

# Progettazione esecutiva del nodo tra copertura piana e parete perimetrale

## Studio del dettaglio costruttivo tra copertura piana isolata e parete a cassetta in laterizio

Di Matteo Antonini \*,  
Andrea Giovanni Mainini \*\*,  
Matteo Saibeni \*\*\*

\* Ingegnere, libero professionista \*\*  
Ingegnere,  
Dipartimento ABC,  
Politecnico di Milano  
\*\*\* Architetto,  
libero professionista

L'articolo della rubrica *In dettaglio* di questo numero è dedicato alla progettazione del nodo tra copertura piana isolata e parete perimetrale a cassetta in laterizio.

Le soluzioni tecniche costituenti il nodo tra copertura piana e parete perimetrale risultano di tipo tradizionale con strutture a umido.

La parete perimetrale risulta del tipo a cassetta con doppio tamponamento in blocchi di laterizio porizzato (spessore 12 cm) con interposto strato di isolamento termico in fibra di canapa (spessore 8 cm). Sul lato caldo dell'isolante (ovvero lato verso l'interno) è stata posizionata una barriera al vapore in foglio di alluminio. La finitura esterna della parete è realizzata mediante intonaco a base cemento e idropittura acrilica. La copertura piana è realizzata con un solaio leggero con elementi in polistirene espanso e getto di completamento in cemento armato. Al di sopra dello strato strutturale risulta posata una membrana con funzione di barriera al vapore e successivamente realizzato lo strato di pendenza in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa. Sullo strato di pendenza risulta realizzato lo strato di impermeabilizzazione con doppia membrana bituminosa posata a caldo in totale aderenza e strato di isolamento termico in pannelli di polistirene espanso estruso a celle chiuse. Completano il pacchetto di copertura uno strato di separazione in membrana traspirante e la pavimentazione in piastrelle di gres posate su piedini di PVC.

### Analisi termiche agli elementi finiti

È necessario verificare la reale correzione del ponte termico individuato in corrispondenza del nodo parete-solaio di copertura. Non sembra che siano presenti criticità evidenti, giacché l'isolamento termico è stato posto senza soluzioni di continuità. La trave perimetrale è infatti stata adeguatamente confinata tra un adeguato spessore d'isolamento, posto nell'intercapedine di parete e parapetto, a loro volta realizzati con una struttura in laterizio a prestazione termica ottimizzata. Il massetto alleggerito e l'isolamento termico completano il dettaglio.

Al fine di validare ipotesi di controllo efficace delle dispersioni, si è sottoposto il nodo costruttivo analizzato a una valutazione termica bidimensionale agli elementi finiti. Tale analisi ha permesso di valutare l'entità dei flussi e lo sviluppo delle temperature all'interno del modello, imponendo come forzanti di temperatura:

- $T_{set, int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  (Temperatura interna di progetto - Stagione invernale),
- $T_{prog, out} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$  (Temperatura di progetto dell'aria esterna per la città di Milano - Stagione invernale).

Solo grazie alla modellazione è possibile quantificare le temperature superficiali in corrispondenza di eventuali criticità della sezione. L'analisi è stata condotta in corrispondenza della sezione corrente di solaio e di parete caratterizzanti il nodo di chiusura superiore. In figura 2 e 3, si nota la distribuzione delle temperature sia superficiali che lungo la sezione. In corrispondenza della superficie più critica, ovvero in prossimità dello spigolo formato dalla parete perimetrale e la copertura, la temperatura superficiale è compresa tra un massimo di  $19.4 \text{ }^\circ\text{C}$  e un minimo di  $16.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , raggiunta in corrispondenza dello spigolo.

Ipotizzando che in inverno l'aria all'interno dell'ambiente confinato mantenga una temperatura uniformemente distribuita di  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  e riguardo condizioni standard di umidità relativa pari al 65 % sono esclusi fenomeni di condensa superficiale. Tale manifestazione si potrebbe avere solo per condizioni di U.R. Superiori all'80%. Bisogna in ogni caso osservare che i valori di temperatura superficiale riportati si riferiscono a condizioni di temperatura dell'aria esterna molto severe e pari a  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ . È verosimile pensare che tali condizioni si presentino nella maggior parte dei casi solo per alcune zone climatiche e/o solo in limitati intervalli di tempo.

La norma UNI TS/11300-1:2014 prevede che il coefficiente di scambio termico di ogni chiusura opaca dell'involucro debba essere valutato considerando il contributo di tutti i ponti termici che insistono su di essa. Questa valutazione non può più essere effettuata tramite metodi forfettari di incremento percentuale della trasmittanza termica della chiusura, oppure tramite il calcolo analitico basato sui valori di

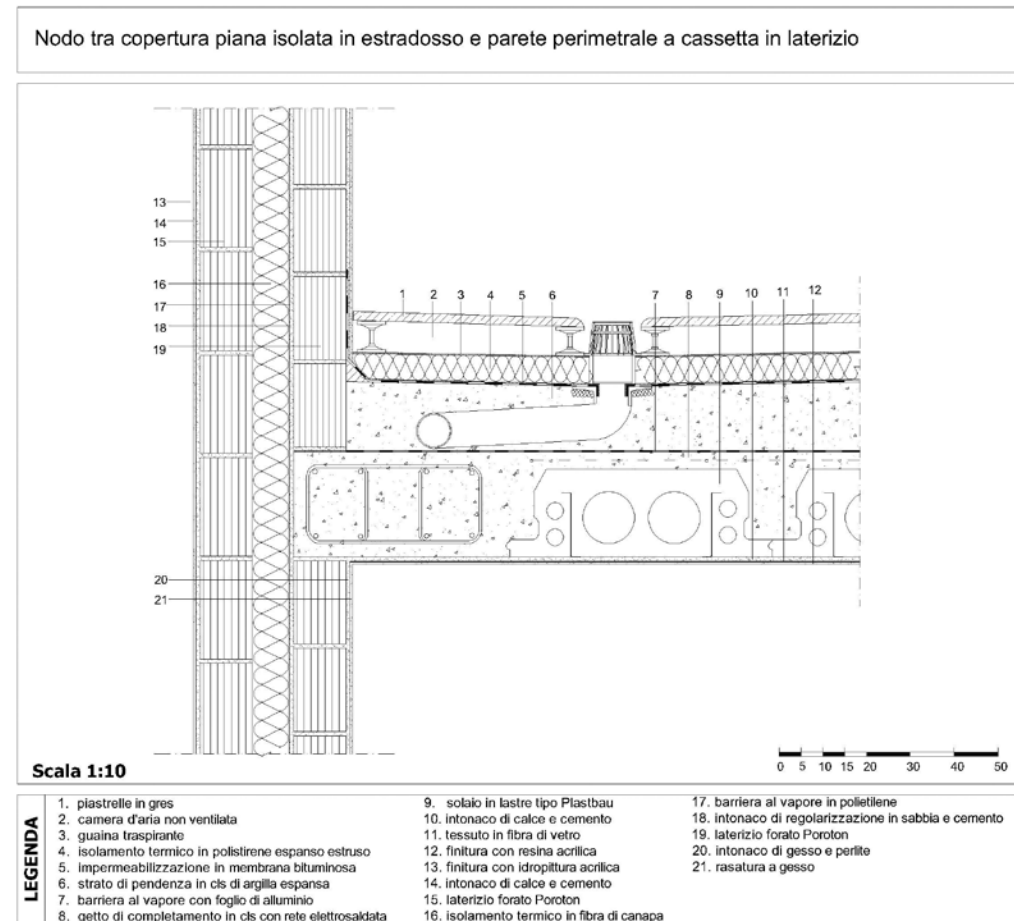


Figura 1 - Nodo tra copertura piana isolata e parete perimetrale a cassetta in laterizio

Nome	Spessore [m]	Conducibilità [W/m²K]	perm. vap. [kg/mPa 10 <sup>-12</sup> ]	Calore specifico [J/kg]	densità [kg/m³]
Rasatura a gesso	0.05	0.35	32	1090	1200
Intonaco	0.01	0.35	32	1090	1200
Blocchi in laterizio Porotherm	0.12	0.222	18	840	840
Rinzafo	0.01	0.9	19	910	1800
Barriera al vapore in polietilene	0.002	0.16	0.003	2219	930
Isolamento termico in fibra di canapa	0.08	0.04	96	1700	30
Blocchi in laterizio Porotherm	0.12	0.222	18	840	840
Intonaco di calce e cemento	0.012	0.9	19	910	1800
Pittura acrilica per esterni	0.003	1.4	5.6	670	2000

Tabella 1 - Caratteristiche degli strati costituenti la parete perimetrale verticale

trasmittanza termica lineica riportati nell'abaco della norma UNI EN ISO 14683.

Per ogni discontinuità e tipologia di nodo costruttivo, la trasmittanza termica lineica  $\Psi$  ad esso associata deve essere valutata tramite metodi numerici, software agli elementi finiti o abachi parametrici. Il valore di calcolo del coefficiente di scambio termico, comprensivo dei ponti termici

è valutato secondo la formula [1]:

$$H_{D,k} = A_k \cdot U_k + \sum_i^n \varphi_{i,k} \cdot L_{i,k} \quad [1]$$

Dove:

$H_{D,k}$  è il coefficiente di scambio termico della superficie disperdente [W/K]

$A_k$  è l'area della superficie considerata [m²]

$U_k$  è la trasmittanza termica della superficie, valutata

in accordo alla UNI EN ISO 6946 [W/m²K]

$\varphi_{i,k}$

è la trasmittanza termica lineica del nodo i-esimo [W/mK]

$L_{i,k}$

è la lunghezza dell'i-esimo ponte termico all'interno della sezione [m]

È

successivamente possibile trovare un valore di trasmittanza termica corretta della superficie disperdente  $U_{c,k}$  compres-

so dei ponti termici, rapportando il coefficiente di dispersione per trasmissione all'area della superficie considerata, secondo la formula [2].

$$U_{c,k} = \frac{H_{D,k}}{A_k} \quad [2]$$

Grazie all'analisi agli elementi finiti condotta, è possibile calcolare il valore di  $\Psi$  in corrispondenza del nodo struttu-

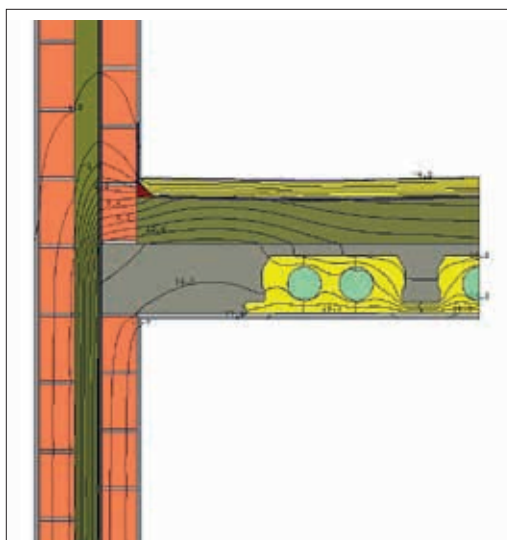


Figura 2 - Nodo tra copertura piana isolata in estradosso e parete perimetrale a cassetta in laterizio: rappresentazione tramite isoterme delle temperature all'interno della sezione

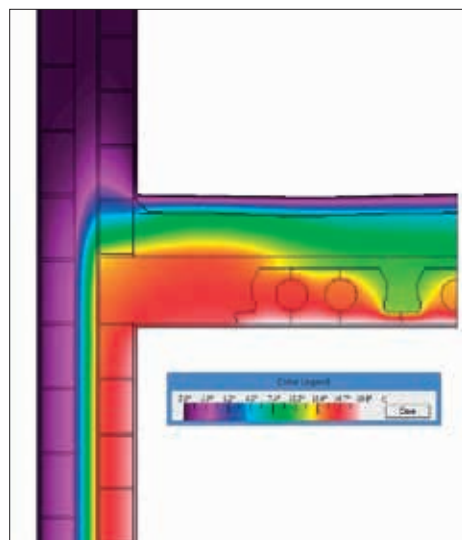


Figura 3 - Nodo tra copertura piana isolata in estradosso e parete perimetrale a cassetta in laterizio: rappresentazione in falsi colori delle temperature all'interno della sezione

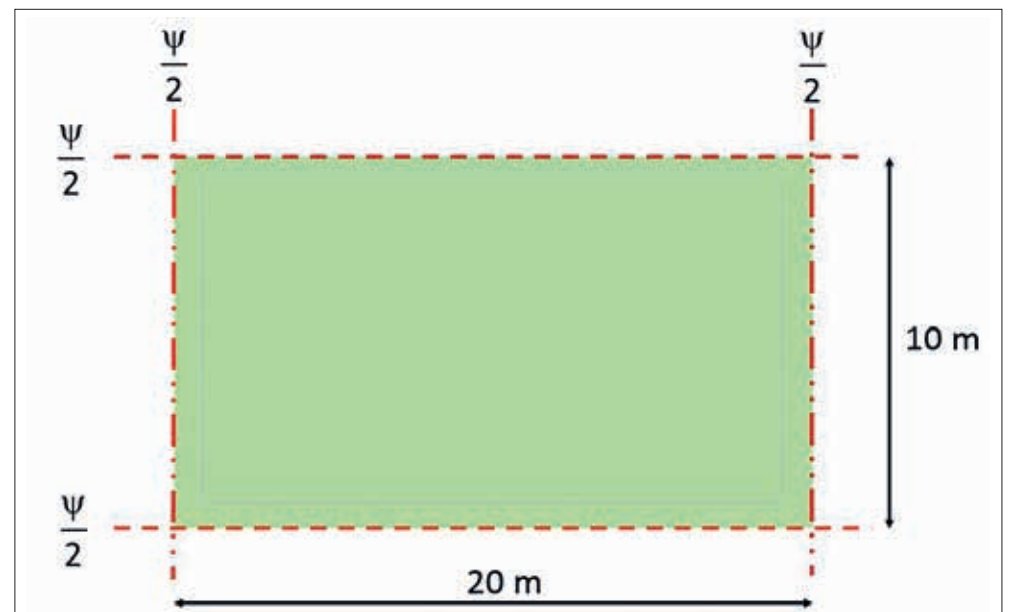


Figura 4 - Schematizzazione di copertura e di tipologie di trasmittanze termiche lineiche ad esso associate

Caratteristiche	Modulo	Sfasamento [h]
Trasmittanza termica Y11 (lato 1) [W/(m <sup>2</sup> K)]	3.609	1.996
Trasmittanza termica Y22 (lato 2) [W/(m <sup>2</sup> K)]	4.434	3.381
Trasmittanza periodica Y12 [W/(m <sup>2</sup> K)]	<b>0.0327</b>	<b>-15.18</b>
Capacità termica aerea lato 1 [J/(m <sup>2</sup> K)]	49722.81	
Capacità termica aerea lato 2 [J/(m <sup>2</sup> K)]	60913.95	
Fattore di decremento	<b>0.1132</b>	

Tabella 2 – Principali caratteristiche termiche in regime dinamico della parete (report ISO 13786)

le tra parete perimetrale e solaio. Nel caso specifico tale valore, misurato rispetto alle dimensioni esterne del nodo è pari a: - 0.293 W/mK. I nodi di questa tipologia, specie se isolati esternamente, presentano valori di trasmittanza termica lineare minori di zero a causa

della disuguaglianza tra superficie disperdente interna e superficie esterna. Questo risultato è da considerarsi favorevole nel controllo delle dispersioni del nodo. Proviamo a contestualizzare il risultato, applicandolo a un caso reale. Consideriamo una super-

ficie di copertura pari a 200 m<sup>2</sup> (figura 4), realizzata con stratigrafia e isolamento come da caso di studio e con il nodo costruttivo analizzato lungo il perimetro. Vogliamo valutare la trasmittanza termica corretta  $U_c$  della copertura, comprensiva del

contributo dei ponti termici. I valori di trasmittanza termica lineica vengono convenzionalmente attribuiti al 50% del valore calcolato nel caso questi si riferiscano contemporaneamente a due superfici adiacenti insistenti sullo stesso nodo costruttivo. Il valore di  $\Psi$  copertura-parete perimetrale, dovrà quindi essere suddiviso tra la parete e la copertura. Ipotizziamo, per semplicità, che il nodo partizione interna, copertura sia isolato termicamente fino a ottenere un valore di  $\Psi=0$  W/m<sup>2</sup> K. La trasmittanza termica della copertura, calcolata in sezione corrente  $U$ , senza il contributo dei ponti termici è pari a: 0.328 W/m<sup>2</sup>K. Utilizzando le formule [1] e [2],

considerando il contributo dei ponti termici si ottiene un valore corretto di trasmittanza termica  $U_c$  del solaio pari a: 0.287 W/m<sup>2</sup>K. Nonostante sia stata garantita la continuità dello strato di isolamento termico la discontinuità analizzata, riferita a una generica parete tipo porta a una riduzione del valore di trasmittanza pari al 14.2%.

#### Analisi delle caratteristiche igro-termiche in regime stazionario della parete

L'analisi viene svolta utilizzando il metodo grafico di Glaser con i dati di input riportati in tabella 1, per il computo della trasmittanza. La trasmittanza della parete, utilizzando i valori 0.13 e 0.13 per le resistenze liminari interna ed esterna, risulta essere circa 0.289 W/m<sup>2</sup>K, adatta all'impiego in tutte le zone climatiche previste dal d.lgs. 311/2006.

Le condizioni al contorno utilizzate per l'analisi sono le seguenti:

- temperatura interna 20°C U.R. interna 55%
- temperatura esterna -5°C U.R. esterna 70%

La copertura, nelle condizioni sopra esposte, è esente da fenomeni di condensazione sia interstiziale, figura 4, sia superficiale risultando  $f_{Rsi} = 0.970 > f_{Rsi,min} = 0.763$  (si confronti la UNI EN ISO 13788).

#### Analisi delle caratteristiche termiche in regime dinamico della parete

Le caratteristiche termiche in regime dinamico influenzano il comfort all'interno degli ambienti confinati in tutti i periodi in cui la sollecitazione termica dall'esterno o dall'interno non è costante. Si pensi, ad esempio, al periodo estivo in cui l'irraggiamento è una componente importante dell'energia che investe il componente di chiusura. In questi casi il calcolo della trasmittanza in regime stati-

co non è più sufficiente a fornire informazioni circa le capacità del componente di rispondere alle sollecitazioni cui è soggetto ma è necessario utilizzare procedimenti di calcolo in regime dinamico che tengano conto della variabilità nel tempo delle sollecitazioni. Quando le sollecitazioni esterne, temperatura e flusso termico, variano in regime sinusoidale allora è possibile utilizzare la norma UNI ISO 13786 per calcolare temperatura e flusso termico interni attraverso la matrice di trasferimento che è una matrice quadrata di ordine 2 i cui termini sono numeri complessi e che lega temperatura e flusso termico su di un lato del componente con quelli sull'altro lato. I dati necessari per l'analisi in regime dinamico del componente sono riassunti nella Tabella 1, anche in questo caso è possibile trascurare gli strati più esterni della parete anche perché il modello di calcolo della UNI ISO 13786 non fornisce risultati validi nel caso di intercapedini ventilate dove gran parte dell'energia per irraggiamento è dissipata per effetto camino.

Le principali caratteristiche in regime termico dinamico del componente, calcolate secondo UNI ISO 13786 sono riportate nella tabella 2. Si osservi, in particolare, che la trasmittanza periodica è molto inferiore al valore limite di 0.12 W/m<sup>2</sup>K imposto in alcune Regioni italiane. Si tralascia, per brevità, la verifica della copertura piana che, analogamente alla parete, non presenta fenomeni di condensazione e ha un buon comportamento in regime dinamico.

\* Ingegnere, libero professionista \*\* Ingegnere, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano \*\*\* Architetto, libero professionista

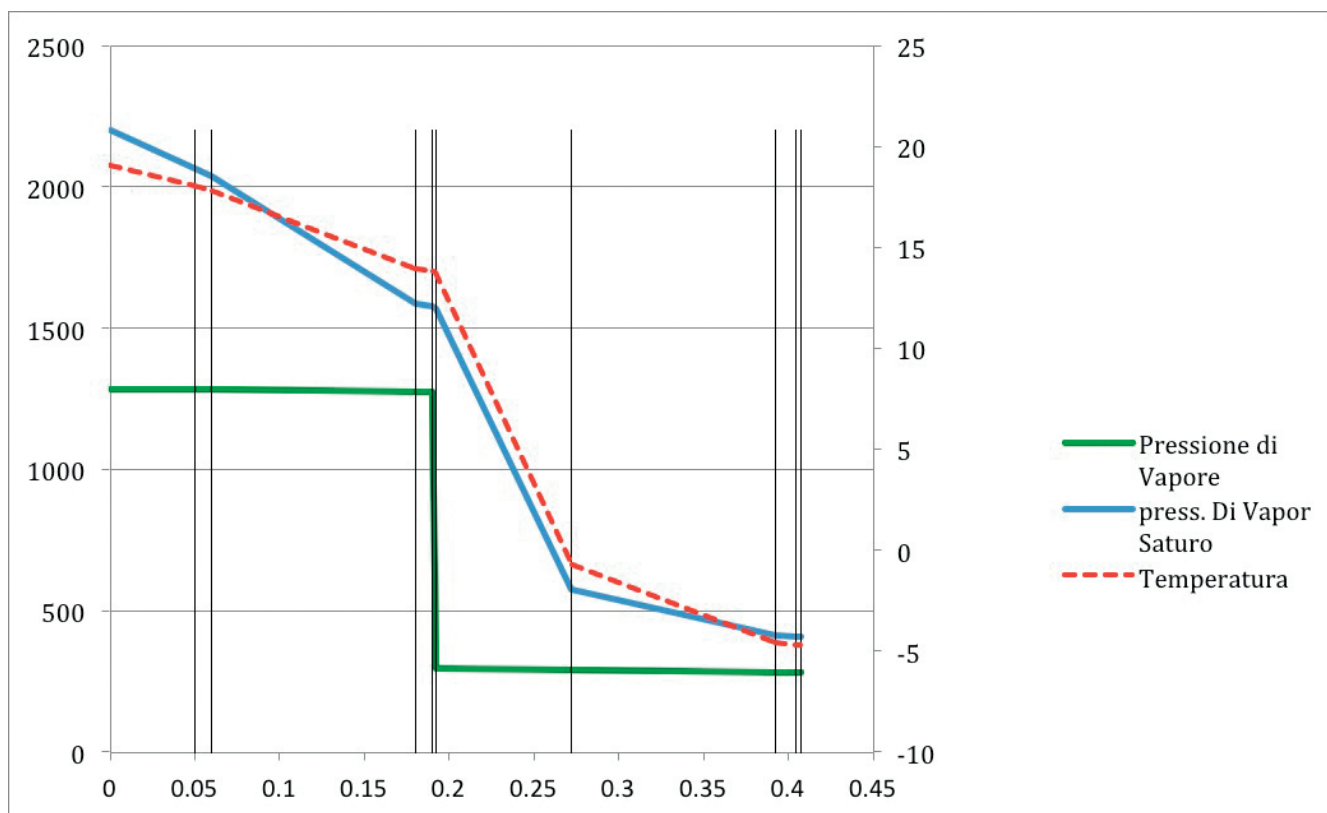


Figura 5 – Diagramma di Glaser della parete (esclusa intercapedine e rivestimento)