

# IL COMFORT AMBIENTALE INTERNO

## CONSIDERAZIONI

### 1. I PONTI TERMICI

#### Cos'è un ponte termico

Si definisce **ponte termico** la *discontinuità costruttiva* presente in qualsiasi struttura edile, sia essa costruita con tecniche tradizionali sia con tecniche industrializzate.

Per discontinuità costruttiva s'intende quella parte della struttura di un edificio che presenta caratteristiche termiche significativamente diverse da quelle circostanti.

Caratteristica peculiare dei ponti termici sono le potenze termiche disperse la cui entità è molto più elevata di quella delle zone vicine.

Un ponte termico incide negativamente sull'isolamento di un edificio perché costituisce una fuga privilegiata per gli scambi di calore da e verso l'esterno.

#### Le cause che determinano il ponte termico

Sono sostanzialmente due:

1. presenza di materiali eterogenei nell'organismo edilizio (per esempio muratura relativamente isolante e struttura in cemento armato) per sua natura buona conduttrice, sono i cosiddetti ponti termici costruttivi.
2. discontinuità geometriche, sono i cosiddetti ponti termici geometrici. Un classico esempio sono gli spigoli (ad esempio collegamenti tra parete e parete, l'innescò tra parete e solaio, la connessione tra pareti e serramenti, ecc.) in corrispondenza dei quali aumenta la superficie disperdente.

#### Gli effetti del ponte termico

Gli inconvenienti causati da ponte termico sono sostanzialmente due:

1. raffreddamento delle zone più prossime, con possibilità di formazione di condensa, e quindi di muffe, nel caso in cui la temperatura superficiale delle strutture scenda al di sotto della temperatura di condensazione del vapore nell'aria
2. riduzione del potere isolante complessivo della parete, di cui si tien conto introducendo il coefficiente di trasmittanza termica lineare

#### Le possibili soluzioni

Per ridurre od eliminare i ponti termici è sostanzialmente possibile intervenire in due modi:

- isolare dall'esterno mediante l'applicazione del cosiddetto "cappotto"
- isolare dall'interno

Qui di seguito ci occuperemo, per gli edifici esistenti, dell'isolamento termico dall'interno.

### 2. IL COMFORT AMBIENTALE INTERNO

*Il parametro che comunemente è utilizzato per definire le condizioni di benessere termico in ambiente è la temperatura dell'aria interna: quando si dice che in una stanza ci sono 20 °C si pensa che essa sia sufficientemente riscaldata.*

*Tale criterio di giudizio, se non totalmente errato, ci porta abbastanza lontani dalla realtà: se è vero che i consumi di energia sono proporzionali alla temperatura interna, il*

*benessere termico è influenzato anche da altri fattori dei quali si dovrà tenere conto; vediamo come.*

*Il corpo umano tende a stabilire un equilibrio tra l'energia che esso produce (tra 100 e 150 kcal/h in attività non impegnative dal punto di vista fisico) e quello che scambia con l'esterno: in condizioni di benessere termico tale equilibrio è automatico ed il fisico regola facilmente gli scambi aumentando o diminuendo la traspirazione in modo che l'equilibrio si mantenga.*

*Al di fuori della zona di benessere il suddetto equilibrio non è automatico e si avvertono le sensazioni di freddo o di caldo accompagnate da tremori od eccessiva sudorazione.*

*I fattori da cui dipende lo scambio termico sono legati all'individuo (livello di attività fisica, abbigliamento, stato di salute) ed all'ambiente in cui si trova (temperatura dell'aria, velocità ed umidità relative, temperatura superficiale delle pareti).*

*Nelle case il livello di attività fisica è non impegnativo, l'abbigliamento è mediamente individuabile, lo stato di salute è buono (altrimenti si sta a letto), l'aria si può ritenere calma (velocità 0,1 m/sec) e l'umidità relativa può essere fissata tra il 60 ed il 70%: tra i vari fattori che influenzano lo scambio termico tra il corpo umano e l'ambiente rimangono, quindi, solo la temperatura dell'aria e quella superficiale delle pareti.*

*L'essere umano, come tutti i corpi, scambia calore con l'esterno secondo tre sistemi: conduzione, convezione, irraggiamento; inoltre, una certa quantità di calore è scambiata per evaporazione.*

*In condizioni normali lo scambio di calore per evaporazione è una grandezza che -in prima approssimazione-, si può ritenere fissa, mentre, la quantità di calore scambiata per conduzione (contatto diretto tra corpi solidi a temperatura diversa) è praticamente nulla.*

*Rimangono la convezione e l'irraggiamento: la prima dipende, in aria calma, dalla temperatura dell'aria e la seconda da quella delle pareti dell'ambiente.*

### 1. Convezione

*La quantità di calore scambiata direttamente tra un metro quadrato di corpo umano e l'aria, in un'ora, è pari a:*

$$Q_c = \alpha_c (t_u - t_i)$$

*in cui:*

- $\alpha_c$  è il coefficiente di convezione che, in aria calma, è pari a 4 kcal/m<sup>2</sup>h°C
- $t_u$  è la temperatura del corpo umano (37 °C circa)
- $t_i$  è la temperatura dell'aria all'interno dell'ambiente

### 2. Irraggiamento

*Lo scambio termico per irraggiamento avviene direttamente -tra corpi tra loro distanti ed a diversa temperatura- per trasmissione di onde elettromagnetiche: proprio e solo in questo modo il sole scalda la terra.*

*Nel caso che ci interessa (scambio tra corpo umano e pareti dell'ambiente) l'espressione che fornisce la quantità di calore scambiata per irraggiamento in un'ora, tra un metro quadrato di corpo umano e le pareti, è la seguente:*

$$Q_r = \alpha_r (t_u - t_p)$$

in cui:

- $\alpha_r$  è il coefficiente di irraggiamento del corpo umano che è pari a 4 kcal/m<sup>2</sup>h°C
- $t_u$  è la temperatura del corpo umano (37 °C circa)
- $t_p$  è la temperatura delle pareti

Pertanto la quantità totale di calore scambiata tra individuo ed ambiente, è pari a:

$$Q_{tot} = \alpha_c (t_u - t_i) + \alpha_r (t_u - t_p)$$

con semplici passaggi matematici tale espressione può essere anche scritta come segue:

$$Q_{tot} = (\alpha_r + \alpha_c) [t_u - (\alpha_c t_i + \alpha_r t_p) / (\alpha_r + \alpha_c)]$$

Viene così a definirsi una grandezza che chiameremo temperatura operativa o temperatura operante, data da:

$$t_{op} = (\alpha_c t_i + \alpha_r t_p) / (\alpha_r + \alpha_c)$$

Per cui potremo scrivere:

$$Q_{tot} = (\alpha_r + \alpha_c) (t_u - t_{op})$$

Lo scambio termico globale, quindi, avviene come se la temperatura dell'aria non fosse più  $t_i$  ma una particolare temperatura, detta temperatura operativa, che può essere anche misurata col cosiddetto termometro a globo: tale apparecchio, costituito da un normale termometro inserito al centro di una sfera metallica di 10 cm di diametro, costituisce un vero e proprio metro per valutare l'effettivo comfort termico degli ambienti.

Nel caso di civile abitazione i due coefficienti  $\alpha$  possono essere assunti pari a 4 kcal/m<sup>2</sup>h°C; pertanto si ha:

$$t_{op} = (t_i + t_p) / 2$$

L'esperienza dimostra che, per ottenere sufficienti condizioni di comfort nelle abitazioni, tale temperatura operativa deve raggiungere almeno i 18 ÷ 19°C.

Le formule appena viste sono valide solo nel caso in cui tutte le pareti si trovino alla stessa temperatura. Ciò non accade, in genere, nella realtà: le pareti verso l'esterno e -ancora di più le superfici vetrate- assumono temperature (in inverno) nettamente più basse e verso di esse lo scambio per irraggiamento è molto più forte.

*In caso di temperatura disuniforme delle pareti la cosiddetta temperatura operante è diversa in ciascun punto dell'ambiente ed è tanto più bassa quanto più ci si trova vicini alle pareti fredde: ciò spiega il fenomeno per cui, in una stessa stanza a temperatura dell'aria uniforme ( $t_i$ ), coloro che si trovano vicino alle pareti d'ambito esterno male isolate o vicino alle superfici vetrate hanno più freddo.*

*In genere, se in un ambiente ci sono delle superfici più fredde delle altre, per avere lo stesso comfort ambientale si è costretti ad aumentare la temperatura dell'aria (e quindi i consumi) per riportare la temperatura operativa intorno ai 18 – 19 °C a cui corrisponde un sufficiente benessere.*

*Per tener conto della disomogeneità delle temperature sulle pareti occorre sostituire, nella formula della temperatura operante, la temperatura  $t_p$  con la temperatura media radiante delle pareti  $t_{mp}$  data dall'espressione:*

$$t_{mp} = (\sum S_e t_{ie} + t_i \sum S_i) / (\sum S_e + \sum S_i)$$

dove:

- $S_e$  sono le superfici delle pareti che separano l'ambiente dall'esterno
- $t_{ie}$  sono le temperature superficiali interne delle pareti che separano l'ambiente dall'esterno
- $t_i$  è la temperatura superficiale interna delle pareti che non danno sull'esterno: tale temperatura è praticamente uguale a quella dell'aria all'interno dell'ambiente
- $S_i$  sono le superfici delle pareti interne che separano l'ambiente da altri ambienti riscaldati e non

*Per la temperatura operante si utilizza, pertanto l'espressione:*

$$t_{op} = (t_i + t_{mp}) / 2$$

*Vediamo, ora, come si determina la temperatura superficiale di una parete esterna in funzione della sua trasmittanza termica.*

*È noto che il flusso di calore che passa nell'unità di tempo attraverso un metro quadrato di una parete che separa due ambienti a temperatura diversa ( $t_i$  e  $t_e$ ) è pari a:*

$$\emptyset = K (t_i - t_e)$$

*in cui  $K$  è la trasmittanza termica totale della parete, che tiene conto sia del passaggio del calore all'interno della parete stessa, sia dello scambio di calore tra aria interna e parete e tra questa e l'aria esterna.*

*Ovviamente la stessa quantità di calore  $\emptyset$  passa dall'aria interna a temperatura  $t_i$  alla faccia interna della parete che si porta a temperatura  $t_1$ ; in formula:*

$$\emptyset = \alpha_i (t_i - t_1)$$

al termine  $\alpha_i$  si dà il nome di coefficiente di adduzione interna ed il suo valore varia tra 4 e 8 kcal/hm<sup>2</sup>°C.

Al suo reciproco  $r_i = 1/\alpha_i$  si dà invece il nome di resistenza termica liminare.

Sostanzialmente, attraverso passaggi matematici più o meno semplici, si giunge ad una nuova espressione della temperatura operativa che tiene conto della temperatura dell'aria interna, della temperatura dell'aria esterna, delle superfici delle pareti in gioco e della loro composizione; cioè:

$$t_{op} = t_i - \{ [r_i (t_i + t_e) K_m / 2] [ \sum S_e / (\sum S_e + \sum S_i) ] \}$$

In tale espressione i termini  $S_e$  (superfici delle pareti comunicanti con l'esterno),  $S_i$  (superfici delle pareti comunicanti con locali riscaldati),  $r_i$  (resistenza termica liminare interna) e  $t_e$  (temperatura esterna), sono indipendenti dalla volontà del conduttore dell'impianto. Il termine  $t_i$  (temperatura dell'aria interna) è fissato per legge (20 °C) e, comunque, aumentando esso aumentano i consumi.

Il solo modo per ottenere una conveniente temperatura operativa -e quindi un sufficiente comfort ambientale- è quello di agire sulla trasmittanza delle pareti, diminuendola convenientemente per raggiungere le condizioni volute: ciò si ottiene con l'isolamento termico delle pareti.

**Si perviene, dunque, all'importante conclusione che -mediante un idoneo isolamento delle pareti d'ambito esterno- non solo si può risparmiare energia (mantenendo la stessa temperatura dell'aria interna con un minor consumo di combustibile) ma, effettuando tale intervento, migliorano le condizioni di benessere ambientale.**

### **AUMENTO, CON L'ISOLAMENTO TERMICO, DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA, DI QUELLA DELLE PARETI ESTERNE E DI QUELLA DEL LOCALE ESPOSTO**

Tutto ciò premesso è necessario per capire, o quantomeno meglio intuire, l'importanza di realizzare un isolamento idoneo al comfort ambientale (eliminazione delle muffe) con quanto di seguito illustrato.

È noto come nei locali maggiormente esposti molto spesso, per l'errato dimensionamento dell'impianto (o dell'isolamento termico) la temperatura dell'aria è più bassa di quella degli altri locali. Oltre a ciò la cattiva esposizione aggrava le cose facendo in modo che la temperatura media radiante delle pareti sia particolarmente bassa: i due fattori danno origine a temperature operative molto basse e quindi a condizioni di comfort nettamente insufficienti.

Conseguenza di ciò è (quasi sempre) che, per consentire condizioni appena sufficienti negli ambienti esposti, si forza la conduzione dell'impianto mantenendo in tutta la costruzione temperature eccessive con maggiori costi di gestione che è facile immaginare.

*A titolo di esempio (per una avente dimensioni m 4,30x2,50x h 2,90 m, stanza d'angolo di ultimo piano, con una parete finestrata e due sole pareti contigue con l'esterno) supponiamo che la temperatura interna sia  $t_i = 19\text{ }^\circ\text{C}$ , la temperatura esterna  $t_e = -5\text{ }^\circ\text{C}$ .*

*Sappiamo che le pareti sono in muratura a cassa vuota e la struttura portante è in calcestruzzo armato costituito da pilastri e travi.*

*Sviluppando gli opportuni calcoli troveremo una temperatura operativa pari a  $t_{op} = 16\text{ }^\circ\text{C}$ , nettamente inferiore a sufficienti condizioni di comfort: nello stesso locale, isolato con un pannello ad altissimo potere coibente avente spessore pari a soli 6,00 mm, il coefficiente K della muratura passa da 1,47 a 0,33 kcal/m<sup>2</sup>h°C.*

*In tali condizioni la temperatura dell'aria passerebbe, a parità di potenza dell'impianto di riscaldamento, da 16 °C a 20 °C e quella operativa da 16,3 °C a 20,7 °C e farebbe addirittura troppo caldo!*

*Dal rapporto tra le grandezze in gioco si otterrebbe un risparmio percentuale del combustibile pari a circa il 15-16% (è questa la media pratica di risparmio che si ottiene con un intervento di isolamento sull'esistente).*

I ponti termici si verificano nelle zone in cui la temperatura superficiale subisce un abbassamento rispetto a quella che si riscontra nel resto della parete. Tali abbassamenti possono essere provocati da discontinuità costruttive dovute alla eterogeneità dei materiali a diversa conducibilità termica (per esempio pilastri in calcestruzzo in una muratura a cassa vuota come nel presente caso), come pure a discontinuità dovute alla forma delle strutture (angoli della costruzione, travi di piano, ecc.)

In corrispondenza di tali zone il calore tende a trasmettersi verso l'esterno, non solamente perpendicolarmente alla parete, ma anche lateralmente, provocando maggiori dispersioni termiche delle quali è necessario tenere conto. Inoltre, le disuniformità di temperatura superficiale dei ponti termici, provocano moti convettivi dell'aria con depositi disomogenei di pulviscolo, simili ai «baffi» che spesso si notano sopra i termosifoni: è frequente poi su queste zone la condensazione superficiale del vapore acqueo con degradazione dell'intonaco, macchie e muffe.

E' noto che il vapore acqueo presente nell'aria tende a condensarsi sotto forma di acqua sulle superfici fredde (si pensi all'appannamento dei vetri quando si scola la pastasciutta); in condizioni normali di umidità e temperatura dell'aria (temperatura 20 °C, umidità relativa 70%), affinché si abbia condensazione, si deve offrire al vapore una superficie a temperatura inferiore a 14 °C. Finché tale superficie è costituita dai vetri poco male, i guai cominciano quando alcune zone dei muri scendono sotto tale valore, perché con l'umidità nascono le macchie e le muffe di cui abbiamo accennato in precedenza.

Si consideri che innumerevoli misurazioni effettuate dal sottoscritto con igrometro hanno fornito valori, sulle superfici interessate, di umidità relativa mediamente oltre il 70% (sensibile presenza d'acqua) e temperatura superficiale (liminare) oscillante tra 8°C e 10°C!

### 3. Normativa italiana

Con la Legge n. 10 del 1991 si è iniziato a coibentare gli edifici in modo più serio ma sempre molto distante dalla reale esigenza di ridurre gli sprechi di energia; finché non è intervenuta l'Europa, con le sue direttive, a richiamare i Paesi membri al rispetto delle ferree regole condivise. L'Italia si è adeguata nel 2005, emanando il D.Lgs. n. 192, che ha imposto severi limiti ai consumi e alle emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Nel periodo dal 1991 (L. 10) al 2005 (D.Lgs. 192) i ponti termici sono stati in realtà molto trascurati sia in fase di progettazione sia in quella di costruzione causando spesso formazioni di muffe in corrispondenza delle parti più critiche di discontinuità dell'isolamento. Nel 2011 il ponte termico è al centro dell'attenzione, soprattutto per la tendenza a costruire edifici a basso consumo, condizione che lo rende un elemento cruciale ai fini del risparmio energetico; perché, muffle a parte, esso determina maggiori dispersioni di calore e quindi consumi più elevati, con peggioramento della classe energetica dell'edificio. L'incremento dei sistemi di climatizzazione estiva, inoltre, richiede strategie migliorative delle prestazioni termiche anche in estate per contrastare i picchi di domanda di energia elettrica che sconvolgono i bilanci degli edifici. Un'ottima coibentazione, che significa anche risoluzione dei ponti termici, è efficace non solo per le rigide temperature invernali ma anche per difendersi dal calore estivo. Occorre evidenziare che i progettisti hanno anche il dovere di salvaguardare l'ambiente riducendo le emissioni in atmosfera e perseguendo la qualità e la sostenibilità, oltre la mera composizione architettonica. Pur nel rispetto delle tradizioni costruttive delle varie regioni climatiche, frutto di esperienza di secoli, si deve ottenere comfort e benessere senza rimanere ancorati alla staticità di soluzioni ormai inadeguate e superate.





