

MARCO BERTI

PATOLOGIE  
EDILIZIE



# PONTI TERMICI IN EDILIZIA

TIPOLOGIE, MISURA, CALCOLO E CORREZIONE  
CON *LE CATALOGUE DES PONTS THERMIQUES*  
E ALTRI ABACHI

SECONDA EDIZIONE RIVEDUTA E AMPLIATA

 **PRONTO  
GRAFILL**   
Clicca e richiedi di essere contattato  
per **informazioni e promozioni**



Marco Berti

## PONTI TERMICI IN EDILIZIA

Ed. II (05-2024)

ISBN 13 978-88-277-0456-1

EAN 9 788827 704561

Collana **PATOLOGIE EDILIZIE**



**Licenza d'uso da leggere attentamente  
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader  
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

**Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill** aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

**CONTATTI  
IMMEDIATI**



**Pronto GRAFILL**  
Tel. 091 6823069



**Chiamami**  
[chiamami.grafill.it](http://chiamami.grafill.it)



**Whatsapp**  
[grafill.it/whatsapp](http://grafill.it/whatsapp)



**Messenger**  
[grafill.it/messenger](http://grafill.it/messenger)



**Telegram**  
[grafill.it/telegram](http://grafill.it/telegram)

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.



**PRONTO  
GRAFILL**



**CLICCA per maggiori informazioni  
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

# SOMMARIO

<b>INTRODUZIONE</b> .....	p.	7
<b>PARTE PRIMA</b>		
<b>FATTORI TERMICI, IGROMETRICI E MATERIALI</b> .....	"	9
<b>1. TRASPORTO TERMICO</b> .....	"	11
<b>1.1. Conduzione termica</b> .....	"	11
<b>1.1.1. Equazione della conduzione termica</b> .....	"	11
<b>1.1.2. Calore specifico</b> .....	"	14
<b>1.1.3. Capacità termica volumica</b> .....	"	15
<b>1.1.4. Cambiamenti di stato</b> .....	"	15
<b>1.1.5. Calore sensibile e latente</b> .....	"	16
<b>1.1.6. Massa termica (o capacità termica)</b> .....	"	16
<b>1.1.7. Inerzia termica</b> .....	"	16
<b>1.1.8. Edifici termicamente leggeri</b> .....	"	17
<b>1.1.9. Edifici termicamente pesanti</b> .....	"	17
<b>1.2. Stoccaggio termico</b> .....	"	17
<b>1.2.1. Materiali a cambiamento di fase (PCM)</b> .....	"	19
<b>1.3. Conduttività termica</b> .....	"	25
<b>1.3.1. Variabilità della conduttività termica</b> .....	"	27
<b>1.4. Diffusività termica</b> .....	"	29
<b>1.5. Convezione termica</b> .....	"	30
<b>1.6. Irraggiamento termico</b> .....	"	31
<b>1.6.1. Trasporto termico combinato</b> .....	"	35
<b>1.6.2. Individuo radiante</b> .....	"	36
<b>1.6.3. Individuo radiante e convettivo</b> .....	"	36
<b>1.6.4. Irraggiamento e convezione</b> .....	"	37
<b>2. FATTORI TERMICI</b> .....	"	40
<b>2.1. Resistenza termica</b> .....	"	40
<b>2.2. Trasmittanza termica stazionaria</b> .....	"	44
<b>2.2.1. Esempi pratici di calcolo della trasmittanza</b> .....	"	45

2.3.	Flusso termico attraverso l'involucro .....	p.	53
2.3.1.	Distribuzione della temperatura .....	"	54
<b>3.</b>	<b>FATTORI IGROMETRICI</b> .....	"	55
3.1.	Pressione di saturazione .....	"	55
3.1.1.	Relazione temperatura-pressione di saturazione .....	"	57
3.2.	Aria secca e vapore d'acqua .....	"	60
3.2.1.	Calcolare il peso dell'aria in un ambiente interno .....	"	61
3.2.2.	Umidità assoluta .....	"	62
3.2.3.	Umidità relativa .....	"	63
3.3.	Permeabilità al vapore .....	"	64
3.4.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore .....	"	64
3.5.	Spessore di diffusione del vapore .....	"	66
3.6.	Permeabilità <i>DVA</i> .....	"	67
3.6.1.	Schermi e membrane traspiranti .....	"	67
3.6.2.	Schede tecniche di alcuni <i>SMT</i> .....	"	68
3.7.	Resistenza al vapore .....	"	69
3.7.1.	Permeanza al vapore .....	"	70
3.7.2.	Resistenza al vapore di una stratificazione .....	"	70
3.8.	Permeanza di una stratificazione .....	"	71
3.9.	Flusso di vapore .....	"	72
3.9.1.	Pressioni parziali del vapore .....	"	73
<b>4.</b>	<b>PARETE CON CAPPOTTO ESTERNO</b> .....	"	74
4.1.	Cappotto esterno .....	"	74
4.2.	Funzionamento termico della parete .....	"	78
4.2.1.	Saturazione e pressione parziale .....	"	83
<b>5.</b>	<b>CONDENSAZIONE E INVOLUCRO</b> .....	"	84
5.1.	Condensazione interstiziale .....	"	84
5.2.	Condensazione superficiale .....	"	88
5.2.1.	Saturazione e pressione sulla superficie interna .....	"	88
5.2.2.	Temperatura critica .....	"	90
5.2.3.	Stress igrometrico standard .....	"	91
<b>6.</b>	<b>MATERIALI ISOLANTI</b> .....	"	93
6.1.	Grandezze prestazionali .....	"	93
6.2.	Classificazione dei materiali isolanti .....	"	101
6.2.1.	Polistirene espanso sinterizzato ( <i>EPS</i> bianco) .....	"	102
6.2.2.	Polistirene espanso sinterizzato con grafite ( <i>EPS</i> grigio) .....	"	103
6.2.3.	Polistirene espanso estruso ( <i>XPS</i> ) .....	"	104
6.2.4.	Poliuretano espanso rigido ( <i>PUR/PIR</i> ) .....	"	106

6.2.5.	Lana di roccia (MW) .....	p. 107
6.2.6.	Lana di vetro (MW) .....	" 108
6.2.7.	Lana di legno mineralizzata (WW) .....	" 109
6.2.8.	Sughero espanso (EC) .....	" 111
6.2.9.	Fibra di legno (WF) .....	" 112
6.2.10.	Vetro cellulare (CG) .....	" 113
6.2.11.	Silicato di calcio idrato .....	" 115
6.2.12.	Silicato di calcio (CS) .....	" 116
6.2.13.	Calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) .....	" 117
<b>PARTE SECONDA</b>		
	<b>ABACHI E PONTI TERMICI</b> .....	" 119
7.	<b>PONTI TERMICI</b> .....	" 121
7.1.	Classificazione .....	" 122
7.1.1.	Isoterme e linee di flusso .....	" 123
7.2.	Le trasmittanze termiche di un nodo (o ponte) termico .....	" 125
7.2.1.	Ponti termici come intersezioni di stratigrafie .....	" 126
7.3.	Tipologia e posizione dei ponti (o nodi) termici .....	" 127
7.3.1.	Aspetti quantitativi .....	" 128
8.	<b>TERMOGRAFIA E DIAGNOSI DELL'INVOLUCRO</b> .....	" 132
8.1.	Termografia .....	" 132
8.2.	Diagnosi termografica .....	" 136
8.3.	Degrado di un cappotto termico .....	" 139
9.	<b>CORREZIONE DEI PONTI TERMICI</b> .....	" 144
9.1.	Correzioni puntuali .....	" 146
9.2.	Correzione globale: il cappotto esterno .....	" 149
10.	<b>TRASMITTANZA TERMICA LINEARE</b> .....	" 150
10.1.	Abaco semplificato UNI EN ISO 14683 .....	" 150
10.2.	Trasmittanza lineare e dettagli costruttivi .....	" 155
11.	<b>ANALISI E CALCOLO DEI PONTI TERMICI</b> .....	" 171
11.1.	Esempio: nodo soletta-parete con cappotto esterno .....	" 171
11.2.	Esempio: nodo soletta-parete con isolante in mezzeria .....	" 173
11.3.	Esempio: nodo angolo con cappotto esterno .....	" 174
11.4.	Esempio: ponti termici di un edificio .....	" 175
11.4.1.	Quote interne .....	" 177
11.4.2.	Quote esterne .....	" 179
11.4.3.	Conclusione .....	" 180

<b>12. LE CATALOGUE DES PONTS THERMIQUES</b> .....	p.	182
12.1. Ponti termici lineari .....	"	182
12.2. Ponti termici puntuali.....	"	184
12.3. Conversione di $\psi$ .....	"	185
12.4. Verifica igrometrica .....	"	186
12.5. <i>Le Catalogue</i> : classificazione dei nodi e uso delle tabelle .....	"	187
12.6. <i>Le Catalogue</i> : esempio di calcolo dei ponti termici.....	"	190
12.6.1. Nodo balcone .....	"	192
12.6.2. Nodo solaio .....	"	194
12.6.3. Nodo partizione .....	"	195
12.6.4. Nodo davanzale .....	"	196
12.6.5. Nodo piedritti .....	"	197
12.6.6. Nodo architrave .....	"	197
12.6.7. Calcolo del flusso termico perturbato.....	"	198
<b>13. ABACO DEL POLITECNICO</b> .....	"	200
13.1. Esempio: nodo parete-solaio .....	"	203
13.2. Esempio: nodo parete-pilastro .....	"	208
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	"	214
<b>LA WEBAPP INCLUSA</b> .....	"	215
Contenuti della WebApp.....	"	215
Requisiti hardware e software .....	"	215
Attivazione della WebApp .....	"	215

# INTRODUZIONE

## SCOPO

Il testo ha come scopo l'analisi, il calcolo e la correzione dei ponti (o nodi) termici. Di fatto propone il calcolo manuale con l'uso di abachi (o atlanti). In particolare, dà esempi numerici finalizzati all'uso dei seguenti atlanti:

- Abaco UNI EN ISO 14683;
- "Le Catalogue des ponts thermiques", Berne, Suisse;
- Abaco del Politecnico di Milano.

## STRUTTURA

Il testo è strutturato in due parti (*Fattori termici, igrometrici e materiali e Abachi e ponti termici*) e tredici capitoli che trattano i seguenti argomenti.

### – PRIMA PARTE – *Fattori termici, igrometrici e materiali*

Il primo capitolo propone i fondamenti di trasmissione e stoccaggio del calore:

- conduzione termica, massa e inerzia termica;
- edifici termicamente leggeri;
- stoccaggio termico e materiali a cambiamento di fase (PCM);
- conduttività e diffusività termica;
- convezione e irraggiamento.

Il secondo e il terzo capitolo analizzano i fattori termici e igrometrici:

- resistenza, conduttanza e trasmittanza;
- temperatura e saturazione del vapore;
- umidità assoluta e relativa;
- permeabilità e fattore di resistenza alla diffusione del vapore;
- permeabilità DVA e spessore di diffusione;
- schermi e membrane traspiranti (SMT);
- permeanza e flusso di vapore attraverso una parete.

Il quarto e quinto capitolo studiano il funzionamento di una parete con cappotto termico esterno:

- temperatura, saturazione e pressione del vapore;
- condensazione superficiale e interstiziale;
- temperatura critica.

Il sesto capitolo analizza gli isolanti per la correzione dei ponti termici e il montaggio di un cappotto esterno:

- polistirene espanso sinterizzato ed espanso estruso;
- lane minerali, lana di legno mineralizzata;
- fibra di legno e sughero espanso;
- vetro cellulare, silicato di calcio idrato ecc.

#### – SECONDA PARTE – *Abachi e ponti termici*

Il settimo e l'ottavo capitolo introducono i ponti termici e la diagnosi termografica:

- classificazione e tipi di nodi termici;
- isoterme, linee di flusso e trasmittanze;
- termografia e degrado;
- termogramma e ponti termici.

Il nono capitolo descrive i sistemi di correzione:

- taglio termico locale (correzione di un singolo ponte);
- taglio termico globale (applicazione di un cappotto esterno).

Il decimo capitolo presenta e utilizza l'abaco UNI EN ISO 14683:

- fattori di accoppiamento e trasmittanze lineari;
- esempio di calcolo dei ponti termici di un edificio tipo.

Il dodicesimo capitolo presenta e utilizza "*le Catalogue des ponts thermiques*":

- trasmittanze lineari e puntuali;
- esempio di calcolo dei nodi in facciata di un alloggio in un edificio multipiano.

Il tredicesimo capitolo presenta e utilizza l'abaco del Politecnico di Milano:

- esempi applicativi sui nodi termici.

#### CONCLUSIONE

Il testo è corredato da **numerosi esempi numerici** (spiegati passo-passo), finalizzati a far comprendere al meglio la parte pratica e teorica dei ponti termici.

# TRASPORTO TERMICO

Questo capitolo descrive le modalità di trasmissione del calore:

- conduzione;
- convezione;
- irraggiamento termico.

## 1.1. Conduzione termica

La conduzione termica rappresenta il trasferimento di calore (energia termica) tra le particelle di una sostanza dotate di maggiore mobilità (maggiore energia) verso le particelle dotate di minore mobilità (minore energia).

La conduzione termica può avvenire nei solidi, nei liquidi o nei gas:

- nei fluidi (gas e liquidi) è dovuta alle collisioni tra le molecole durante il loro moto casuale;
- nei solidi è dovuta alle vibrazioni delle molecole del reticolo cristallino e al trasporto da parte degli elettroni liberi.

Il flusso termico in un mezzo materiale (dalla zona calda a quella fredda) cresce quando si verifica almeno uno dei seguenti eventi:

- aumento dell'attitudine del mezzo alla conduzione del calore;
- aumento della superficie di scambio termico;
- aumento della differenza di temperatura tra la zona calda e la zona fredda.

E viceversa.

### 1.1.1. Equazione della conduzione termica

Consideriamo una parete perimetrale (ossia un componente d'involucro), come rappresentato nella seguente figura 1.1, dove:

- $\Phi$ : flusso di calore diretto secondo la freccia, vale a dire dall'ambiente interno all'ambiente esterno [W];
- $A$ : area della superficie della parete [ $m^2$ ];
- $\Delta x$ : spessore della parete [m];
- $T_0$ : temperatura della faccia interna [K];
- $T_1$ : temperatura della faccia esterna [K].

## FATTORI TERMICI

### PREMESSA

L'involucro di un edificio è la struttura di confine che ne delimita lo spazio interno. Di fatto è costituito:

- dalla superficie interna in contatto con l'aria *indoor*;
- dalla superficie esterna in contatto con l'aria esterna;
- dalla massa muraria dell'involucro, vale a dire dagli strati materiali distribuiti tra le due superfici.

Gli scambi termici dell'edificio con l'ambiente esterno si realizzano sempre attraverso l'involucro. Questo vale tanto per l'energia entrante attraverso la rete (gas, gasolio, energia elettrica ecc.), quanto per le perdite di calore.

### LE RESISTENZE TERMICHE

Il flusso di calore è sempre limitato dalla resistenza termica del mezzo attraversato. All'aumentare della resistenza termica diminuisce il flusso termico e viceversa.

Il calore uscente da un edificio deve entrare nella superficie interna dell'involucro (per convezione e irraggiamento), attraversare la massa muraria del medesimo (per conduzione) e uscire dalla superficie esterna (per convezione e irraggiamento). E viceversa – per il calore entrante.

Pertanto, la trasmissione del calore tra l'interno e l'esterno di un edificio (e viceversa), è caratterizzata dalle seguenti resistenze:

- resistenza termica nella massa muraria dell'involucro;
- resistenza termica **superficiale** nelle facce (interna ed esterna) dell'involucro.

Mentre la resistenza termica nella massa è sempre conduttiva, la resistenza termica superficiale può essere convettiva, radiativa o combinata.

### 2.1. Resistenza termica

Applichiamo un salto termico  $\Delta T$  a una lastra di:

- superficie  $A$ ;
- spessore  $\Delta x$ ;
- conduttività  $\lambda$ .

Dalla legge di Fourier (formula 1.2) abbiamo:

## FATTORI IGROMETRICI

### 3.1. Pressione di saturazione

Per comprendere il fenomeno della saturazione del vapore consideriamo un semplice esempio costituito da una tazzina di caffè zuccherato. Dove il caffè corrisponde all'aria secca e lo zucchero al vapore.

È noto a tutti che la quantità di zucchero miscibile con il caffè ha un limite, oltre il quale lo zucchero si deposita sul fondo della tazzina. Più il caffè è caldo maggiore è la quantità di zucchero che è mescolabile.

In termini matematici si può dire che esiste una relazione di proporzionalità diretta tra la temperatura del caffè e la quantità di zucchero. Ambedue le variabili aumentano o diminuiscono insieme.

Lo stesso fenomeno avviene per l'aria umida, dove la quantità di vapore può aumentare fino allo stato di saturazione, oltre il quale abbiamo la condensazione, vale a dire la formazione di acqua allo stato liquido.

#### PRESSIONE

La pressione è la forza applicata all'unità di superficie.

L'unità di misura della pressione è il pascal [Pa]:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Essendo il pascal molto piccolo, talvolta si usano il chilo-pascal [kPa] e il mega-pascal [MPa].

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

Pressione atmosferica e pressione parziale del vapore

L'aria atmosferica è una miscela di gas.

La pressione totale di una miscela di gas è la somma delle pressioni parziali dei gas componenti.

Dal punto di vista applicativo l'aria atmosferica si considera costituita dai seguenti gas:

- aria secca: gas **non condensabile** composto da ossigeno (23%), azoto (75%), argon (1,3%), diossido di carbonio (0,04%) e altri gas (0,66%);
- vapore d'acqua: gas **condensabile** composto solamente da acqua.

## PARETE CON CAPPOTTO ESTERNO

Il cappotto termico esterno è un sistema tecnologico che separa termicamente l'ambiente interno di un edificio dall'ambiente esterno. Ovvero, è un sistema che protegge l'ambiente *indoor* dal freddo invernale e dal caldo estivo. In concreto è uno strato di materiale isolante che avvolge dall'esterno l'edificio. Ed è finalizzato a ridurre le perdite di energia<sup>1</sup> e a creare il comfort interno.

Sempre più spesso, in luogo del termine cappotto si usa l'espressione "sistema a cappotto", nel senso di sistema tecnologico integrato dove sono definiti tanto i componenti di sistema (pannelli, collante, tasselli a taglio termico ecc.) quanto il processo di montaggio.

### DAL CAPPOTTO ARTIGIANALE AL SISTEMA *ETICS*

Per un cappotto termico esistono due modalità costruttive.

- un modo artigianale con un risultato che dipende dall'esperienza dell'artigiano e dall'applicazione della regola dell'arte;
- un modo codificato, caratterizzato da protocolli, certificazioni, norme specifiche ecc., che dà garanzia della qualità del processo e del prodotto finale.

Per cui, se quest'ultimo sistema dà maggiori certezze sul piano della qualità, il primo dà invece una maggiore flessibilità operativa in termini di sperimentazione sul prodotto. Ad esempio, particolari cappotti esterni che impiegano speciali materiali isolanti, sia in termini di proprietà che di sostenibilità, al momento non si trovano nel mondo dei sistemi *ETICS* (*External Thermal Insulation Composite System*) dotati di certificazione *ETA* (*European Technical Approval*), mentre si possono trovare, o quantomeno pensare, nel mondo dei costruttori artigiani.

### 4.1. Cappotto esterno

Per differenti motivi la posizione razionale dell'isolante è all'esterno. Infatti, se dal punto di vista termico la resistenza totale non dipende dalla posizione dell'isolante nell'involucro, dal punto di vista dell'umidità e dell'inerzia termica, la posizione è fondamentale.

<sup>1</sup> Nella stagione invernale il calore perso attraverso l'involucro deve essere sostituito dal calore generato bruciando combustibile solitamente non rinnovabile. In ugual modo, nella stagione estiva, il calore che supera l'involucro ed entra nell'ambiente interno dovrà essere espulso con l'impianto di raffrescamento, sempre consumando energia solitamente non rinnovabile.

## CONDENSAZIONE E INVOLUCRO

In un sistema edilizio abbiamo due tipi di condensazione:

- condensazione **interstiziale**, o nella massa della parete;
- condensazione **superficiale**, ovvero sulla superficie interna della parete.

### 5.1. Condensazione interstiziale

La condensazione **interstiziale** si realizza all'interno della parete, vale a dire nella massa dell'involucro. Questo tipo di condensazione imbibisce la muratura e può determinare l'inizio di un progressivo degrado.

In ogni caso vale questo principio: il processo di condensazione interno alla parete (interstiziale) si realizza quando la pressione del vapore supera la pressione di saturazione.

Il caso classico di formazione della condensa interstiziale è dato dalla parete fredda, vale a dire dalla parete con un cappotto interno.

Comunque, in generale, la formazione di condensa può interessare tutte le strutture (anche quelle con cappotto esterno), per cause diverse, come ad esempio:

- produzione elevata di vapore nell'ambiente interno delimitato dalla parete (lavanderie, cucine, bagni ecc.);
- orientamento a Nord della parete.

In questi casi diventa probabile una riduzione progressiva della resistenza termica, il raffreddamento della parete e la formazione di muffa, corrosione ecc.

#### PARETE FREDDA (CON CAPPOTTO INTERNO)

##### *Dati della struttura e ambientali*

Parete perimetrale con cappotto **interno**.

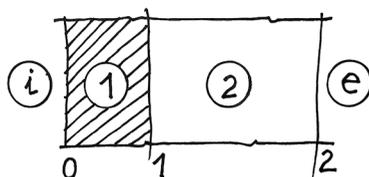


Figura 5.1. Parete con cappotto interno

## MATERIALI ISOLANTI

### 6.1. Grandezze prestazionali

Il comportamento di un qualunque materiale isolante è rappresentato dai parametri di seguito riportati:

- conduttività termica;
- resistenza termica;
- densità;
- resistenza meccanica;
- fattore di resistenza al passaggio del vapore;
- calore specifico;
- capacità termica;
- potere fonoisolante;
- livello del rumore;
- sfasamento temporale;
- fattore di smorzamento (o attenuazione);
- impronta ambientale;
- reazione al fuoco.

#### CONDUTTIVITÀ TERMICA

Simbolo:  $\lambda$ .

Unità di misura: [W/mK].

La conduttività termica è quella indicata dal produttore nelle schede tecniche.

Tanto minore è la conduttività termica, tanto maggiore sarà il contrasto al freddo invernale. E tanto maggiore sarà il livello d'isolamento.

Una stratigrafia perimetrale è funzionale quando la conduttività termica è decrescente verso l'esterno. In tal modo, la parte interna rimane calda d'inverno e fredda d'estate.

#### RESISTENZA TERMICA: R

Unità di misura: [m<sup>2</sup>K/W].

Un involucro performante – nella stagione invernale – minimizza il flusso di calore verso l'ambiente esterno. Il parametro di controllo della performance invernale è la resistenza termica, infatti, tanto maggiore è la resistenza termica di una struttura perimetrale, tanto migliore sarà la prestazione contro il freddo invernale.

## PONTI TERMICI

Un ponte termico<sup>1</sup> rappresenta una discontinuità costruttiva (e prestazionale) dell'involucro edilizio.

In altri termini, nelle zone d'involucro che funzionano da ponte termico la **resistenza termica** assume un valore molto basso. Ovvero, in inverno, un ponte è internamente freddo ed esternamente caldo. E viceversa in estate.

Un ponte termico ha una forte probabilità di formazione della condensa superficiale e interstiziale<sup>2</sup>.

Un ponte termico (caldo sulla faccia esterna in inverno), si visualizza mediante la termografia.

Dal punto di vista quantitativo le perdite di calore nei ponti termici possono raggiungere il 20÷30% delle perdite totali.

### UNA PRIMA DEFINIZIONE

Un ponte termico è una parte limitata dell'involucro dove la resistenza termica (altrove uniforme e costante) diminuisce in modo significativo per uno o più dei seguenti motivi:

- forte aumento della conduttività termica;
- brusca riduzione dello spessore d'involucro;
- differenza tra l'area interna e quella esterna dell'involucro.

Pertanto, le principali tipologie di ponte termico sono date dai casi rappresentati nella seguente figura 7.1.

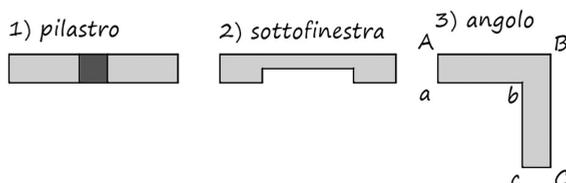


Figura 7.1. Tipologie di nodi (o ponti) termici

<sup>1</sup> Un ponte termico è anche denominato nodo termico.

<sup>2</sup> La condensazione superficiale si forma sulla superficie interna della struttura. Quella interstiziale si realizza nella massa della medesima.

## TERMOGRAFIA E DIAGNOSI DELL'INVOLUCRO

### 8.1. Termografia

La termografia misura la quantità di radiazione infrarossa emessa da un soggetto. L'immagine termografica rappresenta la distribuzione della temperatura sulla superficie del soggetto e **non** rappresenta le temperature interne alla massa del medesimo.

La termografia è un'indagine non distruttiva. Di fatto è una misura senza contatto con la superficie da valutare.

Questo metodo è utilizzato in diversi settori: edilizia, siderurgia, industria chimica, protezione dell'ambiente, ricerca scientifica, diagnosi medica ecc.

In campo edilizio la termografia può essere utilizzata per rilevare le perdite di calore, i difetti d'isolamento, i ponti termici ecc.

#### CORPI RADIANTI

La radiazione infrarossa è una radiazione elettromagnetica compresa tra le microonde e la luce visibile. In termini di lunghezza d'onda la radiazione infrarossa ha onde più lunghe della luce visibile. Dal punto di vista numerico abbiamo:

- luce (visibile all'occhio umano): lunghezza d'onda compresa tra  $0,7 \mu\text{m}$  e  $0,4 \mu\text{m}$ ;
- radiazione infrarossa (invisibile all'occhio umano): lunghezza d'onda compresa tra  $1000 \mu\text{m}$  e  $0,7 \mu\text{m}$ .

Ogni corpo con temperatura superiore allo zero assoluto emette spontaneamente raggi infrarossi. Tuttavia, la quantità di raggi infrarossi emessi da un corpo dipende dalla sua temperatura e dalle sue proprietà fisiche.

#### *Temperatura di emissione del corpo radiante*

La relazione tra la temperatura superficiale di emissione e la potenza termica radiante emessa è data dalla formula di Stefan-Boltzmann (*cfr.* formula 1.7), dove, all'aumentare della temperatura superficiale del corpo radiante aumenta la potenza dell'irraggiamento infrarosso e viceversa.

#### TERMOCAMERA

Le termocamere si dividono in due categorie principali:

- **radiometriche**: misurano, calcolano e restituiscono il valore di temperatura in ogni punto dell'immagine;

## CORREZIONE DEI PONTI TERMICI

Un ponte termico è una patologia dell'involucro e si suddivide in due classi:

- nodi termici dovuti alla discontinuità della struttura (ad esempio il pilastro in cemento armato in facciata);
- nodi termici dovuti alla discontinuità della forma (ad esempio gli angoli dell'edificio).

Dal punto di vista termografico (in inverno) un ponte termico emette una grande quantità di raggi infrarossi ed è ben visibile nel termogramma.

### RICERCA DEI PONTI TERMICI

I ponti termici si trovano nei punti di congiunzione di strutture diverse, ad esempio:

- giunto tra un pilastro in calcestruzzo armato e la chiusura verticale che lo contiene;
- giunto tra un solaio in latero-cemento (struttura orizzontale) e la chiusura verticale;
- giunto tra il telaio fisso di un serramento e il vano finestra;
- giunto tra il telaio mobile di un serramento e la vetrata.

La conferma strumentale della loro esistenza si realizza con la termocamera. Infatti, un nodo termico emette radiazioni infrarosse a forte intensità che danno luogo a colorazioni che differenziano il ponte dal resto dell'involucro. Vale a dire, la termografia è uno strumento di ricerca dei ponti termici.

Consideriamo la seguente figura.

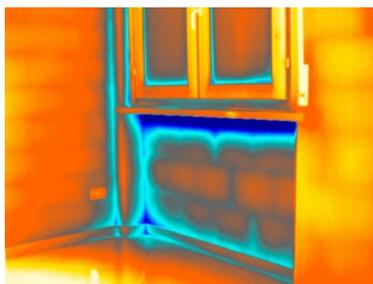


Figura 9.1. Termografia di un sottofinestra (www.darkwavethermo.com)

Nel termogramma i colori freddi mettono in evidenza la zona patologica del ponte termico, che di fatto interessa l'intero muro sottofinestra e soprattutto il suo perimetro. Inoltre, si notano i ponti definiti dalla finestra, vale a dire:

## TRASMITTANZA TERMICA LINEARE

Gli abachi sono finalizzati al calcolo di un ponte termico. In altre parole sono finalizzati al calcolo delle seguenti grandezze:

- trasmittanza termica lineare (ponte lineare)  $[W/mK]$ ;
- trasmittanza termica puntuale (ponte puntiforme)  $[W/K]$ .

Negli abachi vengono calcolate (e presentate) le variabili d'uscita – le trasmittanze – in funzione di un insieme di variabili d'ingresso che rappresentano il dettaglio costruttivo (ovvero il ponte termico).

Il calcolo delle trasmittanze utilizza modelli numerici agli elementi finiti (*FEM*<sup>1</sup>) applicati al flusso termico uscente dal ponte. Il flusso termico è bidimensionale (nel caso dei ponti lineari) o tridimensionale (nel caso dei ponti puntuali)<sup>2</sup>.

### 10.1. Abaco semplificato UNI EN ISO 14683

In questo caso l'abaco non calcola i ponti puntiformi, ma calcola esclusivamente i ponti lineari. In altre parole, l'abaco – per ogni dettaglio costruttivo (ovvero per ogni nodo termico) – calcola il valore della trasmittanza termica lineare.

#### Osservazione

L'abaco è semplificato in quanto rispetto alla classificazione di cui alla figura 7.4, le classi **IF** (*intermediate floors*, pavimenti intermedi) e **GF** (*slab-on-ground floors*, pavimenti contro terra) sono sostituite dalla classe **F** (*floors*, pavimenti).

#### SPessori e grandezze termiche dei ponti nell'abaco

I vari dettagli costruttivi presenti nell'abaco (vale a dire le stratigrafie) sono caratterizzati dalle grandezze di tabella 10.1. Tali grandezze rappresentano i dati d'ingresso per il calcolo – mediante *FEM* – delle trasmittanze termiche lineari.

<sup>1</sup> *FEM* in inglese "Finite Element Method". Vale a dire: Metodo numerico degli Elementi Finiti.

<sup>2</sup> È opportuno ricordare che nel caso della trasmittanza termica "ordinaria" – quella indicata con *U* – il flusso termico è monodimensionale (e il modello di calcolo è semplificato).

## ANALISI E CALCOLO DEI PONTI TERMICI

### 11.1. Esempio: nodo soletta-parete con cappotto esterno

Il ponte termico appartiene alla classe **F** (*Floors*): ponte termico generato dall'intersezione di una soletta intermedia con il muro perimetrale. Nell'abaco semplificato la classe **F** presenta otto tipi di nodi termici che si differenziano per il livello d'isolamento.

Prendiamo in considerazione il ponte termico lineare tipo **F** – sottotipo **F1**: parete con isolante esterno che si interseca con la soletta del pavimento.

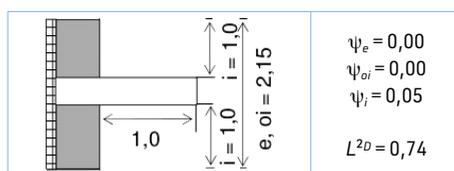


Figura 11.1. Ponte termico lineare soletta-pavimento (cappotto esterno)

Costituito dai seguenti materiali (cfr. tabella 10.4).

Simbolo	Denominazione
	Parete
	Strato isolante
	Soletta o Pilastro in cemento armato

Figura 11.2. Materiali del nodo termico di figura 11.1

In figura 11.1 abbiamo:

- il dettaglio costruttivo del ponte termico con cappotto esterno;
- la quotatura in metri che delimita la zona d'influenza del ponte termico;
- il punto A d'origine delle misure;
- il pedice 1 per le grandezze della parete sotto la soletta;
- il pedice 2 per le grandezze della parete sopra la soletta;

## LE CATALOGUE DES PONTS THERMIQUES

Nel *Catalogue* vengono calcolati tanto i ponti termici **lineari** quanto i ponti termici **puntuali**. E ne viene data la seguente definizione: *un nodo termico è una zona d'involucro con un flusso termico perturbato* (vale a dire molto maggiore di quello delle zone ordinarie).

Quando il flusso perturbato si sviluppa in una linea si parlerà di ponte termico lineare (ad esempio lo spigolo di un angolo di un edificio), diversamente, quando il flusso perturbato si sviluppa in un punto parleremo di ponte termico puntuale (ad esempio un tassello di un cappotto termico).

### 12.1. Ponti termici lineari

Per quanto detto, un ponte termico lineare è un flusso termico perturbato che si svolge su una lunghezza (ad esempio lungo la soletta di un balcone che interseca la parete perimetrale, lungo un pilastro in cemento armato in facciata ecc.).

Il flusso termico causato da un nodo lineare è dato dalla trasmittanza termica lineare che si indica con  $\psi$  e si misura in  $[W/mK]$ . Vale a dire: il valore di  $\psi$  indica l'effetto del ponte per metro lineare del medesimo quando è sottoposto a un salto termico unitario (tra interno ed esterno).

Il valore di  $\psi$  dipende:

- dalle caratteristiche del dettaglio costruttivo;
- dal metodo di misura, vale a dire dalla valutazione per quote esterne o per quote interne;
- dal punto di riferimento, che rappresenta tanto l'origine del sistema di misura, quanto il punto di separazione tra le due membrane che formano il ponte;
- dal valore delle trasmittanze superficiali  $U$  delle due membrane che si intersecano per formare il nodo termico.

Come precisato in precedenza: un ponte "molto dispersivo" potrebbe avere un miglior valore di trasmittanza di un ponte "poco dispersivo" – in quanto il valore di  $\psi$  è di compensazione del flusso non perturbato (quello calcolato con la trasmittanza  $U$ ). Per cui, il valore di  $\psi$  può diventare anche **negativo**.

#### Annotazione

Nel *Catalogue* le misure sono tutte prese dall'esterno.

## ABACO DEL POLITECNICO

L'abaco è stato commissionato dall'ANCE Lombardia (associazione regionale dei costruttori edili lombardi) e dalla Regione Lombardia al Politecnico di Milano; per ogni dettaglio di ponte termico, fornisce la trasmittanza termica lineare e non fornisce le trasmittanze puntuali. L'abaco è disponibile in Internet.

### INDAGINE STATISTICA

Il primo atto della costruzione dell'Abaco è stato l'indagine statistica per la determinazione dei tipi a maggiore frequenza. Sono state determinate 47 classi di ponte termico.

### SUDDIVISIONE PER CLASSI (O ARCHETIPI)

Dal campione di 47 classi sono state individuate le seguenti classi (a maggiore frequenza) di nodi termici:

- parete con pilastro;
- angolo sporgente;
- angolo rientrante;
- angolo sporgente con pilastro;
- angolo rientrante con pilastro;
- parete solaio;
- parete esterna con parete interna;
- balcone;
- parete con copertura piana;
- parete con serramento;
- compluvi e displuvi.

### DIFFERENTI TIPI D'ISOLAMENTO TERMICO

Per ogni classe (o archetipo) sono stati definiti lo schema principale e gli schemi secondari, che differiscono per la presenza o meno del materiale isolante e per la sua posizione. Ad esempio, per l'archetipo "parete con pilastro" abbiamo le varianti della figura 13.1, dove<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> Per quanto riguarda l'orientamento interno-esterno: la parte superiore di ogni schema è rivolta verso l'esterno e la parte inferiore verso l'interno.

## LA WEBAPP INCLUSA

### Contenuti della WebApp inclusa

La **WebApp inclusa** gestisce lo *Speciale Testo Unico Edilizia*, una banca dati normativa sempre aggiornata che contiene le seguenti utilità:

- Norme nazionali e regionali;
- Giurisprudenza TAR;
- Giurisprudenza Consiglio di Stato;
- Giurisprudenza Corte di Cassazione;
- Giurisprudenza Corte Costituzionale;
- Documenti ANAC.

### Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per gestire documenti PDF e Office.

### Attivazione della WebApp

1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

[https://www.grafill.it/pass/0456\\_1.php](https://www.grafill.it/pass/0456_1.php)

- 2) Inserire i codici **[A]** e **[B]** riportati nell'ultima pagina del libro e cliccare **[Continua]**;
- 3) Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**;
- 4) Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- 5) Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- 6) Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- 7) Accedere alla WebApp cliccando sulla copertina del libro acquistato presente nello scaffale **Le mie App**.

