

Ponti termici: soluzioni d'angolo con e senza pilastro

Prosegue l'analisi dei ponti termici (cfr. anche [Newsletter POROTON® n. 98](#) - Ottobre 2015 e [Newsletter POROTON® n. 100](#) - Marzo 2016) riferita alle più diffuse casistiche che si riscontrano usualmente nelle costruzioni.

*In questo articolo si presentano alcuni esempi per la **soluzione dei ponti termici** indotti da angoli con pilastri in c.a. o in muratura portante senza pilastro, tratti dai risultati ottenuti dalle numerose analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia in conformità alle norme in materia.*

1. Ponti termici in presenza di angoli con e senza pilastro

Le analisi qui presentate si riferiscono alla presenza di **pilastri d'angolo** nelle pareti in muratura POROTON® di tamponatura, ed alle **configurazioni d'angolo** in strutture in muratura portante POROTON®. In particolare:

- angolo parete di tamponatura con pilastro in c.a. (PT2)
- angolo parete in muratura portante (PT3)

I calcoli numerici sono stati eseguiti con metodi agli elementi finiti, utilizzando un software dedicato, "[Mold Simulator Pro Ver. 2](#)" 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.

Le analisi 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 e s.m. ed integrazioni.

2. Dettagli costruttivi dei ponti termici in esame

Le analisi 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 importante da considerare per la scelta della soluzione di parete ottimale.

Le analisi hanno altresì contemplato la verifica di assenza del rischio muffa con la determinazione del fattore f_{Rsi} , parametro fondamentale che di fatto attesta se il ponte termico considerato si possa ritenere corretto.

I dettagli costruttivi sono riportati nelle figg. 1, 2.

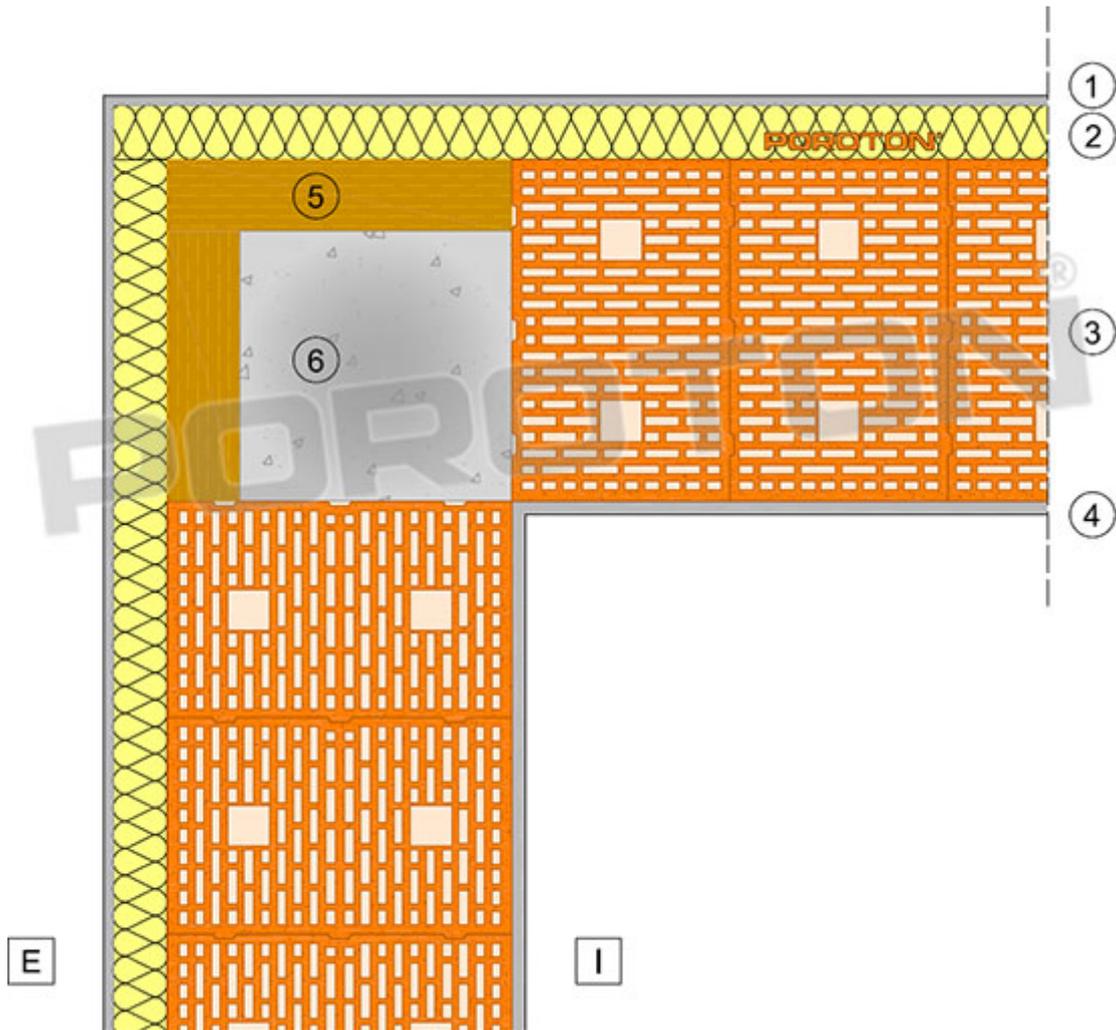


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla presenza di un pilastro d'angolo in c.a. (PT2).

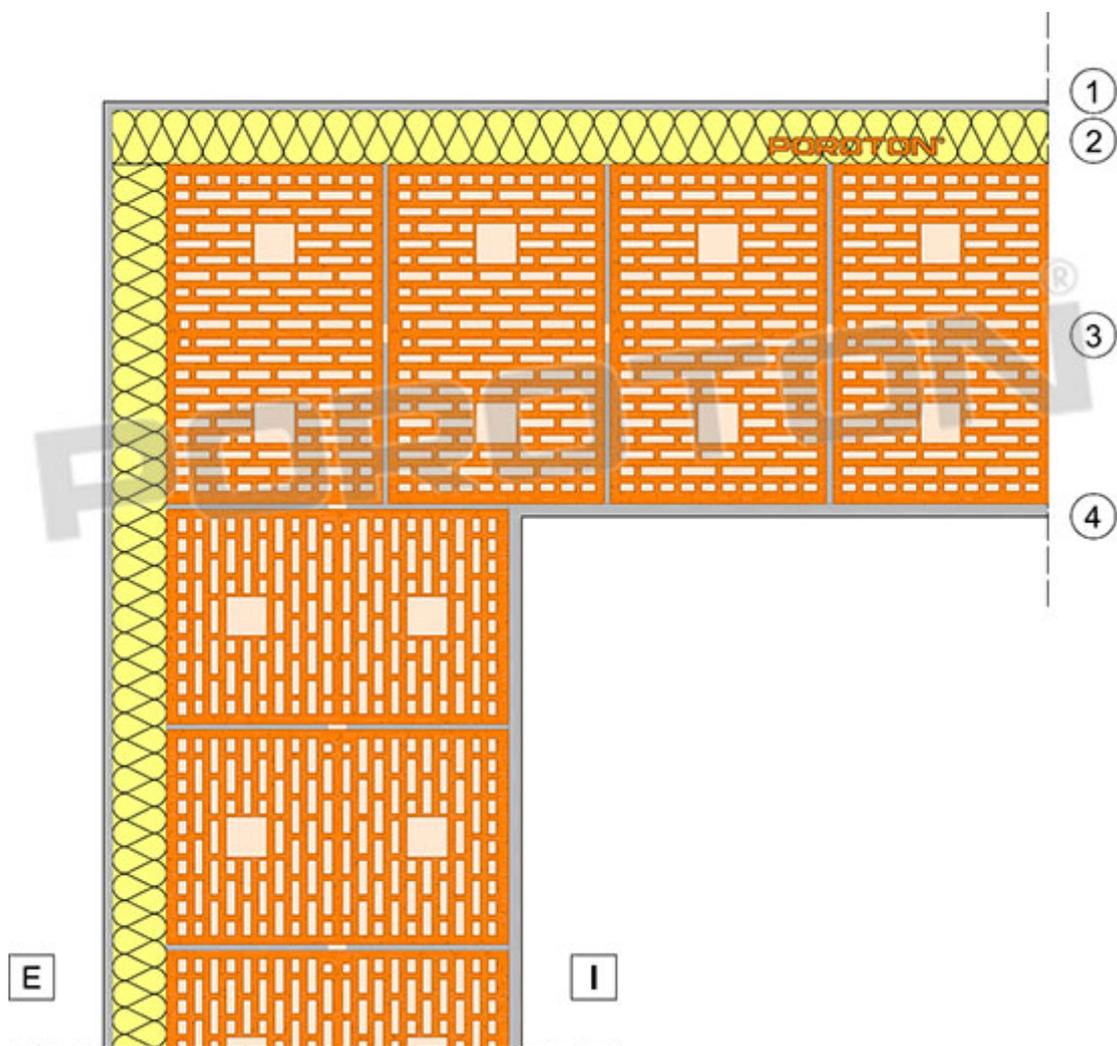


Fig. 2 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dell'angolo in muratura portante (PT3).

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.

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

Materiali	Spessore cm	Densità kg/m ³	Conducibilità termica W/mK	Calore specifico J/kgK	Resistenza 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 Legno mineralizzato	5 ÷ 12	400	0,070	1810	5
6 Calcestruzzo armato	30x30	2400	2,00	1000	80

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, mantenendo invariata la dimensione del pilastro d'angolo, ove presente, 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 [fig. 1], materiale che si è assunto essere EPS o XPS 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 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).

3. 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). 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: $f_{Rsi,min} = 0,710$

3.1. 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. 1].

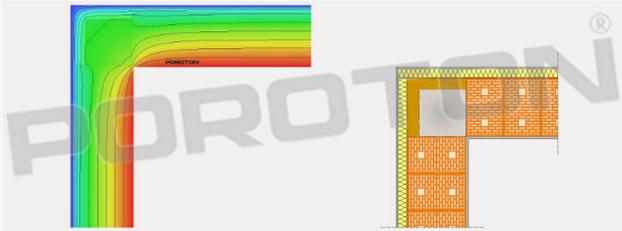
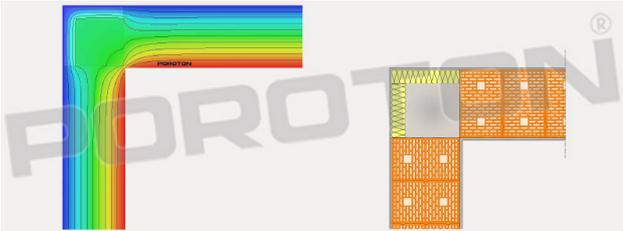
Sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con **muratura POROTON®** monostrato di tamponatura mantenendo invariata la dimensione del pilastro, secondo quanto indicato nel par. 3. che descrive i dettagli costruttivi analizzati.

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 .

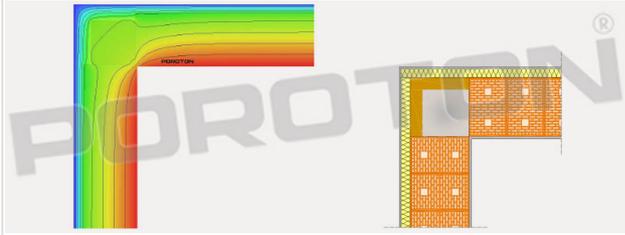
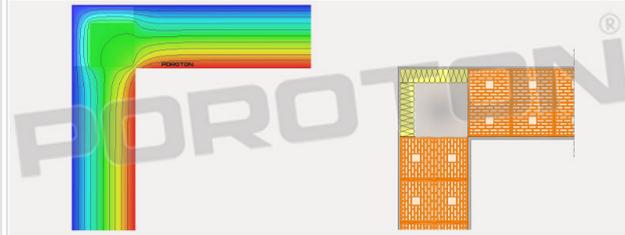
A parità di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti si conferma parimenti prestante la scelta di una muratura di tamponamento con **blocchi POROTON® termicamente più performanti** senza cappotto rispetto ad una muratura di tamponamento con blocchi meno performanti e rivestimento 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. 2 e tab. 3, che mettono a confronto soluzioni "equivalenti" in termini di trasmittanza e spessore complessivo.

Tab. 2 – Confronto tra le stratigrafie PT2-A e PT2-B.

PT2-A		PT2-B	
Muratura di tamp. POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamp. 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.)	0,711

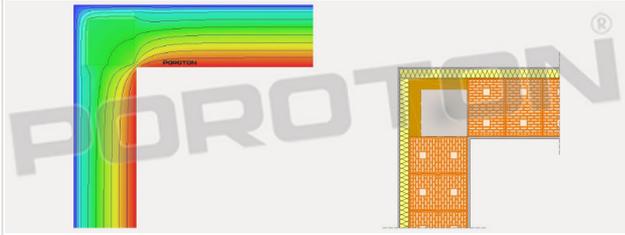
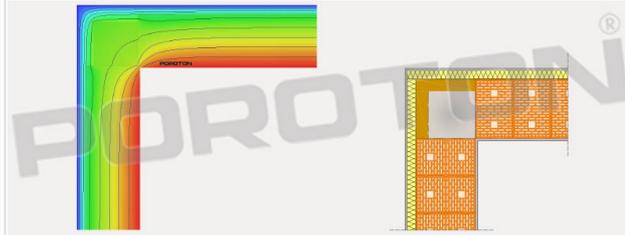
Tab. 3 – Confronto tra le stratigrafie PT2-C e PT2-D.

PT2-C		PT2-D	
Muratura di tamp. POROTON [®] sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura di tamp. 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

Nella tab. 4 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) (cfr. [Newsletter POROTON[®] n. 100](#) - Marzo 2016), 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 equivalenza di incidenza del ponte termico in termini di trasmittanza termica lineica ψ e di fattore di temperatura superficiale f_{Rsi}.

Tab. 4 – Stratigrafie PT2-E e PT2-F.

PT2-E		PT2-F	
Muratura di tamp. POROTON [®] sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamp. 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

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 **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

Si segnala, infine, che 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) fornisce una relazione per la stima della trasmittanza termica lineica (ψ_i o ψ_e) per casistiche solo simili 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, a conferma dell'importanza di disporre di risultati derivanti da analisi numeriche dei ponti termici per valutare correttamente le dispersioni dell'involucro.

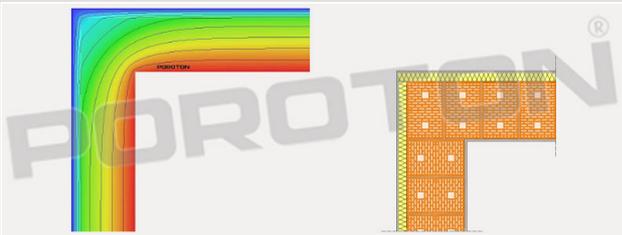
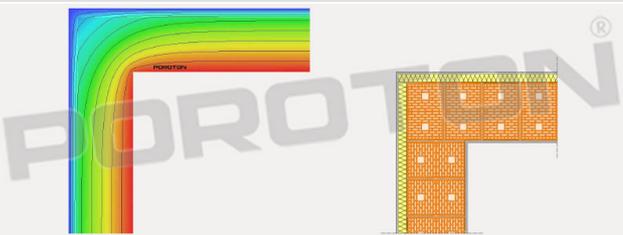
3.2. Angolo parete in muratura portante (PT3)

Nel caso si realizzi una **struttura in muratura portante**, oltre ad eliminare la presenza dei ponti termici dovuti al pilastro in linea (PT1) (cfr. [Newsletter POROTON[®] n. 100](#) - Marzo 2016), 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. 5.

Tab. 5 – 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/m²K)	0,290	U (W/m²K)	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

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.

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) 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 trasmittanze 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.

4. Conclusioni

Con riferimento ai ponti termici indotti da configurazioni d'angolo con e senza pilastro trattati nel presente articolo, le analisi svolte evidenziano che, **in presenza di pilastri in c.a., questi devono essere sempre opportunamente protetti esternamente** con un adeguato spessore di materiale isolante, che non necessariamente è rappresentato dal 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) (cfr. [Newsletter POROTON® n. 100](#) - Marzo 2016) 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.

Autori:

Lorenzo Bari, Flavio Mosele

Riferimento:

Newsletter numero 102