



## CALCOLO DELLE PRESTAZIONI TERMICHE

Studio eseguito da:  
**T.E.P. s.r.l.**  
- Tecnologia e Progetto -  
Via M. Civitali, 77 - 20148 Milano  
P. IVA e C. F. 10429290157  
tel. 02-40070208 02-48750076 fax. 02-40070201  
<http://www.anittep.it>

Ing. Sergio Mammi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano  
n° MI - 10406 - I - 20476

Relazione TEP N. 070202  
Milano, 2 febbraio 2007

Commissionato

Da

**Carbon ED SYSTEM Italia S.r.l.**

Via Piana grande n° 1  
19123 La Spezia

---

### NOTA:

La presente relazione e le proposte di soluzioni contenute hanno carattere informativo e sono redatte sulla base dei soli dati trasmessi dal cliente. Non possono pertanto sostituire progetti, analisi architettonico-strutturali e relazioni tecniche delle strutture e delle opere descritte. TEP S.r.l. non assume alcuna responsabilità sulle scelte di progettazione e sull'attuazione di opere eseguite in riferimento a quanto descritto nella presente relazione. In particolare TEP S.r.l. non garantisce i risultati delle soluzioni consigliate non avendo svolto alcun esame diretto e dettagliato dello stato dei luoghi e dei fabbricati, né potendo esercitare alcun controllo sull'eventuale realizzazione delle soluzioni stesse.



## 1. PREMESSA

La seguente relazione è relativa al calcolo analitico della resistenza termica di blocchi cassero in polistirolo in opera.

## 2. DESCRIZIONE DEL METODO DI RISOLUZIONE

L'analisi della struttura è stata effettuata sia con un metodo semplificato come propone la normativa UNI EN ISO 6946 che con una verifica ad elementi finiti.

L'analisi semplice è stata eseguita con il software PAN che fornisce oltre che la verifica della trasmittanza termica in base al DLgs 192 anche il calcolo di attenuazione e sfasamento dell'onda termica nel periodo estivo e le verifiche termoigrometriche di condensazione superficiale ed interstiziale nelle condizioni richieste dal DLgs 192.

### - Verifiche estive: attenuazione e sfasamento

Le norme utilizzate per i calcoli sono la UNI EN ISO 13786 per la valutazione di attenuazione e sfasamento e la UNI EN ISO 13791-13792 per il calcolo della temperatura interna estiva.

Il DLgs n. 192 prescrive che per le zone climatiche A, B, C, D ed E la struttura debba avere una massa superficiale maggiore di 230 kg/m<sup>2</sup> oppure prestazioni estive equivalenti.

In base ad una valutazione di massima significherebbe un'attenuazione minore di 0,3 e uno sfasamento maggiore di 8 h.

### - Verifiche termoigrometriche

La norma di riferimento è la UNI EN ISO 13788

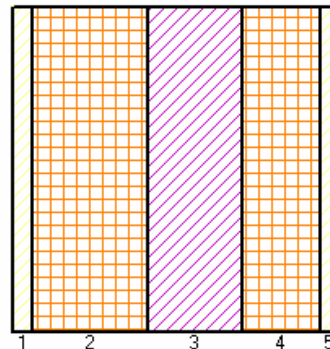
Condensa superficiale: viene effettuata la verifica dell'assenza di condensa interna superficiale

Condensa interstiziale: il metodo è quello di Glaser per cui si confrontano le pressioni di vapore con le pressioni di saturazione in ogni strato della struttura, la normativa prevede la possibile formazione di un minimo quantitativo di condensa purchè questo rievapori nell'arco dell'anno.

Le condizioni interne richieste dal DLgs 192 sono:  $t_i = 20^\circ\text{C}$  e URi

### 2a - ANALISI con il software PAN

Dati generali	
Spessore:	0,385 m
Massa superficiale:	516,30 kg/m <sup>2</sup>
Resistenza:	4,3573 m <sup>2</sup> K/W
Trasmittanza:	0,2295 W/m <sup>2</sup> K



Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	Massa Superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]	
	Superficie esterna			0,0400		
1	INT	Malta di calce o di calce e cemento	0,010	18,00	0,0111	0,200
2	ISO	PSE in lastre ricavate da blocchi conforme a UNI 7819	0,080	2,40	2,0000	5,600
3	CLS	CLS con aggregato naturale per pareti interne o esterne protette	0,200	480,00	0,1048	30,000
4	ISO	PSE in lastre ricavate da blocchi conforme a UNI 7819	0,080	2,40	2,0000	5,600
5	VAR	Cartongesso in lastre	0,015	13,50	0,0714	0,120
	Superficie interna			0,1300		

Comune:	LA SPEZIA (SP)
Gradi giorno:	1413
Zona:	D

Trasmittanza massima:	0,5 W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza della struttura:	0,2295 W/m <sup>2</sup> K
Struttura regolamentare secondo DLGS 192	

Parametri dinamici	
Fattore di attenuazione:	0,0266
Sfasamento:	9h 34'

### Verifica della condensa superficiale

#### Condizioni esterne e interne

Mese	Temperatura esterna [°C]	Pressione esterna [Pa]	Temperatura interna [°C]	Pressione interna [Pa]
ottobre	16,40	1425	20,00	1595
novembre	11,90	1133	20,00	1595
dicembre	8,30	889	20,00	1595
gennaio	6,70	795	20,00	1595
febbraio	7,30	812	20,00	1595
marzo	10,10	903	20,00	1595
aprile	13,40	1113	20,00	1595
maggio	16,70	1361	20,00	1595
giugno	20,90	1748	20,00	1595
luglio	23,80	1946	20,00	1595
agosto	23,70	1972	20,00	1595
settembre	21,20	1859	20,00	1595

Mese critico:	gennaio
Fattore di temperatura:	0,8090
Resistenza minima accettabile:	1,3086 m <sup>2</sup> K/W
Resistenza totale dell'elemento:	4,3573 m <sup>2</sup> K/W
STRUTTURA REGOLAMENTARE	

### Verifica della condensa interstiziale



*Pressione di saturazione [Pa]*

*Pressione nell'interfaccia [Pa]*

*Presenza di condensa*

Mese	Superficie esterna	Interfaccia1	Interfaccia2	Interfaccia3	Interfaccia4	Superficie interna
ottobre	1868	1869	2075	2086	2313	2321
ottobre	1425	1426	1449	1572	1594	1595
novembre	1399	1401	1784	1807	2283	2302
novembre	1133	1135	1198	1531	1594	1595
dicembre	1102	1105	1578	1607	2260	2287
dicembre	889	892	988	1498	1593	1595
gennaio	989	991	1493	1525	2249	2280
gennaio	795	799	907	1485	1593	1595
febbraio	1030	1033	1524	1555	2253	2283
febbraio	812	816	921	1487	1593	1595
marzo	1243	1245	1678	1704	2272	2295
marzo	903	906	1000	1500	1593	1595
aprile	1543	1544	1877	1896	2293	2309
aprile	1113	1115	1180	1529	1594	1595
maggio	1904	1905	2096	2106	2315	2323
maggio	1361	1362	1394	1563	1594	1595
giugno	2469	2469	2407	2404	2343	2341
giugno	1748	1747	1727	1616	1595	1595
luglio	2940	2939	2644	2630	2362	2353
luglio	1946	1944	1897	1643	1596	1595
agosto	2923	2921	2636	2621	2362	2353
agosto	1972	1970	1919	1647	1596	1595
settembre	2515	2514	2430	2426	2345	2342
settembre	1859	1858	1822	1631	1596	1595

CONDENSA NON PRESENTE

2B – ANALISI AD ELEMENTI FINITI

Per l'analisi termica è stato impiegato un programma di calcolo agli elementi finiti che permette di discretizzare e risolvere numericamente il problema continuo enunciato nell'equazione di Laplace.

Il programma utilizzato è stato preventivamente validato, per verificarne l'affidabilità dei risultati, con gli esempi di riferimento riportati nella norma europea di riferimento per il calcolo e la valutazione dei ponti termici: EN 10211/1.

Il modello utilizzato comporta una suddivisione del blocco in elementi finiti (mesh), più fitti in corrispondenza di punti dove il gradiente termico è più elevato.

L'analisi è stata condotta utilizzando un modello bidimensionale che rappresente la parte d'angolo della parete.

La divisione in elementi del modello è stata condotta con metodo iterativo controllando di volta in volta la precisione del calcolo ed "infittendo" il numero degli elementi nelle zone critiche individuate con dei calcoli preliminari.

## - Modello

<i>interno</i>	cartongesso	Eps 30kg/m <sup>3</sup>	cls	eps	intonaco	<i>esterno</i>
Spessore	1.5 cm	8 cm	20 cm	8 cm	1 cm	
$\lambda$ (W/mK)	0.21	0.04	1.91	0.041	0.9	

La trasmittanza di calcolo è quella riportata nella normativa di riferimento: UNI 10351 comprensiva delle maggiorazioni.

## - Condizioni al contorno (UNI EN ISO 6946)

Superfici verticali

- Esterno  $T_e = 0^\circ\text{C}$   $h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Interno  $T_i = 20^\circ\text{C}$   $h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

RISULTATI DEL CALCOLO

L'analisi agli elementi finiti ha permesso di ottenere le informazioni fondamentali utili alla determinazione della resistenza termica effettiva del pannello.

Tali informazioni sono rispettivamente:

- andamento del campo di temperatura;
- distribuzione geometrica dell'errore e sua valutazione;
- quantità di calore che attraversa una superficie prestabilita.

La conoscenza di tali grandezze permette di ricavare la resistenza termica del pannello semplicemente dividendo il prodotto del gradiente di temperatura e dell'area geometrica, sulla quale è stato computato il flusso di calore, per la quantità di calore che attraversa la superficie inferiore che delimita il pannello; con questo algoritmo si ottiene la resistenza termica globale comprensiva delle resistenze "liminari". Sottraendo quindi il valore noto delle resistenze liminari si ottiene il valore effettivo della resistenza termica del pannello.

Da cui:	flusso =	Q (W)
	Resistenza comprensiva di liminari	$R' = DT \cdot S / Q$
	Resistenza effettiva	$R = R' - R_{\text{laminari}}$

**➤ Tabella riassuntiva e confronto con il DLgs n. 192 – allegato C (metodo delle trasmittanze)**

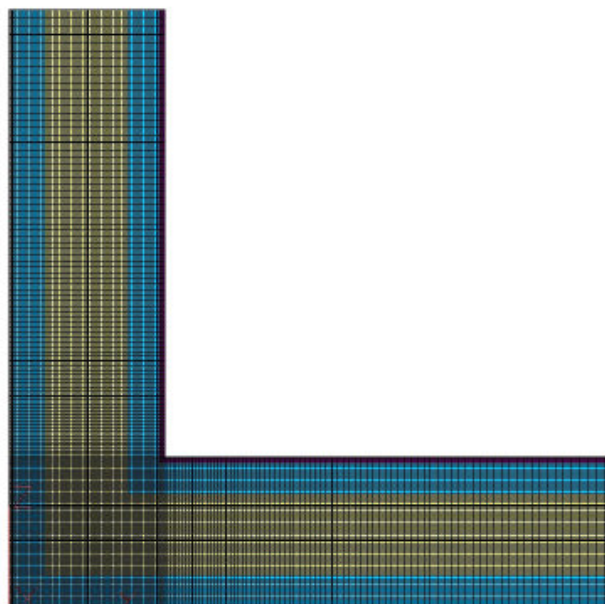
Nella tabella riassuntiva dei risultati è possibile trovare:

- $R'$  = resistenza termica parete
- $U'$  = trasmittanza parete (quindi comprensiva dei liminari interno ed esterno  $R_{\text{laminari}} = 0,17$ )
- $R$  = resistenza termica parete senza liminari
- $U$  = trasmittanza parete senza liminari

$R'$ m <sup>2</sup> k/W	$U'$ W/ m <sup>2</sup> k	$R$ m <sup>2</sup> k/W	$U$ W/ m <sup>2</sup> k	DLgs 192 Parete idonea nelle Zone climatiche *
4,552	<b>0,219</b>	4,382	0,228	A,B,C,D,E,F

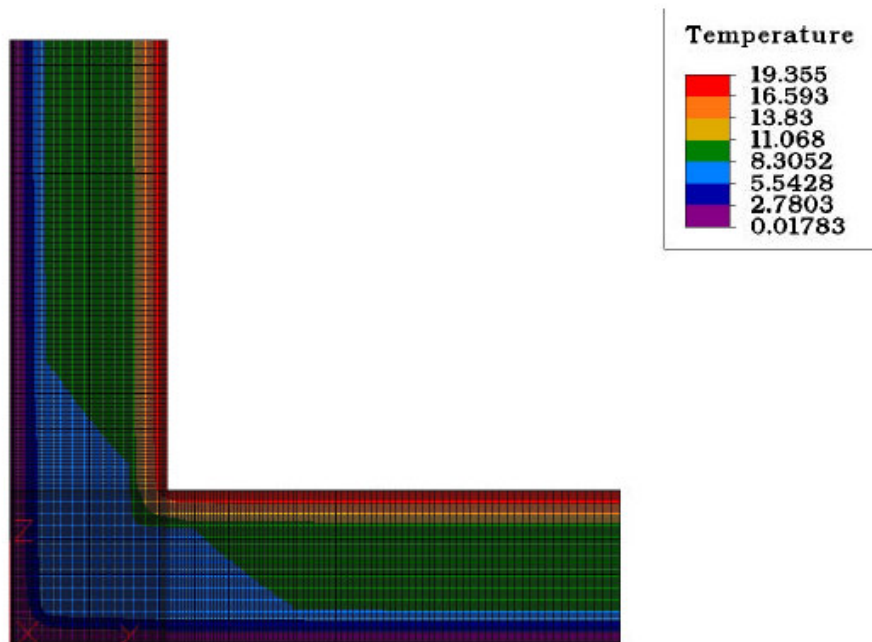
\* Il confronto con le trasmittanze limite presenti nella tabella 2 del DLgs n. 192 all'allegato C, deve essere eseguita considerando la parete finita comprensiva dei liminari.

**MODELLO GEOMETRICO**





## ANDAMENTO DELLE ISOTERME

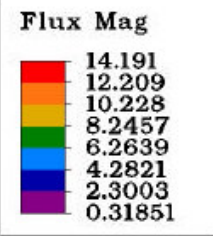
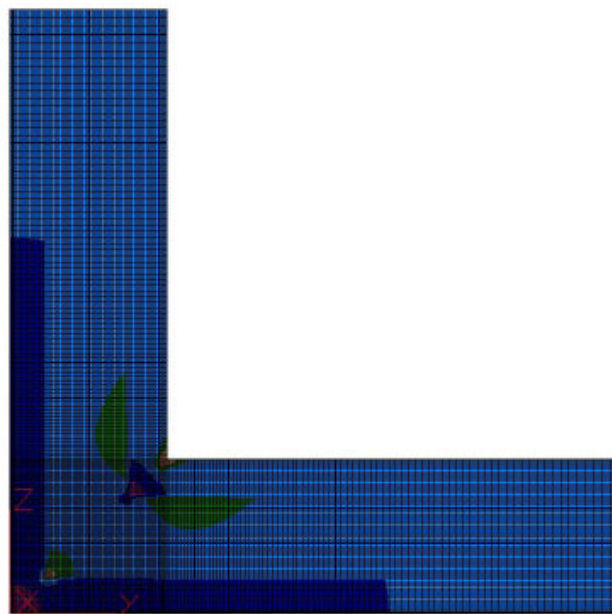


Si osserva che la zona d'angolo, benché non rappresenti un ponte termico essendo isolata quanto la sezione corrente, è influenzata dalla doppia esposizione all'ambiente esterno e di conseguenza il flusso termico viene perturbato provocando una diminuzione della temperatura interna rispetto alla sezione corrente. La temperatura resta a comunque particolarmente elevata (circa 18,5 °C) da evitare qualsiasi possibile fenomeno di condensazione superficiale.

Si osserva quindi che una parete di questo tipo viene definita a ponte termico corretto e quindi la sua trasmittanza può essere confrontata con quelle limite del DLgs 192 senza ulteriori verifiche.



ANDAMENTO DEL FLUSSO TERMICO



PRECISIONE DEL CALCOLO

