

Progettazione esecutiva di facciata ventilata e solaio interpiano

Studio del nodo tra parete facciata ventilata e rivestimento in cotto con solaio interpiano gettato in opera

di Matteo Antonini *,
Andrea Giovanni Mainini **,
Matteo Saibeni ***

L'articolo della rubrica *In dettaglio* del presente numero è dedicato alla progettazione del nodo tra parete perimetrale con facciata ventilata con rivestimento in cotto e solaio interpiano gettato in opera.

La chiusura verticale di facciata è realizzata con facciata ventilata con sottostruttura metallica alla quale sono ancorate le lastre in cotto. La stratigrafia della parete perimetrale risulta composta da blocchi in laterizio porizzato rettificati (spessore 30 cm) sui quali risulta applicato uno strato di isolamento termico in lana minerale (spessore 7 cm). Completano la stratigrafia l'intercapedine aerata (6 cm) e la facciata ventilata in lastre in cotto.

Il solaio interpiano risulta costituito da una struttura portante con travetti prefabbricati ed alleggerimento in materiale plastico gettato in opera, al di sopra della quale risulta realizzato lo strato integrazione impiantistica in calcestruzzo cellulare leggero. Superiormente ri-

sulta applicato lo strato di desolidarizzazione acustica per l'isolamento dei rumori di calpestio, sul quale è realizzato il pacchetto di riscaldamento a pavimento composto da pannello isolante bugnato (spessore 3), tubazioni di riscaldamento in polietilene, massetto di ripartizione in cemento con additivi ad alta conducibilità. Completano il pacchetto la pavimentazione in piastrelle di gres ceramico. L'intradosso interno del solaio di copertura risulta completato mediante intonaco civile per interni.

La soluzione tecnica adottata per il nodo in oggetto consente di garantire la continuità dello strato di isolamento termico esterno evitando pertanto l'insorgenza di ponti termici.

Analisi termiche agli elementi finiti

Vediamo di quantificare l'entità delle dispersioni termiche localizzate in corrispondenza del nodo costruttivo tra parete e solaio interpiano. In sezione corrente non sono evidenziate criticità sostanziali, giacché non sono presenti discontinuità dell'isolamento termico. La realtà costruttiva prevede la pre-

senza di montanti, correnti ed elementi di fissaggio puntuali, il cui contributo peggiorativo alla resistenza termica complessiva dell'involucro non può essere valutata tramite analisi termica agli elementi finiti in 2D. L'entità di tali fenomeni, valutati come un incremento medio delle dispersioni termiche, può essere stimata tramite metodi parametrici e forfettari (UNI EN ISO 6946) oppure valutata nel dettaglio utilizzando metodi di calcolo in 3D.

Per quanto i risultati forniti siano da considerarsi a sfavore di sicurezza, si ritiene che il metodo di analisi proposto sia in ogni caso efficace per avere un'indicazione in merito al comportamento termico del nodo analizzato. Solo grazie alla modellazione è possibile quantificare le temperature superficiali in corrispondenza di eventuali criticità della sezione. La valutazione è stata effettuata in relazione alle temperature dell'aria esterna e interna riportate di seguito.

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



Figura 1 - Nodo tra parete perimetrale ventilata con rivestimento in cotto e solaio interpiano

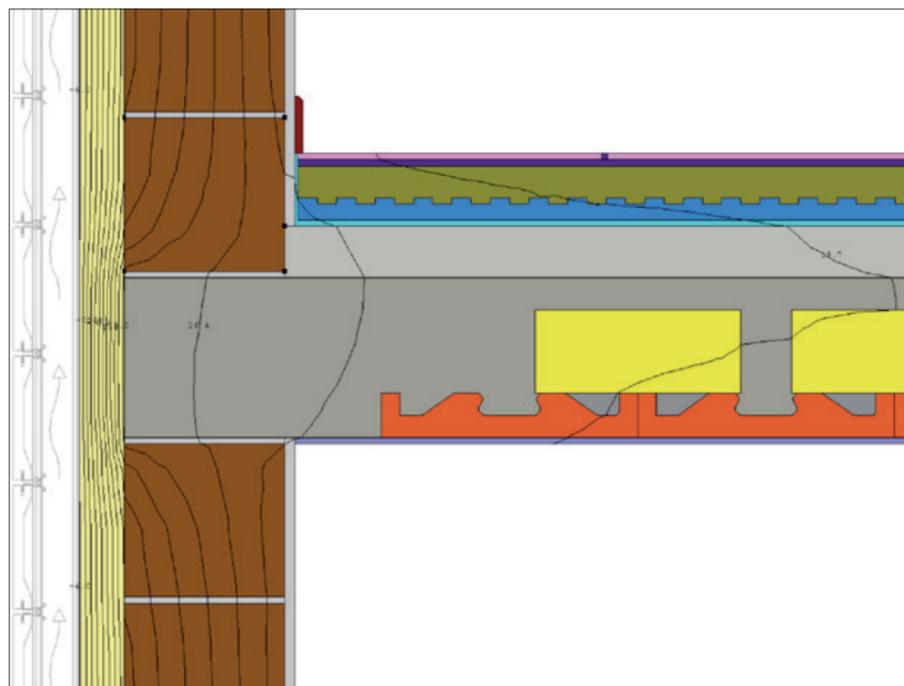


Figura 2 - Nodo tra parete perimetrale ventilata con rivestimento in cotto e solaio interpiano: rappresentazione tramite isoterme delle temperature all'interno della sezione

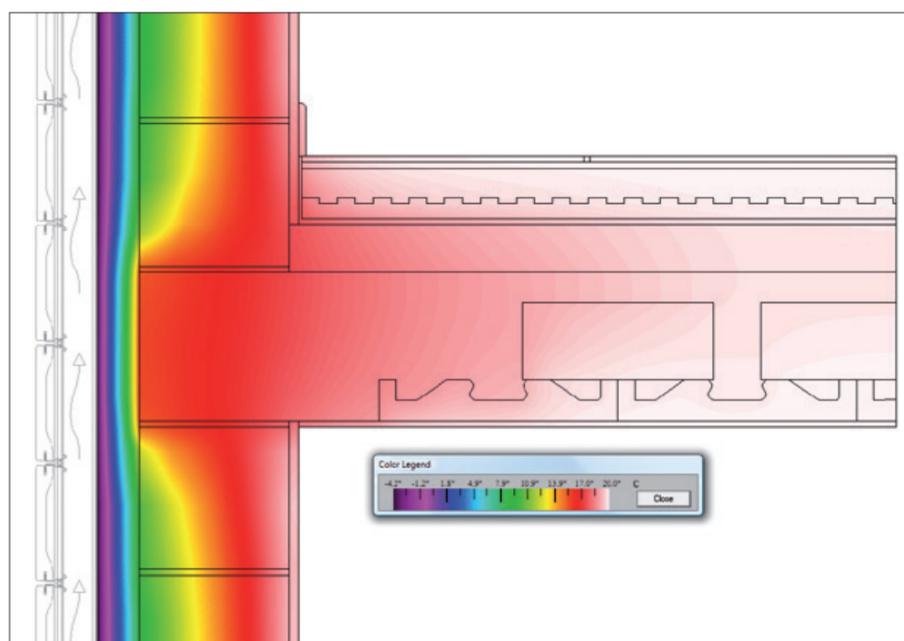


Figura 3 - Nodo tra parete perimetrale ventilata con rivestimento in cotto e solaio interpiano: rappresentazione in falsi colori delle temperature all'interno della sezione

la città di Milano - Stagione invernale).

Nelle figure 2 e 3, si nota la distribuzione delle temperature sia superficiali che lungo la sezione. In corrispondenza della superficie più critica, ovvero nell'intorno dello spigolo formato dalla parete perimetrale e la copertura, la temperatura superficiale è compresa tra un massimo di 19,8°C e un minimo di 18,1 °C, raggiunta in corrispondenza dello spigolo all'intradosso del solaio.

Ipotizzando che in inverno l'aria all'interno dell'ambiente confinato mantenga una temperatura uniformemente distribuita di 20 °C e 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 °C. È verosimi-

le pensare che tali condizioni si presentino nella maggior parte dei casi solo per alcune zone climatiche e/o per limitati intervalli di tempo durante l'anno.

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

Per ogni discontinuità e tipologia di nodo costruttivo, la trasmittanza termica lineica Ψ 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]:

$$H_{D,k} = A_k \cdot U_k + \sum_i \varphi_{i,k} \cdot L_{i,k}$$

Dove:

- $H_{D,k}$ è il coefficiente di scambio termico della parete [W/K]
- A_k è l'area della parete considerata [m²]
- U_k è la trasmittanza termica della parte, 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 parte, valutata in accordo alla UNI EN ISO 6946, comprensiva dei ponti termici, rapportando il coefficiente di dispersione per trasmissione all'area della parete considerata, secondo la formula [2]

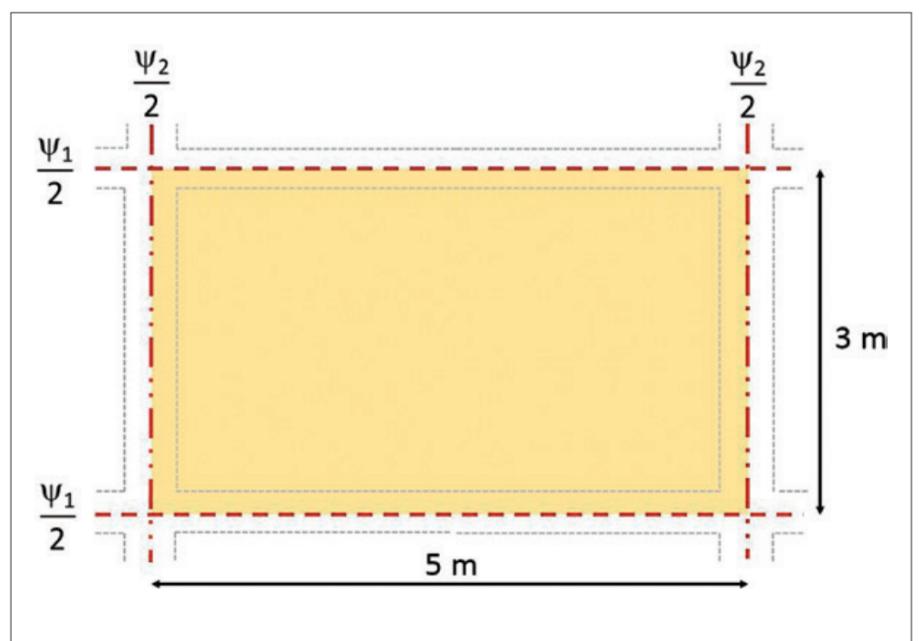


Figura 4 - Schematizzazione di parete perimetrale opaca e di tipologie di trasmittanze termiche lineiche ad esso associate

| Nome | Spessore [m] | Conducibilità [W/m²K] | Perm. vap. [kg/mPa 10 ⁻¹²] | Calore specifico [J/kg] | Densità [Kg/m³] |
|-----------------------------------|--------------|-----------------------|--|-------------------------|-----------------|
| Intonaco civile | 0.015 | 0.9 | 19 | 910 | 1800 |
| Blocchi in laterizio Poroton | 0.3 | 0.142 | 18 | 840 | 875 |
| Isolamento termico lana minerale | 0.07 | 0.034 | 65 | 1030 | 50 |
| Intercapedine ventilata | 0.06 | 0.5 | 193 | 1213 | 1.3 |
| Pannelli di rivestimento in cotto | 0.03 | 0.34 | 193 | 840 | 1140 |

Tabella 1 – Caratteristiche degli strati costituenti la parete perimetrale verticale

| Caratteristiche | Modulo | Sfasamento [h] |
|--|---------------|----------------|
| Ammittanza termica Y ₁₁ (lato 1) [W/(m² K)] | 3.261 | 2.932 |
| Ammittanza termica Y ₂₂ (lato 2) [W/(m² K)] | 0.456 | 1.184 |
| Trasmittanza periodica Y ₁₂ [W/(m² K)] | 0.0104 | -17.02 |
| Capacità termica aerea lato 1 [J/(m² K)] | 44766.99 | |
| Capacità termica aerea lato 2 [J/(m² K)] | 6268.07 | |
| Fattore di decremento | 0.0451 | |

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

$$U_{c,k} = \frac{H_{D,k}}{A_k}$$

Grazie all'analisi degli elementi finiti condotta, è possibile calcolare il valore di Ψ_1 in corrispondenza del nodo strutturale tra parete perimetrale e solaio. Nel caso specifico tale valore è pari a: 0.075 W/mK.

Questo risultato è da considerarsi più che sufficiente per considerare controllate le dispersioni del nodo e per garantire l'assenza di condensazioni superficiali, ma proviamo a contestualizzare il risultato, applicandolo a un caso reale. Esaminiamo una parete perimetrale di 15 m² (figura 4), considerata come sotto-modulo della facciata di un generico edificio con struttura a telaio e tamponamenti isolati come da caso di studio.

Vogliamo valutare la trasmittanza termica corretta U_c della parete, 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 Ψ_1 solaio – parete perimetrale è noto, ed ipotizziamo, per semplicità, che il nodo parete perimetrale – pilastro sia isolato termicamente fino a ottenere un valore di $\Psi_2=0$.

La trasmittanza termica della parete in sezione corrente U_c , senza il contributo dei ponti termici è pari a: 0.244 W/m²K. Utilizzando le formule [1] e [2], considerando il contributo dei ponti termici si ottiene un valore corretto di trasmittanza termica U_c della parete pari a: 0.269 W/m²K. Nonostante sia stata garantita la continuità dello strato di isolamento termico la discontinuità analizzata, riferita a una generica parete tipo porta a un incremento delle dispersioni superiore al 9%. Se, per ipotesi, la trasmittanza termica lineica Ψ_2 , controllata con la stessa tecnologia di isolamento termico, avesse un valore analogo a Ψ_1 , l'incremento percentuale della trasmittanza sarebbe superiore al 14%, portando U_c a un valore pari a: 0.284 W/m²K.

Analisi delle caratteristiche igrotermiche 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 e per disegnare il diagramma di Glaser si tie-

ne conto del contributo dei soli strati interni rispetto allo strato di ventilazione. La trasmittanza della parete, utilizzando i valori 0.13 e 0.13 per le resistenze liminari interna ed esterna, risulta essere circa 0.224 W/m²K, 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 copertura

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 statico 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 intercapedine ventilata dove gran parte dell'energia per irraggiamento è dissipata per effetto camino. Le principali caratteristiche in

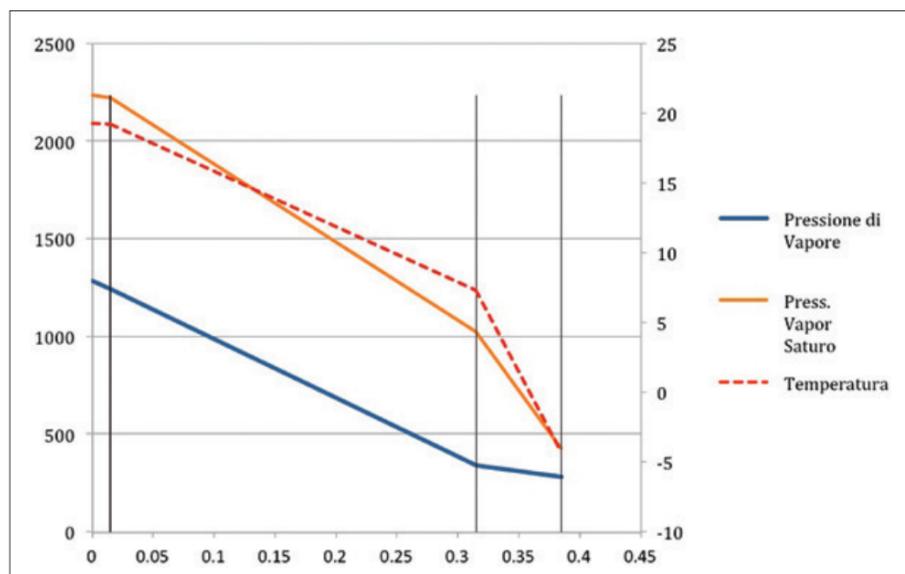


Figura 5 – Diagramma di Glaser della parete (esclusa intercapedine e rivestimento)

regime termico dinamico del componente, calcolate secondo UNI ISO 13786 sono riportate nella Tabella 2. Si osserva, in particolare, che la trasmittanza periodica è molto inferiore al valore limite di 0.12 W/m²K imposto in alcune Regioni ita-

liane. Ciò lascia presumere ottime prestazioni in regime dinamico poiché tale valore è stato calcolato trascurando il contributo dell'intercapedine ventilata che è significativo, ancorché non pienamente colto dal modello di calcolo della norma.

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