

POROTON[®]

QUADERNI TECNICI POROTON[®]

DETTAGLI COSTRUTTIVI: PONTI TERMICI

1



INDICE

Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi

Parte 1 – Ponti termici verticali	2
Parte 2 – Nodo parete – solaio	14
Parte 3 – Nodo parete – copertura	22
Parte 4 – Attacco parete – fondazione	31

Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi

Parte 1 – Ponti termici verticali

I ponti termici stanno assumendo sempre maggiore importanza nelle valutazioni energetiche. Le nuove UNI TS 11300:2014 prevedono inoltre una modifica sostanziale nella metodologia di valutazione dei ponti termici, in quanto impongono che essi vengano valutati con calcoli analitici o con atlanti conformi alla UNI EN ISO 14683, non permettendo più l'utilizzo di valori tabellati.

Inizia con questa Parte la presentazione di alcuni risultati, ottenuti dalle numerose analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia, sulle principali tipologie di ponti termici, al fine di fornire agli utilizzatori di murature POROTON® i dati richiesti per una corretta progettazione energetica dell'involucro.

1. Premessa

Il progetto dell'involucro edilizio risulta avere un'importanza crescente e non può prescindere da un'attenta valutazione dei ponti termici.

L'esigenza di ridurre i consumi energetici degli edifici, che da diversi anni si sta progressivamente accentuando, sta

portando all'adozione di involucri edilizi con livelli di isolamento sempre più spinti.

Nell'ambito della progettazione energetica, l'impatto della Direttiva 2010/31/CE (recepita dalla Legge 90/2013) si tradurrà nell'imposizione di vincoli ancora più restrittivi, al fine di conseguire l'obiettivo dell'edificio ad energia "quasi zero", spingendo in diversi casi ad un vero e proprio "iperisolamento" dell'involucro.

Tuttavia, un incremento così spinto dell'isolamento termico comporta una significativa accentuazione degli effetti del ponte termico che si possono trasformare in problematiche e criticità di difficile soluzione a posteriori. I principali effetti da tenere sotto controllo sono in particolare:

- 1) l'incidenza delle relative dispersioni sul fabbisogno globale di energia;
- 2) l'aumento del rischio di fenomeni di muffa e condensa.

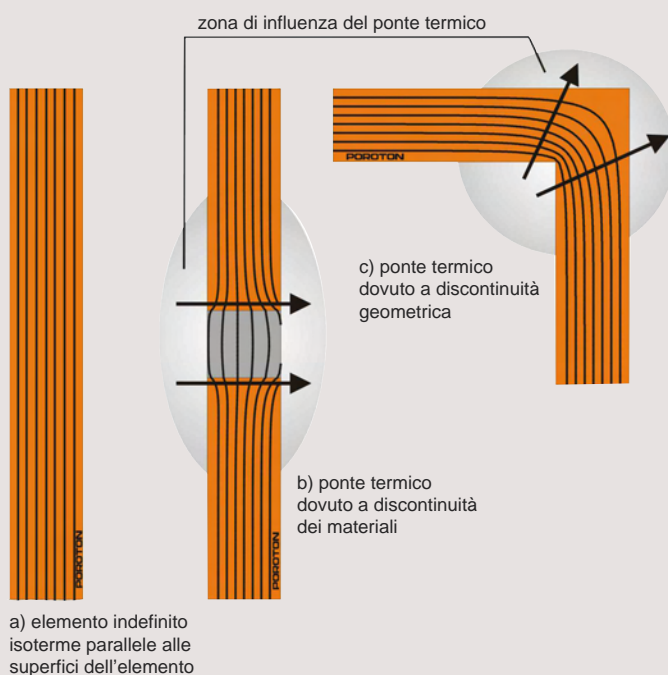
Riguardo il punto 1), questo chiarisce perché la revisione delle UNI TS 11300 abbia modificato in modo sostanziale l'approccio al calcolo dei ponti termici, imponendo di fatto l'obbligo di determinare la trasmittanza lineica attraverso calcoli numerici con metodi agli elementi finiti, secondo la UNI EN ISO 10211, o con abachi conformi alla UNI EN ISO 14683, eliminando la possibilità di ricorrere a valori tabellati o tabellari, peraltro nella maggior parte dei casi assai approssimativi e limitati a casistiche spesso diverse dalle condi-

zioni reali, allo scopo di ridurre sensibilmente l'errore nella valutazione dei ponti termici. Basti pensare che con calcoli numerici l'errore è dell'ordine del $\pm 5\%$, con calcoli manuali, cataloghi od abachi dei ponti termici del $\pm 20\%$, per arrivare ad errori fino al 50% nel caso di valori tabellati.

Riguardo il punto 2), non a caso i decreti attuativi della Legge 90/2013, di ormai imminente emanazione, introdurranno, con riferimento alla UNI EN ISO 13788:2013, la progettazione per evitare la crescita di muffe e danni connessi all'umidità ed imporranno anche la verifica dell'assenza della condensa interstiziale, mentre il vigente D.P.R. 59/2009 prevede solo la verifica dell'assenza della condensa superficiale, aspetto profondamente

Cosa si intende per ponte termico

Il ponte termico è dovuto ad una discontinuità nella struttura edilizia, che può essere di tipo geometrico (per esempio un angolo) e/o di tipo strutturale, cioè dovuta a variazioni dei materiali (ad esempio la presenza di un pilastro).



I ponti termici sono causati da discontinuità geometriche e/o da discontinuità dei materiali.

Un ponte termico si verifica generalmente laddove si ha una giunzione tra componenti strutturali dell'edificio (ponte termico geometrico) o dove la struttura stessa cambia composizione (ponte termico strutturale).

Queste discontinuità modificano l'andamento del flusso di calore creando vie di fuga preferenziali del calore che incrementano le dispersioni termiche dovute alla normale trasmissione del calore che viene generalmente valutata in regime stazionario.

Il parametro termofisico che caratterizza un ponte termico bidimensionale (nodo) è la trasmittanza termica lineica ψ (W/mK), che indica il flusso termico che, in regime stazionario, attraversa il nodo per una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1 K. Questo valore, moltiplicato per la lunghezza del ponte termico consente di valutare l'entità dell'extraflusso legato al ponte termico rispetto alla parete omogenea.

Per una corretta valutazione della trasmittanza termica lineica è necessario ricorrere a metodi di calcolo numerico con analisi agli elementi finiti. Gli atlanti dei ponti termici costituiscono uno strumento in genere rapido ma poco flessibile, bastano piccole differenze del nodo costruttivo reale rispetto a quello di riferimento per determinare un errore non valutabile che, in edifici con elevati livelli di isolamento termico, può avere incidenza non trascurabile.

diverso dal rischio muffa, e consente la presenza di condensa interstiziale nei limiti della quantità rievaporabile.

L'analisi dei ponti termici diventa allora necessaria non solo per valutare correttamente le prestazioni energetiche dell'edificio, applicare correttamente la normativa e rispettare le prescrizioni di legge, ma soprattutto al fine di garantire il mantenimento nel tempo delle condizioni di benessere, comfort e salubrità degli ambienti.

Partendo da questi presupposti il Consorzio POROTON® Italia ha deciso di svolgere una estesa campagna di analisi numeriche per una valutazione sistematica e parametrica delle principali tipologie di ponte termico che interessano le soluzioni in muratura POROTON®, così da poter fornire ai tecnici ed utilizzatori delle soluzioni costruttive proposte dal Consorzio tutte le informazioni utili sia per la corretta progettazione energetica, sia per evitare il rischio di muffe e condensa a tutela del benessere e comfort abitativo che le soluzioni POROTON® possono garantire.

2. Analisi numeriche dei principali tipi di ponte termico

Le analisi numeriche sono state svolte sulle più ricorrenti tipologie di ponte termico che coinvolgono pareti, muraure ed orizzontamenti (solai e coperture), di seguito riportate:

- parete con pilastro in c.a. (PT1)
- angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)
- angolo parete in muratura portante (PT3)
- attacco parete di tamponatura-solaio (PT4)
- attacco parete in muratura portante-solaio (PT5)
- attacco parete di tamponatura-copertura inclinata (PT6)

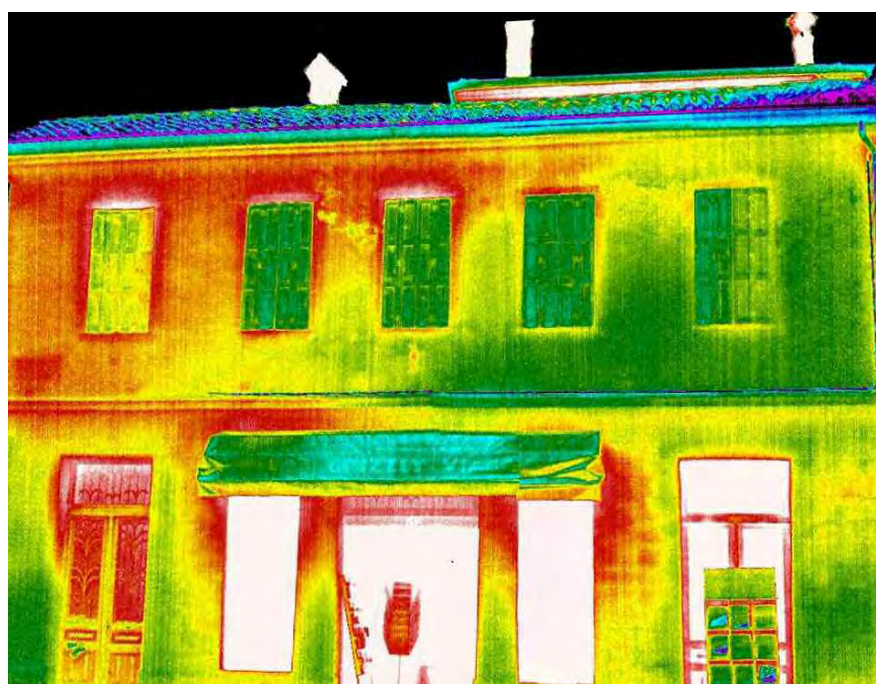
- attacco parete in muratura portante-copertura inclinata (PT7)
- attacco parete in muratura su fondazione aerata (PT8)

Le diverse tipologie di ponte termico sono state analizzate tramite calcoli numerici con metodi agli elementi finiti, utilizzando un software dedicato, "Mold Simulator Pro Ver. 2" (<http://www.dartwin.it/it/prodotto/moldpro/>) che consente di svolgere le analisi di qualsiasi tipologia di ponte termico in conformità alla UNI EN ISO 10211 e di eseguire verifiche inerenti il rischio di muffa e condensa secondo la UNI EN ISO 13788, tenendo sotto controllo e opportunamente valutando tutti gli effetti del ponte termico introdotti in "Premessa".

Le analisi sulle suddette tipologie di ponte termico sono state svolte al variare della conducibilità della muratura POROTON® considerata, dello spessore della muratura e dello spessore del rivestimento a cappotto esterno, al fine di determinare la trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico di molteplici configurazioni e varianti, valutando nel contempo

anche il parametro L_{2D} (coefficiente di accoppiamento termico) che rappresenta in pratica la dispersione termica complessiva del nodo, che è influenzata non solo dal ponte termico ma anche dalla trasmittanza termica della parete, e che risulta quindi un parametro fondamentale da considerare per la scelta della soluzione di parete ottimale.

Le analisi numeriche hanno consentito, inoltre, di calcolare la temperatura superficiale interna in corrispondenza del ponte termico, dato necessario alla determinazione del parametro f_{RSi} , fattore di temperatura in corrispondenza della superficie interna, che fornisce un indice di riferimento importante nella valutazione del rischio di formazione di muffa e condensa superficiale in corrispondenza dei ponti termici. Questa valutazione, essendo influenzata dalle condizioni climatiche del luogo, è stata svolta ipotizzando, per ciascuna soluzione analizzata, il suo impiego nella pertinente zona climatica (zona B, C, D, E) in funzione della trasmittanza termica U prevista per la suddetta zona dal D.Lgs. 192, D.Lgs. 311 e D.P.R. 59/2009.



3. Dettagli costruttivi dei ponti termici verticali

In questa Parte vengono presi in esame i ponti termici “verticali”, intendendo con questo termine riferirsi a quei ponti termici che hanno estensione lineare in verticale, in quanto vengono indotti dalla presenza di pilastri in c.a. e dagli angoli perimetrali.

Nello specifico si tratta del PT1, ponte termico “di materiale” che è dovuto alla presenza del pilastro in c.a. nella parete [fig. 1], del PT2, ponte termico sia “geometrico” che “di materiale”, dovuto alla presenza del pilastro in c.a. in corrispondenza dell’angolo perimetrale dell’involucro [fig. 2], e del PT3, ponte termico “geometrico”, dovuto all’angolo perimetrale dell’involucro [fig. 3].

Si rimanda alle Parti successive per la trattazione dei rimanenti ponti termici sopracitati.

Con riferimento agli schemi adottati per le analisi dei ponti termici esaminati [figg. 1, 2, 3], la tab. 1 riporta le caratteristiche fisico-geometriche delle stratigrafie e dei materiali considerati. Tutti i parametri fisici sui materiali sono stati ricavati dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

I ponti termici allo studio sono stati analizzati e confrontati applicando

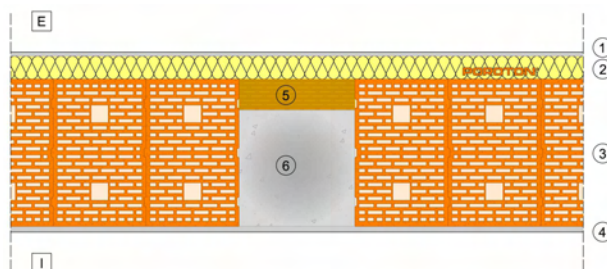


Fig. 1 – Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla presenza di un pilastro in c.a. nella parete (PT1).

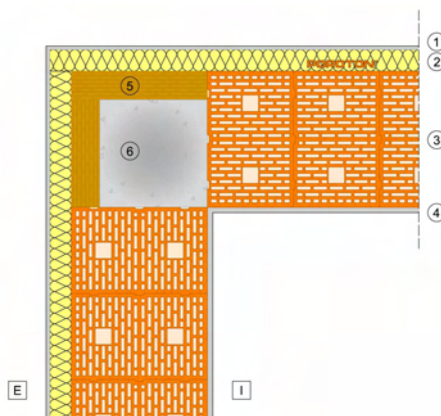


Fig. 2 – Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla presenza di un pilastro d’angolo in c.a. (PT2).

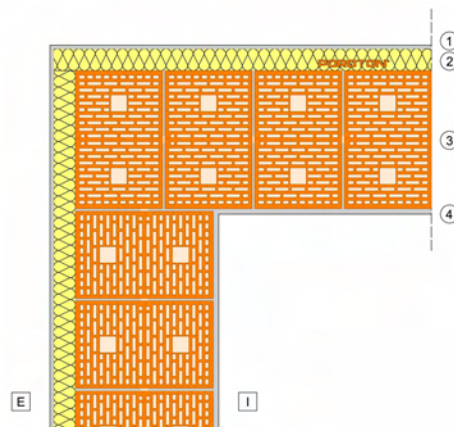


Fig. 3 – Dettaglio costruttivo del ponte termico dell’angolo in muratura portante (PT3)

ID	Materiali	Spessore (cm)	Densità (kg/m³)	Conducibilità termica (W/mK)	Calore specifico [J/kgK]	Resistenza alla diffusione vapore μ (adim)
1	Intonaco esterno	1,0	1500	0,53	1000	15
2	Isolante EPS – XPS	0 ÷ 8	20	0,036	1450	60
3	Muratura POROTON®	30 ÷ 42	650 ÷ 850	0,08 ÷ 0,23	1000	10
4	Intonaco interno	1,5	1500	0,53	1000	15
5	Calcestruzzo armato	30x30	2400	2,00	1000	80
6	Legno mineralizzato	5 ÷ 12	400	0,070	1810	5

Tab. 1 – Materiali considerati nei ponti termici “verticali” analizzati e loro principali caratteristiche termo-igrometriche.

Analisi e verifica del rischio muffa e condensa superficiale

L'incremento dell'isolamento termico dell'involucro edilizio ha anche accentuato le problematiche inerenti la formazione di condensa superficiale e muffa. Senza entrare troppo nel dettaglio dei meccanismi che regolano questi fenomeni, che sono piuttosto complessi e meriterebbero una specifica trattazione, le norme attuali prevedono di eseguire alcune verifiche sostanzialmente basate sulla temperatura superficiale e l'umidità interna degli ambienti.

La norma UNI EN ISO 13788⁽³⁾ prevede in sostanza di controllare:

- se la temperatura della superficie interna degli ambienti si abbassa localmente, anche solo per poco tempo, al di sotto del punto di rugiada corrispondente alla percentuale di umidità relativa interna, avviene in questi punti la condensazione dell'umidità con deposito di acqua sulla superficie;
- se la temperatura della superficie interna degli ambienti resta localmente, per un certo periodo di tempo, ad un livello tale da portare l'umidità relativa dell'aria interna in prossimità della parete a valori uguali o superiori all'80%, si creano condizioni favorevoli alla formazione di muffe.



La norma prevede quindi di verificare il rischio di condensa superficiale ed il rischio di formazione di muffa come conseguenza del verificarsi e/o del permanere di determinate condizioni di temperatura superficiale negli ambienti. È opportuno sapere che, nella realtà, la temperatura non è il fattore preponderante nel determinare il fenomeno della muffa, ma intervengono in modo determinante l'umidità e la disponibilità di sostanze "nutrienti", legate alle caratteristiche dei materiali ed alle loro capacità di adsorbimento del vapore, cioè alla capacità di regolare l'andamento dell'umidità interna. Da questo punto di vista il laterizio presenta ottime qualità.

L'esecuzione delle verifiche del rischio muffa e condensa previste dalla normativa porta a definire il fattore di temperatura superficiale interna f_{rsi} , definito dalla seguente relazione:

$$f_{rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta - \theta_e)$$

da confrontare con il fattore di temperatura superficiale interna di progetto $f_{rsi,min}$, definito da:

$$f_{rsi,min} = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

in cui θ_{si} è la temperatura della superficie interna, θ_e è la temperatura dell'aria esterna, θ_i è la temperatura operativa dell'aria interna e $\theta_{si,min}$ è la temperatura minima accettabile.

Il parametro f_{rsi} va calcolato sia per le condizioni che la norma indica per il rischio di condensa superficiale che per quelle indicate per il rischio di formazione di muffa.

In pratica, quanto più la temperatura superficiale interna risulta vicina alla temperatura dell'aria ambiente interna, tanto minore sarà il rischio di avere condizioni favorevoli alla formazione di con-

densa e muffe, cioè f_{rsi} tenderà a valori prossimi ad 1. È evidente che questo tipo di verifica è significativa in corrispondenza dei ponti termici, che rappresentano i punti maggiormente critici. Quando si ottengono valori di f_{rsi} superiori ai valori di $f_{rsi,min}$ la verifica risulta soddisfatta.

Poiché il risultato è influenzato dalla zona climatica, in quanto entra in gioco anche la temperatura esterna, essa è stata svolta nelle analisi qui presentate considerando località di riferimento ubicate in diverse zone climatiche nazionali in relazione alla trasmittanza termica U della soluzione oggetto di analisi.

In altri termini, non ha alcun senso svolgere una verifica sul rischio di muffa e condensa su soluzioni aventi valori di trasmittanza non adeguati alla zona climatica, cioè dove queste non sono di per sé applicabili, o dove se ne sconsiglia l'impiego, a causa dell'insufficiente livello di isolamento termico fornito in relazione alle condizioni climatiche.

diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato, di tamponatura e portante, avente spessori variabili da 30 a 42 cm, mantenendo invariata la dimensione del pilastro, assunta pari a 30x30 cm.

Si è ipotizzata la finitura interna della parete con intonaco interno di spessore 1,5 cm, mentre esternamente si sono considerate diverse soluzioni, mantenendo in ogni caso la stessa finitura esterna costituita da intonaco esterno di spessore 1 cm, variando il rivestimento a cappotto in EPS tra 0 ed 8 cm di spessore, considerando dunque anche il caso di assenza di cappotto.

Per spessori della muratura di tamponatura maggiori di quello del pilastro si è prevista l'applicazione su di esso di un materiale isolante (pannello in legno mineralizzato) per livellare lo spessore [figg. 1 e 2], materiale che si è assunto essere EPS nel caso di assenza di cappotto.

In relazione all'impatto che i ponti termici possono avere sul risparmio energetico ed il comfort abitativo, risulta evidente come dal punto di vista ingegneristico sia importante individuare, quantificare e correggere le zone afflitte da ponti termici già a partire dalle fasi progettuali di un edificio, cercando anche di evitarne per quanto possibile la presenza.

Risulta in tal senso interessante confrontare, per le suddette casistiche, la soluzione con telaio in c.a. e muratura di tamponamento con la soluzione in muratura portante senza pilastri, per comprendere quale sia l'incidenza reale dei ponti termici in queste configurazioni ed il vantaggio che si può avere nel limitarne la presenza.

È immediato rilevare che, utilizzando una struttura in muratura portante il ponte termico PT1 viene eliminato completamente, mentre il ponte termico d'angolo, che in presenza del

pilastro in c.a. è un ponte termico sia "geometrico" che "di materiale" (PT2) si ridimensiona sostanzialmente, riducendosi ad un semplice ponte termico "geometrico" (PT3).

4. Risultati e considerazioni

Si espongono di seguito, per ciascuno dei ponti termici in esame, alcuni risultati significativi delle analisi svolte, sia con riferimento alla correzione dei ponti termici, sia con riferimento alle verifiche di muffa e condensa, con le opportune considerazioni.

Si precisa che per tutte le stratigrafie considerate non sussiste mai, in alcuna zona climatica, il problema di formazione di condensa interstiziale.

Riguardo la verifica del rischio muffa e condensa, in relazione alla trasmittanza termica delle soluzioni qui presentate (tutte caratterizzate da $U < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), essa è stata sempre svolta con riferimento ai dati climatici di Milano (zona climatica E)⁽⁹⁾.

Le condizioni di umidità interne per la verifica del rischio muffa sono riferite ad edifici ad uso abitativo senza ventilazione meccanica controllata. I valori minimi del fattore f_{Rsi} da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788, sono i seguenti:

- rischio condensa superficiale:
 $f_{Rsi,min} = 0,630$
- rischio muffa:
 $f_{Rsi,min} = 0,678$

4.1. Parete con pilastro in c.a. (PT1)

La parete rettilinea in muratura con pilastro in c.a. [fig. 1] è una soluzione usualmente riscontrabile in edifici costruiti con struttura intelaiata in calcestruzzo armato. Sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato di tamponatura, mante-

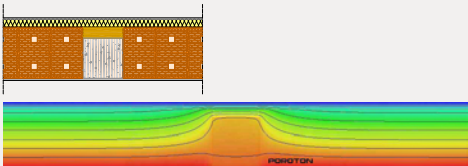
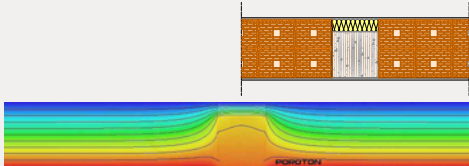
nendo invariata la dimensione del pilastro, secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati.

Dalle analisi svolte è emerso che soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti considerate, conducono agli stessi risultati in termini di coefficiente di accoppiamento termico L_{2D} , che rappresenta in pratica il flusso termico complessivo scambiato nel nodo, sia utilizzando una muratura di tamponamento POROTON® con applicazione di un rivestimento a cappotto, sia optando per una muratura di tamponamento con blocchi POROTON® termicamente più performanti senza cappotto.

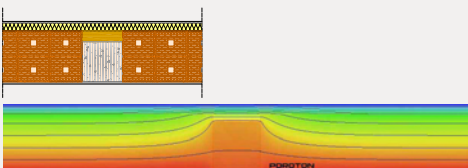
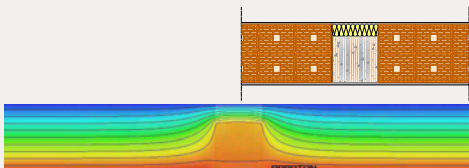
Lo stesso vale anche per la verifica a muffa e condensa: come detto, i fattori f_{Rsi} sono riferiti in questo caso, in relazione alla trasmittanza termica U dei pacchetti murari considerati, alla zona climatica E (località Milano), e risultano ampiamente superiori ai valori limite richiesti, precedentemente riportati.

Quanto osservato è immediatamente leggibile dagli esempi specifici riportati in tab. 2 e in tab. 3, che mettono a confronto soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

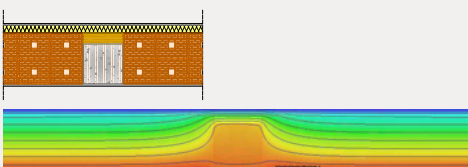
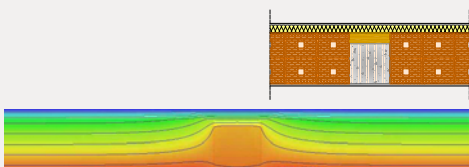
Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con le analoghe stratigrafie precedentemente introdotte. In particolare la stratigrafia PT1-E, corrisponde alla PT1-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT1-A, allo 0,13 W/mK di PT1-E, miglioramento che si ottiene semplicemente adottando un blocco o per meglio dire, un sistema di muratura POROTON® termicamente più performante.

PT1-A		PT1-B	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m ² K)	0,306	U (W/m ² K)	0,318
ψ (W/mK)	0,086	ψ (W/mK)	0,120
L _{2D} (W/mK)	1,307	L _{2D} (W/mK)	1,393
f _{Rsi} (adim.)	0,852	f _{Rsi} (adim.)	0,828

Tab. 2 – Confronto tra le stratigrafie PT1-A e PT1-B.

PT1-C		PT1-D	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp.42 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	0,290
ψ (W/mK)	0,047	ψ (W/mK)	0,087
L _{2D} (W/mK)	1,221	L _{2D} (W/mK)	1,237
f _{Rsi} (adim.)	0,877	f _{Rsi} (adim.)	0,857

Tab. 3 – Confronto tra le stratigrafie PT1-C e PT1-D.

PT1-E		PT1-F	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm	
			
U (W/m ² K)	0,249	U (W/m ² K)	0,261
ψ (W/mK)	0,105	ψ (W/mK)	0,060
L _{2D} (W/mK)	1,099	L _{2D} (W/mK)	1,104
f _{Rsi} (adim.)	0,855	f _{Rsi} (adim.)	0,877

Tab. 4 – Stratigrafie PT1-E e PT1-F.



Si osserva che a parità di stratigrafia, il semplice miglioramento della qualità della muratura, conduce ad una consistente riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) e con una sostanziale analogia di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica ψ e di fattore di temperatura superficiale interna f_{RSi} . Ciò è confermato anche dalla PT1-F che corrisponde alla PT1-C, con la sola differenza che la λ_{eq} è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT1-C, allo 0,18 W/mK di PT1-F.

La scelta complessivamente migliore è dunque quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON®, utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere inoltre una serie di vantaggi aggiuntivi in termini di inerzia termica ed isolamento acustico dell'involucro.

È opportuno evidenziare, infine, che una soluzione ancora migliore consiste nell'utilizzare, ove possibile, una struttura in muratura portante eliminando di fatto completamente questo tipo di ponte termico.

L'importanza di disporre di dati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici risulta evidente se si considera il confronto con valori reperibili da tabelle o da abachi conformi alla UNI EN ISO 14683. Infatti, i dati riportati in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683, peraltro non più utilizzabili in base alle indicazioni della UNI TS 11300-1:2014, addirittura non contemplano le casistiche sopra esposte, che pure rappresentano condizioni che ricorrono frequentemente nella realtà. Anche l'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹⁾ è piuttosto approssimativo a riguardo, in quanto ritiene addirittura trascurabile l'effetto di ponte termico nei casi PT1-A, PT1-C, PT1-E e PT1-F (considerando quindi $\psi=0$) e non contempla neppure i casi PT1-B e PT1-D.

4.2. Angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)

Uno dei ponti termici più diffusi e che richiede particolare attenzione è rappresentato dall'angolo perimetrale con pilastro in c.a. [fig. 2]. In analogia al caso precedente, sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato di tamponatura mantenendo invariata la dimensione del pilastro, secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati.

È opportuno precisare che, in questo caso, possono essere calcolati due valori della trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico, uno riferito alle dimensioni esterne (ψ_e) ed uno riferito alle dimensioni interne del nodo (ψ_i).

Se la superficie disperdente verrà calcolata con riferimento alle dimensioni interne si utilizzerà ψ_i , se invece la superficie disperdente sarà calcolata considerando le dimensioni esterne si utilizzerà ψ_e .

Le considerazioni che discendono dalle analisi svolte sul ponte termico PT2, sono sostanzialmente analoghe a quelle del ponte termico PT1.

A parità di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti infatti, si conferma parimenti prestante la scelta di una muratura di tamponamento con blocchi POROTON® termicamente più performanti senza cappotto rispetto ad una muratura di tamponamento con blocchi meno performanti e rivestimento a cappotto; l'incremento di spessore della muratura conduce ad un'adeguata correzione del ponte termico analogamente alle soluzioni con cappotto e consente di realizzare un involucro con maggiore inerzia termica e migliori prestazioni di isolamento acustico.

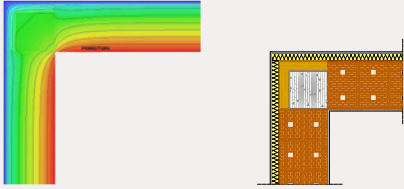
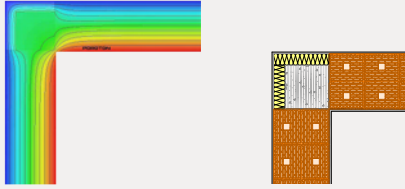
Tali osservazioni sono direttamente

leggibili dai parametri termici restituiti dalle analisi svolte e riportati negli esempi specifici di tab. 5 e tab. 6, che mettono a confronto soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

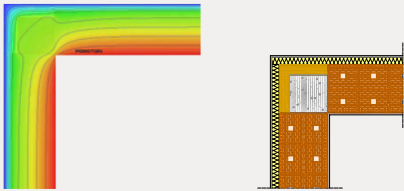
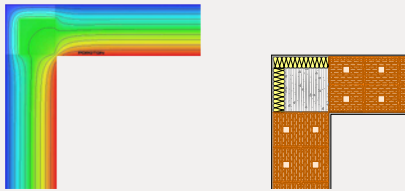
Nella tab. 7 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con le analoghe stratigrafie precedentemente introdotte. PT2-E, corrisponde alla PT2-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT2-A, allo 0,13 W/mK di PT2-E. Analogamente PT2-F corrisponde alla PT2-C, con la sola differenza che la λ_{eq} è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT2-C, allo 0,18 W/mK di PT2-F.

Così come visto per il ponte termico del pilastro in linea (PT1), anche nel caso di ponte termico con pilastro d'angolo che stiamo discutendo, impiegare una muratura termicamente più performante, a parità degli altri parametri della stratigrafia conduce ad una riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) e con una sostanziale uguaglianza di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica ψ e di fattore di temperatura superficiale f_{RSi} . Come nel caso precedente (PT1), la scelta complessivamente migliore è quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON®, utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere inoltre elevata inerzia termica ed isolamento acustico dell'involucro.

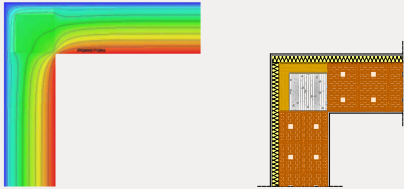
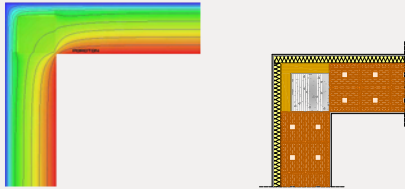
La soluzione ottimale sarebbe comunque quella di utilizzare, ove possibile, una struttura in muratura portante eliminando in tal modo la presenza dei pilastri d'angolo, che permette di ridurre drasticamente l'incidenza di questo ponte termico, come viene evidenziato nel paragrafo successivo.

PT2-A		PT2-B	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m ² K)	0,306	U (W/m ² K)	0,318
ψ_i (W/mK)	0,155	ψ_i (W/mK)	0,137
ψ_e (W/mK)	-0,084	ψ_e (W/mK)	-0,112
L _{2D} (W/mK)	1,284	L _{2D} (W/mK)	1,314
f _{Rsi} (adim.)	0,721	f _{Rsi} (adim.)	0,701

Tab. 5 – Confronto tra le stratigrafie PT2-A e PT2-B.

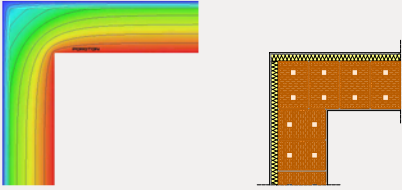
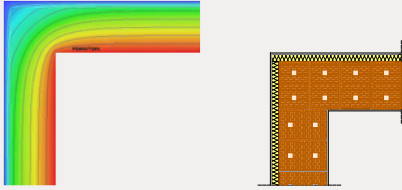
PT2-C		PT2-D	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 42 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	0,290
ψ_i (W/mK)	0,145	ψ_i (W/mK)	0,115
ψ_e (W/mK)	-0,096	ψ_e (W/mK)	-0,134
L _{2D} (W/mK)	1,230	L _{2D} (W/mK)	1,188
f _{Rsi} (adim.)	0,757	f _{Rsi} (adim.)	0,735

Tab. 6 – Confronto tra le stratigrafie PT2-C e PT2-D.

PT2-E		PT2-F	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm	
			
U (W/m ² K)	0,249	U (W/m ² K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,147	ψ_i (W/mK)	0,139
ψ_e (W/mK)	-0,047	ψ_e (W/mK)	-0,075
L _{2D} (W/mK)	1,067	L _{2D} (W/mK)	1,105
f _{Rsi} (adim.)	0,721	f _{Rsi} (adim.)	0,753

Tab. 7 – Stratigrafie PT2-E e PT2-F.

Tab. 8 – Confronto tra le soluzioni PT3-C e PT3-F.

PT3-C		PT3-F	
Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm	
			
U (W/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,097	ψ_i (W/mK)	0,081
ψ_e (W/mK)	-0,143	ψ_e (W/mK)	-0,133
L _{2D} (W/mK)	1,183	L _{2D} (W/mK)	1,047
f _{RSi} (adim.)	0,837	f _{RSi} (adim.)	0,852

Si segnala, infine, che anche questa tipologia di ponte termico non è contemplata in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683 (per quanto essa non risulti attualmente più utilizzabile), mentre l'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹¹⁾ fornisce una relazione per la stima della trasmittanza termica lineica (ψ_i o ψ_e) per casistiche solo similari a quelle analizzate.

Non viene infatti contemplato il caso del pilastro che rientra rispetto al filo esterno della tamponatura, pertanto l'uso delle relazioni disponibili porta ad ottenere valori alquanto approssimati: nel caso del ponte termico PT2-C, utilizzando la formula del caso più "simile" (ASP.005) sarebbe necessario un adattamento della stessa alla configurazione specifica che porterebbe a stimare una trasmittanza termica lineica che differisce in senso peggiorativo di circa il 20% rispetto a quella ottenuta dall'analisi numerica del caso esaminato nella presente Parte, a conferma dell'importanza di disporre di risultati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici per valutare correttamente le dispersioni dell'involucro edilizio.

4.3. Angolo parete in muratura portante (PT3)

Nel caso si realizzi una struttura in muratura portante, oltre ad eliminare la presenza dei ponti termici dovuti al pilastro in linea (PT1), si può ridurre notevolmente l'incidenza dei ponti termici dovuti agli angoli perimetrali.

Anche per questa casistica sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura portante POROTON® monostrato secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati. Nel caso di muratura portante, l'esigenza di impiegare in zone sismiche, per esigenze strutturali, blocchi con percentuale di foratura non superiore al 45% pone un limite anche alle caratteristiche termiche della muratura, pertanto in molti casi per raggiungere le prestazioni richieste si ricorre all'applicazione di un rivestimento a cappotto.

Come era logico attendersi, le analisi mostrano come a parità di stratigrafia e di spessore della parete, l'impiego di una muratura in blocchi POROTON® termicamente più performante permetta di ridurre l'incidenza del ponte termico e di incrementare l'isolamento termico

(L_{2D} più basso), riducendo nel contempo il rischio di muffa e condensa (f_{RSi} più elevato). Ciò è facilmente rilevabile nel confronto riportato in tab. 8.

In questo caso, ciò che risulta più interessante osservare sta nel raffronto tra questa soluzione (PT3) e l'angolo con pilastro in c.a. (PT2); confrontando infatti il ponte termico PT3-C con l'analogo PT2-C, caratterizzati dalla stessa muratura POROTON® sia come prestazione termica λ_{eq} che come spessore e dallo stesso spessore del cappotto isolante esterno, emergono le migliori prestazioni del nodo senza pilastro, leggibili dalla riduzione del flusso globale e della trasmittanza termica lineica, essendo minori L_{2D} e ψ_i , e dall'aumento del fattore di temperatura f_{RSi} che aumentando ci allontana ulteriormente dal rischio muffa e condensa superficiale.

Le stesse considerazioni sono confermate comparando PT3-F e PT2-F, e sono generalmente estendibili a tutte le soluzioni analizzate.

In fig. 4 si riporta infine un grafico che rappresenta la percentuale media di riduzione della trasmittanza termica lineica ψ_i del ponte termico PT3 rispetto al ponte termico PT2 per diversi

spessori della muratura, con e senza rivestimento a cappotto.

Riguardo il confronto con dati tabellari, l'Appendice A della norma UNI EN ISO 14683 (per quanto non più utilizzabile) fornisce per l'angolo in muratura continua, sia nella configurazione con rivestimento esterno a cappotto che senza, valori che risultano in generale cautelativi (cioè peggiorativi) rispetto a quelli rilevati con le analisi numeriche.

L'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹¹⁾ fornisce specifiche relazioni sia per l'angolo in muratura continua senza cappotto (ASP.011) che per l'angolo in muratura continua con cappotto esterno (ASP.008). Tuttavia, il campo di impiego di queste formule è limitato a murature aventi una conducibilità termica equivalente $0,23 \leq \lambda_{eq} \leq 0,81$ W/mK. In pratica esse non risultano applicabili alla maggior parte delle murature moderne in blocchi ad elevate prestazioni termiche, che presentano λ_{eq} frequentemente minore di 0,23 W/mK. Nel caso del PT3-A, che si pone al limite inferiore del range di applicabilità delle suddette relazioni, le tra-

smittanze termiche lineiche stimabili risultano: $\psi_e = -0,128$ W/mK (da analisi numerica -0,143 W/mK) e $\psi_i = 0,103$ W/mK (da analisi numerica 0,097 W/mK), valori quindi abbastanza vicini a quelli calcolati.

La limitazione dell'applicabilità delle relazioni rende tuttavia indispensabile, nella maggior parte dei casi inerenti edifici di nuova costruzione, disporre anche in questo caso di dati derivanti dall'analisi numerica per un computo corretto dei ponti termici, senza dimenticare che solo tramite l'analisi numerica è possibile svolgere una valutazione accurata del rischio di formazione di muffa e condensa.

5. Conclusioni

La spinta al risparmio energetico ed alla realizzazione di edifici a basso consumo impone l'adozione di soluzioni d'involucro ed impiantistiche sempre più performanti.

Per perseguire questo obiettivo diventano fondamentali tutte le scelte progettuali che coinvolgono i tecnici della filiera, dallo strutturista al termotecnico, dall'impiantista al tecnico in acusti-

ca, al fine di riuscire a soddisfare in modo equilibrato le diverse esigenze prestazionali.

In questo contesto anche i ponti termici, computati in modo spesso approssimativo, dovranno essere riconsiderati, come peraltro imposto dalle recenti norme in materia di risparmio energetico, in quanto in involucri con isolamento termico sempre maggiore la loro incidenza può risultare significativa. Nella maggior parte dei casi riferimenti tabellari ed abachi, anche se accurati, non riescono a fornire dati per le soluzioni costruttive attualmente adottate e l'unica soluzione è disporre di informazioni derivanti da analisi numeriche. Lo stesso dicasi per le verifiche al rischio di formazione di muffa e condensa, che richiedono la determinazione della temperatura superficiale interna per una valutazione accurata. Con riferimento ai ponti termici verticali trattati nella presente Parte, le analisi svolte evidenziano che, in presenza di pilastri in c.a., questi devono essere sempre opportunamente progettati esternamente con un adeguato spessore di materiale isolante, che non necessariamente è rappresentato dal

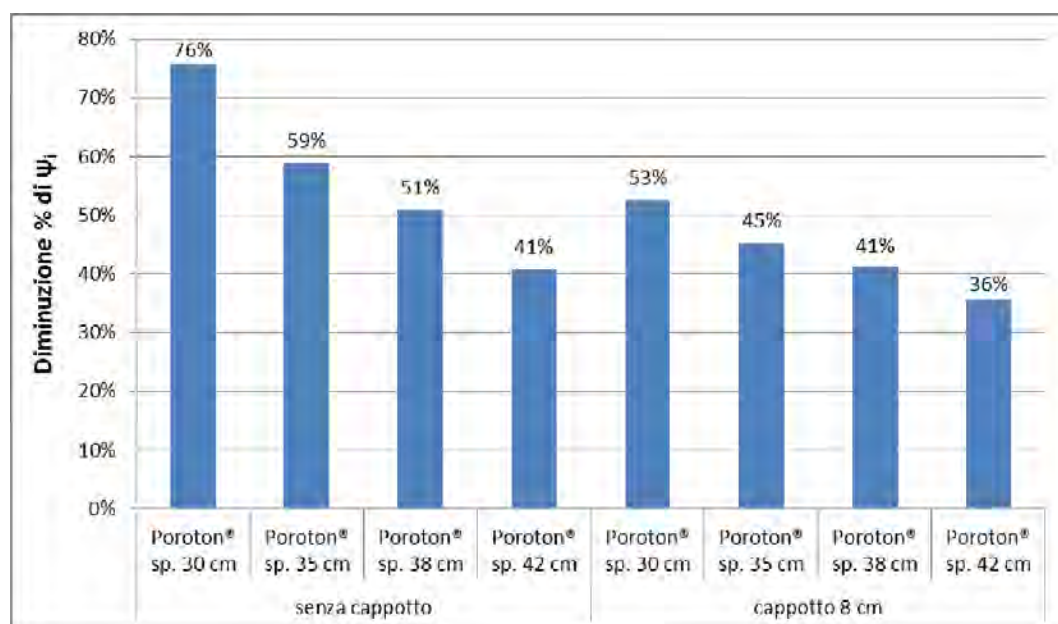


Fig. 4 - Diminuzione % della trasmittanza termica lineica ψ_i tra ponte termico con pilastro d'angolo (PT2) e ponte termico dell'angolo in muratura continua (PT3).



rivestimento a cappotto. Per le tamponature, in particolare, esso può essere validamente sostituito dall'impiego di murature in blocchi ad elevate prestazioni termiche di grande spessore. In generale, a parità di stratigrafia e spessore, è opportuno utilizzare blocchi POROTON® con qualità termiche migliori che permettono di ridurre le dispersioni complessive dell'involucro garantendo una adeguata correzione dei ponti termici e riducendo il rischio di formazione di muffa e condensa

superficiale. Infine, l'adozione di strutture in muratura portante in luogo del telaio in c.a. tamponato, ove compatibile con le caratteristiche progettuali dell'opera, è da preferire dato che permette di eliminare i ponti termici dovuti ai pilastri in linea (PT1) e conduce ad una riduzione significativa dell'incidenza dei ponti termici d'angolo (PT2 e PT3), riducendone la dispersione e allontanando ulteriormente il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale. La campagna di

analisi numeriche svolta dal Consorzio POROTON® Italia per caratterizzare le principali tipologie di ponte termico che coinvolgono le soluzioni in muratura POROTON® permette dunque di fornire al tecnico dati precisi ed attendibili per la scelta di soluzioni di involucro termicamente prestanti e nello stesso tempo in grado di soddisfare i requisiti igrometrici, strutturali ed acustici richiesti dalle norme, e si aggiunge ai servizi di assistenza tecnica che il Consorzio può offrire.

Bibliografia

- (1) UNI EN ISO 14683:2008 *"Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"*
- (2) UNI EN ISO 10211:2008 *"Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"*
- (3) UNI EN ISO 13788:2013 *"Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo"*
- (4) UNI/TS 11300-1:2014 *"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"*
- (5) UNI/TS 11300-2:2014 *"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali"*
- (6) UNI EN ISO 10456:2008 *"Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"*
- (7) UNI EN 1745:2012 *"Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche"*
- (8) UNI EN ISO 6946:2008 *"Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"*
- (9) UNI 10349-1:2016 *"Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici - Parte 1"*
- (10) D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, *"Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"* e s.m.i.
- (11) CENED - Regione Lombardia *"Abaco dei ponti termici"*, http://www.cened.it/documenti_tecnici

Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi

Parte 2 – Nodo Parete-Solaio

Prosegue in questa Parte la trattazione della tematica dei ponti termici, iniziata nella Parte 1, nella quale sono stati analizzati i ponti termici di pilastri ed angoli. Si presenta in questa Parte un'altra casistica molto ricorrente, che riguarda la connessione tra parete e solaio, con riferimento alle analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia per fornire agli utilizzatori di murature POROTON® i dati richiesti per una corretta progettazione energetica dell'involucro.

1. Premessa

La tendenza in atto di incrementare l'isolamento termico degli edifici, arrivando in alcuni casi ad un vero e proprio "iperisolamento", accentua gli effetti dei ponti termici che si manifestano in termini di:

1) maggiore incidenza delle relative dispersioni sul fabbisogno globale di energia;

2) aumento del rischio di fenomeni di muffa e condensa;

con il rischio di compromettere anche il benessere ed il comfort abitativo interno.

Si rimanda alla Parte 1 per quanto attiene considerazioni e riferimenti normativi più precisi che impongono a tecnici e progettisti di analizzare con accuratezza i dettagli dei ponti termici.

Partendo da questi presupposti, tenendo conto che solo con analisi numeriche è possibile svolgere le valutazioni richieste dalle norme e progettare correttamente i particolari costruttivi dei nodi, il Consorzio POROTON® Italia ha deciso di svolgere una estesa campagna di analisi numeriche per una valutazione sistematica e parametrica delle principali tipologie di ponte termico che interessano le soluzioni in muratura POROTON®, così da poter fornire ai tecnici ed utilizzatori delle soluzioni costruttive proposte dal Consorzio tutte le informazioni utili sia per la corretta progettazione energetica, sia per evitare il rischio di muffe e condensa a tutela del benessere, comfort abitativo e salubrità, che le soluzioni POROTON® possono garantire.

2. Analisi numeriche dei principali tipi di ponte termico

Le analisi numeriche sono state svolte sulle più ricorrenti tipologie di ponte termico che coinvolgono pareti, muraure ed orizzontamenti (solai e coperture), di seguito riportate:

- parete con pilastro in c.a. (PT1)
- angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)
- angolo parete in muratura portante (PT3)
- attacco parete di tamponatura-solaio (PT4)
- attacco parete in muratura portante-solaio (PT5)
- attacco parete di tamponatura-copertura inclinata (PT6)
- attacco parete in muratura portante-copertura inclinata (PT7)
- attacco parete in muratura su fondazione aerata (PT8)

Le diverse tipologie di ponte termico sono state analizzate tramite calcoli numerici con metodi agli elementi

finiti, utilizzando un software dedicato, "Mold Simulator Pro Ver. 2" (<http://www.dartwin.it/it/prodotto/moldpro/>) che consente di svolgere le analisi di qualsiasi tipologia di ponte termico in conformità alla UNI EN ISO 10211⁽²⁾ e di eseguire verifiche inerenti il rischio di muffa e condensa secondo la UNI EN ISO 13788⁽³⁾.

Nella Parte 1 sono state descritte le modalità di calcolo adottate e le condizioni al contorno assunte nello svolgimento delle analisi numeriche, e sono stati presentati e discussi alcuni risultati sui ponti termici verticali (PT1), (PT2), (PT3).

Nella presente Parte si procederà con l'esposizione di risultati e considerazioni sui ponti termici orizzontali, a partire dai ponti termici relativi all'attacco parete-solaio (PT4) e (PT5).

Si rimanda alle successive Parti del presente Quaderno Tecnico per la trattazione delle altre casistiche di ponte termico precedentemente elencate.

3. Dettagli costruttivi dei nodi "Parete-Solaio"

Quando ci si riferisce alla connessione tra parete verticale e solaio le condi-

zioni sono in generale diverse se si tratta di una muratura di tamponatura (PT4) piuttosto che di una muratura portante (PT5).

L'incidenza dell'elemento in c.a. cambia in quanto nel caso di strutture a travi e pilastri in c.a. la dimensione delle travi è in generale maggiore rispetto a quella dei cordoli presenti nel caso di strutture in muratura portante. Si tratta in ogni caso di ponti termici sia "geometrici" che "di materiale", dovuti alla presenza dell'elemento in c.a. ed alla variazione di geometria indotta dall'innesto del solaio.

Con riferimento agli schemi adottati per le analisi dei ponti termici esaminati [figg. 1, 2], la tab. 1 riporta le caratteristiche fisico-geometriche delle stratigrafie e dei materiali considerati. Tutti i parametri fisici sui materiali sono stati ricavati dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾. Per il solaio, esso è stato considerato in laterocemento di spessore 20+4 cm. Per il sottofondo in cls alleggerito per il passaggio degli impianti e per la guaina anticalpestio si è fatto riferimento a schede tecniche di specifici materiali in commercio di corrente impiego, così come per il pac-

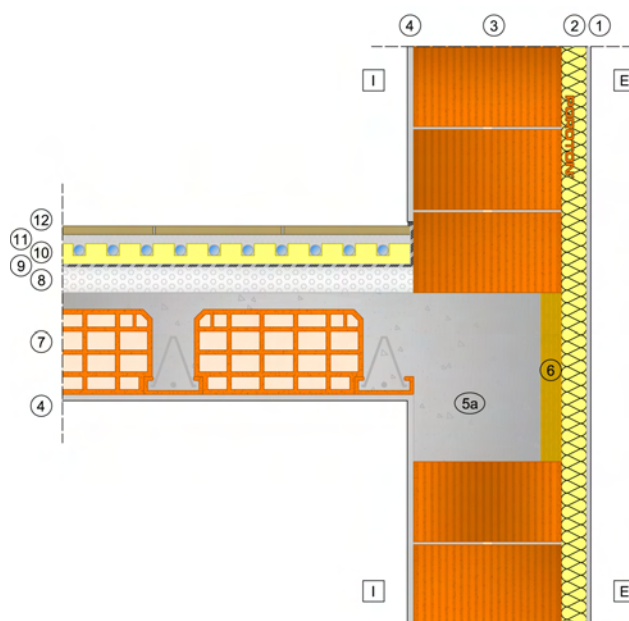


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra solaio con trave in c.a. e tamponatura esterna (PT4).

chetto dell'impianto radiante e per il pavimento.

I ponti termici allo studio sono stati analizzati e confrontati applicando diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato, di tamponatura e portante, avente spessori variabili da 30 a 42 cm. Per le soluzioni con telaio in c.a. e muratura di tamponatura si è mantenuta invariata la dimensione della trave, assunta di larghezza pari a 30 cm ed altezza di 40 cm; nel caso di struttura in muratura portante si è considerata invece la presenza di un cordolo in c.a. conforme ai requisiti geometrici stabiliti dal D.M. 14/01/2008 (NTC 2008)⁽⁸⁾, quindi di altezza pari all'altezza del solaio (24 cm) e larghezza pari a quella della muratura portante considerata con un arretramento di 6 cm dal filo esterno. Si è ipotizzata la finitura interna della

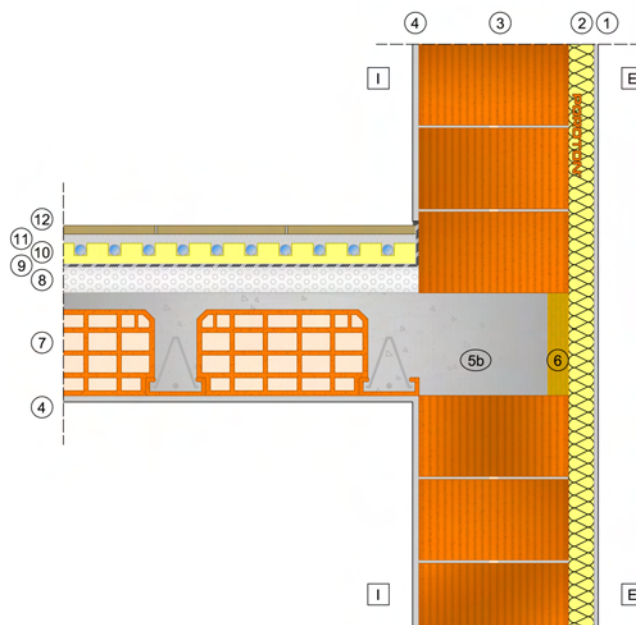


Fig. 2 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra solaio con cordolo in c.a. e muratura portante esterna (PT5).

parete con intonaco interno di spessore 1,5 cm, mentre esternamente si sono considerate diverse soluzioni, mantenendo in ogni caso la stessa

finitura esterna costituita da intonaco esterno di spessore 1 cm, variando il rivestimento a cappotto in EPS tra 0 ed 8 cm di spessore, considerando dun-

ID	Materiali	Spessore (cm)	Densità (kg/m ³)	Conducibilità termica (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Resistenza alla diffusione vapore μ (adim)
1	Intonaco esterno	1,0	1500	0,53	1000	15
2	Isolante EPS - XPS	0 ÷ 8	20	0,036	1450	60
3	Muratura POROTON®	30 ÷ 42	650 ÷ 850	0,08 ÷ 0,23	1000	10
4	Intonaco interno	1,5	1500	0,53	1000	15
5a	Trave in c.a. (H40 cm)	30	2400	2,00	1000	80
5b	Cordolo in c.a. (H24 cm)	24 ÷ 36	2400	2,00	1000	80
6	Legno mineralizzato	5 ÷ 12	400	0,07	1810	5
7	Solaio laterocemento	20 + 4	1150	0,74	1000	40
8	Sottofondo in cls alleggerito	6	600	0,15	1000	20
9	Guaina anticalpestio	0,8	40	0,04	1000	2000
10	Isolante XPS per impianto radiante	2	20	0,036	1450	60
11	Massetto impianto radiante	5	2200	1,65	1000	70
12	Piastrelle in ceramica	2	2300	1,30	840	∞

Tab. 1 - Materiali considerati nei ponti termici (PT4) e (PT5) e loro principali caratteristiche termo-igrometriche.

que anche il caso di assenza di cappotto. Per spessori della muratura di tamponatura maggiori di quello della trave si è prevista l'applicazione su di essa di un materiale isolante (pannello in legno mineralizzato) per livellare lo spessore [fig. 1], materiale che si è assunto essere EPS nel caso di assenza di cappotto. In modo analogo si è operato per l'arretramento di 6 cm del cordolo rispetto al filo esterno della muratura nel caso di struttura in muratura portante [fig. 2].

4. Risultati e considerazioni

Si espongono di seguito, per i ponti termici in esame, alcuni risultati significativi delle analisi svolte, sia con riferimento alla correzione dei ponti termici in termini di flusso termico, sia con riferimento alle verifiche di muffa

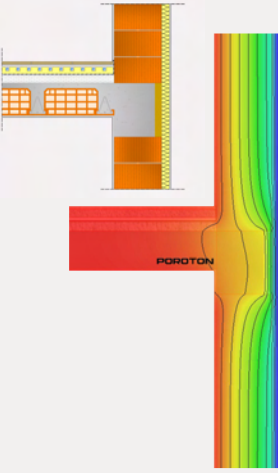
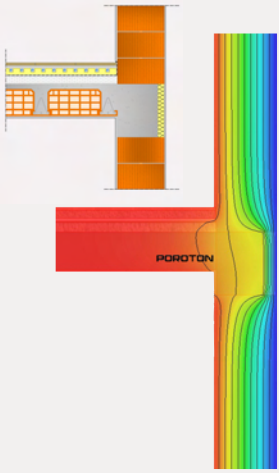
e condensa, con le opportune considerazioni. Si precisa che per tutte le stratigrafie considerate non sussiste mai, in alcuna zona climatica, il problema di formazione di condensa interstiziale. Riguardo la verifica del rischio muffa e condensa, in relazione alla trasmittanza termica delle soluzioni qui presentate (tutte caratterizzate da $U < 0,34$ W/m²K), essa è stata sempre svolta con riferimento ai dati climatici di Milano (zona climatica E)⁽⁹⁾. Le condizioni di umidità interne per la verifica del rischio muffa sono riferite ad edifici ad uso abitativo senza ventilazione meccanica controllata. I valori minimi del fattore f_{Rsi} da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788, sono i seguenti:

- rischio condensa superficiale:
 $f_{Rsi,min} = 0,630$
- rischio muffa:
 $f_{Rsi,min} = 0,678$

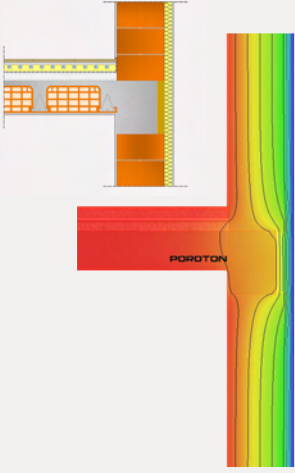
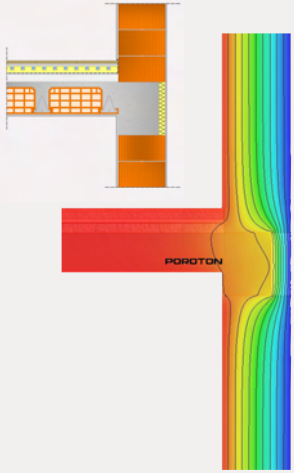
4.1. Attacco parete di tamponatura - solaio (PT4)

Si tratta di una casistica molto diffusa in edifici costruiti con struttura intelaiata in calcestruzzo armato. Sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato di tamponatura, mantenendo invariata la dimensione della trave, secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati [fig. 1].

È opportuno ricordare innanzitutto che possono essere calcolati due valori della trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico, uno riferito alle dimensioni esterne (ψ_e) ed uno riferito alle dimensioni interne del nodo (ψ_i). Se la superficie disperdente verrà calcolata con riferimento alle dimensioni interne si utilizzerà ψ_i , se invece la superficie disperdente sarà calcolata

PT4-A		PT4-B	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m ² K)	0,306	U (W/m ² K)	0,318
ψ_i (W/mK)	0,209	ψ_i (W/mK)	0,240
ψ_e (W/mK)	0,088	ψ_e (W/mK)	0,114
L_{2D} (W/mK)	1,235	L_{2D} (W/mK)	1,310
f_{Rsi} (adim.)	0,844	f_{Rsi} (adim.)	0,826

Tab. 2 - Confronto tra le stratigrafie PT4-A e PT4-B.

PT4-C		PT4-D	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0,23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 42 cm, $\lambda_{eq}=0,13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m²K)	0,290	U (W/m²K)	0,290
ψ_i (W/mK)	0,162	ψ_i (W/mK)	0,182
ψ_e (W/mK)	0,046	ψ_e (W/mK)	0,067
L_{2D} (W/mK)	1,148	L_{2D} (W/mK)	1,156
f_{Rsi} (adim.)	0,870	f_{Rsi} (adim.)	0,856

Tab. 3 – Confronto tra le stratigrafie PT4-C e PT4-D.

considerando le dimensioni esterne si utilizzerà ψ_e .

Dalle analisi svolte è emerso che soluzioni “equivalenti” in termini di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti considerate, conducono agli stessi risultati in termini di coefficiente di accoppiamento termico L_{2D} , che rappresenta in pratica il flusso termico complessivo scambiato nel nodo, sia utilizzando una muratura di tamponamento POROTON® con applicazione di un rivestimento a cappotto, sia optando per una muratura di tamponamento con blocchi POROTON® termicamente più performanti senza cappotto.

Lo stesso vale anche per la verifica a muffa e condensa: come detto, i fattori f_{Rsi} sono riferiti in questo caso, in relazione alla trasmittanza termica U dei pacchetti murari considerati, alla zona climatica E (località Milano), e risultano sempre ampiamente supe-

riori ai valori limite richiesti, precedentemente riportati.

Quanto osservato è immediatamente leggibile dagli esempi specifici riportati in tab. 2 e in tab. 3, che mettono a confronto soluzioni “equivalenti” in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con quelle analoghe precedentemente considerate. In particolare la stratigrafia PT4-E, corrisponde alla PT4-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT4-A, allo 0,13 W/mK di PT4-E, miglioramento che si ottiene semplicemente adottando un blocco, o per meglio dire, un sistema di muratura POROTON® termicamente più performante.

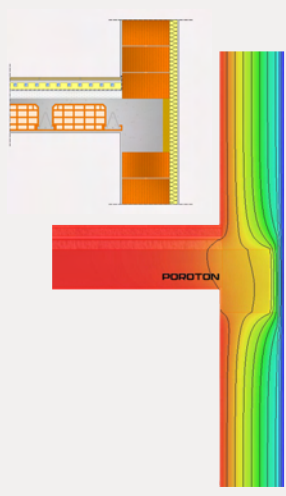
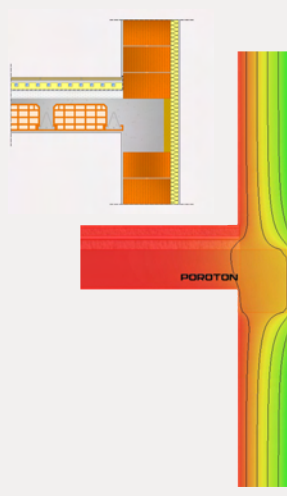
Si osserva che a parità di stratigrafia, il semplice miglioramento della qualità

della muratura, conduce ad una consistente riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) e con una sostanziale analogia di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica ψ e di fattore di temperatura superficiale interna f_{Rsi} . Ciò è confermato anche dalla PT4-F che corrisponde alla PT4-C, con la sola differenza che la λ_{eq} è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT4-C, allo 0,18 W/mK di PT4-F.

La scelta complessivamente migliore è dunque quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON®, utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere inoltre una serie di vantaggi aggiuntivi in termini di inerzia termica ed isolamento acustico dell’involucro.

L’importanza di disporre di dati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici risulta in tutta la sua evidenza se si considera il confronto con valori

Tab. 4 – Stratigrafie PT4-E e PT4-F.

PT4-E		PT4-F	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm	
			
U (W/m²K)	0,249	U (W/m²K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,212	ψ_i (W/mK)	0,166
ψ_e (W/mK)	0,113	ψ_e (W/mK)	0,062
L_{2D} (W/mK)	1,048	L_{2D} (W/mK)	1,043
f_{Rsi} (adim.)	0,848	f_{Rsi} (adim.)	0,871

reperibili da tabelle o da abachi conformi alla UNI EN ISO 14683. Infatti, i dati riportati in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683, peraltro non più utilizzabili in base alle indicazioni della UNI TS 11300-1:2014, non contemplano le casistiche sopra esposte, che pure rappresentano condizioni che ricorrono frequentemente nella realtà. L'unico schema assimilabile riguarda il caso della trave a filo muratura con rivestimento a cappotto esterno (di spessore non precisato – cfr. caso IF1 di tab. A.2. della UNI EN ISO 14683), nel qual caso si considera praticamente nullo l'effetto del ponte termico ($\psi_e = 0$), mentre l'analisi numerica in tali condizioni (non riportata negli esempi esposti) restituirebbe valori di ψ_e variabili da 0,06 W/mK a 0,21 W/mK in relazione allo spessore del rivestimento a cappotto considerato. Questo evidenzia perché progettando con riferimento a tali dati si rischiano macro-

scopici errori di valutazione e dunque si giustifica il disposto normativo di abolire la possibilità di utilizzo di queste indicazioni tabellari troppo approssimative.

Anche l'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹²⁾ fornisce relazioni per la stima della trasmittanza termica lineica (ψ_i o ψ_e) per casistiche solo similari a quelle analizzate. Le principali problematiche in tal senso sono:

- non viene previsto il caso della trave che rientra rispetto al filo esterno della tamponatura;
- la trave viene considerata "in spessore", soluzione progettuale tipicamente utilizzata in passato ma non più compatibile con le disposizioni delle attuali norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008) che impongono requisiti geometrici diversi per le travi in c.a.;
- il campo di impiego delle formule

dell'abaco è limitato a murature aventi una conducibilità termica equivalente $0,23 \leq \lambda_{eq} \leq 0,81$ W/mK. In pratica esse non risultano applicabili alla maggior parte delle murature moderne in blocchi ad elevate prestazioni termiche, che presentano λ_{eq} frequentemente minore di 0,23 W/mK.

Tra i casi precedentemente presentati, quindi, l'unico per il quale sarebbe possibile utilizzare l'abaco del CENED è il PT4-C, che si pone al limite inferiore del range di applicabilità delle suddette relazioni (essendo $\lambda_{eq} = 0,23$ W/mK). Utilizzando le formule del caso più "simile" (SOL.005), le trasmittanze termiche lineiche stimabili risultano: $\psi_e = 0,058$ W/mK (da analisi numerica 0,046 W/mK) e $\psi_i = 0,135$ W/mK (da analisi numerica 0,162 W/mK), valori quindi sufficientemente vicini a quelli calcolati. La limitazione

dell'applicabilità delle relazioni rende tuttavia indispensabile, nella maggior parte dei casi inerenti edifici di nuova costruzione, disporre di dati derivanti dall'analisi numerica per un computo corretto dei ponti termici.

È importante inoltre ricordare che nessun abaco fornisce una qualche indicazione relativa al rischio muffa e condensa, la cui valutazione è possibile solo tramite lo studio del ponte termico tramite analisi numerica.

4.2. Attacco parete in muratura portante-solaio (PT5)

Si tratta di un nodo simile a quello precedentemente esaminato ma con una differenza non trascurabile in termini di dettaglio costruttivo, dovuta al fatto che, quando si realizzano strutture in muratura portante la connessione tra solai e pareti è ottenuta con cordoli in c.a. di dimensioni assai minori rispetto

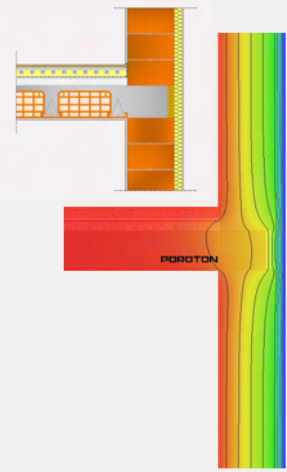
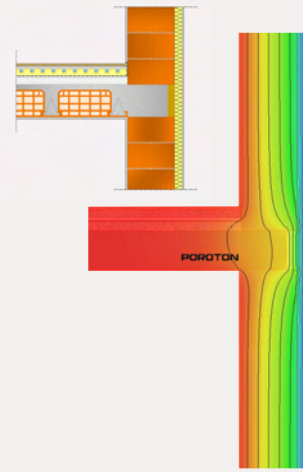
alle travi in c.a. di una struttura intelaiata [fig. 2].

In analogia al caso precedente, sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura portante POROTON® monostrato secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati. Nel caso di muratura portante, l'esigenza di impiegare in zone sismiche, per esigenze strutturali, blocchi con percentuale di foratura non superiore al 45% pone un limite anche alle caratteristiche termiche della muratura, pertanto in molti casi per raggiungere le prestazioni richieste si ricorre all'applicazione di un rivestimento a cappotto.

Come era logico attendersi, le analisi mostrano come a parità di stratigrafia e di spessore della parete, l'impiego di una muratura in blocchi POROTON® termicamente più performante permetta di ridurre l'incidenza del ponte termico

e di incrementare l'isolamento termico (L_{2D} più basso), riducendo nel contempo il rischio di muffa e condensa (f_{Rsi} più elevato). Ciò è facilmente rilevabile nel confronto riportato in tab. 5.

Risulta inoltre interessante verificare come, a parità di stratigrafia della parete considerata, la struttura in muratura portante comporti una riduzione dell'incidenza del ponte termico della connessione parete-solaio, in virtù della ridotta dimensione del cordolo in c.a. rispetto alla trave in c.a.. Tali osservazioni sono direttamente evidenziate dai parametri termici restituiti dalle analisi svolte, semplicemente confrontando il ponte termico PT5-C con l'analogo PT4-C, caratterizzati dalla stessa muratura POROTON® sia come prestazione termica λ_{eq} che come spessore e dallo stesso spessore del cappotto isolante esterno; emergono le migliori prestazioni del nodo della soluzione in muratura portante, leggi-

PT5-C		PT5-F	
Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm	
			
U (W/m²K)	0,290	U (W/m²K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,143	ψ_i (W/mK)	0,141
ψ_e (W/mK)	0,026	ψ_e (W/mK)	0,037
L_{2D} (W/mK)	1,129	L_{2D} (W/mK)	1,018
f_{Rsi} (adim.)	0,885	f_{Rsi} (adim.)	0,887

Tab. 5 - Confronto tra le soluzioni PT5-C e PT5-F.

bili dalla riduzione del flusso globale e della trasmittanza termica lineica, essendo minori L_{2D} , ψ_i e $\psi_{e,r}$ e dall'incremento del fattore di temperatura f_{RSi} che aumentando ci allontana ulteriormente dal rischio muffa e condensa superficiale.

Le stesse considerazioni sono confermate comparando PT5-F e PT4-F, e sono generalmente estendibili a tutte le soluzioni analizzate.

Riguardo il confronto con dati tabellari, l'Appendice A della norma UNI EN ISO 14683 (per quanto non più utilizzabile) non contempla diversificazioni in relazione alla dimensione dell'elemento in c.a. presente nel nodo. Lo stesso avviene nell'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹²⁾. Quindi l'uso degli abachi non consente di diversificare le prestazioni termiche dei nodi PT4 e PT5 che in tal senso verrebbero equiparati in termini di incidenza del ponte termico benché questo non corrisponda alla realtà.

Di nuovo emerge quindi l'importanza

di disporre sempre di dati derivanti dall'analisi numerica per un computo corretto dei ponti termici.

5. Conclusioni

La spinta al risparmio energetico ed alla realizzazione di edifici a basso consumo impone l'adozione di soluzioni d'involucro ed impiantistiche sempre più performanti. Per perseguire questo obiettivo diventano fondamentali tutte le scelte progettuali che coinvolgono i tecnici della filiera, dallo strutturista al termotecnico, dall'impiantista al tecnico in acustica, al fine di riuscire a soddisfare in modo equilibrato le diverse esigenze prestazionali.

In questo contesto anche i ponti termici, computati in modo spesso approssimativo, dovranno essere riconsiderati, come peraltro imposto dalle recenti norme in materia di risparmio energetico, in quanto in involucri con isolamento termico sempre maggiore la

loro incidenza può risultare significativa.

Le analisi svolte sul ponte termico del nodo muratura-solaio confermano quanto già emerso con le analoghe analisi dei ponti termici verticali presentate nella Parte 1, sia per quanto riguarda la carenza delle casistiche contenute negli "abachi" e quindi l'impossibilità di stimare con sufficiente precisione l'incidenza dei ponti termici in molte situazioni reali in mancanza di specifiche analisi numeriche, sia per quanto riguarda la scelta delle caratteristiche prestazionali delle murature, siano esse di tamponatura o portanti, che vede premiate le soluzioni con blocchi POROTON® aventi qualità termiche migliori, che permettono di ridurre le dispersioni complessive dell'involucro garantendo un'adeguata correzione dei ponti termici e riducendo il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale.

Bibliografia

- (1) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 1 - Ponti termici verticali", Mura-ture Oggi n. 117 (1/2015)
- (2) UNI EN ISO 10211:2008 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"
- (3) UNI EN ISO 13788:2013 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo"
- (4) UNI EN ISO 10456:2008 "Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"
- (5) UNI EN 1745:2012 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche"
- (6) UNI EN ISO 6946:2008 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"
- (7) UNI 10355:1994 "Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo"
- (8) D.M. 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- (9) UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici - Parte 1"
- (10) UNI EN ISO 14683:2008 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"
- (11) UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"
- (12) CENED - Regione Lombardia "Abaco dei ponti termici", http://www.cened.it/documenti_tecnici

Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi

Parte 3 – Nodo Parete-Copertura

Prosegue la trattazione della tematica dei ponti termici parzialmente già esaminata nelle Parti 1 e 2.

Dopo le casistiche analizzate in precedenza, si presenta in questa Parte il particolare della connessione tra parete e copertura inclinata, facendo riferimento alle analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia per fornire agli utilizzatori di murature POROTON® i dati richiesti per una corretta progettazione energetica dell'involucro.

1. Premessa

Le motivazioni che impongono a tecnici e progettisti di analizzare con accuratezza i dettagli dei ponti termici sono state oggetto di ampia trattazione nelle Parti precedenti, dove si sono evidenziati anche gli obblighi normativi che disciplinano attualmente la materia. Partendo da questi presupposti, tenen-

do conto che solo con analisi numeriche è possibile svolgere le valutazioni richieste dalle norme e progettare correttamente i particolari costruttivi dei nodi, il Consorzio POROTON® Italia ha deciso di svolgere una estesa campagna di analisi numeriche per una valutazione sistematica e parametrica delle principali tipologie di ponte termico che interessano le soluzioni in muratura POROTON®, così da poter for-

nire ai tecnici ed utilizzatori delle soluzioni costruttive proposte dal Consorzio tutte le informazioni utili sia per la corretta progettazione energetica, sia per evitare il rischio di muffe e condensa a tutela del benessere, comfort abitativo e salubrità, che le soluzioni POROTON[®] possono garantire.

2. Analisi numeriche dei principali tipi di ponte termico

Le analisi numeriche sono state svolte sulle più ricorrenti tipologie di ponte termico che coinvolgono pareti, murature ed orizzontamenti (solai e coperture), di seguito riportate:

- parete con pilastro in c.a. (PT1)
- angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)
- angolo parete in muratura portante (PT3)
- attacco parete di tamponatura-solaio (PT4)
- attacco parete in muratura portante-solaio (PT5)

- attacco parete di tamponatura-copertura inclinata (PT6)
- attacco parete in muratura portante-copertura inclinata (PT7)
- attacco parete in muratura su fondazione aerata (PT8)

Le diverse tipologie di ponte termico sono state analizzate tramite calcoli numerici con metodi agli elementi finiti, utilizzando un software dedicato, "Mold Simulator Pro Ver. 2" (<http://www.dartwin.it/it/prodotto/moldpro/>) che consente di svolgere le analisi di qualsiasi tipologia di ponte termico in conformità alla UNI EN ISO 10211⁽³⁾ e di eseguire verifiche inerenti il rischio di muffa e condensa secondo la UNI EN ISO 13788⁽⁴⁾. Nella Parte1 sono state descritte le modalità di calcolo adottate e le condizioni al contorno assunte nello svolgimento delle analisi numeriche, e sono stati presentati e discussi alcuni risultati sui ponti termici verticali (PT1), (PT2), (PT3). Nella Parte2 sono stati presentati e discussi i risultati inerenti il nodo parete-solaio (PT4, PT5).

Nella presente Parte si procederà con l'esposizione di risultati e considerazioni sui ponti termici del nodo parete-copertura (PT6, PT7).

3. Dettagli costruttivi dei nodi "Parete-Copertura"

Il dettaglio costruttivo "parete-copertura" è stato sviluppato considerando una classica copertura inclinata ventilata in legno, mantenendo anche in questo caso, analogamente a quanto fatto per la connessione tra parete verticale e solaio, la differenziazione tra muratura di tamponatura (PT6) e muratura portante (PT7).

L'incidenza dell'elemento in c.a. cambia in quanto nel caso di strutture a travi e pilastri in c.a. la dimensione delle travi è in generale maggiore rispetto a quella dei cordoli presenti nel caso di strutture in muratura portante. Si tratta in ogni caso di ponti termici sia "geometrici" che "di materiale", dovuti alla presenza dell'elemento in c.a. ed alla variazione di geometria

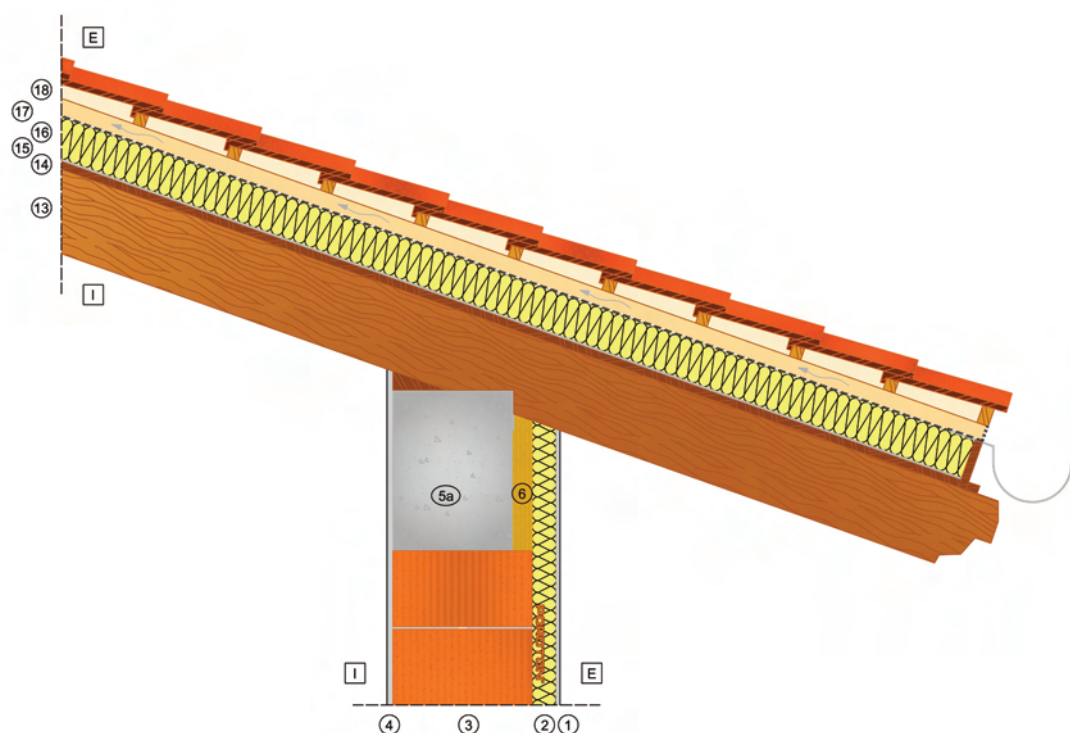


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra copertura inclinata in legno con trave in c.a. e tamponatura esterna (PT6).

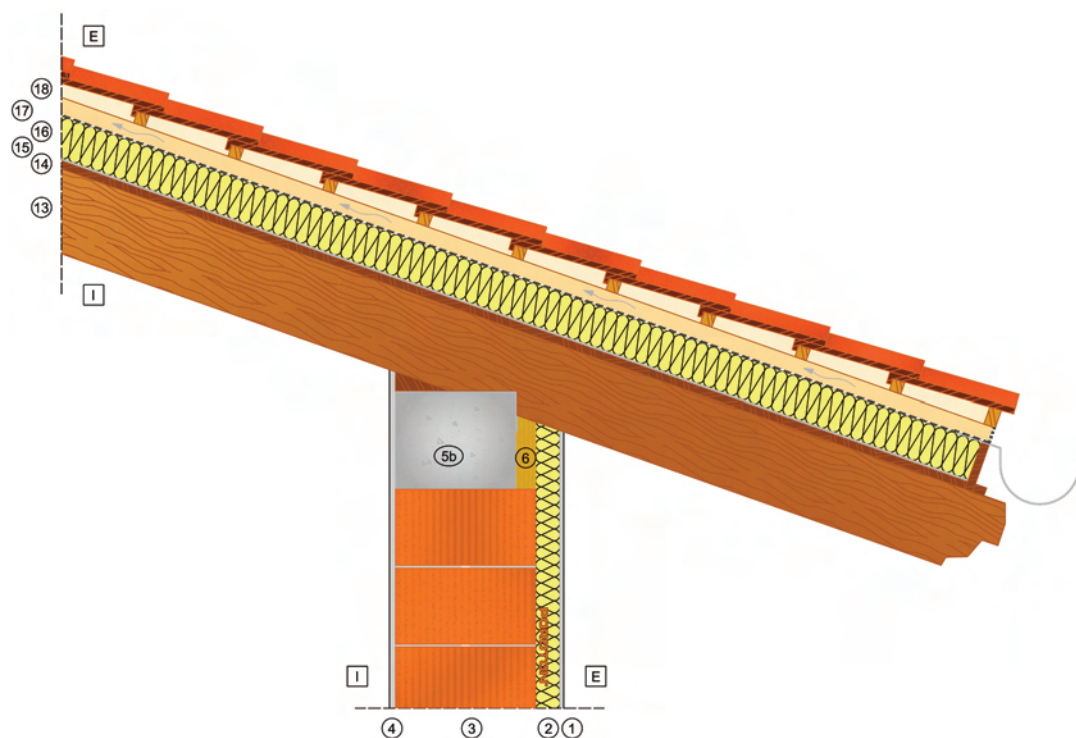


Fig. 2 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra copertura inclinata in legno con cordolo in c.a. e muratura portante esterna (PT7).

ID	Materiali	Spessore (cm)	Densità (kg/m ³)	Conducibilità termica (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Resistenza alla diffusione vapore μ (adim)
1	Intonaco esterno	1,0	1500	0,53	1000	15
2	Isolante EPS – XPS	0 ÷ 8	20	0,036	1450	60
3	Muratura POROTON®	30 ÷ 42	650 ÷ 850	0,08 ÷ 0,23	1000	10
4	Intonaco interno	1,5	1500	0,53	1000	15
5a	Trave in c.a. (H40 cm)	30	2400	2,00	1000	80
5b	Cordolo in c.a. (H24 cm)	24 ÷ 36	2400	2,00	1000	80
6	Legno mineralizzato	5 ÷ 12	400	0,07	1810	5
13	Travi in legno d'abete	H20	450	0,12	1600	50
14	Assito in legno d'abete	2	450	0,12	1600	50
15	Barriera al vapore	0,4	900	0,20	1000	100000
16	Isolante EPS – XPS (copertura)	4 ÷ 20	20	0,036	1450	60
17	Guaina impermeabilizz.	0,4	1050	0,20	1000	20000
18	Manto di copertura in coppi su struttura a listelli lignei per ventilazione (porzione non considerata nell'analisi FEM del ponte termico)					

Tab. 1 - Materiali considerati nei ponti termici (PT6) e (PT7) e loro principali caratteristiche termo-igrometriche.

indotta dall'appoggio della copertura. Con riferimento agli schemi adottati per le analisi dei ponti termici esaminati [figg. 1, 2], la tab. 1 riporta le caratteristiche fisico-geometriche delle stratigrafie e dei materiali considerati. Tutti i parametri fisici sui materiali sono stati ricavati dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili ⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾. Per la copertura si è ipotizzata una struttura con travatura in legno di abete di altezza 20 cm ed assito, in tavole di legno della medesima essenza, di spessore 2 cm. All'estradosso sono stati posizionati nell'ordine una barriera al vapore, uno strato di materiale isolante costituito da EPS ed una membrana impermeabilizzante.

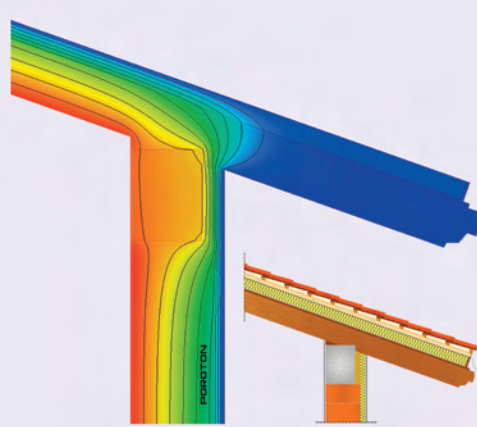
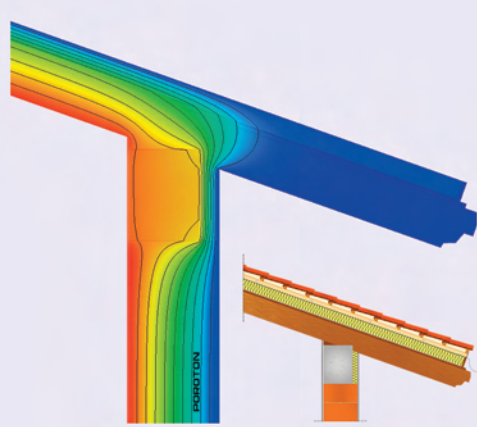
La copertura è protetta esternamente da un manto di coppi fissati su listelli di supporto a loro volta fissati sui listelli per la creazione della camera di ven-

tilazione.

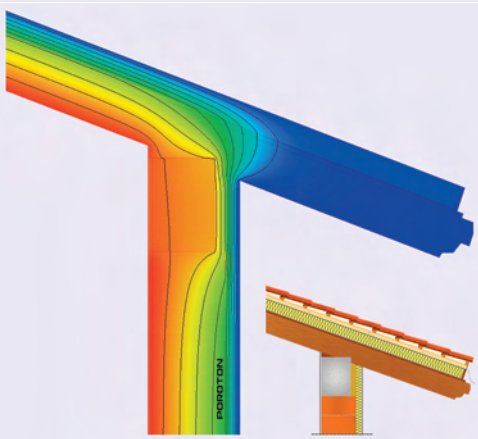
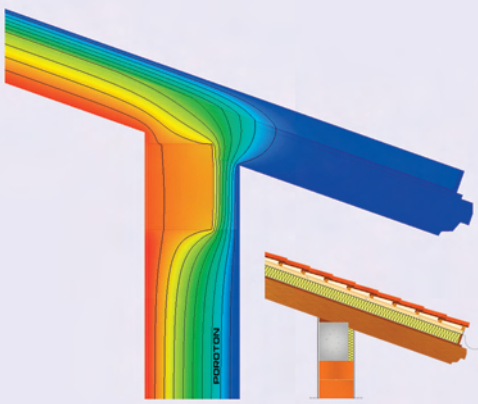
Lo spessore dello strato isolante disposto sulla copertura è stato calibrato in funzione della trasmittanza della parete, in modo da mantenere un'opportuna proporzionalità del livello di isolamento dei due sistemi di chiusura, considerando per la copertura una trasmittanza termica di circa il 25% inferiore a quella della parete verticale, come tipicamente è richiesto dalle normative e come effettivamente viene fatto nella realtà, compatibilmente con gli spessori dei pannelli isolanti disponibili in commercio.

I ponti termici allo studio sono stati analizzati e confrontati applicando diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato, di tamponatura e portante, avente spessori variabili da 30 a 42 cm. Per le soluzioni con telaio in c.a. e muratura di tamponatura si è mantenuta invariata la

dimensione della trave, assunta di larghezza pari a 30 cm ed altezza di 40 cm; nel caso di struttura in muratura portante si è considerata invece la presenza di un cordolo in c.a. conforme ai requisiti indicati nelle NTC 2008⁽⁸⁾, dunque si è considerato un cordolo di altezza 24 cm e larghezza pari a quella della muratura portante considerata con un arretramento di 6 cm dal filo esterno. Si è ipotizzata la finitura interna della parete con intonaco di spessore 1,5 cm, mentre esternamente si sono considerate diverse soluzioni, mantenendo in ogni caso la stessa finitura esterna costituita da intonaco esterno di spessore 1 cm, variando il rivestimento a cappotto in EPS tra 0 ed 8 cm di spessore, considerando dunque anche il caso di assenza di cappotto. Per spessori della muratura di tamponatura maggiori di quello della trave si è prevista l'applicazione su di

PT6-A		PT6-B	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,23$ W/m ² K; sp. isolante = 8 cm)		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto (Copertura: $U_{copertura} = 0,23$ W/m ² K; sp. isolante = 8 cm)	
			
U (W/m ² K)	0,306	U (W/m ² K)	0,318
ψ_i (W/mK)	0,164	ψ_i (W/mK)	0,170
ψ_e (W/mK)	0,032	ψ_e (W/mK)	0,037
L _{2D} (W/mK)	1,128	L _{2D} (W/mK)	1,158
f _{Rsi} (adim.)	0,845	f _{Rsi} (adim.)	0,839

Tab. 2 - Confronto tra le stratigrafie PT6-A e PT6-B.

PT6-C		PT6-D	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,20$ W/m ² K; sp. isolante = 10 cm)		Muratura di tamponatura POROTON® sp.42 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto (Copertura: $U_{copertura} = 0,20$ W/m ² K; sp.isolante = 10 cm)	
			
U (W/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	0,290
ψ_i (W/mK)	0,124	ψ_i (W/mK)	0,124
ψ_e (W/mK)	-0,004	ψ_e (W/mK)	-0,004
L_{2D} (W/mK)	1,020	L_{2D} (W/mK)	1,014
f_{Rsi} (adim.)	0,865	f_{Rsi} (adim.)	0,864

Tab. 3 – Confronto tra le stratigrafie PT6-C e PT6-D.

essa di un materiale isolante (pannello in legno mineralizzato) per livellare lo spessore [fig. 1], materiale che si è assunto essere EPS nel caso di assenza di cappotto. In modo analogo si è operato per l'arretramento di 6 cm del cordolo rispetto al filo esterno della muratura nel caso di struttura in muratura portante [fig. 2].

4. Risultati e considerazioni

Si espongono di seguito, per i ponti termici in esame, alcuni risultati significativi delle analisi svolte, sia con riferimento alla correzione dei ponti termici in termini di flusso termico, sia con riferimento alle verifiche di muffa e condensa, con le opportune considerazioni.

Si precisa che per tutte le stratigrafie considerate non sussiste mai, in alcuna zona climatica, il problema di formazione di condensa interstiziale.

Riguardo la verifica del rischio muffa e condensa, in relazione alla trasmittanza termica delle soluzioni qui presentate (tutte caratterizzate da $U < 0,34$ W/m²K), essa è stata sempre svolta con riferimento ai dati climatici di Milano (zona climatica E)⁽⁹⁾. Le condizioni di umidità interne per la verifica del rischio muffa sono riferite ad edifici ad uso abitativo senza ventilazione meccanica controllata. I valori minimi del fattore f_{Rsi} da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788⁽⁴⁾, sono i seguenti:

- rischio condensa superficiale:
 $f_{Rsi,min} = 0,630$
- rischio muffa:
 $f_{Rsi,min} = 0,678$

4.1. Attacco parete di tamponatura-copertura inclinata (PT6)

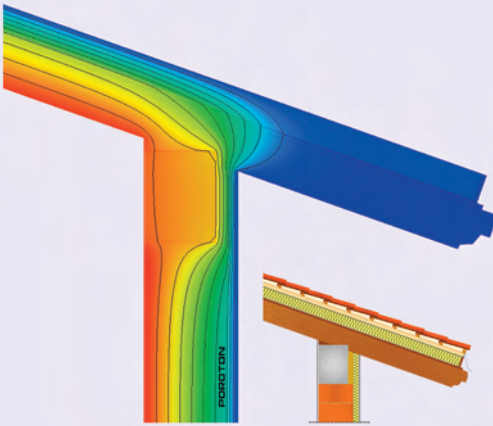
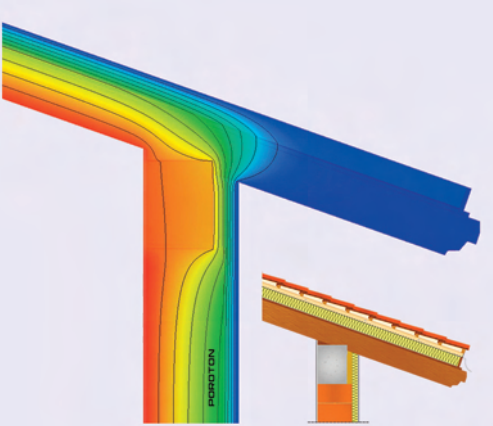
Si tratta di una casistica molto diffusa in edifici costruiti con struttura intela-

iata in calcestruzzo armato. Sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato di tamponatura, mantenendo invariata la dimensione della trave, secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati [fig. 1].

È opportuno ricordare innanzitutto che possono essere calcolati due valori della trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico, uno riferito alle dimensioni esterne (ψ_e) ed uno riferito alle dimensioni interne del nodo (ψ_i). Se la superficie disperdente verrà calcolata con riferimento alle dimensioni interne si utilizzerà ψ_i , se invece la superficie disperdente sarà calcolata considerando le dimensioni esterne si utilizzerà ψ_e .

Dalle analisi svolte è emerso che soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti considerate,

Tab. 4 – Stratigrafie
PT6-E e PT6-F.27

PT6-E		PT6-F	
Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0,13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,18$ W/m ² K; sp. isolante = 12 cm)		Muratura di tamponatura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0,18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,20$ W/m ² K; sp. isolante = 10 cm)	
			
U (W/m ² K)	0,249	U (W/m ² K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,181	ψ_i (W/mK)	0,140
ψ_e (W/mK)	0,067	ψ_e (W/mK)	0,019
L_{2D} (W/mK)	0,958	L_{2D} (W/mK)	0,978
f_{Rsi} (adim.)	0,851	f_{Rsi} (adim.)	0,865

conducono agli stessi risultati in termini di coefficiente di accoppiamento termico L_{2D} , che rappresenta in pratica il flusso termico complessivo scambiato nel nodo, sia utilizzando una muratura di tamponamento POROTON® con applicazione di un rivestimento a cappotto (PT6-A, PT6-C), sia optando per una muratura di tamponamento con blocchi POROTON® termicamente più performanti senza cappotto (PT6-B, PT6-D).

Lo stesso vale anche per la verifica a muffa e condensa: come detto, i fattori f_{Rsi} sono riferiti in questo caso, in relazione alla trasmittanza termica U dei pacchetti murari considerati, alla zona climatica E (località Milano), e risultano sempre ampiamente superiori ai valori limite richiesti, precedentemente riportati.

Quanto osservato è immediatamente leggibile dagli esempi specifici riportati in tab. 2 e in tab. 3, che mettono a

confronto soluzioni “equivalenti” in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con quelle analoghe precedentemente considerate. In particolare la stratigrafia PT6-E, corrisponde alla PT6-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT6-A, allo 0,13 W/mK di PT6-E, miglioramento che si ottiene semplicemente adottando un blocco, o per meglio dire, un sistema di muratura POROTON® termicamente più performante. Si osserva in tal caso che, a parità di stratigrafia, il semplice miglioramento della qualità della muratura conduce ad una riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) con una sostanziale analogia di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza

za termica lineica ψ e di fattore di temperatura superficiale interna f_{Rsi} .

Ciò è confermato anche dal confronto tra la PT6-F e PT6-C che differiscono solo per il fatto che la λ_{eq} è stata migliorata passando dallo 0,23 W/mK di PT6-C, allo 0,18 W/mK di PT6-F.

La scelta complessivamente migliore è dunque quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON®, utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere inoltre una serie di vantaggi aggiuntivi in termini di inerzia termica ed isolamento acustico dell’involucro.

L’importanza di disporre di dati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici risulta in tutta la sua evidenza se si considera il confronto con valori reperibili da tabelle o da abachi conformi alla UNI EN ISO 14683. Infatti, i dati riportati in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683, peraltro non più utilizzabili in base alle indicazioni

della UNI TS 11300-1:2014, non contemplano le casistiche sopra esposte, che pure rappresentano condizioni che ricorrono frequentemente nella realtà, né vi sono schemi in alcun modo assimilabili ai casi considerati. Neppure l'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹²⁾ contempla casistiche similari a quelle qui analizzate.

È importante inoltre ricordare che nessun abaco fornisce una qualche indicazione relativa al rischio muffa e condensa, la cui valutazione è possibile solo tramite lo studio del ponte termico tramite analisi numerica.

4.2. Attacco parete in muratura portante copertura inclinata (PT7)

Si tratta di un nodo simile a quello precedentemente esaminato ma con una differenza in termini di dettaglio costruttivo, dovuta al fatto che, quan-

do si realizzano strutture in muratura portante la connessione tra solaio di copertura e pareti è ottenuta con cordoli in c.a. di altezza inferiore rispetto alle travi in c.a. di una struttura intelaiata [fig. 2]. In analogia al caso precedente, sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con muratura portante POROTON® mostrato secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati.

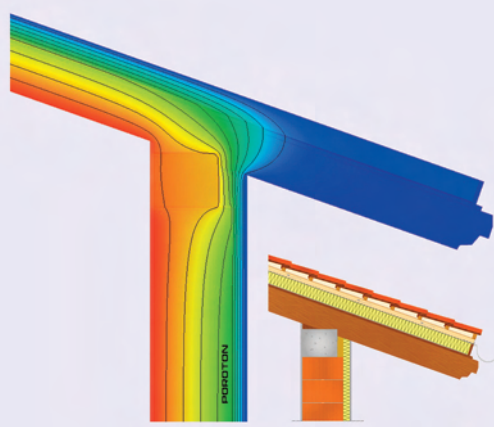
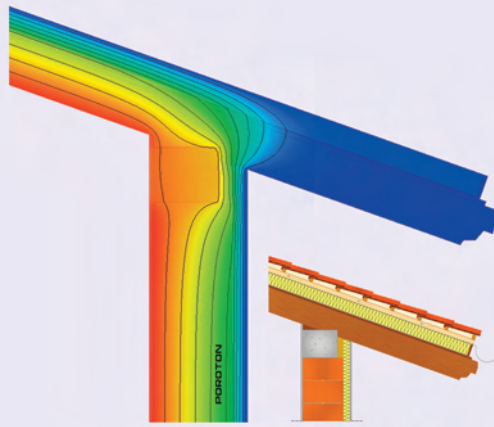
Nel caso di muratura portante, l'esigenza di impiegare in zone sismiche, per esigenze strutturali, blocchi con percentuale di foratura non superiore al 45% pone un limite anche alle caratteristiche termiche della muratura, pertanto in molti casi per raggiungere le prestazioni richieste si ricorre all'applicazione di un rivestimento a cappotto.

Le analisi mostrano come a parità di stratigrafia e di spessore della parete,

l'impiego di una muratura in blocchi POROTON® termicamente più performanti sia preferibile rispetto ad una muratura in blocchi termicamente meno performanti permettendo di ridurre il flusso termico complessivo del ponte termico (L_{2D} più basso), grazie alla riduzione della trasmittanza termica della parete, mantenendo in sostanza invariati gli altri parametri caratterizzanti il dettaglio costruttivo analizzato. Ciò è facilmente rilevabile nel confronto riportato in tab. 5.

Risulta inoltre interessante verificare come, a parità di stratigrafia della parete considerata, la struttura in muratura portante comporti una riduzione dell'incidenza del ponte termico della connessione parete-copertura inclinata, in virtù della ridotta dimensione del cordolo in c.a. rispetto alla trave in c.a..

Tali osservazioni sono direttamente evidenziate dai parametri termici resti-

PT7-C		PT7-F	
Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,20$ W/m ² K; sp.isolante = 10 cm)		Muratura portante POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Copertura: $U_{copertura} = 0,20$ W/m ² K; sp.isolante = 10 cm)	
			
U (W/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	0,261
ψ_i (W/mK)	0,103	ψ_i (W/mK)	0,114
ψ_e (W/mK)	-0,025	ψ_e (W/mK)	-0,007
L_{2D} (W/mK)	0,999	L_{2D} (W/mK)	0,952
f_{Rsi} (adim.)	0,855	f_{Rsi} (adim.)	0,855

Tab. 5 - Confronto tra le soluzioni PT7-C e PT7-F.28

tuiti dalle analisi svolte, semplicemente confrontando il ponte termico PT7-C con l'analogo PT6-C, caratterizzati dalla stessa muratura POROTON® sia come prestazione termica λ_{eq} che come spessore, e dallo stesso spessore del cappotto isolante esterno; emergono le migliori prestazioni del nodo della soluzione in muratura portante, leggibili dalla riduzione del flusso globale e della trasmittanza termica lineica.

Le stesse considerazioni sono confermate comparando PT7-F e PT6-F, e sono generalmente estendibili a tutte le soluzioni analizzate.

Riguardo il confronto con dati tabellari, anche nel caso in oggetto non è possibile ritrovare alcun riferimento simile né nell'Appendice A della norma UNI EN ISO 14683 (per quanto non più utilizzabile) né nell'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹²⁾.

5. Conclusioni

Le analisi svolte sul ponte termico del nodo muratura-copertura inclinata confermano nella sostanza quanto già emerso con le analisi di altre tipologie di ponti termici presentate nelle

Parti 1 e 2; per la casistica qui esaminata si rileva inoltre, in modo ancor più evidente che nei casi precedenti, la totale mancanza di dati di riferimento in abachi conformi.

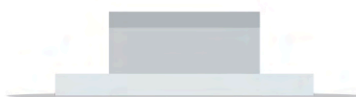
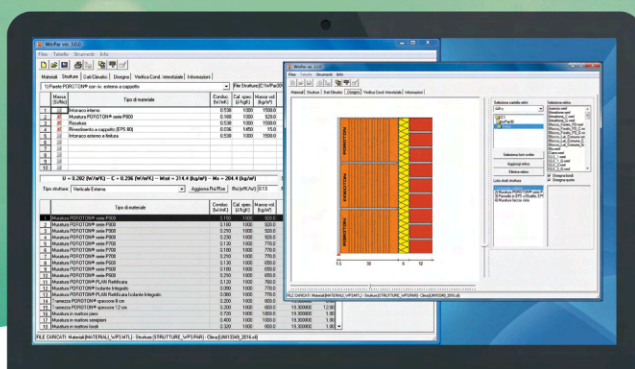
Le analisi numeriche confermano che è sempre preferibile utilizzare murature, siano esse di tamponatura o portanti, realizzate con blocchi POROTON® aventi qualità termiche migliori, che permettono di ridurre le dispersioni complessive dell'involucro garantendo un'adeguata correzione dei ponti termici e riducendo il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale.

Bibliografia

- (1) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 1 – Ponti termici verticali", Murature Oggi n. 117 (1/2015)
- (2) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 2 – Nodo parete-solaio", Murature Oggi n. 118 (2/2015)
- (3) UNI EN ISO 10211:2008 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"
- (4) UNI EN ISO 13788:2013 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo"
- (5) UNI EN ISO 10456:2008 "Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"
- (6) UNI EN 1745:2012 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche"
- (7) UNI EN ISO 6946:2008 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"
- (8) D.M. 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- (9) UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici - Parte 1"
- (10) UNI EN ISO 14683:2008 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"
- (11) UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"
- (12) CENED - Regione Lombardia "Abaco dei ponti termici", http://www.cened.it/documenti_tecnici

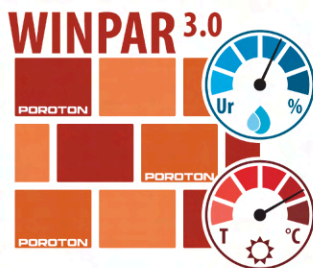
Nuova versione WinPar 3.0

Aggiornata alle norme tecniche vigenti e con i nuovi dati climatici



WinPar 3.0 è un software per Windows che permette di calcolare le caratteristiche termofisiche delle strutture opache verticali ed orizzontali dell'involucro edilizio in regime stazionario e periodico stabilizzato (sfasamento, attenuazione, trasmittanza termica periodica)

SCARICA WINPAR 3.0 GRATUITAMENTE DAL SITO WWW.POROTON.IT



CARATTERISTICHE PRINCIPALI

- ✓ Calcolo parametri termici in regime stazionario
- ✓ Calcolo parametri termici in regime variabile
- ✓ Verifica condensazione interstiziale
- ✓ Verifica rischio muffa
- ✓ Calcolatore psicrometrico
- ✓ Stampa scheda pareti
- ✓ Possibilità di creare archivi personalizzati

POROTON®

**WINPAR È UN SOFTWARE
DEL CONSORZIO POROTON® ITALIA**



il termolaterizio®

da oltre 40 anni

il **TERMOLATERIZIO®** MADE IN ITALY
più imitato nel mondo delle costruzioni

Elementi in laterizio per la realizzazione di murature moderne con elevata inerzia termica che soddisfano tutti i requisiti tecnico-prestazionali richiesti dalle norme vigenti.

Consorzio POROTON® Italia

Via Franchetti, 4 • 37138 VERONA • Telefono 045.572697 • Fax 045.57243 • www.poroton.it • info@poroton.it

Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi

Parte 4 - Attacco Parete-Fondazione

Si conclude con questa Parte la trattazione della tematica dei ponti termici, già esaminata per i dettagli costruttivi più ricorrenti nella Parte 1, nella Parte 2 e nella Parte 3. Si completano le casistiche analizzate in precedenza presentando in questa Parte il particolare della connessione tra parete esterna in muratura e fondazione, facendo riferimento alle analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia per fornire agli utilizzatori di murature POROTON® i dati richiesti per una corretta progettazione energetica dell'involucro.

1. Premessa

Le motivazioni che impongono a tecnici e progettisti di analizzare con accuratezza i dettagli dei ponti termici sono state oggetto di ampia trattazione nelle Parti precedenti (cfr. Parte 1), dove si sono evidenziati anche gli obblighi normativi che disciplinano attualmente la materia.

Partendo da questi presupposti, tenendo conto che solo con analisi numeri-

che è possibile svolgere le valutazioni richieste dalle norme e progettare correttamente i particolari costruttivi dei nodi, il Consorzio POROTON® Italia ha deciso di svolgere una estesa campagna di analisi numeriche per una valutazione sistematica e parametrica delle principali tipologie di ponte termico che interessano le soluzioni in muratura POROTON®, così da poter fornire ai tecnici ed utilizzatori delle soluzioni costruttive proposte dal Consorzio

tutte le informazioni utili sia per la corretta progettazione energetica, sia per evitare il rischio di muffe e condensa a tutela del benessere, comfort abitativo e salubrità, che le soluzioni POROTON[®] possono garantire.

2. Analisi numeriche dei principali tipi di ponte termico

Le analisi numeriche sono state svolte sulle più ricorrenti tipologie di ponte termico che coinvolgono pareti, murature ed orizzontamenti (solai e coperture), di seguito riportate:

- parete con pilastro in c.a. (PT1)
- angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)
- angolo parete in muratura portante (PT3)
- attacco parete di tamponatura-solaio (PT4)
- attacco parete in muratura portante-solaio (PT5)
- attacco parete di tamponatura-copertura inclinata (PT6)
- attacco parete in muratura portante-copertura inclinata (PT7)
- attacco parete in muratura su fondazione aerata (PT8)

Le diverse tipologie di ponte termico sono state analizzate tramite calcoli numerici con metodi agli elementi finiti, utilizzando un software dedicato, "Mold Simulator Pro Ver. 2" (<http://www.dartwin.it/it/prodotto/moldpro/>) che consente di svolgere le analisi di qualsiasi tipologia di ponte termico in conformità alla UNI EN ISO 10211⁽⁴⁾ e di eseguire verifiche inerenti il rischio di muffa e condensa secondo la UNI EN ISO 13788⁽⁵⁾.

Nella Parte 1 sono state descritte le modalità di calcolo adottate e le condizioni al contorno assunte nello svolgimento delle analisi numeriche, e sono stati presentati e discussi alcuni risultati sui ponti termici verticali (PT1), (PT2), (PT3).

Nella Parte 2 sono stati presentati e discussi i risultati inerenti il nodo parete-solaio (PT4, PT5), mentre nella Parte 3 sono state analogamente esposte le

considerazioni sui ponti termici del nodo parete-copertura (PT6, PT7). Con questa Parte si concluderà la trattazione presentando uno dei ponti termici più significativi, quello dell'attacco tra parete in muratura e fondazione (PT8).

3. Dettaglio costruttivo del nodo "Parete-Fondazione"

Il dettaglio costruttivo "parete-fondazione" è stato sviluppato considerando una fondazione a trave rovescia e solaio contro terra con vespaio debolmente aerato.

Diversamente da quanto accadeva per i ponti termici precedentemente esaminati, in questo caso le condizioni sono sostanzialmente analoghe sia che si tratti di muratura portante, sia che si tratti di muratura di tamponatura, potendosi ritenere non significativamente diverse le caratteristiche dell'elemento di fondazione in c.a. sottostante.

Si tratta in ogni caso di un ponte termico piuttosto complesso, sia "geome-

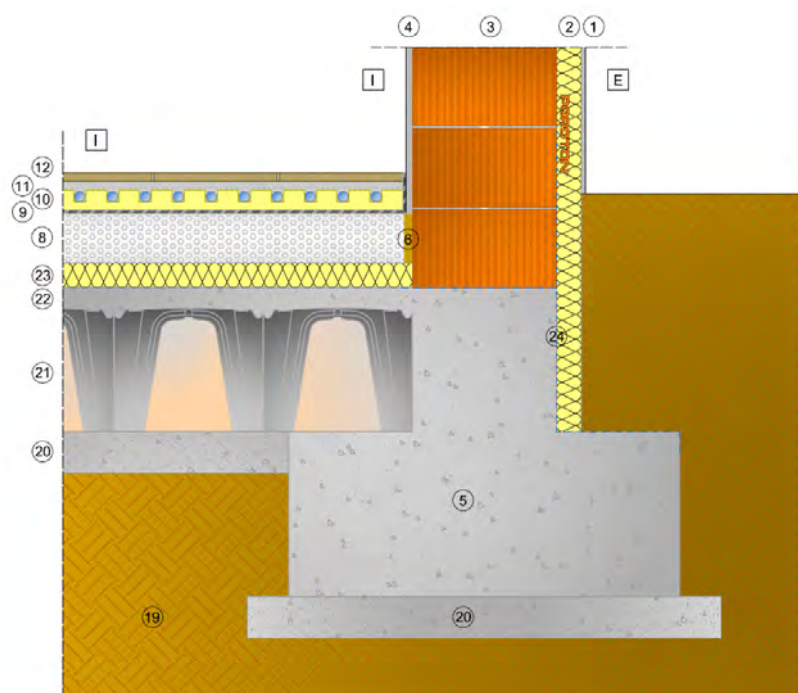


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dell'attacco parete-fondazione con vespaio aerato su terreno (PT8).

ID	Materiali	Spessore (cm)	Densità (kg/m ³)	Conducibilità termica (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Resistenza alla diffusione vapore μ (adim)
1	Intonaco esterno	1,0	1500	0,53	1000	15
2	Isolante EPS - XPS	0 ÷ 8	20	0,036	1450	60
3	Muratura POROTON®	30 ÷ 42	650 ÷ 850	0,08 ÷ 0,23	1000	10
4	Intonaco interno	1,5	1500	0,53	1000	15
5	Fondazione a trave rovescia in c.a. (H 75 cm)	30 ÷ 42	2400	2,00	1000	80
6	Legno mineralizzato	2	400	0,07	1810	5
8	Sottofondo in cls alleggerito	12	600	0,15	1000	20
9	Guaina anticalpestio	0,8	40	0,04	1000	2000
10	Isolante XPS per impianto radiante	2	20	0,036	1450	60
11	Massetto impianto radiante	5	2200	1,65	1000	70
12	Piastrelle in ceramica	2	2300	1,30	840	∞
19	Terreno	-	2000	2,00	1000	200
20	Magrone sottofondazione	10	2000	1,35	1000	80
21	Vespaio aerato	30	-	-	-	-
22	Cappa in c.a.	5	2400	2,00	1000	80
23	Isolante XPS (solaio controterra)	4 ÷ 15	30	0,036	1450	60
24	Guaina impermeabilizzante (non considerata nell'analisi FEM del ponte termico)					

Tab. 1 - Materiali considerati nel ponte termico (PT8) e loro principali caratteristiche termo-igrometriche.

trico" che "di materiale", dovuto alla presenza della struttura in c.a. nella quale si va ad innestare da un lato il solaio contro terra e, superiormente, la muratura (portante o di tamponatura) esterna [fig. 1].

Con riferimento allo schema adottato per le analisi del ponte termico esaminato [fig. 1], la tab. 1 indica le caratteristiche fisico-geometriche dei materiali considerati. Tutti i parametri fisici dei materiali sono stati ricavati dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

Il solaio su vespaio aerato è costituito da una cappa in c.a. di spessore 5 cm disposta sul vespaio, al di sopra della quale è presente l'isolamento termico

in XPS. Lo spessore dello strato isolante qui disposto è stato calibrato in funzione della trasmittanza della parete, in modo da ottenere valori di trasmittanza termica U confrontabili tra parete in muratura e solaio di pavimento, e comunque non superiori a 0,32 W/m²K per quest'ultimo, come normalmente richiesto dalle normative e come effettivamente avviene nella realtà.

Sopra lo strato isolante sono infine disposti un massetto in calcestruzzo alleggerito di spessore 12 cm su cui è installato l'impianto di riscaldamento radiante e la pavimentazione in piastrelle ceramiche. Nella definizione del dettaglio costruttivo, particolare cura è

stata dedicata anche alla correzione del ponte acustico, prevedendo la disgiunzione del massetto rispetto alla muratura con l'applicazione di un pannello in legno mineralizzato lungo il perimetro di contatto e la presenza di una guaina anticalpestio. È opportuno sottolineare che questi dettagli, oltre a soddisfare i requisiti acustici, svolgono una importante funzione anche nel migliorare il comportamento termo-igrometrico del nodo.

Per quanto attiene il terreno, esso è stato ipotizzato di sabbia o ghiaia, quindi con caratteristiche intermedie rispetto a quanto indicato nella UNI EN ISO 13370:2008⁽⁹⁾.

I ponti termici allo studio sono stati

“Taglio termico” alla base della muratura - Considerazioni

Nella definizione del dettaglio del nodo parete-fondazione si parla frequentemente di disporre un “taglio termico” alla base della muratura in laterizio per ridurre la trasmittanza termica verticale e quindi isolare meglio il ponte termico. Nell’ambito delle analisi svolte si è voluto approfondire questo aspetto, al fine di rispondere in modo puntuale alle seguenti domande:

- 1) che tipo di “taglio termico” si può prevedere?
- 2) è necessario prevedere un “taglio termico” alla base della muratura?
- 3) che miglioramento si ottiene rispetto al caso senza “taglio termico”?

1) L’aspetto principale da considerare riguarda il tipo di “taglio termico” da prevedere, in tal senso bisogna innanzitutto distinguere se si tratta di muratura portante o di tamponatura.

Nel primo caso (muratura portante) si raccomanda di NON interporre elementi isolanti, quali vetro cellulare o blocchi in calcestruzzo cellulare autoclavato, tra fondazione e primo corso di blocchi in laterizio. Detti elementi, infatti, hanno una resistenza a compressione molto bassa rispetto ai blocchi in laterizio per muratura portante e questo comprometterebbe il funzionamento strutturale della muratura.

Nel secondo caso (tamponatura), è opportuno ricordare che anche gli elementi non strutturali, quali le tamponature, sono chiamati ad avere una certa stabilità nei confronti di azioni fuori piano.

In estrema sintesi, in presenza di azioni sismiche si può innescare, nelle tamponature di un certo spessore, un meccanismo resistente “ad arco” che presuppone tuttavia una adeguata resistenza a compressione degli elementi costituenti la muratura.

Quindi anche nel caso di tamponature l’interposizione di elementi isolanti con bassa resistenza a compressione può pregiudicare il comportamento strutturale.

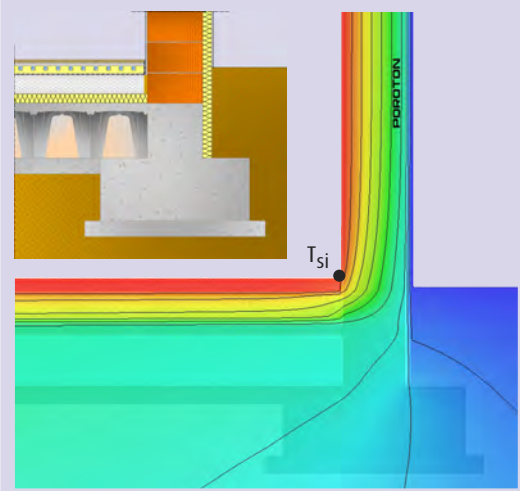
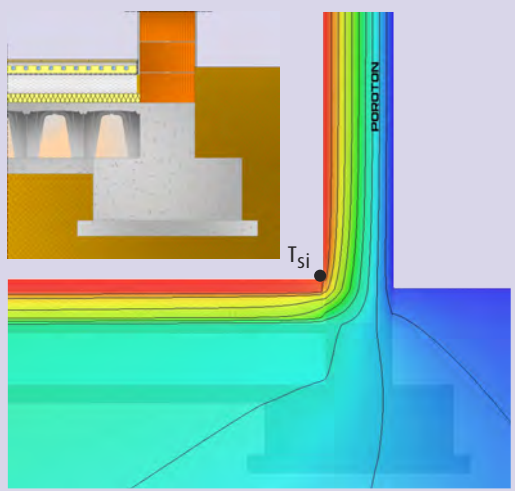
Pertanto, sia nel caso di muraure portanti che di tamponatura, la soluzione migliore da adottare, laddove si ritenga opportuno o necessario inserire un “taglio termico” alla base, è quella di procedere al riempimento dei fori del primo corso di blocchi al di sopra della fondazione con materiale isolante sfuso (per es. perlite o vermiculite) [fig. 2]. Si tratta di un’operazione molto semplice da attuare in cantiere ed efficace nel ridurre significativamente la trasmittanza termica verticale, migliorando la correzione del ponte termico senza alterare in alcun modo il comportamento strutturale della muratura, sia essa portante o di tamponatura. La validità di questa soluzione, oltre che comprovata dalle analisi numeriche dei ponti termici qui riportate, è stata adottata ufficialmente anche negli attuali protocolli tecnici di CasaClima⁽¹⁵⁾.



Fig. 2 - Taglio termico alla base mediante riempimento con perlite dei fori del primo corso di blocchi in laterizio.

- 2) Riguardo all’esigenza di prevedere la presenza di un “taglio termico”, le analisi svolte dimostrano che in tutti i casi il dettaglio analizzato è risultato adeguato senza “taglio termico” rispetto alle verifiche richieste dalla normativa, non sussistendo mai il rischio di formazione di muffa, con valori di f_{Rsi} sempre ampiamente superiori ai limiti minimi richiesti per la zona climatica considerata (cfr. Parte 1). Come si evince infatti dalle tabb. 2, 3, 4 i valori di f_{Rsi} sono sempre superiori a 0,800, che dunque rispettano ampiamente i valori minimi da garantire per evitare condensa superficiale e muffa, che abbiamo visto essere rispettivamente 0,630 e 0,678. L’utilizzo del “taglio termico” non è quindi un requisito essenziale.
- 3) Infine, per quanto riguarda i miglioramenti indotti dalla presenza del “taglio termico”, si è riscontrato che esso permette di ottimizzare ulteriormente le prestazioni del ponte termico rendendole conformi, nei casi analizzati, ai requisiti richiesti per edifici CasaClima Classe Gold⁽¹⁵⁾ (temperatura superficiale minima d’angolo dei nodi $T_{si} \geq 17,0^{\circ}\text{C}$).

Tab. 2 - Confronto tra le stratigrafie PT8-A e PT8-B.

PT8-A			PT8-B		
Muratura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)			Muratura POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto (Solaio su terreno: sp. isolante = 4 cm)		
					
Taglio termico base	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI
U (W/m²K)	0,306	0,306	U (W/m²K)	0,318	0,318
ψ (W/mK)	-0,049	-0,074	ψ (W/mK)	-0,017	-0,042
L_{2D} (W/mK)	1,402	1,377	L_{2D} (W/mK)	1,502	1,477
f_{Rsi} (adim.)	0,813	0,842	f_{Rsi} (adim.)	0,811	0,840
T_{si} (°C)	16,6	17,1	T_{si} (°C)	16,5	17,1

analizzati e confrontati applicando diverse soluzioni realizzabili con muratura POROTON® monostrato, di tamponatura e portante, avente spessori variabili da 30 a 42 cm, adattando la larghezza dell'appoggio in fondazione allo spessore della muratura soprastante, condizione più gravosa per quanto riguarda il ponte termico.

Si è ipotizzata la finitura interna della parete con intonaco di spessore 1,5 cm, mentre esternamente si sono considerate diverse soluzioni, mantenendo in ogni caso la stessa finitura esterna costituita da intonaco esterno di spessore 1 cm, variando il rivestimento a cappotto in EPS tra 0 ed 8 cm di spessore, considerando dunque anche il caso di assenza di cappotto.

Il cappotto, ove presente, si è considerato continuo a proseguire fino alla base dell'appoggio della muratura in fondazione [fig. 1].

4. Risultati e considerazioni

Si espongono di seguito, per i ponti termici in esame, alcuni risultati significativi delle analisi svolte, sia con riferimento alla correzione dei ponti termici in termini di flusso termico, sia con riferimento alle verifiche di muffa e condensa, con le opportune considerazioni.

Si precisa che per tutte le stratigrafie considerate non sussiste mai, in alcuna zona climatica, il problema di formazione di condensa interstiziale.

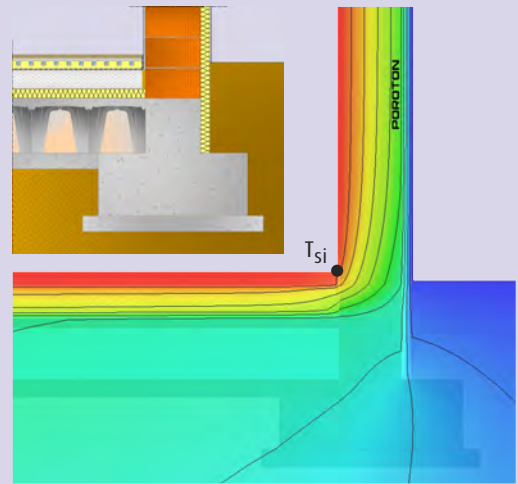
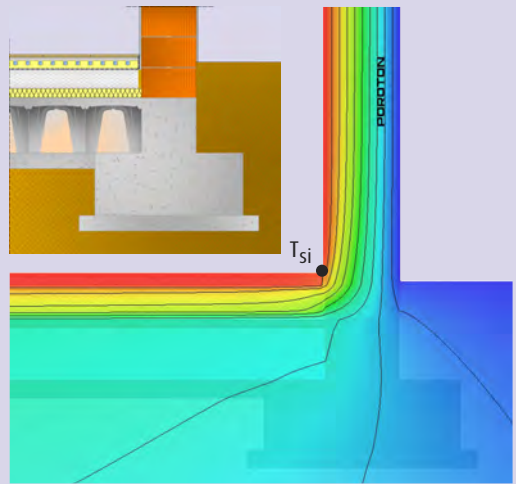
Riguardo la verifica del rischio muffa e condensa, in relazione alla trasmittanza termica delle soluzioni qui presentate (tutte caratterizzate da $U < 0,34$ W/m²K), essa è stata sempre svolta con riferimento ai dati climatici di Milano (zona climatica E)⁽¹⁰⁾. Le condizioni di umidità interne per la verifica del rischio muffa sono riferite ad edifici ad uso abitativo senza ventilazione meccanica controllata. I valori minimi del fattore f_{Rsi} da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788, sono i seguenti:

rischio condensa superficiale: $f_{Rsi,min} = 0,630$

rischio muffa: $f_{Rsi,min} = 0,678$

4.1. Attacco parete esterna - fondazione (PT8)

Nel caso in esame, al fine di valutare il ponte termico del nodo parete-fondazione, si è proceduto al calcolo del valore della trasmittanza termica lineica ψ del ponte termico, valore univoco riferito convenzionalmente alle dimensioni esterne del dettaglio analizzato verso il terreno.

PT8-C			PT8-D		
Muratura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)			Muratura POROTON® sp. 42 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto (Solaio su terreno: sp. isolante = 5 cm)		
					
Taglio termico base	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI
U (W/m²K)	0,290	0,290	U (W/m²K)	0,290	0,290
ψ (W/mK)	-0,042	-0,069	ψ (W/mK)	-0,023	-0,049
L _{2D} (W/mK)	1,390	1,363	L _{2D} (W/mK)	1,404	1,378
f _{Rsi} (adim.)	0,808	0,840	f _{Rsi} (adim.)	0,817	0,846
T _{si} (°C)	16,5	17,1	T _{si} (°C)	16,6	17,2

Tab. 3 - Confronto tra le stratigrafie PT8-C e PT8-D.

Si riporta inoltre anche il valore della temperatura superficiale interna minima del nodo (T_{si}) rilevata ai fini della verifica del rischio muffa, parametro significativo per giudicare l'adeguatezza della soluzione adottata.

Al fine di valutare l'effetto della presenza di un "taglio termico" alla base della muratura e l'eventuale esigenza di prevederlo, le analisi sono state svolte ipotizzando sia l'assenza di un "taglio termico" che la sua presenza. A riguardo si rimanda allo specifico approfondimento riportato nella presente Parte.

Il software utilizzato per le analisi ha consentito infatti di considerare anche l'anisotropia della parete in muratura, prevedendo valori di conducibilità termica della stessa diversi in direzione orizzontale ed in direzione verticale, calcolando quindi l'andamento termico in modo assolutamente aderente alla

realtà, sia in assenza che in presenza di "taglio termico". I risultati ottenuti sono quindi riferiti alle condizioni più sfavorevoli ipotizzabili per il nodo in questione.

Dalle analisi svolte è emerso che soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti considerate, conducono a risultati comparabili in termini di coefficiente di accoppiamento termico L_{2D}, che rappresenta in pratica il flusso termico complessivo scambiato nel nodo, sia utilizzando una muratura POROTON® con applicazione di un rivestimento a cappotto, sia optando per una muratura con blocchi POROTON® termicamente più performanti senza cappotto.

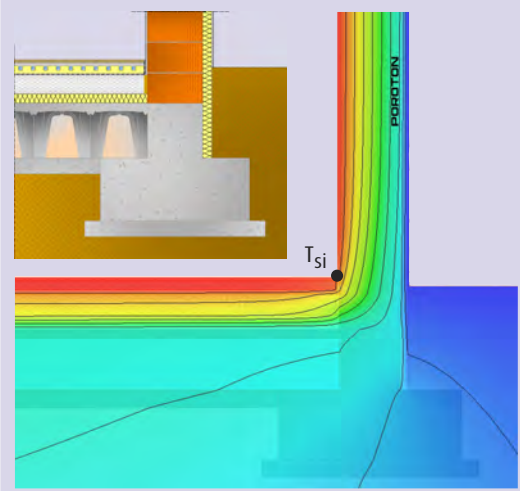
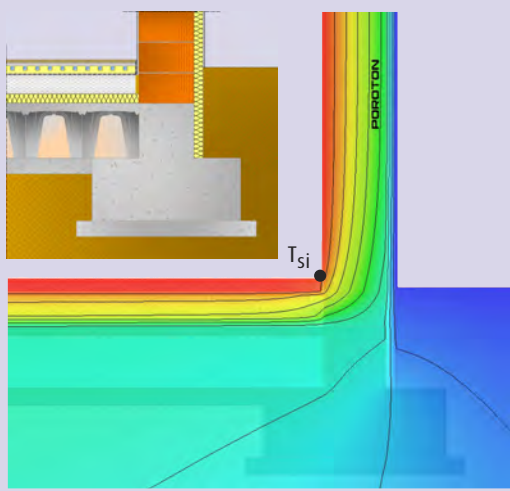
Lo stesso vale anche per la verifica a muffa e condensa: come detto, i fattori f_{Rsi} sono riferiti in questo caso, in relazione alla trasmittanza termica U

dei pacchetti murari considerati, alla zona climatica E (località Milano), e risultano sempre ampiamente superiori ai valori limite richiesti, precedentemente riportati, escludendo quindi qualsiasi problematica in tal senso anche senza la presenza di un "taglio termico" alla base.

A parità di trasmittanza della soluzione di parete scelta, risulta complessivamente trascurabile l'incidenza della presenza del rivestimento a cappotto esterno e del suo spessore; questo è dovuto anche agli accorgimenti adottati nella realizzazione del dettaglio costruttivo per quanto riguarda la connessione con il pavimento, che permette di ottenere la correzione del ponte termico con soluzioni in muratura ad elevate prestazioni termiche senza ricorrere necessariamente a rivestimenti esterni a cappotto.

Quanto osservato è immediatamente

Tab. 4 - Confronto tra le stratigrafie PT8-E e PT8-F.

PT8-E			PT8-F		
Muratura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0,13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 8 cm)			Muratura POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0,18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm (Solaio su terreno: sp. isolante = 6 cm)		
					
Taglio termico base	NO	SI	Taglio termico base	NO	SI
U (W/m²K)	0,249	0,249	U (W/m²K)	0,261	0,261
ψ (W/mK)	-0,034	-0,056	ψ (W/mK)	-0,036	-0,065
L_{2D} (W/mK)	1,192	1,170	L_{2D} (W/mK)	1,292	1,263
f_{Rsi} (adim.)	0,833	0,859	f_{Rsi} (adim.)	0,821	0,850
T_{si} (°C)	16,9	17,4	T_{si} (°C)	16,7	17,3

leggibile dagli esempi specifici riportati in tab. 2 e in tab. 3, che mettono a confronto soluzioni “equivalenti” in termini di trasmittanza e spessore complessivo. Il confronto tra la stratigrafia PT8A e PT8B [tab. 2] evidenzia che non vi sono sostanziali differenze nella correzione del ponte termico analizzato dovute all’adozione di due soluzioni concettualmente diverse (una con muratura termicamente meno performante e rivestimento a cappotto, l’altra con muratura termicamente più performante senza rivestimento a cappotto).

La modesta differenza riscontrabile nel flusso termico complessivamente scambiato dal nodo (L_{2D}) è dovuta esclusivamente alla leggera differenza di trasmittanza termica delle due soluzioni a confronto.

Il confronto tra la stratigrafia PT8C e PT8D [tab. 3] conferma infatti che non

vi è alcuna differenza nella correzione del ponte termico analizzato riconducibile all’adozione di due soluzioni concettualmente diverse e di spessore equivalente (una con muratura termicamente meno performante e rivestimento a cappotto, l’altra con muratura termicamente più performante senza rivestimento a cappotto).

La soluzione senza cappotto è inoltre migliorativa per quanto riguarda il fattore di temperatura superficiale (f_{Rsi} più alto, quindi minore rischio di muffa).

Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con quelle analoghe precedentemente considerate. In particolare la stratigrafia PT8-E, corrisponde alla PT8-A, con la sola differenza che la conducibilità termica equivalente della parete (λ_{eq}) è stata migliorata, passando dallo 0,18 W/mK di PT8-A, allo

0,13 W/mK di PT8-E, miglioramento che si ottiene semplicemente adottando un blocco, o per meglio dire, un sistema di muratura POROTON® termicamente più performante.

Si osserva che a parità di stratigrafia, il semplice miglioramento della qualità della muratura, conduce ad una consistente riduzione del flusso di calore (leggibile nella riduzione di U e L_{2D}) e con una trascurabile differenza di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica ψ ma con un miglioramento del fattore di temperatura superficiale interna f_{Rsi} , leggibile anche nell’incremento della temperatura superficiale interna minima del nodo T_{si} .

Ciò è confermato anche dalla PT8-F che corrisponde alla PT8-C, con la sola differenza che la λ_{eq} è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT8-C, allo 0,18 W/mK di PT8-F.

Come già era percepibile nelle analisi di altre tipologie di ponte termico, nel caso in esame emerge in modo ancor più evidente che la scelta complessivamente migliore è quella di privilegiare la qualità termica del blocco, e quindi della muratura POROTON®, utilizzando spessori adeguati che portano ad ottenere, inoltre, una serie di vantaggi aggiuntivi in termini di inerzia termica ed isolamento acustico dell'involucro. L'importanza di disporre di dati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici risulta, per il caso in esame, ancora più tangibile se si cerca di fare un confronto con valori reperibili da tabelle o da abachi conformi alla UNI EN ISO 14683. Infatti, i dati riportati in Appendice A della norma UNI EN ISO 14683⁽¹¹⁾, peraltro non più utilizzabili in base alle indicazioni della UNI TS 11300-1:2014⁽¹²⁾, contemplano casistiche diverse da quelle qui esposte e lontane dalla normale pratica realizzativa, fornendo quindi indicazioni del tutto inattendibili.

L'abaco dei ponti termici del CENED (Regione Lombardia)⁽¹³⁾ non tratta in alcun modo il ponte termico del nodo con la fondazione e non risulta di fatto reperibile neppure in altri abachi alcuna casistica simile al caso in esame. È importante inoltre ricordare che nessun abaco fornirebbe, in ogni caso, una qualche indicazione relativa al rischio muffa e condensa, la cui valutazione è possibile solo tramite lo studio del ponte termico tramite analisi numerica.

5. Conclusioni

Le analisi svolte sul ponte termico del nodo parete-fondazione confermano in modo ancor più evidente ciò che era già emerso con le analisi di altre tipologie di ponti termici presentate nelle Parti 1, 2 e 3.

Per la casistica qui esaminata si rileva inoltre la totale mancanza di dati di riferimento in abachi conformi.

Le analisi numeriche confermano che

è sempre preferibile utilizzare murature, siano esse di tamponatura o portanti, realizzate con blocchi POROTON® aventi qualità termiche migliori, che permettono di ridurre le dispersioni complessive dell'involucro garantendo un'adeguata correzione dei ponti termici e riducendo il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale. Nel caso specifico del nodo parete-fondazione, si evidenzia che non è necessario adottare un "taglio termico" alla base e che, laddove si intenda prevenirlo, esso può essere realizzato semplicemente ed efficacemente riempiendo i fori del primo corso di blocchi con materiale isolante sfuso (per es. perlite, vermiculite), in modo da non alterare il comportamento strutturale della muratura, sia essa portante o di tamponatura.

Bibliografia

- (1) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 1 - Ponti termici verticali", Murature Oggi n. 117 (1/2015)
- (2) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 2 - Nodo parete-solaio", Murature Oggi n. 118 (2/2015)
- (3) Bari L., Mosele F. "Ponti termici: aspetti normativi, modalità di calcolo e dettagli costruttivi. Parte 3 - Nodo parete-copertura", Murature Oggi n. 119 (3/2015)
- (4) UNI EN ISO 10211:2008 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"
- (5) UNI EN ISO 13788:2013 "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo"
- (6) UNI EN ISO 10456:2008 "Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"
- (7) UNI EN 1745:2012 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche"
- (8) UNI EN ISO 6946:2008 "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"
- (9) UNI EN ISO 13370:2008 "Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo"
- (10) UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici - Parte 1"
- (11) UNI EN ISO 14683:2008 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"
- (12) UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale"
- (13) CENED - Regione Lombardia "Abaco dei ponti termici", http://www.cened.it/documenti_tecnici
- (14) Mosele F., Bari L. "Comportamento e verifica dei tamponamenti soggetti ad azioni sismiche", Murature Oggi n. 109 (2/2011)
- (15) Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima: "Direttiva Tecnica - Nuovi Edifici", Luglio 2015 e "Catalogo CasaClima", Luglio 2015



TANTE DOMANDE UNA SOLA RISPOSTA

strutture antisismiche
comfort acustico
isolamento termico

durabilità e valore nel tempo
benessere abitativo
risparmio energetico

realizzato da CR SOFT S.r.l.



POROTON[®] il termolaterizio[®]

Via Franchetti, 4 - 37138 VERONA - Tel. 045 572697 - Fax 045 572430 - www.poroton.it - info@poroton.it