

Introduzione al tema dei ponti termici nella casa passiva

Paolo Paviotti

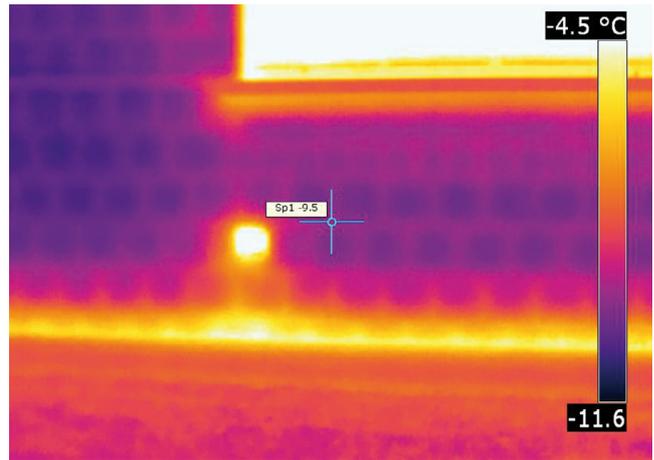
Recentemente si è registrato un crescente interesse intorno ai ponti termici in edilizia, che nasce sia dalla necessità di soddisfare i requisiti normativi in continua evoluzione, sia dall'esigenza di migliorare la qualità costruttiva degli edifici per corrispondere alle aumentate aspettative della committenza non più disposta ad accettare le conseguenze derivanti da una inadeguata attenzione verso tale problematica.

Per un corretto approccio alla questione, è bene tener presente che l'obiettivo da raggiungere è innanzitutto di qualità, ovvero garantire un adeguato comfort abitativo, con temperature superficiali interne sufficientemente elevate e assenza di formazione di muffe e condense. Per realizzare una Passivhaus non basta quindi garantire il mero raggiungimento dei limiti imposti dalla normativa. La casa passiva deve raggiungere in corrispondenza delle superfici interne la temperatura minima di 17°C, con una piccola deroga per il serramento. Ciò, come vedremo in seguito, garantisce un idoneo livello di comfort termico.

Le conseguenze derivanti dalla presenza dei ponti termici negli edifici sono di tipo energetico, con conseguente aumento dei consumi e quindi dei costi, ma anche di tipo igienico-sanitario, per la formazione di condensa e muffa, e di tipo strutturale, per il deterioramento che ne consegue. Inoltre, in una Passivhaus, la presenza di ponti termici determinerebbe un notevole ed inammissibile aumento delle dispersioni termiche; infatti, l'incidenza percentuale in termini di energia dispersa attraverso i ponti termici, è notevolmente maggiore se l'edificio è fortemente coibentato.



Le immagini termografiche evidenziano le dispersioni termiche in corrispondenza dei ponti termici (cordoli, spigoli, nicchie dei termosifoni, ecc.).



Un altro esempio di indagine termografica che evidenzia le discontinuità termiche dell'involucro edilizio.

Definizioni e norme di riferimento

In base alle norme tecniche UNI EN ISO 7345 e 10211-1, il ponte termico è definito come *“parte dell'involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto di:*

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

Per esempio, nella lettera a) rientrano pilastri, setti, travi e cordoli (ponti termici strutturali), ma anche i chiodi di fissaggio del cappotto isolante esterno, gli elementi di collegamento di balconi, sovrastrutture esterne, attacchi per tende, scurettili, tettoie, mensole, ecc. Nella lettera b) troviamo cavedi, nicchie, vani tecnici, canne fumarie, ecc., mentre la lettera c) comprende gli spigoli esterni del fabbricato, che possono variare in relazione alla geometria dell'angolo.

L'allegato A del Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, ad una definizione di ponte termico evidentemente parziale rispetto a quella citata in precedenza – *“discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro”* – aggiunge quella di ponte termico corretto, cioè *“quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente”*.

Come detto in precedenza, le variazioni del flusso di calore in corrispondenza del ponte termico possono innescare, oltre un aumento delle perdite di calore, le condizioni per la formazione di muffe o condensazioni. A tal proposito, prima dell'entrata in vigore del D.M. 26 giugno 2015, il D.P.R. n. 59 del 2 aprile 2009, al comma 17 dell'art. 4 prescriveva che *“si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano*

limitate alla quantità rievaporabile, conformemente alla normativa tecnica vigente. Qualora non esista un sistema di controllo della umidità relativa interna, per i calcoli necessari, questa verrà assunta pari al 65% alla temperatura interna di 20°C”. Con questi dati, la temperatura critica per la formazione della condensa superficiale interna è pari a 13,2°C.

Dal 1 ottobre 2015 (entrata in vigore del D.M. 26 giugno 2015), in linea con le disposizioni legislative europee, si stabilisce che *“nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede [...] alla verifica dell'assenza:*

- *di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;*
- *di condensazioni interstiziali”*.

Quindi non è più accettabile la formazione di condensa interstiziale anche se in quantità limitata e rievaporabile durante il



Esempio di riqualificazione energetica con isolamento interno, senza soluzione del ponte termico dei fori finestra: non risulta infatti realizzabile alcun raccordo tra la coibentazione interna ed il serramento, in corrispondenza dello spessore del muro in sasso.

periodo estivo, come in precedenza. In più, non è sufficiente che non si verifichino fenomeni di condensazione superficiale del vapore acqueo: dobbiamo evitare il rischio di formazione di muffa. Ciò determina la necessità di contenere i valori di umidità relativa, per esempio assicurando temperature superficiali interne più elevate, e questo è particolarmente problematico in corrispondenza dei ponti termici.

Il D.M. 26 giugno 2015 stabilisce inoltre, con riferimento alla UNI EN ISO 13788, che *“le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice della norma secondo il metodo delle classi di concentrazione”* a meno che vi sia un sistema di controllo dell'umidità interna.

Ciò significa che non possiamo più utilizzare come condizioni al contorno interne la temperatura di 20°C e il 65% di umidità relativa.

In merito alle definizioni e condizioni sopra esposte, si possono fare alcune considerazioni:

- le definizioni date dalla legislazione di riferimento non sono esaustive. Vi sono numerosi casi in cui il ponte termico è presente ma non viene contemplato; ad esempio, con riferimento alla definizione del D.Lgs. 192/2005, pensiamo allo spigolo esterno verticale che collega due pareti di un edificio: in questo caso esiste la possibilità di avere un ponte termico di tipo geometrico, il cui effetto può essere ulteriormente ampliato dalla presenza “integrata” di elementi strutturali quali pilastri in calcestruzzo armato, acciaio o legno;
- il comportamento dei ponti termici è difficilmente standardizzabile, pertanto per verificare l'assenza di rischio muffa non è sufficiente l'utilizzo degli abachi semplificati costruiti per stimare più facilmente la trasmittanza termica lineica del ponte termico. Bisogna invece eseguire una simulazione ad elementi finiti con appositi software;
- le norme fanno riferimento quasi sempre a condizioni stazionarie, che nella realtà ben difficilmente si riscontrano. Non tengono inoltre conto delle variazioni di comportamento dei materiali in presenza di diversi livelli di umidità contenuta.

Bisogna quindi fare attenzione e valutare caso per caso, procedendo con adeguate verifiche per accertare se le soluzioni proposte siano adeguate per una casa passiva.

Tipologie

I ponti termici si suddividono in due tipologie: puntuali e lineari. Il ponte termico puntuale si concentra su una superficie limitata e viene identificato con la lettera χ (chi) dell'alfabeto greco. Anche se le singole superfici sono limitate, i ponti termici puntuali possono riguardare ampie porzioni dell'involucro edilizio, come nel caso dei tasselli o chiodi di fissaggio dei pannelli isolanti del cappotto esterno. Altri casi sono ad esempio l'attacco a pavimento e a soffitto dei pilastri, l'innesto di travi esterne, gli attacchi di sovrastrutture esterne quali tende, parapetti, fermascuri, ecc.

Se i ponti termici puntuali non sono presenti in quantità elevate e sono adeguatamente ridotti, possono essere trascurati per quanto riguarda l'aspetto energetico.

I ponti termici puntuali richiedono sistemi di calcolo sofisticati, quindi nella progettazione di una casa passiva si consiglia di affrontare a monte tale problematica, adottando misure di isolamento e taglio termico che ne consentano un'adeguata riduzione al fine di evitare il rischio di formazione di muffa e condensa superficiale interna.

I ponti termici lineari, identificati con la lettera ψ (psi) dell'alfabeto greco, si sviluppano secondo una certa lunghezza nell'involucro edilizio, ad esempio pilastri, travi, cordoli, aggetti, marciapiedi, davanzali e soglie passanti, distanziatori nella vetrocamera, giunti di montaggio dei serramenti, ecc. I ponti termici lineari possono essere anche di tipo geometrico, quando la presenza del ponte termico è determinata dall'aumento del flusso termico che si genera se una piccola superficie interna disperde verso una superficie esterna più ampia (per esempio lo spigolo verticale di un edificio). Considerando le modalità costruttive più diffuse, va evidenziato che i ponti termici geometrici sono spesso combinati con quelli di tipo strutturale.

Per la casa passiva un ponte termico lineare si considera risolto quando il valore di ψ è inferiore a 0,01 W/mK. Ciò significa che sotto questa soglia non è un problema e può essere trascurato. La normativa vigente, invece, non pone limiti riguardo all'entità di ψ .



Esempio di aggancio con taglio termico per la riduzione dei ponti termici puntuali dovuti ai sistemi di fissaggio.



Ponte termico puntuale dovuto all'attacco della putrella metallica alla fondazione.

Un cenno merita anche il fenomeno della termoforesi, costituito dall'attrazione di particelle in sospensione come le polveri, da parte delle zone più fredde di una struttura. Questo fenomeno è visibile sulle facciate esterne delle costruzioni, in presenza di ponti termici e si manifesta attraverso la formazione di aloni sulle parti di struttura più fredde rendendo riconoscibili gli elementi più caldi che determinano il ponte termico, ad esempio i giunti di malta nelle murature in blocchi o gli elementi strutturali sotto l'intonaco.

Valutazione economica

La presenza di ponti termici negli edifici determina un aumento anche sensibile delle perdite per trasmissione attraverso l'involucro (si può arrivare anche al 20-30%). Ciò si traduce in un incremento dei costi da sostenere per riscaldare l'edificio. Nella pagina successiva, si riporta una simulazione di calcolo economico comprensiva dell'incidenza dei ponti termici nel caso reale, cioè con i ponti termici risolti, e in un caso teorico con i ponti termici non isolati.

I ponti termici e la casa passiva

Il modo migliore per rispettare i limiti richiesti per la realizzazione di una Passivhaus, relativamente ai ponti termici, è di fare in modo che non ce ne siano. Facile a dirsi, meno facile a farsi; bisogna cercare di evitare – nei limiti del possibile e di quanto consentito da questioni di ordine architettonico, strutturale e impiantistico – tutti gli elementi che attraversano l'involucro riscaldato e vanno verso l'esterno (sporti di finestra, poggiatesta, tettoie, travi, ecc.). A volte si possono utilizzare soluzioni che disaccoppiano fisicamente tali elementi, altre volte siamo costretti a coibentare adeguatamente gli stessi.

L'obiettivo nella progettazione di una casa passiva è quello di ridurre adeguatamente i ponti termici, quindi di portarli ad un valore inferiore a $0,01 \text{ W/mK}$; ovvero di inserire nel bilancio energetico dell'edificio quelli non riducibili in maniera adeguata. Dati i margini esigui concessi dal metodo di calcolo per restare nei limiti fissati per l'indice energetico dell'involucro edilizio, è evidente che non sarà possibile inserire che ponti termici ridotti al minimo, di lunghezza molto limitata e per i quali non sia possibile una ulteriore riduzione per farli rientrare nel limite

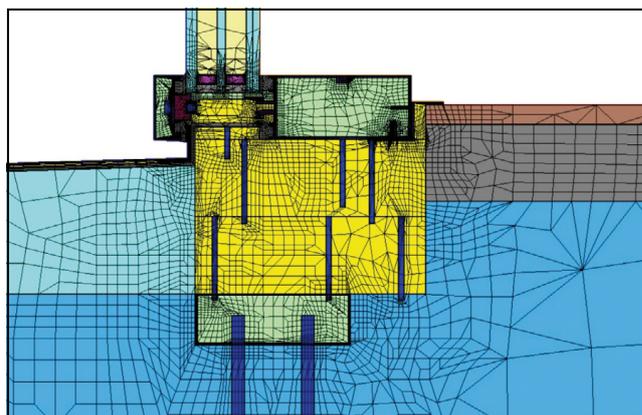
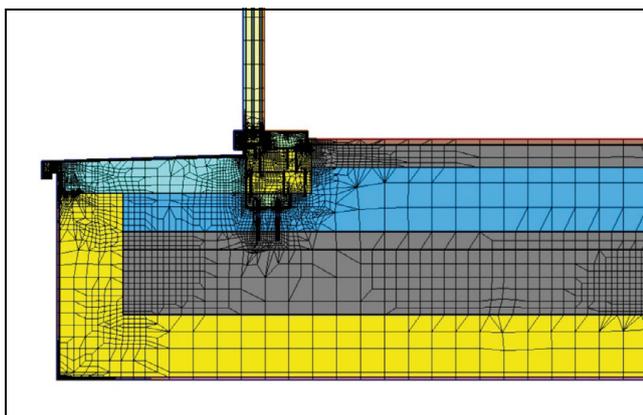
di $0,01 \text{ W/mK}$, se non adottando soluzioni tecniche eccessivamente onerose o tecnicamente di difficile realizzazione. Naturalmente, le temperature superficiali interne dovranno essere comunque sufficientemente elevate per evitare rischio di formazione di muffe e condense (17°C).

È evidente che raggiungere livelli ottimali nella mitigazione dei ponti termici, richiede una particolare attenzione nella fase di progettazione dei dettagli costruttivi. Mai come in questo caso è necessaria la cosiddetta (e troppo spesso disattesa) progettazione integrata. Non prendere preventivamente in esame tutti gli aspetti legati alla presenza di ponti termici significa quasi sempre trovarsi in difficoltà durante l'esecuzione dei lavori con notevole dispendio di tempo e denaro o, talvolta, addirittura trovarsi nell'impossibilità di risolvere il problema.

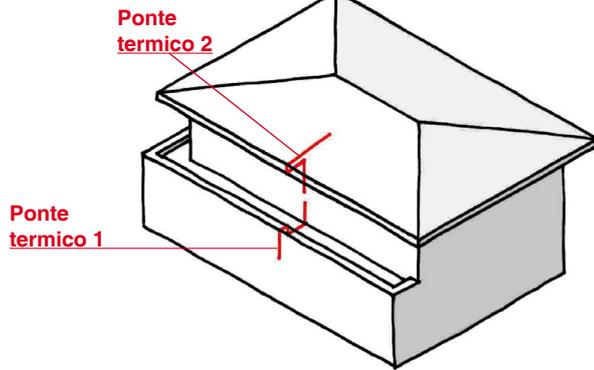
Un altro aspetto molto importante è quello della fase di esecuzione dei lavori. Nonostante vi sia una progressiva presa di coscienza da parte di molti operatori, capita spesso di verificare che, anche in presenza di dettagli costruttivi predisposti in modo accurato per ogni nodo significativo, e in presenza di continue raccomandazioni alle maestranze, le lavorazioni vengano svolte in modo approssimativo proprio dove, in corrispondenza dei ponti termici, si dovrebbe curare particolarmente l'esecuzione delle opere. Per questi edifici è fondamentale la condivisione da parte di tutti gli operatori dell'obiettivo da raggiungere ed un adeguato e costante controllo delle fasi di realizzazione dei lavori.

Per la certificazione Passivhaus viene richiesto di effettuare la verifica agli elementi finiti di tutti i ponti termici dell'edificio. Tale verifica è impegnativa e comporta numerose simulazioni, in particolare per quanto attiene ai ponti termici riferiti ai nodi dei serramenti. Per tali nodi è difficile soddisfare i limiti di temperatura minima superficiale interna in corrispondenza del telaio – ed in particolare del giunto telaio/vetrocamera – e la questione deve essere valutata mediando le temperature superficiali interne delle strutture del serramento con quelle limitrofe.

La verifica agli elementi finiti viene effettuata utilizzando software appositi che, partendo da un modello geometrico, operano una semplificazione dello stesso allo scopo di rendere possibile il calcolo, raggruppandone i punti costitutivi simili in un numero ridotto di elementi di forma definita (triangoli e quadrilateri per domini bidimensionali). Il procedimento consente di determinare

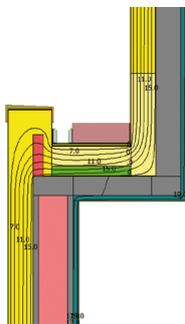


Dettaglio della discretizzazione di un modello per una simulazione agli elementi finiti e, a destra, l'ingrandimento sul nodo del serramento.



Esempio di riqualificazione energetica: valutazione dell'incidenza dei ponti termici, qualora non adeguatamente ridotti

Ponte termico 1 Risolto



U-Factors					
	U-factor W/m ² K	delta T C	Length mm	Rotation	Total Length
esterno	0,0802	16,5	5651,43	N/A	
interno	0,0872	16,5	4662,35	N/A	
					Total Length

$$l = 5,651 \text{ m}$$

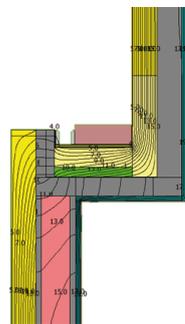
$$U_{\text{factor}} = 0,0802 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L_{2D} = 5,651 \times 0,0802 = 0,4532 \text{ W/mK}$$

$$\Psi = -0,0329 \text{ W/mK}$$

$$H_{tr} = L_{2D} \times 27 \text{ m} = 12,24 \text{ W/K}$$

Parzialmente risolto



U-Factors					
	U-factor W/m ² K	delta T C	Length mm	Rotation	Total Length
esterno	0,1342	16,5	5107,88	N/A	
interno	0,1470	16,5	4662,35	N/A	
					Total Length

$$l = 5,108 \text{ m}$$

$$U_{\text{factor}} = 0,1342 \text{ W/m}^2\text{K}$$

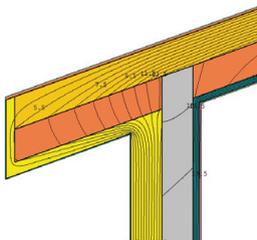
$$L_{2D} = 5,108 \times 0,1342 = 0,6855 \text{ W/mK}$$

$$\Psi = 0,2234 \text{ W/mK}$$

$$H_{tr} = L_{2D} \times 27 \text{ m} = 18,51 \text{ W/K}$$

+ 51,3%

Ponte termico 2 Risolto



U-Factors					
	U-factor W/m ² K	delta T C	Length mm	Rotation	Total Length
esterno	0,0718	16,5	5300,43	N/A	
interno	0,1747	16,5	2734,35	N/A	
					Total Length

$$l = 5,300 \text{ m}$$

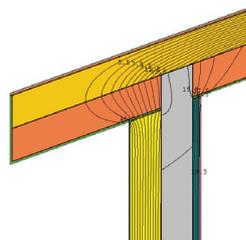
$$U_{\text{factor}} = 0,0718 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L_{2D} = 5,300 \times 0,0718 = 0,3805 \text{ W/mK}$$

$$\Psi = -0,015 \text{ W/mK}$$

$$H_{tr} = L_{2D} \times 50 \text{ m} = 19,02 \text{ W/K}$$

Parzialmente risolto



U-Factors					
	U-factor W/m ² K	delta T C	Length mm	Rotation	Total Length
Esterno	0,1137	16,5	5172,72	N/A	
interno	0,2087	16,5	2208,37	N/A	
					Total Length

$$l = 5,173 \text{ m}$$

$$U_{\text{factor}} = 0,1137 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$L_{2D} = 5,173 \times 0,1137 = 0,5882 \text{ W/mK}$$

$$\Psi = 0,1931 \text{ W/mK}$$

$$H_{tr} = L_{2D} \times 50 \text{ m} = 29,41 \text{ W/K}$$

+ 54,7%

Conseguenze sul bilancio termico

Calcolo PHPP

Superficie utile netta: 178,8 m ²		Process
Fabb. termico annuo per riscaldamento	11 kWh/(m ² a)	
Carico termico:	11 W/m ²	
Fabb. frig. annuo per raffreddamento:	12 kWh/(m ² a)	
Carico frigorifero:	18 W/m ²	

Effetto ponte termico 1

Indici riferiti alla superficie utile netta		Process
Riscaldamento	Fabb. termico annuo per riscaldamento: 13 kWh/(m ² a)	
	Carico termico: 12 W/m ²	
Raffreddamento	Fabb. frig. annuo per raffreddamento: 12 kWh/(m ² a)	
	Carico frigorifero: 18 W/m ²	

+ 18%

$$\Delta Q_H = (13-11) \times 178,8 \text{ m}^2 = 357,6 \text{ kWh/anno}$$

con caldaia a gas $\approx 31 \text{ €/anno}^*$

con pompa di calore COP 3,5 $\approx 24 \text{ €/anno}^*$

Effetto ponti termici 1 e 2

Indici riferiti alla superficie utile netta		Process
Riscaldamento	Fabb. termico annuo per riscaldamento: 15 kWh/(m ² a)	
	Carico termico: 13 W/m ²	
Raffreddamento	Fabb. frig. annuo per raffreddamento: 12 kWh/(m ² a)	
	Carico frigorifero: 19 W/m ²	

+ 36%

$$\Delta Q_H = (15-11) \times 178,8 \text{ m}^2 = 715,2 \text{ kWh/anno}$$

con caldaia a gas $\approx 62 \text{ €/anno}^*$

con pompa di calore COP 3,5 $\approx 48 \text{ €/anno}^*$

* i valori in euro sono riportati allo scopo di facilitare il confronto e, per tale motivo, fanno riferimento ad impianti di tipo convenzionale anziché considerare soluzioni tipiche delle case passive; le tariffe usate nei calcoli sono pari a 0,76 €/mc_{gas} e 0,21 €/kWh_{el}

l'entità del ponte termico e le temperature superficiali ed interstiziali dei materiali presenti, adottando caratteristiche e condizioni stabilite dalla normativa. Come detto, un elemento dell'involucro riscaldato che richiede particolare attenzione è il serramento. Ferma restando la necessità di scegliere vetrocamere con tre vetri, al fine di ottenere temperature superficiali interne accettabili in corrispondenza del giunto vetro-telaio, è indispensabile optare per vetrocamere con distanziatore "warm edge", il cosiddetto giunto caldo, al fine di ridurre al minimo il ponte termico lineare dovuto a tale elemento. La profondità di inserimento del distanziatore stesso nel telaio del serramento determina una riduzione significativa del ponte termico suddetto.

Altro ponte termico da considerare nel serramento, è quello determinato dal giunto tra serramento e spalletta. La posizione del serramento rispetto alla struttura edilizia che lo contiene è fondamentale per ottenere temperature superficiali interne adeguate, come si può facilmente verificare con la simulazione ad elementi finiti. Più la posizione del serramento risulta prossima all'asse dell'isolamento termico, maggiore è la regolarità delle isoterme che percorrono la struttura, con temperature superficiali interne più elevate.

Il comfort e i ponti termici

È necessario concludere ribadendo un concetto fondamentale da tenere presente nella progettazione e realizzazione di una casa passiva, già richiamato nella premessa, ovvero quello della qualità dell'abitare, che è determinata anche dal comfort termico percepito.

Semplificando un po', possiamo dire che, prescindendo da differenze dovute a velocità dell'aria, umidità relativa, attività fisica svolta, abbigliamento, ecc., gli elementi principali che determinano la temperatura percepita sono la temperatura dell'aria interna e la temperatura radiante delle superfici che delimitano l'involucro riscaldato.

Per garantire un buon livello di comfort, la differenza di temperatura tra aria e superfici non dovrebbe superare i 3°C. Anche se non sembrano facilmente percettibili, differenze maggiori ai 3°C vengono avvertite dal nostro organismo. Ciò significa che, dato che la temperatura dell'aria interna viene assunta pari a 20°C, la temperatura delle superfici non deve scendere sotto 17°C. Dobbiamo tenere ben presente questo criterio, dato che molto spesso tale temperatura non viene raggiunta proprio in corrispondenza dei ponti termici.

BIBLIOGRAFIA UTILE:

- ANIT, *Muffa, condensa e ponti termici*, 2016
AA.VV., *Ponti termici (Le guide pratiche del Master CasaClima n. 9)*, Bolzano University Press 2013, 2003
M. CUDICIO, *I ponti termici in edilizia*, Legislazione Tecnica 2013
IBO-ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND -ÖKOLOGIE, *Passivhaus-Bauteilkatalog / Details for Passive Houses*, SpringerWienNewYork, Austria 2008
U. WIENKE, *L'edificio passivo*, Alinea Editrice, Firenze 2002

IG PASSIVHAUS Friuli Venezia Giulia

Passivhaus significa competenze progettuali, attenzione ai dettagli, accuratezza nell'esecuzione e garanzia di professionalità da parte di consulenti, progettisti, tecnici, imprese e maestranze.

Il Gruppo IG Passivhaus FVG vuole contribuire a livello territoriale a diffondere questo sapere e a promuovere i necessari criteri di qualità.

Questo fascicolo fa parte di una raccolta di approfondimenti tecnici curata dal Gruppo IG Passivhaus FVG con il coordinamento di APE FVG, suddivisi nelle seguenti aree tematiche:

1. Principi e comfort
2. Involucro opaco
3. Serramenti
4. Ponti termici
5. Tenuta all'aria
6. Impianti

I contenuti sono di proprietà degli autori, sono sviluppati in autonomia e non necessariamente rispecchiano la posizione del Passivhaus Institut, o di altri enti che rappresentano lo standard Passivhaus.

È vietato l'uso del presente materiale, da parte di chiunque, per scopi di carattere commerciale o per finalità estranee a quelle del Gruppo IG Passivhaus FVG e di APE FVG.

Testo e immagini:
geom. Paolo Paviotti

Pubblicazione:
gennaio 2017



Coordinamento e impaginazione grafica:
Agenzia per l'energia del Friuli Venezia Giulia
via Santa Lucia, 19
33013 Gemona del Friuli (UD)
tel. + 39 0432 980 322
info@ape.fvg.it