

CertiMaC
soc.cons. a r.l.
Via Granarolo, 62
48018 Faenza RA
Italy
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
€ 84.000
interamente versato

Sperimentazione eseguita

Ing. Jacopo Francisconi



Redatto

Ing. Jacopo Francisconi



Approvato

Ing. Luca Laghi



RAPPORTO DI PROVA

090220-R-4463

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DELLA CONDUCIBILITA' TERMICA $\lambda_{10,dry}$ E DERIVAZIONE DEL VALORE λ_{base} (NORMA UNI EN 1745) DEL PRODOTTO "CM04004 - BLOCCO 20x45x19 T", DELLA DITTA "COTTOSENESE S.P.A.", SAN QUIRICO D'ORCIA (SI).

LUOGO E DATA DI EMISSIONE: Faenza, 16/03/2015

COMMITTENTE: **Cottosenese S.p.A.**

INDIRIZZO: Via Fornaci 55/A, 53027 San Quirico d'Orcia (SI)

TIPO DI PRODOTTO: *Elemento estruso per muratura in laterizio*

NORMATIVE APPLICATE: UNI EN 1745

DATA RICEVIMENTO CAMPIONI: 02/03/2015

DATA ESECUZIONE PROVE: Marzo 2015

PROVE ESEGUITE PRESSO: CertiMaC, Faenza

NOTA: I risultati contenuti nel presente rapporto di prova si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto alle prove di seguito descritte.

E' inoltre ad uso esclusivo del Committente nell'ambito dei limiti previsti dalla normativa cogente e non può essere riprodotto (in forma cartacea o digitale) parzialmente, senza l'approvazione scritta del laboratorio.

Revisione -	Il presente Rapporto di Prova è composto da n. 11 pagine	Pagina 1 di 11	
Classificazione:	Prog. CNT	Ris. III	Arch. +5

1. Introduzione

La presente nota tecnica descrive la prova di:

- *determinazione della conducibilità termica $\lambda_{10,dry}$ e derivazione del valore $\lambda_{10,base}$,*

effettuata su una tipologia di prodotto per muratura in laterizio denominato "CM04004 – Blocco 20x45x19 T" inviata al laboratorio CertiMaC di Faenza dalla Ditta "Cottosenese S.p.A.", stabilimento di San Quirico d'Orcia (SI) (Rif- 2-a, 2-b). La prova è stata effettuata in accordo alle norme riportate ai Rif. 2-c e 2-d, in condizioni *dry* ed alla temperatura media di 10 °C. I campioni sono stati consegnati presso il laboratorio in data 02/03/2015.

2. Riferimenti

- Preventivo: prot. 15065/lab del 16/02/2015.
- Conferma d'ordine: e-mail del 16/02/2015.
- Norma UNI EN 1745:2012. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.
- Norma UNI EN ISO 10456:2008. Materiali e prodotti per l'edilizia. Proprietà Igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori tabulati e di progetto.
- Norma ASTM E1530:2006. Standard Test Method for Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique.
- Rapporto 090220-C-29 sulla calibrazione di una metodologia sperimentale per la determinazione della conducibilità termica di materiali per l'involucro edilizio.
- Rapporto 090220-C-30 sulle norme procedurali messe a punto per la determinazione della conducibilità termica di materiali per l'involucro edilizio.
- Rapporto Tecnico del 17/01/2011: Experimental tests with 2022 UnithermTM Heat Flow Meter: preliminary uncertainty analysis in Thermal Conductivity measurements.
- 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).

3. Oggetto della prova

La prova è stata eseguita sui prodotti estrusi in laterizio, fatti pervenire al laboratorio sotto forma di:

- *n° 10 elementi di dimensioni nominali pari a 200x450x190 mm.*

La prova è stata eseguita su tre provini ricavati a partire dai dieci campioni di partenza (Fig. 1), così come richiesto dalla norma 2-c e come concordato con il Committente.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 2 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463



Figura 1. Elemento in laterizio pervenuto al laboratorio

4. Esecuzione della prova e descrizione dei risultati

4.1. Metodologia di prova

La prova è stata eseguita nel pieno rispetto delle norme 2-c e 2-d che fissano i metodi per determinare i valori termici di progetto e della norma 2-e, 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):

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

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 3 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

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.

4.2. Controllo Densità del campione di partenza

Secondo quanto previsto al Rif. 2-f "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. La determinazione della densità è stata operata in via idrostatica, restituendo i risultati riportati in Tabella 1.

Campione di partenza, Controllo Densità (kg/m ³)	Densità ed incertezza estesa (kg/m ³)	
Blocco 1	1862.9 ± 0.2	
Blocco 2	1862.2 ± 0.2	
Blocco 3	1863.1 ± 0.2	MAX
Blocco 4	1858.9 ± 0.2	
Blocco 5	1858.2 ± 0.2	MED
Blocco 6	1854.9 ± 0.2	
Blocco 7	1862.8 ± 0.2	
Blocco 8	1862.1 ± 0.2	
Blocco 9	1835.0 ± 0.2	MIN
Blocco 10	1861.3 ± 0.2	

Tabella 1. Controllo densità sui campioni inviati (*l'intervallo di incertezza sulle misure di densità è individuato con un livello di confidenza del 95% utilizzando fattori di copertura determinati statisticamente per ogni singolo caso*)

I risultati ottenuti sui blocchi di partenza sono tra loro piuttosto concordi. La lieve dispersione tra i valori può essere imputabile a disomogeneità nell'impasto. La successiva verifica effettuata sul provino consentirà, con maggiore accuratezza, di confermare tali dati.

4.3. Stima spessore provino

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 4 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

Sulla base delle densità determinate sui campioni è possibile stimare, attraverso il prospetto A.1 della norma 2-c riportato in Tabella 2, il valore corrispondente di conducibilità termica previsto dalla normativa stessa, da cui risulta un valore compreso, in linea teorica, tra $\lambda = 0.516 \div 0.504 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ circa.

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

Per facilitare la realizzazione degli stessi si è uniformato lo spessore nominale a $s = 7.0 \text{ mm}$.

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

Density of the material (net dry density)	$\lambda_{10, dry, mat}$ [W/(m·K)]		Water vapour diffusion coefficient	Specific heat capacity c_p [J/(kg·K)]
	P = 50 % ^a	P = 90 %		
[kg/m ³]			μ	
1 000	0,20	0,27	5/10	1 000
1 100	0,23	0,30	5/10	1 000
1 200	0,26	0,33	5/10	1 000
1 300	0,30	0,36	5/10	1 000
1 400	0,34	0,40	5/10	1 000
1 500	0,37	0,43	5/10	1 000
1 600	0,41	0,47	5/10	1 000
1 700	0,45	0,51	5/10	1 000
1 800	0,49	0,55	5/10 ^b	1 000
1 900	0,53	0,60	5/10 ^b	1 000
2 000	0,58	0,64	5/10 ^b	1 000
2 100	0,62	0,69	5/10 ^b	1 000
2 200	0,67	0,74	5/10 ^b	1 000
2 300	0,72	0,79	5/10 ^b	1 000
2 400	0,77	0,84	5/10 ^b	1 000

$f_v = 10 \text{ (m}^3/\text{m}^3)$

^a Calculations in support of the Energy Performance of Buildings Directive are related to buildings and not to individual products. U-values used in such calculations are based on the mean thermal resistance of masonry elements. Therefore the recommended material λ value is the 50 % fractile.

^b For clay materials with a density between 1 800 kg/m³ and 2 400 kg/m³ used as facing materials the μ -value is 50/100 instead of 5/10.

Tabella 2. Valori di conducibilità tabellari per elementi argilla cotta

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 operazione eseguite in successione: carotatura con mola a tazza, cilindatura al tornio

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 5 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

parallelo per realizzare la finitura sulla dimensione diametrale (50.8 ± 0.25 mm) secondo la norma 2-d e spianatura con rettificatrice verticale a disco.



Figura 2. Provino per la misura della conducibilità termica

Di seguito si è condizionato il materiale in forno a **50°C** fino al raggiungimento dello stato essiccato. 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 (± 0.001 g) e calibro centesimale.

Campioni di Malta per Intonaco, Controllo geometrico Densità sui provini (kg/m^3)			
Campione di Partenza	Provino	Densità (kg/m^3)	Variazione % vs valore misurato sul Campione
Blocco 3	CLT1286	1859.02 \pm 8.90	- 0.22
Blocco 5	CLT1287	1852.08 \pm 8.56	- 0.33
Blocco 9	CLT1288	1860.59 \pm 12.22	1.39

Tabella 3. Controllo densità sui provini (l'intervallo di incertezza sulle misure di densità è individuato con un livello di confidenza del 95% utilizzando fattori di copertura determinati statisticamente per ogni singolo caso)

I risultati ottenuti si discostano rispetto a quanto ottenuto sul campione di partenza con una variazione massima prossima all'1,5% per il terzo provino e ciò è presumibilmente dovuto alle disomogeneità del materiale ed all'incertezza di misura del volume. Per il primi due provini gli scostamenti sono praticamente nulli. Per quanto detto, questi ultimi valori di massa volumica, ottenuti sui campioni di diametro di 50.8 mm, costituiscono il termine di paragone per la correlazione con le misure di conducibilità termica.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 6 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

4.5. Determinazione della conducibilità termica

In accordo con la norma 2-c 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 Fig. 3 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.

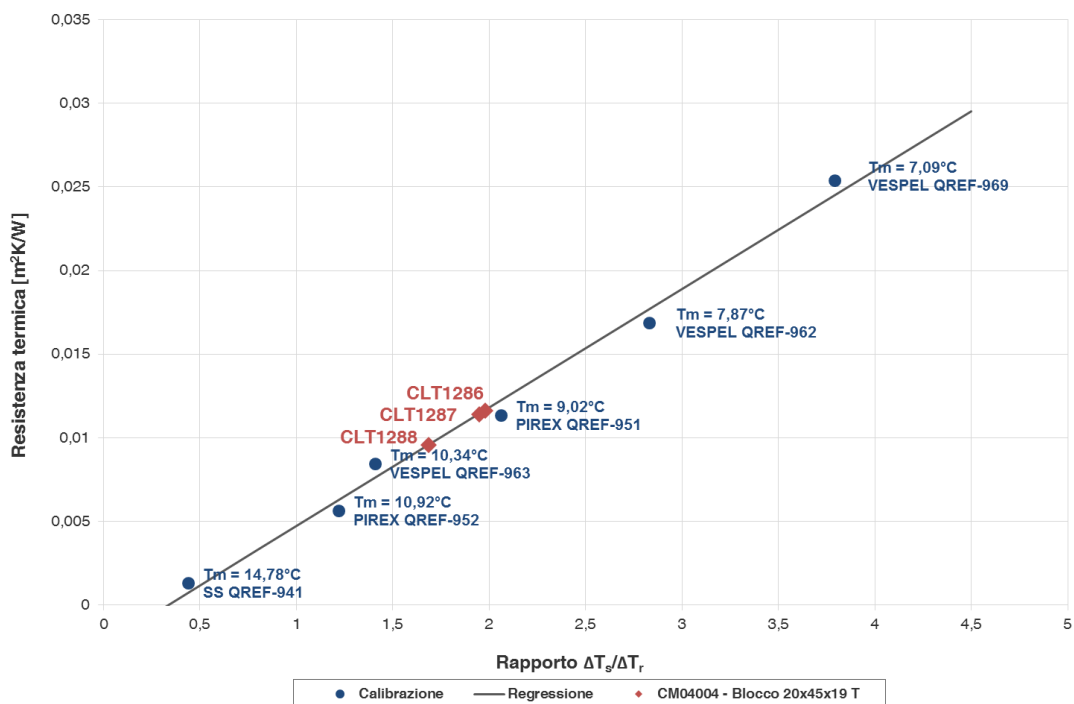


Figura 3. Rappresentazione grafica dei risultati

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).

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

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 7 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

Materiale	Spessore (m)	Resistenza Termica (m ² K/W)	Conducibilità Termica (W/mK)	Densità (kg/m ³)
CLT1286	0.00598	9.568E-03	0.625 ± 0.027	1859.0
CLT1287	0.00726	1.142E-02	0.636 ± 0.023	1852.1
CLT1288	0.00736	1.163E-02	0.633 ± 0.023	1860.6

Tabella 4. Valori di conducibilità ottenuti sperimentalmente

5. Determinazione del valore di λ_{base}

5.1. Riferimenti normativi

La normativa, di cui al Rif. 2-c, prevede, al Par. 4.2.2.5, la procedura per la “Determinazione del Valore λ di Base” a partire dalla conoscenza di tre fattori fondamentali: la correlazione massa volumica-conducibilità termica secondo i valori Tabellari previsti dalla stessa norma all’Appendice A (Cfr. Tab. 2 – Rif. 2-c); la determinazione di almeno tre misurazioni di conducibilità termica e rispettiva massa volumica su altrettanti provini caratteristici della tipologia di prodotto in questione (Cfr. Tab. 4) ed infine, la conoscenza della gamma di massa volumica del prodotto derivata dai controlli in fase di produzione da parte del Committente stesso (Cfr. Tab. 1).

La procedura grafico-analitica, che implementa alcune direttive della norma al Rif. 2-d, viene richiamata attraverso la Fig. 4.

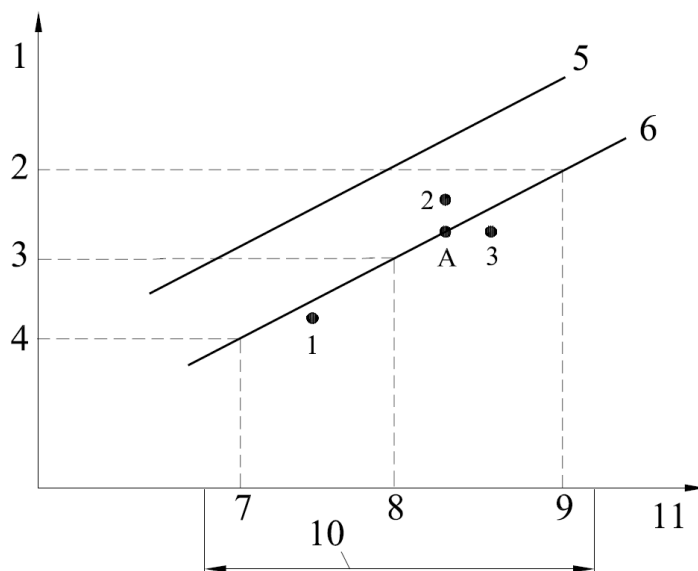


Figura 4. Derivazione del Valore λ_{base}

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 8 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

5.2. Calcolo del valore di base

Il procedimento seguito per la determinazione del valore di base viene riportato di seguito:

1. Calcolo del valore medio dei tre risultati sperimentali di $\lambda_{10,dry}$ (W/mK):

$$\lambda_{10,dry,MED} = 0.631 \text{ W/mK}$$

2. Calcolo del valore medio dei tre risultati sperimentali ottenuti di massa volumica ρ (kg/m³):

$$\rho_{MED} = 1857.2 \text{ kg/m}^3$$

3. Disposizione dei risultati così ottenuti sul grafico di Fig. 5 in cui si è tracciata la curva dei valori tabellari al 50% del frattile esistente per l'intervallo di massa volumica considerato e si è determinato il punto A come valore caratterizzato da $\lambda_{10,dry,MED}$ e ρ_{MED} . Si è inoltre effettuato l'offset della curva tabellare fino a farla passare per il punto A stesso.

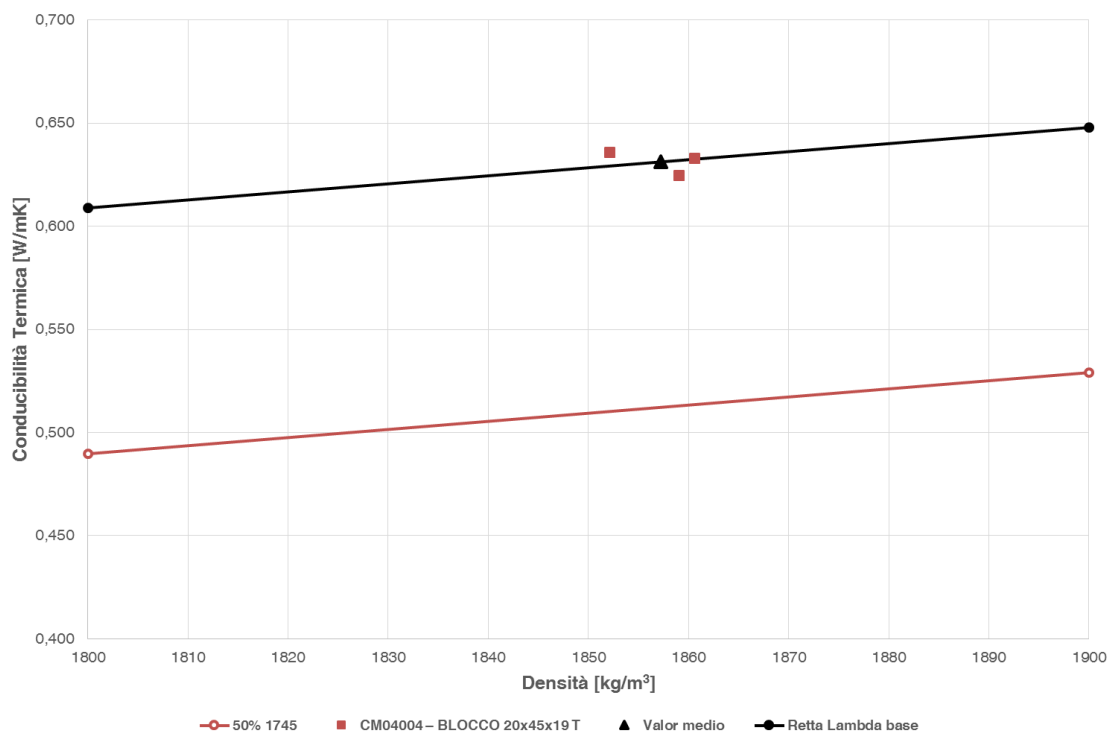


Figura 5. Determinazione del valore λ_{base} – frattile 50%

4. Derivazione dei valori di massa volumica e di conducibilità termica medi a partire dai valori di Tab. 1 relativi ai valori di massa volumica disponibili e indicati con il pedice "MED,T":

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 9 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

$$\rho_{MED,T} = 1858.1 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{10,Dry,MED,T} = 0.632 \text{ W/mK}$$

5. Derivazione del valore limite al 50% della gamma di massa volumica esistente del prodotto in questione, secondo i requisiti richiesti dalla norma 2-d: la determinazione dei valori limite richiede la pre-determinazione dei valori frattili con affidabilità del 90% e nell'ipotesi che la distribuzione dei dati a disposizione sia di tipo Gaussiano (Cfr. Appendice C – Rif. 2-d):

$$\rho_{lim \ 50\%} = 1861.6 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{lim \ 50\%} = 0.633 \text{ W/mK}$$

6. Derivazione del valore λ di Base come:

$$\lambda_{base} = \lambda_{10,dry,50\%} \pm \Delta\lambda_{10,dry}(LIMITI) \quad (3)$$

Da cui risulta:

$$\lambda_{base} = 0.633 \text{ W/mK}$$

6. Analisi dei risultati

Dalla sperimentazione fatta, si ottengono valori di conducibilità termica compresi tra **0.625 e 0.636 W/mK**, da cui risulta un valore di conducibilità lambda base pari a **0.633 W/mK**. In Appendice A si riporta infine il trend dei valori sperimentali misurati in relazione alla massa volumica a confronto con i valori tabellari (tabella A.1) forniti dalla norma al Rif. 2-c, da cui emerge che i valori di conducibilità ottenuti sui provini sono superiori rispetto a quanto ricavato dai prospetti della norma 2-c, in corrispondenza dei valori forniti al 50%.

7. Lista di distribuzione

ENEA	Archivio	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	Cottosenese S.p.A.	1 copia

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 10 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463

APPENDICE A

Si riporta in Fig. 6 il grafico che mostra la relazione tra la conducibilità termica sperimentalmente rilevata sui materiali in esame e la massa volumica misurata degli stessi. Tali risultati vengono visivamente comparati ai valori tabellari (Cfr. Rif. 2-c) forniti per lo stesso range di massa volumica.

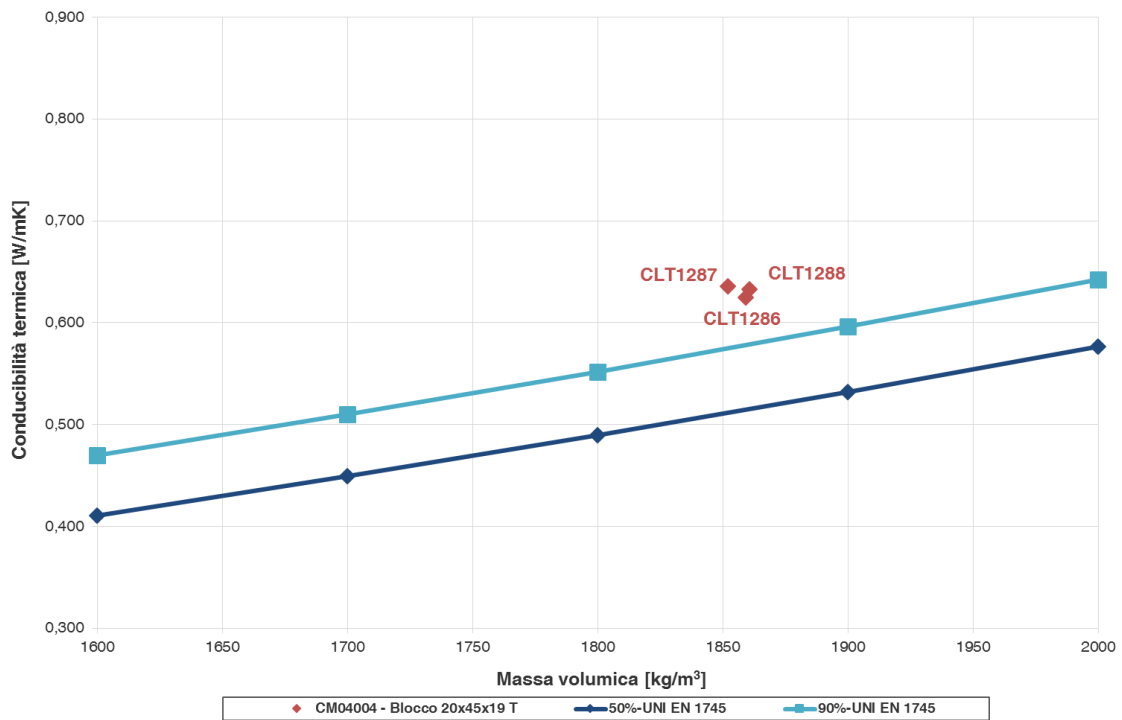


Figura 6. Rappresentazione grafica dei risultati: relazione $\lambda_{10,dry}$ - massa volumica

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 11 di 11
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090220 - R - 4463