



Università degli Studi di Bologna

Facoltà di Ingegneria

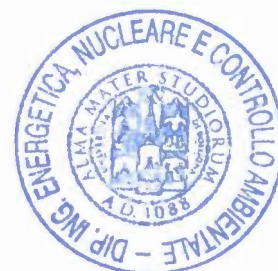
Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del
Controllo Ambientale
(D.I.E.N.C.A.)

RELAZIONE TECNICA n. 01T/11

*Valutazione teorica delle prestazioni termiche di un
elemento architettonico*

Committente: BACCARO I CEMENTISTI S.R.L., via Fiumana Sinistra,
18, Villanova di Castenaso. (BO)

Bologna, 22 Febbraio 2011



Indice

1	Introduzione	3
2	Normativa di riferimento	4
3	Metodo di calcolo.....	5
4	Caso studio: ponte termico in corrispondenza del bancale di una finestra .	6
4.1	Caso "A": bancale in cemento tradizionale di spessore 6 cm	9
4.2	Caso Isolight di spessore 6 cm	11
4.3	Caso "B": bancale in pietra serena di spessore 3 cm	13
4.4	Caso "C": bancale in granito di spessore 3 cm.....	15
4.5	Tabelle riassuntive.....	17



1 Introduzione

I ponti termici sono tra i principali responsabili delle perdite di calore attraverso l'involucro di un edificio. Il ponte termico è una singolarità dell'involucro che determina una riduzione localizzata della resistenza termica di parete. Essi sono responsabili di un peggioramento delle condizioni di isolamento termico e dell'incremento dei consumi energetici connessi al condizionamento invernale ed estivo dei locali.

Esistono differenti modalità di classificazione dei ponti termici che si basano sulla geometria delle singolarità (2D-3D), sulla tipologia della discontinuità (integrata-distribuita), sugli elementi strutturali coinvolti (balconi, intersezioni pareti, spigoli etc..)

Si parla di "ponti termici geometrici" quando si è in presenza di singolarità determinate dalla geometria dell'involucro (variazioni di direzione delle parti costruttive, ad es. angoli, elementi aggettanti ecc). Al contrario si parla di ponti termici costruttivi quando materiali ad alta conducibilità termica penetrano in un elemento strutturale esterno; questo è il caso dei balconi sporgenti in calcestruzzo privi di isolamento, degli architravi poco coibentati in solai isolati, dei pilastri in cemento armato contenuti nelle tamponature perimetrali ecc.

I ponti termici possono infine essere dovuti ad una errata installazione della coibentazione, come ad esempio nel caso di giunti aperti nell'involucro edilizio, nel caso di interruzione dell'isolamento in corrispondenza delle finestre e/o di pilastri ecc.

Poiché il ponte termico è caratterizzato da un basso valore di resistenza termica, il valore della temperatura superficiale della faccia interna di una parete in corrispondenza del ponte termico è in genere inferiore rispetto al valore che si riscontra lungo la parete corrente. I ponti termici divengono quindi i punti più freddi delle pareti perimetrali e per questo siti in cui potenzialmente possono verificarsi muffe e condensazione superficiale.

Da un punto di vista operativo, se si desidera minimizzare i rischi di formazione di muffe occorre:

- a) ridurre la trasmittanza U [W/mK] del ponte termico;
- b) aumentare la temperatura dell'aria interna T_i ;
- c) impiegare per la correzione dei ponti termici materiali isolanti che abbiano proprietà igroscopiche tali da favorire il drenaggio dell'acqua che si forma per effetto della condensa;
- d) aumentare la ventilazione, evitando il ristagno dell'aria in corrispondenza degli angoli, dietro ai mobili, ecc.

Il presente studio riguarda la valutazione del ponte termico relativo alla discontinuità tra finestra, bancale e parete, tramite la determinazione del coefficiente di trasmissione termica lineica definito come il rapporto tra il flusso termico in regime stazionario che attraversa il



ponte termico e il prodotto della lunghezza della singolarità e della differenza di temperatura tra le facce poste su ciascun lato del ponte termico. Lo studio viene affrontato effettuando il confronto tra il ponte termico che si verifica considerando un bancale tradizionale in calcestruzzo ed uno "alleggerito" realizzato dalla Baccaro I Cementisti s.r.l., con denominazione commerciale Isolight.

Inoltre il bancale Isolight realizzato dalla Baccaro I Cementisti s.r.l. è stato messo a confronto anche con due ulteriori configurazioni di bancali, utilizzati nella pratica costruttiva: bancali di spessore ridotto e in pietra serena ed in granito.

Tale analisi è stata condotta numericamente utilizzando un programma di simulazione agli elementi finiti.

2 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento su cui si basano i calcoli svolti nella presente relazione è di seguito riportata:

- UNI EN ISO 6946: 2008 **"Componenti ed elementi per l'edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo"**: la norma prescrive il metodo per il calcolo della trasmittanza termica di un componente edilizio e fornisce i valori di resistenza termica superficiale interna ed esterna
- UNI EN ISO 10211: 2008 **"Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"**: la norma fornisce le indicazioni per un modello geometrico bidimensionale di un ponte termico lineare per il calcolo numerico della trasmittanza termica lineica e del limite inferiore delle temperature minime superficiali.
- UNI EN ISO 14683: 2008 **"Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento"**: la norma fornisce dei metodi semplificati per la determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari che si manifestano alle giunzioni degli elementi dell'edificio.
- UNI 10351:1994 **"Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore"**: la norma fornisce valori di conduttività termica e permeabilità al vapore nei materiali principalmente impiegati nell'edilizia in funzione della densità.
- UNI 10355:1994 **"Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo"**: la norma fornisce i valori delle resistenze termiche unitarie relative alle tipologie di murature e solai maggiormente diffuse in Italia.



3 Metodo di calcolo

Il calcolo è stato effettuato utilizzando un programma agli elementi finiti conforme alla UNI EN ISO 10211: 2008 e validato mediante i casi prova di riferimento, riportati nell'Appendice A della stessa normativa, come metodo di calcolo ad elevata precisione per i ponti termici.

Il modello geometrico relativo alla tipologia di ponte termico studiato è costituito da un elemento centrale e da elementi laterali, entrambi in 2-D. Il modello geometrico è delimitato dai piani di taglio, che sono posizionati ad almeno 1 metro dall'elemento centrale.

Le condizioni al contorno sono le seguenti:

- temperatura esterna 0°C;
- temperatura interna 20°C;
- resistenza termica superficiale esterna $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- resistenza termica superficiale interna per le pareti $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Una volta ricavato dal programma di calcolo il flusso termico per unità di lunghezza, Φ_l , del ponte termico lineare dall'ambiente interno i a quello esterno e , è possibile ottenere il coefficiente di accoppiamento termico lineico ottenuto dal calcolo 2-D del componente esaminato tra i due ambienti, L_{2D} dalla relazione:

$$L_{2D} = \frac{\Phi_l}{(\theta_i - \theta_e)}$$

La trasmittanza termica lineica è associata al ponte termico può quindi essere calcolata utilizzando la seguente relazione:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^N U_j l_j$$

dove:

- Ψ è la trasmittanza termica lineica del ponte termico lineare che separa i due ambienti considerati;
- U_j è la trasmittanza termica del j-esimo componente monodimensionale di separazione tra i due ambienti considerati;
- l_j è lunghezza sulla quale si applica il valore U_j nel modello geometrico 2-D;
- N è il numero di componenti 1-D.

L'accuratezza del metodo della determinazione della trasmittanza termica lineica mediante calcolo numerico è stimata essere pari a $\pm 5\%$.



4 Caso studio: ponte termico in corrispondenza del bancale di una finestra

Il ponte termico studiato è quello relativo alla presenza della finestra, in particolare quello che si riscontra in corrispondenza del bancale. Sistemi di tipo tradizionale prevedono l'installazione di bancali realizzati con materiali caratterizzati da alta conducibilità termica, quali marmi, pietre o cemento, divenendo così punti di concentrazione delle dispersioni termiche.

Può essere allora significativa l'introduzione di un bancale realizzato con materiali innovativi, in modo tale da ridurre tale dispersione. Ne è un esempio il bancale Isolight proposto dalla Committente, non realizzato come un blocco monolitico di cemento, ma caratterizzato da un alleggerimento centrale ottenuto con EPS. Lo schema di tale elemento viene riportato in figura 1.

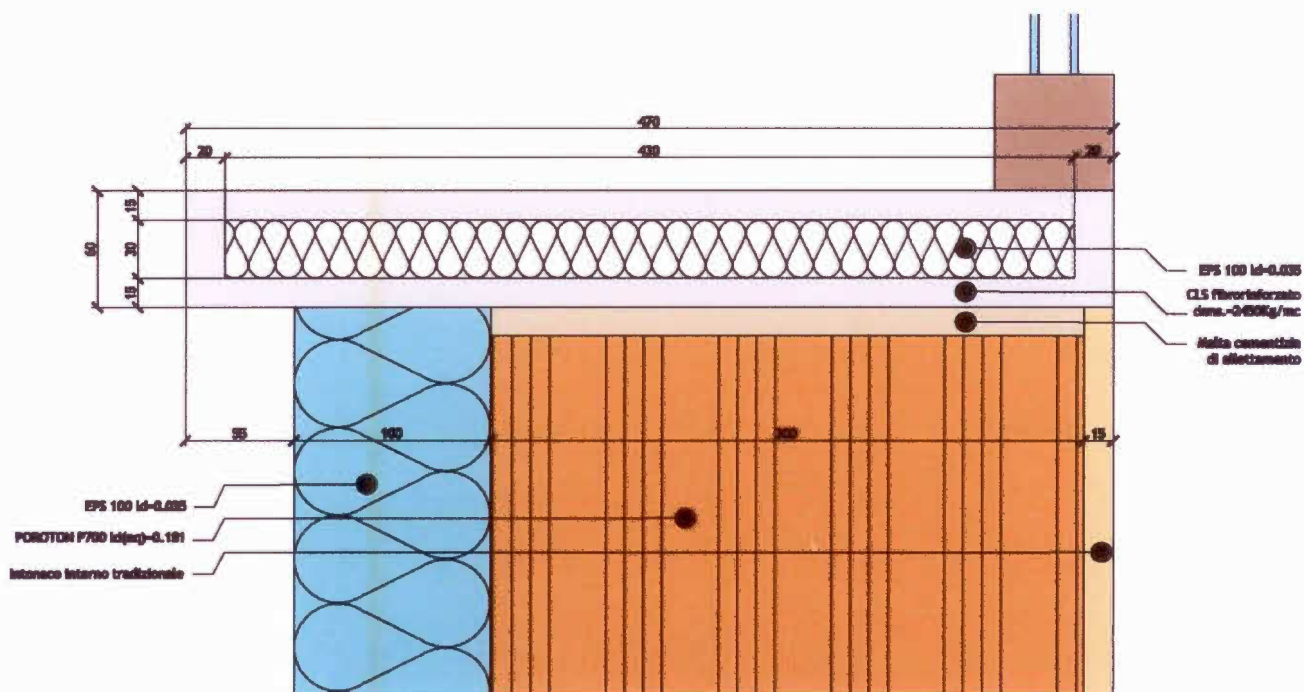


Fig. 1 - Schema del bancale Isolight realizzato dalla Baccaro I Cementisti s.r.l..

Per poter considerare la miglioria introdotta cambiando la tipologia di bancale utilizzata, è stata condotta un'analisi agli elementi finiti su due modelli che hanno come differenza solo il materiale con cui viene realizzato il bancale: in seguito verrà indicato il modello tradizionale con la denominazione "A", mentre quello sviluppato dalla Committente con Isolight.

Il modello "A" prevede un bancale realizzato interamente in cemento, con valore di conducibilità termica pari a 1,91 W/mK; il modello Isolight è caratterizzato da un bancale

realizzato, seppur con la stessa geometria e stesse dimensioni del precedente, con calcestruzzo fibrorinforzato di densità 2450 kg/m^3 e alleggerimento centrale (così come riportato in figura 1), realizzato con EPS 100 avente conducibilità termica pari a $0,35 \text{ W/mK}$ e densità pari a 30 kg/m^3 . In entrambi i modelli "A" e Isolight, lo spessore del bancale è pari a 6 cm. Oltre ai due bancali precedentemente descritti, con la Committente, si è scelto di analizzare anche altri due modelli, differenti dal tipo "A" e Isolight, sia per spessore, ridotto della metà, sia perché realizzati con materiali differenti.

Viene allora denominato modello "B" il bancale di spessore pari a 3 cm realizzato in pietra serena, avente conducibilità termica pari a $1,50 \text{ W/mK}$ e densità pari a 2200 kg/m^3 . Viene denominato modello "C" il bancale di spessore pari a 3 cm realizzato in granito, avente conducibilità termica pari a $3,50 \text{ W/mK}$ e densità pari a 2750 kg/m^3 . La scelta di confrontare il bancale Isolight con bancali di spessore differente nasce dal fatto che difficilmente si può riscontrare l'utilizzo di materiali come pietra serena o granito con spessori superiori ai 3-4 cm. Comunque lo spessore ridotto incide positivamente nella valutazione del ponte termico, per cui il seguente studio mette la soluzione Isolight in una condizione più sfavorevole, se confrontata con i casi "B" e "C".

D'accordo con la Committente, per quanto riguarda la parete esterna, si è considerata realizzata con blocchi tipo Poroton 700, intonacata dal lato interno e con cappotto esterno, mentre per l'infisso è stato considerato un telaio in legno (densità pari a 850 kg/m^3 e conduttività termica pari a $0,22 \text{ W/mK}$), con vetrocamera 4.16.4 e vetro trattato basso-emissivo per una trasmittanza complessiva della vetrata pari a $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le caratteristiche dei materiali che costituiscono la parete esterna nel modello oggetto di studio sono le seguenti:

- cappotto in polistirene espanso (EPS): densità pari a 25 kg/m^3 e conduttività termica pari a $0,040 \text{ W/mK}$;
- Poroton P700: densità pari a 700 kg/m^3 e conduttività termica equivalente pari a $0,181 \text{ W/mK}$;
- intonaco tradizionale: densità pari a 1400 kg/m^3 e conduttività termica pari a $0,7 \text{ W/mK}$;
- malta cementizia di allettamento: densità pari a 2000 kg/m^3 e conduttività termica pari a $1,4 \text{ W/mK}$.

Tutti i casi studio (denominati caso "A", Isolight, "B" e "C") prevedono il bancale montato a filo intonaco, direttamente a contatto con l'aria dei locali interni, soluzione di montaggio questa che non trova più un largo utilizzo nella pratica, ma che è stata richiesta dalla Committente per poter valutare un "caso limite" e quindi la situazione più sfavorevole ottenibile in termini di ponte termico e di rischio condensa superficiale.



La tipologia di ponte termico analizzato in questa relazione può essere eventualmente confrontato con la seguente denominazione desunta dal prospetto 2 della UNI EN ISO 14683:

- ponte termico di tipo **W13: Finestra a filo interno.**

La figura 2 mostra la tipologia di ponte termico bidimensionale trattato, così come riportate nel prospetto 2 della UNI EN ISO 14683:2008.

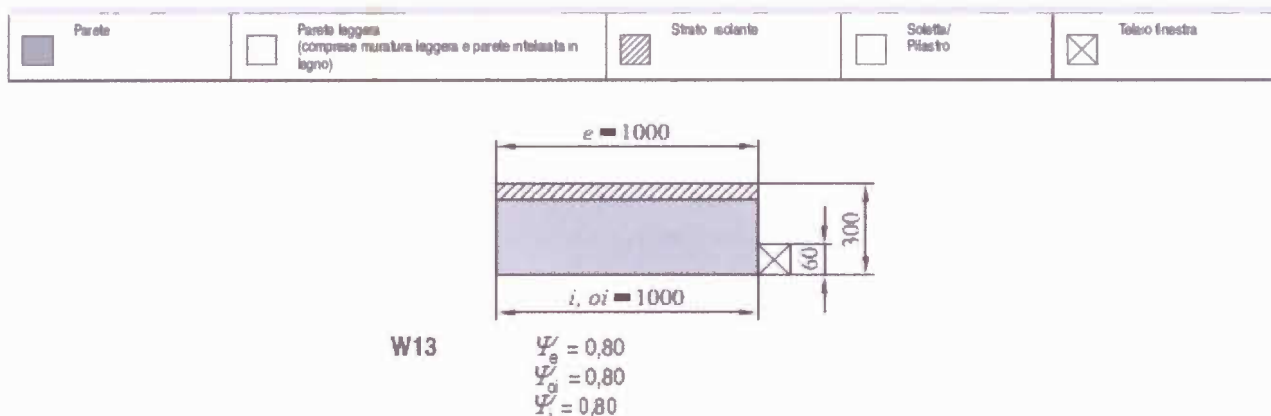


Fig. 2 – Prospetto 2 della UNI EN ISO 14683:2008.

I valori dei coefficienti lineici riportati in Figura 2 sono riferiti all'intero perimetro della finestra e quindi rappresentano una media tra i ponti termici che si verificano in corrispondenza dell'architrave, delle mazzette laterali e del bancale. Effettuare un paragone tra il valore unico fornito dall'atlante della UNI EN ISO 14683:2008 ed i risultati delle simulazioni oggetto della seguente relazione diventa difficile soprattutto perché il valore finale del coefficiente lineico dipenderà dalle dimensioni di altezza e larghezza della finestra scelta.



4.1 Caso "A": bancale in cemento tradizionale di spessore 6 cm

Per quanto riguarda il bancale in cemento realizzato in modo tradizionale, la geometria studiata è quella riportata in figura 3, dove le pareti e le vetrate in oggetto sono state prolungate fino alla lunghezza di 1 metro, come prescritto dalla UNI EN ISO 10211: 2008.

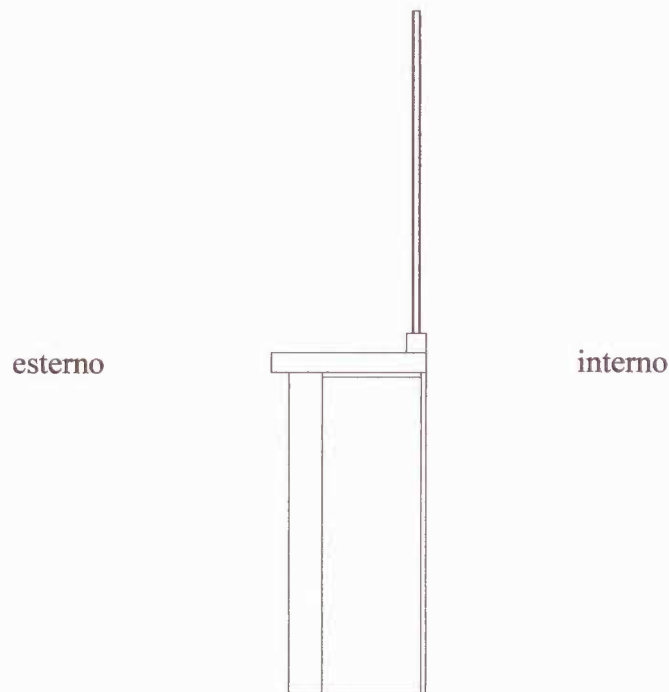
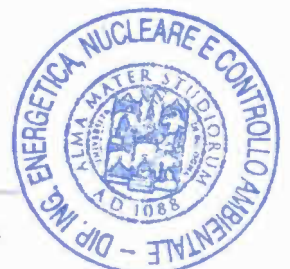


Fig. 3 – Ponte termico bancale in cemento tradizionale (spessore 6 cm).

In tabella 1 sono riportati i principali risultati del calcolo numerico ed in figura 4 e 5 rispettivamente l'andamento della temperatura e le linee di flusso del ponte termico esaminato.

Tabella 1: trasmittanza termica lineare Ψ del ponte termico bancale in cemento tradizionale.

Ponte termico	Flusso termico Φ_l [W/m]	Coefficiente di accoppiamento termico lineico L_{2D} [W/mK]	Trasmittanza termica lineare Ψ [W/mK]
Bancale in cemento tradizionale	62,59	3,130	0,55



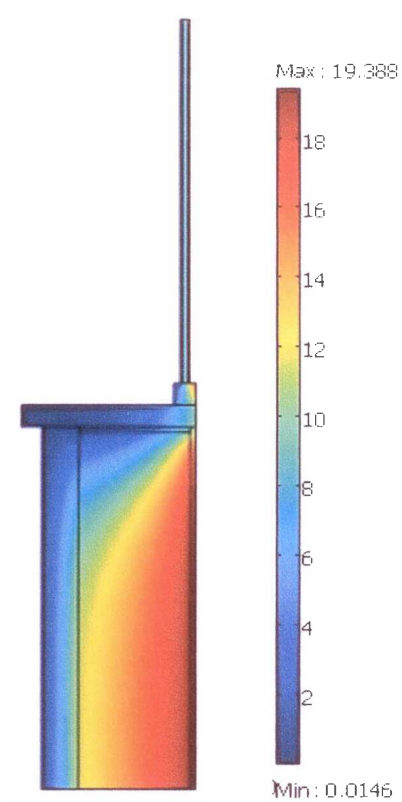


Fig. 4 – Andamento della temperatura nel ponte termico bancale in cemento tradizionale (spessore 6 cm).

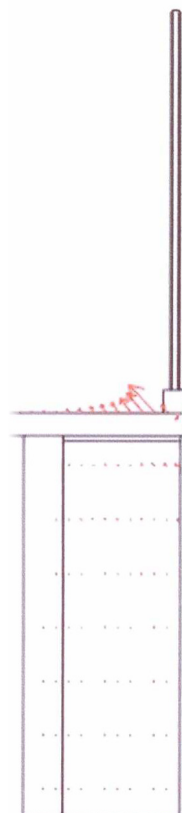
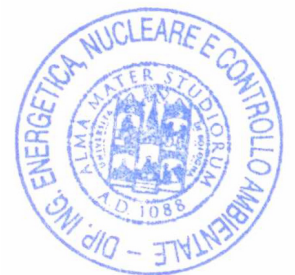


Fig. 5 – Linee di flusso nel ponte termico bancale in cemento tradizionale (spessore 6 cm).



4.2 Caso Isolight di spessore 6 cm

Per quanto riguarda il bancale alleggerito con EPS, denominato Isolight, la geometria studiata è quella riportata in figura 6, dove le pareti e le vetrate in oggetto sono state prolungate fino alla lunghezza di 1 metro, come prescritto dalla UNI EN ISO 10211: 2008.

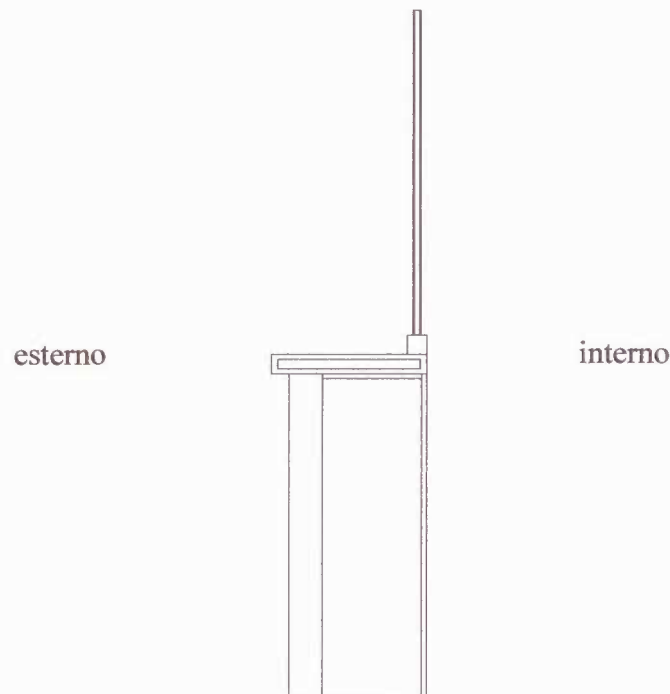


Fig. 6 – Ponte termico bancale Isolight (spessore 6 cm).

In tabella 2 sono riportati i principali risultati del calcolo numerico ed in figura 7 e 8 rispettivamente l'andamento della temperatura e le linee di flusso del ponte termico esaminato.

Tabella 2: trasmittanza termica lineare Ψ del ponte termico bancale Isolight.

Ponte termico	Flusso termico Φ_1 [W/m]	Coefficiente di accoppiamento termico lineico L_{2D} [W/mK]	Trasmittanza termica lineare Ψ [W/mK]
Bancale Isolight	58,41	2,921	0,34

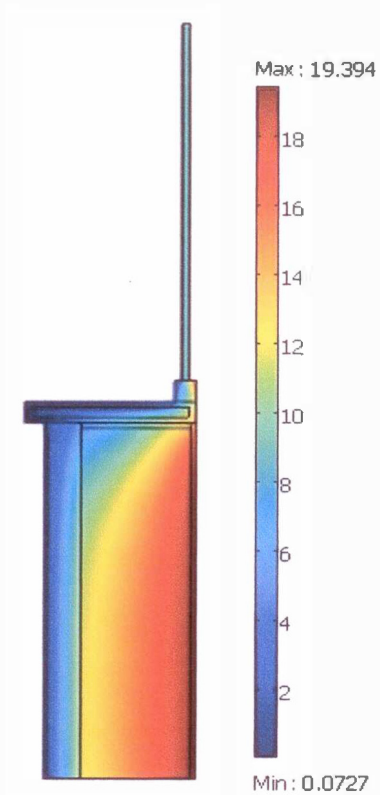
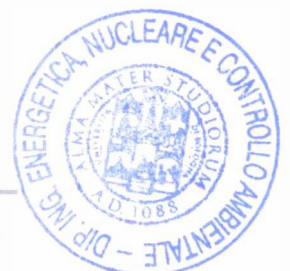


Fig. 7 – Andamento della temperatura nel ponte termico bancale Isolight (spessore 6 cm).



Fig. 8 – Linee di flusso nel ponte termico bancale Isolight (spessore 6 cm).



4.3 Caso "B": bancale in pietra serena di spessore 3 cm

Per quanto riguarda il bancale realizzato in pietra serena, di spessore pari a 3 cm, la geometria studiata è quella riportata in figura 9, dove le pareti e le vetrate in oggetto sono state prolungate fino alla lunghezza di 1 metro, come prescritto dalla UNI EN ISO 10211: 2008.

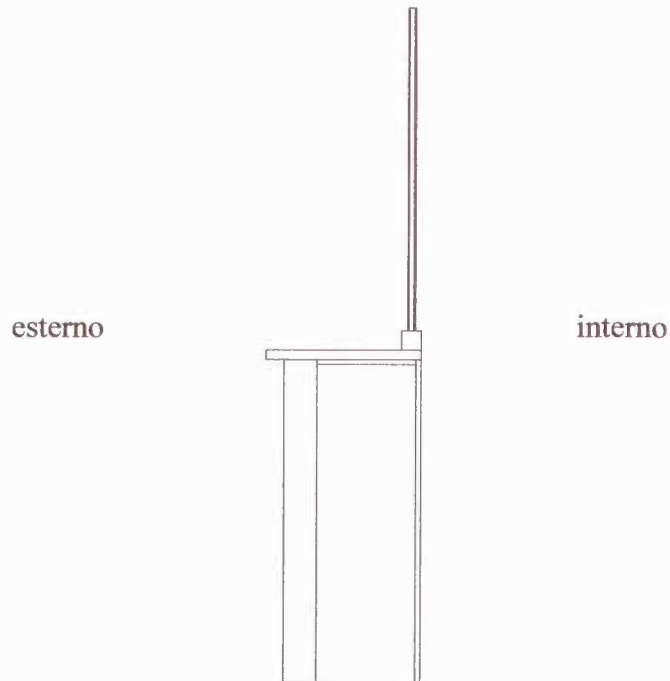


Fig. 9 – Ponte termico bancale in pietra serena (spessore 3 cm).

In tabella 3 sono riportati i principali risultati del calcolo numerico ed in figura 10 e 11 rispettivamente l'andamento della temperatura e le linee di flusso del ponte termico esaminato.

Tabella 3: trasmittanza termica lineare Ψ del ponte termico bancale in pietra serena.

Ponte termico	Flusso termico Φ_l [W/m]	Coefficiente di accoppiamento termico lineico L_{2D} [W/mK]	Trasmittanza termica lineare Ψ [W/mK]
Bancale in pietra serena	59,89	2,995	0,42



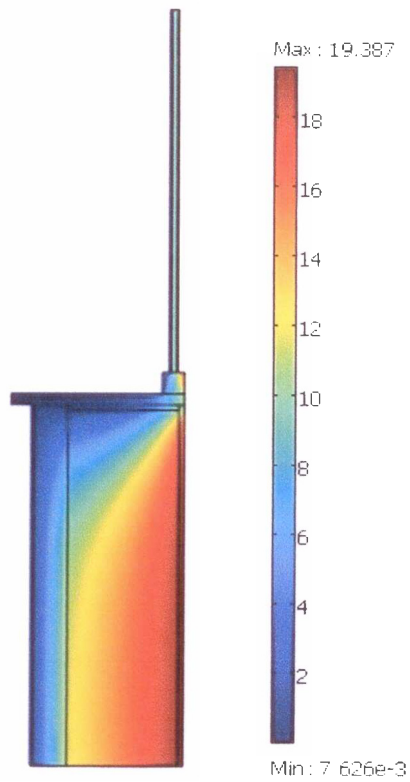


Fig. 10 – Andamento della temperatura nel ponte termico bancale in pietra serena (spessore 3 cm).



Fig. 11 – Linee di flusso nel ponte termico bancale in pietra serena (spessore 3 cm).

4.4 Caso "C": bancale in granito di spessore 3 cm

Per quanto riguarda il bancale realizzato in granito, di spessore pari a 3 cm, la geometria studiata è quella riportata in figura 12, dove le pareti e le vetrature in oggetto sono state prolungate fino alla lunghezza di 1 metro, come prescritto dalla UNI EN ISO 10211: 2008.

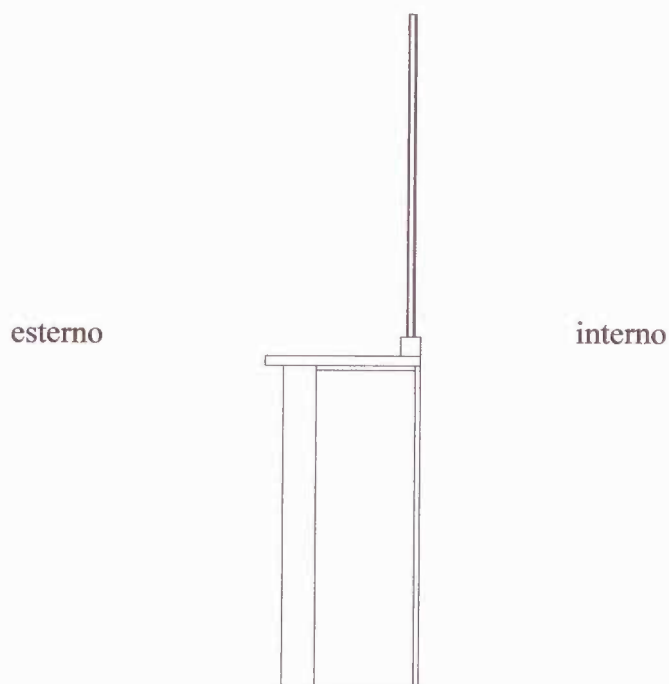


Fig. 12 – Ponte termico bancale in granito (spessore 3 cm).

In tabella 4 sono riportati i principali risultati del calcolo numerico ed in figura 13 e 14 rispettivamente l'andamento della temperatura e le linee di flusso del ponte termico esaminato.

Tabella 4: trasmittanza termica lineare Ψ del ponte termico bancale in granito.

Ponte termico	Flusso termico Φ_1 [W/m]	Coefficiente di accoppiamento termico lineico L_{2D} [W/mK]	Trasmittanza termica lineare Ψ [W/mK]
Bancale in granito	61,41	3,070	0,49



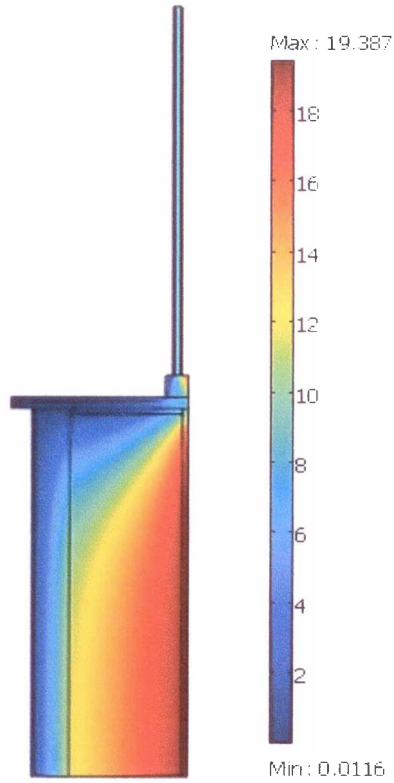


Fig. 13 – Andamento della temperatura nel ponte termico bancale in granito (spessore 3 cm).

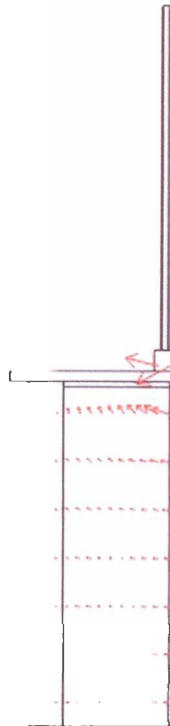
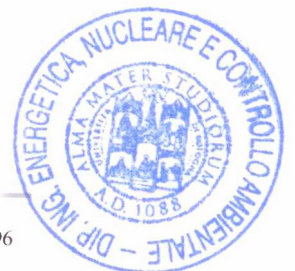


Fig. 14 – Linee di flusso nel ponte termico bancale in granito (spessore 3 cm).



4.5 Tabelle riassuntive

In tabella 5 vengono riportati i valori del coefficiente di trasmissione termica lineica dei ponti termici esaminati.

Tabella 5: tabella riassuntiva del coefficiente di trasmissione termica lineica Ψ dei ponti termici esaminati.

Ponte termico	Bancale Isolight spessore 6 cm	Bancale in cemento tradizionale spessore 6 cm tipo "A"	Bancale in pietra serena spessore 3 cm tipo "B"	Bancale in granito spessore 3 cm tipo "C"
Coeff. di trasmissione termica lineica Ψ [W/mK]	0,34	0,55	0,42	0,49

Tabella 6: tabella riassuntiva dell'aumento del coefficiente di trasmissione termica lineica Ψ dei ponti termici esaminati rispetto a quello che si verifica con Isolight.

Ponte termico	Variazione Δ rispetto ad Isolight [%]
Bancale Isolight con spessore 6 cm	-
Bancale in cemento tradizionale con spessore 6 cm	+62%
Bancale in pietra serena con spessore 3 cm	+24%
Bancale in granito con spessore 3 cm	+44%

Dal confronto tra i valori riportati nelle tabelle 5 e 6 possiamo riscontrare come l'utilizzo del bancale alleggerito fornisca un coefficiente di trasmissione termica lineica inferiore rispetto alle altre configurazioni di tipo tradizionale.

In particolare, rispetto al bancale Isolight di spessore pari a 6 cm:

- **l'utilizzo del bancale tradizionale (caso "A"), di spessore pari a 6 cm e realizzato interamente in calcestruzzo, comporta un aumento del valore del ponte termico pari al 62%;**
- **l'utilizzo del bancale tradizionale (caso "B"), di spessore pari a 3 cm e realizzato in pietra serena, comporta un aumento del valore del ponte termico**

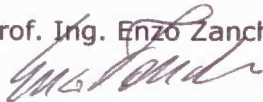


pari al 24%;

- l'utilizzo del bancale tradizionale (caso "C"), di spessore pari a 3 cm e realizzato in granito, comporta un aumento del valore del ponte termico pari al 44%.

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Enzo Zanchini



Il Tecnico

Ing. Stefania Falcioni





Università degli Studi di Bologna

Facoltà di Ingegneria

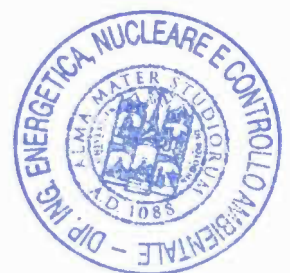
Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del
Controllo Ambientale
(D.I.E.N.C.A.)

Appendice A alla Relazione Tecnica n. 01T/11

*Valutazione di massima su probabili problemi di
condensa superficiale*

Committente: BACCARO I CEMENTISTI S.R.L., via Fiumana Sinistra,
18, Villanova di Castenaso. (BO)

Bologna, 22 Febbraio 2011



Indice

1	Introduzione	3
1.1.	Caso "A": bancale in cemento tradizionale di spessore 6 cm	3
1.2.	Caso "Isolight" di spessore 6 cm	4
1.3.	Caso "B": bancale in pietra serena di spessore 3 cm	5
1.4.	Caso "C": bancale in granito di spessore 3 cm.....	6



1 Introduzione

La presenza nelle strutture edilizie di ponti termici può dare luogo alla formazione di condensazione superficiale: per essere sicuri che tale fenomeno non si presenti, occorre verificare che la temperatura minima delle superfici interne delle pareti in corrispondenza dei ponti termici non risulti inferiore alla temperatura di rugiada in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria interna e, in ogni modo, non risulti inferiore a 14°C.

Per una buona correzione dei ponti termici è sufficiente che venga soddisfatta la condizione sul fattore di temperatura f_{Rsi} ossia sul rapporto delle differenze di temperatura valutato nei punti di temperatura minima superficiale. Il fattore di temperatura è dato da:

$$f_{Rsi} = \frac{T_p - T_e}{T_i - T_e}$$

dove:

T_p temperatura superficiale della parete interna

T_e temperatura esterna

T_i temperatura interna

Il fattore di temperatura associato al ponte termico deve essere confrontato con il valore che corrisponde ad una temperatura superficiale della parete pari a quella di rugiada che si ha per la temperatura e l'umidità relativa dell'aria considerata.

Di seguito verranno analizzate le quattro diverse soluzioni in oggetto alla relazione, in modo da verificare solamente che la temperatura minima in corrispondenza della parete sottostante il bancale rimanga al di sopra dei 14°C.

1.1. Caso "A": bancale in cemento tradizionale di spessore 6 cm

Nel modello di ponte termico in presenza del bancale di tipo tradizionale, viene visualizzata la temperatura della parete interna. Nel caso in cui le temperature esterne ed interne sono state considerate rispettivamente 2°C e 20°C, la temperatura minima è quella in corrispondenza del collegamento tra la parete ed il bancale della finestra.

Dal diagramma riportato in figura 1 è possibile vedere l'andamento della temperatura superficiale sulla parete interna in corrispondenza del bancale: il valore minimo di temperatura superficiale è pari a 11,1°C.



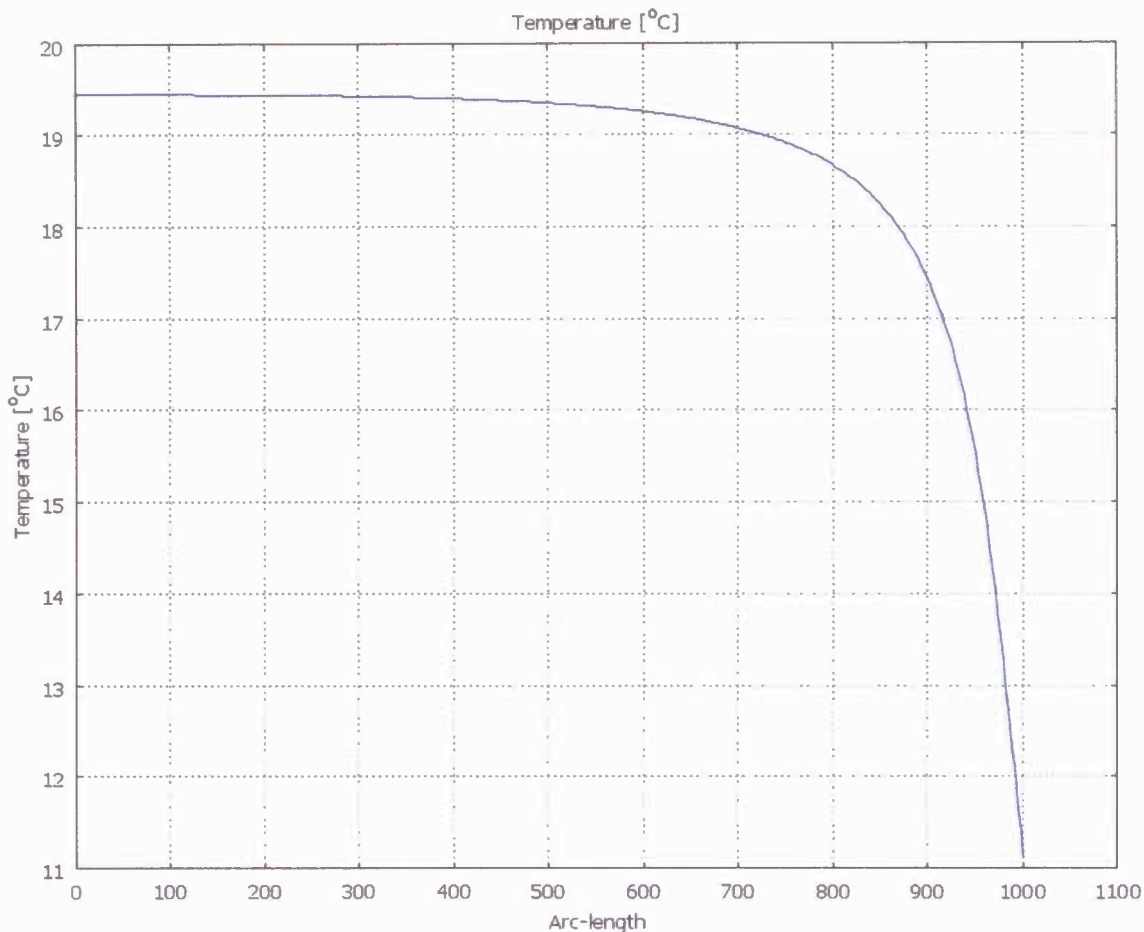


Fig. 1 - Andamento della temperatura sulla parete con bancale in cemento tradizionale (spessore 6 cm).

Le temperature superficiali minime della parete nell'intorno dell'innesto con il bancale si sono attestate anche sotto i 14°C nelle condizioni considerate ($T_i=20^\circ\text{C}$ e $T_e=2^\circ\text{C}$) e quindi a rischio condensa.

1.2. Caso "Isolight" di spessore 6 cm

Nel modello di ponte termico in presenza del bancale Isolight, viene visualizzata la temperatura della parete interna. Anche in questo caso le temperature esterne ed interne sono state considerate rispettivamente 2°C e 20°C e la temperatura minima è sempre quella in corrispondenza del collegamento tra la parete ed il bancale della finestra.

Dal diagramma riportato in figura 2 è possibile vedere l'andamento della temperatura superficiale sulla parete interna in corrispondenza del bancale: il valore minimo di temperatura superficiale è pari a $14,3^\circ\text{C}$.



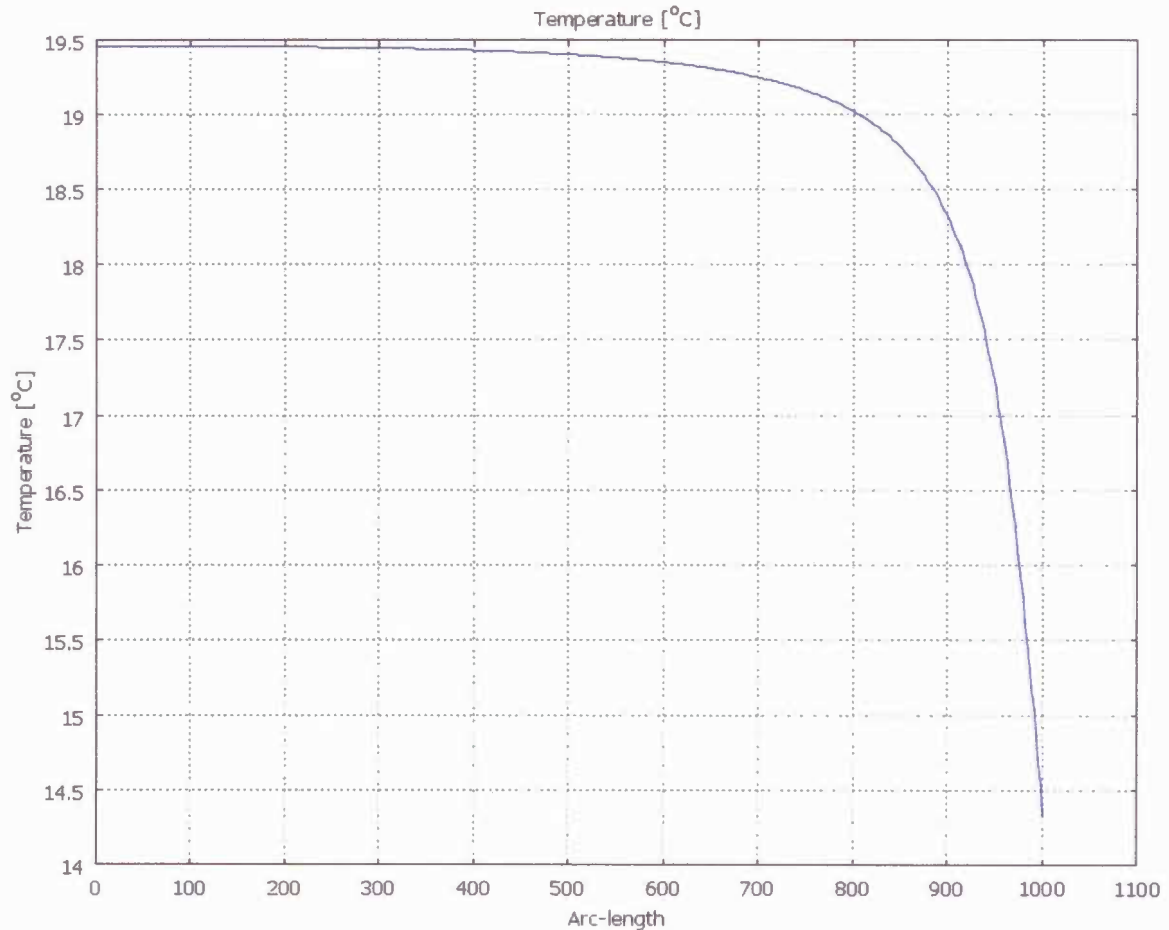


Fig. 2 – Andamento della temperatura sulla parete con bancale Isolight (spessore 6 cm).

Le temperature superficiali minime della parete nell'intorno dell'innesto con il bancale sono sempre superiori ai 14°C nelle condizioni considerate ($T_i=20^\circ\text{C}$ e $T_e=2^\circ\text{C}$) e quindi la parete potrebbe non essere a rischio condensa.

1.3. Caso "B": bancale in pietra serena di spessore 3 cm

Nel modello di ponte termico in presenza del bancale in pietra serena, viene visualizzata la temperatura della parete interna. Anche in questo caso le temperature esterne ed interne sono state considerate rispettivamente 2°C e 20°C e la temperatura minima è sempre quella in corrispondenza del collegamento tra la parete ed il bancale della finestra.

Dal diagramma riportato in figura 3 è possibile vedere l'andamento della temperatura superficiale sulla parete interna in corrispondenza del bancale: il valore minimo di temperatura superficiale è pari a $11,7^\circ\text{C}$.



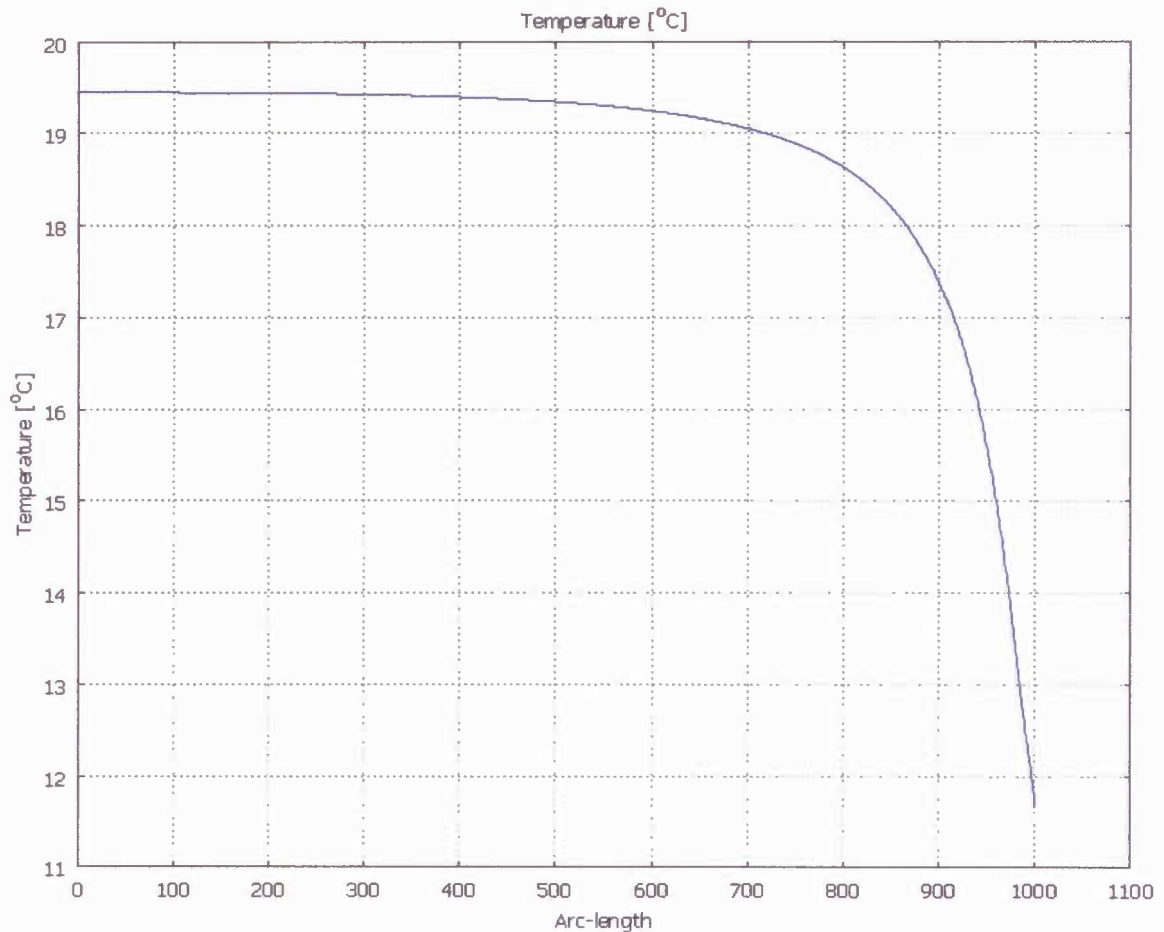


Fig. 3 – Andamento della temperatura sulla parete con bancale in pietra serena (spessore 3 cm).

Le temperature superficiali minime della parete nell'intorno dell'innesto con il bancale si sono attestate anche sotto i 14°C nelle condizioni considerate ($T_i=20^\circ\text{C}$ e $T_e=2^\circ\text{C}$) e quindi a rischio condensa.

1.4. Caso "C": bancale in granito di spessore 3 cm

Nel modello di ponte termico in presenza del bancale in granito, viene visualizzata la temperatura della parete interna. Anche in questo caso le temperature esterne ed interne sono state considerate rispettivamente 2°C e 20°C e la temperatura minima è sempre quella in corrispondenza del collegamento tra la parete ed il bancale della finestra.

Dal diagramma riportato in figura 4 è possibile vedere l'andamento della temperatura superficiale sulla parete interna in corrispondenza del bancale: il valore minimo di temperatura superficiale è pari a $9,7^\circ\text{C}$.



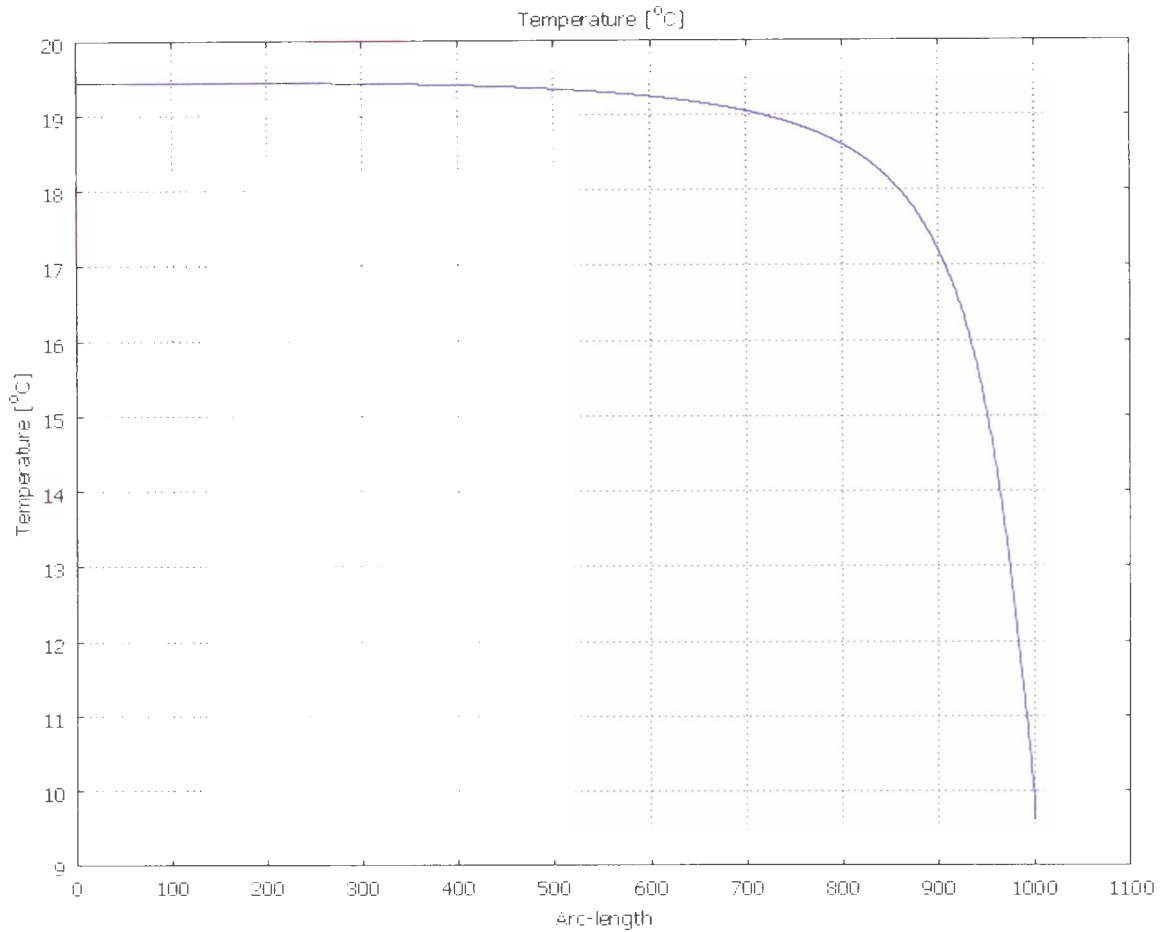


Fig. 4 – Andamento della temperatura sulla parete con bancale in granito (spessore 3 cm).

Le temperature superficiali minime della parete nell'intorno dell'innesto con il bancale si sono attestate anche sotto i 14°C nelle condizioni considerate ($T_i=20^\circ\text{C}$ e $T_e=2^\circ\text{C}$) e quindi a rischio condensa.

