

Le proprietà dei materiali edilizi per i calcoli termici ed energetici

Parte terza: i ponti termici e le dispersioni inerenti.

Piergiorgio Cesaratto (*), Valentina Raisa (**), Roberto Zecchin (*)

(*) Dipartimento di Fisica Tecnica, Università di Padova

(**) Consulente R & D ALDESITALIA, Modena

In questo articolo si vuole focalizzare l'attenzione del lettore sulle caratteristiche dei ponti termici, ossia di quelle eterogeneità delle strutture edilizie che possono essere causa di dispersioni energetiche talvolta notevoli, con ripercussioni che possono provocare anche il degrado delle strutture stesse; in questa sede sono trattati principalmente gli aspetti della determinazione delle dispersioni termiche.

La trattazione, come negli articoli precedenti, è fortemente basata sulla legislazione vigente e sulla più recente normativa del settore, che costituisce sempre un valido strumento di calcolo e valutazione.

1. Definizione di ponte termico e parametri caratteristici

Un ponte termico, secondo la definizione data dalla norma UNI EN ISO 10211:2008 [a] è una parte dell'involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme sulla superficie delle pareti, cambia in modo significativo per effetto di una o più delle seguenti situazioni:

- compenetrazione totale o parziale di materiali con conduttività termica diversa nell'involucro edilizio;
- variazione dello spessore della costruzione;
- differenze tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella sul lato esterno, come avviene per esempio in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto.

Le immagini delle figg. 1 e 2 chiariscono visivamente cosa sia un ponte termico e come le diverse soluzioni costruttive possano dar luogo a diversi comportamenti termici della struttura edilizia; si fa riferimento ad un tipico particolare costruttivo: il davanzale di una finestra.

Sono considerate due situazioni, a parità di materiali e spessori costituenti la parete (e quindi a parità di trasmittanza della parte corrente della parete): nella soluzione di fig. 1a non si è tenuto conto del problema dei ponti termici, secondo il tipico vecchio stile di progettazione, mentre in quella di fig. 1b il particolare costruttivo è stato adeguatamente progettato, secondo un'ottica progettuale moderna ed in linea con le disposizioni legislative attuali in materia di contenimento dei consumi energetici.

L'analisi dei campi termici è stata effettuata mediante un codice di calcolo alle differenze finite (metodologia contemplata dalla UNI EN ISO 10211:2008, come più oltre descritto).

La seconda soluzione fa parte del progetto Isoproject elaborato dal Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova in collaborazione con Cleverbuilding S.r.l. ed il supporto del Consorzio POROTON® Italia, nell'ambito di una sperimentazione sull'efficienza energetica nelle costruzioni: all'interno di tale progetto sono state considerate diverse tipologie di particolari costruttivi energeticamente efficienti nei quali è stato affrontato e correttamente risolto il problema dei ponti termici.

L'analisi del campo termico indica che, con $\Theta_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$ e $\Theta_{\text{ext}} = -5^\circ\text{C}$, nella prima soluzione si verifica una temperatura minima superficiale di circa 8°C (si osservi che la scala cromatica delle temperature è "normalizzata" ad una differenza di temperatura unitaria tra interno ed esterno); nella seconda soluzione, invece, a parità di Θ_{int} e Θ_{ext} , corrisponde una temperatura minima superficiale di circa 16°C , con ben minor rischio di condensazione o di eccesso di umidità, come più oltre discusso.

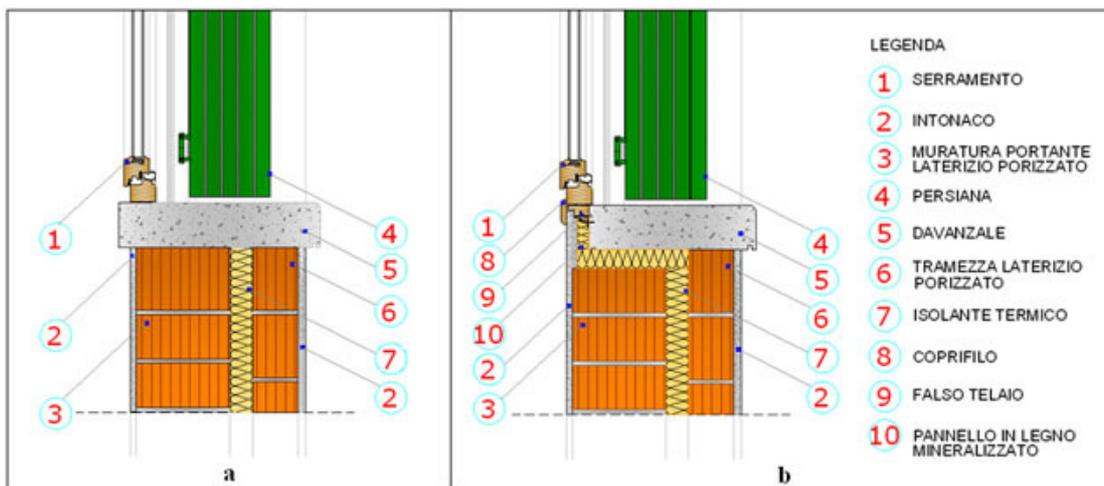


Fig. 1 - Esempio di ponte termico in corrispondenza al davanzale:
a) soluzione non isolata;
b) soluzione con isolamento termico.

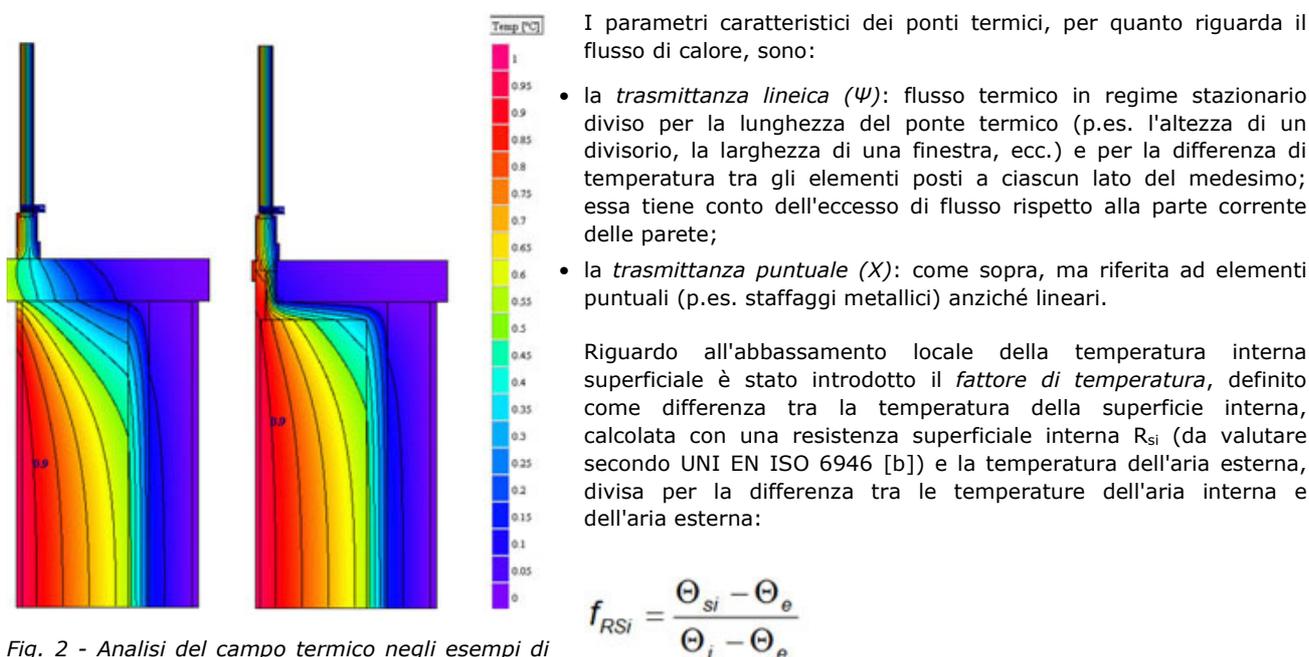


Fig. 2 - Analisi del campo termico negli esempi di fig. 1: a sinistra il caso non isolato, a destra il caso con isolamento termico.

dove: Θ_i , Θ_{si} , Θ_e sono rispettivamente le temperature dell'aria interna, superficiale interna e dell'aria esterna.

Ovviamente quello che interessa è il valore minimo assunto dal fattore di temperatura per una data configurazione.

I ponti termici quindi, generalmente localizzati in corrispondenza alle giunzioni tra gli elementi edilizi o dove la composizione degli stessi elementi edilizi si modifica, producono due effetti: un aumento del flusso termico specifico, rispetto a quello delle parti correnti delle pareti, ed un abbassamento locale della temperatura superficiale interna [c, d, e, f].

2. Disposizioni legislative

A livello legislativo è da notare che il D.Lgs. 311/06 [g] riporta, nell'allegato A ("Ulteriori definizioni"), la definizione di ponte termico come "discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro)"; definisce quindi *ponte termico corretto* il caso in cui "la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico, come indicato in fig. 3) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente".

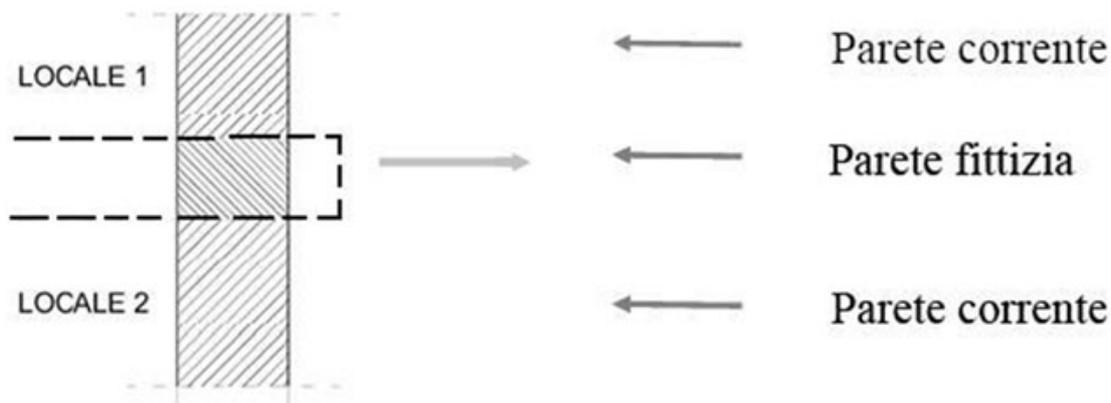


Fig. 3 - Identificazione della parete fittizia ai fini della valutazione della presenza di ponte termico (da D.Lgs. 311/06).

Lo stesso decreto, nell'allegato I, Articolo 11, "Regime transitorio per la prestazione energetica degli edifici", precisa che nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria per le categorie di edifici ivi specificate, il valore della trasmittanza termica U per le strutture opache, a ponte termico corretto, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nelle tabelle presenti nell'allegato C (concetto confermato nel D.P.R. attuativo n. 59/2009 - n.d.r.).

Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media (parete corrente più ponte termico).

In sostanza, nel caso di ponti termici "corretti" si prescrive che il valore limite sia rispettato dalla sola parete corrente (trascurando in pratica l'effetto dei ponti termici stessi), mentre nel caso in cui i ponti termici non siano "corretti", il valore limite deve essere rispettato tenendo conto dell'effetto dei ponti termici (e quindi abbassando la trasmittanza della parete corrente per compensarne l'effetto).

Purtroppo, con tali prescrizioni, il legislatore, oltre a non fare riferimento alla normativa esistente ed al parametro specifico a tal fine definito (trasmittanza lineica o puntuale), limita l'applicabilità del criterio al solo caso di innesto di parete interna o solaio sulla parete esterna, trascurando, per esempio, il caso importantissimo e usualmente molto più rilevante, degli elementi di contorno delle finestre (spallette, davanzali, architravi, cassonetti); ulteriori considerazioni e suggerimenti su questo tema sono riportati in bibliografia [h].

3. I riferimenti normativi

3.1 Le recenti innovazioni del quadro normativo

Come già osservato, la presenza di ponti termici determina flussi termici tridimensionali o bidimensionali che possono essere determinati con maggiore o minore precisione utilizzando i metodi descritti nella normativa di settore.

Gli attuali riferimenti sono sostanzialmente due: la UNI EN ISO 14683:2008 [i] e la UNI EN ISO 10211:2008.

La **UNI EN ISO 14683:2008**, che recepisce la ISO 14683:2007, sostituisce la precedente versione UNI EN ISO 14683:2001; nella nuova versione sono specificate nuove condizioni al contorno (modificate e più realistiche rispetto alla precedente) per il calcolo delle trasmittanze lineiche Ψ riportate nella norma stessa, vi sono alcune variazioni riguardo alle dimensioni delle configurazioni specificate all'interno dei casi trattati in Appendice A ed inoltre sono stati aggiunti i casi di solai contro terra e solai sopraelevati rispetto al livello del terreno.

Ma la novità più importante è il fatto che i valori tabellari di Ψ , precedentemente riportati nel corpo della norma, sono ora dati nell'Appendice A "informativa", con la contestuale raccomandazione che la tabella stessa sia estesa o sostituita su base nazionale.

La **UNI EN ISO 10211:2008** accorpa e sostituisce le UNI EN ISO 10211-1:1998 e UNI EN ISO 10211-2:2003. Tra le novità della nuova versione si segnalano ulteriori criteri per la definizione geometrica dei modelli ai quali applicare i metodi numerici (piani di taglio e piani ausiliari del modello), si stabilisce inoltre quando fare riferimento alla UNI EN ISO 13788:2003 [l] eliminando le Appendici E e G della UNI EN ISO 10211-1:1998 e si rimanda infine alla normativa pertinente per il calcolo della conduttività termica equivalente delle intercapedini d'aria, delle resistenze superficiali e altri parametri.

Nella versione del 2008, inoltre, è ampliata la descrizione del metodo di calcolo della trasmittanza lineica per giunti parete/pavimento già presente nella UNI EN ISO 13370:2008 [m], viene aggiunto un nuovo esempio per la validazione del modello di calcolo, si specifica una procedura più corretta e dettagliata per i calcoli nei casi in cui vi siano più di due temperature al contorno.

3.2 La norma UNI EN ISO 14683:2008

Tra le due norme, il principale riferimento è la UNI EN ISO 14683:2008, la quale inquadra in maniera sintetica il tema, considerando le diverse possibilità.

Per il calcolo più accurato di flussi termici e temperature superficiali rimanda a metodi dettagliati (numerici) la cui applicazione deve essere effettuata secondo le prescrizioni e le procedure descritte nella UNI EN ISO 10211.

La norma menziona poi, senza riportarne operativamente alcuno, i metodi semplificati ("manuali"), per i quali elenca alcuni requisiti che devono essere soddisfatti dai metodi stessi.

La UNI EN ISO 14683 definisce anche i requisiti relativi ai cataloghi di ponti termici, intesi come strumenti per la progettazione.

La parte più rilevante della norma, dal punto di vista applicativo, è costituita dall'Appendice A dove vengono forniti valori di progetto della trasmittanza termica lineica per un insieme di tipologie di ponti termici comuni (circa ottanta casi): essi devono essere utilizzati quando l'effettivo valore di Ψ non è noto, ma anche quando non sono disponibili dettagli sul particolare ponte termico o nel caso un valore approssimato di Ψ sia appropriato per l'accuratezza richiesta nella

determinazione della perdita totale di calore.

La norma stessa specifica che tali valori di progetto sono validi solo per il calcolo del flusso termico (del quale rappresentano una sovrastima cautelativa) in corrispondenza della particolare configurazione, ma non devono essere utilizzati per valutazioni riguardo alla temperatura minima superficiale per evitare fenomeni di condensazione.

Le condizioni al contorno generali rispetto alle quali sono state effettuate le valutazioni dei coefficienti lineici e le tipologie di ponti termici considerati sono riportate nelle figg. 4 e 5.

For all details:		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
		$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
For external walls:		$d = 300 \text{ mm}$
For internal walls:		$d = 200 \text{ mm}$
For walls with an insulation layer:	— thermal transmittance	$U = 0,343 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2 \text{ K}/\text{W}$
For lightweight walls:		$U = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
For ground floors:	— floor slab	$d = 200 \text{ mm}$
	— thermal conductivity of ground	$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
For intermediate floors:		$d = 200 \text{ mm}$
		$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
For roofs:	— thermal transmittance	$U = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
For the frames in openings:		$d = 60 \text{ mm}$
For columns:		$d = 300 \text{ mm}$
		$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Fig. 4 - Condizioni di riferimento usate per calcolare i valori di Ψ secondo UNI EN ISO 14683.

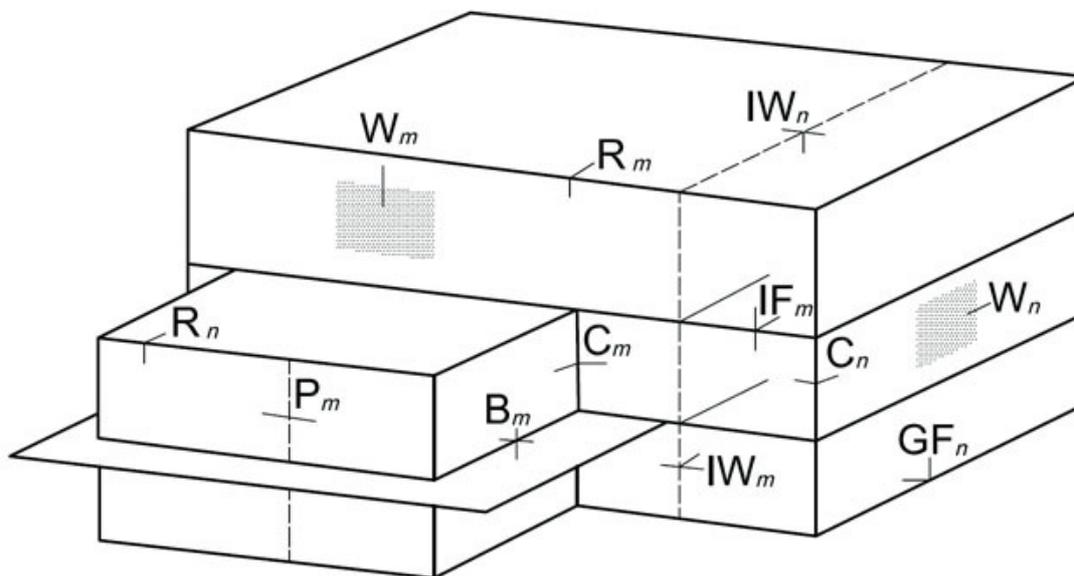


Fig. 5 - Schema di edificio con l'indicazione delle posizioni e delle tipologie di ponti termici più comuni identificati dalle lettere R, B, C, GF, IF, IW, P, W, in UNI EN ISO 14683.

La Tabella A.2 della norma fornisce valori di progetto di Ψ , arrotondati allo 0.05 W/(m K) più vicino, relativi a tre sistemi di valutazione delle dimensioni dell'edificio:

- dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.

In fig. 6 sono riportati, a titolo esemplificativo, alcuni casi tratti dalla Tabella A.2.

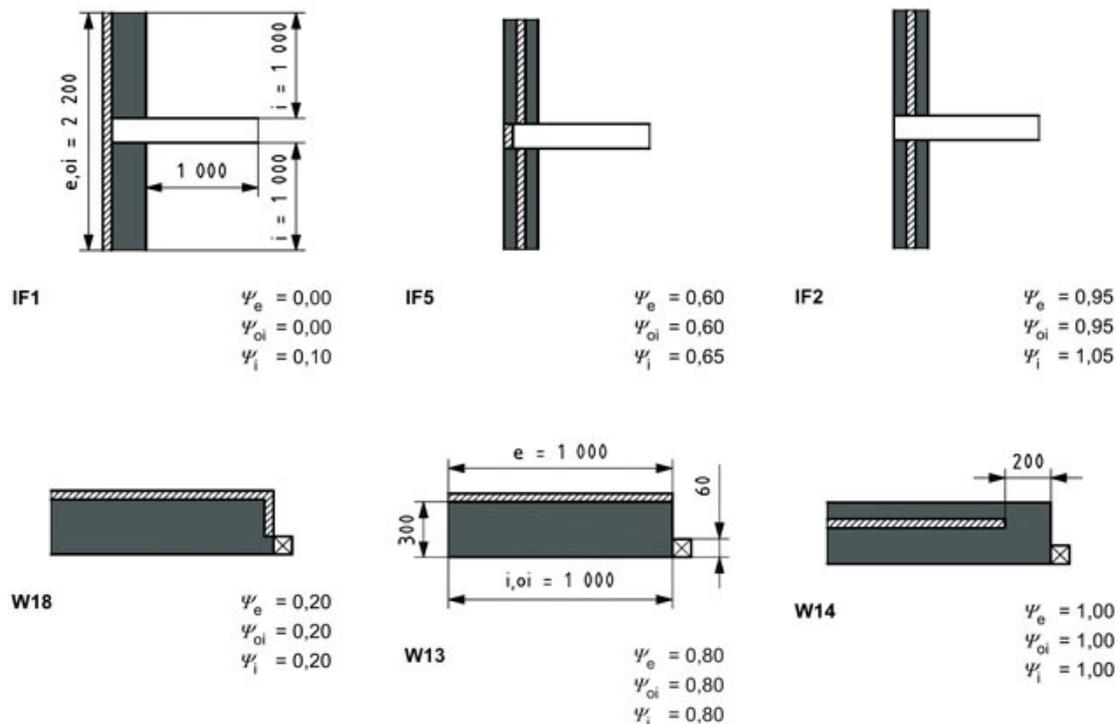


Fig. 6 - Esempi di ponti termici e relative trasmittanze termiche lineiche.

È infine interessante sapere che la norma riporta, nell'Appendice B, un esempio di calcolo che può essere di utilità per imparare ad utilizzare i metodi di calcolo precedentemente descritti.

3.3 La norma UNI EN ISO 10211:2008

Il secondo importante riferimento normativo è la norma UNI EN ISO 10211:2008, che definisce le specifiche dei modelli geometrici 3-D e 2-D di un dato ponte termico tridimensionale e bidimensionale rispettivamente, ai fini del calcolo numerico dei flussi termici e delle temperature superficiali.

La UNI EN ISO 10211 include le definizioni dei limiti del modello geometrico e le sue suddivisioni, le condizioni limite ed i valori termici associati da utilizzare.

Sulla base delle indicazioni riportate nella norma, quindi, si può modellizzare la tipologia di ponte termico considerata, imponendo le condizioni al contorno ed eventualmente semplificando il modello da tri a bidimensionale. Alcune prescrizioni sul modello geometrico, ad esempio, specificano che esso dovrà includere gli elementi centrale e laterale del ponte e, se necessario, il terreno.

I piani di taglio, ovvero i piani costruttivi che definiscono i contorni del modello 3-D o 2-D separandolo dal resto della costruzione, dovranno essere invece posizionati in corrispondenza di un piano di simmetria se questo dista meno di 1 m da un elemento centrale, o ad almeno 1 m da un elemento centrale se non ci sono piani di simmetria più vicini, o nel terreno.

Quanto ora descritto è illustrato a titolo esemplificativo in fig. 7.

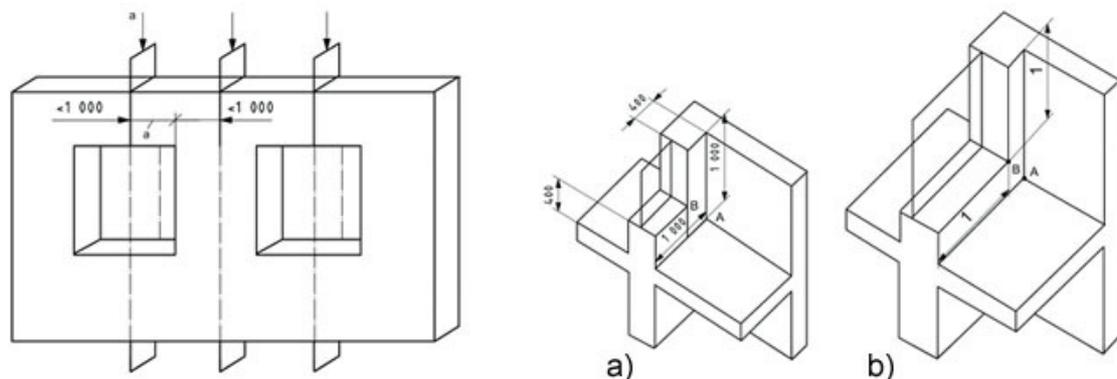


Fig. 7 - A sinistra: piani di simmetria che possono essere utilizzati come piani di taglio nei modelli; a destra: due ponti termici A e B nello stesso modello: il modello va esteso nelle due dimensioni (b) in quanto il ponte non dista almeno 1 m dai piani di taglio.

Ai fini della valutazione dei coefficienti lineici e puntuali la UNI EN ISO 10211 definisce un parametro, il coefficiente di accoppiamento, inteso come il flusso termico scambiato diviso per la differenza tra le temperature di due ambienti termicamente interagenti, nel componente edilizio considerato.

Per il calcolo di tale coefficiente nei diversi casi si rimanda alla norma stessa, la quale distingue fra casi tridimensionali e

bidimensionali, con due o più ambienti a temperature diverse.

Nel caso più semplice, bidimensionale, illustrato in fig. 8, il flusso termico totale scambiato attraverso due ambienti, con temperature Θ_1 e Θ_2 rispettivamente, è:

$$\Phi = L_{2D,1,2}(\Theta_1 - \Theta_2)$$

dove L_{2D} è il coefficiente di accoppiamento termico bidimensionale.

La trasmittanza termica lineica ψ si determina quindi nel seguente modo:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j$$

dove:

U_j è la trasmittanza termica del componente j , che separa i due ambienti considerati;

l_j è la lunghezza cui si applica il valore U_j .

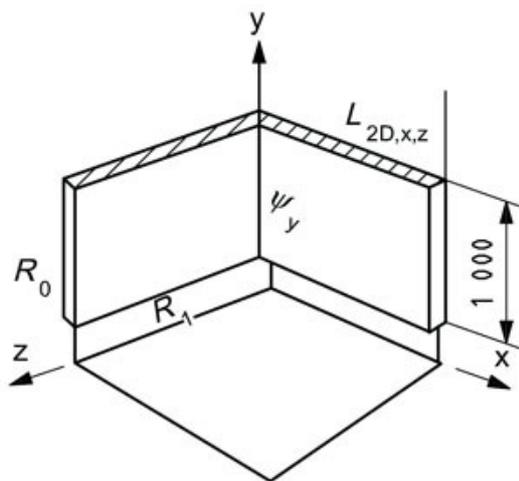


Fig. 8 - Schema di calcolo della trasmittanza termica lineica Ψ in corrispondenza dell'innesto tra due pareti verticali.

Le conduttività termiche dei materiali dovranno essere calcolate secondo UNI EN ISO 10456:2008 [n] e le resistenze termiche secondo UNI EN ISO 6946.

In sostanza, mediante un modello numerico si calcola il coefficiente di accoppiamento 2-D; da tale coefficiente si ricavano le trasmittanze lineiche ψ rappresentative del flusso attraverso il ponte termico, note che siano le trasmittanze U delle strutture "correnti" contenute nel modello analizzato.

È molto importante in questo contesto l'Appendice A (che, si noti bene, è "normativa") che fornisce i "test reference case" per la validazione dei metodi numerici e dei relativi codici di calcolo, nonché i criteri di discretizzazione e di convergenza.

3.4 La valutazione della temperatura superficiale

Per quanto concerne la valutazione della temperatura superficiale le norme considerate si limitano a richiamare il concetto di fattore di temperatura e stabilire che i metodi dettagliati (UNI EN ISO 10211) devono essere in grado di determinarlo, ma non riportano alcun valore tabulato.

Risulta così più difficile e incerto, al momento, effettuare i calcoli richiesti da altre normative, specificamente la UNI EN ISO 13788, ai fini della prevenzione dei fenomeni di muffa e condensa.

Compilazioni di ponti termici riportanti i valori dei fattori di temperatura sono reperibili in letteratura: si veda per esempio [o], che tuttavia fa riferimento a tipologie costruttive non sempre coerenti con la tradizione italiana. È auspicabile un intervento normativo anche su questo tema.

4. Conclusioni

Le eterogeneità di forma e di struttura nelle costruzioni sono ovviamente inevitabili: le attuali esigenze di conservazione dell'energia, sancite anche dalla recente legislazione, impongono un'attenta valutazione mirata alla riduzione dei loro effetti.

La normativa più recente offre gli strumenti necessari sia per il trattamento dei casi più semplici e usualmente ricorrenti (mediante valori tabellari), sia per affrontare in modo affidabile situazioni complesse o particolarmente importanti (mediante metodi numerici).

Oltre all'aspetto energetico deve essere tenuto presente anche quello legato all'abbassamento delle temperature superficiali interne, a causa delle negative conseguenze che possono manifestarsi come muffe o condensa: quest'aspetto sarà approfondito in un successivo articolo.

Bibliografia

[a] UNI EN ISO 10211:2008, "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati"

[b] UNI EN ISO 6946:2008, "Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo"

[c] M. Colombari, G. A. Cesaratto, R. Zecchin "Ponti termici nelle strutture edilizie - Alcune osservazioni sui coefficienti lineici e valutazione delle temperature superficiali minime, parte prima" CDA n° 11 novembre 2000, pagg. 1154-1160

[d] M. Colombari, G. A. Cesaratto, R. Zecchin "Ponti termici nelle strutture edilizie - Alcune osservazioni sui coefficienti lineici e valutazione delle temperature superficiali minime, parte seconda" CDA n° 12 dicembre 2000, pagg. 1240-1252

[e] M. Colombari, G. A. Cesaratto, R. Zecchin "Ponti termici nelle strutture edilizie - Alcune osservazioni sui coefficienti lineici e valutazione delle temperature superficiali minime, parte terza" CDA n° 2 febbraio 2001, pagg.33-41

[f] M. Colombari, G. A. Cesaratto, R. Zecchin "Ponti termici nelle strutture edilizie - Alcune osservazioni sui coefficienti

lineici e valutazione delle temperature superficiali minime, parte terza" CDA n° 3 marzo 2001, pagg. 61-67

[g] Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 "Disposizioni correttive ed integrative al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"

[h] AA.VV: "La certificazione e l'efficienza energetica del sistema edificio-impianto - Aspetti interpretativi, tecnici e procedurali" AiCARR, Milano, 2006

[i] UNI EN ISO 14683:2008, "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento"

[l] UNI EN ISO 13788:2003, "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo"

[m] UNI EN ISO 13370:2008, "Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo"

[n] 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"

[o] G. Hauser, H. Stiegel "Wärmebrücken atlas für den Mauerwerksbau" 1993, Bauverlag