

Maurizio Cudicio

# I PONTI TERMICI IN EDILIZIA

Studio, calcolo e modalità di eliminazione

1<sup>a</sup> Edizione - Aprile 2013

 Legislazione Tecnica

# INDICE

---

PREMESSA .....	12
INTRODUZIONE .....	13

## **Parte Prima** **I ponti termici, quadro legislativo nazionale**

1 QUADRO LEGISLATIVO .....	17
1.1 Cenni sull'evoluzione legislativa .....	17
1.2 La legislazione attualmente in vigore .....	19

## **Parte seconda** **Determinazione e calcolo dei ponti termici**

1 DEFINIZIONE DI PONTI TERMICI .....	29
2 FLUSSI TERMICI ATTRAVERSO I PONTI TERMICI .....	32
3 CALCOLO ACCURATO DEI PONTI TERMICI .....	33
3.1 Analisi di ponti termici 2D e 3D .....	33
3.1.1 Determinazione dei modelli geometrici e dei piani di taglio .....	33
3.1.1.1 <i>Semplificazione dei modelli</i>	
3.1.1.2 <i>Determinazione dei piani ausiliari</i>	
3.1.1.3 <i>Semplificazione dei ponti termici lineari e puntuali</i>	
3.1.2 Condizioni e parametri di calcolo .....	50
3.1.2.1 <i>Conduttività termica dei materiali</i>	
3.1.2.2 <i>Conduttività termica del terreno</i>	
3.1.2.3 <i>Calcolo della resistenza termica superficiale interna</i>	
3.1.2.3.1 <i>Calcolo semplificato</i>	
3.1.2.3.2 <i>Calcolo dettagliato</i>	
3.1.2.4 <i>Determinazione delle temperature interne dei locali</i>	
3.1.2.5 <i>Determinazione delle temperature interne di locali non riscaldati</i>	
3.1.2.6 <i>Determinazione delle temperature esterne</i>	
3.1.2.7 <i>Calcolo della resistenza termica superficiale esterna</i>	
3.1.2.8 <i>Calcolo della resistenza termica di un ambiente non riscaldato</i>	
3.1.2.9 <i>Calcolo della resistenza termica delle intercapedini d'aria</i>	
3.1.3 Metodo di calcolo dei ponti termici 3D .....	67

4	CALCOLO SEMPLIFICATO DEI PONTI TERMICI .....	69
4.1	Determinazione del flusso di calore .....	69
4.2	Determinazione dei ponti termici .....	70
4.2.1	Atlante dei ponti termici .....	71
4.2.2	Calcolo manuale dei ponti termici .....	71
4.2.3	Valori di trasmittanza termica lineica .....	72
4.2.3.1	<i>Solaio</i>	
4.2.3.2	<i>Balconi e poggiali</i>	
4.2.3.3	<i>Angoli</i>	
4.2.3.4	<i>Pavimenti</i>	
4.2.3.5	<i>Pareti interne</i>	
4.2.3.6	<i>Pilastrini</i>	
4.2.3.7	<i>Serramenti</i>	
4.2.4	Esempio di calcolo del coefficiente di accoppiamento termico .....	91
5	VERIFICA DELLA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE ED INTERSTIZIALE .....	94
5.1	La verifica termo-igrometrica delle strutture .....	94
5.1.1	Determinazione del punto di rugiada .....	96
5.1.2	La condensazione del vapore acqueo nelle costruzioni .....	98
5.1.3	Diagramma di Glaser .....	99
5.1.3.1	<i>Calcolo della trasmittanza termica di una struttura</i>	
5.1.3.2	<i>Calcolo della potenza termica dispersa</i>	
5.1.3.3	<i>Determinazione delle temperature superficiali di ogni strato</i>	
5.1.3.4	<i>Esempio di calcolo su una struttura tipo</i>	
5.1.4	Verifica della condensazione superficiale .....	107
5.1.4.1	<i>Trasmittanza massima della struttura per evitare condensa superficiale</i>	
5.1.4.2	<i>Calcolo e verifica della condensazione superficiale</i>	
5.1.4.2.1	Determinazione della temperatura esterna di progetto	
5.1.4.2.2	Determinazione dell'umidità relativa esterna	
5.1.4.2.3	Determinazione della temperatura interna ai locali	
5.1.4.2.4	Determinazione dell'umidità relativa interna	
5.1.4.2.5	Determinazione del valore minimo di umidità volumica a saturazione	
5.1.4.2.6	Determinare la temperatura superficiale interna minima	
6	AZIONE DI DEGRADO SULLE STRUTTURE NON DOVUTE A PONTI TERMICI .	114
6.1	La presenza di acqua nelle strutture .....	114
6.1.1	L'umidità di costruzione .....	116
6.1.2	Congelamento dell'acqua nelle strutture .....	119

**Parte Terza**  
**Analisi dei ponti termici più comuni**

1	INDIVIDUAZIONE DEI PONTI TERMICI PIÙ COMUNI .....	123
2	TIPOLOGIA DI MATERIALI COIBENTI .....	124
2.1	Classificazione dei materiali coibenti .....	124
2.1.1	Life Cycle Assessment - LCA .....	125
2.2	Isolanti di origine inorganica sintetici .....	128
2.2.1	Vetro cellulare .....	128
2.2.2	Granulato di vetro cellulare .....	130
2.1.3	Lana di vetro .....	132
2.1.4	Lana di roccia .....	134
2.1.5	Idrati di silicato di calcio in pannelli .....	136
2.1.6	Calciosilicati .....	138
2.3	Isolanti di origine inorganica naturali .....	140
2.3.1	Argilla espansa .....	140
2.3.2	Perlite espansa .....	142
2.3.3	Vermiculite espansa .....	144
2.3.4	Pomice naturale .....	146
2.4	Isolanti di origine organica sintetici .....	148
2.4.1	Polistirene espanso in pannelli - (EPS) .....	148
2.4.2	Polistirene estruso in pannelli - (XPS) .....	150
2.4.3	Poliuretano in pannelli .....	152
2.5	Isolanti di origine organica naturali .....	154
2.5.1	Fibra di canapa .....	154
2.5.2	Fibra di cellulosa .....	156
2.5.3	Fibra di legno .....	158
2.5.4	Fibra di legno mineralizzata .....	160
2.5.5	Fibra di lino .....	162
2.5.6	Sughero .....	164
2.5.7	Fibra di kenaf .....	166
2.5.8	Fibra di mais .....	168
2.5.9	Fibra di cocco .....	170
2.5.10	Fibra di juta .....	172
2.5.11	Canna palustre .....	174
2.5.12	Cotone .....	176
2.5.13	Trucioli e paglie .....	178
2.6	Isolanti di origine organica animale .....	180
2.6.1	Lana di pecora .....	180
2.7	Prodotti termoisolanti innovativi .....	182
2.7.1	Materiali PCM – (Phase Change Materials) .....	182

2.7.2	Pannelli sottovuoto - (VIP) .....	183
2.7.3	Isolanti termoriflettenti multistrato .....	184
2.8	Prodotti termoisolanti ottenuti da materiali riciclati .....	186
2.8.1	Pannelli in fibra tessile .....	186
2.8.2	Pannelli ottenuti da recupero di bottiglie in poliestere .....	187
<b>3</b>	<b>ANALISI PRATICA DEI PONTI TERMICI .....</b>	<b>189</b>
3.1	Ponte termico solaio-parete tipo PNT01 .....	190
3.1.1	Ponte termico .....	190
3.1.2	Ponte termico corretto .....	192
3.2	Ponte termico solaio-parete tipo PNT02 .....	194
3.2.1	Ponte termico .....	194
3.2.2	Ponte termico corretto .....	196
3.3	Ponte termico solaio-parete tipo PNT03 .....	198
3.3.1	Ponte termico .....	198
3.3.2	Ponte termico corretto .....	200
3.4	Ponte termico solaio-parete tipo PNT04 .....	202
3.4.1	Ponte termico .....	202
3.4.2	Ponte termico corretto .....	204
3.5	Ponte termico solaio-parete tipo PNT05 .....	206
3.5.1	Ponte termico .....	206
3.5.2	Ponte termico corretto .....	208
3.6	Ponte termico solaio-parete tipo PNT06 .....	210
3.6.1	Ponte termico .....	210
3.6.2	Ponte termico corretto .....	212
3.7	Ponte termico poggolo-parete tipo PNT07 .....	214
3.7.1	Ponte termico .....	214
3.7.2	Ponte termico corretto .....	216
3.8	Ponte termico poggolo-parete tipo PNT08 .....	218
3.8.1	Ponte termico .....	218
3.8.2	Ponte termico corretto .....	220
3.9	Ponte termico parete interna su solaio tipo PNT09 .....	222
3.9.1	Ponte termico .....	222
3.9.2	Ponte termico corretto .....	224
3.10	Ponte termico parete interna su solaio tipo PNT10 .....	226
3.10.1	Ponte termico .....	226
3.10.2	Ponte termico corretto .....	228
3.11	Ponte termico parete e pilastro tipo PNT11 .....	230
3.11.1	Ponte termico .....	230
3.11.2	Ponte termico corretto .....	232

3.12 Ponte termico parete e pilastro tipo PNT12 .....	234
3.12.1 Ponte termico .....	234
3.12.2 Ponte termico corretto .....	236
3.13 Ponte termico parete e pilastro tipo PNT13 .....	238
3.13.1 Ponte termico .....	238
3.13.2 Ponte termico corretto .....	240
3.14 Ponte termico parete e pavimento su terreno tipo PNT14 .....	242
3.14.1 Ponte termico .....	242
3.14.2 Ponte termico corretto .....	244
3.15 Ponte termico parete e serramento tipo PNT15 .....	246
3.15.1 Ponte termico .....	246
3.16 Ponte termico parete e serramento tipo PNT16 .....	248
3.16.1 Ponte termico .....	248
3.16.2 Ponte termico corretto .....	250
3.17 Ponte termico parete e serramento tipo PNT17 .....	252
3.17.1 Ponte termico .....	252
3.17.2 Ponte termico corretto .....	254
3.18 Ponte termico parete e serramento tipo PNT18 .....	256
3.18.1 Ponte termico .....	256
3.18.2 Ponte termico corretto .....	258
3.19 Ponte termico parete e pilastro d'angolo tipo PNT19 .....	260
3.19.1 Ponte termico .....	260
3.19.2 Ponte termico corretto .....	262
3.20 Ponte termico parete e pilastro d'angolo tipo PNT20 .....	264
3.20.1 Ponte termico .....	264
3.20.2 Ponte termico corretto .....	266
3.21 Ponte termico parete e serramento tipo PNT21 .....	268
3.21.1 Ponte termico .....	268
3.21.2 Ponte termico corretto .....	268
3.22 Ponte termico parete e serramento tipo PNT22 .....	272
3.22.1 Ponte termico .....	272
3.22.2 Ponte termico corretto .....	274
3.23 Ponte termico parete e solaio di copertura tipo PNT23 .....	276
3.23.1 Ponte termico .....	276
3.23.2 Ponte termico corretto .....	278

**Parte Quarta**  
**Verifica dei ponti termici esistenti**

<b>1</b>	<b>ANALISI DI PONTI TERMICI ESISTENTI</b>	<b>283</b>
1.1	Analisi termografiche	283
1.1.1	Cos'è la termografia	283
1.1.2	Storia dell'infrarosso	285
1.1.3	Termocamere	285
1.1.3.1	Campo Spettrale	
1.1.3.2	Tipo di sensore	
1.1.3.3	Risoluzione geometrica	
1.1.3.4	Minima sensibilità	
1.1.3.5	Frequenza di acquisizione	
1.1.3.6	Misura della temperatura	
1.1.4	Utilizzo delle termocamere in edilizia	287
1.1.4.1	<i>Esami termografici</i>	
1.1.4.2	<i>Procedimento per la misurazione termografica</i>	
1.1.4.3	<i>Analisi termografiche su superfici particolari</i>	
1.1.4.3.1	Misure termografiche su vetri	
1.1.4.3.2	Misure termografiche su metalli	
1.2	Determinazione della trasmittanza di una struttura	294
1.2.1	Termoflussimetri e misurazione della trasmittanza	294

**Parte Quinta**  
**Allegati**

<b>ALLEGATO 01</b>	<b>– Tabelle di conduttività di materiali</b>	<b>297</b>
	Barriere al vapore	297
	Calcestruzzo	298
	Intercapedini di aria	301
	Intonaci	302
	Isolanti	303
	Legno	305
	Metalli	306
	Polimeri	307
	Laterizi	308
	Pannelli e materiali vari	309
	Pavimenti	310

Rocce .....	311
Solai .....	311
Sottofondi .....	312
Vetri .....	312
ALLEGATO 02 – Velocità del vento .....	313
ALLEGATO 03 – Diagramma psicrometrico a quota 0,00 m slm .....	315
ALLEGATO 04 – Valori di pressione di saturazione al vapore $P_s$ .....	316
ALLEGATO 05 – Temperature esterne medie mensili località italiane .....	319
ALLEGATO 06 – Umidità relative esterne mensili località italiane .....	322
ALLEGATO 07 – Pressione di saturazione del vapore e umidità volumica .....	331
INDICE DELLE FIGURE .....	332
INDICE DELLE TABELLE .....	333
BIBLIOGRAFIA .....	334
LEGISLAZIONE .....	335
NORME .....	336
SITOGRAFIA .....	336

## PREMESSA

---

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni è stato interessato da un esponenziale incremento della richiesta immobiliare, e da una clientela sempre più attenta ai costi gestionali dell'immobile.

È proprio da questo presupposto che progettisti e costruttori hanno operato in un'ottica di miglioramento delle strutture edilizie, prevedendo sistemi costruttivi sempre più efficienti e adottando materiali coibenti di spessore sempre maggiore e con caratteristiche prestazionali elevate. Questo ha permesso una riduzione delle dispersioni complessive dell'edificio, anche se molto spesso il problema dei ponti termici è stato trattato con superficialità se non addirittura trascurato o trascurato, riducendo o vanificando molto spesso il lavoro svolto.

I ponti termici, infatti, sono caratterizzati da discontinuità dello strato coibente, che determina dapprima un punto in cui aumenta il flusso di calore, aumentando la potenza richiesta per il mantenimento della temperatura interna dei locali e portando in casi estremi al degrado della struttura stessa con formazioni di efflorescenze e muffe.

Questa Opera, con l'obiettivo di diventare una comoda guida pratica per i tecnici del settore edilizio ed energetico, fornisce una panoramica dettagliata del problema dei ponti termici e si sviluppa in cinque parti.

Parte prima	I ponti termici, quadro legislativo nazionale
Parte seconda	Determinazione e calcolo dei ponti termici
Parte terza	Analisi dei ponti termici più comuni
Parte quarta	Verifica dei ponti termici esistenti
Parte quinta	Allegati

Nella prima parte sarà analizzata l'evoluzione legislativa adottata al fine di ridurre le dispersioni energetiche degli edifici e gli inquinanti prodotti, con particolare attenzione a come sia stato affrontato il delicato argomento dei ponti termici.

Nella seconda parte vengono analizzati i sistemi di calcolo adottati per l'analisi dei ponti termici. In questa sezione, infatti, saranno fornite tutte le nozioni di base che permettono di comprendere quali siano i metodi di calcolo adottabili per la verifica dei ponti termici anche mediante l'adozione di piattaforme informatiche.

Si passa poi alla terza parte, dove vengono analizzati i più comuni ponti termici presenti in edilizia. Questa sezione è caratterizzata e accompagnata da grafici contenenti linee isotermitiche, immagini termografiche e i flussi di calore all'interno di diversi nodi edilizi.

Nella quarta parte sono descritte le tecnologie utilizzate oggi nella verifica degli elementi edilizi esistenti, per concludersi con l'ultima sezione dove sono stati riportati numerosi dati utili per il lavoro di tutti i giorni.



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



Oltre a questo va precisato che lo stato italiano ha incentivato gli interventi di riqualificazione energetica dei fabbricati esistenti, grazie alla Legge n. 296 del 27 dicembre 2006, con la quale è concessa la possibilità di ottenere una detrazione di imposta pari al 55,00% delle spese sostenute. Tale Legge viene riconfermata con la Legge n. 244 del 27 dicembre 2007 per arrivare infine al Decreto Legge n. 83 del 22 giugno 2012, attualmente in vigore, con il quale vengono apportate alcune modifiche al quadro nazionale dei benefit economici per la riduzione dei consumi di energia.

Vale la pena precisare che, con l’emanazione dalla Legge 296/2006, uno degli interventi per cui è previsto e sono concessi degli sgravi fiscali, riguarda appunto la coibentazione di strutture opache verticali e orizzontali e la sostituzione di serramenti. Questo pertanto ha permesso in molti casi di ridurre i consumi del proprio immobile eliminando al contempo anche gli eventuali problemi legati alla presenza di ponti termici.

Va però evidenziato che, affinché sia possibile eliminare in modo efficace gli stessi, non è sufficiente uno studio preliminare approfondito dell’edificio, ma deve coesistere sempre e in ogni situazione una collaborazione sinergica tra progettisti e imprese.

## 1.2 LA LEGISLAZIONE ATTUALMENTE IN VIGORE

Nel capitolo precedente abbiamo ripercorso l’iter legislativo nazionale che ha portato alla definizione di chiare regole volte alla realizzazione di edifici a basso impatto energetico. A livello nazionale abbiamo visto come nel D.P.R. 59/2009 vengono fissati i criteri generali e i requisiti base che i fabbricati devono rispettare per garantire una riduzione dei consumi:

- Il valore di prestazione energetica;
- Il valore della trasmittanza termica U per le strutture opache verticali a *ponte termico corretto*.

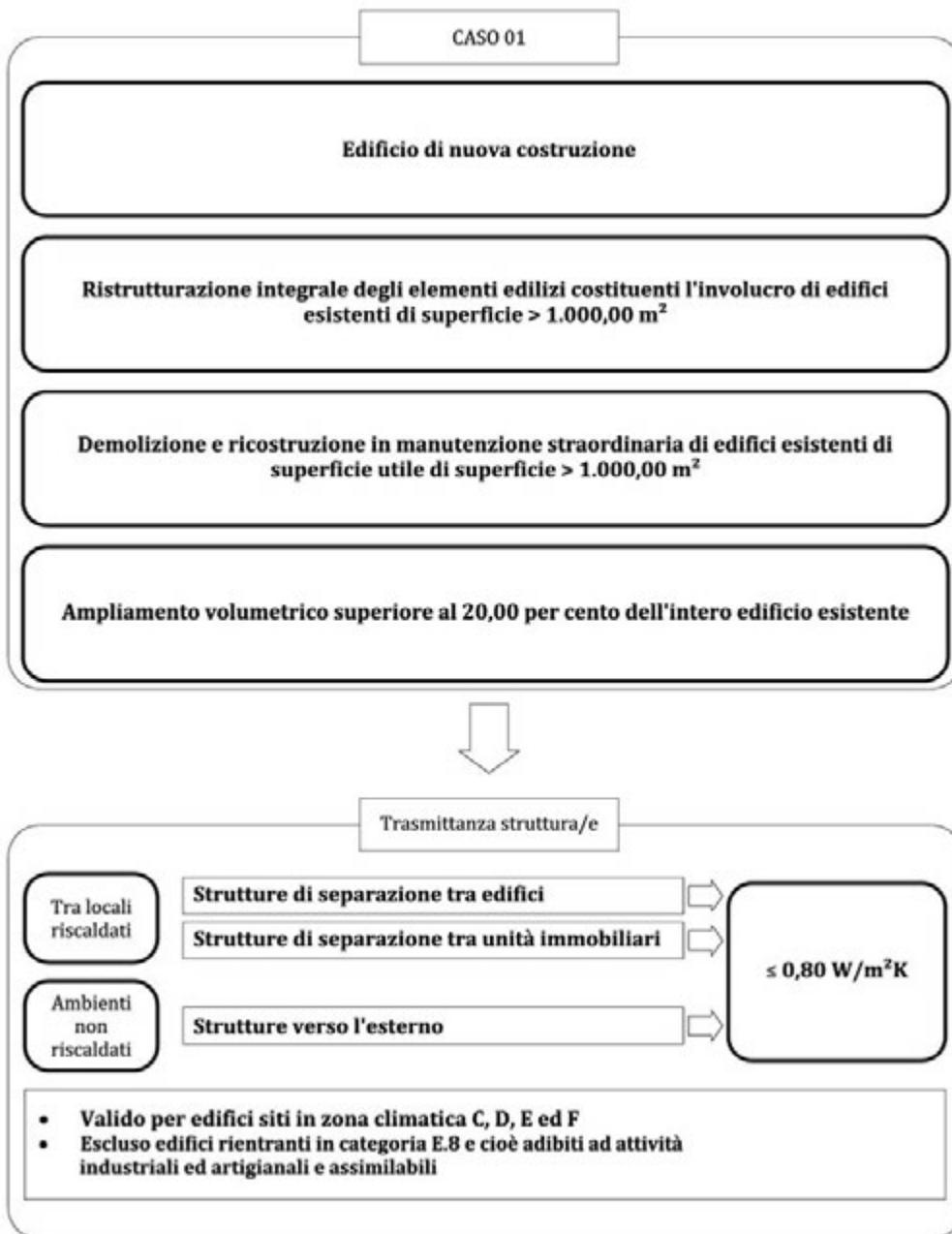
Per quanto riguarda i valori di trasmittanza termica delle strutture opache verticali che delimitano il volume riscaldato verso l’esterno deve essere inferiore o uguale a quanto riportato nella tabella seguente.

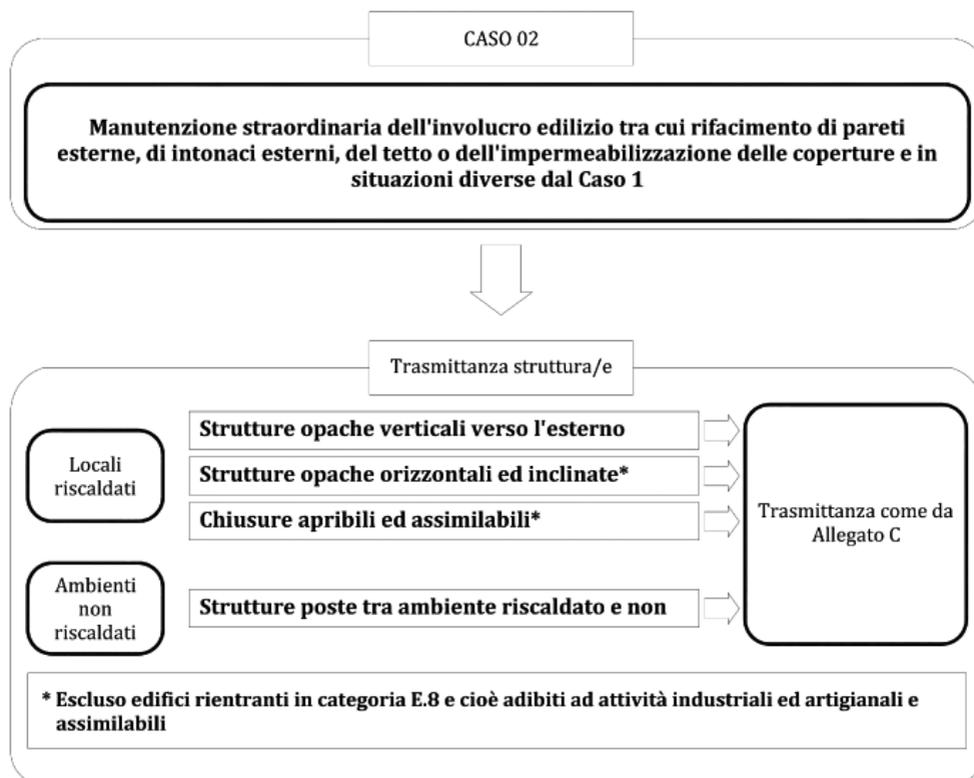
Zona climatica	Dall’1 gennaio 2006	Dall’1 gennaio 2008	Dall’1 gennaio 2010
	U(W/m <sup>2</sup> K)	U(W/m <sup>2</sup> K)	U(W/m <sup>2</sup> K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

**Tabella 1** - Strutture opache verticali. Valori limite della trasmittanza termica U espressa in W/m<sup>2</sup>K (Tabella 2.1, allegato C)

Va precisato che nel caso di edifici di nuova costruzione, o nel caso di ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l’involucro di edifici esistenti aventi superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati, o nel caso di ampliamento volumetrico superiore al 20,00 per cento dell’intero edificio esistente o nel caso di demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati, la trasmittanza delle strutture orizzontali o verticali di separazione tra edifici o unità immobiliari dovrà essere inferiore o uguale a 0,80 W/m<sup>2</sup>K. Il medesimo limite deve essere rispettato per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate, che delimitano verso l’ambiente esterno gli ambienti

non dotati di impianto di riscaldamento. Si precisa che tali vincoli sono da intendersi validi per interventi eseguiti su edifici collocati in zona climatica C, D, E ed F. Tale prescrizione non è applicabile a tutti quegli edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili. Nel caso, invece, di ristrutturazioni totali o parziali, manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio e più in generale opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture, e più in generale per tutti quegli interventi all'infuori di quanto già previsto e descritto sopra, il valore della trasmittanza termica per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nelle tabelle 1, 2 e 3.





Le zone climatiche specificate fanno riferimento a quanto riportato nel D.P.R. 412/93, nel quale il territorio nazionale è suddiviso in sei zone come da elenco seguente:

- Zona A:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;
- Zona B:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;
- Zona C:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;
- Zona D:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;
- Zona E:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
- Zona F:** Comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



# 3

## CALCOLO ACCURATO DEI PONTI TERMICI

### 3.1 ANALISI DI PONTI TERMICI 2D E 3D

In questo capitolo saranno definite le specifiche tecniche e i limiti geometrici che i modelli utilizzati per il calcolo e l'analisi dei ponti termici devono avere e come predisporre i piani di taglio da utilizzare per la determinazione dei seguenti risultati:

- Flussi termici all'interno del nodo edilizio e stime delle dispersioni attraverso lo stesso;
- Determinazione della temperatura superficiale per verificare la possibilità di superamento dei limiti oltre i quali vi è formazione di condensa sulle strutture.

È ovvio che per sviluppare un metodo di calcolo specifico, è necessario determinare preliminarmente e in modo preciso tutti i parametri necessari. Va però precisato che tutte le analisi devono essere effettuate in condizioni termiche stazionarie, cioè senza considerare variazioni di temperatura e umidità.

#### 3.1.1 Determinazione dei modelli geometrici e dei piani di taglio

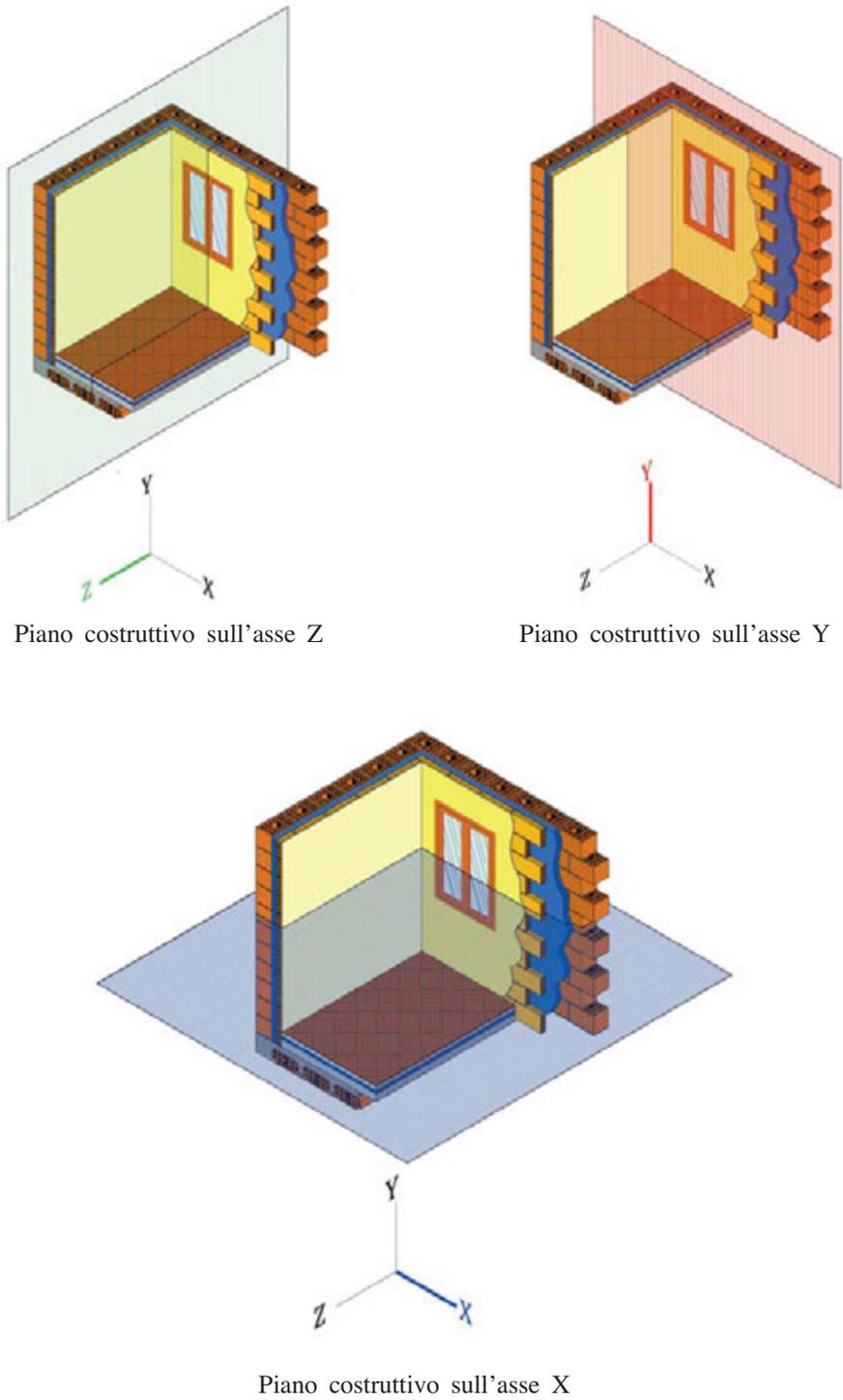
Lo studio dei ponti termici si basa sulla determinazione delle linee isoterme (a temperatura costante) all'interno della struttura e in corrispondenza di ogni elemento che la costituisce.

Per procedere al calcolo della distribuzione delle linee isoterme all'interno di una struttura, è fondamentale definire i nodi costruttivi, determinare la stratigrafia delle strutture costituenti il nodo edilizio e le condizioni interne ed esterne all'elemento che si va ad analizzare.

È proprio in conformità a tali presupposti che il modello geometrico desunto dai disegni architettonici, dovrà essere diviso in piani costruttivi che separano:

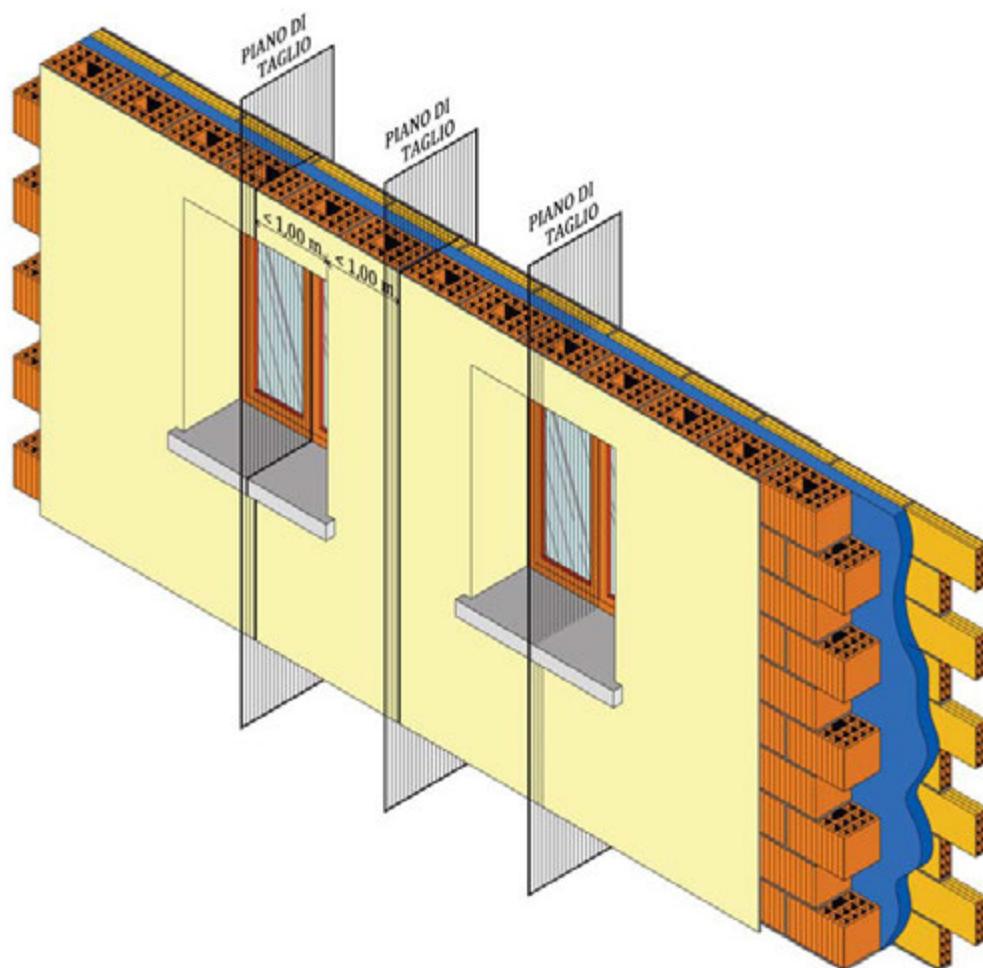
- I materiali differenti;
- Il modello geometrico dal resto della costruzione;
- Gli elementi laterali dall'elemento centrale.

Nella figura 3 vengono identificati i possibili piani costruttivi o più semplicemente piani di taglio che possono essere utilizzati e predisposti per l'esecuzione delle verifiche. Essi sono piani che definiscono i contorni del modello 3D o 2D separandolo dal resto della costruzione.



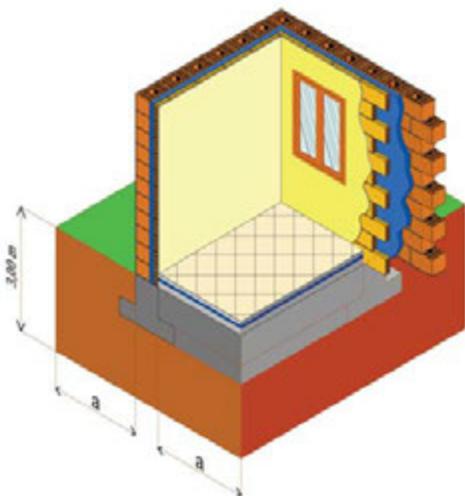
**Figura 3** - Piani costruttivi

I piani di taglio o piani di costruzione devono essere predisposti in corrispondenza dell'asse di simmetria dell'elemento nel caso in cui la distanza da un elemento centrale sia inferiore a 1,00 m. Questo può essere il caso di un piano di taglio eseguito per analizzare un ponte termico presente in corrispondenza di un serramento (figura 4), o ad almeno 1,00 m da un elemento centrale se non ci sono piani di simmetria più vicini, o nel terreno (figure 5 e 6).

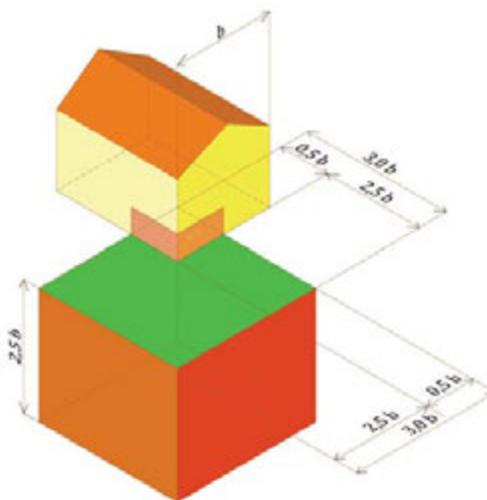


Misure in metri

**Figura 4** - Piani di taglio o piani di costruzione



**Figura 5** - Dimensioni del terreno - Calcolo delle temperature superficiali



**Figura 6** - Dimensioni del terreno - Calcolo del flusso termico

Direzione	Grandezza da calcolare Distanze dall'elemento centrale in metri		
		Temperatura superficiale (vedere figura 03)	Flusso termico (vedere figura 04)
Orizzontale dell'edificio	all'interno	ad almeno 1,00 m	$0,50 \times b$
Orizzontale dell'edificio	all'esterno	alla stessa distanza che all'interno dell'edificio	$2,50 \times b$
Verticale sotto il terreno		3,00 m	$2,50 \times b$
Verticale sotto il livello del pavimento Purché il livello del pavimento si trovi ad una quota inferiore a 2,00 m dal terreno		1,00 m	-
dove: b è la larghezza in metri della soletta sul terreno (la più piccola delle due dimensioni).			

**Tabella 6** - Posizione dei piani di taglio nel terreno (fondamenta, fondazioni piano terra, scantinati)



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



### 4.2.3 Valori di trasmittanza termica lineica

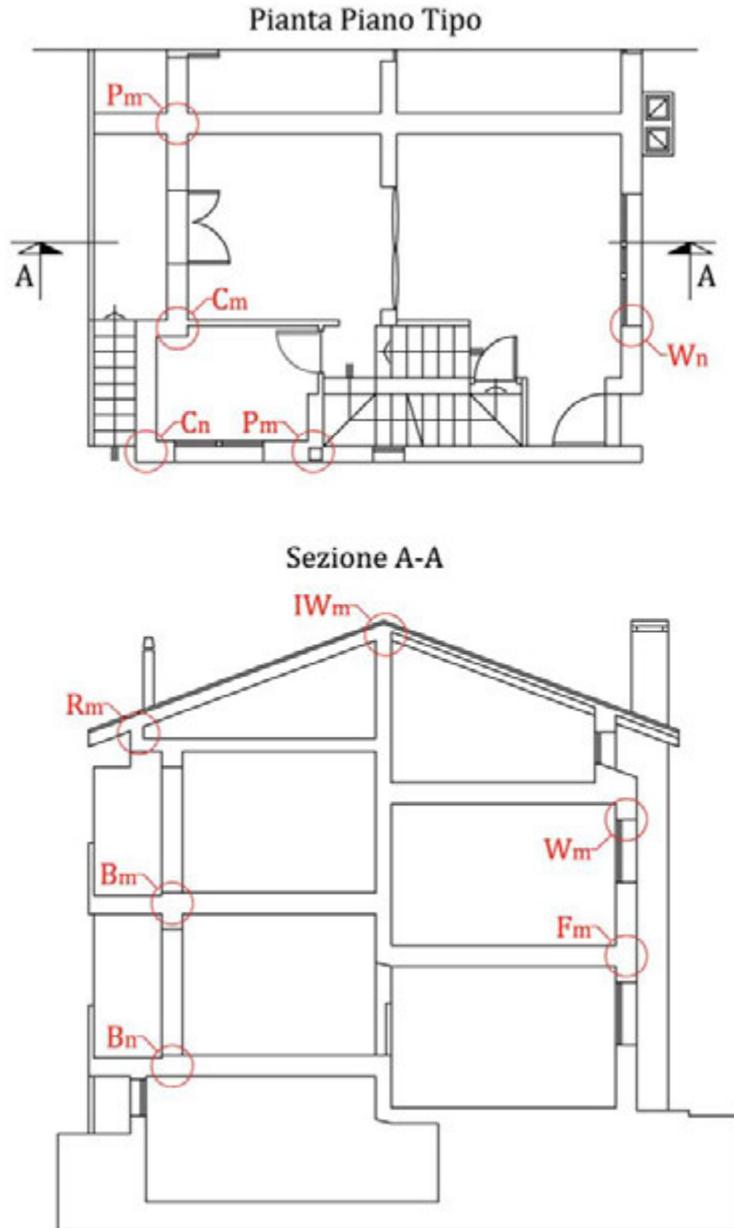
Come detto in precedenza è possibile determinare numericamente i valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$ , anche se questo richiede una serie di calcoli approfonditi e non sempre semplici. Molto spesso, è possibile adottare delle semplificazioni per la determinazione di tali valori. È questo il caso nel quale si può ricorrere a valori tabellari, suddivisi per le varie tipologie di ponti termici.

I valori di  $\psi$  indicati nelle pagine seguenti sono stati determinati eseguendo una modellazione solida 2D secondo le specifiche già evidenziate nei capitoli precedenti. L'esecuzione delle modellazioni seguenti sono da considerarsi come supporto alla progettazione anche se casi particolari o specifici devono essere valutati in modo approfondito. Le risultanti delle modellazioni seguenti sono state determinate utilizzando i valori riportati di seguito (Valori differenti porteranno a risultati diversi)

1. Resistenza termica superficiale esterna	$R_{se}$	0,130 $m^2K/W$
2. Resistenza termica superficiale interna	$R_{si}$	0,040 $m^2K/W$
3. Spessore totale assunto per tutte pareti	S	0,300 m
4. Valori utilizzati per pareti isolate		
4.1 Trasmittanza termica	U	0,343 $W/(m^2 \cdot K)$
4.2 Resistenza termica dello strato isolante	R	2,500 $m^2 \cdot K/W$
5. Valori utilizzati per pareti non isolate		
5.1 Trasmittanza termica	U	0,375 $W/(m^2 \cdot K)$
6. Valori per tutte le solette		
6.1 Spessore totale	S	0,150 m
6.2 Conduttività termica equivalente	l	2,000 $W/(m \cdot K)$
7. Valori per i tetti		
7.1 Trasmittanza termica	U	0,365 m
7.2 Resistenza termica	R	2,500 $m^2 \cdot K/W$
8. Valori per i telai		
8.1 Spessore totale	S	0,100 m
9. Valori per i pilastri		
8.1 Spessore totale	S	0,300 m
8.2 Conduttività termica equivalente	l	2,000 $W/(m \cdot K)$

Questi parametri sono stati scelti in modo da ottenere valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$  di progetto che siano prossimi ai valori massimi ottenibili da un determinato ponte termico. È evidente che gli stessi rappresentano una sovrastima cautelativa degli effetti dei ponti termici, pertanto possono essere ritenuti validi per eseguire una verifica preliminare. È evidente pertanto che nel caso in cui le strutture e/o le condizioni al contorno siano migliori rispetto a quelle prese a riferimento, adottando tale metodo, si otterranno valori di potenza termica dispersa superiori rispetto alla realtà.

Nella figura 19 sono riportate le posizioni dei ponti termici presenti normalmente all'interno di un edificio. Essa è da intendersi come legenda identificativa dei particolari rappresentati in seguito.



**Figura 19** - Posizione tipica dei normali ponti termici

La lettera maiuscola vicino ad ogni ponte termico indica la tipologia di ponte termico e il pedice indica lo specifico ponte termico, per esempio  $IW_n$  indica un ponte termico in corrispondenza della giunzione dell'involucro esterno con una parete interna e  $IW_m$  indica un ponte termico dello stesso tipo, ma in un'altra posizione.

Nei paragrafi successivi sono individuabili i valori di trasmittanza termica lineica, per la determinazione dei quali sono state effettuate delle simulazioni 2D considerando quattro diverse posizioni dello strato coibente:

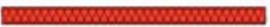
- sul lato esterno;
- nella parte intermedia;

- sul lato interno;
- uniformemente distribuito nella struttura, situazione tipica identificabile nei casi in cui siano utilizzate pareti in muratura leggera o pareti con intelaiatura di legno.

In ogni singolo dettaglio pertanto è possibile individuare i valori relativi all'accoppiamento termico lineico bidimensionale  $L^{2D}$  e tre differenti valori di trasmittanza termica lineica  $\psi$ :

- $\psi_i$  basato sulle dimensioni interne;
- $\psi_{oi}$  basato sulle dimensioni totali interne;
- $\psi_e$  basato sulle dimensioni esterne.

La simbologia adottata per i disegni è la seguente.

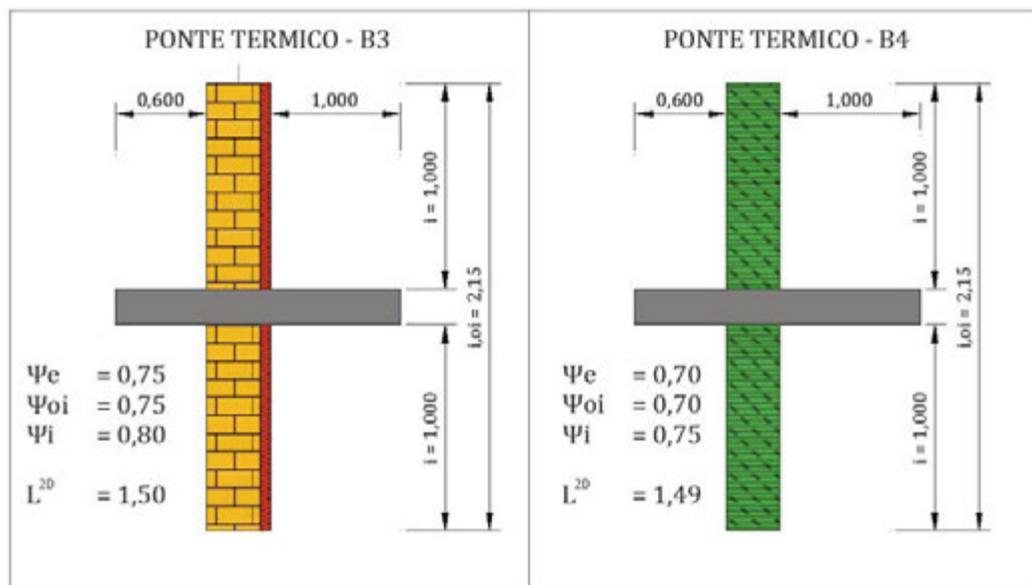
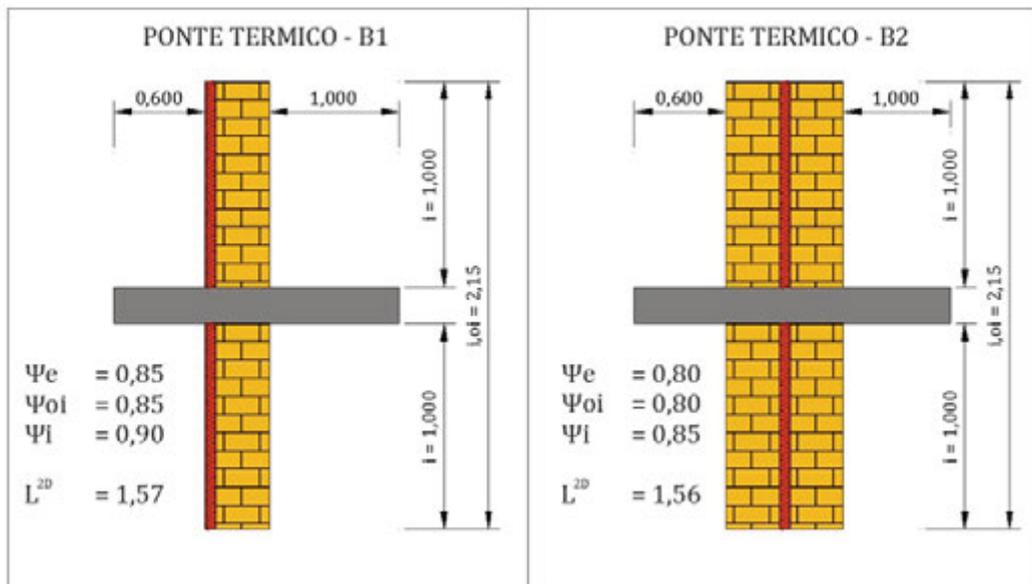
Simbolo	Descrizione
	Parete o struttura in laterizio
	Strato coibente
	Solaio in latero-cemento
	Parete leggera del tipo con intelaiatura di legno
	Pilastro o altro elemento in cemento armato
	Elemento ligneo o telaio serramento
<b>i</b>	Dimensioni INTERNE
<b>e</b>	Dimensioni ESTERNE
<b>oi</b>	Dimensioni INTERNE GLOBALI



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



4.2.3.2 Balconi e poggiali





**Pagine non disponibili  
in anteprima**



# 2

## TIPOLOGIA DI MATERIALI COIBENTI

### 2.1 CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI COIBENTI

Prima di procedere all'analisi di alcuni tra i più comuni ponti termici, vale la pena conoscere i materiali coibenti in commercio, sapere le loro caratteristiche, al fine di poter selezionare di volta in volta il prodotto che più si addice alle specifiche esigenze.

Di fatto tutti i materiali coibenti trovano applicazione in specifici utilizzi e pertanto non esiste una tipologia che possa essere utilizzata in maniera indiscriminata in tutte le situazioni. I materiali coibenti si suddividono in diverse categorie secondo le loro caratteristiche e della loro produzione. Il grafico seguente permette di individuarli e collocarli in modo specifico.

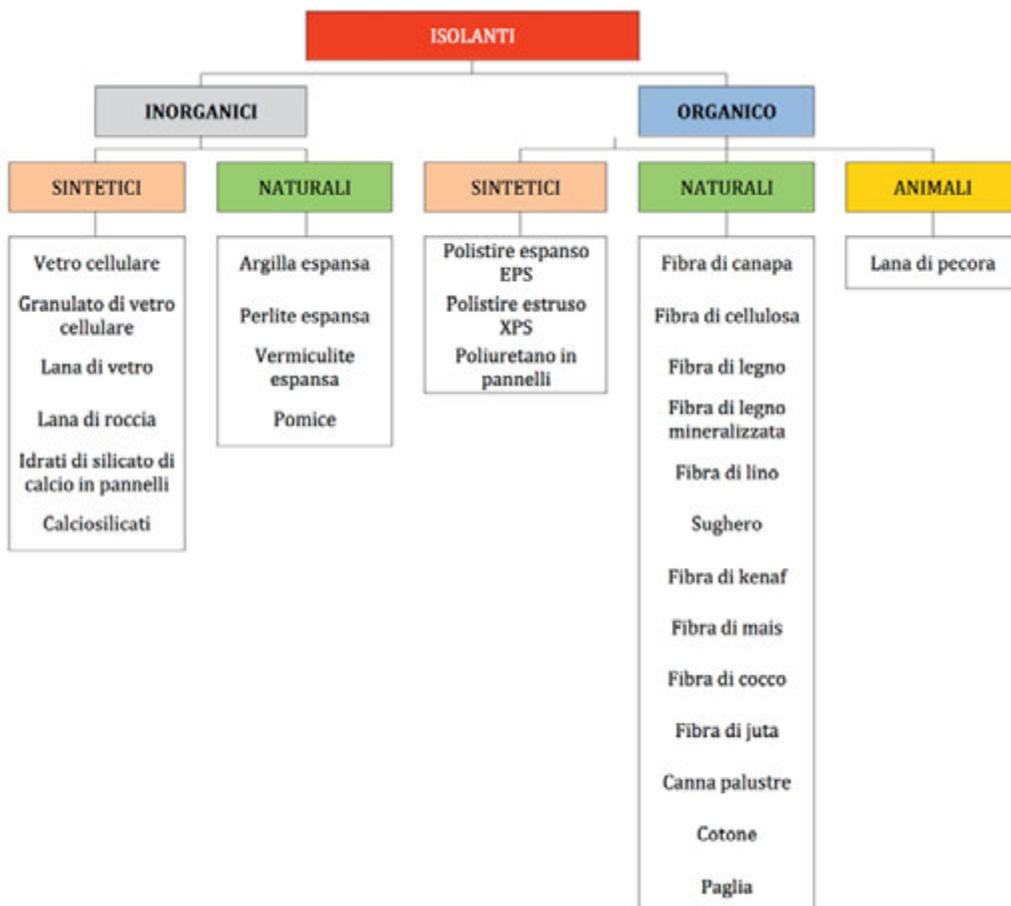


Figura 37 - Tabella materiali coibenti

La scelta dei materiali coibenti non è semplice soprattutto perché i parametri da tenere in considerazione sono numerosi come ad esempio:

- Caratteristiche di traspirabilità;
- Caratteristiche termiche;
- Resistenza allo schiacciamento;
- Adattabilità alla struttura;
- Trasporto;
- Stoccaggio in cantiere;
- Lavorabilità dello stesso.

Non ultimo, sempre più spesso, il materiale coibente è selezionato non solo considerando quali saranno i risultati termici raggiungibili grazie al suo utilizzo, ma considerando anche l'impatto che lo stesso può causare all'ambiente nella fase produttiva, durante il ciclo di vita e nelle fasi finali di smaltimento.

Il metodo che permette la valutazione ambientale e che consente di rendere evidente gli impatti ambientali generati lungo tutto il ciclo di vita, è il *Life Cycle Assessment* o 'valutazione del ciclo di vita' che è indicato con l'acronimo LCA.

### **2.1.1 Life Cycle Assessment - LCA**

Il metodo LCA è un vero e proprio approccio che consiste nell'acquisizione di una consapevolezza precisa e specifica del danno ambientale che l'adozione di un prodotto rispetto ad un altro può causare.

Questo metodo, si prefigge l'obiettivo di analizzare l'intero ciclo di vita del prodotto partendo dalle fasi di estrazione delle materie prime che poi lo comporranno, al loro trattamento e lavorazione, alla produzione, trasporto, distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo ed alla ricollocazione finale dello stesso dopo l'uso.

L'elaborazione di uno studio LCA si articola essenzialmente in quattro fasi distinte:

- Fase 1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio definito come *Goal and scope Definition*
- Fase 2. Analisi d'inventario, definito come *Inventory Analysis*, che prevede la compilazione di un inventario di input (ovvero elementi in ingressi come materiali, energia, risorse naturali) e di output (ovvero elementi in uscita come emissioni in aria, acqua, suolo) rilevanti per il sistema
- Fase 3. Valutazione degli impatti ambientali potenziali, diretti ed indiretti, associati a questi input e output e definiti come *Impact Assessment*
- Fase 4. Analisi dei risultati e valutazione dei miglioramenti delle due fasi precedenti ossia la definizione delle possibili linee d'intervento definiti come *Interpretation*



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



### 2.1.3 Lana di vetro



**Materia prima:** la lana di vetro è un silicato amorfo ottenuto dal vetro ed è un materiale molto versatile, utilizzato soprattutto in edilizia e nei silenziatori dei veicoli a motore endotermico. Viene prodotta portando a fusione ad una temperatura compresa tra i 1.300,00-1.500,00°C una miscela di vetro e sabbia che successivamente viene convertita in fibre, con l'aggiunta di un legante che aumenta la coesione delle fibre stesse ottenute. Questa fibra viene quindi riscaldata a circa 200,00°C e sottoposta a calandratura per conferirle ulteriore resistenza meccanica e stabilità. Infine la lana di vetro viene tagliata ricavandone rotoli o pannelli per azione di pressioni elevate.

**Impiego:** trova applicazione in qualsiasi soluzione per la coibentazione di pareti, tetti, e pareti purché sia protetta dall'umidità.

**Conduttività termica  $\lambda$ [W/mK]:** 0,035 – 0,040

**Densità [kg/m<sup>3</sup>]:** 35,00

**Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore  $\mu$ :** 1,00

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ottime caratteristiche termoacustiche</li> <li>▪ Inputrescibile</li> <li>▪ Buone caratteristiche meccaniche</li> <li>▪ Assenza di materiale infibrato</li> <li>▪ Facilità di posa e manipolazione</li> <li>▪ Resistente agli insetti</li> <li>▪ Resistente alla muffa</li> <li>▪ Riutilizzabile se non bagnato o inumidito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se umido aumenta notevolmente la sua conducibilità</li> <li>▪ Bassa protezione termica estiva</li> <li>▪ Bassa capacità di regolare l'umidità</li> </ul>

APPLICAZIONI TIPICHE

	<b>Isolamento dell'interno</b>	<b>Isolamento dall'esterno</b>	<b>Isolamento intercapedine</b>	<b>Cassero a perdere</b>
Parete perimetrale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parete interna	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parete contro terra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Copertura piana ispezionabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Copertura piana pedonabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Copertura piana carrabile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Copertura piana a giardino	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Copertura a falda struttura continua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Copertura a falda struttura discontinua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Solaio sottotetto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Solaio su vespaio aerato	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Solaio su ambiente non riscaldato	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Solaio contro terra	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Controsoffitto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Impianti (Tubazioni, caldaie ecc)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Cassonetti di finestre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



**Pagine non disponibili  
in anteprima**



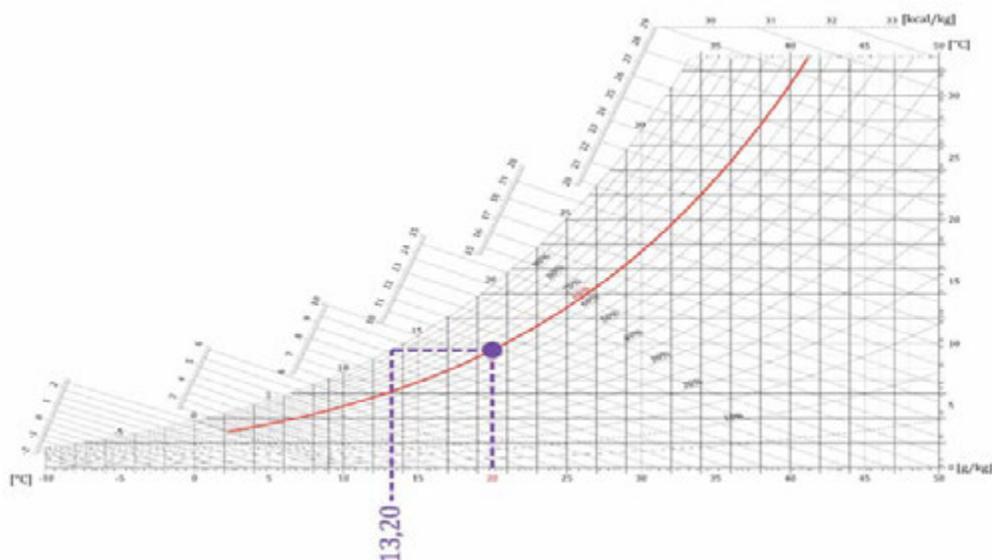
# 3

## ANALISI PRATICA DEI PONTI TERMICI

Passiamo ora ad analizzare alcuni ponti termici che spesso si trovano in edilizia e proviamo a verificare l'efficacia di alcune soluzioni che possono essere adottate al fine di ridurre il flusso di calore attraverso questi nodi costruttivi.

Le simulazioni successive sono state eseguite adottando i seguenti parametri:

- Temperatura esterna di progetto             $-5,00^{\circ}\text{C}$
- Umidità relativa esterna di progetto     $80,00\%$
- Temperatura interna di progetto         $+20,00^{\circ}\text{C}$
- Umidità relativa interna di progetto     $65,00\%$ , come imposto da legislazione nazionale per immobili dove non vi sia sistema di trattamento aria in grado di controllare la percentuale di umidità relativa
  
- Temperatura di rugiada                     $13,20^{\circ}\text{C}$  come individuabile nel diagramma psicrometrico seguente



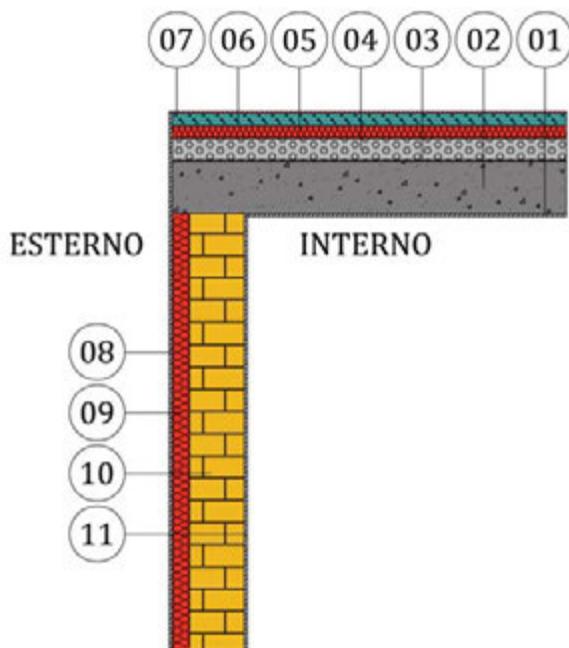
La temperatura di rugiada, calcolata sulla base della temperatura e umidità relativa interna, permetterà di individuare in modo immediato, una volta realizzate le simulazioni termografiche computerizzate, se esistono problemi di formazione di condensa superficiale sulle strutture. Tale condizione, come visto nei capitoli precedenti, potrebbe comportare la formazione di muffe con conseguente degrado delle strutture.

Lo scopo delle analisi effettuate nelle pagine seguenti non è quello di dare la soluzione a qualsiasi situazione che potrebbe prospettarsi nel corso della progettazione e della conseguente realizzazione di un edificio, ma di aiutare il progettista a intuire e individuare quale sia la migliore soluzione che potrà permettere di eliminare o almeno correggere i ponti termici.

### 3.1 PONTE TERMICO SOLAIO-PARETE TIPO PNT01

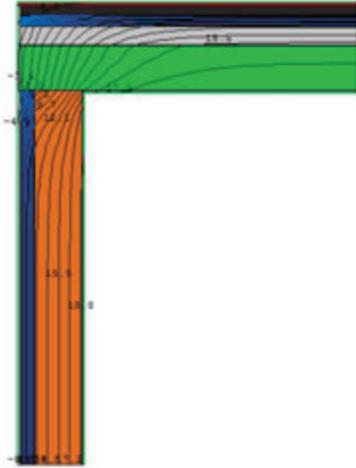
#### 3.1.1 Ponte termico

La struttura oggetto di verifica è caratterizzata da un ponte termico presente nell'incrocio tra la parete esterna ed un solaio piano. La coibentazione della parete è del tipo a cappotto esterno. È evidente che nella situazione in esame è presente una discontinuità tra la coibentazione della parete e quella del solaio.

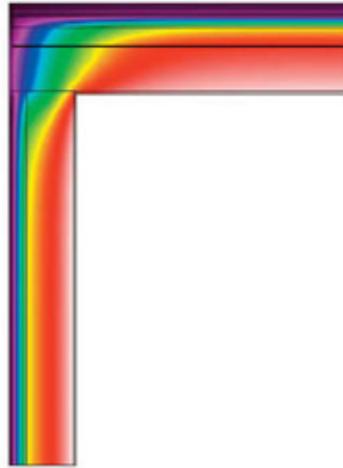


DATI TECNICI MATERIALI					
STRUTTURA	n.	Tipo di materiale	Spessore - mm	Trasmittanza	Resistenza
			mm	W/mK	mK/W
SOLAIO	01	Intonaco normale	15,00	0,900	
	02	Solaio in laterocemento 20+4	240,00		0,255
	03	Guaina impermeabilizzante	3,00	0,230	
	04	Alleggerito	100,00	0,230	
	05	Coibentazione	60,00	0,035	
	06	Massetto	50,00	1,800	
	07	Finitura superficiale pavimento	15,00	0,840	
PARETE ESTERNA	08	Intonaco plastico per cappotto	15,00	0,300	
	09	Coibentazione a cappotto	80,00	0,035	
	10	Laterizio	250,00		1,000
	11	Intonaco normale	15,00	0,900	

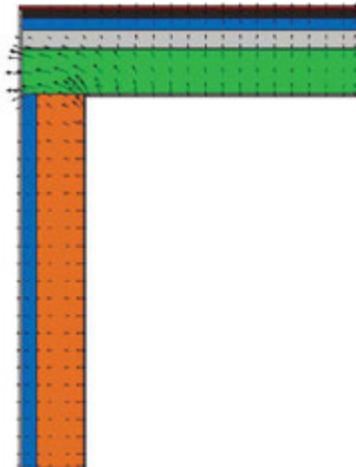
### LINEE ISOTERMICHE



### TERMOGRAFIA



### FLUSSO DI CALORE

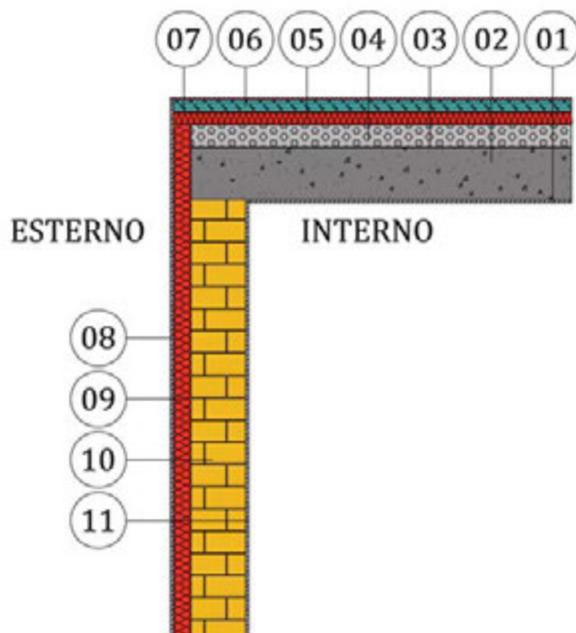


### POTENZA ATTRAVERSO IL PONTE



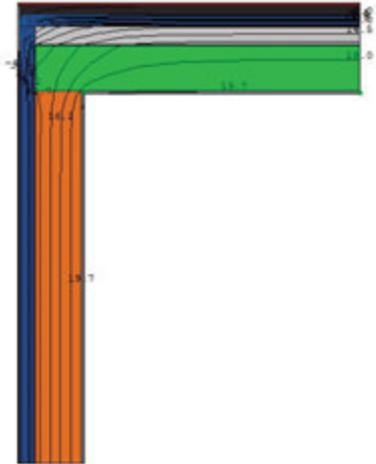
### 3.1.2 Ponte termico corretto

Andiamo ad analizzare un sistema che potrebbe correggere il ponte termico e verificiamo come cambino i flussi di calore e l'andamento delle isoterme all'interno del nodo.

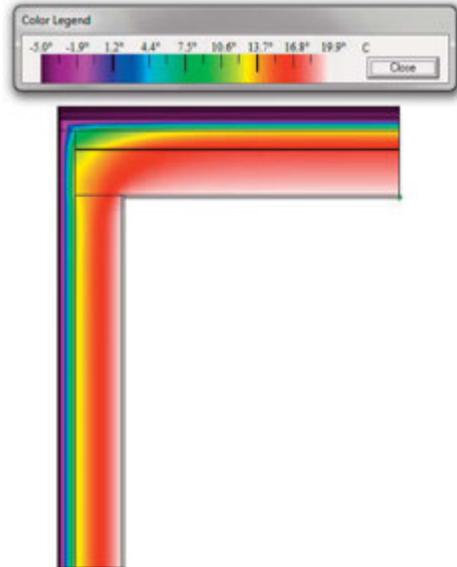


DATI TECNICI MATERIALI					
STRUTTURA	n.	Tipo di materiale	Spessore - mm	Trasmittanza	Resistenza
			mm	W/mK	mK/W
SOLAIO	01	Intonaco normale	15,00	0,900	
	02	Solaio in laterocemento 20+4	240,00		0,255
	03	Guaina impermeabilizzante	3,00	0,230	
	04	Alleggerito	100,00	0,230	
	05	Coibentazione	60,00	0,035	
	06	Massetto	50,00	1,800	
	07	Finitura superficiale pavimento	15,00	0,840	
PARETE ESTERNA	08	Intonaco plastico per cappotto	15,00	0,300	
	09	Coibentazione a cappotto	80,00	0,035	
	10	Laterizio	250,00		1,087
	11	Intonaco normale	15,00	0,900	

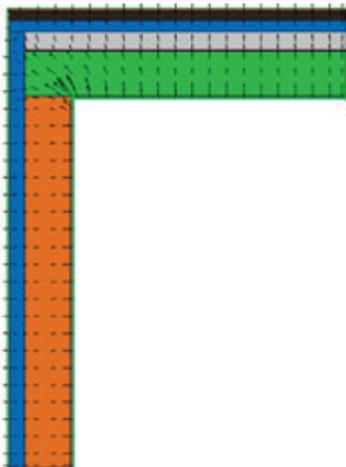
### LINEE ISOTERMICHE



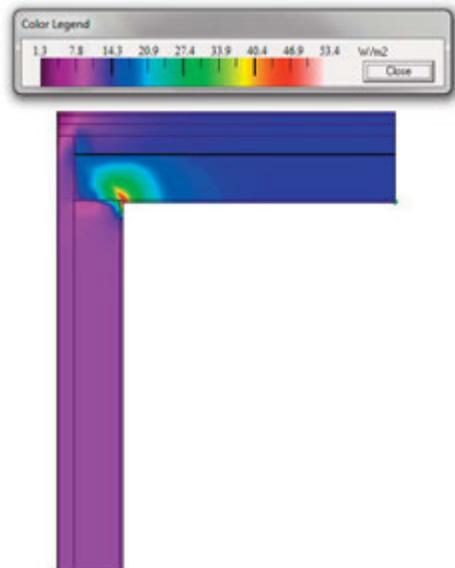
### TERMOGRAFIA



### FLUSSO DI CALORE



### POTENZA ATTRAVERSO IL PONTE





**Pagine non disponibili  
in anteprima**



# 1

## ANALISI DI PONTI TERMICI ESISTENTI

Come già evidenziato in precedenza, la determinazione delle cause che portano all'ammaloramento di una struttura è particolarmente complicata e richiede un'attenta analisi delle condizioni al contorno e dello stato degli elementi edilizi.

Esistono però dei sistemi e delle prove non distruttive che possono essere eseguite per verificare la presenza di ponti termici all'interno dell'involucro edilizio. I metodi più diffusi riguardano l'esecuzione di prove termografiche o la determinazione della reale trasmittanza termica di una data struttura mediante l'utilizzo di strumenti chiamati termoflussimetri.

### 1.1 ANALISI TERMOGRAFICHE

#### 1.1.1 Cos'è la termografia

La termografia è una tecnica di rilevamento, effettuata tramite l'acquisizione di immagini nel campo della radiazione infrarossa.

Con il termine termografia si intende la visualizzazione bidimensionale della misura di irraggiamento. Attraverso l'utilizzo di una termocamera si possono effettuare controlli non distruttivi sugli elementi. Le termocamere rilevano le radiazioni nel campo dell'infrarosso e compiono misure correlate con l'emissione di queste radiazioni.



Questo strumento è in grado di rilevare le temperature dei corpi attraverso la misurazione dell'intensità di radiazione infrarossa emessa dal corpo in esame. Tutti gli oggetti ad una temperatura superiore allo zero assoluto emettono radiazioni nel campo dell'infrarosso.

La termografia permette di visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura degli oggetti, indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile. La quantità di radiazioni emessa aumenta proporzionalmente alla quarta potenza della temperatura assoluta di un oggetto.

La correlazione tra irraggiamento e temperatura è fornita dalla Legge di Stefan-Boltzmann:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Formula 50}$$

Dove

- q quantità di radiazione emessa
- $\sigma$  costante di Stefan-Boltzmann e vale  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^4$
- $\varepsilon$  emissività della superficie emittente (variabile tra i limiti teorici 0 e 1)
- T temperatura assoluta della superficie

La termografia permette l'individuazione di anomalie nell'emissione dell'energia e quindi, a parità di emissività, di anomalie termiche.

La termografia riveste un ruolo essenziale nelle indagini non distruttive. La tecnica oggi applicata è certamente superiore a quelle che comunemente sono le attese di un'indagine tradizionale.