



SPECIALISTI NELLE ANALISI DI DISPERSIONI ENERGETICHE

TERMOFLUSSIMETRIA – TERMOGRAFIA- BLOWER DOOR TEST

Strumenti e Servizi

Sistemi Integrati per la verifica dei consumi energetici.

LA MISURA IN OPERA DELLA TRASMITTANZA TERMICA DI PARETI EDILIZIE

Livello 1

(Il termoflussimetro questo sconosciuto?)

PREMESSE

- L'acquisizione dei dati per la diagnosi energetica di un edificio esistente o per la verifica di uno di nuova costruzione comporta spesso notevoli difficoltà legate alla non reperibilità del progetto cartaceo e alla non corrispondenza di questo con il costruito.
- Nel caso di superfici di involucro opache, quando non sia nota la loro stratigrafia, è necessario avere strumenti di misura in opera delle caratteristiche termofisiche della parete.

- 1) La stratigrafia della struttura è nota. In tal caso la trasmittanza deve essere calcolata in accordo con la norma prEN ISO 6946:2005.
- 2) La stratigrafia non è nota: si possono scegliere due procedure alternative :
 - a) eseguire un foro di piccole dimensioni per stabilire la stratigrafia della parete mediante un endoscopio, oppure eseguire un Carotaggio e stabilire direttamente le caratteristiche del materiale. Una volta nota la stratigrafia della parete la trasmittanza viene calcolata in accordo con la norma prEN ISO 6946:2005.

 - b) eseguire una misura in opera della trasmittanza della parete.

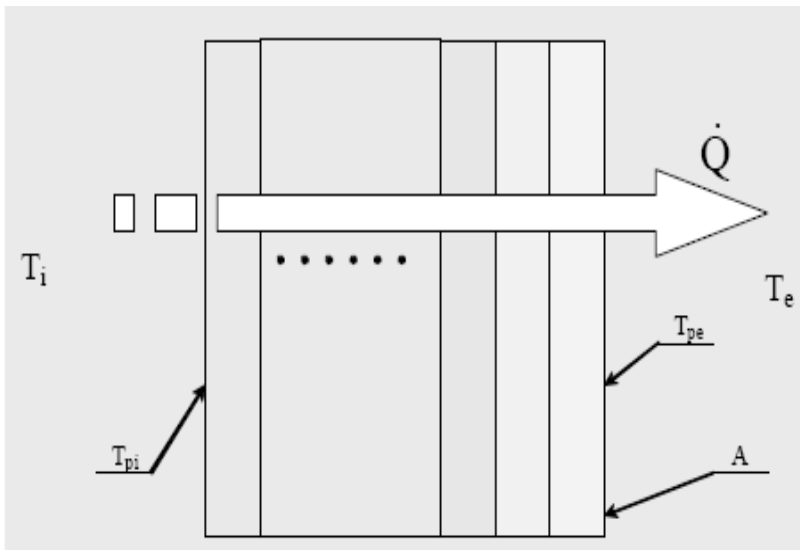
Come si vedrà, nella pratica è poi più agevole e affidabile effettuare il rilievo in opera della conduttanza della parete edilizia piuttosto che la misura della trasmittanza, adottando per la determinazione del valore assunto dai coefficienti liminari di scambio interno ed esterno le procedure di calcolo normate (Rif. UNI ...)

UN PO' DI TEORIA

- La misura in opera della trasmittanza delle pareti edilizie - scopi:
 - verifica in opera della resistenza termica o della trasmittanza delle pareti;
 - valutazione degli effetti della messa in opera sulle proprietà termofisiche del manufatto;
 - valutazione degli effetti prodotti dall'umidità;
 - certificazione energetica dell'edificio.

UN PO' DI TEORIA

- In termini generali e qualitativi si può definire la conduttanza come la tendenza di una parete a lasciarsi attraversare da un flusso termico.
- Data una generica parete edilizia multistrato, il flusso termico che attraversa la parete in condizioni stazionarie è proporzionale alla differenza di temperatura fra i due ambienti, ΔT , ed alla superficie della parete stessa, A .



- La costante di proporzionalità che lega il flusso specifico al ΔT sarà funzione delle proprietà termofisiche della parete e prende il nome di trasmittanza, U .

$$\phi = \frac{\dot{Q}}{A}$$



SPECIALISTI NELLE ANALISI DI DISPERSIONI ENERGETICHE

TERMOFLUSSIMETRIA – TERMOGRAFIA- BLOWER DOOR TEST

Strumenti e Servizi

Sistemi Integrati per la verifica dei consumi energetici.

- In regime stazionario il trasporto di calore attraverso una parete può dunque essere definito attraverso tre parametri fra loro legati:
 - la resistenza termica totale della parete (R)
 - la trasmittanza termica (U)
 - la conduttanza termica (C)

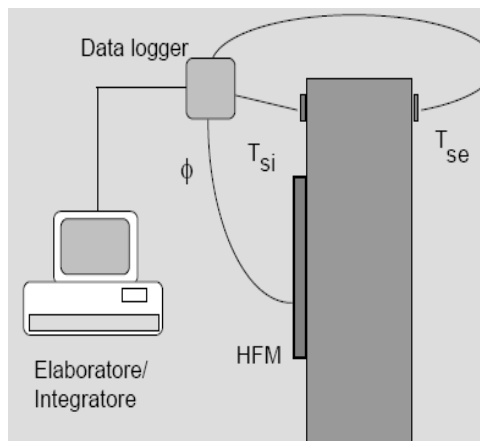
- Se le condizioni termiche alle quali è sottoposta la parete fossero di regime stazionario R, C ed U potrebbero essere ricavati per via sperimentale semplicemente attraverso la misura istantanea del flusso specifico, ϕ , e delle temperature interna ed esterna. Questa condizione è relativamente facile da riprodurre in laboratorio, ma non è mai, praticamente, verificata nel caso di pareti in opera. Infatti, gli edifici nelle condizioni operative reali, sono soggetti a condizioni al contorno fortemente variabili nel tempo.

- L'ipotesi termodinamica su cui si basa la misura tramite termoflussimetro è quella di avere un flusso termico monodimensionale che attraversa a causa del fenomeno termodinamico della conduzione del calore la parete perpendicolarmente alla stessa. E' importante quindi applicare il termoflussimetro in una posizione ove sia verificata al meglio questa condizione. Il termoflussimetro misura la quantità di calore che attraversa per conduzione una parete attraverso la piastra termoflussimetrica (termopila) che deve essere fatta aderire alla parete con particolare attenzione per limitare le resistenze di contatto.

- Durante la misura è opportuno limitare l'influenza degli effetti derivanti dalla trasmissione di calore dell'irraggiamento solare posizionando il sensore di flusso sulla parete interna.
- Durante la misura è opportuno limitare l'influenza derivante dagli effetti della trasmissione del calore per convezione limitando l'applicazione dei sensori di temperatura su pareti esterne particolarmente esposte al vento.

LA MISURA IN OPERA – I metodi

- Le procedure di misura adottate in campo dovranno quindi prevedere una opportuna elaborazione dei dati sperimentali in modo da gestire correttamente gli effetti transitori (accumulo e rilascio di energia) indotti dal regime termico variabile.
- Sotto l'aspetto strumentale si individuano due famiglie di tecniche di misura: metodo del calorimetro portatile e metodo del termoflussimetro (HFM – Heat Flux Meter) che è normato secondo la ISO9869:1994.
- In entrambi i casi la procedura consiste nel monitorare per periodi sufficientemente lunghi:
 - il flusso termico specifico attraverso la parete, j
 - le temperature T_i e T_e (se l'obiettivo è la determinazione della trasmittanza, U . Nel caso si voglia misurare la conduttanza, C , della parete si rileveranno, invece, le temperature superficiali T_{pi} e T_{pe}).
 La forte non stazionarietà delle condizioni termiche esterne rende però la misura molto lunga
- Alternativamente all'uso dei valori medi, è possibile l'adozione dei metodi di identificazione o modelli "black-box" per elaborare i dati misurati.
- Queste tecniche di modellazione matematica sono spesso impiegate per caratterizzare il comportamento di sistemi dinamici complessi a partire dalla conoscenza di serie temporali di dati misurati.
- I modelli sono detti "black-box", ma il loro utilizzo richiede la conoscenza delle caratteristiche e della struttura del sistema fisico al quale il modello viene applicato pena la non convergenza del risultato.
- I risultati ottenibili con l'utilizzo di un termoflussimetro sono in genere buoni, e i dati riportati nella bibliografia collocano il valore degli errori tra l'1% e il 15%, con un valore medio dell'8%.





SPECIALISTI NELLE ANALISI DI DISPERSIONI ENERGETICHE

TERMOFLUSSIMETRIA – TERMOGRAFIA- BLOWER DOOR TEST

Strumenti e Servizi

Sistemi Integrati per la verifica dei consumi energetici.

- 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 dell'HFM
- Occorre applicare i sensori in una porzione di superficie rappresentativa della "parete corrente" che si desidera caratterizzare (è raccomandabile un esame preventivo con camera termica).
- E' buona norma:
 - posizionare il termoflussimetro sul lato interno della parete (per minimizzare gli effetti di disturbo della radiazione solare e per mantenere il sensore in un ambiente meno "aggressivo"),
 - rilevare la temperatura superficiale interna ed esterna in almeno due punti diversi ed assumere per l'analisi dei dati la media fra queste due letture (per minimizzare l'effetto di eventuali piccole disomogeneità nella struttura della parete).
- Nella posa di tutti i sensori occorre curare la perfetta adesione del sensore con la parete (dove possibile è raccomandabile l'impiego di "paste termiche" per ridurre la resistenza termica di contatto).
- E' necessario evitare che i sensori siano investiti direttamente dalla radiazione solare (Il diverso comportamento ottico rispetto alla superficie della parete, infatti, potrebbe indurre sensibili errori di misura).
- Al fine di minimizzare gli errori di misura e favorire una buona ripetibilità della misura stessa è buona norma effettuare la sperimentazione durante una stagione in cui vi siano forti differenze di temperatura fra ambiente interno ed esterno (almeno 10°C).
- Nel caso si adottino tecniche di analisi dei dati di tipo "black-box", occorre che le misure siano effettuate quando le variabili monitorate presentano variazioni temporali accentuate (condizioni al contorno fortemente dinamiche caratterizzate da forti escursioni termiche di – notte ma sempre tali da mantenere un differenza di temperatura interno – esterno di 10°C che dipendono fortemente dal luogo ove viene eseguita la misura).



SPECIALISTI NELLE ANALISI DI DISPERSIONI ENERGETICHE
TERMOFLUSSIMETRIA – TERMOGRAFIA- BLOWER DOOR TEST
Strumenti e Servizi
Sistemi Integrati per la verifica dei consumi energetici.

LA MISURA IN OPERA – Il metodo HFM - cautele

Verificare l'assenza di anomalie all'interno della parete nella zona di misura (controllo termografico preventivo e durante la posa in opera dei sensori).

- Assicurare il buon contatto termico fra superfici della parete ed i sensori.
- Posizionare il termoflussimetro (sensore a piastra di flusso) sulla faccia interna della parete.
- Usare due sensori collocati in posizioni diverse per la misura delle temperature superficiali (assumere il valor medio).
- Evitare l'irraggiamento solare diretto sui sensori.
- Effettuare la misura in periodi in cui il ΔT sia elevato
- Nel caso di analisi dei dati con tecniche "black-box" assicurare condizioni al contorno dinamiche.

LA MISURA IN OPERA – Il metodo HFM – strumenti tradizionali e strumenti innovativi (wireless)

- La strumentazione tradizionale prevede che i sensori di misura ed il data logger che registra i dati siano collegati attraverso cavi che pur di lunghezza generosa rendono alquanto scomodo ed improbabile un posizionamento del sensore proprio punto individuato dal tecnico ed in alcuni nei casi costringono a lasciare una finestra socchiusa che potrebbe falsare la misura in opera.
- L'implementazione di una misura in opera da eseguire in più punti contemporaneamente richiede l'utilizzo di tanti data logger tradizionali quanti sono i punti in cui eseguire la misura in opera della trasmittanza.

La strumentazione innovativa prevede che i sensori di misura ed il data logger registra i dati siano collegati con una rete wireless che rende alquanto comodo ed facile un posizionamento del sensore proprio nel punto individuato dal tecnico senza alcuna necessità di lasciare una finestra socchiusa che potrebbe falsare la misura in opera.

L'implementazione di una misura in opera da eseguire in più punti contemporaneamente richiede l'utilizzo di un solo data logger innovativo (wireless) e di due nodi wireless per ciascun punto in cui eseguire la misura in opera della trasmittanza consentendo una facile espandibilità e flessibilità del sistema innovativo.



SPECIALISTI NELLE ANALISI DI DISPERSIONI ENERGETICHE
TERMOFLUSSIMETRIA – TERMOGRAFIA- BLOWER DOOR TEST
Strumenti e Servizi
Sistemi Integrati per la verifica dei consumi energetici.

IL METODO DELLE MEDIE PROGRESSIVE

- Si possono utilizzare due tecniche di analisi dei dati sperimentali:
 - a) il metodo delle medie progressive
 - b) il metodo dell'identificazione "black-box"
- La tecnica a) consiste nell'impiegare opportuni valori medi temporali delle grandezze monitorate determinati sulla base di un periodo di monitoraggio sufficientemente lungo ed è una procedura che fornisce prestazioni affidabili, ma presenta il non trascurabile difetto di richiedere periodi di monitoraggio lunghi (almeno 72 ore secondo ISO 9869:1994 per garantire l'ottenimento di valori medi significativi (e quindi risultati con precisioni soddisfacenti).
- Più è alta l'inerzia termica (pareti "pesanti") o più è bassa la trasmittanza termica della parete (trasmittanza termica inferiore a $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) sotto analisi più dovrà essere protratta nel tempo l'acquisizione delle grandezze.

COMMENTI CONCLUSIVI - 1

- La misura della trasmittanza in opera con i termoflussimetri appare affidabile, relativamente economica e facile da sviluppare in pratica,
- La strumentazione necessaria è poco ingombrante e robusta (si possono lasciare in campo i sistemi di misura per i periodi necessari allo svolgimento dei monitoraggi),
- L'elaborazione dei dati con la procedura delle medie progressive o mobili (ISO 9868) è affidabile e facile da sviluppare fornendo buone garanzie sull'ottenimento di risultati significativi, ma presenta lo svantaggio di richiedere tempi di misura relativamente lunghi, specie nel caso di pareti molto pesanti o comunque caratterizzate da bassa trasmittanza.

COMMENTI CONCLUSIVI - 2

- L'elaborazione dei dati mediante l'approccio black-box presenta il vantaggio di richiedere, generalmente, monitoraggi più brevi (se confrontati con il metodo delle medie progressive o mobili). Tuttavia, trattandosi di una tecnica puramente numerica, vi sono maggiori rischi di una non convergenza della soluzione del problema. Inoltre, in alcuni casi, può accadere che i risultati della procedura siano affetti da forti errori e/o non siano significativi dal punto di vista fisico.

LA PROCEDURA SUGGERITA

- 1) rilevare i profili delle grandezze di interesse per almeno 72 – 96 ore;
- 2) elaborare i dati sperimentali mediante la tecnica delle medie mobili.