficiente di accoppiamento L_2D si riduce da 1,93 a 1,67 W/m·K, con un miglioramento delle dispersioni lineiche pari a circa il 13%.

Ancora più significativo è l'incremento della temperatura superficiale interna, che passa da 8,3°C a 15,7°C, eliminando il rischio di formazione di condensa e muffa.

Il fattore fR_{si} , salendo da 0,331 a 0,772, supera ampiamente la soglia minima prevista dalla UNI EN ISO 13788, garantendo conformità igienico-sanitaria e maggiore comfort abitativo.

L'analisi è stata eseguita considerando un infisso in legno con doppio vetro; l'adozione di serramenti più performanti (es. triplo vetro, telai a bassa conducibilità) permetterebbe un ulteriore miglioramento delle prestazioni termiche complessive del nodo.