

MISURA DELLA RESISTENZA TERMICA DI UN CAMPIONE IN MURATURA

Cinzia Buratti, Elisa Moretti

Università degli Studi Perugia - Dipartimento di Ingegneria Industriale
Via G. Duranti 67, 06125 Perugia.
Tel: +39-075-5853693; Fax: +39-075-5853697;
e-mail: cburatti@unipg.it, moretti.unipg@ciriaf.it

SOMMARIO

La conoscenza delle prestazioni termiche dei componenti per l'edilizia risulta sempre più indispensabile in fase di progettazione, anche alla luce del Decreto Legislativo 311/2006, che pone limiti assai restrittivi per la trasmittanza termica. Accanto alla stima teorica (UNI EN ISO 6946), in alcuni casi risulta importante la misura in laboratorio, indispensabile in particolari applicazioni, soprattutto nella fase di ricerca e messa a punto di strutture innovative o non omogenee.

Il presente lavoro ha per oggetto la valutazione sperimentale dell'isolamento termico di una parete per tamponature esterne, costituita da due fodere in laterizio con intercapedine d'aria e poliuretano applicato a spruzzo. Per determinare la resistenza termica del campione si è messa a punto un'apposita metodologia di misura, seguendo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN 1934 del 2000. La determinazione di un valore attendibile di resistenza termica ha richiesto l'esecuzione di sei prove, per una durata complessiva di acquisizione dei dati pari a circa 365 ore.

La resistenza termica da superficie a superficie della parete in esame è risultata pari a circa $1,32 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$, cui corrisponde un valore di trasmittanza termica U di $0,67 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, superiore a quello teorico, stimato sulla base della stratigrafia della parete mediante la norma UNI EN ISO 6946, pari a $0,53 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.

Nel corso delle prove si è potuto verificare l'effetto sensibile dell'irraggiamento generato dalle stufe impiegate nella camera calda, anche se schermate, sul valore del flusso termico misurato dai termoflussimetri. La schermatura di uno dei flussimetri mediante materiale con bassa emissività (foglio di alluminio) ha infatti provocato una sensibile riduzione del valore del flusso rilevato: applicando tale correzione ai flussi misurati si può stimare una trasmittanza di $0,56 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$, risultato molto vicino a quello calcolato per via teorica.

Le numerose prove effettuate e un'attenta analisi dei risultati hanno consentito di evidenziare le criticità del metodo, quali l'individuazione delle giuste condizioni al contorno per il soddisfacimento delle verifiche imposte dalla norma, in particolar modo quelle sul flusso di sbilanciamento, che risulta una fase impegnativa, a causa dei lunghi tempi necessari.

INTRODUZIONE

Con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo 311/2006 [1], che pone le basi per la certificazione energetica degli edifici, sono prescritti per le costruzioni di nuova realizzazione o in ristrutturazione limiti sempre più restrittivi relativamente alle prestazioni termiche dei componenti dell'involucro edilizio, quali pareti opache, vetrate e coperture. In particolare, per le strutture opache verticali sono fissati, in funzione della zona climatica, valori massimi di trasmittanza termica U molto ridotti, che a partire dal 2010 possono scendere fino a $0,33 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ per fabbricati edificati in zona climatica F.

Al fine di rispettare tali prescrizioni, i progettisti e i produttori di componenti per l'edilizia sono alla costante ricerca di nuove soluzioni, adeguate sia dal punto di vista energetico che economico. Le prestazioni termiche delle strutture possono essere stimate in fase di progettazione dell'edificio mediante calcoli teorici (UNI EN ISO 6946 [2]) o avvalendosi dei database di appositi software commerciali. Tuttavia, per particolari applicazioni, soprattutto nella fase di ricerca e messa a punto di strutture innovative, è opportuno ricorrere a misure di laboratorio, capaci di determinare la trasmittanza termica di strutture non omogenee per campioni di dimensioni adeguate.

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di caratterizzare sperimentalmente dal punto di vista dell'isolamento termico

una parete per tamponature esterne, messa a punto al fine di ottenere una funzione antisismica, unitamente a buone proprietà di isolamento termico ed acustico. Le misure sono state effettuate presso il Laboratorio di Termotecnica del Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia.

La parete è costituita da due fodere in laterizio con intercapedine d'aria e materiale isolante a celle chiuse, tipo poliuretano, applicato a spruzzo, per uno spessore totale di $0,45 \text{ m}$. Nel campione in prova, per simulare la posa in opera reale, è stato incluso un pilastro della larghezza di $0,60 \text{ m}$ e dello spessore di $0,25 \text{ m}$, anche al fine di evidenziare la presenza di eventuali ponti termici.

Per valutare la resistenza termica del campione si è messa a punto un'apposita metodologia di misura, seguendo le indicazioni fornite dalla norma UNI EN 1934 del 2000 [3]. Per le prove sono state impiegate due camere, denominate rispettivamente camera calda e camera fredda; il campione è stato installato nell'apertura tra le due camere.

Sul campione si sono effettuate sei prove, per una durata complessiva di acquisizione dei dati pari a circa 365 ore, con l'obiettivo di individuare le condizioni al contorno idonee per il soddisfacimento delle prescrizioni della normativa.

Infine, al fine di verificare l'attendibilità del valore misurato in Laboratorio, esso è stato confrontato con quello teorico, stimato sulla base della stratigrafia della parete ai

sensi della UNI EN ISO 6946 [2].

RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGIA DI MISURA

Le misure di resistenza termica sono state effettuate in conformità con la UNI EN 1934 *Prestazioni termiche degli edifici - Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro* [3]. La norma non specifica in modo univoco l'apparato sperimentale da impiegare, lasciando spazio all'operatore per apportare le modifiche che di volta in volta si ritengono necessarie [4, 5].

Il campione costituisce l'elemento di separazione tra la camera fredda e la camera calda; sulla superficie del campione sono individuate una sezione di misura, di dimensioni pari a 500 mm x 500 mm, e un anello denominato zona di guardia, le cui dimensioni dipendono dallo spessore del campione e dalle condizioni di isolamento ai bordi dello stesso.

Tra le due camere è instaurata una differenza di temperatura, che deve essere maggiore di 20 °C, che induce un flusso termico attraverso la parete. Per l'applicabilità del metodo occorre verificare che siano raggiunte condizioni di regime stazionario: a tale proposito la UNI EN 1934 prescrive che le oscillazioni di temperatura dell'aria siano contenute entro il ± 2% della differenza tra la temperatura dell'aria in camera calda e fredda e che la massima deriva di temperatura nel periodo di misura non sia superiore all'1% della differenza di temperatura attraverso il campione. Inoltre l'uniformità delle temperature superficiali, sia nella sezione di misura che in quella di guardia, deve essere tale da verificare condizioni piuttosto restrittive sui flussi di sbilanciamento imposte dalla norma [3].

Individuato il periodo stazionario, per il calcolo della resistenza termica da superficie a superficie R_t del campione si può procedere in due modi, facendo riferimento sia al flusso termico misurato istantaneamente (relazione (1)), sia a quello medio calcolato nel periodo di osservazione, q_m , mediante l'equazione (2):

$$R_t = \left(\frac{\Delta T}{q} \right) \quad (1)$$

$$R_t^* = \left(\frac{\Delta T}{q_m} \right) \quad (2)$$

dove:

- q è il valore istantaneo della densità del flusso misurato contemporaneamente alle temperature superficiali nel periodo considerato, espresso in W/m^2 ;
- $\Delta T = T_{si} - T_{se}$, dove T_{si} e T_{se} sono le temperature superficiali medie della zona di misura rispettivamente sul lato caldo e freddo.

La resistenza termica complessiva del provino R_T è calcolata in accordo alla UNI EN ISO 6946, tenendo conto delle resistenze termiche superficiali, dalla relazione:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (3)$$

- R_{si} è la resistenza termica superficiale interna, che per superfici piane e direzione del flusso termico orizzontale è pari a 0,13;

- R_t è la resistenza termica R_t del provino, da superficie a superficie, misurata secondo la UNI EN 1934;
- R_{se} è la resistenza termica superficiale esterna, che per superfici piane e direzione del flusso termico orizzontale è pari a 0,04.

Infine, la trasmittanza termica U , espressa in $W/(m^2 K)$, è calcolata come:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE IN MURATURA

Il campione esaminato è una parete in muratura per tamponature esterne, oggetto anche di misure di isolamento acustico ai sensi della UNI EN ISO 140 - 3 [6]. Il campione, dello spessore totale di 0,45 m, è stato installato nell'apertura tra le due camere e presenta una superficie complessiva pari a 10,45 m². La stratigrafia della parete, partendo dalla camera fredda verso la camera calda, è la seguente:

- parete in laterizio realizzata con mattoni faccia-vista (lunghezza nominale di 0,25 m, altezza nominale di 0,055 m e spessore nominale di 0,12 m) posati con asse dei fori verticale e legati con giunti orizzontali continui in malta cementizia; la fodera in mattoni è stata eretta su una guaina bituminosa elastomerica rinforzata al polistirene;
- materiale isolante a celle chiuse, tipo poliuretano, applicato a spruzzo (spessore medio pari a 0.04 m);
- intercapedine d'aria dello spessore di 0,17 m;
- parete in laterizio realizzata con mattoni forati (di lunghezza nominale pari a 0,25 m, altezza nominale di 0,25 m e spessore nominale di 0,12 m) posati con asse dei fori orizzontale e legati con giunti orizzontali continui in malta cementizia;
- intonaco tradizionale in malta cementizia (spessore pari a 0,015 m).

Inoltre, per simulare le condizioni reali d'installazione, in posizione più o meno centrale rispetto alla parete è presente un pilastro in cemento, di larghezza pari a 0,60 m e spessore pari a 0,25 m. Il posizionamento del pilastro e le particolarità della parete sono mostrate in figura 1.

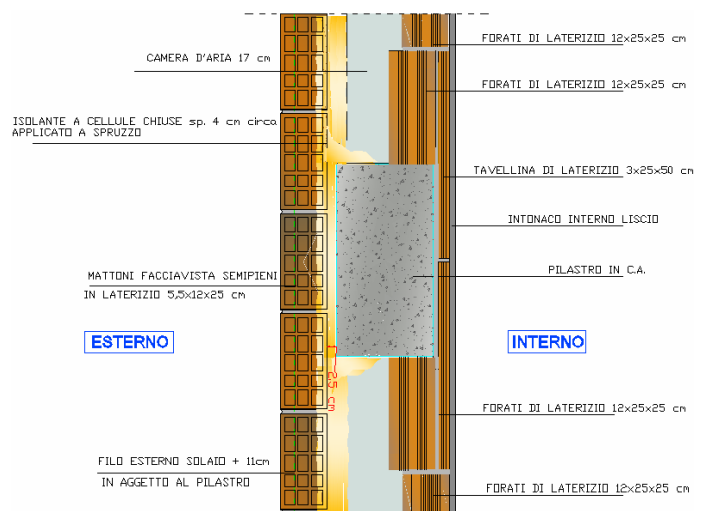


Figura 1 - Sezione del campione in corrispondenza del pilastro in cemento.

APPARATO SPERIMENTALE

L'apparato sperimentale impiegato per la misura della resistenza termica è mostrato schematicamente in fig. 2.

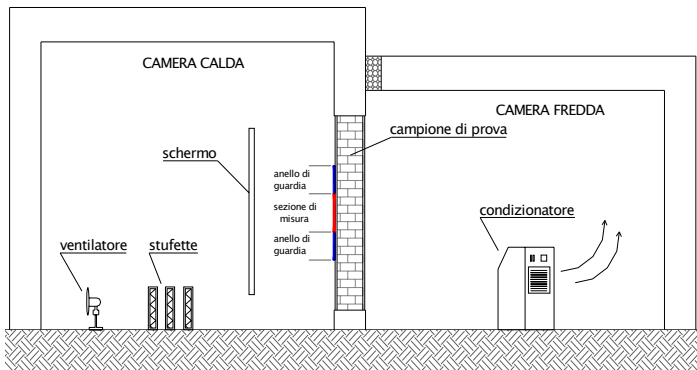


Figura 2 - Apparato sperimentale per la misura della resistenza termica

La camera calda è riscaldata per mezzo di stufe elettriche e la temperatura dell'aria è mantenuta costante per mezzo di un termostato, collegato ad una delle stufe; in camera fredda è installato un condizionatore, impostato alla temperatura minima. In entrambe le camere sono state effettuate misure di temperatura dell'aria e di umidità relativa; sulle superfici del campione di prova affacciate sulle due camere si sono misurate le temperature superficiali, con un numero totale di 42 sensori, 21 sul lato caldo e 21 sul lato freddo; i sensori sono stati distribuiti in maniera più omogenea possibile, 9 nella sezione di misura e 12 nell'anello di guardia per il controllo della disuniformità superficiale. In camera calda, sulla faccia del campione, è stato misurato il flusso termico entrante nella parete, mediante tre termoflussimetri, tipo HFPO1 della Hukseflux (fig. 3). Tutti i sensori sono stati collegati a 4 sistemi di acquisizione, impostando un intervallo di acquisizione pari a 10 minuti.



Figura 3 - Sezione di misura, lato caldo, posizionamento delle termoresistenze, dei termoflussimetri e di sonde per la misura della temperatura dell'aria

EVIDENZE SPERIMENTALI

Prove effettuate

Per il calcolo della resistenza termica della parete si sono effettuate sei prove, caratterizzate da diverse condizioni al contorno, nel periodo tra il 18 luglio e il 15 settembre 2007, per un totale di 365 ore di osservazione e registrazione dei dati. Per ogni prova si sono rilevate le seguenti grandezze:

- temperature dell'aria nelle due camere;
- temperature superficiali dei due lati del campione;
- flusso termico attraverso il campione;
- umidità relativa dell'aria nelle due camere.

La durata delle prove risulta molto variabile e non definibile a priori perché il tempo necessario al raggiungimento del regime stazionario dipende da alcuni fattori come la resistenza termica e la capacità termica del campione e dalle condizioni al contorno. Per assicurarsi che siano raggiunte le condizioni di regime stazionario, si rappresentano per via grafica i valori misurati delle temperature significative e della densità di flusso termico in funzione del tempo.

Le variabili su cui si è intervenuti per il raggiungimento delle condizioni di prova prescritte dalla norma sono state: la potenza termica installata in camera calda; la potenza refrigerante in camera fredda; la distanza dello schermo di radiazione e controllo della velocità dell'aria in camera calda; la disposizione dei ventilatori in camera calda.

Risultati

Di tutte le prove effettuate, quella ritenuta più significativa è la quarta, per la quale risultano soddisfatte le verifiche di accettabilità previste dalla UNI EN 1934. Nel seguito sono riportati i valori delle diverse grandezze misurate ed è messo in evidenza il periodo di regime stazionario, durante il quale sono stati calcolati i valori della trasmittanza termica.

La prova ha avuto una durata di 23 ore circa, con una fase stazionaria di 10 ore di acquisizione (tab. 1).

Le condizioni al contorno della prova n° 4 hanno consentito di rispettare le prescrizioni della norma rispetto al flusso di sbilanciamento: in camera calda è stata individuata una disposizione delle unità di riscaldamento e dei ventilatori capace di ridurre l'entità della disuniformità di temperatura sul campione di misura, dovuto alla differenza di temperatura tra zona di misura e anello di guardia.

I risultati delle grandezze misurate nel corso della quarta prova sono mostrati nelle figure 4, 5, 6 e 7.

Tabella 1 – Condizioni di effettuazione della prova n°4

Inizio misure		30/07/07 ore 12.28
Fine misure		31/07/07 ore 11.48
Stato Stazionario: 30/07/07 ore 15.58 - 31/07/07 ore 1.58		
Condizioni al contorno		
Camera calda	Potenza elettrica continua	1250 + 1250 + 750 W
	Potenza di regolazione	2000 W
	Ventilatore	Presente
	Pannello schermante	a 40 cm dalla parete
Camera fredda	Condizionatore	Set – point = 18 °C
	Pannello schermante	Assente

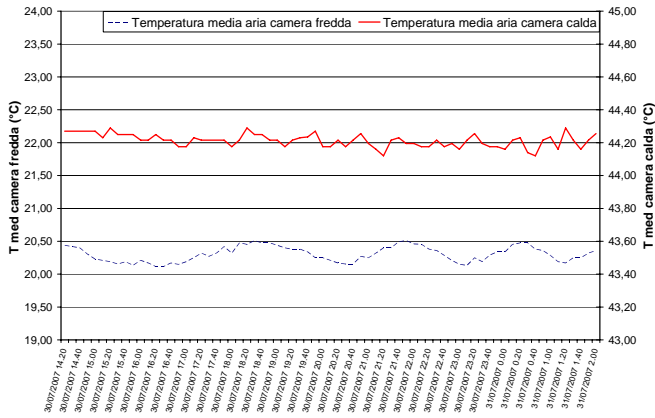


Figura 4 – Andamento della temperatura media dell'aria in camera calda e fredda.

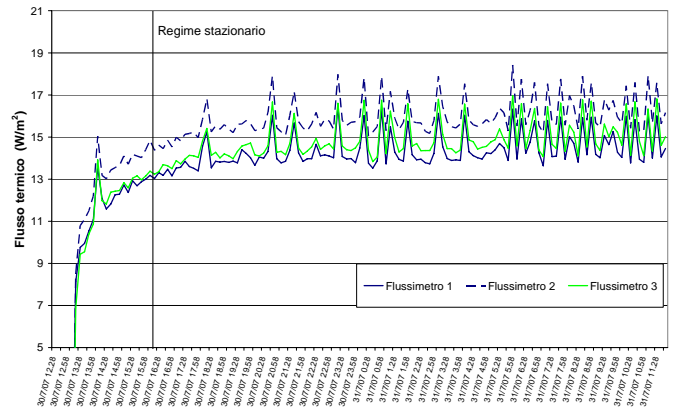


Figura 7 - Flussi termici misurati nella prova n.4.

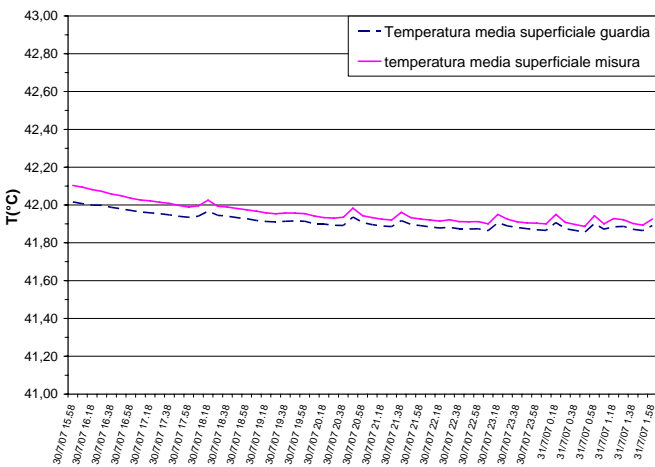


Figura 5 – Andamenti delle temperature medie superficiali, sezione di misura e zona di guardia, in camera calda

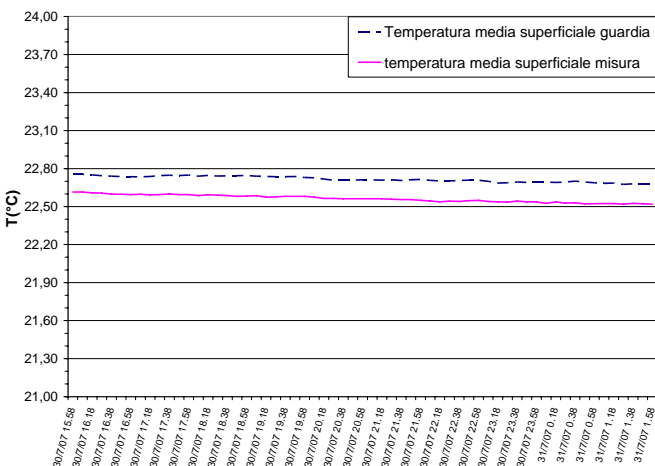


Figura 6 – Andamenti delle temperature medie superficiali, sezione di misura e zona di guardia, in camera fredda

La temperatura dell'aria (fig. 4) in camera calda nel periodo di misura individuato ha un andamento stazionario, con valore medio pari a 44,21 °C ed oscillazioni, dovute alla regolazione, di ampiezza tale che la deviazione standard della temperatura dell'aria risulta essere pari a 0,04 °C. La temperatura dell'aria in camera fredda (fig. 4) presenta invece un valore medio di 20,3 °C, con una deviazione standard di 0,12 °C. Il gradiente termico instaurato tra le due camere vale mediamente 23,91 °C, superiore al minimo pari a 20 °C imposto dalla normativa. La temperatura superficiale in camera calda (fig. 5) ha andamento stazionario, con valore medio pari a 41,99 °C ed oscillazioni di ampiezza tale che la deviazione standard è pari a 0,05 °C. La temperatura superficiale in camera fredda (fig. 6) presenta valore medio di 22,59 °C e deviazione standard pari a 0,01 °C. Il gradiente termico parete - aria vale mediamente 2,22 °C in camera calda e 2,29 °C in camera fredda. I valori del flusso termico misurato dai tre sensori sono stabili intorno al valore medio (fig. 7), con oscillazioni che nel periodo di misura hanno dato deviazioni standard comprese tra 0,78 e 0,85 W/m². Le oscillazioni del flusso termico attorno alla media sono da imputare alle variazioni di temperatura dell'aria in camera calda, dovute ai cicli di accensione e spegnimento delle stufe elettriche.

La differenza di temperatura tra la sezione di misura e l'anello di guardia, soggetta alle verifiche di accettabilità imposte dalla norma, è stata calcolata impiegando il software Surfer, capace di determinare le isoterme noti i valori puntuali misurati dalle termoresistenze, mediante un'operazione di interpolazione. I risultati relativi sia alla sezione di misura che all'anello di guardia sono mostrati in figura 8.

L'andamento delle isoterme in camera calda (fig. 8.a) mostra una temperatura maggiore nella parte alta della parete, dovuta alle inevitabili stratificazioni dell'aria, con un massimo raggiunto proprio tra la sezione di misura e la parte superiore del campione. La figura 8.b mostra in maniera chiara la stratificazione dell'aria sul lato freddo della parete, con i valori più bassi di temperatura superficiale nella parte inferiore del campione.

Per il calcolo della temperatura media della sezione di misura e della parte dell'anello di guardia a cui si riferisce la normativa, si sono calcolate le aree delle singole regioni in cui il campione è stato suddiviso dalle isoterme.

In tabella 2 si riporta un prospetto riassuntivo dei risultati delle misure e delle verifiche di accettabilità previste dalla norma relativi alla quarta prova.

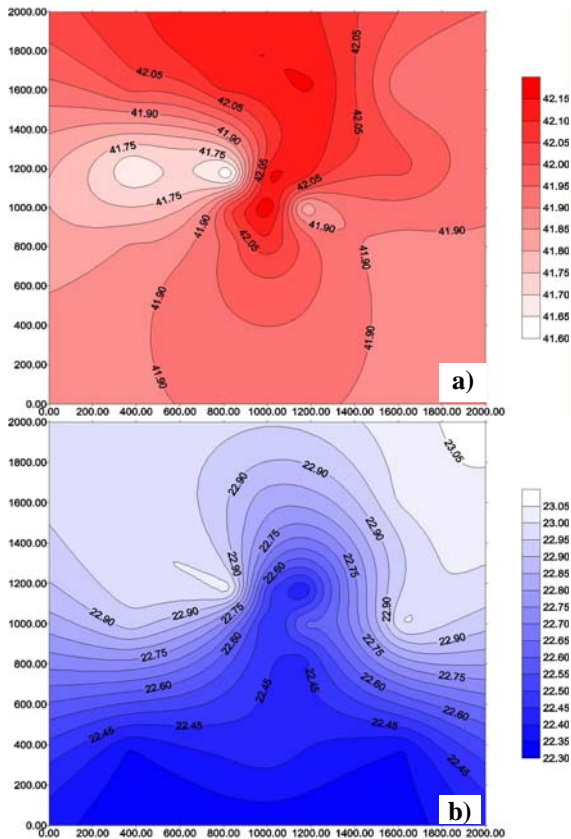


Figura 8 – Mappatura delle temperature superficiali in camera calda (a) e fredda (b) nella prova n° 4 (sezione di misura e guardia).

Tabella 2 – Risultati e verifiche di accettabilità per la prova n°4

	T. aria Calda (°C)	T. aria Fredda (°C)	T. sup. Calda (°C)	T. sup. Fredda (°C)	Flusso termico (W/m ²)		
					1*	2*	3*
Min	44,12	20,11	41,93	22,52	13,00	14,37	13,15
Max	44,29	20,51	42,10	22,61	16,44	17,98	16,75
Media	44,21	20,30	41,99	22,59	14,11	15,65	14,50
Dev.St	0,04	0,12	0,05	0,01	0,78	0,84	0,85
Verifica sulla differenza di temperatura dell'aria tra le camere							
T media calda (°C)	T media fredda (°C)	ΔT (°C)	ΔT minimo (°C)	ACCETTABILITÀ			
44,21	20,30	23,91	20	SI			
Verifica stazionarietà della temperatura dell'aria							
Dev St T calda	Dev st T fredda	Dev St ≤ 2% ΔT (°C)	ΔT (°C)	ACCETTABILITÀ			
0,039	0,116	0,478	23,91	SI			
Verifica stazionarietà – verifica delle massime derive a lungo termine							
Differenza di temp. misurate a lungo termine sulla linea di tendenza (°C)					$\leq \frac{1}{100}(\bar{T}_{si} - \bar{T}_{se})$		ACCETTABILITÀ
$ T_{si0} - T_{sif} =$		0,162	0,194	SI			
$ T_{se0} - T_{sef} =$		0,097	0,194	SI			
Uniformità di temperatura superficiale							
	[W]	Valori	$\leq 2\% \varphi_1$	ACCETTABILITÀ			
Camera Calda	φ_2'	0,026	0,074	SI			
	φ_2''	0,065		SI			
	[W]	Valori	$\leq 2\% \varphi_1$	ACCETTABILITÀ			
Camera Fredda	φ_2'	0,049	0,074	SI			
	φ_2''	0,072		SI			

* termoflussimetri n° 1, 2 e 3

Calcolo della resistenza termica

La resistenza termica è stata calcolata a partire dai dati misurati nella quarta prova con entrambi i metodi esposti al paragrafo 2, relativamente al solo periodo di regime stazionario.

In figura 9 è mostrato l'andamento della resistenza termica, in tabella 3 si riportano i valori calcolati.

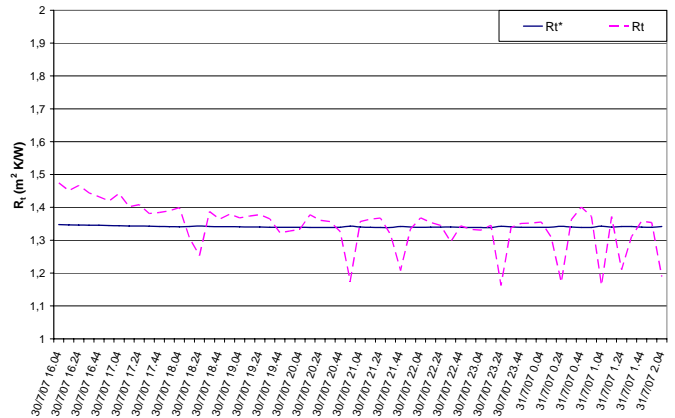


Figura 9 – Resistenza termica istantanea e media per la quarta prova

Tabella 3 – Resistenza termica calcolata per la prova n°4

Resistenza termica da superficie a superficie (m ² ·K/W)	
$R_t = \left(\frac{\overline{\Delta T}}{q} \right) = 1,318$	$R_t^* = \left(\frac{\overline{\Delta T}}{q_m} \right) = 1,314$
Resistenza totale R _T (m ² ·K/W)	Trasmittanza U (W/(m ² ·K))
1,49	0,67

STIMA DELLA TRASMITTANZA TERMICA PER VIA TEORICA

Il valore della trasmittanza termica è stato calcolato anche per via teorica, mediante l'applicazione della UNI EN ISO 6946 [2], sulla base delle resistenze termiche dei singoli strati che costituiscono la parete. Per l'intercapedine d'aria si è considerato il caso di intercapedine non ventilata, alla quale corrisponde un valore della resistenza termica pari a 0,18 (m² K)/W, relativo ad un'intercapedine di 170 mm con flusso termico orizzontale.

Per i valori delle resistenze termiche unitarie dei mattoni si è fatto riferimento alla norma UNI 10355 [7], per l'intonaco e l'isolante a dati di Letteratura. I dati considerati sono riassunti in Tab. 4.

La resistenza totale e la trasmittanza calcolate per il campione risultano pari a:

- R_T = 1,871 (m² K)/W;
- U = 1/R_T = 0,53 W/(m² K)

Tabella 4 - Proprietà termiche dei componenti della parete

Descrizione materiale	Spessore (cm)	Conduttività termica (W/m K)	Resistenza termica (m ² K/W)
Intonaco di calce e gesso	1,5	0,7	0,021
Poliuretano espanso in luogo	3,5	0,035	1,0
Mattone forato (foratura = 66%) Cod. UNI 1.1.21 120	12,0	-	0,31 [7]
Mattone semipieno (foratura = 21%) Cod. UNI 1.1.03 120	12,0	-	0,19 [7]

ANALISI DEI RISULTATI

Il valore della trasmittanza termica teorico calcolato pari a 0,53 W/(m² K) risulta inferiore al valore estrapolato dai dati sperimentali, pari a 0,67 W/(m² K).

Nel corso di un'ulteriore prova (sesta prova) si è potuto verificare l'effetto sensibile dell'irraggiamento generato dalle stufe sul valore del flusso termico misurato dai termoflussimetri. La schermatura di uno dei flussimetri mediante materiale a bassa emissività (foglio di alluminio) ha avuto infatti come risultato una notevole riduzione del valore rilevato (figura 10). A conferma dell'effetto della schermatura è l'andamento del flusso termico per tutte le cinque prove precedenti, dove il valore medio misurato dal flussimetro 3 è risultato sempre superiore o compreso tra i valori rilevati dai sensori 1 e 2.

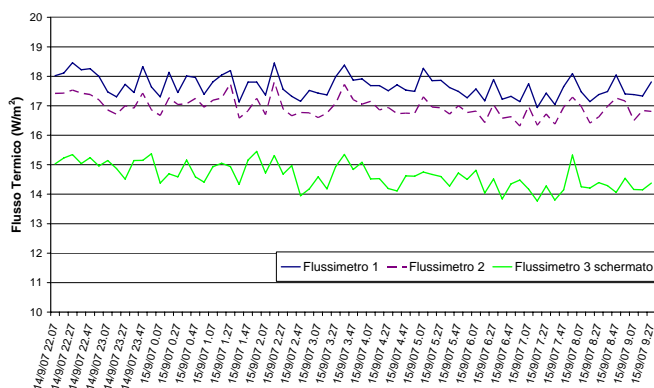


Figura 10 – Confronto tra i flussi termici misurati per la sesta prova, con e senza schermatura

Si è quindi pensato di correggere il flusso medio rilevato nella prova n° 4 in funzione della diminuzione relativa al valore registrato dal termoflussimetro schermato nell'ultima prova. Pur con evidenti differenze delle condizioni di prova, si sono calcolati i valori della trasmittanza ipotizzando diverse variazioni del flusso medio per la prova 4. I risultati sono sintetizzati nella tabella 5.

La diminuzione del flusso a causa della schermatura è stata stimata nel modo seguente:

- si è calcolata la media dei valori registrati dai flussimetri 1 e 2, non schermati, nella prova 6;
- si è calcolata la differenza tra il valore rilevato dal termoflussimetro 3 schermato e il valor medio degli altri due e si è calcolata la riduzione percentuale dovuta alla schermatura, pari al 18%;
- il valore del flusso, impiegato per calcolare la resistenza termica nella prova 4, è stato pertanto ridotto del 18%.

La riduzione media del flusso è di circa 2,7 W/m² (18%); con il valore corretto la trasmittanza termica si riduce da 0,67 a 0,56 W/(m² K).

Le considerazioni esposte sottolineano che per ottenere un valore accettabile della resistenza termica, e quindi della trasmittanza, è senz'altro fondamentale contare su un valore del flusso termico molto preciso, soprattutto per la misura su pareti caratterizzate da elevate prestazioni termiche. Considerato che la resistenza termica si calcola come rapporto tra la differenza di temperatura superficiale tra le due facce del campione e il flusso misurato, è evidente come un errore sul flusso anche nell'ordine di pochi W/m² possa portare a risultati abbastanza differenti da quelli stimati per via teorica o reali (tab. 5).

Tabella 5 – Valori ipotizzati per la variazione del flusso termico per la prova 4.

Variazione (W/m ²)	Flusso medio stimato (W/m ²)	Resistenza termica totale (m ² K/W)	Trasmittanza (W/m ² ·K)
- 1,0	13,75	1,58	0,63
-1,5	13,25	1,63	0,61
-2,0	12,75	1,69	0,59
-2,5	12,25	1,75	0,57
-2,7 (18%)	12.1	1,78	0,56

Un altro aspetto fondamentale legato alla presente trattazione riguarda la rispondenza del valore di trasmittanza misurato alle recenti e molto restrittive norme sul risparmio energetico, in particolar modo il D. Lgs. 311/06 [1]. Appare subito evidente come, anche considerando il valore di trasmittanza teorico di 0,53 W/(m² K), esso risulti dal 1 gennaio 2006 oltre i limiti di legge per le zone climatiche D, E ed F, probabilmente a causa del modesto spessore di isolante (tab. 6).

Al fine di rispettare i requisiti di isolamento imposti dal 1 Gennaio 2010 anche per la zona climatica F, che presenta i valori limite più restrittivi, lo spessore dell'isolante dovrebbe essere pari a 0,08 m: con tale spessore la trasmittanza termica della parete calcolata si riduce a 0,32 W/(m² K).

Tabella 6 – Confronto con i valori limite della trasmittanza termica U previsti dal D.Lgs. 311/06, espressi in W/(m² K) [1]

U struttura esaminata	Valori limite [1]			
	Zona climatica	Dal 1/1/2006	Dal 1/1/2008	Dal 1/1/2010
0,56 W/(m ² K)	A	0,85	0,72	0,62
	B	0,64	0,54	0,48
	C	0,57	0,46	0,40
	D	0,50	0,40	0,36
	E	0,46	0,37	0,34
	F	0,44	0,35	0,33

CONCLUSIONI

Il settore dell'edilizia è sicuramente uno dei più coinvolti dalle disposizioni legislative sul risparmio energetico: la conoscenza delle proprietà di isolamento termico dei componenti e delle strutture risulta quindi al centro dell'interesse, anche alla luce delle recenti disposizioni in

materia di trasmittanza termica, sempre più restrittive (D. Lgs. 311/06). La trasmittanza di una struttura può essere ricavata per via analitica [2] o sperimentale, in accordo con la normativa tecnica di riferimento [2, 3, 7, 8].

Nel presente lavoro, per valutare le proprietà di isolamento termico di un campione di muratura per tamponature esterne si è messa a punto un'opportuna metodologia di misura in laboratorio, seguendo le indicazioni della UNI EN 1934. Il campione in prova è una parete per esterni, costituita da due strati in laterizio con intercapedine d'aria e poliuretano applicato a spruzzo. La determinazione di un valore attendibile di resistenza termica ha richiesto l'effettuazione di sei prove, per una durata complessiva di acquisizione dei dati pari a circa 365 ore: le prime tre prove sono servite alla determinazione di condizioni al contorno idonee al soddisfacimento delle prescrizioni della normativa, per la quarta si è avuto un esito positivo delle verifiche di accettabilità imposte dalla norma. La resistenza termica calcolata in tali condizioni per la parete in esame è risultata pari a circa 1,31 (m² K)/W, cui corrisponde un valore di trasmittanza termica U di 0,67 W/(m² K).

Nel corso della sesta prova si è potuto verificare l'effetto sensibile dell'irraggiamento generato dalle stufe impiegate come elementi riscaldanti in camera calda, anche se schermate, sul valore del flusso termico misurato dai termoflussimetri. La schermatura di uno dei flussimetri ha infatti provocato una sensibile riduzione del valore rilevato. Si è quindi ipotizzata una correzione del flusso medio misurato per la quarta prova, basandosi sulla diminuzione relativa del valore registrato dal termoflussimetro schermato nell'ultima prova. Il valore della trasmittanza, stimato con una variazione del flusso del 18% e pari a 0,56 W/(m² K), è risultato molto vicino a quello stimato per via teorica, in accordo alla UNI EN ISO 6946, pari a 0,53 W/(m² K).

Le numerose prove effettuate e un'attenta analisi dei risultati hanno consentito di evidenziare alcune criticità del metodo, quali:

- difficoltà di controllo delle condizioni di prova su tutto il volume delle camere, viste le grandi dimensioni delle stesse (50 – 60 m³);
- apprezzabile irraggiamento sui sensori di flusso termico da parte del sistema di riscaldamento della camera calda ;
- necessità di schermatura adeguata dei termoflussimetri o delle stufe, per minimizzare l'effetto dell'irraggiamento dovuti ai dispositivi di riscaldamento;
- necessità di impiegare un termoflussimetro a piastra di dimensioni uguali alla sezione di misura anziché più termoflussimetri di piccole dimensioni.

Tuttavia, essendo l'andamento della prova strettamente connesso alla natura del campione testato, l'individuazione delle giuste condizioni al contorno (potenza termica installata, numero e posizione dei ventilatori, posizione dello schermo) per il soddisfacimento delle verifiche imposte dalla norma, in particolar modo quelle sul flusso di sbilanciamento, risulta una fase impegnativa, a causa dei lunghi tempi necessari.

Possibili errori che incorrono nella misura di valori attendibili del flusso termico che attraversa la parete possono inoltre condurre ad una stima errata della resistenza termica dei campioni, soprattutto se si tratta di murature ad elevate prestazioni termiche. Per tali ragioni, presso il Laboratorio di Termotecnica dell'Università di Perugia, è in corso di progettazione un'apparecchiatura differente, nota con il termine di hot box, capace di misurare le proprietà di trasmissione del calore di campioni non omogenei in conformità con la UNI EN ISO 8990 [8].

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Decreto Legislativo n° 311, Disposizioni correttive ed integrative al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della Direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, 2006.

2. UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo, 2007.

3. UNI EN 1934, Prestazioni termiche degli edifici - Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro - Muratura, 2000.

4. C. Buratti, E. Moretti, Thermal resistance of masonry walls: in situ measurements, 6th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics, Matsushima, Miyagi, Japan, 17-21 Aprile 2005.

5. C. Buratti, S. Grignaffini, Measurement of the thermal resistance of masonry walls, International Journal of Heat & Technology, Vol. 21, n. 2, December 2003.

6. C. Buratti, E. Moretti, Caratterizzazione acustica di pareti mediante metodo intensimetrico, 8° Congresso nazionale CIRIAF- Sviluppo Sostenibile Tutela dell'Ambiente e della Salute Umana, Perugia, 2-3 Aprile 2008, pag. 267- 272.

7. UNI 10355, Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo, 1994.

8. UNI EN ISO 8990, Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia, 1999.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Mattia Faleri per la preziosa collaborazione offerta nell'effettuazione delle misure.

ELENCO DEI SIMBOLI

Dev st	= deviazione standard della grandezza [-];
q, φ	= densità di flusso termico [W/(m ² K)];
R _{se}	= resistenza termica superficiale esterna [(m ² K)/W];
R _{si}	= resistenza termica superficiale interna [(m ² K)/W];
R _t	= resistenza termica da superficie a superficie [(m ² K)/W];
R _T	= resistenza termica complessiva [m ² K/W];
T	= temperatura [°C];
T _{si}	= temperatura superficiale media della sezione di misura, lato caldo [°C];
T _{si}	= temperatura superficiale media della sezione di misura, lato freddo [°C];
U	= trasmittanza termica [W/(m ² K)];
Δ	= differenza [-].

SUMMARY

The evaluation of the thermal resistance of masonry walls is very important for thermal performances of buildings, according to the Legislative Decree 311/2006, that strictly limits the thermal transmittance values. A laboratory methodology for the measurement of thermal resistance was developed, in compliance with UNI EN 1934. The thermal resistance of an external masonry wall was measured; the

sample was a hollow bricks double wall with air and polyurethane sprayed foam in the interspace.

The wall was built between two chambers at different temperatures; in steady state a constant temperature difference was established, so that the mean difference of the surface temperatures of the warm and the cold side and the thermal flux through the sample were measured. Six tests in different conditions were carried out, for a total period of about 365 hours.

The thermal resistance from surface to surface of the wall is equal to $1,32 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$; the corresponding value of thermal transmittance U is $0,67 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Instead, the U value calculated by means of the procedure given by UNI EN ISO 6946 considering the thermal properties of the wall elements is equal to $0,53 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.

During tests a remarkable effect of the radiation generated from the electrical burners employed in the warm room (even if shielded) on the value of the measured thermal flows was found. Covering one of the heat flux meters by means of a low emissivity material (an aluminium sheet), a decrease of the measured value was observed. A thermal transmittance value of $0,56 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ was estimated by applying a corrective factor to the measured flows. In this way the estimated value is very close to the analytical one. The analysis of the results highlighted the critical aspects of the methodology; the determination of the boundary conditions to fulfil the requirements of the standard is the most demanding stage, as it require great amounts of times.