

“TERMOGRAFIA E DIAGNOSI DELL’INVOLUCRO: Sistemi e Tecniche a confronto”

**“Indagini non invasive:
il valore di trasmittanza termica**

RELATORE: Dott. Arch. Paiola Livio

ARGOMENTI TRATTATI

- Misura della trasmittanza termica in opera
- Descrizione del sistema di misura
- Principio di funzionamento del termoflussimetro e delle termocoppie
- Posa delle sonde
- Elaborazione dei dati registrati: Metodo delle Medie progressive e “Black Box”
- Calcolo della trasmittanza
- Precisione ed errori di misura
- Preparazione e formazione degli operatori
- Riferimenti normativi

DISCUSSIONE FINALE

MISURA DELLA TRASMITTANZA TERMICA IN OPERA

Che cos'è la termoflussimetria?

È il metodo che, nell'ambito della diagnosi e certificazione energetica, permette di determinare il valore di trasmittanza delle chiusure opache delle quali non si conoscono le caratteristiche termofisiche.



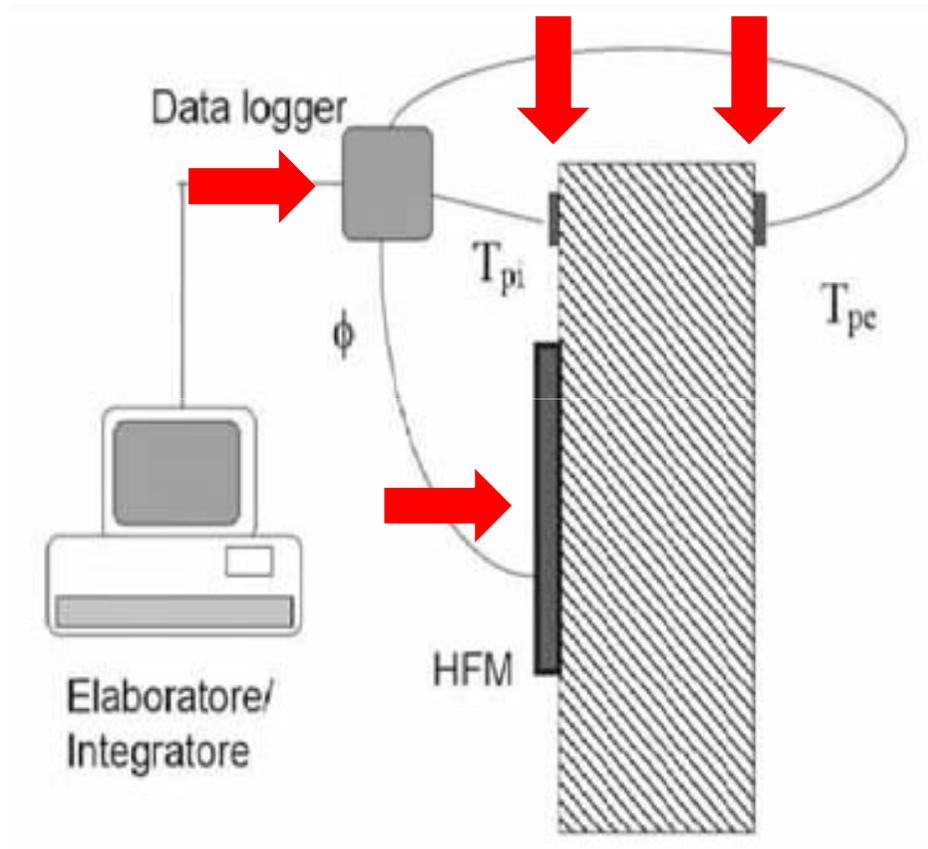
MISURA DELLA TRASMITTANZA TERMICA IN OPERA

Che cos'è la trasmittanza termica?

In condizioni di **regime stazionario** (in cui cioè il flusso di calore e le temperature non variano nel tempo) la trasmittanza misura la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento della superficie di 1 m² in presenza di una differenza di temperatura di 1 K tra l'interno e l'esterno.

Unità di misura della trasmittanza: **(W/m²K)**

SISTEMA DI MISURA



Schema applicativo e componenti del sistema di misura

Il sistema di misura della conduttanza in opera è costituito da:

- n. 1 data logger,
- n. 1 termoflussimetro
- n. 3 o 4 termocoppie (2 esterne e 1 o 2 interne)

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il termoflussimetro



Il **termoflussimetro** è un dispositivo contenente un trasduttore che genera un segnale elettrico in funzione del **flusso di calore** che lo attraversa.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il termoflussimetro

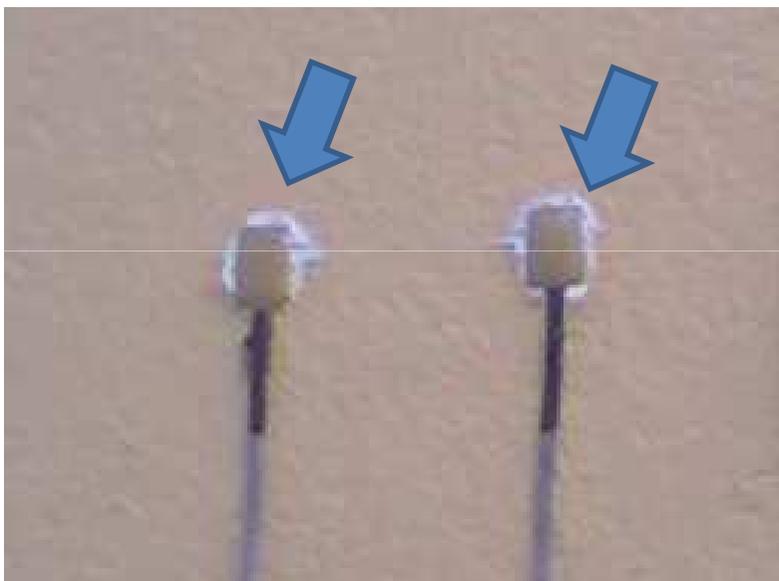


Composizione:

1. **Parte attiva** (termopila che genera la forza elettromotrice) da cui si calcola il flusso termico specifico attraverso la piastra (W/m^2)
2. **Anello di guardia** (protegge il sensore e invia i dati al cavo)
3. **Cavo di collegamento** tra il termoflussimetro e il datalogger

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Le termocoppie



I sensori di temperatura (termocoppie) sono trasduttori a funzione monotona della temperatura che permettono la misura della temperatura superficiale di un elemento o dell'aria.

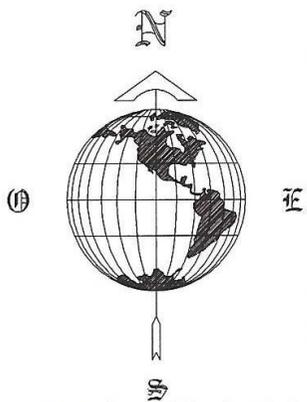
POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Per ottenere una misurazione corretta è necessario che il flussimetro sia posizionato:

- Su porzioni di superficie rappresentative del componente edilizio del quale si vuole misurare il flusso termico (parete, pavimento, soffitto, ecc.)
- Su superfici prive di irraggiamento solare diretto.
- Lontano da fonti di calore (radiatori, ventilcovettori, ecc.)
- Lontano da spigoli o da zone con anomalie di carattere fisico o geometrico come pilastri, strutture portanti, condotti, interruzioni dell'isolante, ponti termici, nervature, ecc., onde evitare effetti di bordo

La norma di riferimento da seguire per l'installazione dello strumento di misura è la ISO 9869

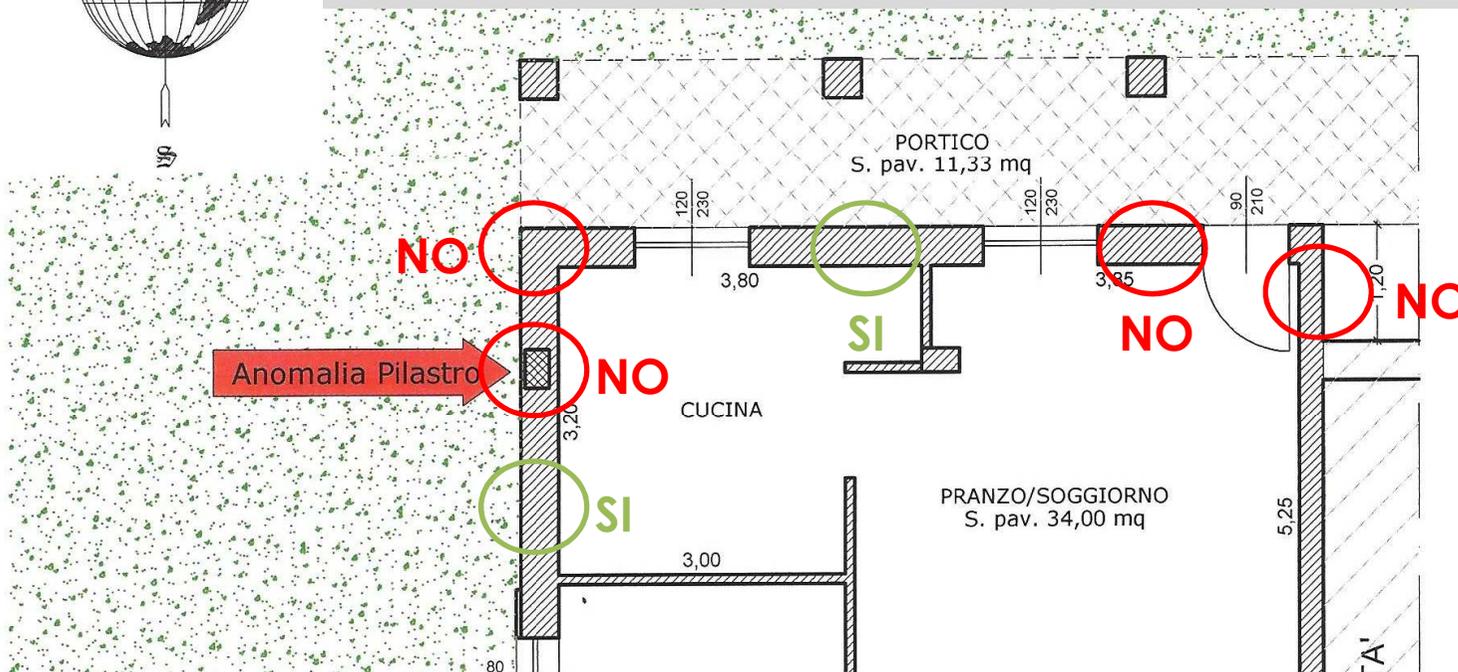
POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA



Esempio di anomalia dovuta a ponte termico.

Le **frecce rosse** indicano le anomalie dovute ai ponti termici in corrispondenza dei pilastri.

La **freccia verde** indica la posizione di installazione del flussimetro nel del punto di misura contraddistinto dalla lettera F.

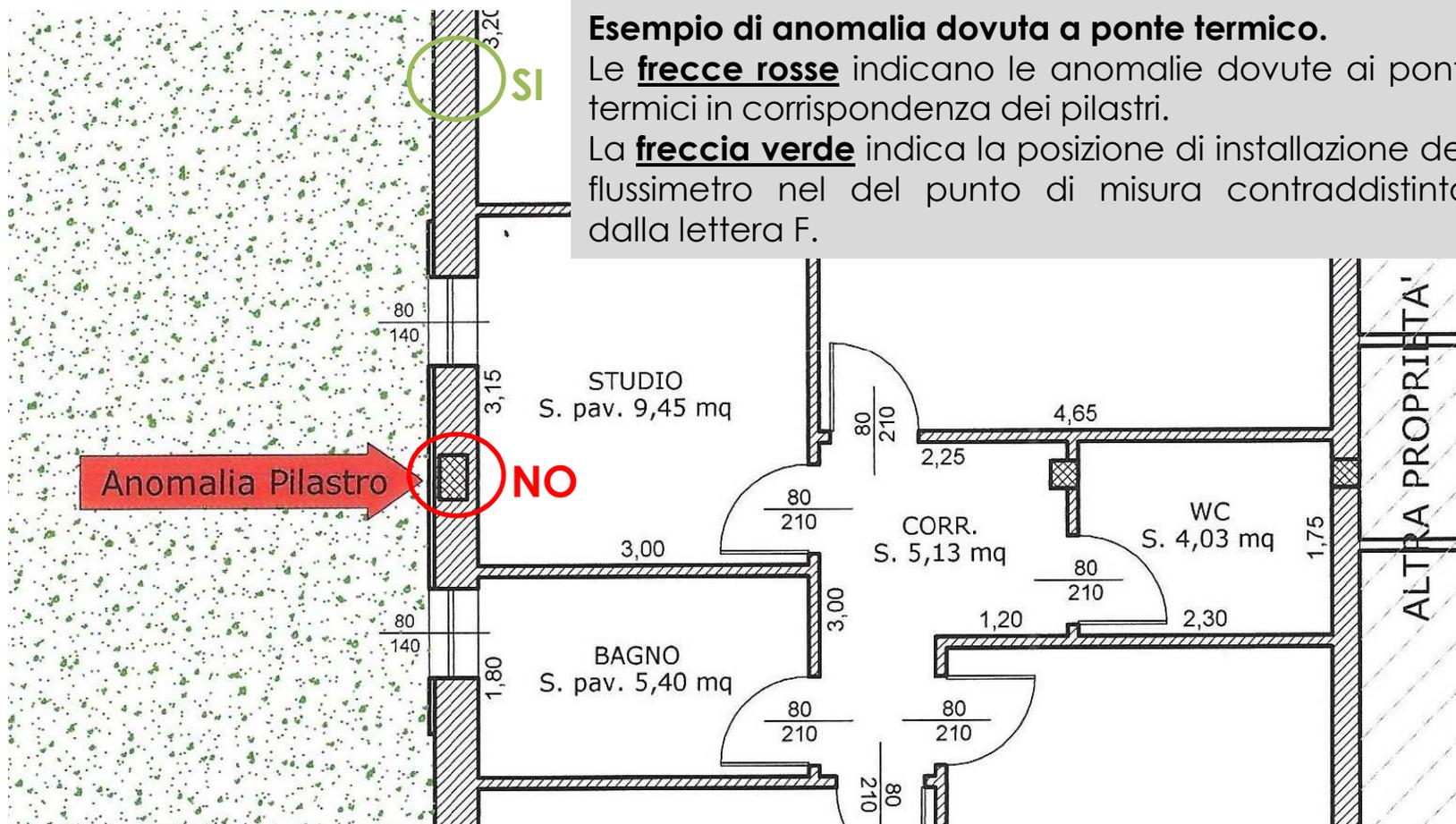


POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Esempio di anomalia dovuta a ponte termico.

Le **freccie rosse** indicano le anomalie dovute ai ponti termici in corrispondenza dei pilastri.

La **freccia verde** indica la posizione di installazione del flussimetro nel del punto di misura contraddistinto dalla lettera F.



POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Esempio di anomalia dovuta a ponte termico.

Le **freccie rosse** indicano le anomalie dovute ai ponti termici in corrispondenza dei pilastri.

La **freccia verde** indica la posizione di installazione del flussimetro nel del punto di misura contraddistinto dalla lettera F.



POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Installare la strumentazione in corrispondenza di una anomalia (per esempio un ponte termico) porta ad acquisire un valore falsato delle caratteristiche medie della struttura e conseguentemente a misurazioni della trasmittanza inesatte o del tutto errate.



POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Prima di procedere al posizionamento delle sonde è necessario acquisire **un'immagine di riferimento affidabile**

Come si ottiene?

Eseguendo un'accurata **indagine termografica** (quasi sempre di tipo qualitativo)

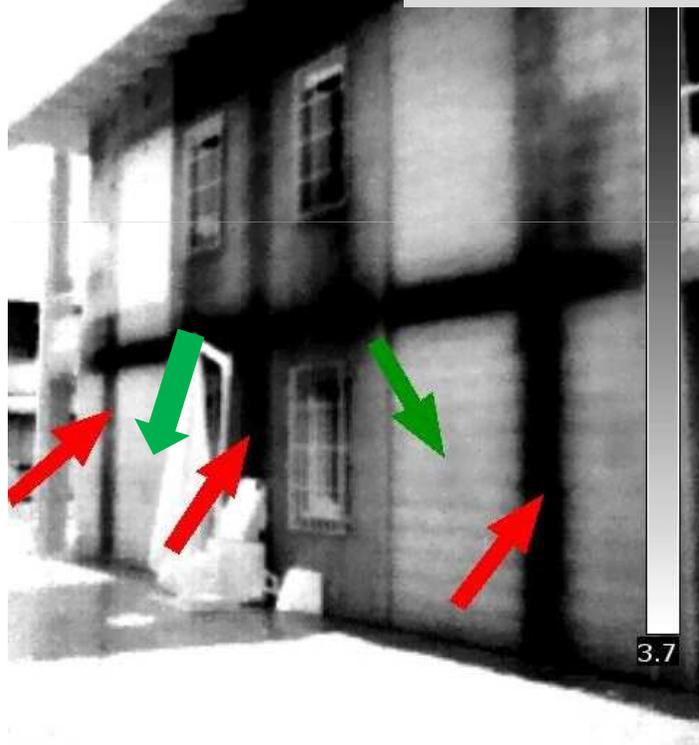
POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Indagine termografica per l'individuazione della corretta posizione di installazione delle sonde

L'indagine termografica è infatti **l'unica tecnica** che permette di individuare con estrema precisione e velocità le zone caratterizzate da disomogeneità della distribuzione delle temperature superficiali permettendo all'operatore di escludere immediatamente tutte le zone non rappresentative della parete.

POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Mappatura delle anomalie presenti in facciata per la determinazione della corretta posizione di installazione delle sonde.



➔ Ponti termici

Evitare di posizionare le sonde nelle zone indicate con la freccia rossa

(anomalie dovute ai ponti termici in corrispondenza dei pilastri)

➔ Posizione di installazione del flussimetro

È corretto posizionare le sonde nelle zone indicate con la freccia verde

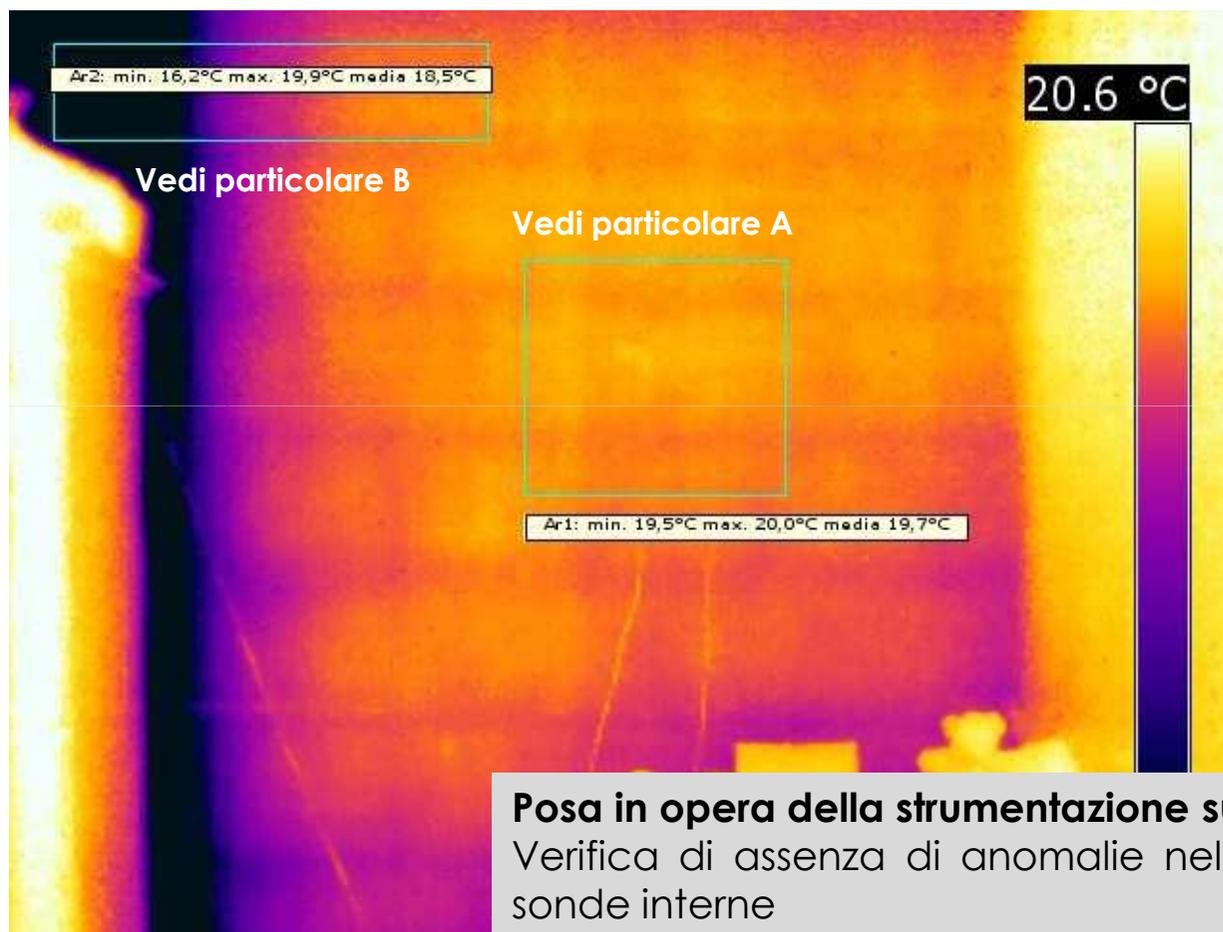
POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA



Indagine termografica per l'individuazione della corretta posizione di installazione delle sonde

Posa in opera della strumentazione sulla superficie esterna
Verifica di assenza di anomalie nel punto di posa delle sonde esterne

POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA



Indagine
termografica
per
l'individuazione
della corretta
posizione di
installazione
delle sonde

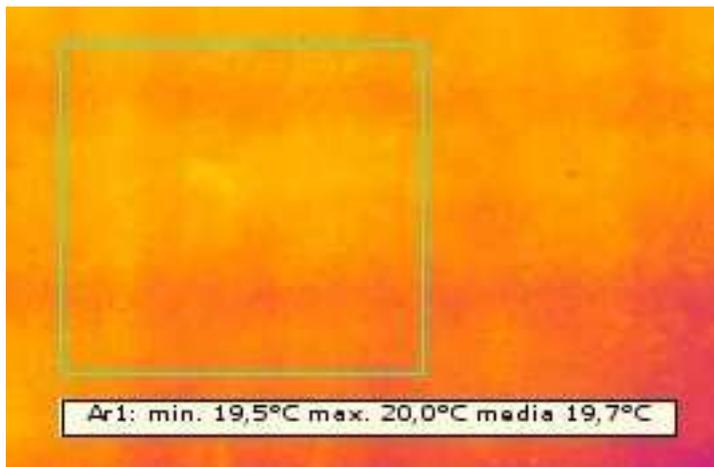
Posa in opera della strumentazione sulla superficie interna
Verifica di assenza di anomalie nel punto di posa delle
sonde interne

POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Indagine termografica per l'individuazione della corretta posizione di installazione delle sonde

Per ogni punto di misura vengono acquisite delle **immagini termografiche** evidenziando i valori massimi, minimi e medi delle temperature superficiali riscontrate.

Particolare A



Il rettangolo Ar1 evidenzia l'uniformità della distribuzione delle temperature superficiali; nell'**area interessata dalla misura** la massima differenza di temperatura misurata è pari a $\Delta t = 0,5^\circ\text{C}$ (temp. min. $19,5^\circ\text{C}$; temp. max. $20,0^\circ\text{C}$; temp. media $19,7^\circ\text{C}$).

POSA DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Indagine termografica per l'individuazione della corretta posizione di installazione delle sonde

Per ogni punto di misura vengono acquisite delle **immagini termografiche** evidenziando i valori massimi, minimi e medi delle temperature superficiali riscontrate.

Particolare B



Le aree delimitate dal rettangolo (Ar2) sono quelle in cui è **sconsigliata (o da evitare)** la misura in quanto presentano scarsa uniformità della distribuzione delle temperature superficiali rendendo di fatto la zona non rappresentativa della parete (massima differenza di temperatura misurata pari a $\Delta t = 3,7^\circ\text{C}$).

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

Verranno esaminati i seguenti metodi:

- Metodo delle **medie progressive**
- Metodo **black-box**

Le condizioni di impiego dei due metodi di calcolo esaminati, sono:

- Flusso termico con valori non troppo ridotti: mediamente valore del **flusso $\Phi > 5 \text{ W/m}^2$** ;
- Differenza di temperatura mediamente **$\Delta T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$** .

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE

Se il regime che si sviluppa prima e durante la misura è di tipo stazionario e la parete in funzione del suo sfasamento temporale è “andata a regime”, è consigliato l'impiego del **metodo delle medie progressive**.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

METODO “BLACK BOX”

Se il regime è altamente variabile e/o la parete è caratterizzata da elevati valori di sfasamento temporale è consigliato l'impiego del metodo “**black box**”.



ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

ENTRAMBI I METODI

Se il regime è variabile e la parete ha uno sfasamento temporale dell'ordine massimo di 10 ore è possibile impiegare entrambi i metodi.

Nei casi dove è possibile l'impiego di entrambi i metodi, i valori di conduttanza calcolati variano con differenze dell'ordine del 5% massimo.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE

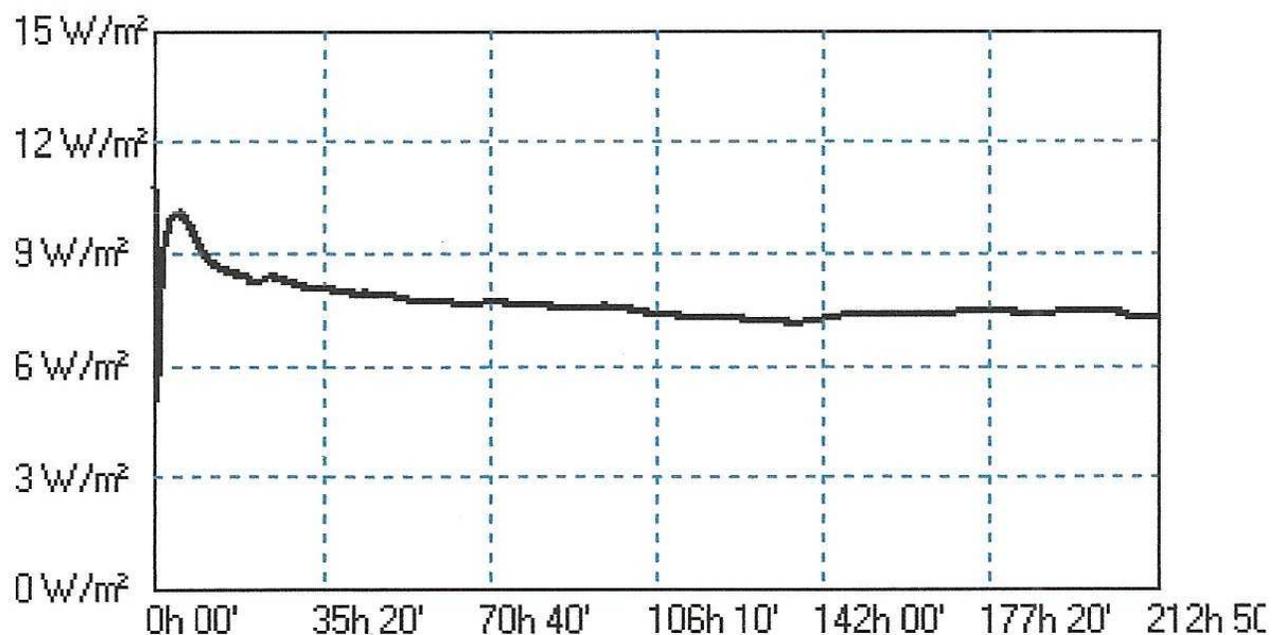
Il metodo delle medie progressive consiste nel calcolare la conduttanza utilizzando, ad ogni istante, anziché i valori istantanei di flusso e temperatura, i valori medi calcolati su tutti gli istanti precedenti.

Ad ogni istante di campionamento sono riportati i valori di flusso medio, temperature medie e conduttanza media sia sotto forma tabulare che grafica.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

Secondo la norma ISO 9869

METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE

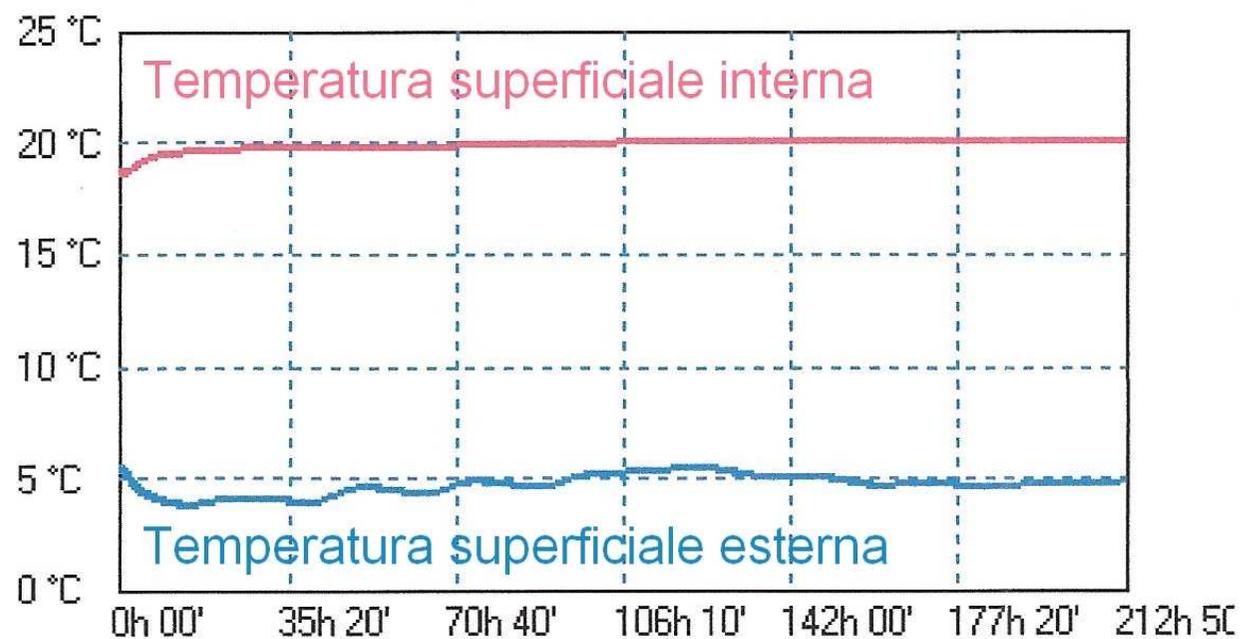


Flusso termico medio progressivo

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

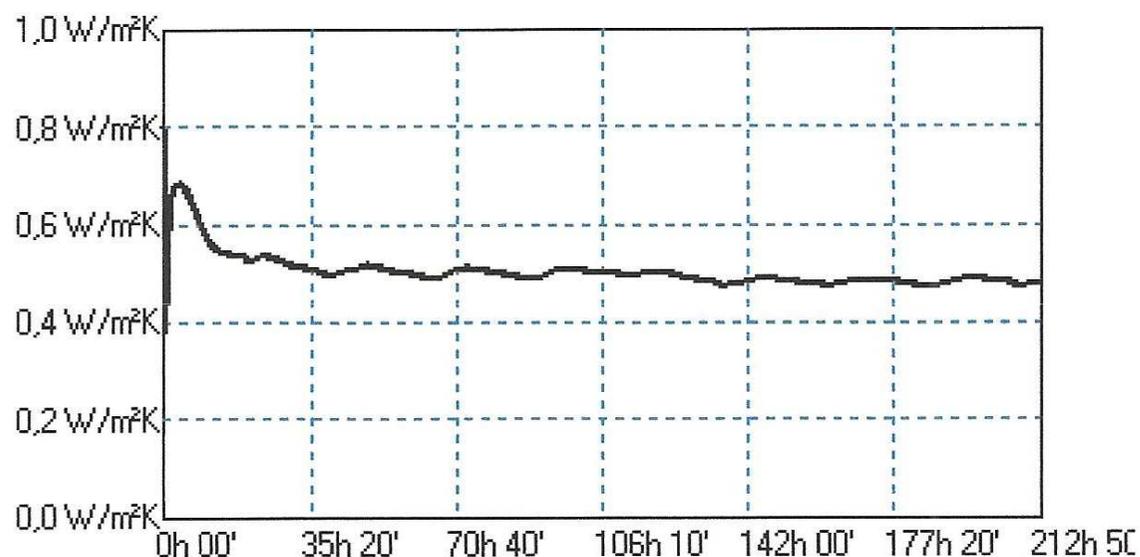
Secondo la norma ISO 9869

METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE



Temperature superficiali medie progressive

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE



Conduttanza media progressiva

Dal grafico si osserva uno stabilizzarsi del parametro misurato (convergenza asintotica) su un valore che meglio approssima il comportamento della struttura. **Nel nostro caso il valore della conduttanza converge verso circa 0,48 W/m²K.**

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE

- Il **valore finale** della conduttanza dovrebbe essere quello che meglio approssima il **valore reale** della struttura in esame.
- Dalla rappresentazione grafica si può vedere se il sistema converge oppure se le oscillazioni sono ancora rilevanti
- Si può considerare convergente un sistema in cui il **valore di conduttanza** oscilla attorno all'asintoto orizzontale con ampiezza massima di **0.05 W/m²K**).

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA

La **trasmittanza U** si ricava dalla **conduttanza** aggiungendo il contributo delle resistenze liminari **Rse** (liminare esterno) e **Rsi** (liminare interno) tramite la seguente formula:

$$U = \frac{1}{Ri + \frac{1}{C} + Re}$$

Nel caso di flusso termico orizzontale, ossia per pareti verticali, si considerano $Ri=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ e $Re= 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, come da valori tabellari indicati nella norma UNI EN ISO 6946.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

CALCOLO DELLA TRASMITTANZA

La tabella riassume i risultati dell'elaborazione con il **Metodo delle medie progressive**:

Valori finali		
Flusso	7,3112	W/m ²
Temperatura interna	20,0677	°C
Temperatura esterna	4,8708	°C
Conduttanza	0,4812	W/m ² K
Resistenza termica della parete	2,0781	m ² K/W
Resistenza termica totale (+0,17)	2,2481	m ² K/W
Trasmittanza termica della parete	0,4448	W/m ² K

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

METODO "BLACK BOX"

Il metodo "Black-box" è un metodo di identificazione così chiamato perché non presuppone la conoscenza del sistema fisico in esame (nel nostro caso la parete), ma solo delle serie temporali dei dati di ingresso (la temperatura interna ed esterna) e di quelli in uscita (il flusso).

Dai dati si risale, con un metodo statistico, alle caratteristiche fisiche della parete ricavando quindi la conduttanza.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

METODO "BLACK BOX"

La tabella riassume i risultati dell'elaborazione con il **Metodo black-box**:

Valori finali		
Conduttanza media	0,5019	W/m ² K
Deviazione standard	0,0077	W/m ² K
Resistenza termica della parete	1,9924	m ² K/W
Resistenza termica totale (+0,17)	2,1624	m ² K/W
Trasmittanza termica della parete	0,4624	W/m ² K

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

CONFRONTO TRA I RISULTATI DUE METODI

La tabella confronta i risultati dell'elaborazione con il Metodo delle medie progressive e il Metodo "black-box":

Confronto fra i due metodi e differenza percentuale nel calcolo della conduttanza		
Metodo delle medie progressive		
Trasmittanza termica della parete	0,4448	W/m ² K
Metodo black-box		
Trasmittanza termica della parete	0,4624	W/m ² K
Differenza tra i due valori di conduttanza	3,80	%

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI CONFRONTO TRA I RISULTATI DEI DUE METODI

Nel caso in esame si è potuto rilevare con precisione la stratigrafia dei vari materiali costituenti la parete e quindi calcolare la trasmittanza termica del componente opaco secondo la norma **UNI EN ISO 6946**, allo scopo di eseguire una comparazione con la misura rilevata con il termoflussimetro.

ELABORAZIONE DEI DATI REGISTRATI

CONFRONTO TRA I VALORI MISURATI CON I DUE METODI E IL CALCOLO

Metodo delle medie
progressive

$U=0,4448$ [W/m²K]

Calcolo secondo la
norma ISO 6946-1

$U=0,455$ [W/m²K]

Metodo black-box

$U=0,4624$ [W/m²K]

Calcolo secondo la
norma ISO 6946-1

$U=0,455$ [W/m²K]

PRECISIONE ED ERRORI DI MISURA

- Normalmente non è escluso che si possano riscontrare **differenze** anche molto significative (**nell'ordine del 20% ed oltre**) tra i **valori misurati e quelli calcolati**, a causa della combinazione tra i diversi fattori coinvolti sia nella misura che nel calcolo.
- **L'incertezza totale** è stimabile **tra l'1% e il 15%**, con un **valore medio intorno all'8%**, a condizione che vengano rispettate le normali condizioni di misura.
- Da segnalare inoltre che l'errore di misura è tanto più grande quanto più bassa è la resistenza termica della parete in esame e quanto più elevate sono le resistenze di contatto e quella propria delle piastre.

PREPARAZIONE E FORMAZIONE

Il rilievo del valore di trasmittanza in opera mediante termoflussimetro è un metodo in grado di restituire valori attendibili solo se **l'analisi termoflussimetrica è svolta da tecnici esperti** in grado non solo di comprendere il tipo di struttura in esame, ma anche di **riconoscere l'esistenza di possibili anomalie termiche** (ponti termici) che potrebbero (se usati come punti di misura) restituire valori sfalsati o del tutto errati.



PREPARAZIONE E FORMAZIONE

L'operatore che esegue le misure non dovrebbe mai sottovalutare **l'importanza che ha la termografia in questo specifico ambito**, ma considerarla come il principale supporto non solo per una corretta (e completa) diagnosi qualitativa, ma soprattutto per garantire precisioni di misura che altrimenti non sarebbe possibile ottenere.

RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI 9252:1988: Isolamento termico - Rilievo e analisi qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri degli edifici - Metodo della termografia all'infrarosso

UNI 10351:1994: Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore

UNI 10355:1994: Murature isolanti. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo

UNI-TS 11300-1:2008: Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1. Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

UNI EN ISO 10456:2008: Materiali e prodotti per edilizia - Procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

LED ENERGY

AL SERVIZIO DEL RISPARMIO ENERGETICO

Progettazione edifici a basso consumo

Indagini diagnostiche - Progettazione impianti

Via A. De Gasperi n. 21

37064 Povegliano Veronese (Verona) - ITALY

☎ +39 045 6350440 📞 +39 347 9158028

✉ info@ledenergy.it 🌐 www.ledenergy.it



dott. arch. Paiola Livio

Certificato 2° Livello Termografia UNI EN 473 e RINA ISO 9712

Membro e socio fondatore di AITI - Associazione Italiana Termografia Infrarosso

La strumentazione utilizzata per le prove menzionate sia nell'abito della presentazione che nei lavori svolti sono della LSI Lastem. Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è InfoFlux.

