

Versione 1 – ottobre 2013

La misura della trasmittanza in opera



Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
 via Savona 1/B, 20144 Milano - tel 02 89415126 - fax 02 58104378
 www.anit.it - info@anit.it

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

LE GUIDE ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **sintesi, guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro...

I **SOCI ANIT** possono scaricare gratuitamente tutti i documenti, costantemente aggiornati, dal sito www.anit.it



ASSOCIATI ANCHE TU!

I soci ANIT ricevono:

- Costante **aggiornamento legislativo e normativo**
- **Software** per il calcolo delle prestazioni termiche e acustiche degli edifici
- Abbonamento alla rivista **Neo-Eubios**
- Un volume a scelta della collana ANIT **“L'isolamento termico e acustico”**
- **Sconti e convenzioni**
- ... e molto altro!

Le quote associative per i SOCI INDIVIDUALI per l'anno 2013 sono

- NUOVI SOCI: € 135 + IVA
- NUOVI SOCI iscritti a **Ordini Professionali Soci Onorari ANIT**: € 100 + IVA
- RINNOVI (dal 2012 al 2013): € 85 + IVA

Per maggiori informazioni vai su www.anit.it

Tutti i diritti sono riservati.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

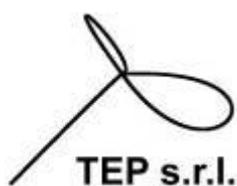
Il contenuto di questo documento sono curati da ANIT. Le informazioni sono da ritenersi comunque indicative ed è necessario sempre riferirsi ai documenti ufficiali. Sul sito www.anit.it sono disponibili i testi di legge.

Edito da TEP srl, Via Savona 1/B – 20144 Milano

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.1	<i>La strumentazione di misura</i>	5
2.2	<i>Incertezza di misura della strumentazione</i>	6
2.3	<i>Periodo di misura</i>	7
2.4	<i>Rielaborazione dati con medie progressive</i>	9
3	TECNICHE D'INDAGINE E POSA DEI SENSORI	11
3.1	<i>Posizionamento dei sensori</i>	11
3.2	<i>Schermatura della piastra termoflussimetrica</i>	12
3.3	<i>Effetto dell'irraggiamento solare diretto (esterno ed interno)</i>	13
4	CASI DI STUDIO DELLA CAMPAGNA DI MISURA	17
4.1	<i>Parete non isolata – edificio esistente</i>	17
4.2	<i>Parete isolata – edificio esistente</i>	19
4.3	<i>Parete molto isolata – edificio ad energia quasi zero</i>	21
5	CONCLUSIONI	23

Realizzato da:



Con il patrocinio di:



1 PREMESSA

Dal 2005 il mercato edile ha visto l'introduzione delle indagini termoflussimetriche in edilizia con l'avvento dei temi della certificazione energetica degli edifici, della diagnosi energetica e dei casi di contenzioso relativi alla conformità del costruito con il progettato ed è quindi cresciuta la richiesta di approfondimento sulle possibilità di indagine e la sensibilità in merito alle questioni di misura del livello di isolamento termico delle strutture.

Nel corso del 2004 e in conclusione nel luglio 2005, Anit ha commissionato al Politecnico di Torino, dipartimento Dener, uno studio dedicato alla misura della trasmittanza in opera, della strumentazione adeguata, delle condizioni di utilizzo e dei successivi possibili metodi di rielaborazione dati.

Successivamente Tep, società di servizi di Anit, ha eseguito misure di trasmittanza termica, di sfasamento termico e di trasmittanza termica periodica, oltre che di diagnostica igrotermica dal 2005; misure in cantiere, in edifici riscaldati, condizionati, in camere climatiche, su manufatti realizzati ad hoc, misure per R&S di prodotti e per diagnosi e certificazioni energetiche, integrando le conoscenze derivanti dallo studio del Politecnico e dalla norma ISO 9869 con l'esperienza maturata in campo con più di 150 misure.

Sulla base dell'esperienza maturata e in collaborazione con Testo, un'azienda che produce e commercializza la strumentazione per la misura della trasmittanza in opera, si è realizzato il presente documento con l'intento di evidenziare alcune criticità e opportunità legate all'impiego della strumentazione e per fare il punto sulla misura della trasmittanza in opera.

In particolare si vuole:

- evidenziare l'efficacia delle misure di trasmittanza in opera
- individuare le accortezze necessarie alla posa
- mostrare le modalità operative indicate dalle norme di riferimento
- proporre un'analisi critica dei dati misurati alternativa e basata sull'esperienza in campo
- supportare il professionista con alcuni casi di studio

Di fondo si ritiene che la misura delle grandezze che sono considerate a livello di progettazione e di diagnosi dai professionisti possa portare ad una maggiore consapevolezza operativa che migliori la qualità dell'ambiente costruito.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La letteratura e la norma di riferimento ISO 9869 “Thermal insulation – Building elements – in Situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance” pongono l’attenzione su diversi aspetti che caratterizzano una misura a regola d’arte della trasmittanza o della conduttanza termica:

- le caratteristiche della strumentazione di misura
- errori di misura
- le modalità di posa della strumentazione
- l’acquisizione dei dati
- la rielaborazione dei dati

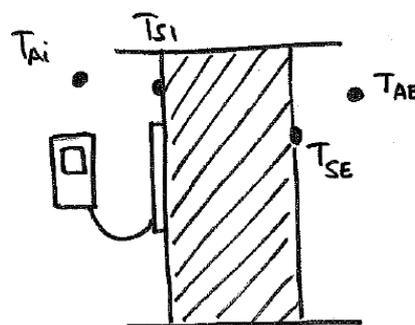
Se la misura riguarda i dati di temperatura dell’aria, il risultato è la trasmittanza in opera U , se la misura riguarda le temperature superficiali, il risultato è la conduttanza C . Per semplicità si farà riferimento nel presente documento sempre alla misura della trasmittanza in opera U .

2.1 La strumentazione di misura

La strumentazione da impiegarsi è:

- una sola piastra termoflussimetrica per la valutazione del flusso termico in W/m^2 entrante o uscente;
- sonde di temperatura per le superfici della parete o per l’aria nei pressi della parete;
- 1 acquirente dati per registrare nel tempo i valori delle sonde descritte.

Per quanto riguarda la strumentazione, si evidenzia che i termoflussimetri sono costituiti da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile.



La differenza di temperatura attraverso tale strato viene misurata da un insieme di termocoppie collegate in serie (termopila) che hanno il compito di amplificare il piccolo segnale elettrico prodotto dalla singola termocoppia (la differenza di temperatura a cavallo del sottile strato è ridotta a causa della resistenza termica piuttosto piccola e del flusso termico piuttosto basso che attraversa le pareti edilizie). Il tutto è racchiuso da un involucro protettivo a prova di umidità e con buone caratteristiche meccaniche. In tal modo, rilevando la temperatura su entrambi i lati del sensore stesso (che dipende dal flusso che attraversa la piastra), attraverso un’opportuna curva di taratura, si ottiene una valutazione del flusso termico.

La piastra termoflussimetrica per le misure in campo ha in genere uno spessore di qualche mm ed è realizzata in materiale plastico rigido o flessibile (ad esempio silicone).

Può avere forma circolare, quadrata o rettangolare, ed un’area che misura da un minimo di 100 mm^2 . Il sensore deve essere opportunamente accoppiato, dal punto di vista termico, all’elemento da analizzare, in modo, cioè da non introdurre resistenze di contatto, e deve essere connesso ad un apparato di registrazione dati (datalogger). 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%.

2.2 Incertezza di misura della strumentazione

L'incertezza di misura è principalmente legata alla piastra termoflussimetrica che aggiunge una resistenza termica alla struttura oggetto di indagine.

Il flusso termico misurato infatti φ' è diverso rispetto a quello che attraversa la parete φ poiché è frutto anche della resistenza termica della piastra e di quella di contatto tra piastra e struttura:

$$\varphi' = \frac{\Delta T}{R'_p} = \frac{\Delta T}{R_p + R_s + R_c}$$

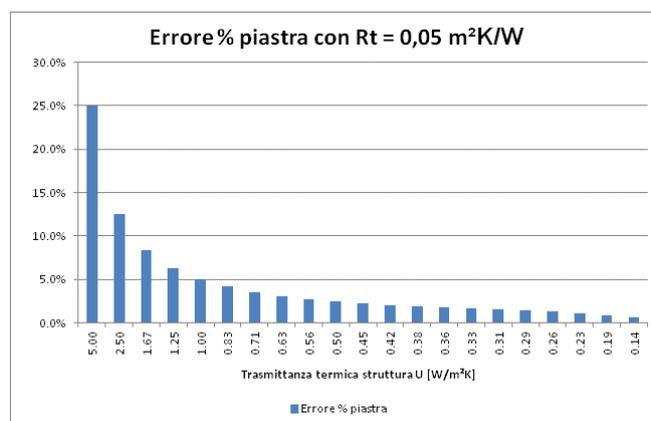
Dove:

- R_p è la resistenza termica della parete;
- R_s è la resistenza termica della piastra;
- R_c è la resistenza termica di contatto.

La resistenza termica della piastra termoflussimetrica dovrebbe quindi avere un valore molto piccolo per non influenzare troppo il flusso termico. E' anche necessario garantire un minimo di resistenza di modo che le termocoppie della piastra possano misurare una differenza di temperatura apprezzabile.

Se la piastra è costituita da pochi mm di spessore e con valori di conduttività termica compresi tra 0.3 e 0.6 W/mK, i valori di resistenza termica sono compresi tra 0.01 e 0.06 m²K/W. L'errore relativo è quindi legato al tipo di parete che si sta analizzando: maggiore l'isolamento termico della struttura, minore l'errore relativo poiché la resistenza della piastra influenza poco la misura.

Fino a che punto è possibile impiegare questi strumenti per valutare la trasmittanza? Il grafico evidenzia l'errore relativo di misura al variare della trasmittanza termica della struttura: su strutture esistenti non isolate l'errore è intorno all'otto per cento, per strutture maggiormente isolate l'errore si riduce, ma diminuisce anche la grandezza misurata (ovvero i W che attraversano la parete).



Errore % relativo della piastra in funzione della trasmittanza termica della struttura

Stabilita quale strumentazione è da impiegare e quale l'origine dell'errore principale, per quanto tempo è necessario valutare in campo le temperature e i flussi termici?

2.3 Periodo di misura

La norma suggerisce un periodo di misura che dipende dalla capacità termica aerica della struttura: se la struttura è considerabile “pesante” ovvero con una capacità superiore a 20 kJ/m²K il periodo di misura è pari a multipli interi di 24 ore e il monitoraggio può concludersi nel rispetto delle seguenti condizioni:

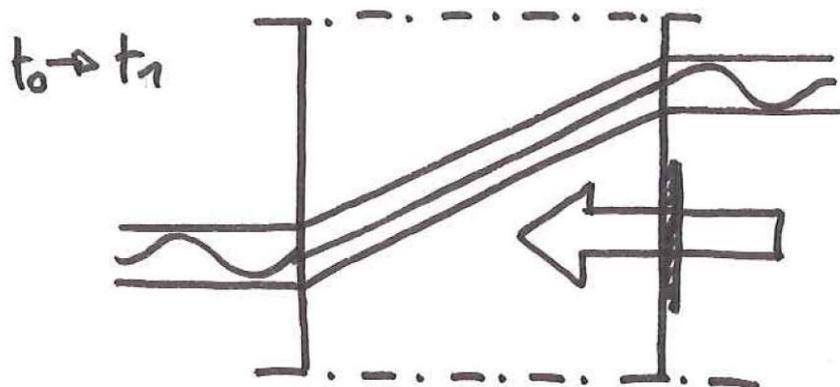
- periodo superiore alle 72 ore
- scarto massimo del 5% del valore di resistenza termica rispetto alle 24 ore precedenti
- ...ecc

Per strutture esistenti, sul territorio nazionale, caratterizzate da un’inerzia non elevata (quindi escludendo strutture in mattoni pieni o in pietrame), l’esperienza, oltre che l’indicazione della norma stessa, evidenzia che con gli opportuni accorgimenti, il periodo minimo indicato in precedenza, ai fini della diagnostica, può essere ridotto. Nei successivi paragrafi viene descritto cosa s’intende per “opportuni accorgimenti”.

Il punto di partenza di questa considerazione è che se sono valide le seguenti condizioni la misura istantanea della trasmittanza termica è considerabile verosimile:

- la struttura è termicamente carica;
- le condizioni dell’ambiente interno ed esterno sono stabili prima e durante la misura;
- non sono presenti elementi disturbanti (moti convettivi o conduttivi sui sensori o irraggiamento causato da sorgenti non coerenti con l’ambiente);
- il flusso termico misurato dipende dalla differenza di temperatura superficiale interna ed esterna.

Quando sono presenti le condizioni di cui sopra la situazione al contorno della misura è quella in figura ovvero non è presente una dipendenza dal tempo (t_0 o t_1) e quindi la condizione è considerabile stazionaria:



Nelle misure in campo sono però presenti eventi, anche durante la stagione invernale, che variano le condizioni ideali e che devono essere tenuti in considerazione per una corretta elaborazione dei dati:

- aumento localizzato di energia termica radiativa e convettiva dall’ambiente interno (riscaldamento per effetto dell’impianto o per irraggiamento solare attraverso le superfici trasparenti);
- riduzione localizzata di energia termica radiativa e convettiva dell’ambiente interno (spegnimento dell’impianto).

Gli eventi descritti provocano una variazione della temperatura superficiale della piastra rivolta verso l’ambiente e quindi una variazione della misura di flusso.

2.4 Rielaborazione dati con medie progressive

Dalle misure si ottengono dati di flusso termico φ' e di temperatura interna ed esterna. Se i valori sono di temperatura superficiali si otterrà il valore di conduttanza termica C altrimenti di trasmittanza termica U.

Per valutare i valori in opera si utilizza il metodo delle medie progressive che “progressivamente” ottiene un valore derivante dalla rapporto delle medie dei valori di flusso e di differenza di temperatura misurati:

$$C = \frac{\sum_{j=1} \varphi'}{\sum_j (T_{sij} - T_{sej})} \quad U = \frac{\sum_{j=1} \varphi'}{\sum_j (T_{aij} - T_{aej})}$$

Dove:

- C è la conduttanza termica della struttura;
- T_{sij} è la temperatura superficiale interna j-sima;
- T_{sej} è la temperatura superficiale esterna j-sima;
- T_{aij} è la temperatura dell'aria interna j-sima;
- T_{aej} è la temperatura dell'aria esterna j-sima;
- φ' è il flusso termico j-esimo.

L'esempio di misura seguente (15 minuti di campionatura) evidenzia come, se il flusso e le temperature misurate sono rappresentativi dello scopo della misura (valutare la trasmittanza termica), le misure istantanee già indicano il comportamento della struttura. Il grafico mostra oscillazioni di temperatura superficiale interna (in rosso), esterna (in blu) e di flusso termico (in verde) che caratterizzano una misura eseguita su una parete con doppio tavolato in mattoni isolata in intercapedine durante due giornate invernali a Figino (MI).

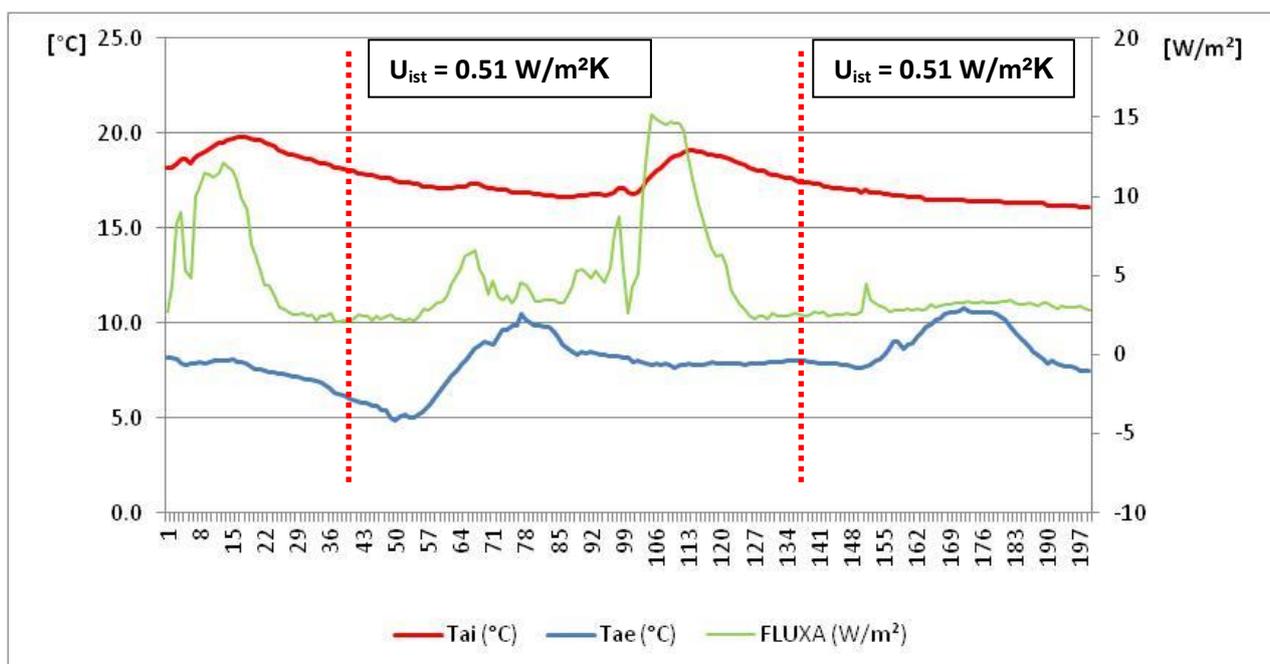


Grafico dei valori istantanei misurati

Elaborando i dati in modo progressivo, generalmente dopo un'oscillazione iniziale, il valore elaborato progressivamente tende a descrivere un asintoto orizzontale. Se le condizioni sono prossime alla stazionarietà la media progressiva restituisce un valore coerente con il valore istantaneo della misura durante il periodo. Nel grafico un esempio di rielaborazioni dati di una misura di 2 giorni.

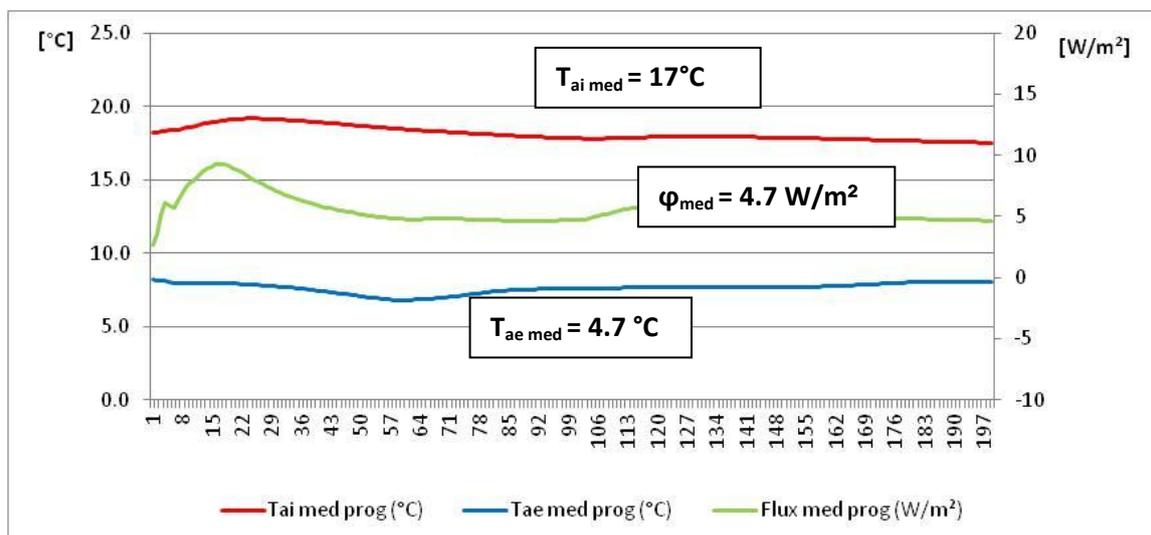


Grafico dei valori misurati con medie progressive

La rielaborazione dati con la media progressiva porta ad un valore di $U = 0.51\ W/m^2K$. Se si analizzano i dati istantanei è evidente che la condizione ottenuta sulla base del comportamento medio è una condizione che si verifica durante periodi relativamente stabili della misura: temperatura dell'aria esterna costante, temperatura dell'aria interna in lento raffreddamento e flusso termico relativamente stabile rispetto alle ore precedenti. Le oscillazioni repentine di temperatura che condizionano il flusso si avvertono nella valutazione media come leggero discostamento dall'asintoto orizzontale e quindi in pratica vengono "annegate" nel valore medio. Attenzione: se tali fenomeni sono frequenti e di elevata ampiezza, il valore medio potrebbe essere non molto rappresentativo dell'effettiva trasmittanza termica della struttura. E' quindi fondamentale posare la strumentazione in modo adeguato e schermata in modo corretto.

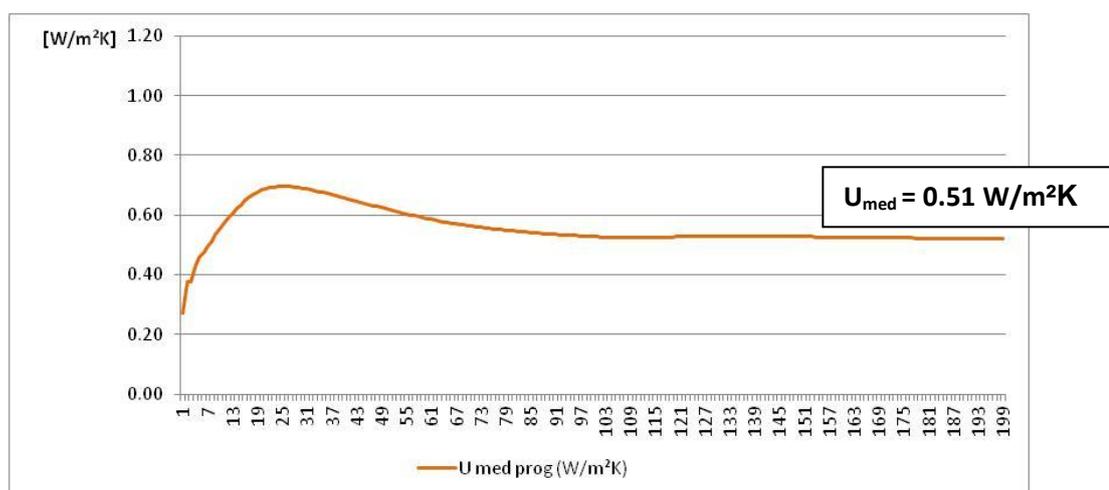


Grafico della trasmittanza termica con medie progressive

3 TECNICHE D'INDAGINE E POSA DEI SENSORI

3.1 Posizionamento dei sensori

Occorre quindi applicare i sensori in una porzione di superficie rappresentativa della "struttura corrente" che si desidera caratterizzare e, al fine di evitare effetti di bordo che possono introdurre errori notevoli nella misura, sono da evitare le zone vicine agli spigoli ed ogni altra zona della parete in cui si presentino delle anomalie di carattere fisico o geometrico (ad esempio ponti termici provocati da "gambette" di collegamento o da, interruzione dell'isolante, pilastri, etc.).

Per risolvere il problema della scelta del punto di misura occorre effettuare un sopralluogo accurato coadiuvati, ove possibile, da piante e sezioni del locale che permettano di individuare eventuali anomalie nascoste in quanto inglobate nella struttura, della parete (cavedii, pilastri, strutture portanti, condotti percorsi da fluidi caldi/freddi,...). Un aiuto prezioso in questa fase può essere rappresentato da una analisi preventiva con sistemi di termovisione all'infrarosso.

Segue un esempio d'indagine volta all'individuazione di un punto di posa rappresentativo della struttura privo di anomalie termiche:



Fotografia parete oggetto di indagine



Individuazione del corretto punto di posa grazie all'uniformità di distribuzione di temperatura

E' buona norma quindi:

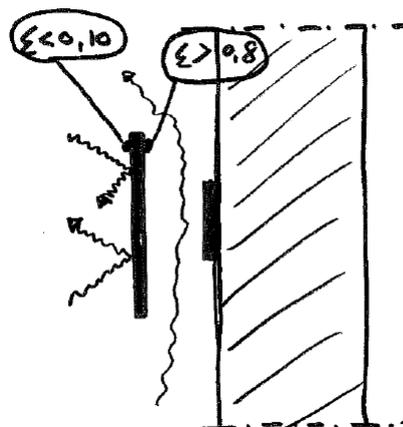
- posizionare il termoflussimetro sul lato interno della parete (per minimizzare gli effetti di disturbo della radiazione solare e per mantenere il sensore in un ambiente, meno "aggressivo");
- schermare la piastra termoflussimetrica con membrane basso-emissive.

Nella posa di tutti i sensori occorre curare la perfetta adesione del sensore stesso (termoflussimetro e/o termocoppia) con la superficie della parete. Ove possibile è raccomandabile l'impiego di "paste termiche" per ridurre la resistenza termica di contatto (naturalmente questo è possibile solo nei casi in cui non ci si debba preoccupare dello sporco, irreversibile, della superficie).

3.2 Schermatura della piastra termoflussimetrica

Il fissaggio dei sensori può essere effettuato con nastri adesivi di carta del tipo di quelli usati dai decoratori al fine di garantire un distacco senza problemi dello stesso al termine della misura. La situazione ottimale dal punto di vista dell'affidabilità dei risultati è che il materiale di fissaggio impiegato per la posa dei sensori presenti le medesime caratteristiche radiative delle superfici su cui si rilevano le grandezze (si sceglieranno, ove possibile, nastri con finitura, superficie diversa alluminio, colorati, da applicare, eventualmente, al di sopra del nastro di fissaggio di carta).

Per quanto riguarda la schermatura della piastra, la figura ne descrive le caratteristiche: superficie basso emissiva del lato rivolto all'esterno e superficie alto emissiva del lato rivolto verso la piastra; la schermatura deve essere posizionata in modo che non freni il passaggio di aria per evitare che crei un'intercapedine d'aria e quindi una resistenza termica aggiuntiva.



Schermatura con materiale basso emissivo di una piastra termoflussimetrica



Immagine esempio di una piastra termoflussimetrica e una sonda di temperatura superficiale e di temperatura ambiente (in dotazione al datalogger)



Schermatura con materiale basso emissivo di una piastra termoflussimetrica

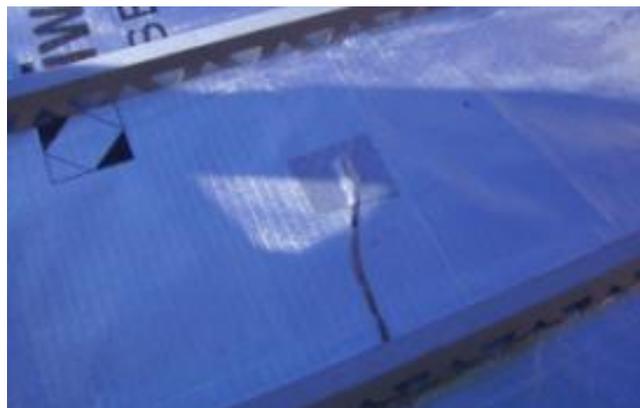
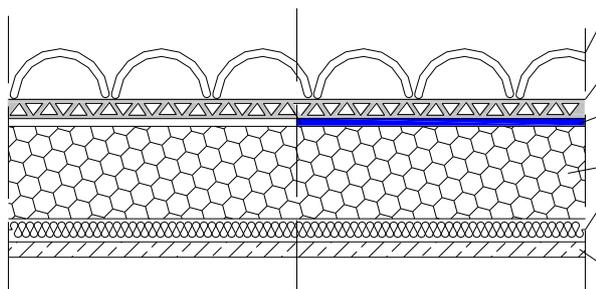
Affinché la misura sia adeguata è necessario conoscere non solo il comportamento della strumentazione rispetto alla trasmissione di calore sottoforma di radiazione termica interna, ma anche rispetto alla radiazione solare esterna.

3.3 Effetto dell'irraggiamento solare diretto (esterno ed interno)

Per avere una corretta misura di flusso è generalmente opportuno evitare che i sensori siano investiti direttamente dalla radiazione solare. Il diverso comportamento ottico, infatti, indurrebbe sensibili errori di misura: la sonda per effetto delle sue caratteristiche di assorbimento solare e di emissività avrà una temperatura differente da quella della superficie senza sonda. Per questo motivo è buona norma collocare sempre il termoflussimetro sulla faccia interna della parete. Occorrono cautele anche nella posa delle termocoppie e/o delle termoresistenze. In questo caso, poiché non è possibile evitare il posizionamento dei sensori sul lato esterno della parete, è opportuno:

- scegliere, quando possibile, una parete orientata verso nord o nord-est, oppure collocare il sensore in una zona di parete soggetta ad elevato ombreggiamento (o per ombre portate da edifici prospicienti o per ombre proprie dovute ad aggetti verticali/orizzontali);
- rivestire il sensore con materiali le cui caratteristiche ottiche siano simili a quelle della superficie di cui si vuole rilevare la temperatura superficiale (in questo modo l'elemento sensibile del trasduttore si troverà nelle medesime condizioni termiche della superficie e non si origineranno errori rilevanti anche in presenza di radiazione solare); la fotografia mostra un esempio di sensore con rivestimento superficiale di caratteristiche simili a quelle della copertura oggetto di indagine.

Esterno



Interno condizionato

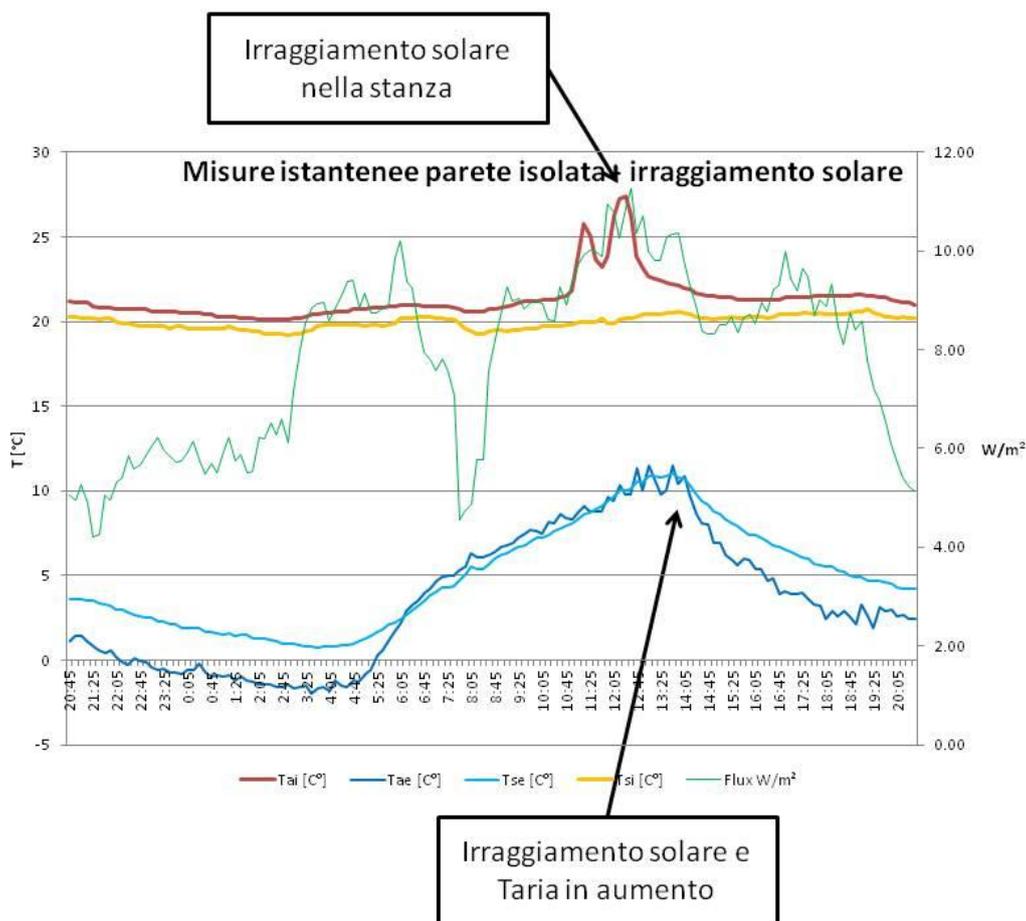
Stratigrafia di copertura oggetto di misura in opera con posizionamento di sonda di temperatura su membrana basso emissiva esterna posizionata nel sottotegola

Particolare relativo al rivestimento della sonda di temperatura esterna posizionata su membrana basso emissiva prima del posizionamento delle tegole

Segue un esempio di misura che mostra l'influenza dell'irraggiamento solare sul valore di trasmittanza misurato.

Esempio di misura di parete esistente con isolamento termico dall'interno:

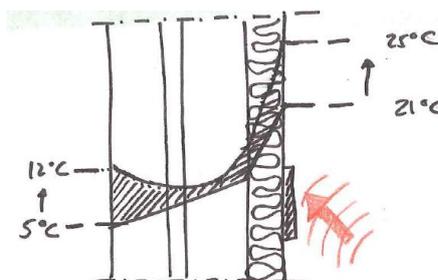
L'esempio di misura seguente evidenzia l'influenza dell'irraggiamento solare: l'innalzamento della temperatura esterna, interna e del flusso per effetto dell'irraggiamento solare. La parete è costituita da una struttura in doppio tavolato in laterizio con intervento di isolamento termico realizzato dall'interno e l'esposizione è sud-ovest. Le misure sono state condotte complessivamente per 4 giorni con sonde di temperatura dell'aria, superficiali e di flusso.



Misure con passo temporale di 10 min per 4 giorni

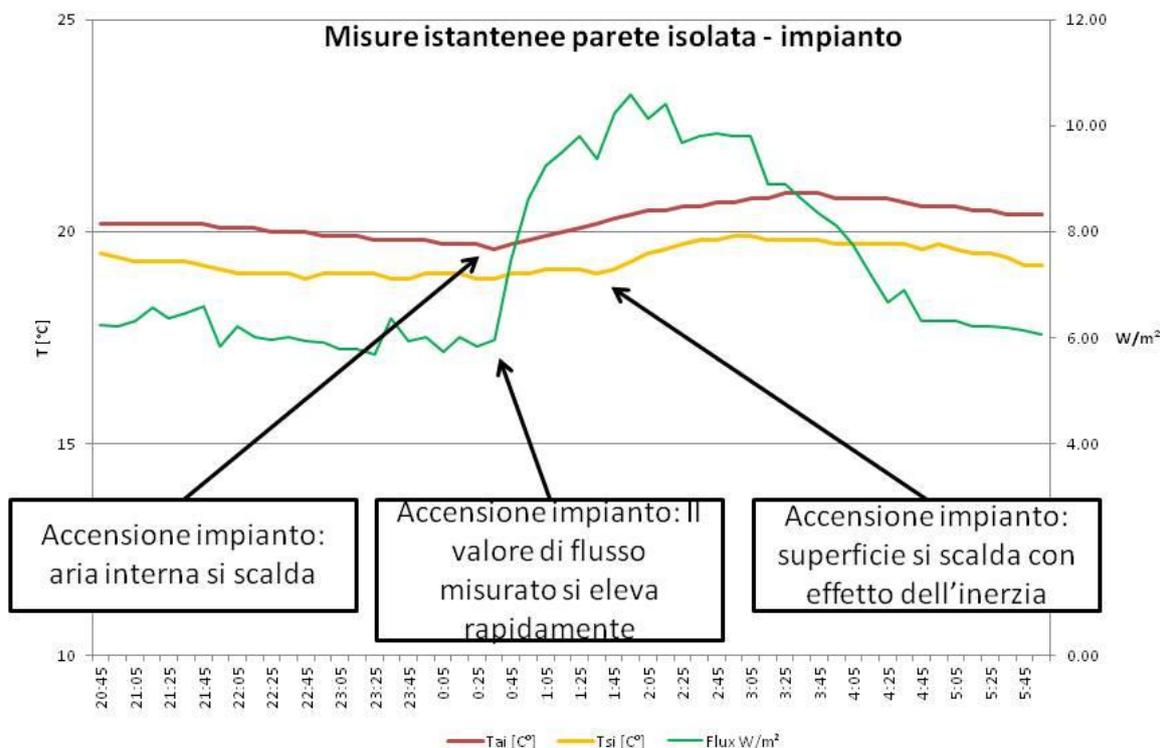
Come descritto in precedenza, per effetto dell'irraggiamento solare le superfici si scaldano e la piastra registra un aumento di flusso termico: ciò che si misura non è in quel momento rappresentativo del comportamento della struttura in termini di conduttanza poiché il flusso cresce repentinamente.

$$\frac{\phi}{\Delta T} = \frac{\gg \gg}{???} = U \gg \gg$$



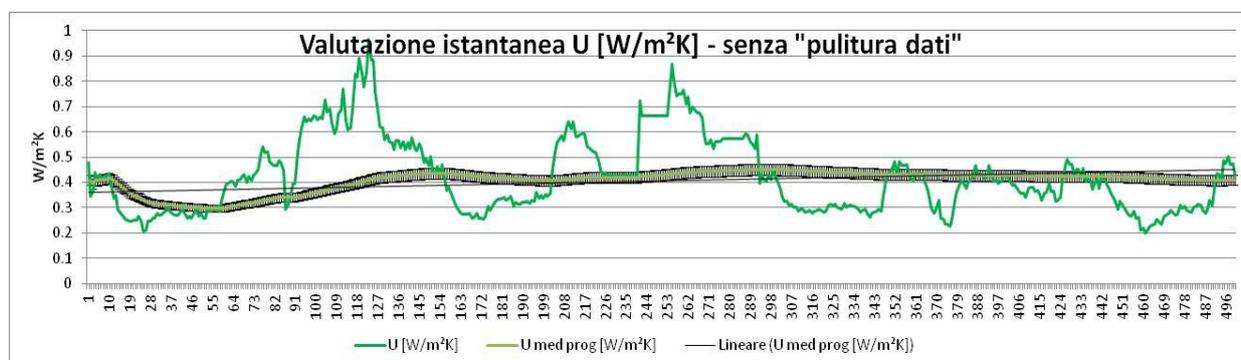
Accensione impianto di riscaldamento

L'accensione dell'impianto di riscaldamento ha degli effetti sulla temperatura dell'aria, superficiale e di flusso termico. Nei primi due casi la variazione è relativamente contenuta e di pochi °C, mentre il flusso passa da un valore di 6 W ad uno di 10 W. Il risultato sul comportamento istantaneo sarà una maggiorazione del valore di trasmittanza in opera.

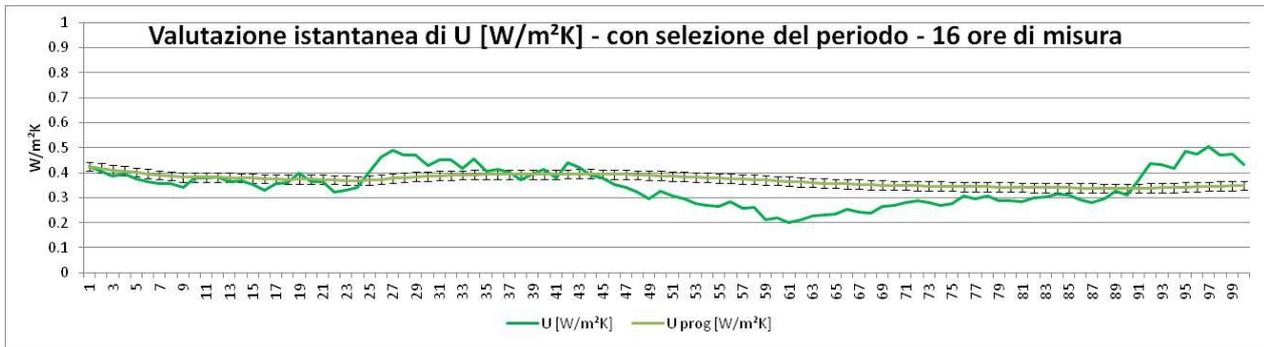


Si accende l'impianto: flusso termico in aumento, si spegne l'impianto flusso termico si riduce

Nel caso in esame rielaborando i dati si ottengono dei risultati diversi a seconda che se si considerino i giorni con irraggiamento solare che influenzano la temperatura superficiale interna: è il caso della rielaborazione senza "pulitura dati" con un valore di trasmittanza $U = 0.42 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre analizzando correttamente i dati (ovvero selezionando periodi di misura con oscillazioni contenute) il valore è $U = 0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ con una differenza del 16% ma più rappresentativo della stratigrafia indagata (e conosciuta).



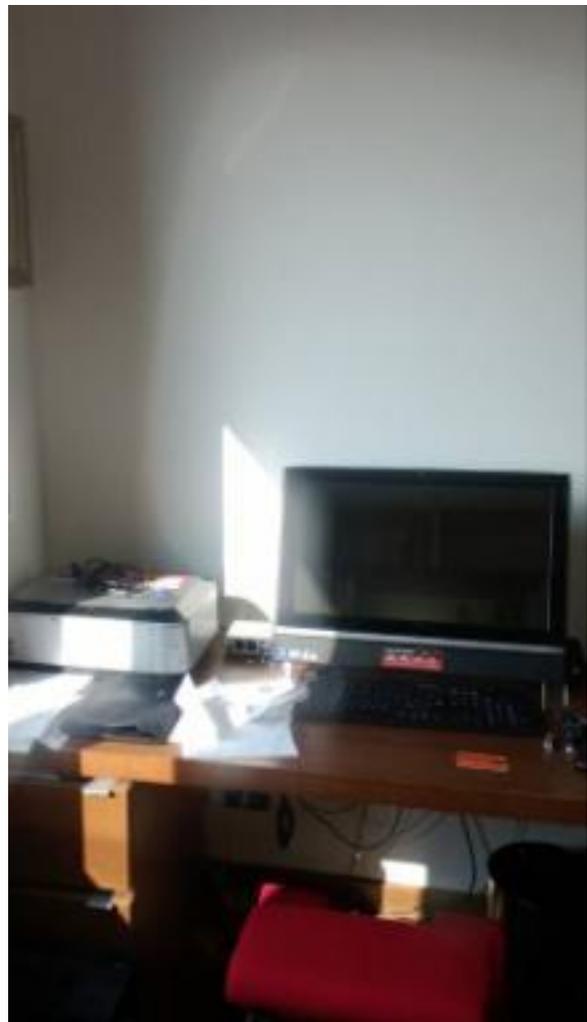
Misure con passo temporale di 10 min per 4 giorni



Analisi dei dati su un periodo di misura con dati relativamente stazionari



Posa della strumentazione e posizione della piastra termoflussimetrica, sonda superficiale e di temperatura dell'aria

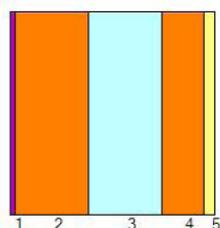


Ore 14:00 ingresso di energia solare e influenza sui sensori

4 CASI DI STUDIO DELLA CAMPAGNA DI MISURA

4.1 Parete non isolata – edificio esistente

La misura è stata realizzata dalle 20:00 del 4 febbraio alle 20:00 del 6 febbraio 2013 su una parete esposta a sud-ovest non isolata di un condominio esistente anni '60; la parete è costituita da un doppio tavolato di laterizi forati con un'intercapedine d'aria di circa 12 cm con una trasmittanza calcolata di circa 1.20 W/m²K.



Dati generali

Spessore totale	0,390 m
Massa superficiale	305,1 kg/m ²
Massa superficiale esclusi intonaci	277,1 kg/m ²
Resistenza	0,83 m ² K/W
Trasmittanza	1,202 W/m ² K

Parametri dinamici

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica	0,610 W/m ² K	0,545 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,507	0,453
Sfasamento	7h 23'	7h 45'
Capacità interna	52,8 kJ/m ² K	52,9 kJ/m ² K
Capacità esterna	98,1 kJ/m ² K	83,3 kJ/m ² K
Ammettenza interna	3,317 W/m ² K	3,363 W/m ² K
Ammettenza esterna	6,591 W/m ² K	5,580 W/m ² K



	Tipo	Materiale	Spessore [m]	Massa superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
1	VAR	Piastrelle in ceramica	0,010	23,0	0,01	2,000
2	MUR	Laterizi semipieni sp.14 cm.rif.1.1.05	0,140	192,0	0,24	1,400
3	INA	Camera non ventilata	0,140	0,1	0,18	0,140
4	MUR	Laterizi forati sp.8 cm.rif.1.1.19	0,080	62,0	0,20	0,400
5	INT	Intonaco di calce e gesso	0,020	28,0	0,03	0,200

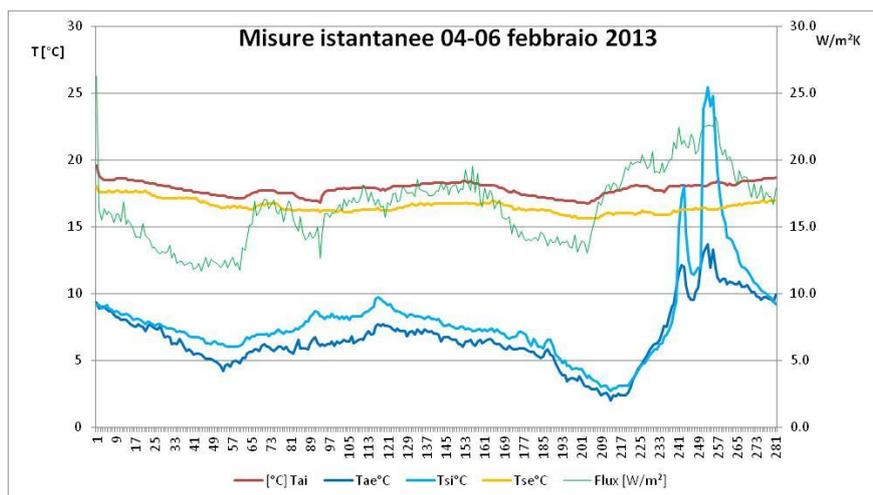
Calcolo predittivo parete esistente

Edificio oggetto di indagine

La strumentazione è stata posata con le accortezze indicate in precedenza. Il periodo di monitoraggio è favorevole essendoci temperature esterne dell'aria mediamente intorno ai 6 °C e temperature interne rappresentative di un ambiente riscaldato (18-20°C). La struttura non è isolata e quindi possiamo immaginare l'ordine di grandezza dell'energia uscente:

$$\phi' = (20 - 5) \cdot 1.2 = 18 \text{ W}$$

La misura è stata condotta per 3 giorni, ma la parete è esposta a sud-ovest. L'esposizione e l'irraggiamento solare innalzano la temperatura superficiale esterna solo nel terzo giorno con irraggiamento presente come evidenziato dal grafico.

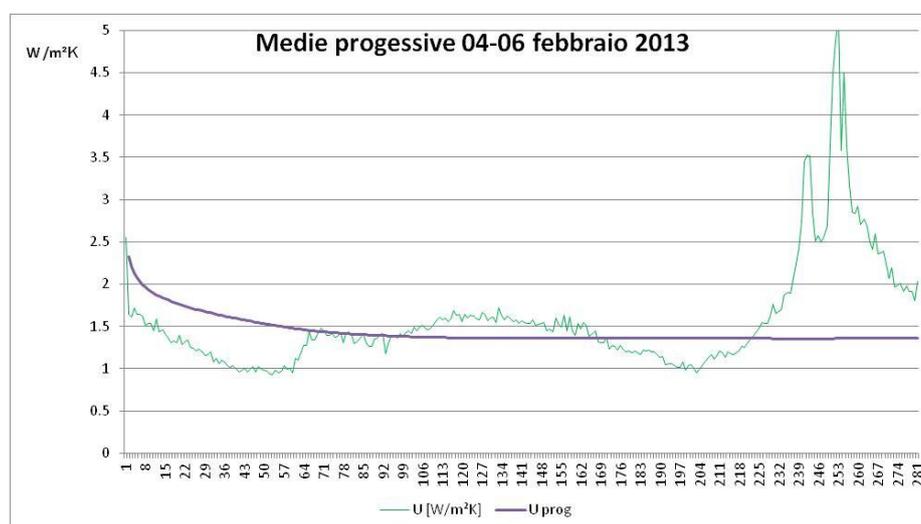


Misure con passo temporale di 10 min per 3 giorni – ultimo giorno irraggiamento solare

Elaborando i dati per mezzo del metodo delle medie progressive e non tenendo conto dell'influenza dell'irraggiamento solare esterno (evidenziato da un innalzamento del valore di conduttanza legato ad una differente differenza di temperatura) il valore di trasmittanza risultante di 1.37 W/m²K (vedi curva viola).

È opportuno quindi analizzare i dati disponibili in assenza di irraggiamento solare nei due giorni precedenti dove il comportamento della struttura è coerente con quanto ci si attende predittivamente per una struttura non isolata termicamente:

- temperatura superficiale esterna elevata
- temperatura superficiale interna ridotta
- flusso energetico elevato



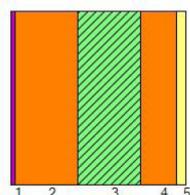
Elaborazione dati con metodo delle medie progressive

Fermando l'elaborazione al punto 210 la nuova rielaborazione porta a un valore di 1.36 W/m²K; considerato il valore di errore relativo della sola piastra pari al 6-7%, il risultato è coerente con il calcolo predittivo. È quindi evidente che per riuscire a valutare correttamente una struttura per il comportamento stazionario invernale è opportuno evitare l'irraggiamento solare, ma in questo caso l'influenza è ridotta.

4.2 Parete isolata – edificio esistente

La struttura è stata oggetto di insuflaggio e quindi si è proceduto rimisurandola nella stessa posizione pochi giorni dopo la prima misura in assenza di isolamento termico. Ma prima di effettuare la misure cosa ci si aspetta predittivamente?

- temperatura superficiale interna più vicina ai 20 °C;
- riduzione del flusso energetico in valore assoluto

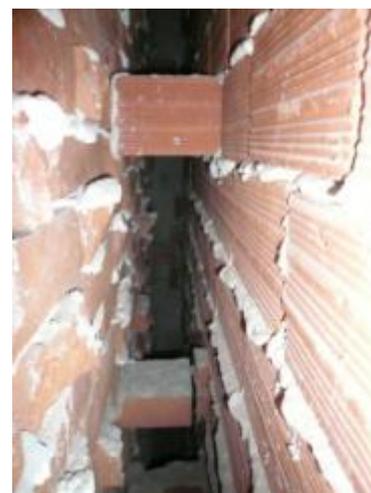


Dati generali

Spessore totale	0,390 m
Massa superficiale	309,6 kg/m ²
Massa superficiale esclusi intonaci	281,6 kg/m ²
Resistenza	4,24 m ² K/W
Trasmittanza	0,236 W/m ² K

Parametri dinamici

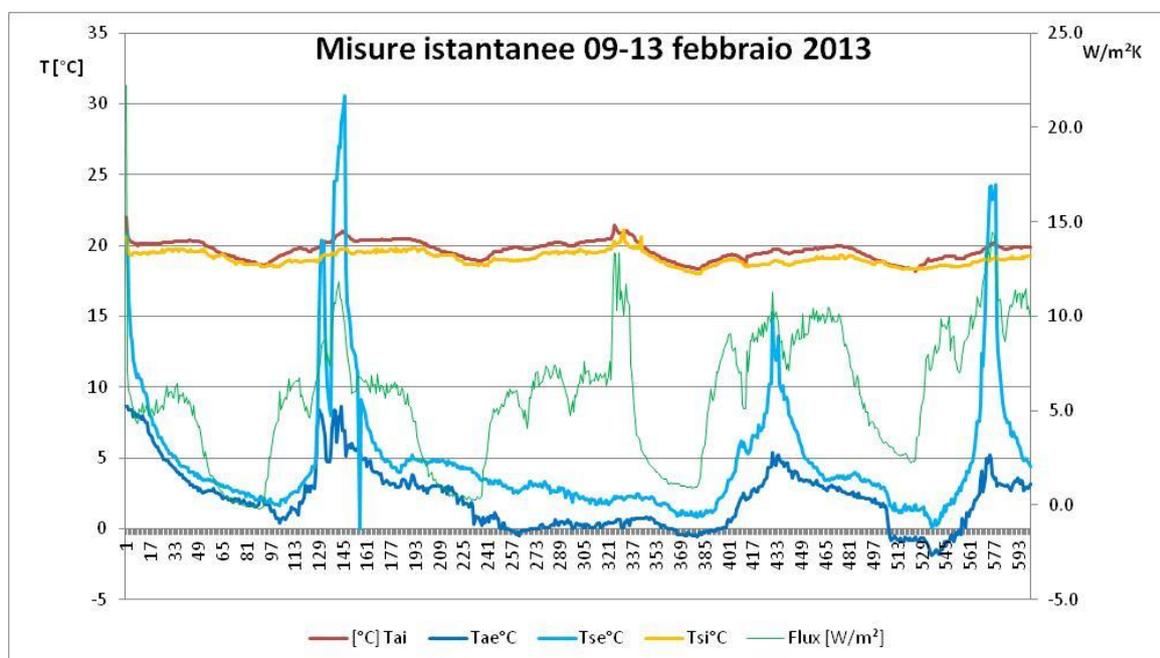
	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica	0,085 W/m ² K	0,073 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,362	0,309
Sfasamento	9h 50'	10h 17'
Capacità interna	52,5 kJ/m ² K	52,9 kJ/m ² K
Capacità esterna	96,9 kJ/m ² K	81,5 kJ/m ² K
Ammetenza interna	3,731 W/m ² K	3,781 W/m ² K
Ammetenza esterna	6,960 W/m ² K	5,857 W/m ² K



	Tipo	Materiale	Spessore [m]	Massa superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
1	VAR	Piastrelle in ceramica	0,010	23,0	0,01	2,000
2	MUR	Laterizi semipieni sp.14 cm.rif.1.1.05	0,140	192,0	0,24	1,400
3	ISO	fibra di cellulosa ETA	0,140	4,6	3,59	0,140
4	MUR	Laterizi forati sp.8 cm.rif.1.1.19	0,080	62,0	0,20	0,400
5	INT	intonaco di calce e gesso	0,020	28,0	0,03	0,200

Calcolo predittivo parete esistente

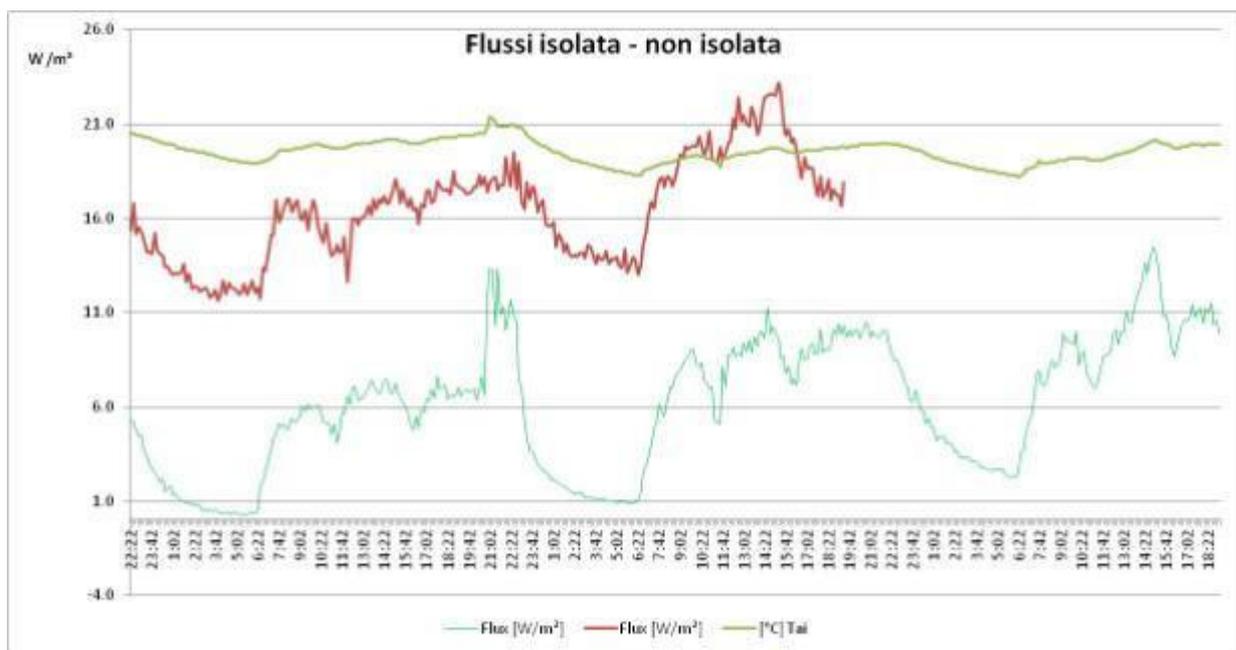
Intercapedine isolabile



Misure con passo temporale di 10 min per 4 giorni – primo e ultimo giorno con irraggiamento solare

La rielaborazione media progressiva porta a un valore di $U = 0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$. I dati di misura disponibili sono di non facile elaborazione poiché sono presenti,rispetto all'analisi precedente i seguenti punti critici:

- irraggiamento solare sulla superficie esterna;
- valori di flusso energetico con ampie oscillazioni: da quasi 0 W sino a più di 10 W. L'oscillazione del flusso "segue" con uno sfasamento relativo l'accensione e lo spegnimento dell'impianto di riscaldamento: la curva sale quando si carica l'ambiente e la parete e scende quando la parete si scarica e si raffredda l'ambiente;
- valori di flusso molto ridotti grazie all'elevato isolamento della struttura: errore relativo della piastra ridotto, ma il valore è vicino al fondo scala.

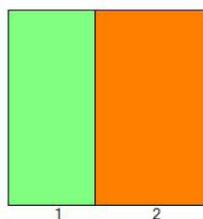


Misure con passo temporale di 10 min per 4 giorni – primo e ultimo giorno con irraggiamento solare

In questo caso quindi il dato rielaborato della misura ha un valore superiore a quello del calcolo predittivo e dovuto alle criticità precedentemente elencate. In assoluto la parete risulta molto isolata, la comparazione dei flussi termici che la attraversa mostra infatti un comportamento analogo ma ridotto di 10 $[\text{W/m}^2]$.

4.3 Parete molto isolata – edificio ad energia quasi zero

In un edificio riqualificato energeticamente ad energia quasi zero con un isolamento termico costituito da 22 cm di cappotto in EPS, dai calcoli predittivi il valore di trasmittanza termica è $U = 0.145 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed è un valore predittivo molto raffinato dato che è contraddistinto da una certa rappresentatività del valore di lambda del materiale isolante.



Dati generali

Spessore totale	0,500 m
Massa superficiale	390,5 kg/m ²
Massa superficiale esclusi intonaci	390,5 kg/m ²
Resistenza	6,92 m ² K/W
Trasmittanza	0,145 W/m ² K

Parametri dinamici

	Valori invernali	Valori estivi
Trasmittanza periodica	0,016 W/m ² K	0,016 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,108	0,109
Sfasamento	12h 35'	12h 35'
Capacità interna	55,1 kJ/m ² K	56,1 kJ/m ² K
Capacità esterna	3,8 kJ/m ² K	3,8 kJ/m ² K
Ammetenza interna	3,995 W/m ² K	4,070 W/m ² K
Ammetenza esterna	0,269 W/m ² K	0,268 W/m ² K

	Tipo	Materiale	Spessore [m]	Massa superficiale [kg/m ²]	Resistenza [m ² K/W]	Spessore equivalente d'aria [m]
1	ISO	EPS additivato con grafite	0,220	5,5	6,29	11,000
2	MUR	Laterizi semipièni sp.28 cm.rif.1.1.05	0,280	385,0	0,46	4,200



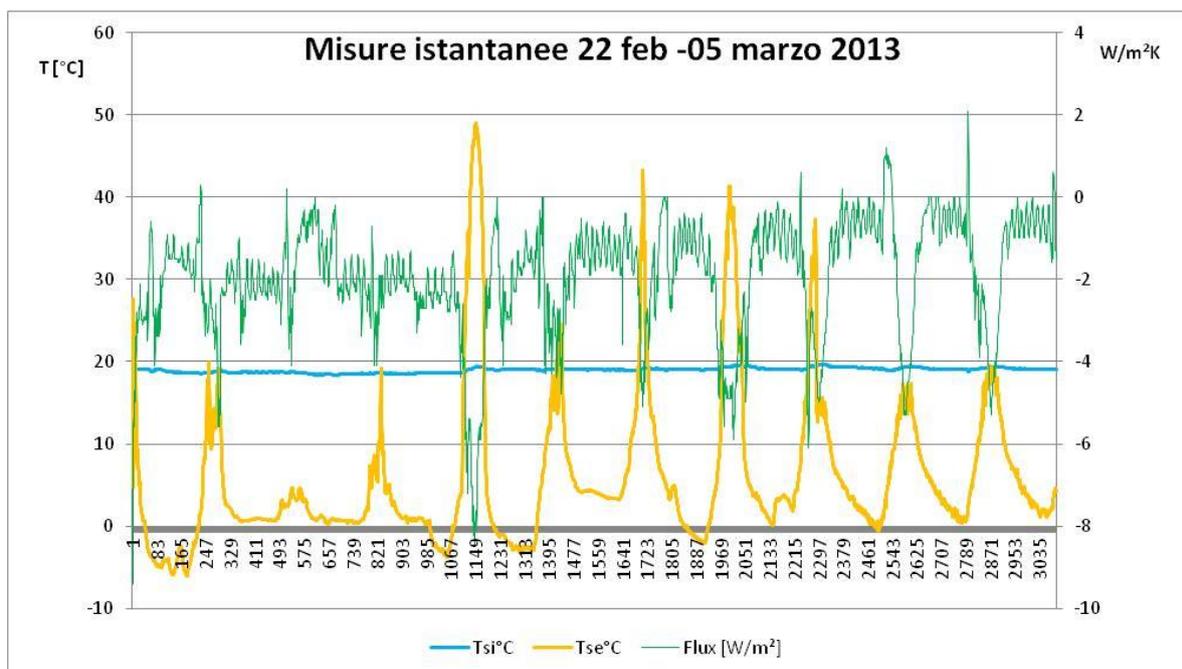
Calcolo predittivo parete isolata con 22 cm di EPS

Immagini di Casakyoto

La strumentazione è stata posata con le accortezze indicate in precedenza. Il periodo di monitoraggio è favorevole essendoci temperature esterne dell'aria mediamente intorno ai 0 °C e temperatura interna rappresentative di un ambiente riscaldato costantemente (20°C). La struttura è molto isolata e quindi possiamo immaginare l'ordine di grandezza dell'energia uscente:

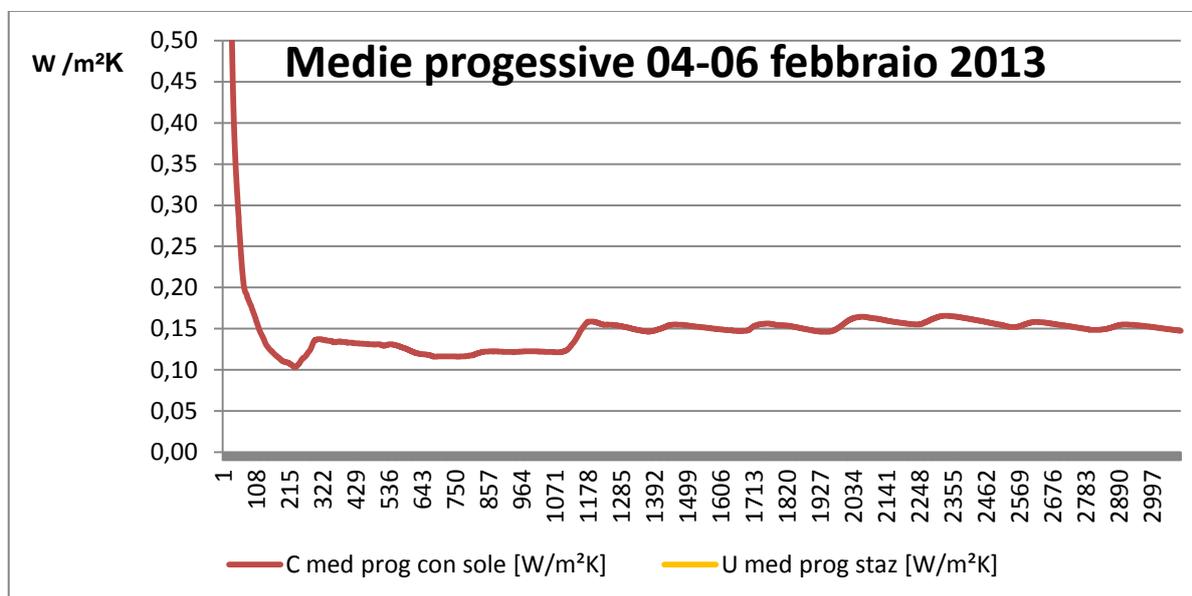
$$\phi' = (20 - 0) \cdot 0.145 = 3 \text{ W}$$

La misura è stata condotta per molti giorni e la parete è esposta a sud-ovest. L'esposizione e l'irraggiamento solare innalzano la temperatura superficiale esterna e interna e il valore di flusso termico; l'irraggiamento solare infatti condiziona anche l'ambiente interno e quindi sul grafico in corrispondenza dell'innalzamento della temperatura superficiale esterna ($T_{se} > 45 \text{ °C}$ – picchi della curva gialla) è evidente anche l'innalzamento del valore di flusso energetico misurato uscente (l'ambiente di sta caricando).



Misure con passo temporale di 10 min per 10 giorni

Non tenere conto di tale aspetto comporta un'errata valutazione della conduttanza della struttura: nel grafico delle medie progressive emerge chiaramente la variazione di trasmittanza nel punto 1129 (del grafico sopra) quando iniziano i giorni di sole.



Misure con passo temporale di 10 min per 4 10 giorni – influenza irraggiamento solare dalla misura 1178.

Il valore corretto di conduttanza maggiormente rappresentativo è quindi quello valutato sino alla misura 1071 del grafico.

Per meglio spiegare quanto accaduto seguono le immagini che evidenziano la differenza di misura del flusso a parità di struttura opaca: nell'immagine B, l'irraggiamento solare trasferisce energia non solo sulla superficie esterna della struttura, ma anche all'ambiente interno; l'energia trasferita all'ambiente interno influenza la lettura del flusso termico aumentandolo.

Il risultato è che a parità di struttura nell'immagine B si avrà un maggiore flusso e quindi una maggiore conduttanza.

In questo caso si sta misurando una quantità non coerente con lo scopo, ovvero il flusso non è frutto principalmente della differenza di temperatura dell'aria interna e dell'aria esterna (come avviene nell'immagine A). E' quindi molto importante un ragionamento approfondito su cosa si sta misurando. Successivamente al cosa c'è l'errore di misura nelle percentuali spiegate.

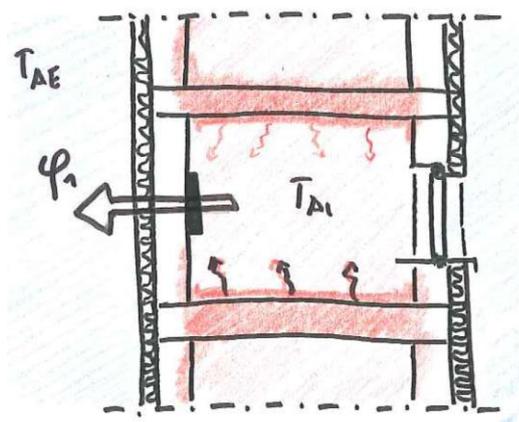


Immagine A – flusso che dipende da delta T

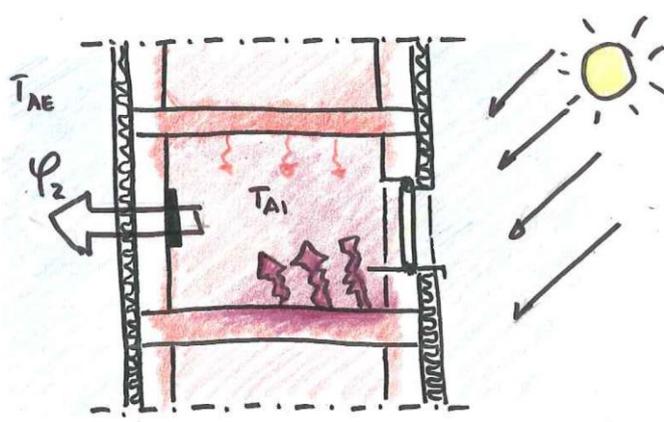


Immagine B – flusso che non dipende "solo" da delta T

5 CONCLUSIONI

- la strumentazione deve essere composta da piastra termoflussimetrica e sonde di temperatura interna ed esterna;
- la vera incertezza della misura non è in quella dello strumento, ma nell'aver idonee condizioni di misura e quindi l'incertezza è su cosa si sta misurando;
- è preferibile un'indagine termografica per stabilire i corretti punti di posa;
- la misura del flusso è la chiave di lettura della misura; per analizzare correttamente dei dati è necessario una prima analisi e selezione ragionata per avviare la successiva rielaborazione;
- ragionare sui dati e sulla loro coerenza con quanto ci si aspetta è una parte fondamentale dell'indagine con strumentazione.



ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

ANIT

- diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici
- promuove la normativa legislativa e tecnica
- raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche relative all'isolamento termico ed acustico
- promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato.

I soci **ANIT** si dividono nelle categorie

- **SOCI INDIVIDUALI**: Professionisti, studi di progettazione e imprese edili.
- **SOCI AZIENDA**: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico.
- **SOCI ONORARI**: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini professionali.

ASSOCIATI ANCHE TU!

I soci ANIT ricevono:

- Costante **aggiornamento legislativo e normativo**
- **Software** per il calcolo delle prestazioni termiche e acustiche degli edifici
- Abbonamento alla rivista **Neo-Eubios**
- Un volume a scelta della collana ANIT **"L'isolamento termico e acustico"**
- **Sconti e convenzioni**
- ... e molto altro!

Le quote associative per i SOCI INDIVIDUALI per l'anno 2013 sono

- NUOVI SOCI: € 135 + IVA
- NUOVI SOCI iscritti a **Ordini Professionali Soci Onorari ANIT**: € 100 + IVA
- RINNOVI (dal 2012 al 2013): € 85 + IVA

Per maggiori informazioni vai su

www.anit.it