

Connessione tra parete in muratura POROTON® e solaio interpiano

Ponti termici: il nodo parete-solaio

Prosegue l'analisi dei ponti termici (cfr. anche Newsletter POROTON® n. 98 - Newsletter POROTON® n. 100 - Marzo 2016, Newsletter POROTON® n. 102 - Maggio 2016, Newsletter POROTON® n. 107 - Marzo 2017) riferita alle più diffuse casistiche che si riscontrano usualmente nelle costruzioni.

In questo articolo si presentano alcuni esempi inerenti la connessione tra parete in muratura e solaio, tratti dai risultati ottenuti dalle numerose analisi numeriche svolte dal Consorzio POROTON® Italia in conformità alle norme in materia.

1. Ponte termico del nodo "Parete-Solaio"

Le analisi qui presentate si riferiscono al dettaglio costruttivo di connessione tra parete in muratura POROTON® e solaio interpiano, considerando, in particolare:

- attacco parete di tamponatura-solaio (PT4);
- attacco parete in muratura portante-solaio (PT5).

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.

Dettaglio costruttivo del nodo “Parete-Solaio”

Quando ci si riferisce alla **connessione tra parete verticale e solaio** le condizioni 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 [figg. 1, 2].

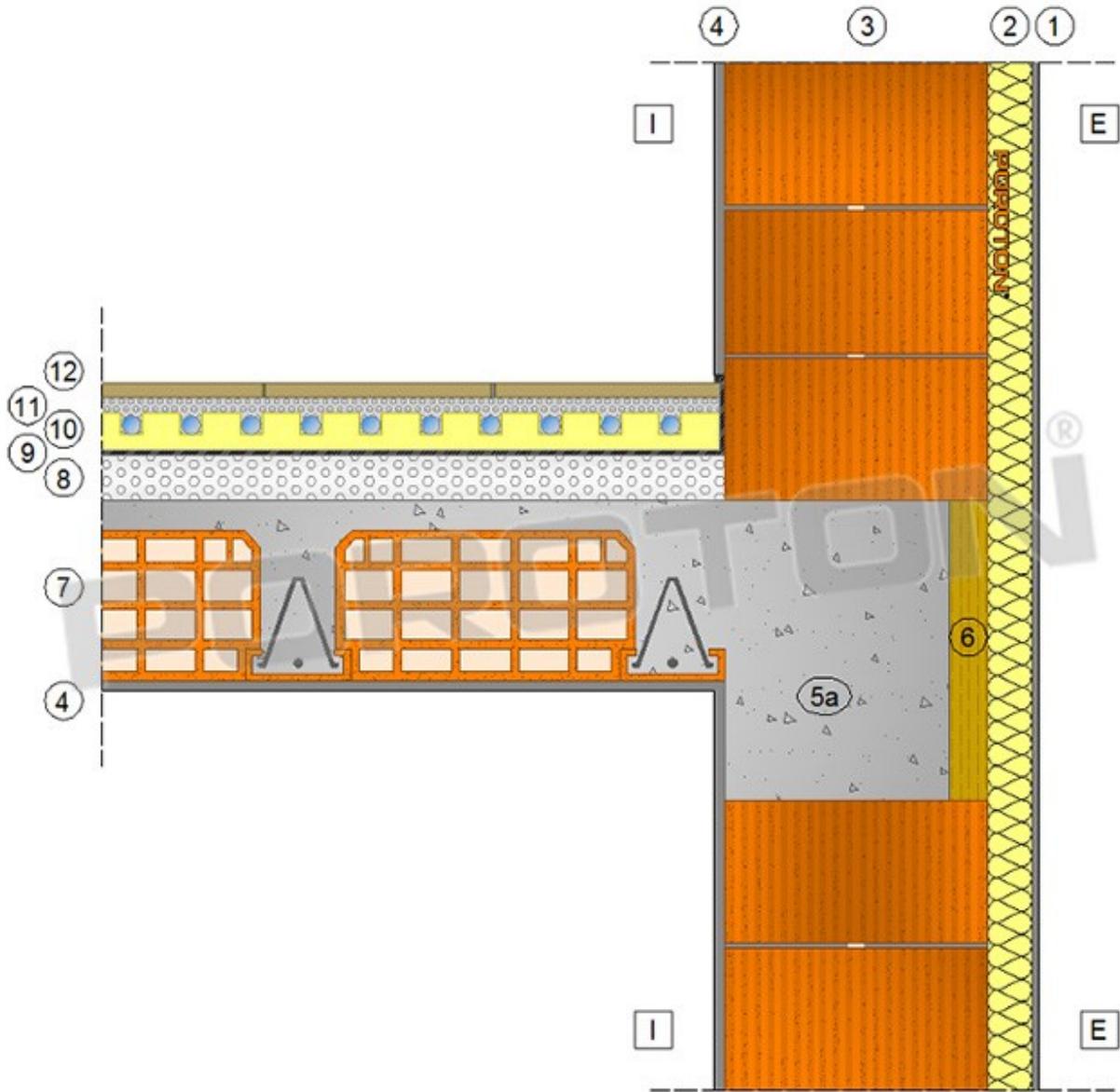


Fig. 1 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra solaio con trave in c.a. e tamponatura esterna (PT4).

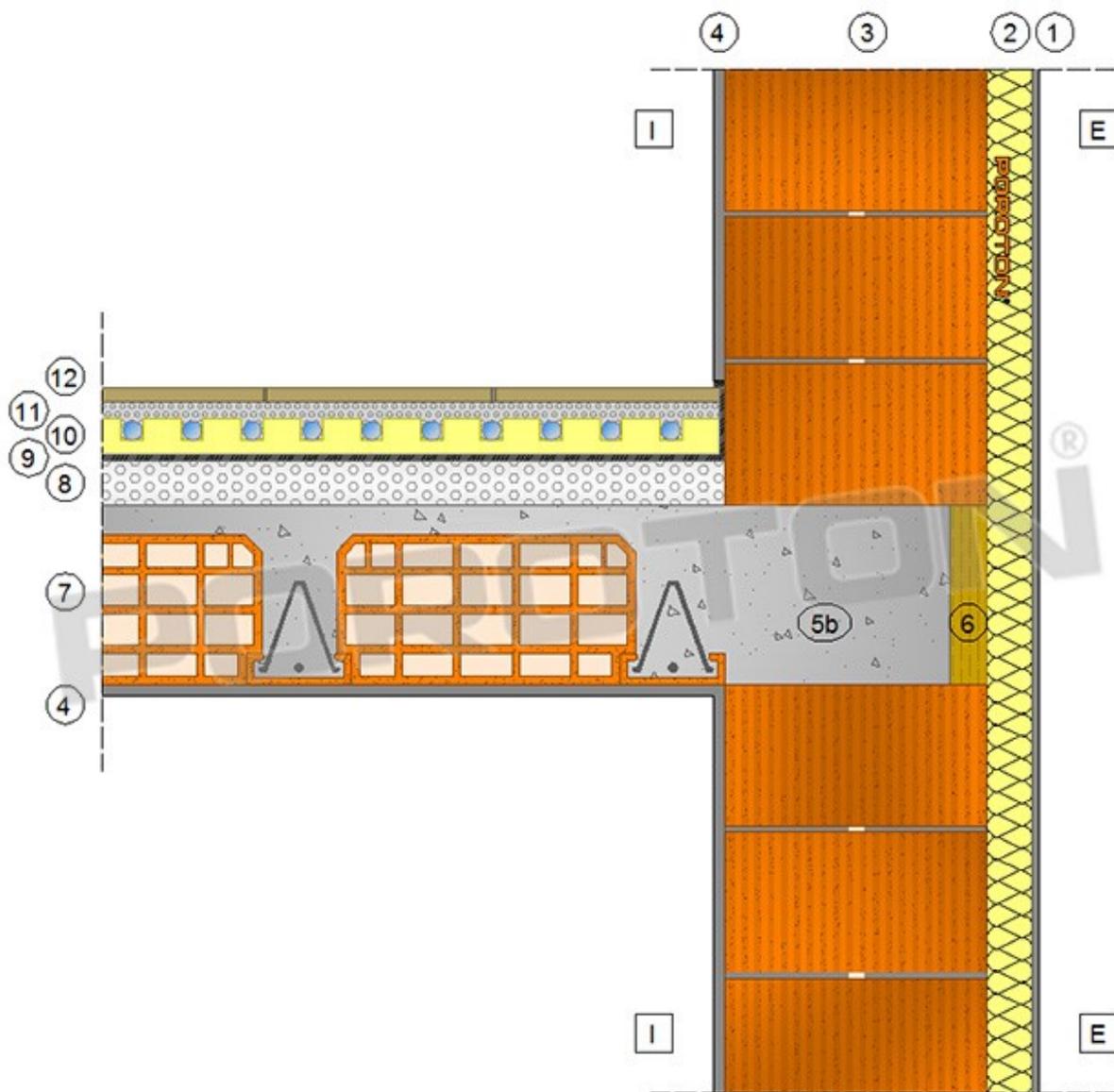


Fig. 2 - Dettaglio costruttivo del ponte termico dovuto alla connessione tra solaio con cordolo in c.a. e muratura portante esterna (PT5).

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, ricavate dalle più aggiornate normative di riferimento disponibili.

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 pacchetto dell'impianto radiante e per il pavimento.

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

ID 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
5a Trave in c.a. (H 40 cm)	30	2400	2,00	1000	80
5b Cordolo in c.a. (H 24 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	∞

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), 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 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 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].

3. 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 $U < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$), 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 $f_{R_{Si}}$ da soddisfare in queste condizioni, calcolati secondo la UNI EN ISO 13788 con riferimento ai nuovi dati climatici della UNI 10349-1:2016, sono i seguenti:

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

3.1. Attacco parete di tamponatura - solaio (PT4)

Si tratta di una casistica molto diffusa in edifici costruiti con **struttura intelaiata in calcestruzzo armato**.

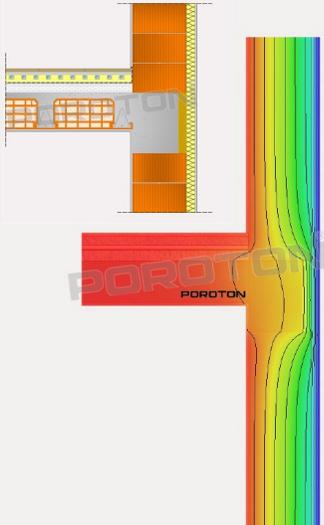
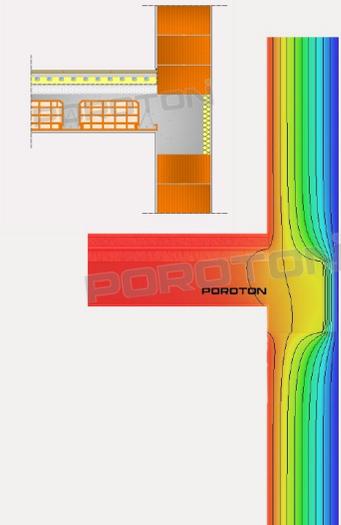
Sono state analizzate e confrontate le diverse soluzioni realizzabili con **muratura POROTON®** monostrato di tamponatura, mantenendo invariata la dimensione della trave, secondo quanto indicato nel § 2. che descrive i dettagli costruttivi analizzati [fig. 1].

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 .

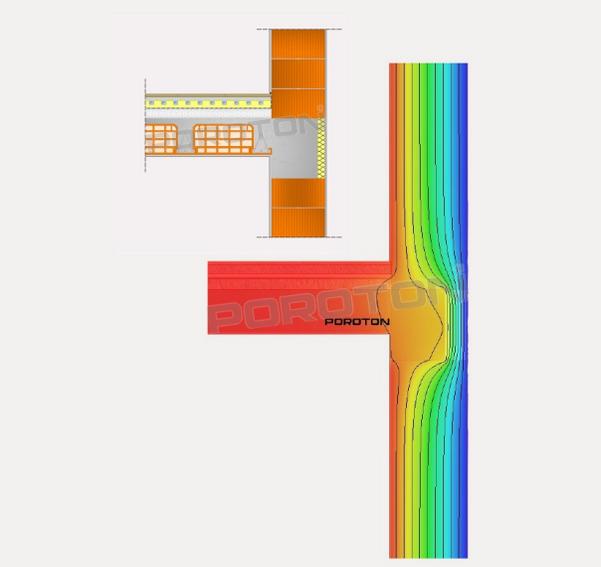
A parità di trasmittanza termica U e di spessore complessivo delle pareti si conferma parimenti prestante la scelta di una muratura di tamponamento con **blocchi POROTON® termicamente più performanti** senza cappotto rispetto ad una muratura di tamponamento con blocchi meno performanti e rivestimento 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 PT4-A e PT4-B.

PT4-A		PT4-B	
Muratura di tamponamento POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.18$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponamento POROTON® sp. 38 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK senza rivestimento a cappotto	
			
U (W/m²K)	0,306	U (W/m²K)	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. 3 – Confronto tra le stratigrafie PT4-C e PT4-D.

PT4-C		PT4-D	
Muratura di tamponamento POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.23$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 6 cm		Muratura di tamponamento 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)	0,162	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

Nella tab. 4 si espongono altre due stratigrafie che risulta interessante confrontare con le analoghe stratigrafie precedentemente introdotte. In particolare, 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.

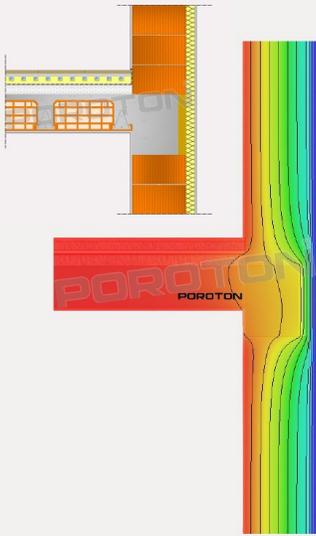
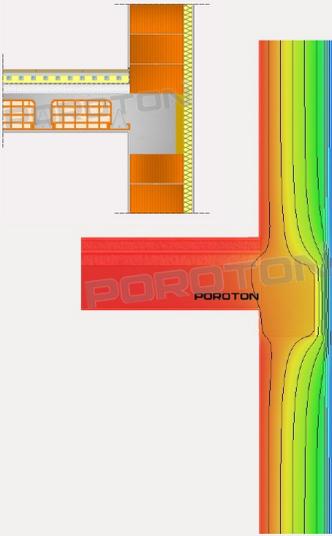
Analogamente PT4-F corrisponde alla PT4-C, con la sola differenza che la conducibilità λ_{eq} è stata migliorata, passando dallo 0,23 W/mK di PT4-C, allo 0,18 W/mK di PT4-F.

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 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.

Come già era percepibile nelle analisi di altre tipologie di ponte termico, nel caso in esame si riconferma che 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.

Tab. 4 – Stratigrafie PT4-E e PT4-F.

PT4-E		PT4-F	
Muratura di tamponamento POROTON® sp. 35 cm, $\lambda_{eq}=0.13$ W/mK con rivestimento a cappotto di sp. 4 cm		Muratura di tamponamento 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)	0,212	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

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.

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 macroscopici 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) fornisce relazioni per la stima della trasmittanza termica lineica (Ψ_i o Ψ_e) per casistiche solo simili 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:

$$\Psi_e = 0,058 \text{ W/mK (da analisi numerica } 0,046 \text{ W/mK)}$$

$$\Psi_i = 0,135 \text{ W/mK (da analisi numerica } 0,162 \text{ W/mK)}$$

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.

3.2. 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. 2. che descrive i dettagli costruttivi analizzati.

Nel caso di **muratura portante**, la necessità 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.

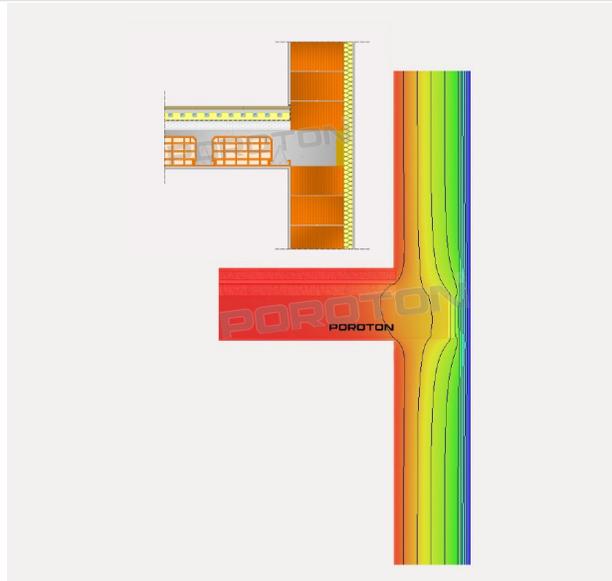
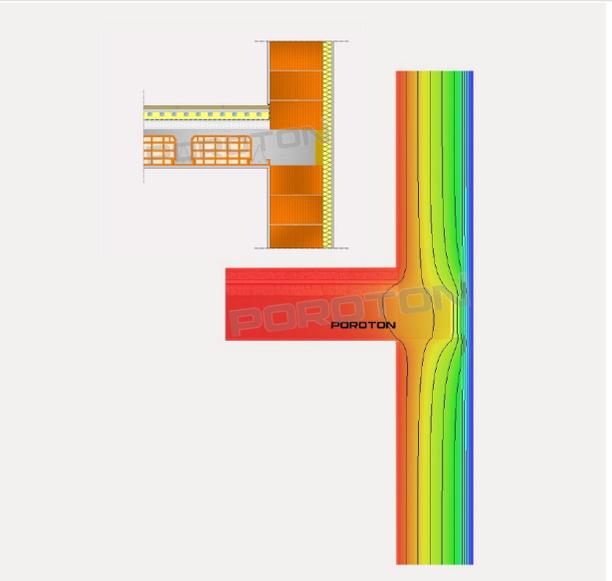
Come era logico attendersi, le analisi mostrano come a parità di stratigrafia e di spessore della parete, **l'impiego di una muratura in blocchi POROTON® termicamente più performante permetta di ridurre l'incidenza del ponte termico e di incrementare l'isolamento termico** (L_{2D} più basso), **riducendo 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, leggibili dalla riduzione del flusso globale e della trasmittanza termica lineica, essendo minori L_{2D} , Ψ_i e Ψ_e , 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.

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

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/m ² K)	0,290	U (W/m ² K)	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

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). 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**.

4. Conclusioni

Le analisi svolte sul ponte termico del nodo parete-solaio confermano quanto già emerso con le analisi di altre tipologie di ponti termici precedentemente presentate (cfr. [Newsletter POROTON® n. 98](#) - Newsletter POROTON® n. 100 - Marzo 2016, [Newsletter POROTON® n. 102](#) - Maggio 2016, [Newsletter POROTON® n. 107](#) - Marzo 2017), sia per quanto riguarda la **carezza 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.

Autori:

Lorenzo Bari, Flavio Mosele

Riferimento:

Newsletter numero 111