

# Le misure in opera della trasmittanza termica di componenti opachi



***Gian Luca Morini & Stefania Falcioni***  
*DIENCA – Alma Mater Studiorum Università di Bologna*  
*Viale Risorgimento 2 40136 BOLOGNA*  
*[e-mail: gianluca.morini@mail.ing.unibo.it](mailto:gianluca.morini@mail.ing.unibo.it)*

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia

# Riassunto della presentazione

Analisi "*super-partes*" delle tecniche per la misura in opera di conduttanza/trasmittanza termica di strutture opache:

- Descrizione delle tecniche di misura (termoflussimetro e delle 3 misure di temperatura)
- Discussione dei risultati ottenuti dall'applicazione delle diverse tecniche di misura in prove di laboratorio e in opera
- Evidenziazione dei maggiori pregi e difetti delle tecniche di misura e dei metodi per l'elaborazione dei dati raccolti

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Resistenza, Trasmittanza, Conduttanza

Resistenza termica totale  
specificata della parete ( $R_t$ )

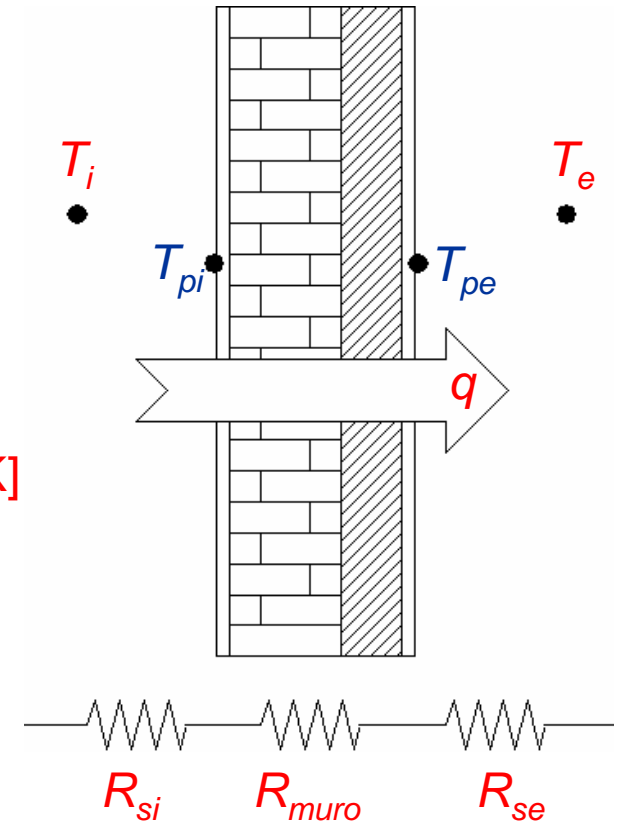
$$R_t = \frac{T_i - T_e}{q} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Trasmittanza termica ( $U$ )

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{se} + R_{muro} + R_{si}} = \frac{q}{T_i - T_e} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Conduttanza termica ( $C$ )

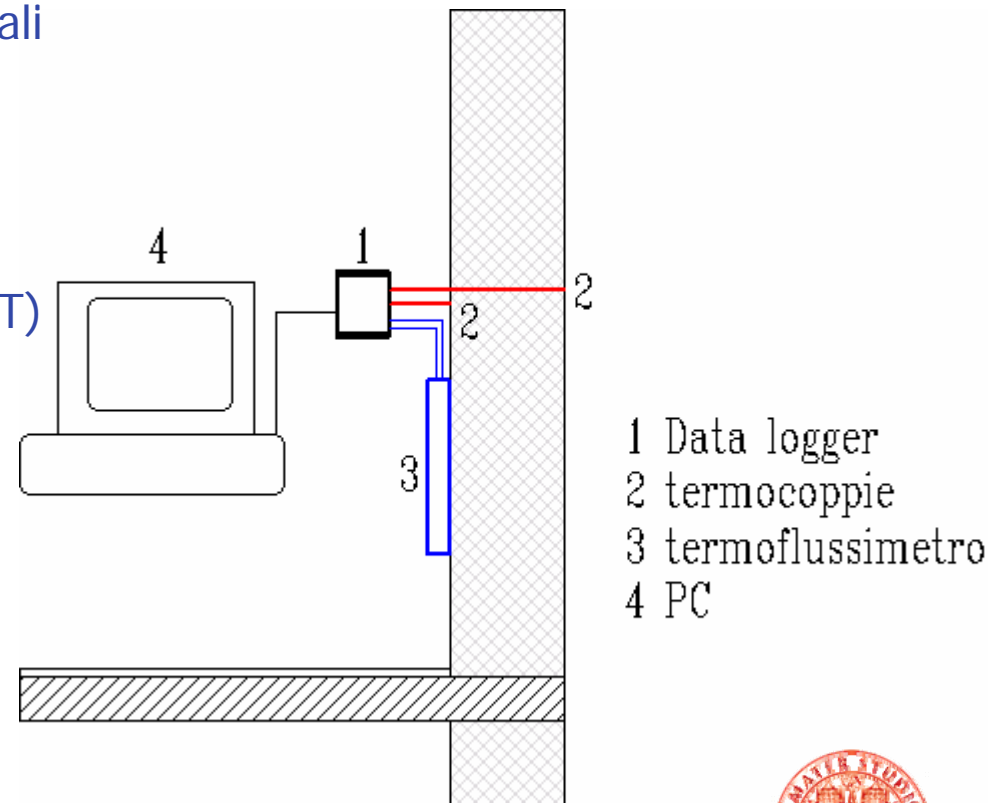
$$C = \frac{1}{R_{muro}} = \frac{q}{T_{pi} - T_{pe}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$



# Metodo del Termoflussimetro

- Data logger AMR – AMELMO 2390-8 con 5 canali (4 termocoppie + termoflussimetro);
- Quattro sonde di temperatura (termocoppie T)
- Termoflussimetro (HFT 25x25 cm)  
Resistenza termica: **0.05÷0.075 m<sup>2</sup>K/W**  
Segnale: **50 μV m<sup>2</sup>/W**  
Tempo di risposta: **< 5 min**

$$C = \frac{1}{R_{muro}} = \frac{q}{T_{pi} - T_{pe}}$$



17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# Metodo del Termoflussimetro

$$C(t) = \frac{\int_0^t q(t) \cdot dt}{\int_0^t [T_{pi}(t) - T_{pe}(t)] \cdot dt}$$

- Per ottenere un valore univoco della resistenza termica della parete si integra la differenza di temperatura tra le facce e il flusso termico registrato (**metodo delle medie progressive**).
- Tale metodo fornisce risultati accurati solo se la variazione dell'energia accumulata nella parete durante la prova è trascurabile rispetto all'energia termica che nell'unità di tempo attraversa la parete per conduzione (**tale condizione non è mai verificata nelle prime 12-24 h di prova**);
- **Tempo di campionamento**: inferiore alla metà del tempo di risposta del termoflussimetro secondo ISO 9869.
- **La durata della misura viene fissata secondo multipli di 24 h**: le norme ISO 9869 e prEN12494 fissano la durata minima della prova in 72 ore per **capacità termica areica inferiore a 20 kJ/m<sup>2</sup>K**. Ciò comporta una mole di dati da registrare per una singola prova (metodi per la riduzione dei campioni eseguendo "medie parziali").

# Metodo del Termoflussimetro

$$\frac{UC}{C} = \sqrt{\left(\frac{U\Delta T}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{Uq}{q}\right)^2}$$

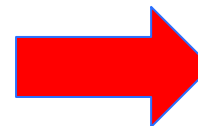
Sensore	Incertezza
Termocoppia Cu-CuNi (T)	$\pm 0,05$ K $\pm 0,05$ % del valore misurato
Termoflussimetro	$\pm 5$ % del valore misurato
Data-logger	$\pm 0,03$ % del valore misurato $\pm 2$ digits

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia

L'incertezza UC/C è pari a:

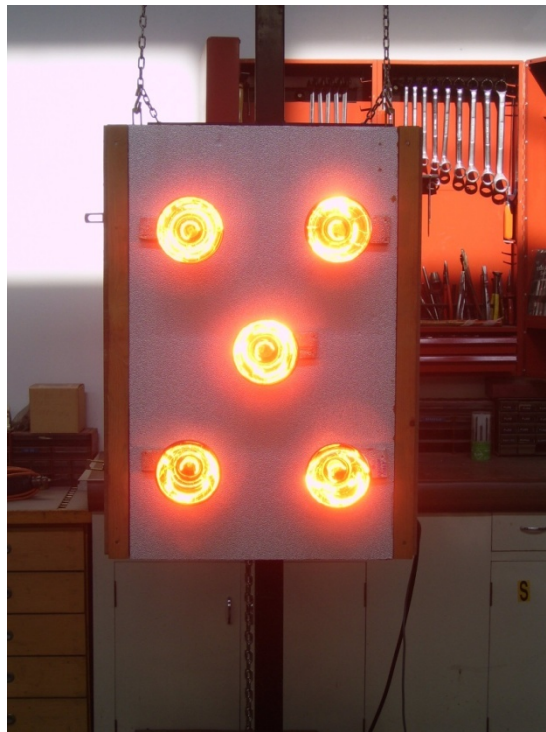
- **5.4%** per un  $\Delta T$  di **24°C**
- **7%** per un  $\Delta T$  di **10°C**
- **41%** per un  $\Delta T$  di **1.5°C**.



Necessità di un sistema di riscaldamento "localizzato" per buona parte dell'anno

# Metodi di riscaldamento "localizzato"

## Irraggiamento



- 5 lampade ad irraggiamento (PHILIPS mod. R125 IR R) da 250 W

## Hot Box



- Elettrosalvatore a circolazione d'olio di potenza pari a 1500 W

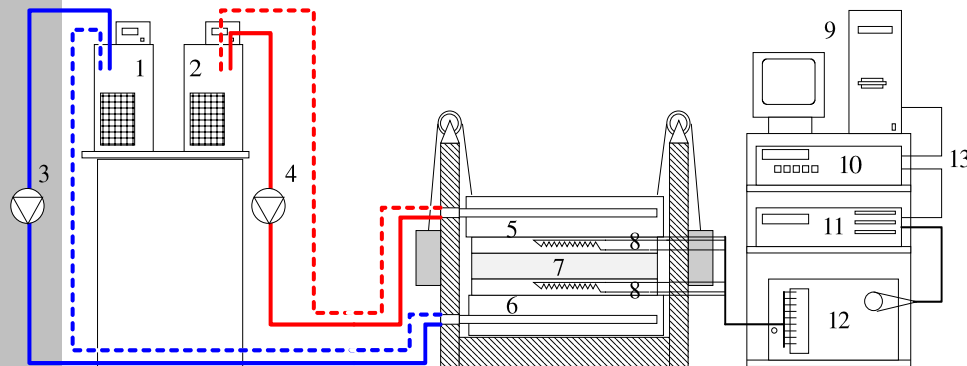
17 Aprile 2009

Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia

# Riscaldamento per irraggiamento

## Prova di Laboratorio: Conduttanza di una lastra di polistirolo



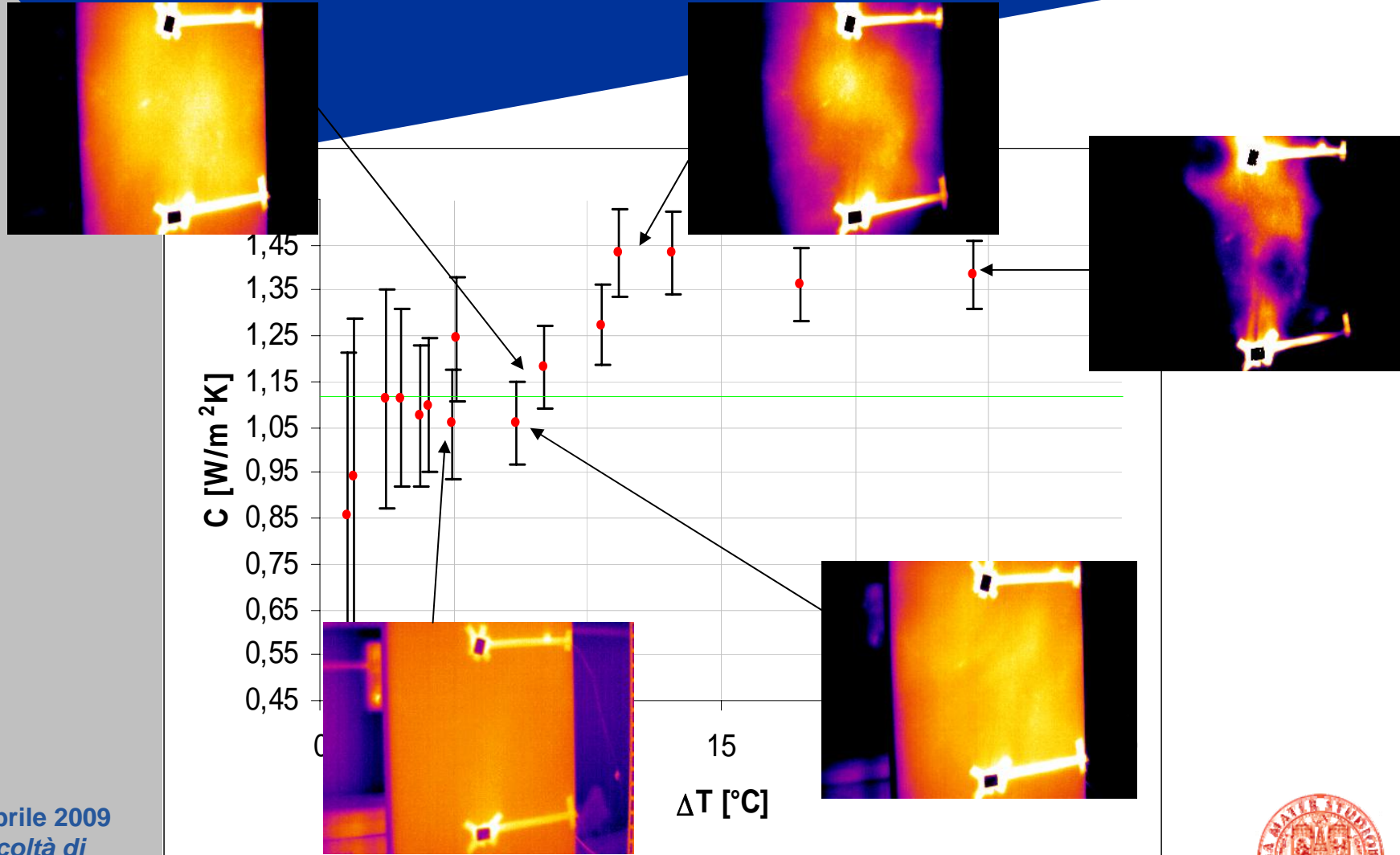
Misura di conducibilità termica  
(ISO8301 - UNI12667)

$$C = \frac{\lambda}{s} = \frac{0,03354 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{0,03 [m]} = 1,118 \pm 0,004 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$



Polistirolo s=3 cm

# Riscaldamento per irraggiamento



17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# Risultati sperimentali

- La misura con il metodo del termoflussimetro è particolarmente sensibile alla mancata monodimensionalità del flusso termico (finestre, porte, spigoli, colonne, tubazioni sotto traccia etc..) che possono distorcere il campo termico sulla superficie della parete. Per questo motivo è consigliabile l'uso di una termocamera per individuare la corretta posizione della strumentazione evitando le eventuali discontinuità nella parete da testare. (valori di resistenza termica del termoflussimetro)
- Il sistema di riscaldamento localizzato a lampade richiede che le termocoppie installate sulla parete irradiata siano opportunamente schermate e che il termoflussimetro venga installato nella parete non irradiata dalle lampade (problemi legati all'irraggiamento solare durante la prova sul lato esterno della parete).

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Risultati sperimentali

## Conduttanza di un muro con cappotto isolante esterno



- Cappotto termico realizzato con 5 cm del polistirolo testato in precedenza ( $\lambda_{is}=0.0335$  W/mK) con 0.5 cm di intonaco da esterno ( $\lambda_{in}=1$  W/mK)
- Sistema “hot box” di riscaldamento localizzato (cartongesso termoisolato 2 m x 2 m x 1.5 m) con elettroradiatore a circolazione d’olio di potenza pari a 1500 W ed un ventilatore per uniformare la temperatura.

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# Risultati sperimentali

## Conduttanza di un muro con cappotto isolante esterno



- L'hot box permette di aumentare il  $\Delta T$  medio tra le due facce della parete ( $>14^{\circ}\text{C}$ ) così da ottenere flussi termici maggiori ed incertezze sperimentali inferiori sulla conduttanza.
- Ottimo livello di uniformità della temperatura superficiale sulla parete riscaldata.
- Il riscaldamento convettivo della parete interna non disturba il funzionamento del termoflussimetro

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

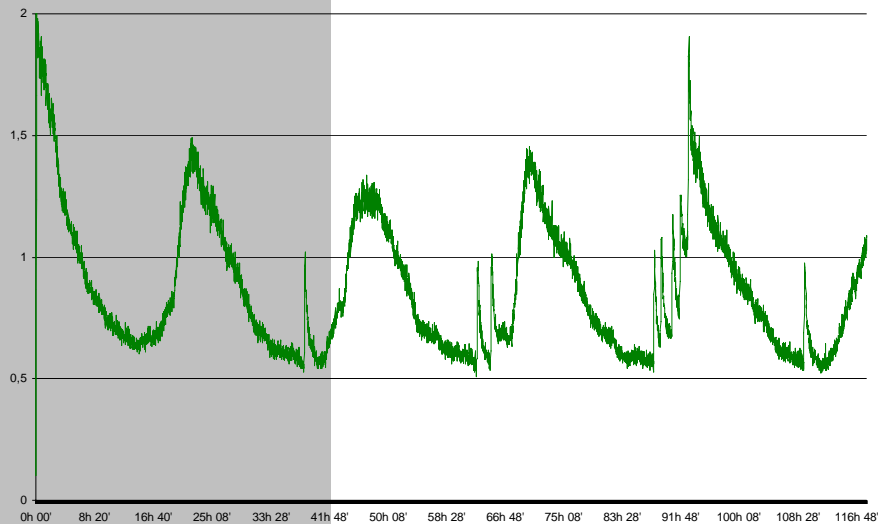
Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



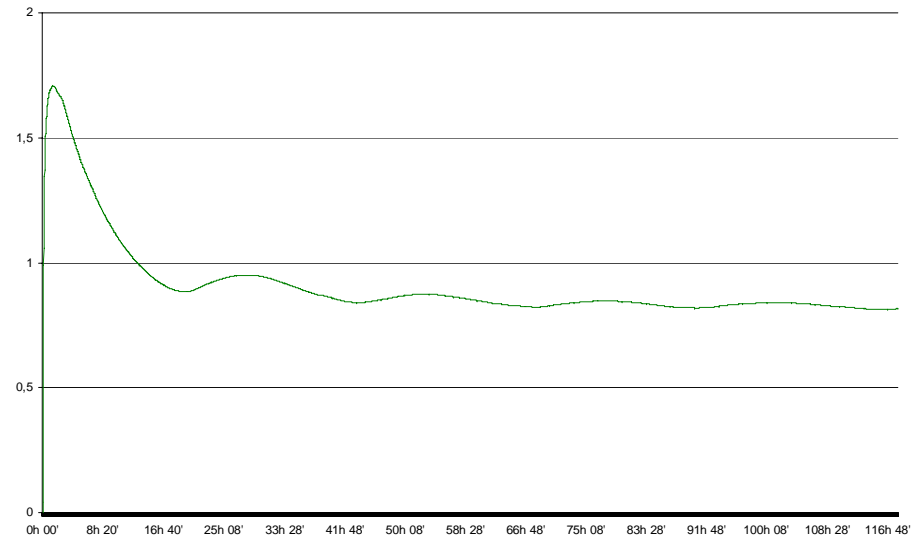
DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Risultati sperimentali

## Conduttanza di un muro con cappotto isolante esterno (116 h)



Conduttanza: valori istantanei



Conduttanza: valore medio

	C [W/m <sup>2</sup> K]	ΔT [K]
<b>Muro</b>	1.203	16
<b>Muro con cappotto</b>	0.505	18

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# Risultati sperimentali

## Conduttanza di un muro con cappotto isolante esterno

- Si possono correlare i due risultati ottenuti andando a calcolare il valore teorico di conduttanza del muro con cappotto esterno utilizzando la trasmittanza determinata in opera per il muro senza isolante:

$$C_{mc} = \frac{1}{\frac{1}{C_m} + \frac{s_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{s_{in}}{\lambda_{in}}} = 0.430 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

- **Il valore teorico ottenuto differisce del 17.5% rispetto al valore misurato.** Tale differenza supera il valore teorico di incertezza che affligge la misura di conduttanza (stimata pari a 8%).
- **Il calcolo teorico considera i valori di conducibilità termica dell'intonaco e dell'isolante senza maggiorazioni (resistenze di contatto).**

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

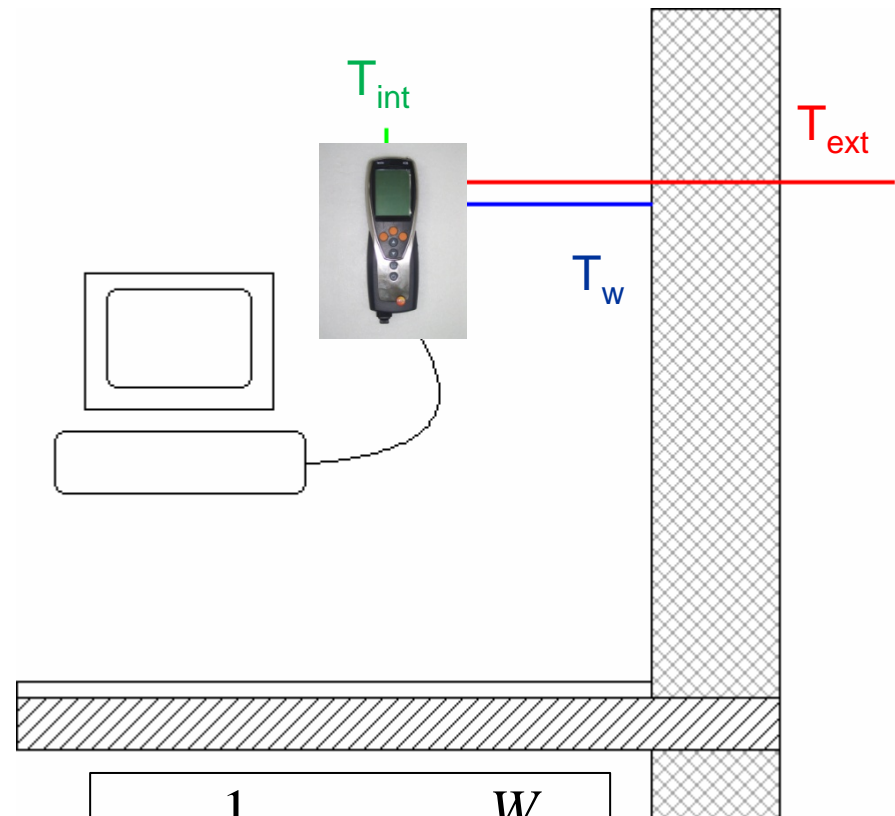
# Metodo delle 3 misure di T

- La misura in opera della trasmittanza è ottenuta senza utilizzare il termoflussimetro.
- Il flusso termico attraverso la parete è calcolato ipotizzando di conoscere il **Coefficiente Liminare interno** ( $\alpha=1/R_{si}$ )

$$q = \alpha(T_{int} - T_w)$$

$$q = U(T_{int} - T_{ext})$$

$$U = \alpha \cdot \frac{T_{int} - T_w}{T_{int} - T_{ext}}$$

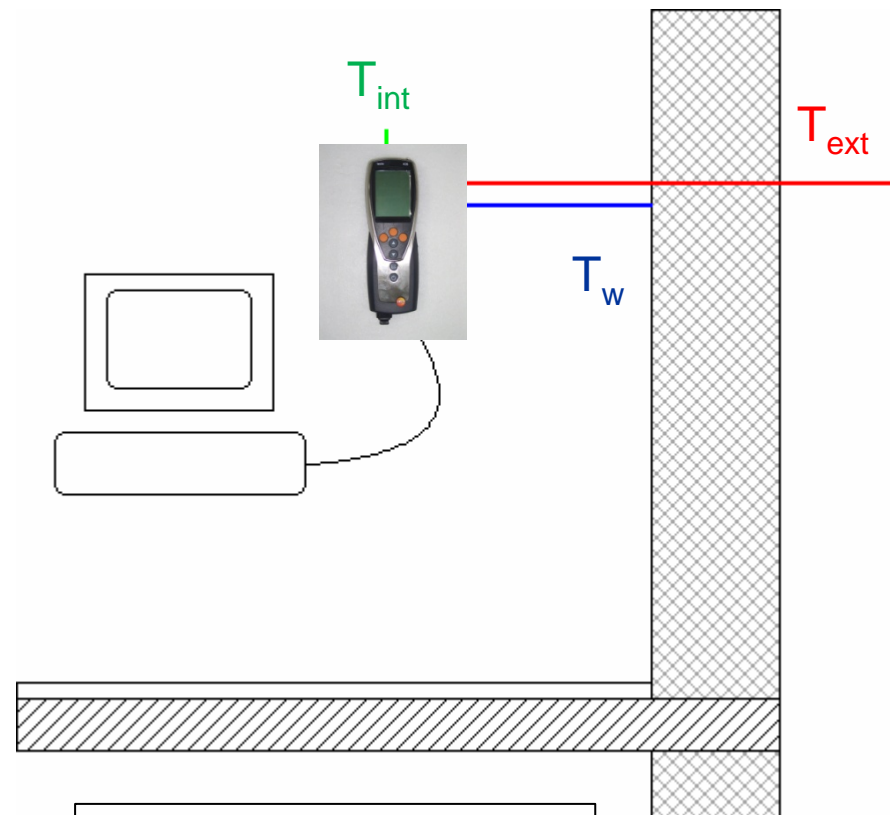


$$\alpha = \frac{1}{R_{si}} = 7.69 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

# Metodo delle 3 misure di T

- Il metodo viene considerato applicabile se il salto di temperatura tra interno ed esterno è superiore a **12 K** (**salts termici maggiori rispetto al termoflussimetro**)
- La prova deve essere condotta per **12 h** durante la notte per escludere l'effetto dell'irraggiamento solare (**prova più corta rispetto al metodo del termoflussimetro**).

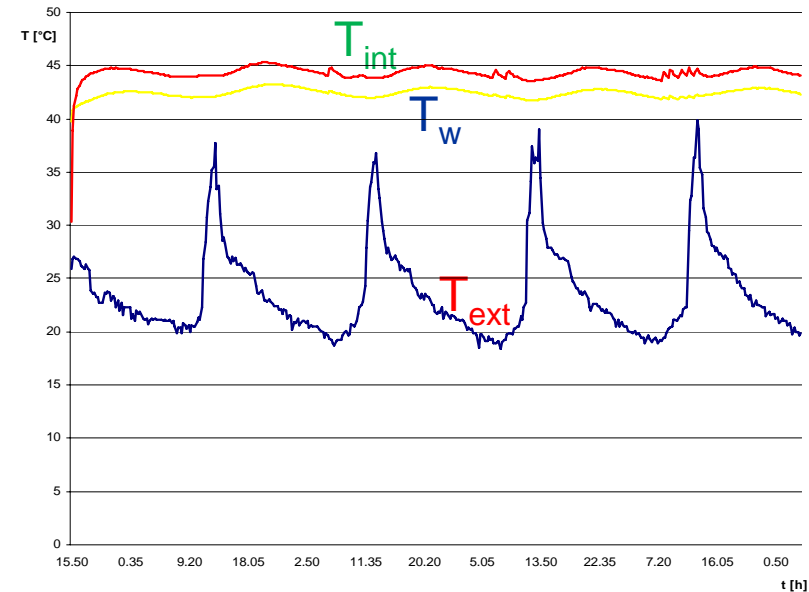
$$U = \alpha \cdot \frac{T_{\text{int}} - T_w}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}$$



$$\alpha = \frac{1}{R_{si}} = 7.69 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

# Metodo delle 3 misure di T

- Il salto termico tra temperatura di parete interna e temperatura interna è in genere molto piccolo (<2 K): elevati valori di incertezza sulla valutazione del  $\Delta T$
- **Non si conosce a priori il valore di  $\alpha$ !**
- Il metodo fornisce direttamente il valore di trasmittanza al cui interno figurano parametri ( $R_{si}$ ,  $R_{se}$ ) che dipendono dalle condizioni climatiche che si sono verificate durante la prova (**descrizione condizioni di prova**).



$$U = \alpha \cdot \frac{T_{int} - T_w}{T_{int} - T_{ext}}$$

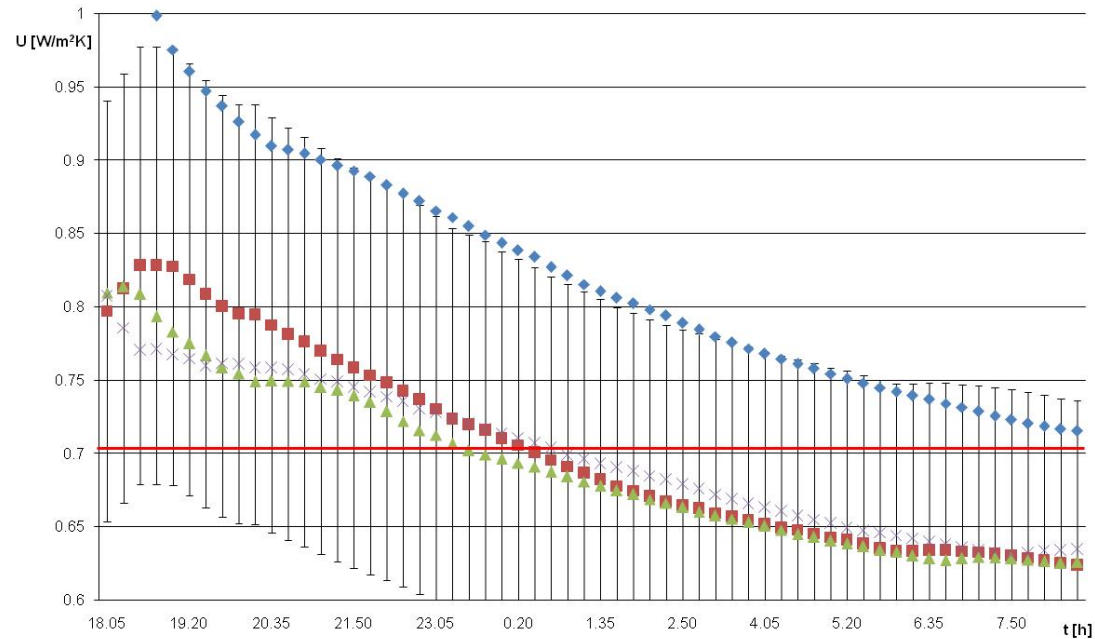


# Metodo delle 3 misure di T

$$U = \alpha \cdot \frac{T_{\text{int}} - T_w}{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}$$

- **Il valore di  $\alpha$  si impone e non si misura!**
- Si impiegano termocoppie (K) come sensori di temperatura con compensazione interna: **incertezza elevata (0.2-0.3 K)**
- In una parete con  $U=0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  soggetta ad un salto termico di 25 K (12 K) è attraversata da un flusso termico di  $7.5 \text{ W/m}^2$ . Il salto termico tra parete interna e aria ambiente vale circa 1 K (0.5 K): **L'incertezza associata alla misura cresce per le pareti molto isolate.**
- **Occorre utilizzare elevati valori di  $\Delta T$  tra interno ed esterno al fine di limitare l'incertezza.**
- **Il metodo utilizzato per il riscaldamento localizzato influenza il valore di  $\alpha$ .**

# Metodo delle 3 misure di T



- Muro non coibentato
- Salto termico imposto con "hot box":  $\Delta T > 16$  K
- Valori diversi ottenuti in 4 notti successive
- Non si raggiunge mai una stabilizzazione di U
- Elevati livelli di incertezza (> 18%)

	U [W/m <sup>2</sup> K]	U(U)/U
<b>3 misure di T</b>	0.665	18%
<b>Termoflussimetro</b>	<b>0.705</b>	<b>8 %</b>

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# Metodo delle 3 misure di T

**Gli elevati livelli di incertezza “rivalutano” l’uso degli abachi e dei metodi semplificati per la valutazione della trasmittanza dei componenti opachi in edifici esistenti previsti nella norma UNI TS 11300 - 1**

**APPENDICE A DETERMINAZIONE SEMPLIFICATA DELLA TRASMITTANZA TERMICA DEI COMPONENTI OPACHI IN EDIFICI ESISTENTI**  
(informativa)

I dati riportati nei prospetti seguenti sono utilizzabili solo per valutazioni energetiche di edifici esistenti, qualora non si possa effettuare una determinazione rigorosa di calcolo, sulla base di dati derivanti da ispezioni o da altre fonti più attendibili.

prospetto A.1 **Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache<sup>a) b)</sup> [W/(m<sup>2</sup>K)]**

Spessore [m]	Muratura di pietrame intonacata	Muratura di mattoni pieni intonacati sulle due facce	Muratura di mattoni semipieni o tufo	Pannello prefabbricato in calcestruzzo non isolato	Parete a cassa vuota con mattoni forati <sup>c)</sup>
0,15	-	2,59	2,19	3,59	-
0,20	-	2,28	1,96	3,28	-
0,25	-	2,01	1,76	3,02	1,20
0,30	2,99	1,77	1,57	2,80	1,15
0,35	2,76	1,56	1,41	2,61	1,10
0,40	2,57	1,39	1,26	2,44	1,10
0,45	2,40	1,25	1,14	-	1,10
0,50	2,25	1,14	1,04	-	1,10
0,55	2,11	1,07	0,96	-	-

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
www.unibo.it

# 3 misure di T/termoflussimetro

## Indicazioni sulle condizioni di prova

- Il salto termico deve essere superiore a **15-20 K** per avere incertezze di misura basse e il  **$\Delta T$  non deve variare per più del 30%** durante l'esecuzione della prova
- La variazione della temperatura esterna durante la notte non deve essere troppo grande (**< 5 K**)
- La variazione della temperatura interna durante la prova non deve superare i **2 K**
- **L'irraggiamento solare diretto**, se presente, deve essere di modesta entità (schermaggio esterno)
- Occorre registrare l'andamento del **vento** contro la parete esterna: non devono sussistere consistenti variazioni del vento durante la prova.
- Sarebbe opportuno **condizionare la parete** di prova la notte precedente alla prova (ovvero ripetere la prova su più notti) e porre al riparo dall'irraggiamento solare diretto la parete nelle 24 h precedenti la prova per limitare gli accumuli di calore.

# Conclusioni

- La misura in opera della conduttanza di una parete è sempre una misura "dinamica" a causa dell'inerzia termica dei materiali che realizzano la parete e della variazione di temperatura ed irraggiamento solare cui è soggetta la parete durante la prova.
- Un tecnico certificatore a cui sia richiesto di verificare la trasmittanza di tutte le pareti opache di un edificio dovrà impiegare qualche settimana, se dispone di un unico strumento di misura, per completare la verifica. Ciò appare difficilmente conciliabile con il numero di verifiche da fare (non c'è solo quella della trasmittanza) e, soprattutto, con i costi imputabili per tali verifiche.
- Un verificatore non esperto può ottenere risultati di misura afflitti da valori di incertezza estremamente elevati.

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Misure e certificazione energetica

- La “Valigetta del Certificatore”



Sito: [www.anit.it](http://www.anit.it)

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

Misure in opera della trasmittanza termica di pareti opache

# Laboratorio di Termotecnica

**DIENCA – Università degli Studi di Bologna**

Direttore: Prof. Ing. Sandro Salvigni

Sito web: <http://www.dienca.unibo.it>

**Laboratorio di Termotecnica:**

Direttore: Prof. Ing. Gian Luca Morini

**Laboratorio di Acustica:**

Direttore: Prof. Massimo Garai



Via Terracini 34, 40128 Bologna (Italy)

tel: +39 051 2090535 fax: +39 051 2090547

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Laboratorio di Termotecnica e Acustica

## Prove nell'ambito dell'Edilizia

### Misure di Laboratorio

- Conducibilità termica di materiali isolanti (ISO 8301, EN 12664/01, EN 12667/01)
- Permeabilità al vapore dei materiali (UNI EN 1015-19)
- Determinazione del potere fonoisolante attraverso camere di prova UNI EN ISO 140
- Determinazione della trasmissione laterale nelle strutture edilizie (UNI EN 12354)
- Determinazione del livello di calpestio
- Determinazione dell'attenuazione del livello di calpestio
- Determinazione dell'assorbimento acustico di materiali per l'edilizia e non

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

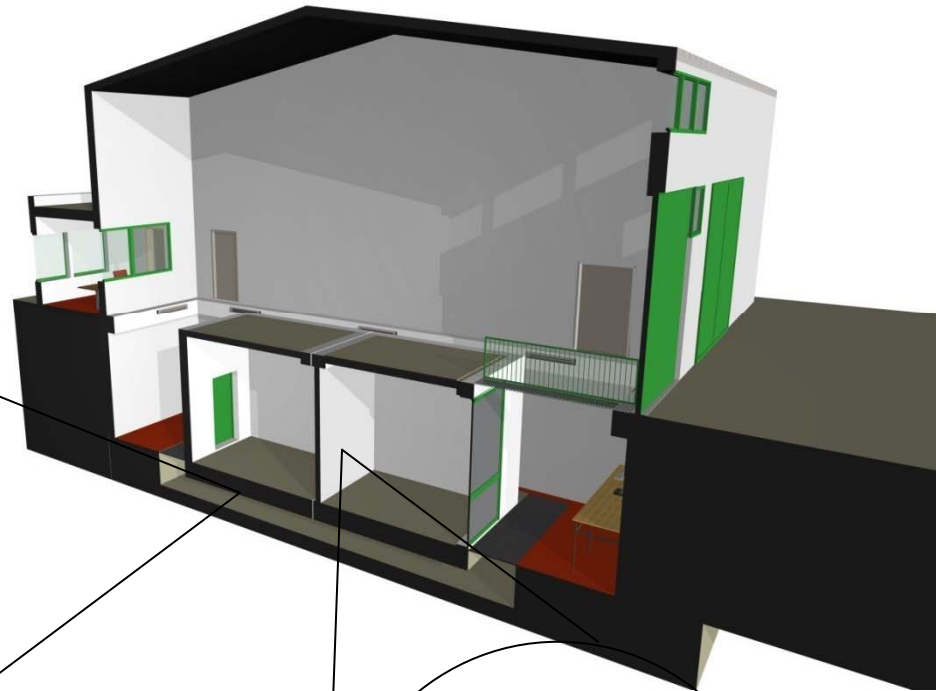
Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

Misure in opera della trasmittanza termica di pareti opache

# Misure integrate Acustiche-Termiche



**Dimensioni:**  
**4,48x3,53x3,40 m**

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

# Laboratorio di Termotecnica

## Misure in opera

- Valutazione indici benessere termoigrometrico (PPD, PMV, temperatura media radiante, temperatura operante, temperatura di globotermometro) (UNI EN ISO 7730)
- Trasmittanza strutture opache (ISO 9869)
- Blower door test (UNI 13829)
- Contabilizzazione energia termica (sottocentrali teleriscaldamento)
- Termografia
- Test di risposta termica sonde geotermiche (Ground Response Test). Determinazione temperatura acqua di falda.
- Misure di irraggiamento solare: valore totale e componente diretta

17 Aprile 2009  
Facoltà di  
Ingegneria

Università degli  
Studi di Modena e  
Reggio Emilia



DIENCA  
Università di Bologna  
[www.unibo.it](http://www.unibo.it)