

CertiMaC
soc. cons. a r.l.
Via Granarolo, 62
48018 Faenza RA
Italia
tel +39 0546 670363
fax +39 0546 670399
www.certimac.it
info@certimac.it

R.I.RA,
partita iva e
codice fiscale
02200460398
R.E.A.RA
180280
capitale sociale
€ 60.000
interamente versato

Sperimentazione eseguita

Ing. Luca Laghi



Redatto

Ing. Luca Laghi



Approvato

Ing. Martino Labanti



RAPPORTO DI PROVA

120220-R-2405

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLA CONDUCIBILITA' TERMICA (NORMA UNI EN 1745) DI CAMPIONI DI MATERIALE CEMENTIZIO DENOMINATO "SABBIACIMENTO", DELLA DITTA "VAGA S.r.L."

LUOGO E DATA DI EMISSIONE: Faenza, 04/03/2011

COMMITTENTE: **Vaga S.r.L.**

STABILIMENTO: V.le Jenner, 4 -20159 Milano (MI)

TIPO DI PRODOTTO: **Massetto cementizio**

NORMATIVE APPLICATE: UNI EN 1745

DATA RICEVIMENTO CAMPIONI: 16/02/2011

DATA ESECUZIONE PROVE: Febbraio/Marzo 2011

PROVE ESEGUITE PRESSO: CertiMaC, Faenza

Revisione -	Il presente Rapporto di Prova è composto da n. 7 pagine		Pagina 1 di 7
Classificazione:	Prog. CNT	Ris. III	Arch. +5

1. Introduzione

Il presente rapporto descrive la prova di:

- *determinazione della conducibilità termica $\lambda_{10, dry}$,*

effettuata su una tipologia di prodotto inviato al laboratorio CertiMaC di Faenza dalla Ditta "Vaga S.r.L.", stabilimento di Milano (MI) (Rif. 2-a, 2-b). La prova è stata effettuata in accordo con le norme riportate nei Rif. 2-c, Rif. 2-d sul prodotto cementizio il cui getto è stato realizzato dal Committente in data 17 Gennaio 2011. Le operazioni propedeutiche alla misura sperimentale della conducibilità termica hanno avuto inizio, come prescritto nella normativa tecnica di prodotto, solo al termine del periodo di stagionatura (28 giorni), cioè a partire dal 16 Febbraio 2011, giorno della consegna presso il laboratorio.

2. Riferimenti

- a. Preventivo: Prot. 11001/lab del 10/01/2011.
- b. Conferma d'ordine: fax del 19/01/2011.
- c. Norma UNI EN 1745:2005. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.
- d. Norma ASTM E1530:2006. Standard Test Method for Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique.
- e. Norma UNI 998-1,2:2004. Specifiche per malte per opera Murarie.
- f. Rapporto 090220-C-29 sulla calibrazione di una metodologia sperimentale per la determinazione della conducibilità termica di materiali per l'involucro edilizio.
- g. Rapporto 090220-C-30 sulle norme procedurali messe a punto per la determinazione della conducibilità termica di materiali per l'involucro edilizio.
- h. Rapporto Tecnico del 17/01/2011: Experimental tests with 2022 UnithermTM Heat Flow Meter: preliminary uncertainty analysis in Thermal Conductivity measurements.
- i. Norma UNI EN 772-13:2002. Metodi di prova per elementi di muratura. Determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente degli elementi di muratura (ad eccezione della pietra naturale).
- j. Norma UNI EN 772-3:2000. Metodi di prova per elementi di muratura. Determinazione del volume netto e della percentuale dei vuoti degli elementi di muratura di laterizio mediante pesatura idrostatica.

3. Oggetto della prova

La prova è stata eseguita sul prodotto in malta termica fatto pervenire al laboratorio sotto forma di:

➤ *N° 6 campioni di malta cementizia di dimensioni approssimativamente pari a 150x150x40 mm (Fig. 1).*

La prova è stata eseguita su tre provini ricavati a partire dai sei campioni inviati presso il Laboratorio, così come richiesto dalla norma 2-c. In Fig. 1 è riportata la fotografia di uno dei campioni.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 2 di 7
	Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405

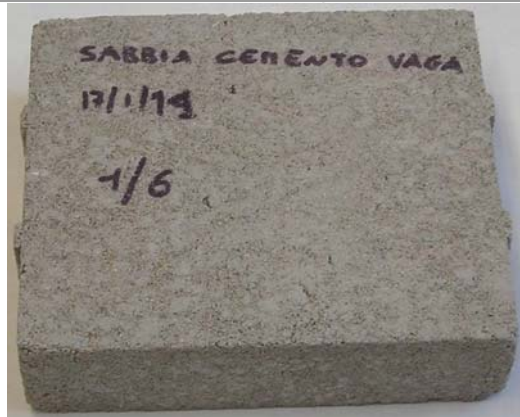


Figura 1. Esempio di Campione pervenuto presso il laboratorio

4. Esecuzione della prova e descrizione dei risultati

4.1. Metodologia di prova

La prova è stata eseguita nel pieno rispetto della norma 2-c che fissa i metodi per determinare i valori termici di progetto e della norma 2-d, su cui si basa il principio di funzionamento dell'apparato di misura utilizzato. Quest'ultimo implementa il metodo con termoflussimetro e anello di guardia che consente la determinazione, in via indiretta e previa procedura di taratura dello strumento, della conducibilità termica.

La determinazione è indiretta poiché si perviene alla conducibilità passando attraverso la rilevazione diretta del flusso termico lungo uno stack di prova, all'interno del quale viene inserito il provino, che ricrea le condizioni ideali, stazionarie e monodimensionali di scambio termico. Il flusso, a sua volta, viene determinato grazie alla misura dei salti termici sul provino e su di un materiale di riferimento che costituisce il termoflussimetro (sensore di flusso termico). La taratura invece, viene realizzata su una serie di provini di riferimento di caratteristiche termiche note e certificate e consente di risalire alla conducibilità incognita del materiale che si sta testando sfruttando la definizione di resistenza termica R_s (m^2K/W), come riportato nell'equazione (1), la quale è funzione appunto dello spessore s del provino e della conducibilità termica λ (W/mK):

$$R_s = \frac{s}{\lambda} \quad (1)$$

La procedura di prova standard messa a punto prevede i seguenti passi, illustrati nei paragrafi che seguono. Per maggiori informazioni in merito al principio metodologico utilizzato per la sperimentazione si faccia riferimento ai documenti di cui al Rif. 2-f e 2-g. A valle della sperimentazione è stato poi valutato il budget di incertezza legato alla misurazione attraverso l'implementazione del modello di analisi definito al Rif. 2-h che consente di estrapolare l'incertezza tipo legata alla misura.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 3 di 7
	Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405

4.2. Controllo Densità del campione di partenza

Secondo quanto previsto al Rif. 2-g, "Procedura standard di prova: determinazione di $\lambda_{10, dry}$ per materiali con conducibilità incognita", si è effettuato un controllo sulla densità (Rif. 2-i) sui campioni di partenza in via geometrica, il quale ha restituito il seguente risultato (Tab. 1):

Campione di Massetto Cementizio, Controllo Densità (kg/m ³)	Densità (kg/m ³)
SC1	2035 ± 12
SC2	2070 ± 12
SC3	2056 ± 12
SC4	2026 ± 12
SC5	2049 ± 12
SC6	2047 ± 12

Tabella 1. Controllo densità sui campioni inviati

Il valore di massa volumica determinato è affetto, come si può osservare in Tab. 1, da un'incertezza piuttosto elevata e legata al fatto che la misura geometrica prevede la determinazione di un volume di riferimento omogeneo. Tuttavia, come ben noto, il volume del campione è ricco di irregolarità che non consentono un'esatta determinazione (al netto) del volume (Cfr. Fig. 1). La successiva misura sul provino consentirà invece di determinare un valore di massa volumica ben più accurato.

4.3. Stima spessore provino

Sulla base delle densità determinate sui campioni è possibile stimare, attraverso il prospetto A.12 della norma 2-c e riportato in Tabella 2, il valore corrispondente di conducibilità termica previsto dalla normativa stessa, da cui risulta un valore compreso tra $\lambda = 1.19 \div 1.30 \text{ W/mK}$ circa.

Impiegando il valore di conducibilità di riferimento così determinato e l'equazione (2), legata alla definizione di resistenza termica R_s (m²K/W), si è stimato lo spessore del provino fissando un valore di resistenza termica pari a **0.015 m²K/W** in modo da ricadere nella zona di maggior accuratezza di misura per lo strumento (range di funzionamento: 0.002÷0.02 m²K/W), laddove cioè si ha un margine di errore inferiore al 5%.

Per facilitare la realizzazione degli stessi si è uniformato lo spessore nominale a **s = 18 mm**.

$$s = R_s \cdot \lambda \quad (2)$$

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 4 di 7
	Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405

Massa volumica del materiale [kg/m ³]	$\lambda_{10,dy}$ [W/mK]		Coefficiente di diffusione del vapore acqueo μ	c [kJ/kgK]
	P= 50%	P= 90%		
250	0,074	0,080	5/20	1,0
400	0,10	0,11	5/20	1,0
700	0,18	0,20	5/20	1,0
1 000	0,27	0,30	5/20	1,0
1 500	0,47	0,54	5/20	1,0
1 600	0,67	0,76	15/35	1,0
1 800	0,83	0,93	15/35	1,0
2 000	1,17	1,28	15/35	1,0

$f_p = 4 \text{ (m}^2/\text{m}^3\text{)}$.

Tabella 2. Valori di conducibilità tabellari per elementi di malta (malta per muratura e malta per intonaco)

4.4. Realizzazione e condizionamento del provino:

A partire dai campioni di Figura 1 e sulla base dei valori di densità ottenuti al paragrafo 4.2 si sono realizzati i provini di cui si riporta un esempio in Figura 2, mediante le seguenti operazioni eseguite in successione: carotatura con mola a tazza, cilindatura al tornio parallelo per realizzare la finitura sulla dimensione diametrica ($50.8 \pm 0.25\text{mm}$) secondo la norma 2-d e spianatura con rettificatrice verticale a disco. Di seguito si è condizionato il materiale in forno a **40°C** per **24 h** per raggiungere lo stato essiccato come richiesto dalla norma 2-c. Si precisa che, sulla base di quanto richiesto dalla norma al Rif. 2-c, dovrebbero essere scelti tre provini rappresentativi del range di massa volumica tipica della tipologia di prodotto in esame, da cui si giustifica la scelta dei campioni a valori di massa volumica rispettivamente minima, media e massima (relativamente alla gamma di sei campioni analizzati).



Figura 3. Fotografia di uno dei tre provini realizzati

Infine si è ripetuta la misura di densità sui provini, che ha restituito i risultati di Tabella 3. Questi ultimi sono stati determinati in via geometrica (Rif. 2-f) con bilancia analitica ($\pm 0.0001 \text{ g}$) e calibro centesimale e ciò giustifica l'errore assoluto limitato a $\pm 1 \text{ kg/m}^3$.

Campioni in Massetto Cementizio, Controllo geometrico Densità sui provini (kg/m ³)			
Campione di Partenza	Provino	Densità (kg/m ³)	Variazione % vs valore misurato sul Campione
SC2	CMT0557	2037 ± 1	-1.58
SC4	CMT0558	1982 ± 1	-2.18
SC6	CMT0559	2072 ± 1	1.26

Tabella 3. Controllo densità sui provini

Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 5 di 7
Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405

I risultati ottenuti si discostano rispetto a quanto ottenuto sul campione con una variazione massima prossima al 2.2%. Ciò è presumibilmente dovuto alle disomogeneità del materiale ed alla stima della massa volumica sul campione di partenza, realizzata, come già visto, in via geometrica.

4.5. Determinazione della conducibilità termica

In accordo con le norme 2-c e 2-d e sulla base della metodologia sperimentale messa a punto in 2-f e 2-g, si sono realizzate le prove per la determinazione della conducibilità termica a 10°C sfruttando la retta di taratura precedentemente elaborata e verificata.

4.6. Risultati

In Figura 4 si riporta la retta di taratura rappresentante la relazione $R_s - \Delta T_s / \Delta T_r$ con sopra evidenziati i punti rappresentativi delle misurazioni fatte sui tre provini.

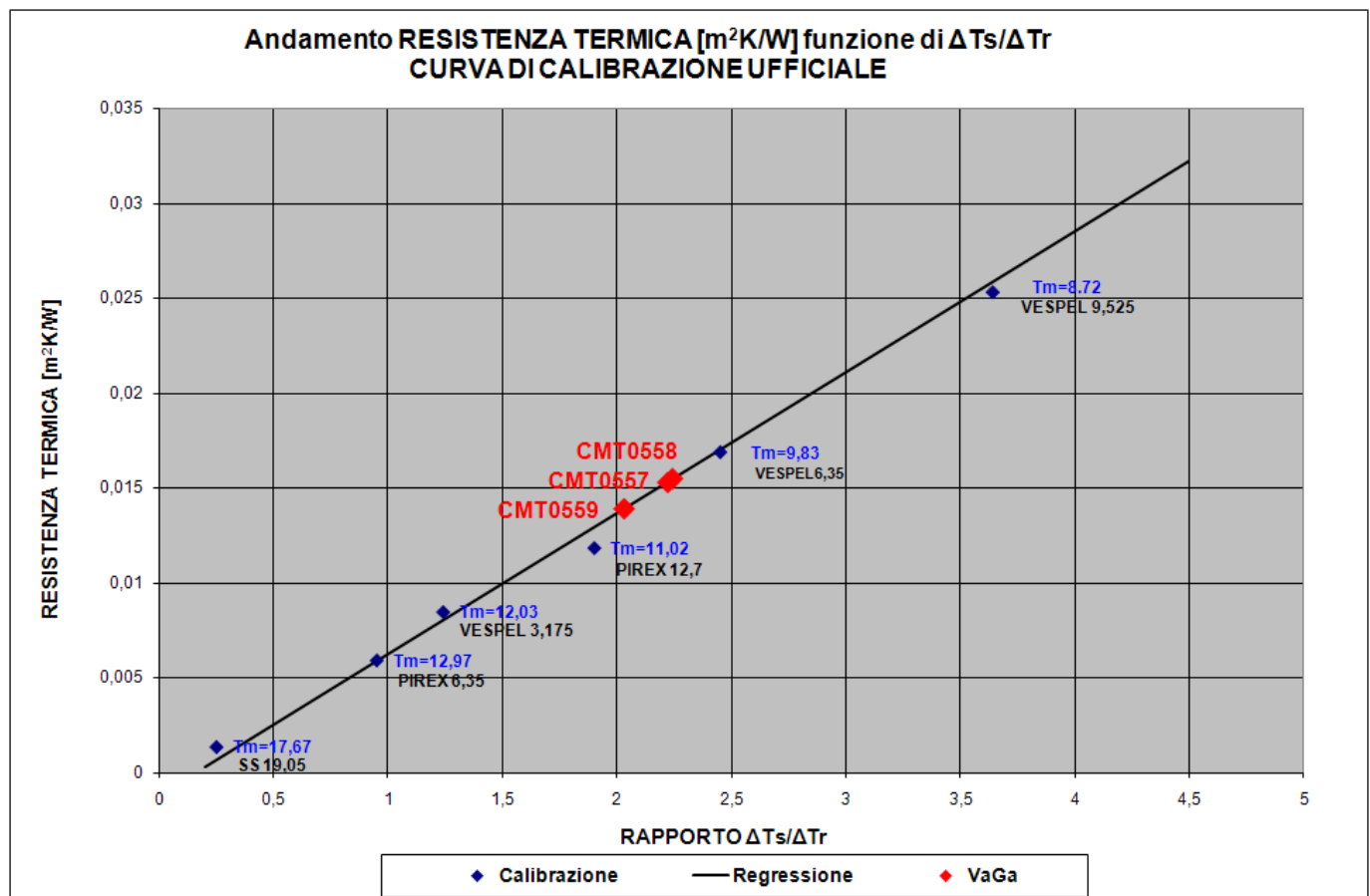


Figura 4. Rappresentazione grafica dei risultati

Il risultato scaturito dall'analisi sperimentale è stato ulteriormente verificato con la ripetizione di alcune prove e la realizzazione di ulteriori misurazioni sui materiali di taratura per confermare quanto precedentemente ottenuto. Inoltre si è implementato su di essi il modello di analisi statistica per la definizione dell'incertezza tipo (Rif. 2-h).

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 6 di 7
	Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405

Dal grafico elaborato in Figura 3 è stato possibile pervenire al valore di conducibilità $\lambda_{10,dry}$, come riportato in Tabella 4:

Materiale	Spessore (m)	Resistenza Termica (m ² K/W)	Conducibilità Termica (W/mK)	Densità (kg/m ³)
CMT0557	0.01795	1.55E-02	1.160 ± 0.026	2037
CMT0558	0.01763	1.53E-02	1.153 ± 0.026	1982
CMT0559	0.01804	1.39E-02	1.299 ± 0.030	2072

Tabella 4. Valori di conducibilità ottenuti sperimentalmente

5. Analisi dei risultati

La conducibilità termica risultante, al valore $\lambda_{10,dry}$, si attesta tra **1.15 e 1.29 W/mk**.

6. Lista di distribuzione

ENEA	M. Labanti	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Vaga S.r.L.	1 copia

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 7 di 7
	Ing. Luca Laghi	Ing. Luca Laghi	Ing. Martino Labanti	120220 - R - 2405