



**Non sempre quanto stabilito dalle normative in materia di isolamento termico porta a soluzioni economicamente ottimali. E' quindi sempre opportuno "leggere" in maniera analitica tali prescrizioni. Il caso del D. Lgs. 192.**

ISOLAMENTO INVOLUCRO

# OTTIMIZZAZIONE DELLE TRASMITTANZE

Alessandro Valentini

**P**er risparmiare energia nel riscaldamento degli edifici occorre che la trasmittanza termica media dell'involucro edilizio sia la più ridotta possibile, compatibilmente però con i costi necessari a raggiungere tale risultato.

Infatti se aumentiamo lo spessore degli isolanti inseriti ad esempio in una parete, la sua resistenza termica  $R$  [ $m^2$  KW] cresce e di conseguenza diminuisce la sua trasmittanza  $U$ , essendo le due grandezze legate dalla relazione:

$$U = 1/R \text{ [W/m}^2 \text{ K]} \quad (1)$$

Con l'aumentare dello spessore dell'isolante crescono però i costi, per cui è economicamente conveniente ridurre la trasmittanza termica solo fino ad un certo valo-

re -  $U_{\text{ottimale}}$  = "trasmittanza termica economicamente ottimale" - che rappresenta il giusto compromesso tra le spese di investimento per l'isolamento il conseguente risparmio energetico.

Utilizzando la relazione (1) dal valore ottimale della resistenza termica  $R_{\text{ottimale}}$  si ottiene il valore ottimale della trasmittanza termica  $U_{\text{ottimale}}$ , cioè:

$$U_{\text{ottimale}} = 1/R_{\text{ottimale}} \quad (2)$$

In inverno la resistenza termica ottimale è data, in ipotesi semplificative, da:

$$R_{\text{ottimale}} = \sqrt{(D^\circ \cdot 24 \cdot L / (m \cdot I))} \quad (3)$$

La trasmittanza termica ottimale è data quindi per la (2) da:

$$U_{\text{ottimale}} = 1 / (\sqrt{D^\circ \cdot 24 \cdot L / (m \cdot \lambda)}) \quad (4)$$

dove:

- $D^\circ$  = numero dei gradi giorno del periodo di riscaldamento corretti per tenere conto degli apporti di calore gratuito;
- $L$  = prezzo utile capitalizzato dell'energia (€/Wh) che tiene conto di tutti i parametri che intervengono nella conduzione dell'impianto di riscaldamento. (tipo e costo del combustibile, rendimento stagionale dell'impianto di riscaldamento, durata dell'intervento, aumento del costo dell'energia, tasso di attualizzazione dei futuri risparmi di energia ecc);
- $m$  = prezzo dell'isolante (€/m<sup>3</sup>);
- $\lambda$  = conduttività termica utile dell'isolante (W/m K).



Dalla relazione (4) appare evidente che la trasmittanza termica ottimale  $U_{\text{ottimale}}$  decresce, cioè conviene isolare di più, se:

- aumenta il numero dei gradi giorno, cioè si passa da zone climatiche calde a zone più fredde;
- aumenta il prezzo utile capitalizzato dell'energia, ad esempio per la crescita del costo del combustibile;
- si riduce il costo dell'unità di resistenza termica dato dal prodotto  $m \cdot \lambda$ .

È facile dimostrare che il prodotto  $m \cdot \lambda$  rappresenta il costo dell'unità di resistenza termica di un isolante di costo  $m$  (€/m<sup>3</sup>) e conduttività termica utile  $\lambda$  (W/m K).

Ad esempio, un materiale isolante avente:

- $m = 60$  €/m<sup>3</sup>
  - $\lambda = 0,045$  W/m K
  - $spm =$  spessore 0,1 m
- avrà:
- un costo al metro quadrato  $C = m \cdot spm$  di  $60 \cdot 0,1 = 6$  (€/m<sup>2</sup>)

- una resistenza termica  $R = spm / \lambda$  di  $0,1/0,045 = 2,22$  m<sup>2</sup> K/W e quindi un costo unitario di resistenza termica  $C/R = 6/2,222 = 2,7$  €/IR.

Allo stesso risultato si giunge, come anticipato, facendo il prodotto  $m \cdot \lambda$

$$\text{Infatti } m \cdot \lambda = 60 \cdot 0,045 = 2,7 \text{ €/IR}$$

Dunque il parametro  $m \cdot \lambda$  deve essere usato per scegliere il materiale isolante che ha il migliore rapporto costo-prestazione, mentre invece, dal valore economicamente ottimale della trasmittanza termica dato dalla (4), si ricava lo spessore isolante economicamente ottimale  $Seo$  (m) di quell'isolante. con la relazione:

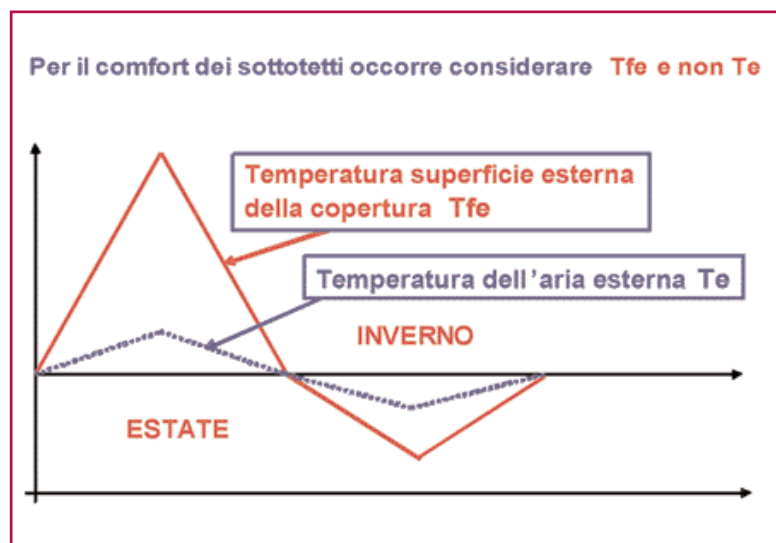
$$Seo = \sqrt{D^\circ \cdot 24 \cdot L \cdot m} - 1/U_o \quad (5)$$

dove  $U_o$  è la trasmittanza termica della struttura non isolata. Nella relazione (5) non viene tenuto conto della riduzione del costo impianto dovuta all'utilizzo del materiale isolante, e pertanto è particolarmente indicata per gli edifici esistenti nei quali sono già inseriti impianti non facilmente modificabili. Per gli edifici nuovi, invece, la relazione (5) sottostima lo spessore del materiale isolante.

Sin qui il caso invernale. Per quanto riguarda l'estate, ai fini solo del comfort ambientale e non della stima della trasmittanza termica economicamente ottimale, occorre valutare il valore massimo del flusso di calore entrante.

In estate, infatti, la temperatura  $T_e$  da prendere in esame per il calcolo del flusso termico entrante (W/m<sup>2</sup>) non è quella dell'aria esterna ma quella molto più elevata della struttura esposta alla radiazione solare, come spiegato nel grafico sotto riportato.

*Nello schema, comfort ambientale e risparmio energetico.*



## IL CASO DELLE COPERTURE

Un'interessante applicazione della relazione (4) è quella di valutare i valori delle trasmittanze termiche ottimali  $U_{ottimale}$  delle coperture nella stagione invernale nelle 6 zone climatiche A, B, C, D, E, F e confrontarle con i corrispondenti valori fissati dal D.lgs 192.

Anche se il calcolo delle  $U_{ottimale}$  è stato fatto sia per il tetto piano sia per quello a falde, va tenuto conto che nelle zone climatiche A, B e C è più diffuso il primo, mentre in quelle D, E ed F il secondo.

In ipotesi mediamente ricorrenti, si giunge ai risultati riepilogati nella tabella pag. 862, riportati per una più rapida valutazione anche in forma di grafico. Detta tabella riporta inoltre per confronto i valori imposti dal D.lgs. 192 ( $W/m^2 K$ ).

Per completezza di informazione la tabella riporta infine anche i valori delle trasmittanze termiche, che limitano in estate  $q_{max}$  a  $3 W/m^2$ .

Zona climatica	Trasmittanza di legge (2006)	Trasmittanza di legge (2009)	$U_{ottimale}$ ( $W/m^2 K$ ) Tetto piano	$U_{ottimale}$ ( $W/m^2 K$ ) Tetto a falde	Trasmittanza per limitare $q_{max}$ a $3 W/m^2$ in estate
A	0,80	0,68	0,79	0,4	0,35
B	0,60	0,51	0,61	0,31	0,35
C	0,55	0,44	0,44	0,22	0,35
D	0,46	0,37	0,34	0,17	0,21
E	0,43	0,34	0,27	0,14	0,21
F	0,41	0,33	0,25	0,13	0,21

Trasmittanze termiche ottimali in funzione delle zone climatiche.

Per tenere conto degli effetti congiunti della temperatura dell'aria esterna e della radiazione solare si fa ricorso al noto concetto di temperatura equivalente  $T_{eq}$ , data da:

$$T_{eq} = T_e + (a \cdot w_{irr}/h_e) \quad (6)$$

dove:

- $a$  = coefficiente di assorbimento della superficie esposta all'irraggiamento solare;
- $w_{irr}$  = radiazione solare totale incidente ( $W/m^2$ );
- $h_e$  = coefficiente di adduzione esterna ( $W/m^2 K$ ).

Ad esempio, per una copertura piana impermeabilizzata senza strato riflettente ( $a = 0,9$ ,  $w_{irr} = 900 W/m^2$ ;

$h_e = 15 W/m^2$  ed infine  $T_e = 35 ^\circ C$ ) si ha:

$T_{eq} = 35 + (0,9 \cdot 900/ 15) = 35 + 54 = 89 ^\circ C$  evidentemente molto più elevata della temperatura dell'aria esterna all'ombra di  $35^\circ C$ !

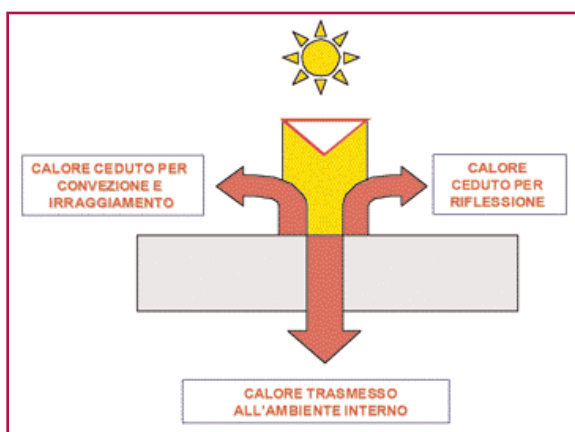
Il flusso di calore massimo entrante in estate, sempre in ipotesi semplificative, è dato da:

$$q_{max} = U (T_{em} - T_i) + \sigma \cdot h_i \cdot H \quad (7)$$

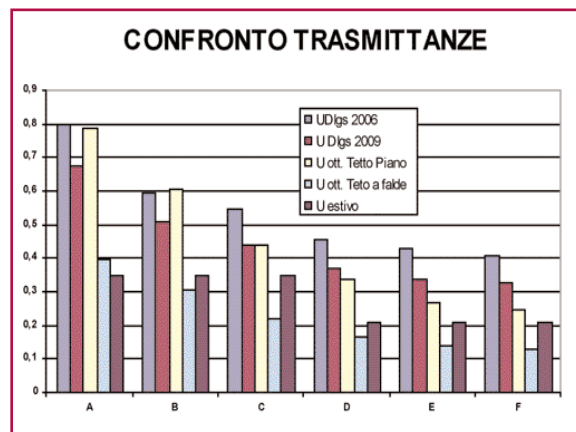
dove :

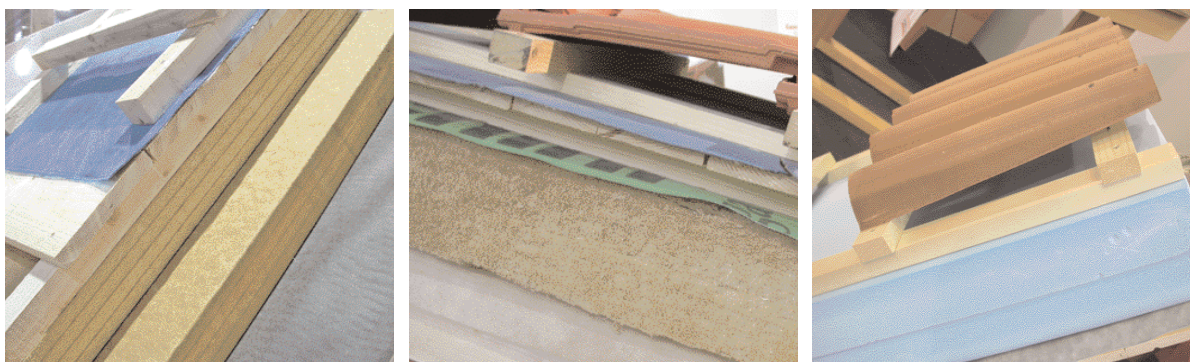
- $h_i$  è il coefficiente di adduzione interna ( $W/m^2 K$ )
- $\sigma$  è il fattore di attenuazione riferito ad una sollecitazione armonica con periodo di 24 ore;

A sinistra: flusso di calore massimo entrante in estate.



A destra: confronto delle trasmittanze in funzione delle zone climatiche.





Zona	Gradi di giorno	Alcuni esempi
A	Fino a 600	Lampedusa, Linosa, Porto Empedocle
B	da oltre 600 a 900	Agrigento, Catania, Crotone, Messina, Palermo, Reggio Calabria, Siracusa, Trapani
C	da oltre 900 a 1400	Bari, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caserta, Catanzaro, Cosenza, Imperia, Latina, Lecce, Napoli, Oristano, Ragusa, Salerno, Sassari, Taranto
D	da oltre 1400 a 2100	Ancona, Ascoli Piceno, Avellino, Caltanissetta, Chieti, Firenze, Foggia, Forlì, Genova, Grosseto, Isernia, La Spezia, Livorno, Lucca, Macerata, Massa, Carrara, Matera, Nuoro, Pesaro-Urbino, Pescara, Pisa, Pistoia, Prato, Roma, Savona, Siena, Teramo, Terni, Verona, Vibo Valentia, Viterbo
E	da oltre 2100 a 3000	Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Bergamo, Biella, Bologna, Bolzano, Brescia, Campobasso, Como, Cremona, Enna, Ferrara, Cesena, Frosinone, Gorizia, L'Aquila, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Modena, Novara, Padova, Parma, Pavia, Perugia, Piacenza, Pordenone, Potenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Sondrio, Torino, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Varese, Venezia, Verbania, Vercelli, Vicenza
F	oltre 3000	Belluno, Cuneo

Classificazione delle zone climatiche ed alcuni esempi.

•  $T_{em}$  è il valore medio della funzione sinusoidale che esprime l'andamento della temperatura esterna  $T_e$  in funzione del tempo, cioè:

$$T_e = T_{em} + H \cos \omega \tau \quad (8)$$

con  $\omega = 2\pi/24$  (4);

•  $T_i$  = temperatura costante mantenuta all'interno dell'ambiente.

Naturalmente, trattandosi del caso estivo, i valori di  $T_e$  e  $T_{em}$  fanno riferimento alla temperatura equivalente aria – sole  $T_{eq}$  sopra citata. Per un buon comfort si può, in forma prudenziale, fissare  $q_{max} = 3 \text{ W/m}^2$  per le pareti orizzontali e per quelle inclinate.

Si può poi verificare se, sostituendo nella (7) ad  $U$  il valore della trasmittanza termica ottimale  $U_{ottimale}$  calcolata

per l'inverno, viene rispettato o meno il limite proposto per  $q_{max}$ .

## Conclusioni

Limitatamente al caso esaminato delle coperture i valori delle trasmittanze termiche imposte dal D.lgs. 192 sono superiori a quelle economicamente ottimali in inverno nelle zone fredde, e sono ugualmente troppo elevate nelle zone calde in estate quando l'obiettivo da raggiungere è quello di evitare il surriscaldamento dei locali sottotetto. L'indagine suddetta è evidentemente incompleta, ma lo scopo della memoria è quello di indicare ai legislatori non i valori delle trasmittanze da imporre ma i criteri di scelta che a nostro avviso occorrerebbe adottare, ed è ciò che ci auguriamo verrà fatto nella revisione del D.lgs. 192. ■