

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA ALLOGGI COMUNALI DI VIA TOGLIATTI 2 - CUP C42H19000160002



allegato 2 Relazione ex Legge 10/91: Relazione di calcolo analitico agli elementi finiti FEM dei ponti termici

Il Progettista
Ing. Sergio Brambilla

IL R.U.P.
Ing. Ir Daniele Forcillo



Sergio Brambilla

Rho, 21 Settembre 2020

ALLEGATO 2

Relazioni di calcolo analitico agli elementi finiti FEM dei ponti termici

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

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

ALLEGATO 2

Relazioni di calcolo analitico agli elementi finiti FEM dei ponti termici

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

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Angolo rientrante con pilastro

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

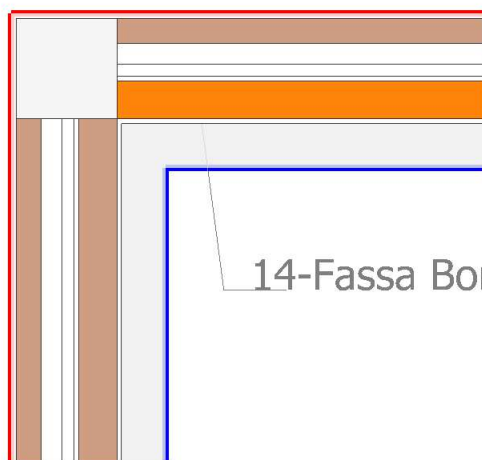
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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.



14-Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite

Dettaglio dei materiali

	Materiale	λ [W/m ² K]
1	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,2m2k/W)	0,400
2	Mattoni forati (R=0,2m2k/W)	0,400
3	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
3	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
6	Mattoni forati (R=0,310m2k/W)	0,387
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
14	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
14	Mattoni forati (R=0,310m2k/W)	0,387

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Interno	20,0	0,04
2	Esterno	3,5	0,04
3	Esterno	3,5	0,04
4	Interno	20,0	0,13

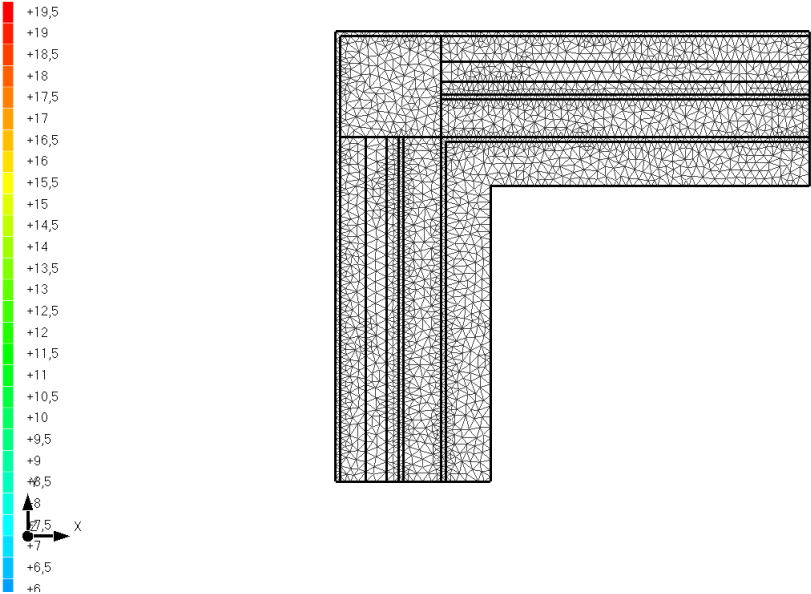
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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 2.368

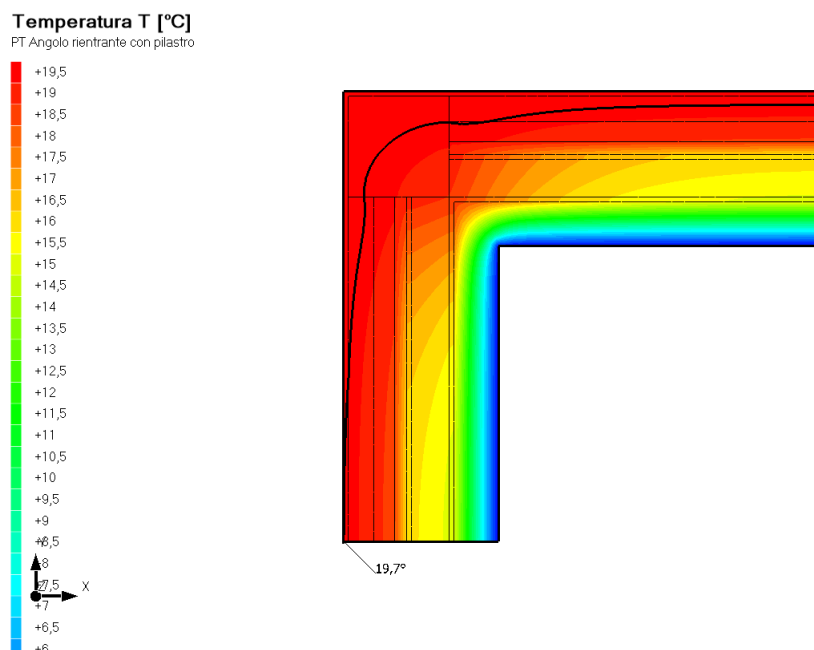
Di seguito la rappresentazione della mesh di calcolo del ponte termico:

Temperatura T [°C]
PT Angolo rientrante con pilastro



7. 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:



8. 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	5,56	W/m
Ψ interno	-0,7458	W/mK
Ψ esterno	-0,4201	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,34	W/mK
Temperatura minima	19,7	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

0,7%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,984
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENZA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Angolo sporgente con pilastro

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

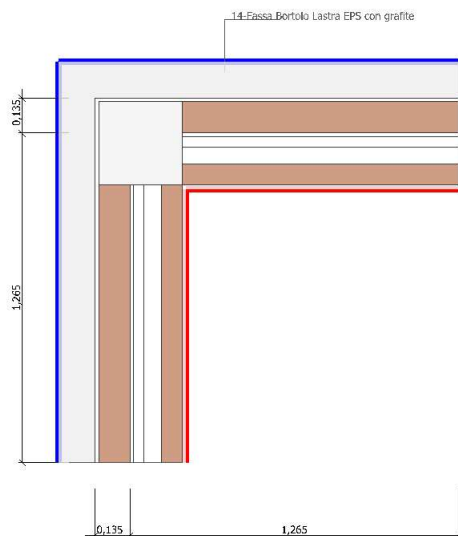
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m2k/W)	0,387
2	Mattoni forati (R=0,310m2k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m2k/W)	0,400
6	Mattoni forati (R=0,2m2k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
14	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Esterno	3,5	0,04
2	Esterno	3,5	0,04
3	Interno	20,0	0,13
4	Interno	20,0	0,13

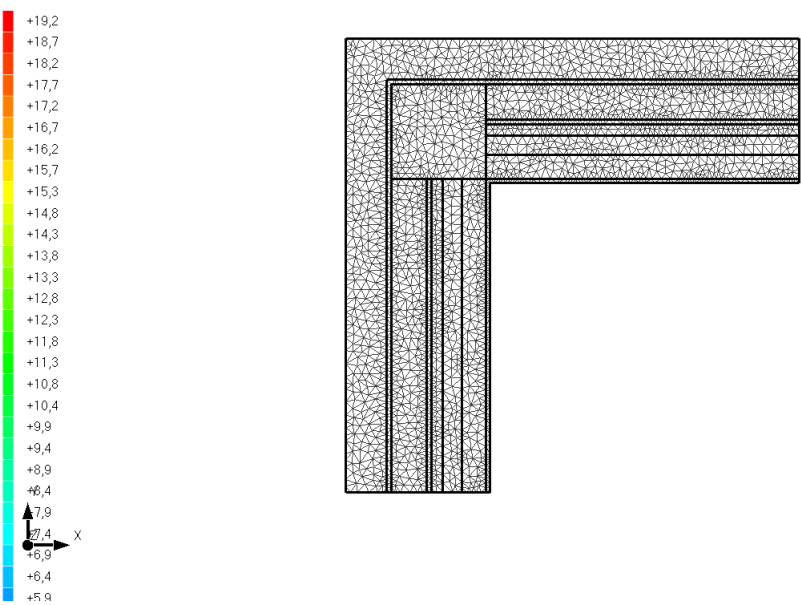
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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 2.459

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

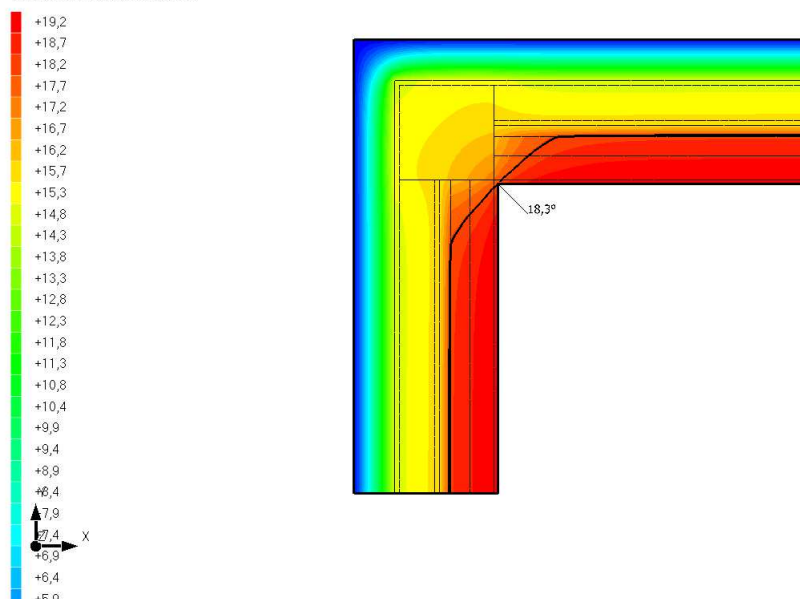
Temperatura T [°C]
PT Angolo sporgente con pilastro



7. 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:

Temperatura T [°C]
PT Angolo sporgente con pilastro



8. 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	7,38	W/m
Ψ interno	0,0133	W/mK
Ψ esterno	0,1237	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,45	W/mK
Temperatura minima	18,3	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente
Il ponte termico può considerarsi corretto?

2,9%

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	0,00 m ³
Produzione nota di vapore G	0,00 kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,914
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - balcone

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma :



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

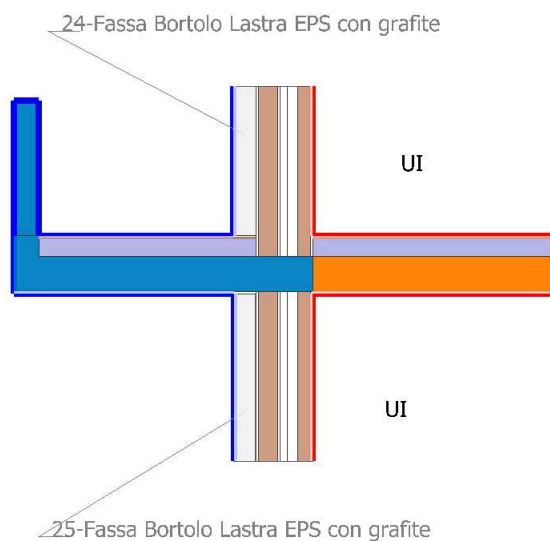
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
9	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
10	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
13	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
14	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Piastrelle	1,000
17	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
18	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
19	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
20	Piastrelle	1,000
21	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
23	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
24	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

25	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
29	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).

Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica. Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e 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 interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
5	Esterno	3,5	0,04
6	Esterno	3,5	0,04
7	Esterno	3,5	0,04
8	Esterno	3,5	0,04
9	Esterno	3,5	0,04
10	Esterno	3,5	0,04
11	Esterno	3,5	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

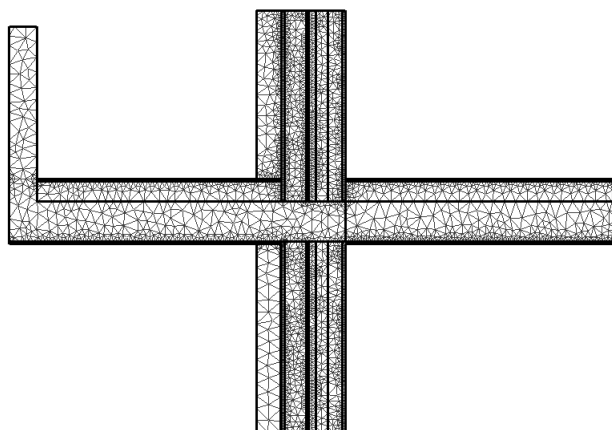
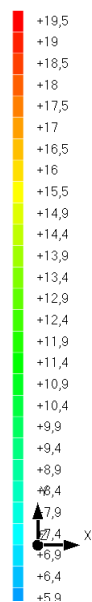
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi

3.101

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

Temperatura T [°C]

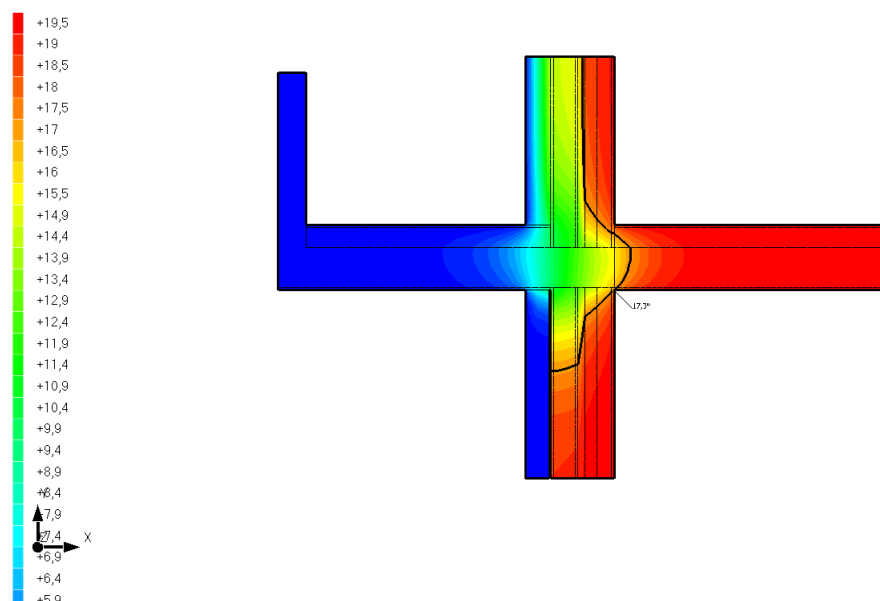
PT Parete esterna - balcone



7. 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:

Temperatura T [°C]
PT Parete esterna - balcone



8. 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	11,57	W/m
Ψ interno	0,3914	W/mK
Ψ esterno	0,3363	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,70	W/mK
Temperatura minima	17,3	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

4,6%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,840
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENZA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - cassonetto isolato - solaio

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

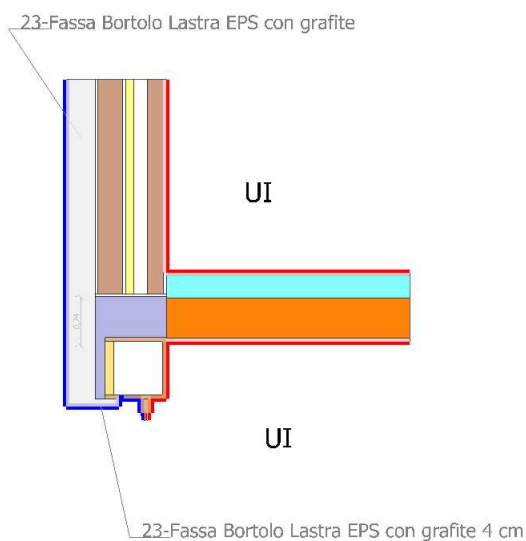
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Polistirene	0,160
1	Intercapedine d'aria_2	1,111
5	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
5	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
10	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
11	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
12	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
13	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
14	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
15	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
16	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
17	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
18	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
19	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
20	Vetro	1,000
22	Vetro	1,000
23	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
24	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
24	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti interposti	0,667
24	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
30	Piastrelle in ceramica/porcellana	1,300

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).

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

Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m ² K/W]
1	Esterno	3,5	0,04
2	Interno	20,0	0,04
3	Interno	20,0	0,04
4	Interno	20,0	0,04
5	Interno	20,0	0,04
6	Interno	20,0	0,04
7	Interno	20,0	0,04
8	Interno	20,0	0,04
9	Interno	20,0	0,04
10	Esterno	3,5	0,04
11	Esterno	3,5	0,04
12	Esterno	3,5	0,04
13	Esterno	3,5	0,04
14	Esterno	3,5	0,04
15	Esterno	3,5	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

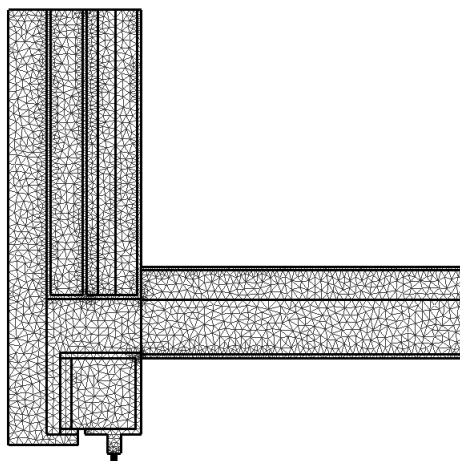
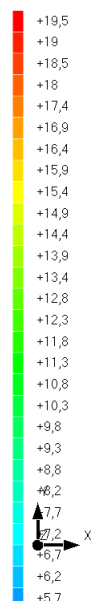
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi

2.444

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

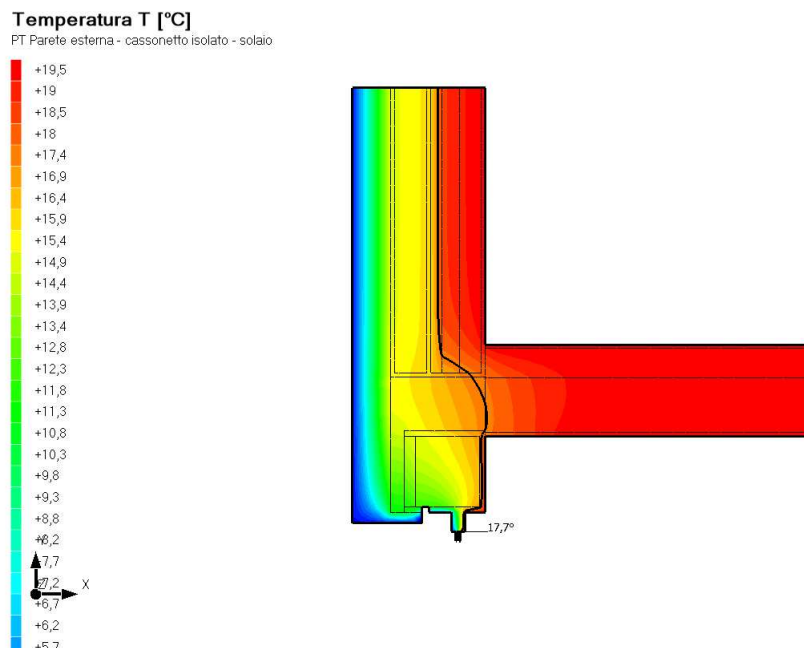
Temperatura T [°C]

PT Parete esterna - cassonetto isolato - solaio



7. 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:



8. 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	12,96	W/m
Ψ interno	-0,1912	W/mK
Ψ esterno	-0,1912	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,79	W/mK
Temperatura minima	17,7	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

1,5%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,866
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - pavimento su vespaio

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

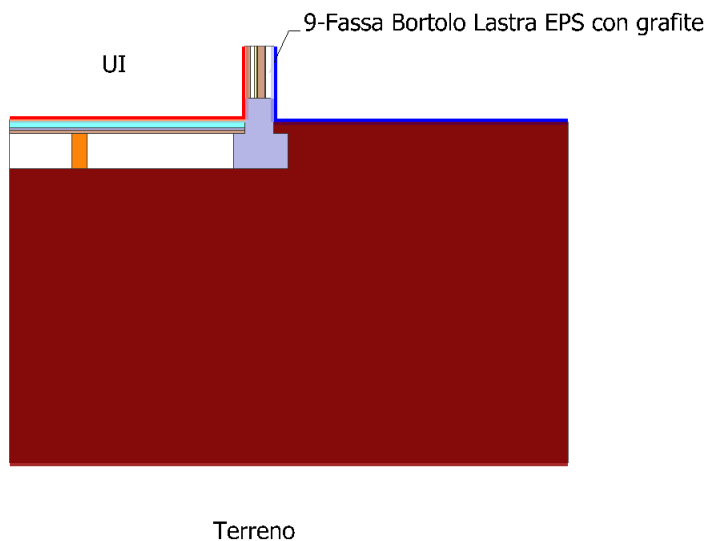
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650
2	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
3	Mattoni forati (R=0,2m2k/W)	0,400
4	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
5	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
6	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
7	Mattoni forati (R=0,310m2k/W)	0,387
8	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
9	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
10	Intonaco plastico per cappotto	0,330
11	Piastrelle	1,000
12	Massetto in cls alleggerito	1,080
13	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	0,940
14	Tavelloni in laterizio	0,240
15	Intercapedine debolmente ventilata	0,500
15	Blocco forato 200 x 250 foratura orizzontale (giunti malta 5 mm)	0,304
15	Intercapedine debolmente ventilata	0,500
16	Arenaria (silice)	2,300

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

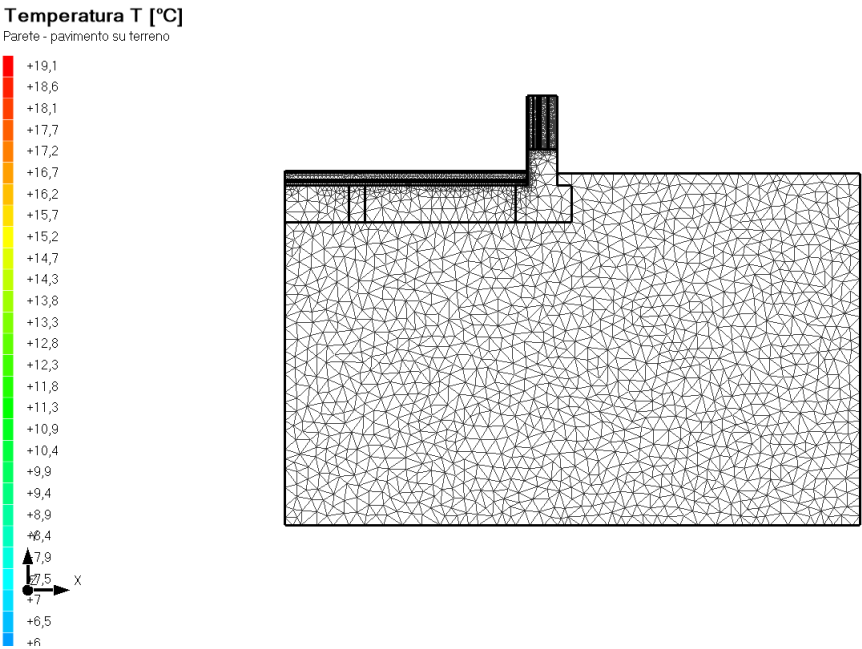
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura esterna	3,5	0,04
2	Temperatura esterna	3,5	0,04
3	Temperatura terreno	14,0	0,00
4	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
5	Temperatura interna: direzione discendente del flusso	20,0	0,17

6. 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 3.950

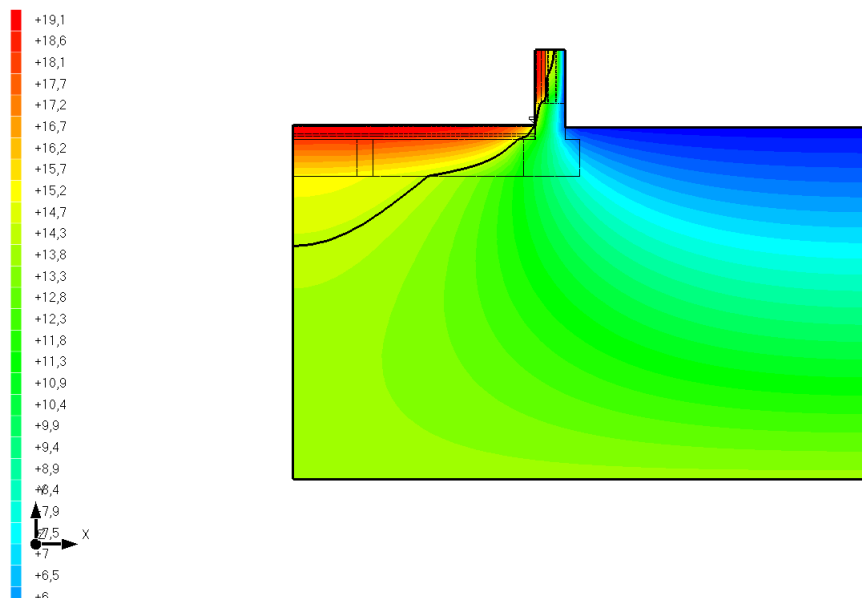
Di seguito la rappresentazione della mesh di calcolo del ponte termico:



7. 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:

Temperatura T [°C]
Parete - pavimento su terreno



8. 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	54,93	W/m
Ψ interno	0,3276	W/mK
Ψ esterno	0,1602	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	2,19	W/mK
Temperatura minima	14,6	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

21,7%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

No

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	13,7	0,50	1399,23	323,65	1722,88	2153,61	18,69	20,0	0,7916
novembre	9,2	0,50	1056,05	483,4	1539,45	1924,31	16,9	20,0	0,7129
dicembre	2,7	0,50	647,25	714,15	1361,4	1701,75	14,98	20,0	0,7096
gennaio	2,8	0,50	682,49	710,6	1393,09	1741,36	15,33	20,0	0,7287
febbraio	4,7	0,50	627,52	643,15	1270,67	1588,34	13,91	20,0	0,6019
marzo	7,9	0,50	740,12	529,55	1269,67	1587,09	13,9	20,0	0,4956
aprile	13,0	0,50	992,48	348,5	1340,98	1676,23	14,74	20,0	0,2488

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,689
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,792
Mese critico	Ottobre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - pavimento vs cantina

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

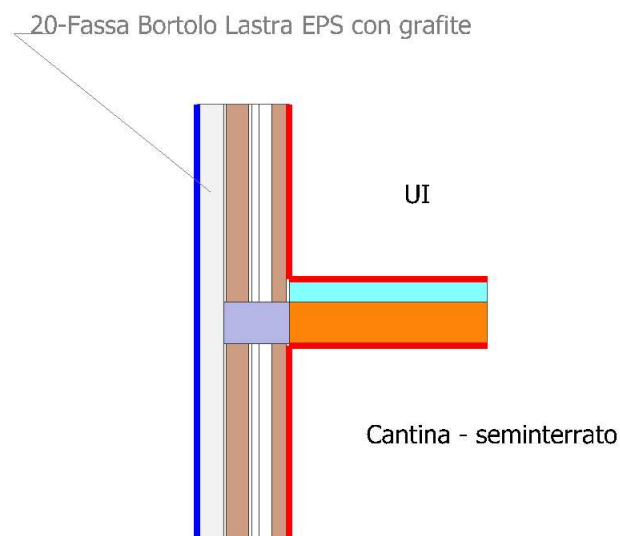
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
9	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
10	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
13	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
14	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Piastrelle	1,000
17	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
18	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
19	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
20	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

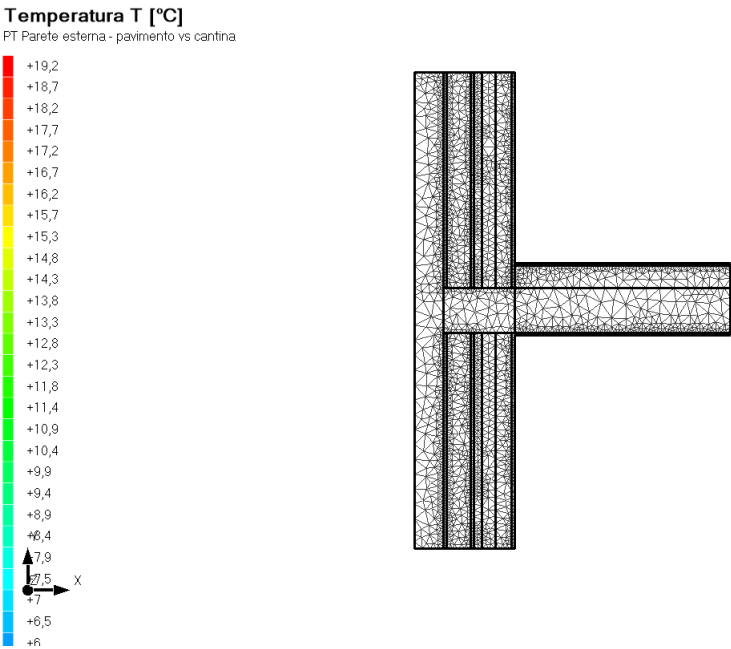
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Esterno	3,5	0,04
4	Cantina	12,0	0,13
5	Cantina	12,0	0,13

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

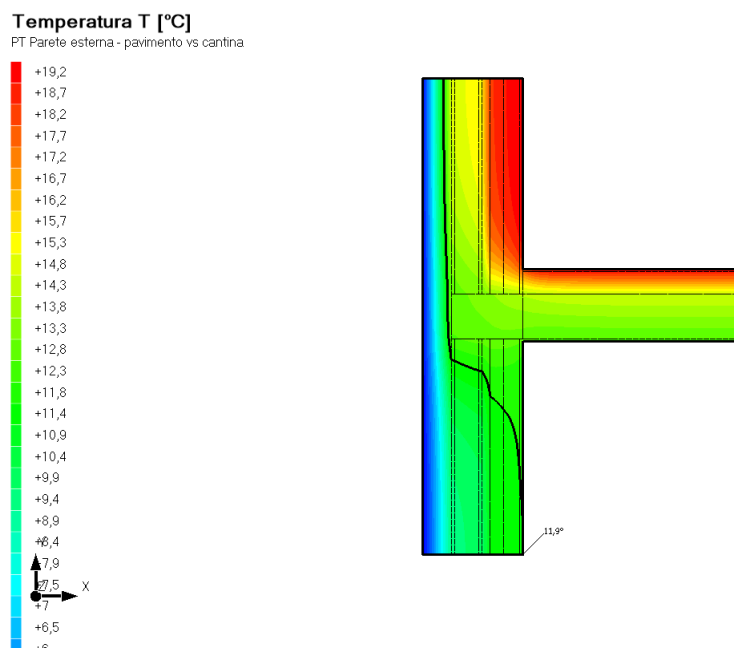
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 2.403

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



7. 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:



8. 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	4,54	W/m
Ψ interno	-0,0279	W/mK
Ψ esterno	-0,0818	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,28	W/mK
Temperatura minima	11,9	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

1,8%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,515
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} < f_{rsi,max}$: possibile presenza di muffa nella parte bassa della cantina - semnterrato

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - solaio interpiano

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

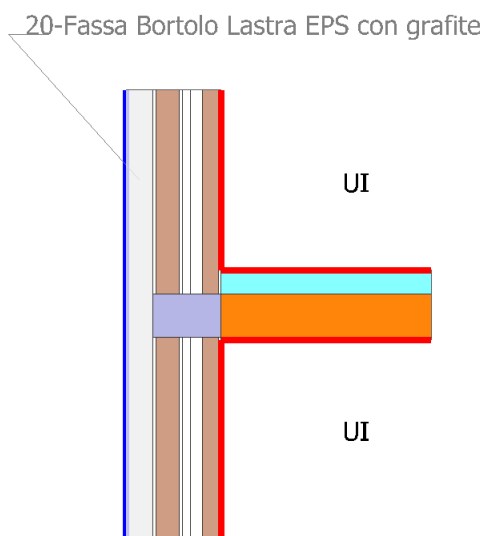
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
9	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
10	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
13	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
14	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Piastrelle	1,000
17	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
18	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
19	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
20	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m²K/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 interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
5	Esterno	3,5	0,04

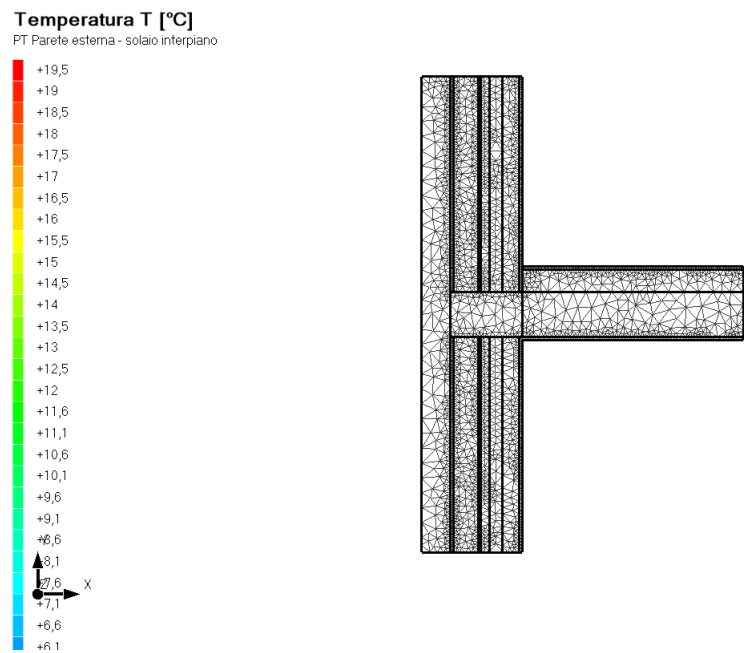
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

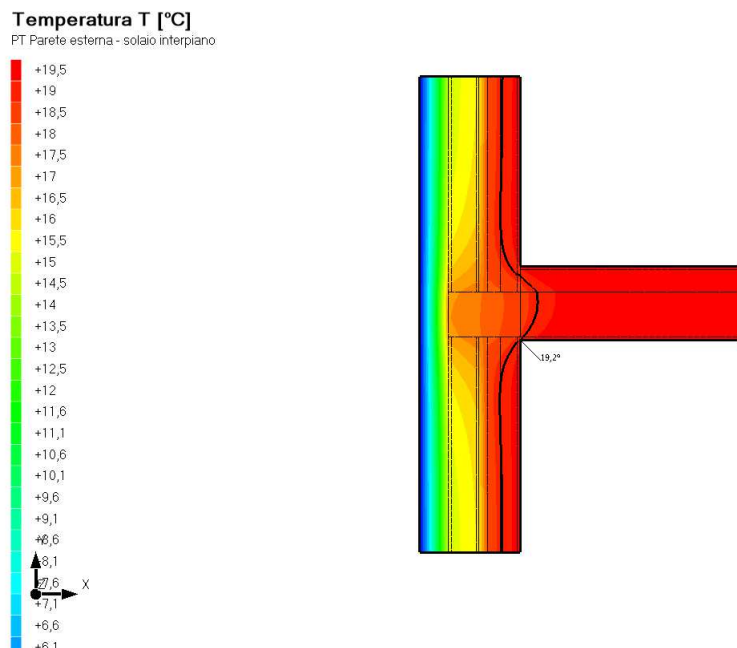
2.340

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



7. 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:



8. 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	6,28	W/m
Ψ interno	0,0790	W/mK
Ψ esterno	0,0236	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,38	W/mK
Temperatura minima	19,2	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,5%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,951
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

**PT Parete esterna - solaio vs sottotetto_lato
falda inclinata**

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

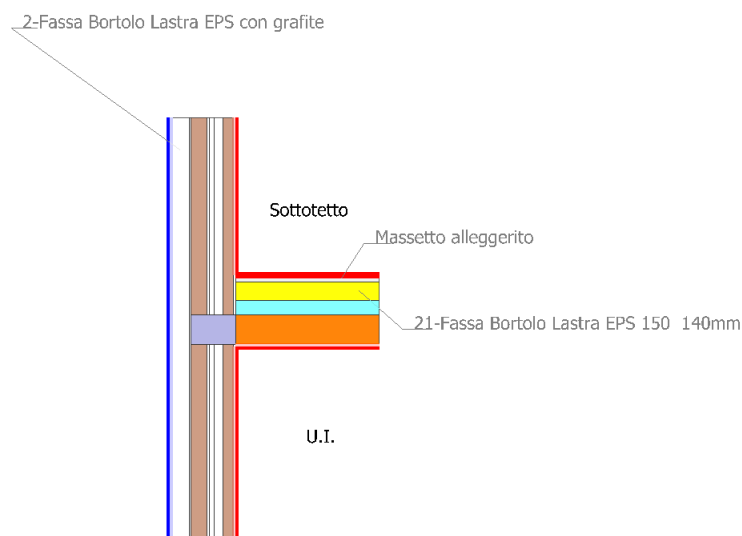
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco plastico per cappotto	0,330
2	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
6	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
7	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
8	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
9	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
10	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
11	Intonaco plastico per cappotto	0,330
14	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
17	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
18	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
19	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
21	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
23	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
22	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
21	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033
22	Fassa Bortolo E439	1,800

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

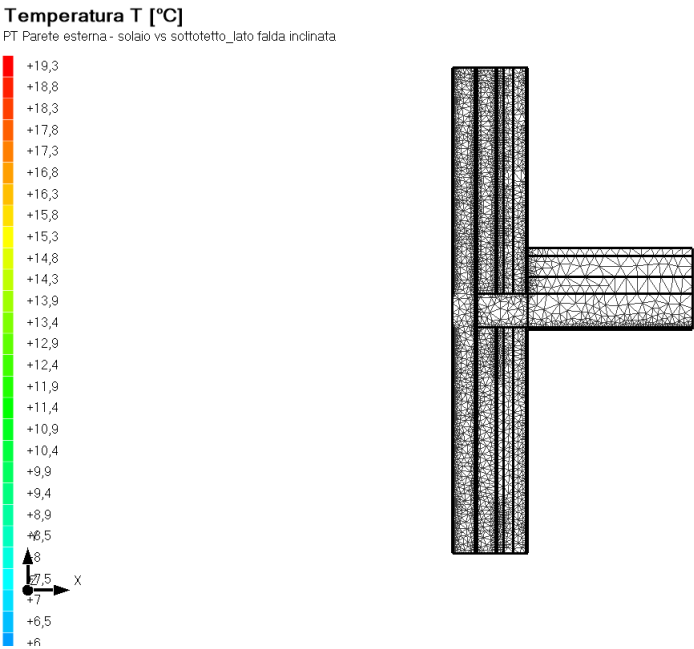
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Esterno	3,5	0,04
4	Sottotetto	10,0	0,04
5	Sottotetto	10,0	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

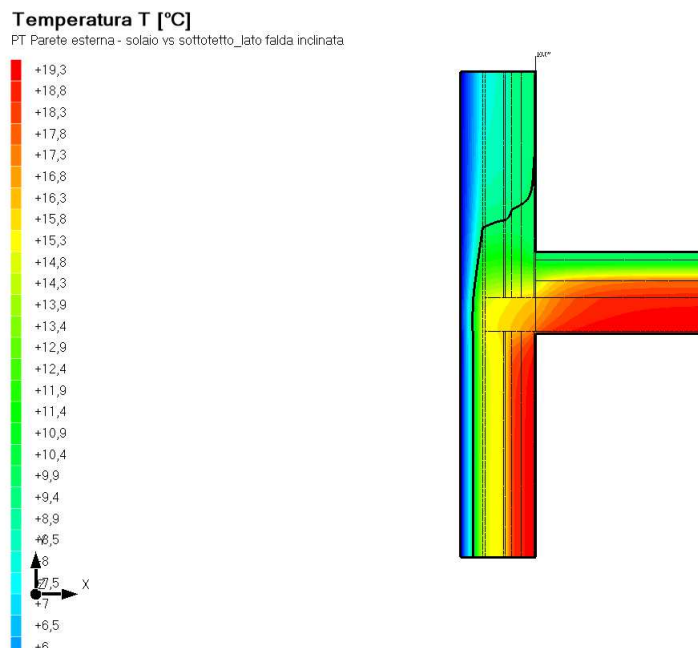
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 4.686

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



7. 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:



8. 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	6,34	W/m
Ψ interno	-0,0531	W/mK
Ψ esterno	-0,1123	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,38	W/mK
Temperatura minima	10,0	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,5%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	13,7	0,50	1399,23	323,65	1722,88	2153,61	18,69	20,0	0,7916
novembre	9,2	0,50	1056,05	483,4	1539,45	1924,31	16,9	20,0	0,7129
dicembre	2,7	0,50	647,25	714,15	1361,4	1701,75	14,98	20,0	0,7096
gennaio	2,8	0,50	682,49	710,6	1393,09	1741,36	15,33	20,0	0,7287
febbraio	4,7	0,50	627,52	643,15	1270,67	1588,34	13,91	20,0	0,6019
marzo	7,9	0,50	740,12	529,55	1269,67	1587,09	13,9	20,0	0,4956
aprile	13,0	0,50	992,48	348,5	1340,98	1676,23	14,74	20,0	0,2488

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,396
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,792
Mese critico	Ottobre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa nel sottotetto

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - solaio vs sottotetto_lato pluviale

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

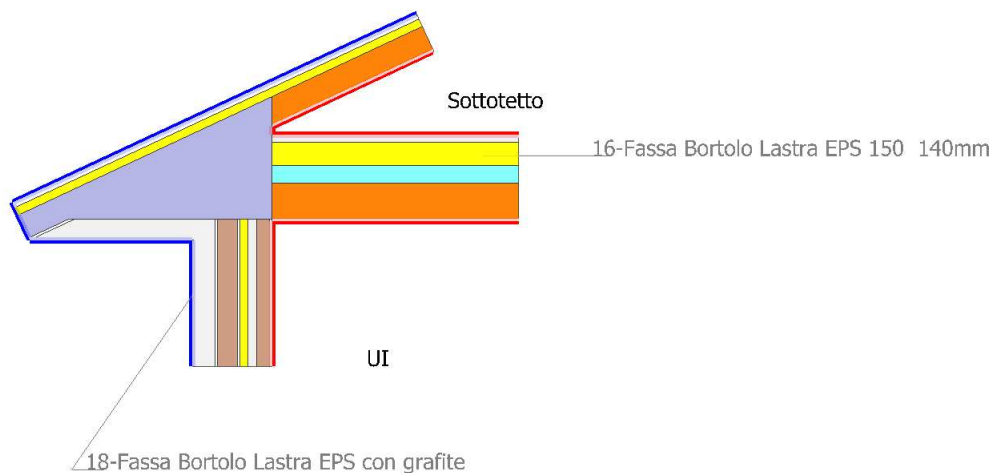
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650
1	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
2	Intonaco plastico per cappotto	0,330
2	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
7	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
9	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
15	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
17	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
18	Intonaco di calce e gesso	0,700
19	Intonaco di calce e gesso	0,700
22	Tegole in cotto	0,825
13	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti interposti	0,667
14	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
15	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
16	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033
17	Fassa Bortolo E439	1,800
19	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
20	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
20	Blocco da solaio (interni) 160 x 495 con elementi collaboranti interposti	0,600
21	Intercapedine d'aria_2	1,111

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

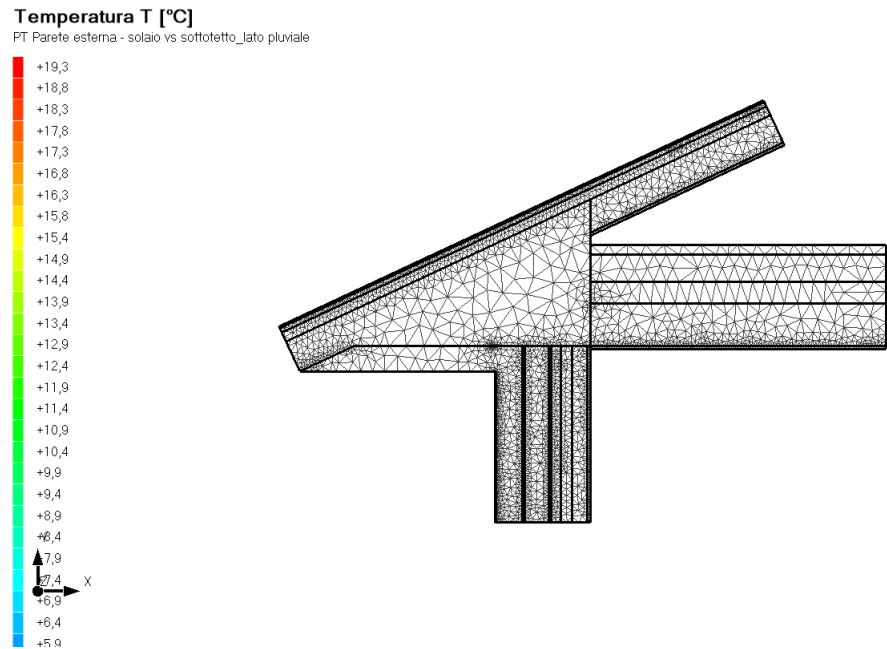
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	3,5	0,04
2	Temperatura esterna: direzione verticale del flusso	3,5	0,04
3	Sottotetto	12,0	0,13
4	Sottotetto	12,0	0,13
5	Sottotetto	12,0	0,13
6	Interno	20,0	0,13
7	Interno	20,0	0,13
8	Esterno	3,5	0,04
9	Esterno	3,5	0,04

6. 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 3.268

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

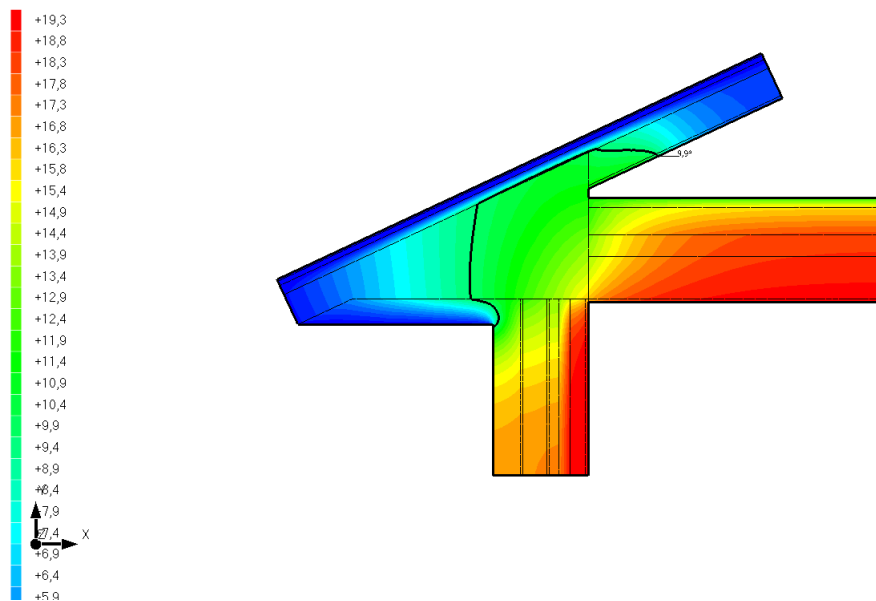


7. CURVE DI TEMPERATURA

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

Temperatura T [°C]

PT Parete esterna - solaio vs sottotetto_lato pluviale



8. 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	10,98	W/m
Ψ interno	0,0242	W/mK
Ψ esterno	-0,2242	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,67	W/mK
Temperatura minima	9,9	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente
Il ponte termico può considerarsi corretto?

%

No

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	13,7	0,50	1399,23	323,65	1722,88	2153,61	18,69	20,0	0,7916
novembre	9,2	0,50	1056,05	483,4	1539,45	1924,31	16,9	20,0	0,7129
dicembre	2,7	0,50	647,25	714,15	1361,4	1701,75	14,98	20,0	0,7096
gennaio	2,8	0,50	682,49	710,6	1393,09	1741,36	15,33	20,0	0,7287
febbraio	4,7	0,50	627,52	643,15	1270,67	1588,34	13,91	20,0	0,6019
marzo	7,9	0,50	740,12	529,55	1269,67	1587,09	13,9	20,0	0,4956
aprile	13,0	0,50	992,48	348,5	1340,98	1676,23	14,74	20,0	0,2488

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,395
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,792
Mese critico	Ottobre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna - serramento

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

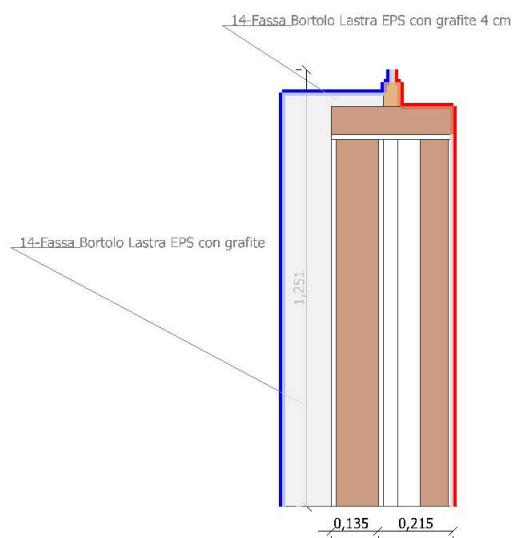
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
9	Blocchi in laterizio (25 cm)	0,400
10	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
11	Vetro	1,000
12	Aria	0,025
13	Vetro	1,000
14	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

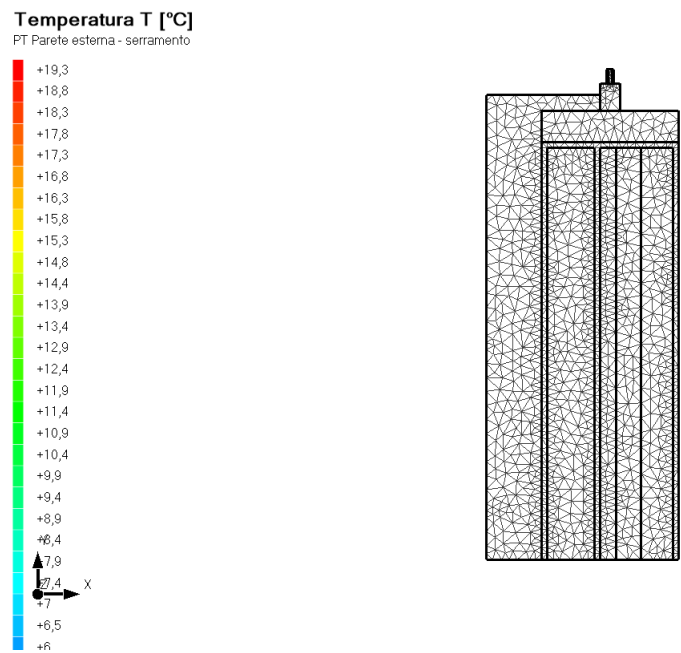
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Esterno	3,5	0,04
2	Interno	20,0	0,13
3	Interno	20,0	0,13
4	Interno	20,0	0,13
5	Interno	20,0	0,13
6	Interno	20,0	0,13
7	Esterno	3,5	0,04
8	Interno	20,0	0,13
9	Interno	20,0	0,13
10	Esterno	3,5	0,04
11	Esterno	3,5	0,04
12	Esterno	3,5	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

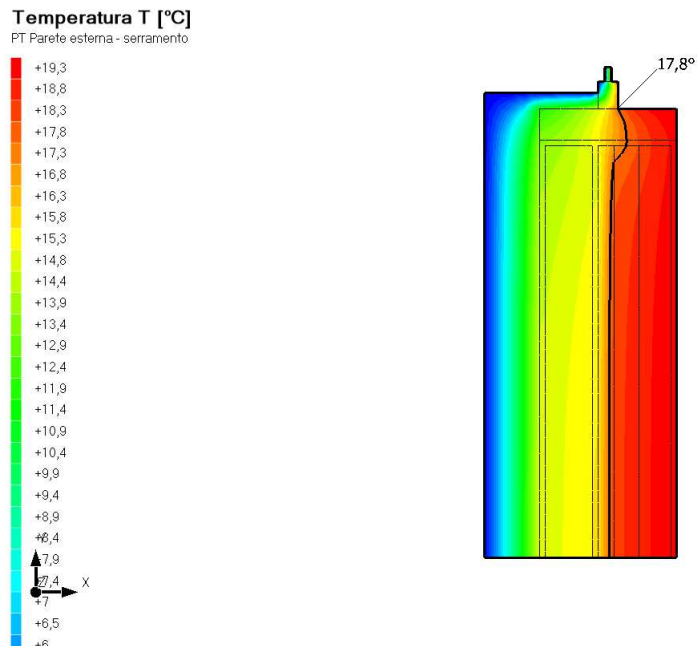
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 1.282

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



7. 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:



8. 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	7,27	W/m
Ψ interno	-0,2775	W/mK
Ψ esterno	-0,2775	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,44	W/mK
Temperatura minima	17,8	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente
Il ponte termico può considerarsi corretto?

0,9%

Si

10. 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 resistenza 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 **Rho**,

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
Volume interno V	0,00 m ³
Produzione nota di vapore G	0,00 kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,876
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENZA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

**PT Parete esterna con parete esterna
sottofinestra**

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

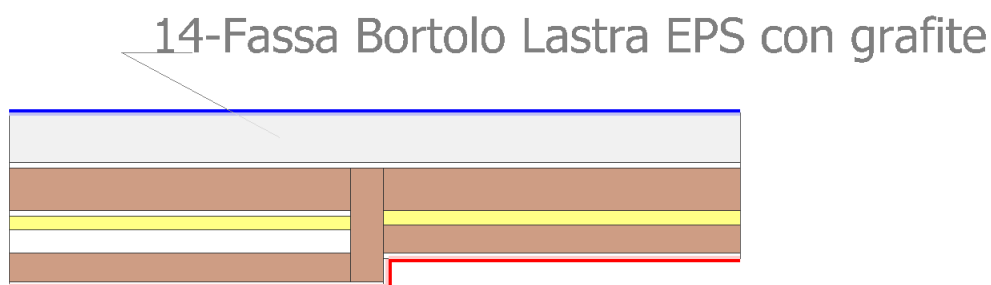
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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.



UI

Dettaglio dei materiali

	Materiale	λ [W/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
2	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
6	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
10	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
11	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
12	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
13	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
14	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
14	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

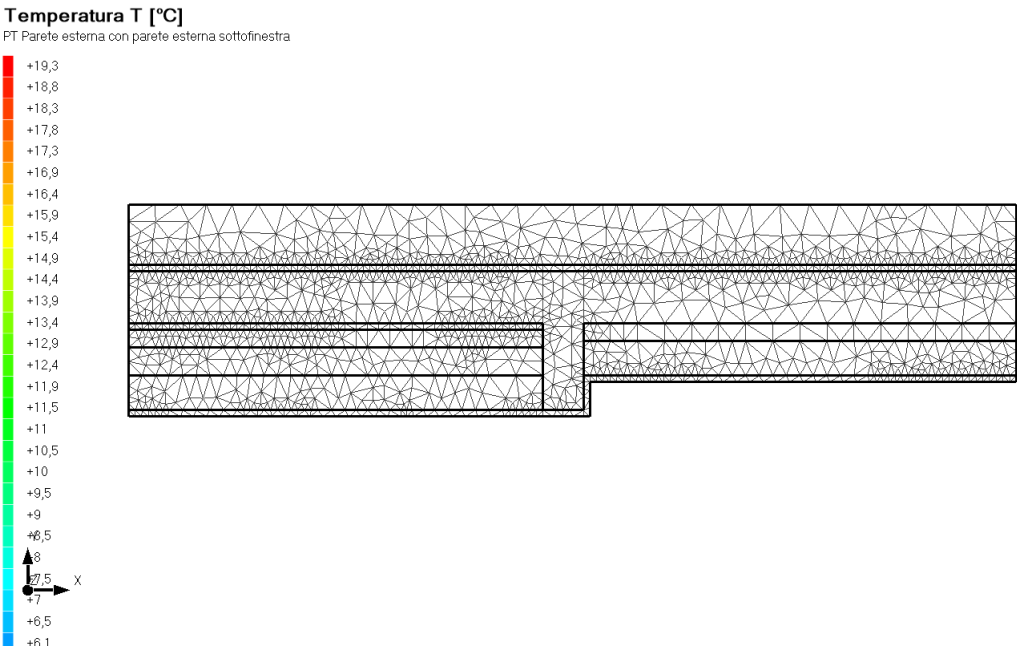
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Esterno	3,5	0,04
2	Interno	20,0	0,13
3	Interno	20,0	0,13
4	Interno	20,0	0,13

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

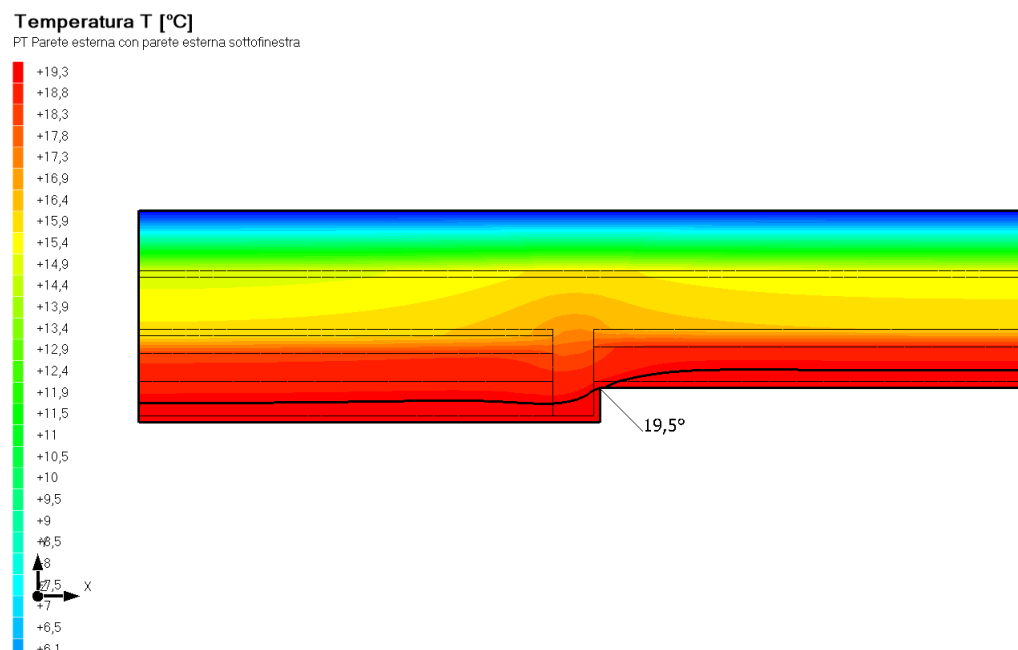
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 1.515

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



7. 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:



8. 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	5,41	W/m
Ψ interno	0,0074	W/mK
Ψ esterno	0,0074	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,33	W/mK
Temperatura minima	19,5	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,1%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,978
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna con parete vs vano scale

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

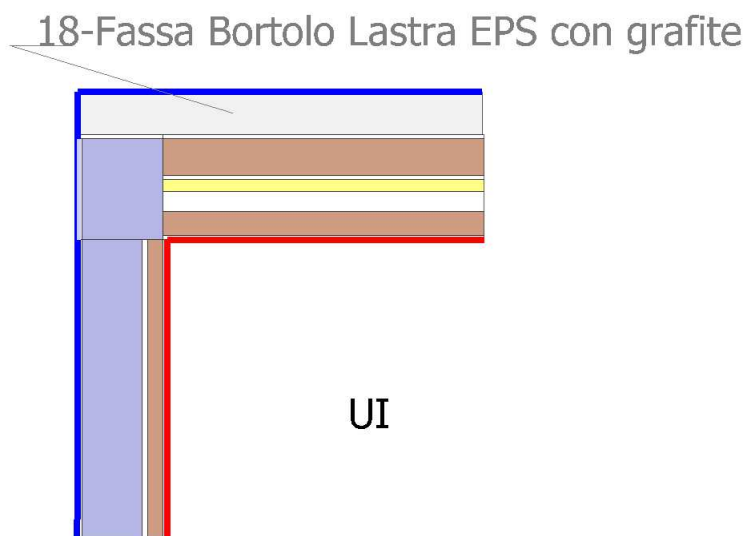
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
3	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
6	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
7	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
8	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
9	Tavelloni in laterizio	0,240
10	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
13	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
14	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
15	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
16	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
17	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
18	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

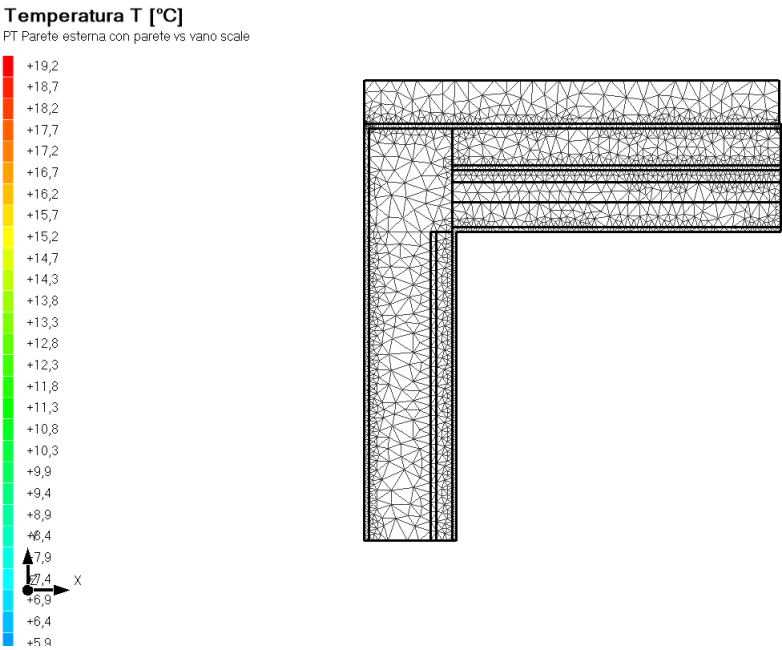
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Esterno	3,5	0,04
4	Esterno	3,5	0,04

6. 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 1.665

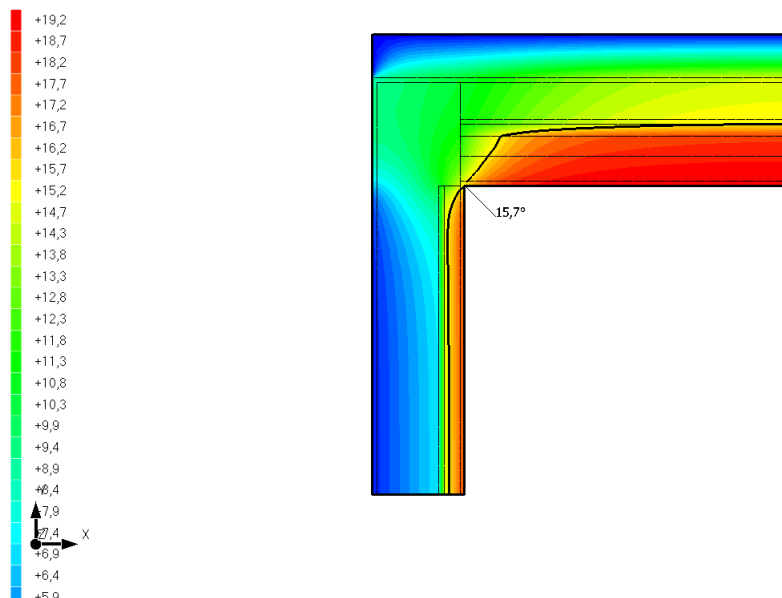
Di seguito la rappresentazione della mesh di calcolo del ponte termico:



7. 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:

Temperatura T [°C]
PT Parete esterna con parete vs vano scale



8. 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	21,15	W/m
Ψ interno	0,2512	W/mK
Ψ esterno	-0,0991	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	1,28	W/mK
Temperatura minima	15,7	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

8,3%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,758
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete esterna ridotta - solaio vs sottotetto_lato falda inclinata

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

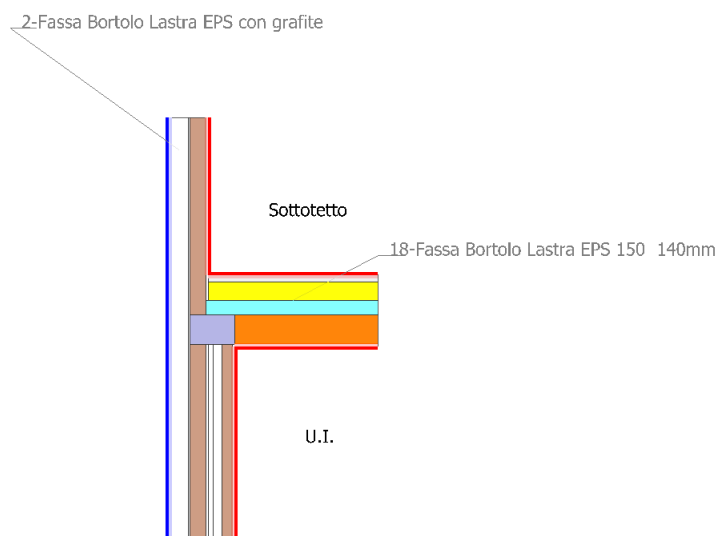
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco plastico per cappotto	0,330
1	Intonaco plastico per cappotto	0,330
1	Intonaco plastico per cappotto	0,330
2	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
3	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
4	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
5	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
10	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
11	Intonaco plastico per cappotto	0,330
14	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
17	Aria 60 mm (flusso orizzontale)	0,330
18	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
19	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
23	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
22	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
18	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033
18	Fassa Bortolo E439	1,800

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Esterno	3,5	0,04
4	Sottotetto	10,0	0,04
5	Sottotetto	10,0	0,04

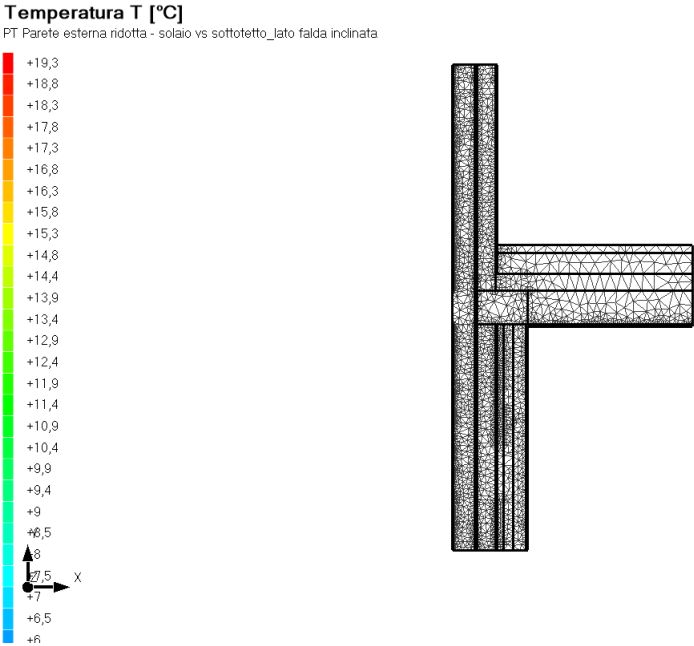
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

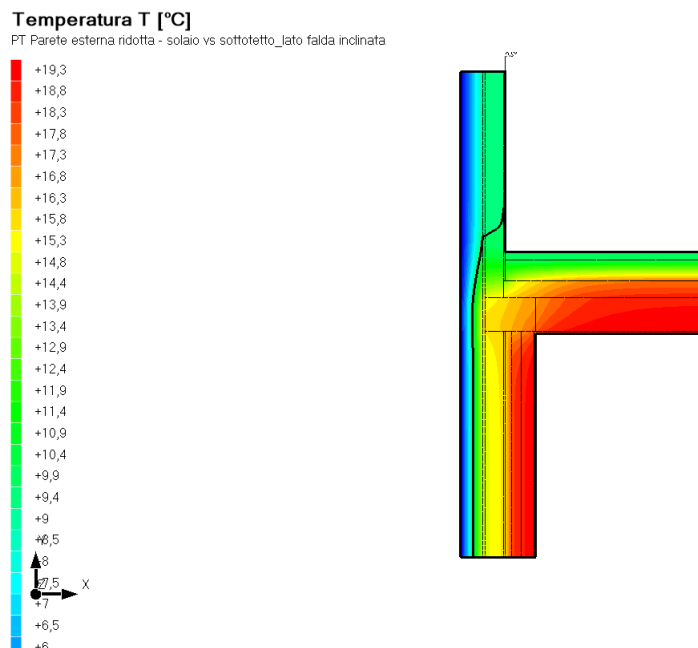
3.968

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



7. 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:



8. 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	6,55	W/m
Ψ interno	-0,1035	W/mK
Ψ esterno	-0,2471	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,40	W/mK
Temperatura minima	9,9	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,6%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	13,7	0,50	1399,23	323,65	1722,88	2153,61	18,69	20,0	0,7916
novembre	9,2	0,50	1056,05	483,4	1539,45	1924,31	16,9	20,0	0,7129
dicembre	2,7	0,50	647,25	714,15	1361,4	1701,75	14,98	20,0	0,7096
gennaio	2,8	0,50	682,49	710,6	1393,09	1741,36	15,33	20,0	0,7287
febbraio	4,7	0,50	627,52	643,15	1270,67	1588,34	13,91	20,0	0,6019
marzo	7,9	0,50	740,12	529,55	1269,67	1587,09	13,9	20,0	0,4956
aprile	13,0	0,50	992,48	348,5	1340,98	1676,23	14,74	20,0	0,2488

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,395
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,792
Mese critico	Ottobre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} < f_{rsi,max}$: possibile presenza di muffa nel sottotetto

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete sottofinestra - serramento

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

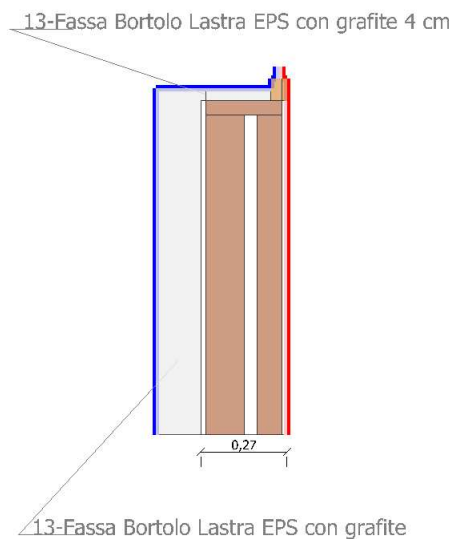
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
2	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
3	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Mattoni forati (R=0,2m ² k/W)	0,400
6	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
7	Mattoni forati (R=0,310m ² k/W)	0,387
9	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
9	Abete (flusso perpendicolare alle fibre)	0,120
10	Vetro	1,000
11	Aria	0,025
12	Vetro	1,000
13	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031
13	Fassa Bortolo Lastra EPS con grafite	0,031

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

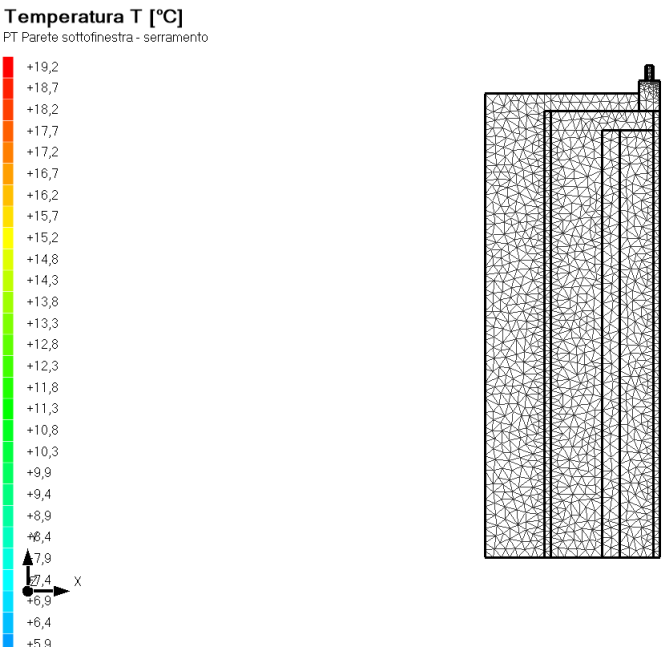
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Esterno	3,5	0,04
2	Interno	20,0	0,13
3	Interno	20,0	0,13
4	Interno	20,0	0,13
5	Interno	20,0	0,13
6	Interno	20,0	0,13
7	Esterno	3,5	0,04
8	Interno	20,0	0,13
9	Esterno	3,5	0,04
10	Esterno	3,5	0,04
11	Esterno	3,5	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

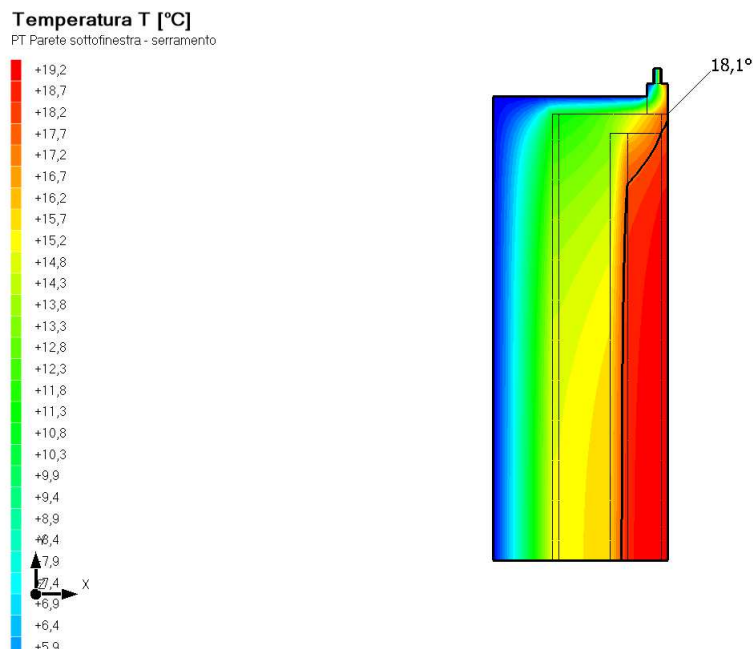
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 1.324

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



7. 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:



8. 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	7,51	W/m
Ψ interno	-0,2786	W/mK
Ψ esterno	-0,2786	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,45	W/mK
Temperatura minima	18,1	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente
Il ponte termico può considerarsi corretto?

0,8%

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	0,00 m ³
Produzione nota di vapore G	0,00 kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,903
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{rsi} > f_{rsi,max}$: assenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete vano scale - pavimento su vespaio

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

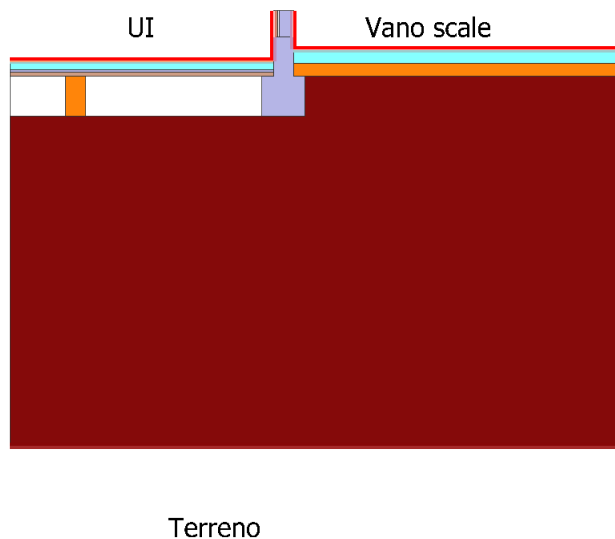
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	1,650
2	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
3	Tavelloni in laterizio	0,240
4	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
5	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	0,940
7	Piastrelle	1,000
8	Massetto in cls alleggerito	1,080
9	Calcestruzzo (1800 kg/m3)	0,940
10	Tavelloni in laterizio	0,240
11	Intercapedine debolmente ventilata	0,500
11	Blocco forato 200 x 250 foratura orizzontale (giunti malta 5 mm)	0,304
12	Arenaria (silice)	2,300
12	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti interposti	0,667
13	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
14	Piastrelle in ceramica/porcellana	1,300
15	Pannello di Polistirolo espanso	0,038

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

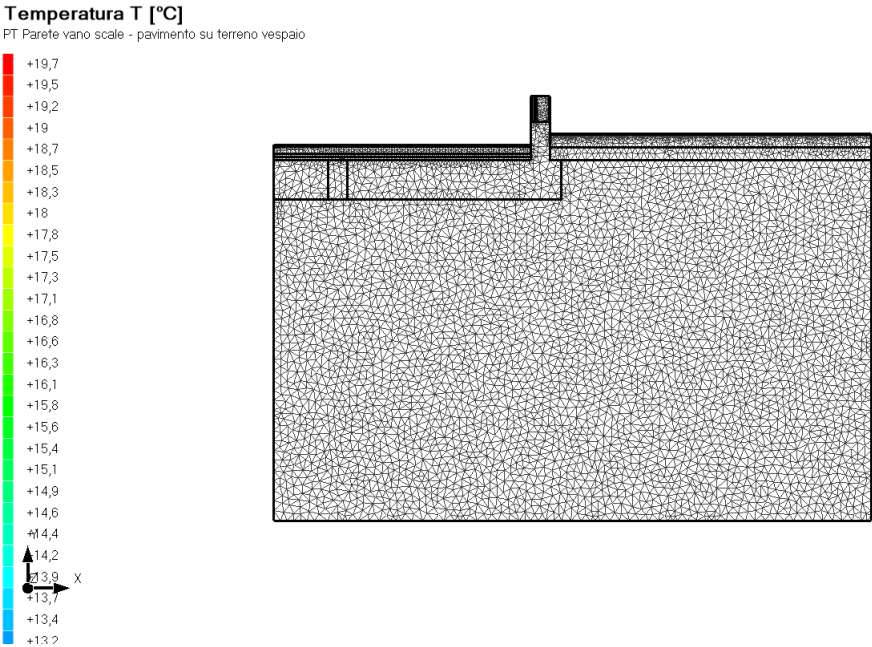
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura terreno	14,0	0,00
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione discendente del flusso	20,0	0,17
4	Interno	20,0	0,04
5	Interno	20,0	0,04
6	Interno	20,0	0,04
7	Vano scale	12,0	0,04
8	Vano scale	12,0	0,04

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

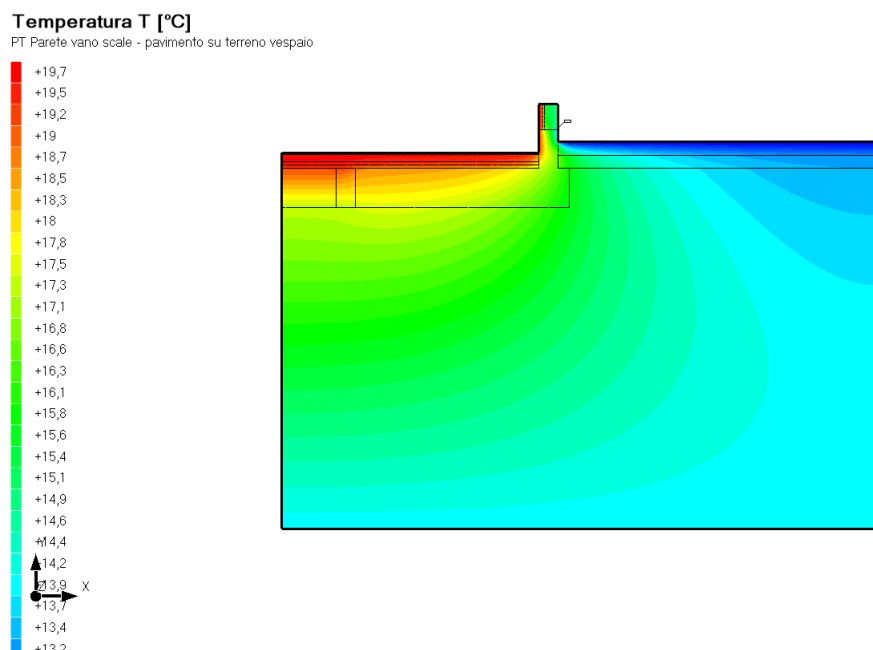
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 6.685

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



7. 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:



8. 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		W/m
Ψ interno	-1,2021	W/mK
Ψ esterno	-1,8796	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	0,90	W/mK
Temperatura minima	12,0	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	13,7	0,50	1399,23	323,65	1722,88	2153,61	18,69	20,0	0,7916
novembre	9,2	0,50	1056,05	483,4	1539,45	1924,31	16,9	20,0	0,7129
dicembre	2,7	0,50	647,25	714,15	1361,4	1701,75	14,98	20,0	0,7096
gennaio	2,8	0,50	682,49	710,6	1393,09	1741,36	15,33	20,0	0,7287
febbraio	4,7	0,50	627,52	643,15	1270,67	1588,34	13,91	20,0	0,6019
marzo	7,9	0,50	740,12	529,55	1269,67	1587,09	13,9	20,0	0,4956
aprile	13,0	0,50	992,48	348,5	1340,98	1676,23	14,74	20,0	0,2488

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,601
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,792
Mese critico	Ottobre
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete vano scale - pavimento vs cantina

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

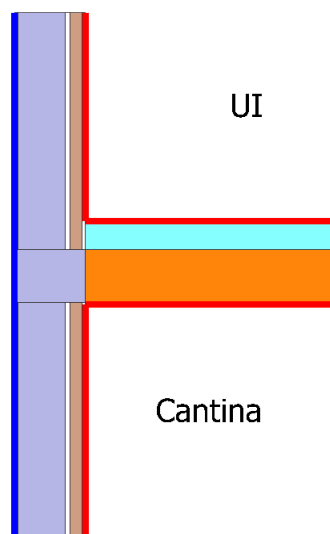
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
3	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
4	Tavelloni in laterizio	0,240
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
6	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
9	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
10	Tavelloni in laterizio	0,240
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Piastrelle	1,000
13	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
14	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

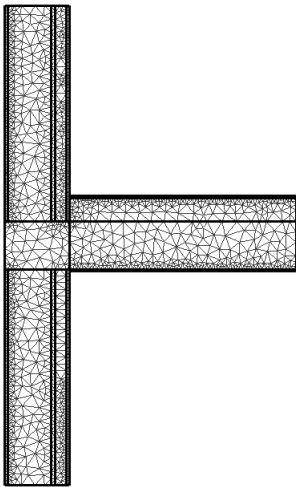
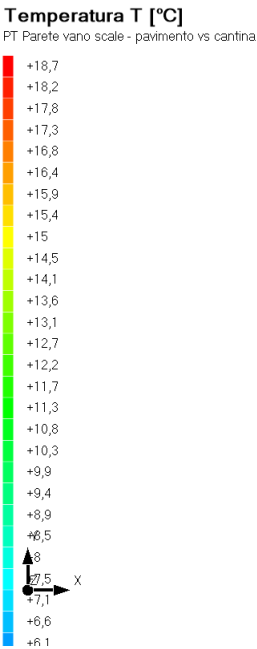
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	3,5	0,04
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4	Cantina	12,0	0,04
5	Cantina	12,0	0,04

6. 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 1.600

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

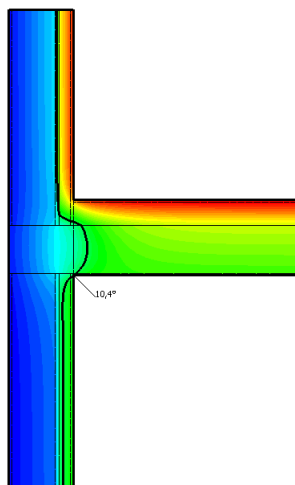
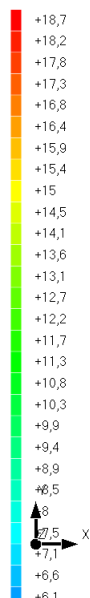


7. CURVE DI TEMPERATURA

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

Temperatura T [°C]

PT Parete vano scale - pavimento vs cantina



8. 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	28,24	W/m
Ψ interno	0,0133	W/mK
Ψ esterno	-0,2178	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	1,71	W/mK
Temperatura minima	10,4	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,0%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,432
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENZA SUPERFICIALE	$f_{rsi} < f_{rsi,max}$: possibile presenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete vano scale - solaio interpiano

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

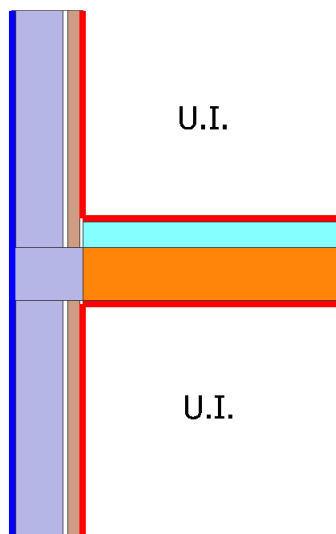
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
3	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
4	Tavelloni in laterizio	0,240
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
6	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
9	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
10	Tavelloni in laterizio	0,240
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Piastrelle	1,000
13	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
14	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

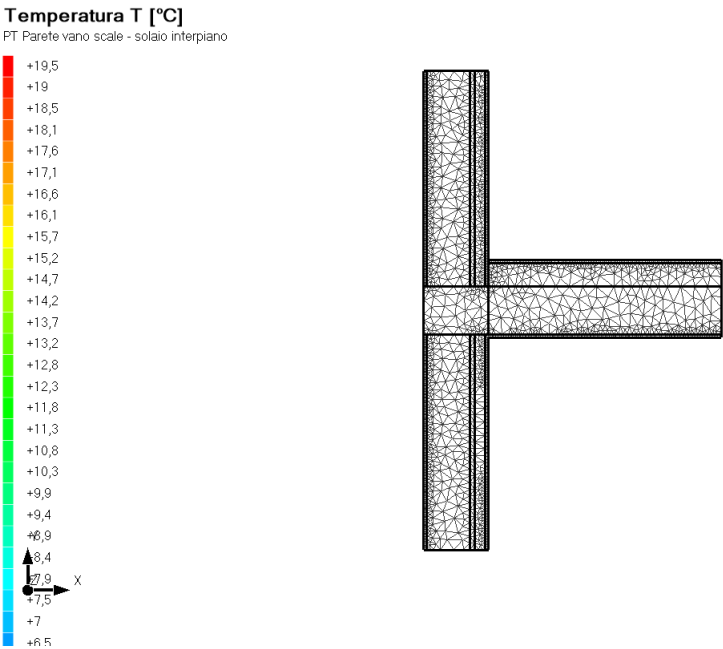
	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	3,5	0,04
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
5	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13

6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

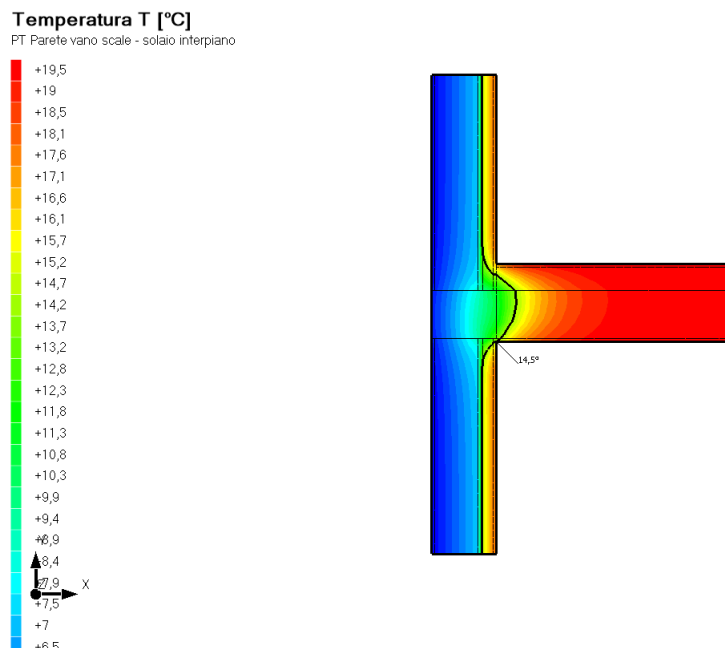
Numero di triangoli utilizzati per la discretizzazione degli elementi 1.591

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



7. 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:



8. 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	37,62	W/m
Ψ interno	0,6639	W/mK
Ψ esterno	0,3510	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	2,28	W/mK
Temperatura minima	14,5	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,6%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,654
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa

Relazione di calcolo del ponte termico

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

PT Parete vano scale - solaio vs sottotetto

RELAZIONE a cura di:	Ing Brambilla Sergio
EDIFICIO	Via Togliatti 2 - Rho (MI)
DATA	06/02/2020

Firma:



Sergio Brambilla

INDICE

1. PREMESSA METODOLOGICA
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO e METODO DI CALCOLO
3. VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO
4. DETTAGLI DEL PONTE TERMICO
5. CONDIZIONI AL CONTORNO
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI
7. CURVE DI TEMPERATURA
8. RISULTATI DI CALCOLO
9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO
10. VERIFICA DI ASSENZA DI FORMAZIONE DI MUFFA

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

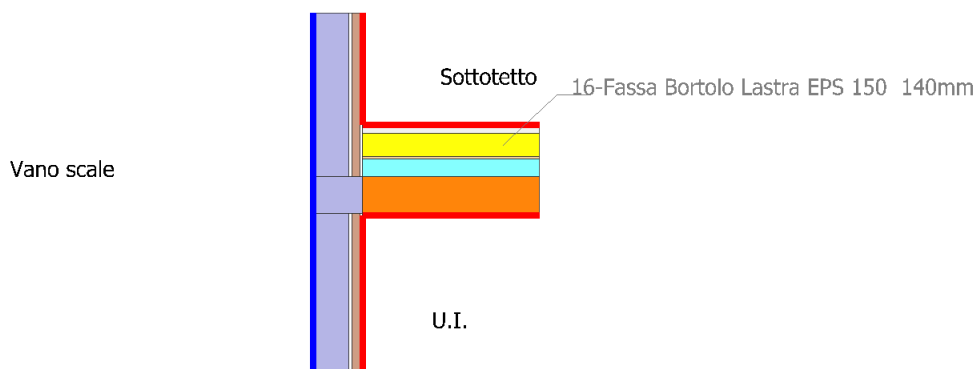
L'Appendice A della norma UNI 10211 riporta le condizioni generali e i requisiti che deve rispettare il metodo numerico per considerarsi validato.

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.
- Converge 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. 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/m ² K]
1	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
2	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
3	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
4	Tavelloni in laterizio	0,240
5	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
6	Calcestruzzo (2200 kg a m ³)	1,650
7	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
8	Calcestruzzo (1800 kg/m ³)	0,940
9	Pannello di Polistirolo espanso	0,038
10	Tavelloni in laterizio	0,240
11	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
12	Piastrelle	1,000
13	Calcestruzzo alleggerito (vermiculite)	0,150
14	Blocco da solaio (interni) 200 x 495 con elementi collaboranti in opera	0,667
15	Intonaco di calce o di calce e cemento	0,900
16	Fassa Bortolo Lastra EPS 150 140mm	0,033
17	Fassa Bortolo E439	1,800

5. CONDIZIONI AL CONTORNO

La valutazione è eseguita nel comune di Rho - (MI).
Di seguito il dettaglio delle condizioni al contorno utilizzate per la valutazione della trasmittanza termica lineica.
Nelle condizioni al contorno sono specificati un ambiente interno e un ambiente esterno e le relative resistenze di calcolo.

Dettaglio dei confini

	Confine	T [°C]	R [m²K/W]
1	Temperatura esterna: direzione orizzontale del flusso	3,5	0,04
2	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
3	Temperatura interna: direzione orizzontale del flusso	20,0	0,13
4	Sottotetto	10,0	0,04
5	Sottotetto	10,0	0,04

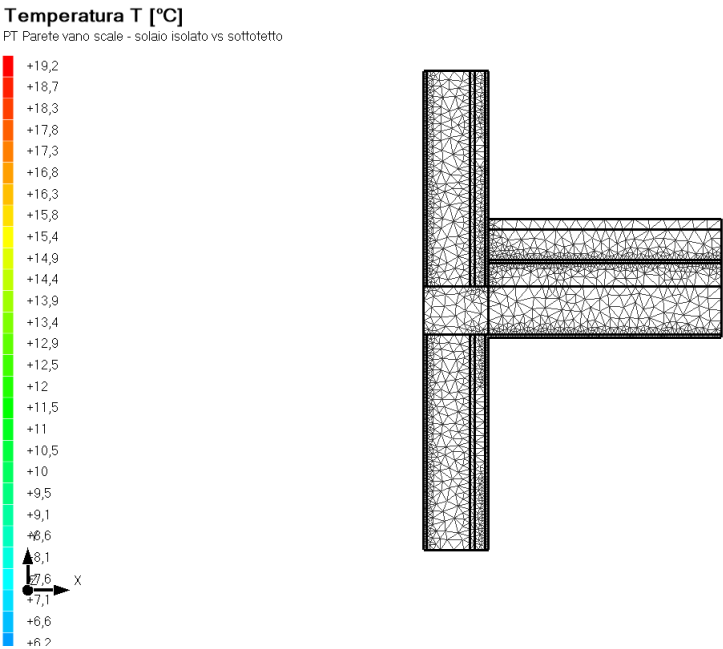
6. DISCRETIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI

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

1.786

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

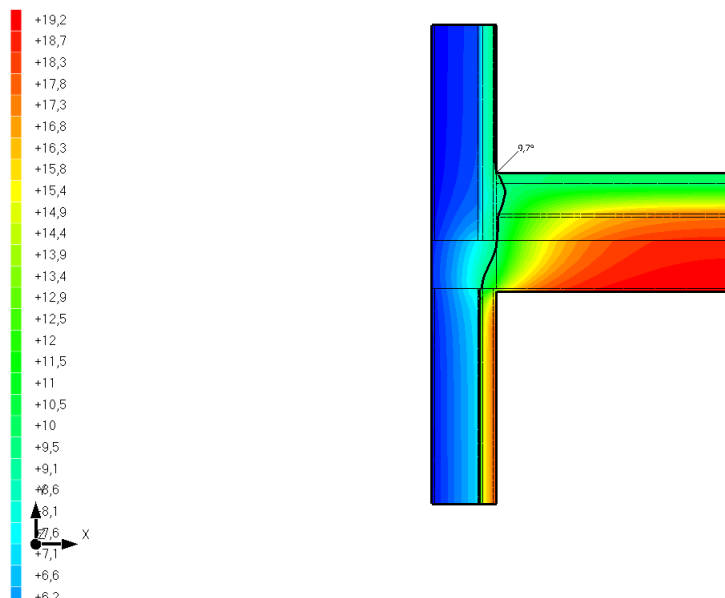


7. CURVE DI TEMPERATURA

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

Temperatura T [°C]

PT Parete vano scale - solaio isolato vs sottotetto



8. 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	28,68	W/m
Ψ interno	0,0571	W/mK
Ψ esterno	-0,3549	W/mK
Coefficiente di accoppiamento L2D	1,74	W/mK
Temperatura minima	9,7	°C

9. VALUTAZIONE DEL PONTE TERMICO CORRETTO

L'Allegato A del D.Lgs 311/2006 introduce la definizione di ponte termico corretto.

Un ponte termico si considera corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

Percentuale di attribuzione del ponte termico alla trasmittanza della struttura corrente

2,0%

Il ponte termico può considerarsi corretto?

Si

10. 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 **Rho**,

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
Volume interno V	m ³
Produzione nota di vapore G	kg/h

Mese	θ_e [°C]	Fie [%]	P_e [Pa]	Δp [Pa]	P_i [Pa]	P_{si} [Pa]	T_{si} [°C]	θ_{Ti} [°C]	f_{Rsi}
ottobre	14,1	0,50	1320,27	309,45	1629,72	2037,15	17,8	20,0	0,6273
novembre	7,5	0,50	820,7	543,75	1364,45	1705,56	15,01	20,0	0,6008
dicembre	3,5	0,50	633,24	685,75	1318,99	1648,74	14,49	20,0	0,6658
gennaio	4,0	0,50	681,17	668	1349,17	1686,46	14,84	20,0	0,6772
febbraio	7,1	0,50	765,25	557,95	1323,2	1654	14,53	20,0	0,5763
marzo	10,6	0,50	809,96	433,7	1243,66	1554,57	13,58	20,0	0,3169
aprile	13,4	0,50	1046,41	334,3	1380,71	1725,89	15,19	20,0	0,2719

Legenda

θ_e temperatura esterna media mensile [°C]

P_e pressione esterna [Pa]

n numero di ricambi orari [1/h]

ΔP variazione di pressione [Pa]

P_i pressione interna [Pa]

P_{si} pressione di saturazione interna [Pa]

θ_{si} Temperatura superficiale interna [Pa]

f_{Rsi} Fattore di resistenza superficiale

ESITO DELLA VERIFICA DI ASSENZA DI MUFFA

Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{Rsi}	0,373
Fattore di resistenza superficiale nel mese critico f_{RsiAmm}	0,677
Mese critico	Gennaio
ESITO VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE	$f_{Rsi} < f_{Rsi,max}$: possibile presenza di muffa nel sottotetto