

---

## TERMOIGROMETRIA (Risparmio Energetico e Ritenzione del Calore)

### GENERALITÀ

Per TERMOIGROMETRIA si intende quell'insieme di prestazioni che si riferiscono alla capacità di una parete (sia orizzontale che verticale) di ostacolare il passaggio dell'energia termica e evitare qualsiasi forma di condensazione del vapore acqueo all'interno della parete stessa.

Le caratteristiche globali che influiscono sul comportamento termico e igrometrico di una parete sono:

- 1) RESISTENZA TERMICA
- 2) PONTI TERMICI
- 3) CAPACITÀ TERMICA
- 4) INERZIA TERMICA
- 5) PERMEABILITÀ AL VAPORE

### 2.6.1 TRASMISSIONE DEL CALORE

Il calore (o energia termica) è una delle più comuni forme di energia e la temperatura è l'indice del livello energetico a cui si trova il calore stesso.

Attraverso un diaframma che divide due ambienti a temperatura diversa  $T_1$  e  $T_2$  (con  $T_1 > T_2$ ), supponendo che queste siano costanti nel tempo (regime permanente), è possibile, con buona approssimazione, ritenere che il calore si trasmetta in modo monodirezionale, dalla faccia più calda a quella più fredda.

La quantità di calore che passa può essere rappresentata dalla relazione:

$$Q = U \cdot S \cdot (T_1 - T_2)$$

dove:

U = coefficiente di trasmissione termica globale o "trasmittanza". Il suo inverso si chiama "resistenza termica globale R";

S = superficie attraverso la quale avviene lo scambio di calore;

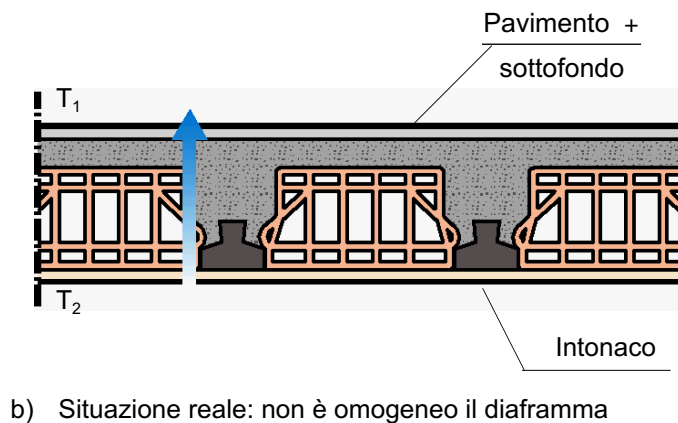
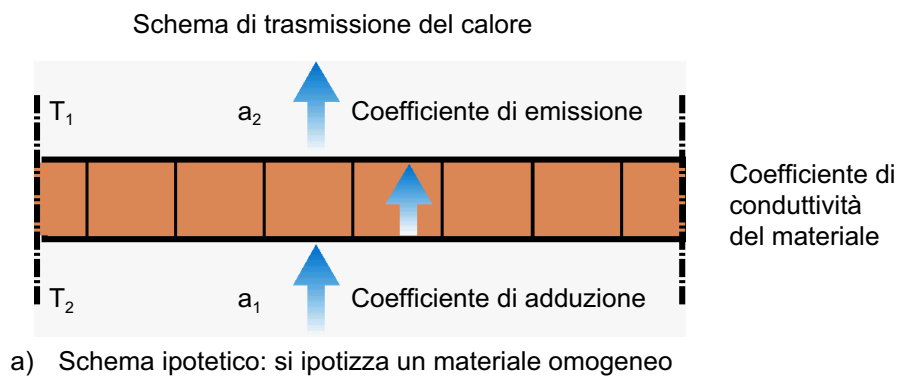
$T_1 - T_2$  = differenza di temperatura.

La trasmittanza "U" è un parametro termico globale riguardante il diaframma considerato.

Essa rappresenta il "flusso di calore che nelle condizioni di regime stazionario passa da un fluido (aria interna) ad un altro (aria esterna) attraverso una parete, per metro quadro di superficie della parete stessa e per grado centigrado di differenza di temperatura tra i due fluidi" (fig. 41).

**Figura 41: trasmissione di calore attra-verso un diaframma opaco orizzontale**

- a) Schema ipotetico di trasmissione di calore
- b) Situazione reale: il diaframma non è omogeneo

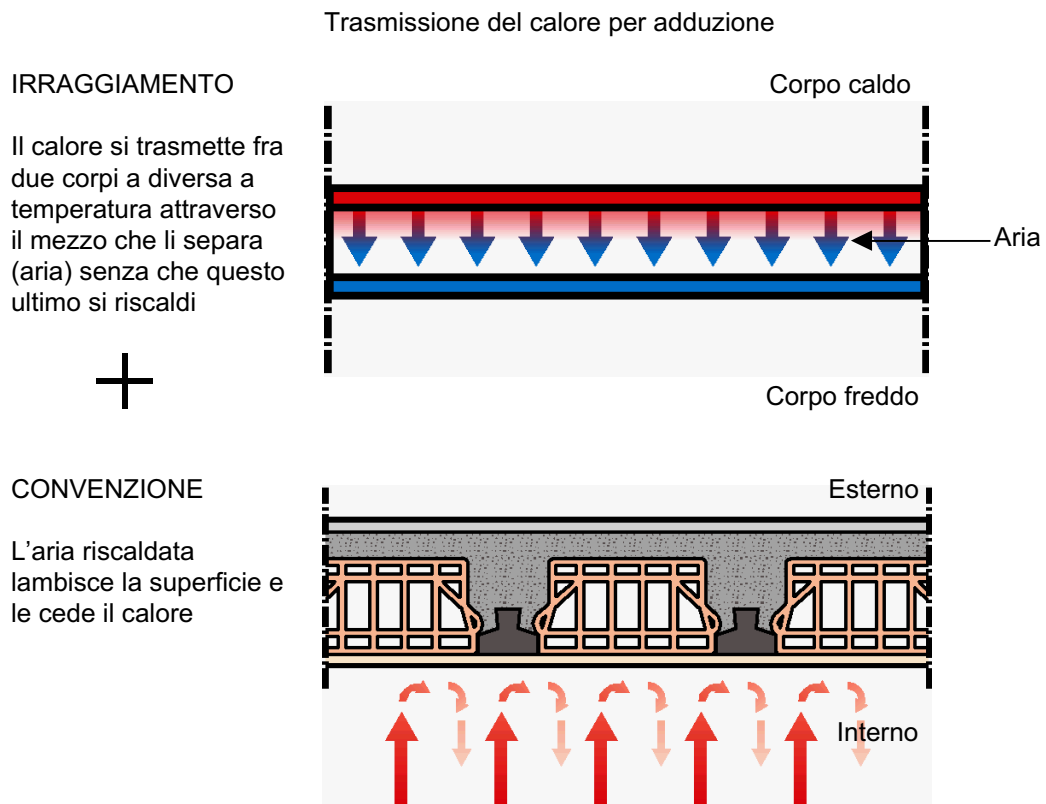


La trasmittanza si misura in  $\text{Cal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$  oppure in  $\text{Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  (essendo  $1 \text{ Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,86 \text{ Cal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ ) e viene riferita all'effettivo spessore del diaframma, presupponendo che questo sia costituito di materiale omogeneo.

Nella realtà il fenomeno è molto più complesso ed avviene secondo un meccanismo che può essere schematizzato nella maniera che segue:

1. Nell'ambiente a temperatura maggiore  $T_1$  il calore passa dall'aria alla superficie del diaframma per "adduzione" (combinazione di una trasmissione per irraggiamento e di una per convezione (fig. 42 );

**Figura 42: la trasmissione di calore per adduzione è una combinazione di “irraggiamento e di “convezione”**



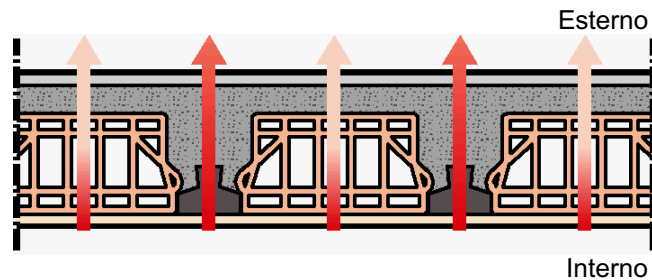
La quantità di calore che passa nell'unità di tempo è data dalla seguente relazione:

$$Q_1 = a_1 \cdot S \cdot (T_1 - t_{1s})$$

Essendo  $t_{1s}$  la temperatura superficiale del diaframma dal lato caldo e  $\alpha_1$  la "adduttanza unitaria" o "coefficiente di adduzione".

2. nello spessore del diaframma, anche se questo è formato da materiali di diversa natura (nel caso di un solaio i materiali che lo compongono sono il calcestruzzo, acciaio, laterizio, aria contenuta nelle cavità dei blocchi di laterizio ecc.), la trasmissione avviene (supponendo per semplicità il materiale omogeneo), principalmente per "conduzione" (fig. 43);

Il calore si trasmette attraverso un corpo solido le cui parti non sono tutte alla stessa temperatura



**Figura 43: Trasmissione del calore per conduzione**

La quantità di calore trasmessa è determinata dalla relazione:

$$Q_2 = \frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot (t_{1s} - T_{2s})$$

essendo  $t_{1s}$  e  $T_{2s}$  le temperature superficiali del diaframma, rispettivamente dal lato più caldo e dal lato più freddo,  $s$  lo spessore del diaframma, supposto di materiale omogeneo,  $\lambda$  la "conducibilità equivalente" (cioè la conducibilità che avrebbe un ideale materiale omogeneo che, per lo spessore  $s$  e per lo stesso salto termico, consente lo stesso trasporto di calore);

3. nell'ambiente a temperatura minore  $T_2$  il calore si propaga dalla superficie del diaframma all'aria circostante di nuovo per "irraggiamento e convezione" secondo una legge analoga a quella indicata al punto 1):

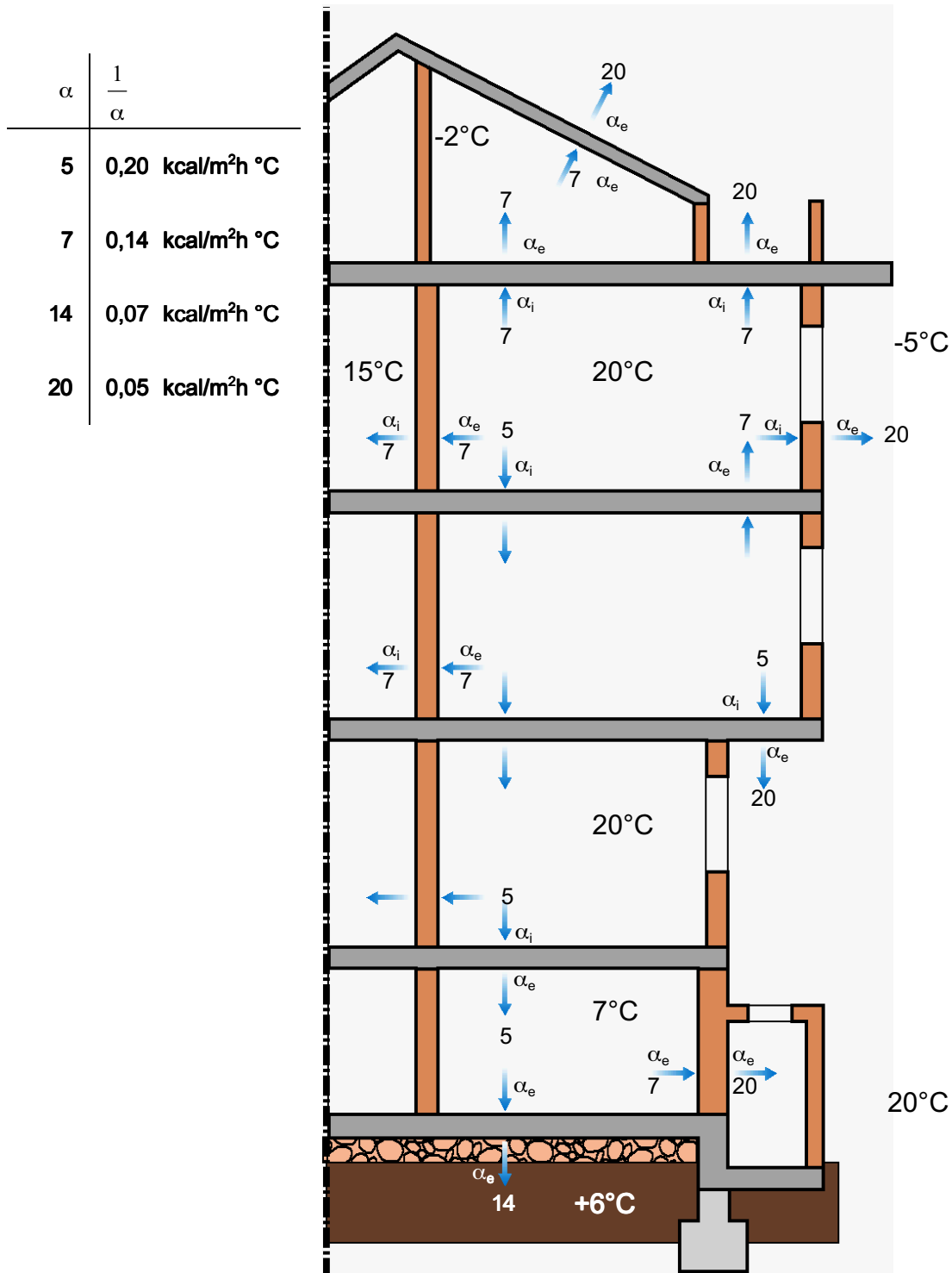
$$Q_3 = \alpha_2 \cdot S \cdot (t_{2s} - T_2)$$

nella quale i simboli hanno lo stesso significato.

I coefficienti  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono chiamati anche "coefficienti liminari" e dipendono dalle caratteristiche superficiali della parete (temperatura, colore, scabrosità, umidità) e dalla direzione e velocità dell'aria.

La fig. 44 rappresenta una descrizione grafica dell'applicazione del coefficiente di adduzione sulle varie parti di un fabbricato tipo.

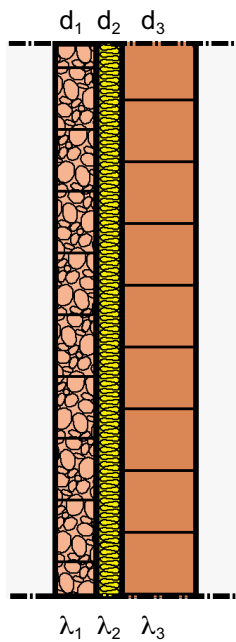
**Figura 44: valori dei coefficienti di adduzione ( $\alpha_i$ ,  $\alpha_e$ ) in relazione alle diverse parti di un edificio.**



Nel caso di strutture multiple, formate, cioè, da più strati omogenei (tra questi può esservi anche una lama d'aria, cioè una intercapedine), lo svolgersi del fenomeno è analogo a quello del diaframma monostrato, con la differenza che per ogni strato varia la conducibilità (che è propria del materiale che costituisce lo strato stesso).

In tal caso per calcolare la trasmittanza "U" è necessario determinare prima la "resistenza termica globale" R (fig. 45);

**Figura 45: diaframma pluristrato.**



$$\frac{1}{R} = K = \text{Coefficiente di trasmissione termica totale}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_s} \quad \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \right)$$

Per solai

$$K_m = \frac{K_c A_c + K_f A_f}{A_c A_f} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \right)$$

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}$$

dove:

$S_i$  sono gli spessori dei vari strati

$\lambda_i$  sono le rispettive conducibilità

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  i coefficienti liminari.

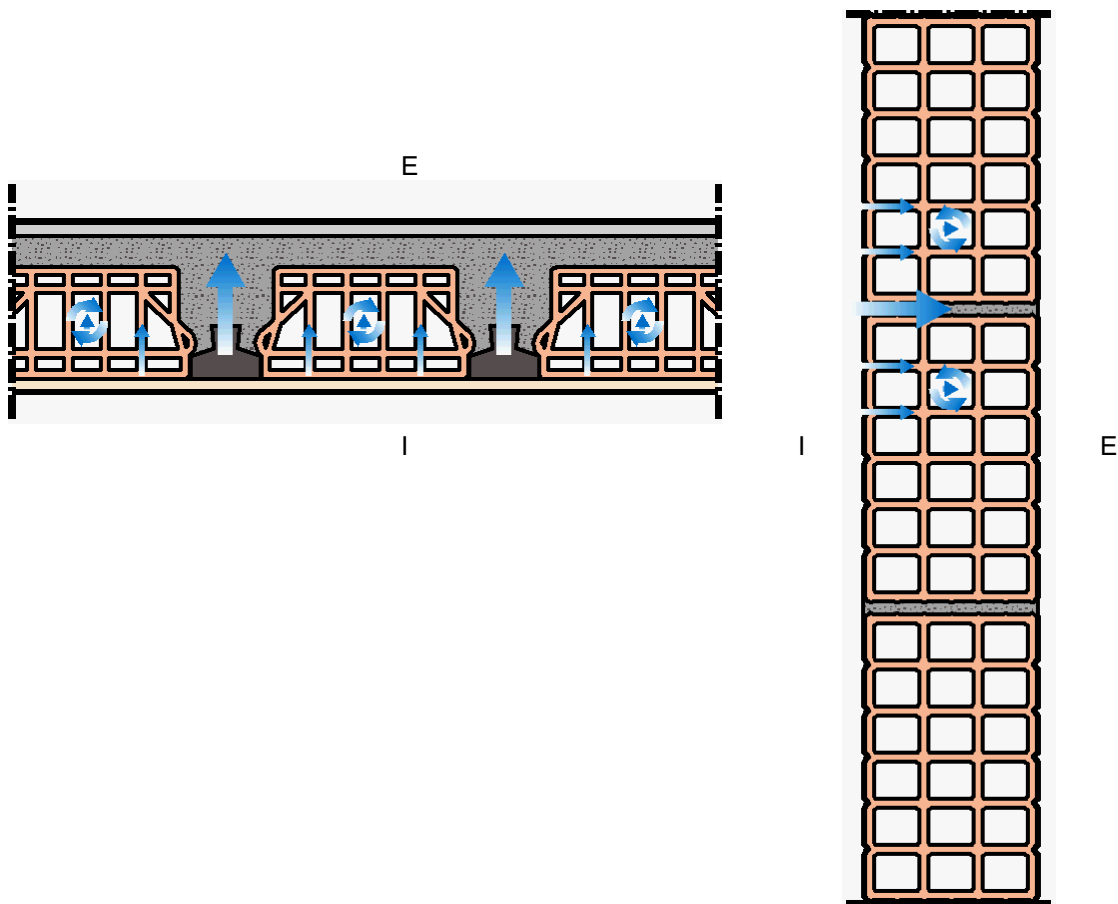
L'inverso  $U = \frac{1}{R}$  darà la trasmittanza.

In una struttura in laterizio (muratura o solaio) non si riscontra certamente la condizione di "materiale omogeneo" (odi strati omogenei) prima indicata.

In un solaio, la struttura interna, infatti, è completamente disomogenea, essendo formata da almeno tre diversi materiali: il laterizio, l'acciaio, il calcestruzzo (considerando quest'ultimo, a sua volta, come materiale omogeneo).

In più, un blocco in laterizio presenta delle cavità di aria per cui il flusso di calore, che attraversa il solaio, si trasmette per conduzione attraverso i materiali solidi (il calcestruzzo, il ferro ed i setti in laterizio) mentre passa per conduzione, per convezione (a causa dei movimenti d'aria) e per irraggiamento all'interno delle cavità (fig. 46).

**Figura 46: modalità reali di passaggio del calore attraverso un solaio o un muro.**



Per il laterizio la conducibilità termica  $\lambda$  varia, a sua volta, in funzione dei fattori appresso indicati:

- 1) peso specifico: il valore diminuisce al diminuire del peso specifico;
- 2) tenore d'umidità: si ha una diminuzione al diminuire dell'umidità presente;
- 3) natura dell'argilla: varia al variare delle proporzioni dei materiali componenti;
- 4) tessitura interna: è influenzato dalla tecnologia di lavorazione (estrusione, pressatura ecc.).

Per le argille italiane, aventi un peso specifico variabile tra 1500 e 1800 kg/m<sup>3</sup>, il valore di  $\lambda$ , in condizioni normali di umidità (umidità di equilibrio: 1 ÷ 2%), oscilla tra 0,55 e 0,65 Watt / m °C.

Per il calcestruzzo, la conducibilità dipende dagli stessi fattori, mentre per il ferro si può considerare costante.

A complicare ulteriormente le cose per i solai interviene la forte disomogeneità geometrica della struttura che non permette di schematizzare degli strati che possano essere considerati omogenei (cosa che consentirebbe, invece, di valutare il flusso termico con il metodo della parete multipla, cioè sommando le resistenze dei vari strati ciascuno avente la propria conducibilità (fig. 45).

Per le murature la cosa è invece possibile se s'introduce il concetto di "conducibilità equivalente" o di "conduttanza". Tali grandezze possono essere ottenute sia per via sperimentale che mediante calcoli alle differenze finite.

La norma UNI 7357-7A definisce alcune grandezze per l'isolamento termico:

**CONDUCIBILITÀ**  $\lambda$  = flusso di calore che nelle condizioni di regime stazionario passa attraverso una parete di materiale omogeneo, dello spessore di 1 m, su mq 1,0 di superficie e per una differenza di 1 °C di temperatura tra le due facce opposte e parallele della parete di materiale considerato (W / m • °C oppure kcal / h • m • °C).

**RESISTIVITÀ**  $1 / \lambda$  = inverso della conducibilità (m • °C / W oppure h • m • °C / kcal).

**CONDUTTANZA** C = Flusso di calore che nelle condizioni di regime stazionario passa attraverso 1 m<sup>2</sup> di superficie per una differenza di temperatura di 1 °C, tra due facce opposte di uno strato considerato, sia esso omogeneo o eterogeneo, solido o liquido o aeriforme. (w/m<sup>2</sup> • °C oppure kcal / h • m<sup>2</sup> • °C).

**TRASMITTANZA** U (oppure K) = Flusso di calore che nelle condizioni di regime stazionario passa da un fluido ad un altro attraverso una parete (di materiale qualsiasi) per m<sup>2</sup> di superficie della parete e per °C di differenza tra le temperature dei due fluidi. Si misura in w/m<sup>2</sup> • °C oppure in kcal / h • m<sup>2</sup> • °C.

### **RESISTENZA TERMICA UNITARIA R = 1 / U**

E' l'inverso della trasmittanza e rappresenta la somma delle varie resistenze esterne di adduzione. Si misura in m<sup>2</sup> • °C / W oppure h • m<sup>2</sup> • °C / kcal.