

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 CALCOLO

090219-R-4464

DETERMINAZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ TERMICA EQUIVALENTE λ_{equ} DEL PRODOTTO “CM04004 – BLOCCO 20x45x19 T” E DI UNA MURATURA DA QUESTI COSTITUITA 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.**

STABILIMENTO: Via Fornaci 55/A, 53027 San Quirico d’Orcia (SI)

TIPO DI PRODOTTO: *Blocco 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. 10 pagine	Pagina 1 di 10	
Classificazione:	Prog. CNT	Ris. III	Arch. +5

1. Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto la determinazione dei valori termici di progetto del prodotto "CM04004 – Blocco 20x45x19 T" richiesta al laboratorio CertiMaC di Faenza dalla ditta "Cottosenese S.p.A.", stabilimento di San Quirico d'Orcia (SI) (Rif. 2-a, 2-b). In Fig. 1 è riportata l'immagine di uno dei blocchi forniti dal Committente.

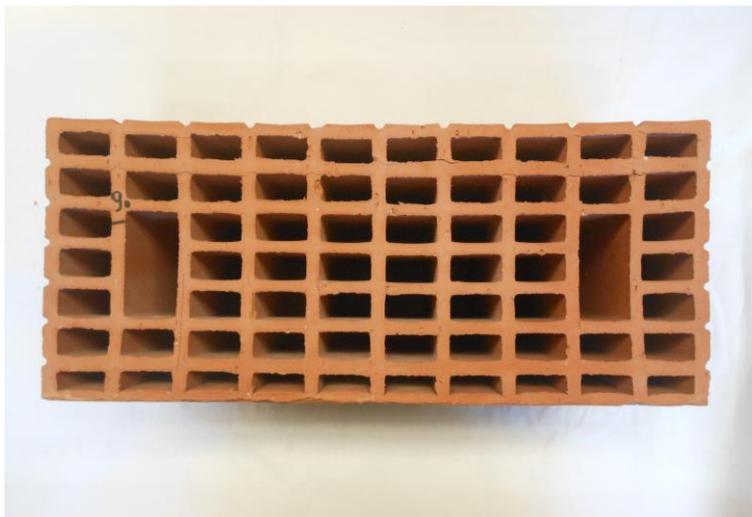


Figura 1. Tipologia di prodotto fornita dal committente.

I valori termici per la suddetta tipologia di prodotto sono stati determinati mediante la metodologia di calcolo definita dalla norma al Rif. 2-c ed a partire da valori di conducibilità dell'impasto e di massa volumica rilevati sperimentalmente (Rif. 2-d). Il calcolo è stato eseguito nella condizione di flusso termico normale alla larghezza del blocco.

2. Riferimenti

- a. Preventivo: prot. 15065/lab del 16/02/2015.
- b. Conferma d'ordine: e-mail del 16/02/2015.
- c. Norma UNI EN 1745:2012. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.
- d. Rapporto di prova 090220-R-4463 del 16/03/2015: Determinazione sperimentale della conducibilità 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).
- e. Rapporto di Calibrazione CertiMaC 040219-C-17/Rev01 del 10/03/2009. Calibrazione di un modello bidimensionale per il calcolo della conducibilità equivalente di un mattone per muratura.
- f. Norma UNI EN 772-16:2012. Metodi di prova per elementi in muratura. Determinazione delle dimensioni.
- g. Norma UNI EN 6946:2008. Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 2 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Iaghi	090219-R-4464

3. Descrizione del Metodo di Calcolo della Conducibilità Termica Equivalente del singolo blocco

La conducibilità termica equivalente λ_{equ} del singolo mattone è stata determinata, secondo le direttive della norma del Rif. 2-c, mediante il modello di calcolo basato sul metodo degli elementi finiti (F.E.M.) e messo a punto con il programma Ansys 15.0 (Rif. 2-d), applicato ad una sezione piana del blocco, perpendicolare all'asse di foratura, parallela al flusso termico e considerata di altezza unitaria (Fig. 2).

4. Dati di calcolo per la determinazione della Conducibilità Termica Equivalente del singolo blocco

4.1. Geometria

In assenza di un disegno di riferimento da cui ricavare le informazioni necessarie per l'impostazione del modello di calcolo FEM, è stata adottata la seguente procedura (Appendice A: Fig. 14):

- Determinazione delle dimensioni dei blocchi inviati presso il laboratorio (Rif. 2-f) al fine di determinare la dimensione media caratteristica di quella tipologia di prodotto;
- Spianatura delle facce del mattone fornito dal committente che sia risultato dimensionalmente più prossimo alla dimensione media della tipologia di prodotto. La spianatura è necessaria per eliminare le bave risultanti dalle operazioni di taglio nella fase di estrusione;
- Acquisizione, mediante dispositivo scanner, delle immagini della superficie del mattone e conversione delle stesse in formato jpg. La geometria scelta per rappresentare l'intera tipologia di prodotto e implementare il calcolo è stata poi regolarizzata in modo da poter garantire le simmetrie proprie del prodotto derivante dal processo di estrusione.
- Rilevazione delle caratteristiche geometriche dei fori (forma geometrica ed interassi) e dei profili esterni sulla base delle dimensioni medie ricavate dalla campionatura inviata mediante misura diretta con calibro centesimale;
- Definizione, sulla base dei suddetti valori, delle caratteristiche geometriche medie della tipologia di prodotto da considerare nei calcoli (Fig. 2).

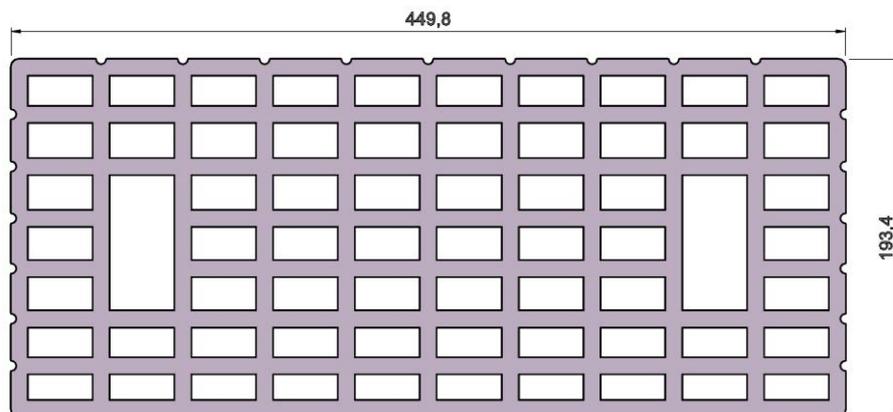


Figura 2. Geometria della sezione del blocco utilizzata per il calcolo

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 3 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

4.2. Conducibilità Termica dell'impasto di Argilla

La conducibilità termica $\lambda_{10, dry}$ dell'impasto è stata ricavata sperimentalmente e successivamente è stato calcolato il valore λ_{base} , in funzione della massa volumica, come descritto al Rif. 2-d. Sulla base delle elaborazioni suddette è stato pertanto considerato il seguente valore termico di base, coincidente con il valore:

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

4.3. Conducibilità termica equivalente delle cavità d'aria

Le cavità del blocco (Fig. 3) vengono modellate introducendo una conducibilità equivalente funzione delle caratteristiche geometriche delle cavità stesse.

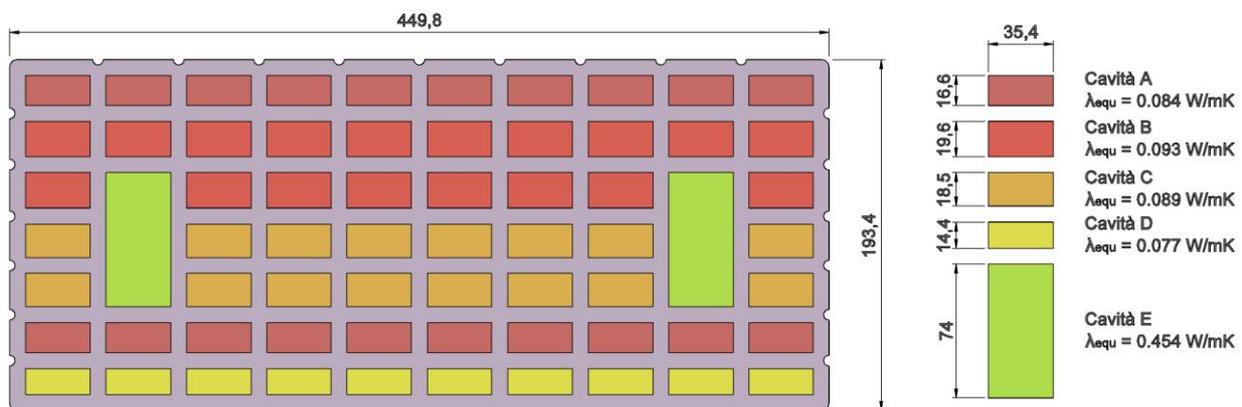


Figura 3. Sezione del blocco e dati relativi alle cavità d'aria.

Il calcolo è stato effettuato in relazione all'unica tipologia di posa in opera propria di questa tipologia di prodotto, cioè con asse di foratura verticale ed esposizione verso l'interno ed esterno dei lati di dimensione nominale 450 mm, riferendo la conducibilità dell'aria all'interno delle cavità ad una temperatura di 10°C.

4.4. Condizioni al contorno

La norma del Rif. 2-c indica le condizioni al contorno necessarie per la definizione del modello e fa riferimento alle temperature interna ed esterna ed ai valori di resistenza termica superficiale, interna ed esterna. Questi ultimi si riferiscono ai fenomeni di convezione ed irraggiamento che si hanno sulle superfici del mattone e vengono così valutati dalla norma del Rif. 2-g al paragrafo 5.2 (Tab. 1):

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 4 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

Condizioni al CONTORNO del calcolo	
Grandezza fisica	Valore nominale
Temperatura interna T_i	20 °C = 293.15 K
Temperatura interna T_e	0°C = 273.15 K
Resistenza Superficiale interna R_{si}	0.13 m ² K/W
Resistenza Superficiale interna R_{se}	0.04 m ² K/W

Tabella 1. Condizioni al contorno applicate

Le condizioni al contorno sono state applicate considerando come superfici rivolte verso l'ambiente interno ed esterno i lati di dimensione nominale 450 mm.

4.5. Tipologia di elemento e mesh

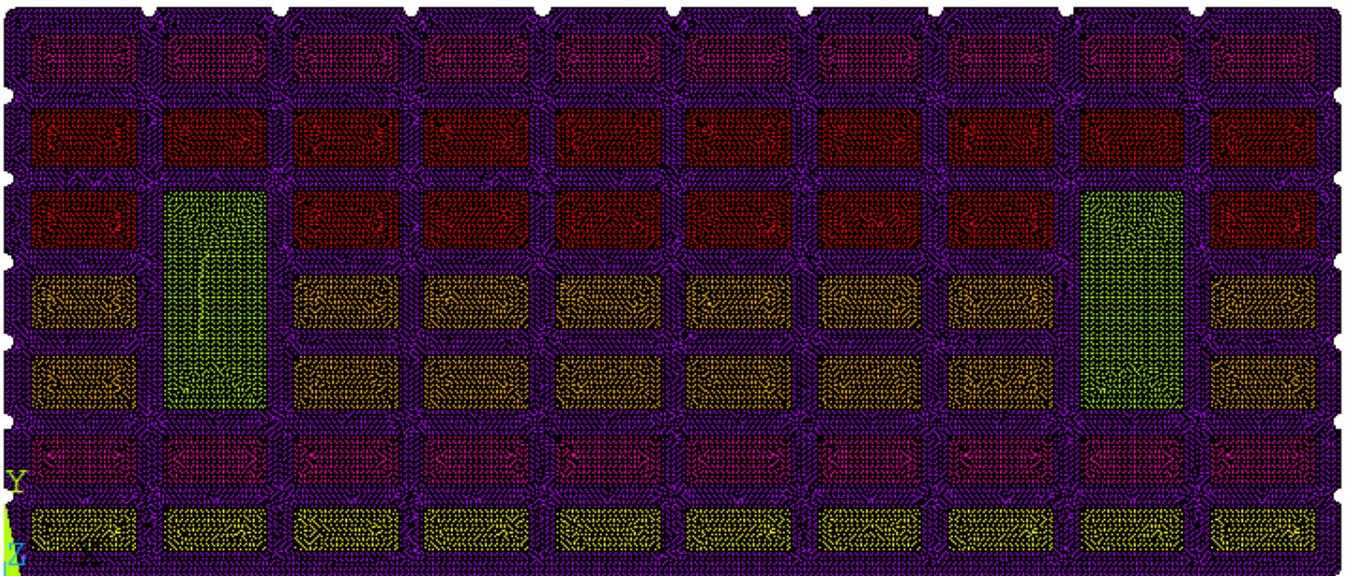


Figura 4. Mesh del blocco

Considerata la geometria del blocco, il calcolo della conducibilità termica equivalente mediante il metodo degli elementi finiti (F.E.M.) è stato eseguito utilizzando elementi di tipo triangolare lineari (elementi **plane 55** del programma di calcolo Ansys 15.0). L'infittimento della mesh (dimensioni e distribuzioni degli elementi) è stato definito, in relazione alla specificità della geometria della sezione del mattone, mediante il metodo di certificazione calcolo messo a punto, secondo le direttive riguardanti l'accuratezza dei risultati riportate nella norma del Rif. 2-c, con il programma di calcolo Ansys 15.0 (Rif. 2-d).

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 5 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

Al fine di garantire una accuratezza dei calcoli significativamente inferiore al limite del 2% indicato dalla norma al Rif. 2-c, è stata pertanto considerata una mesh per il modello del mattone costituita, secondo le indicazioni del Rif. 2-d, da **201202 elementi e 101294 nodi** (con lati di dimensione media pari a 1 mm) (Fig.4).

4.6. Risultati del calcolo per il singolo blocco

Il calcolo della conducibilità termica equivalente del singolo mattone $\lambda_{\text{equ mattone}}$ eseguito per i valori di conducibilità termica dell'impasto di argilla λ_{base} riportati al paragrafo 4.2, ha fornito i seguenti risultati a partire dall'output ottenuto da Ansys, ossia il flusso di calore (W/m) (Tab. 3).

RISULTATI del CALCOLO F.E.M.					
Flusso Termico (W/m)	Coefficiente di Accoppiamento Termico Bidimensionale (W/mK)	Trasmittanza Termica (W/m ² K)	Resistenza Termica complessiva (m ² K/W)	Resistenza Termica del solo strato (m ² K/W)	Conducibilità Termica Equivalente (W/mK)
Φ	$L^{2D}=\Phi/\Delta T$	$U= L^{2D}/W$	$R_T=1/U$	$R_t=R_T-R_{si}-R_{se}$	$\lambda_{\text{equ}}=d/ R_t$
9.8040	0.4902	1.0898	0.9176	0.7476	0.2587

Tabella 2. Risultati del calcolo

In relazione alla posa in opera del mattone descritta, nelle sezioni del mattone perpendicolari alla direzione del flusso termico, considerate di altezza unitaria, risulta un valore del flusso termico, determinato mediante il modello agli elementi finiti, pari a $\Phi = 9.8040$ W/m.

In Tabella 2 è rappresentata l'intera serie di calcoli che consentono di determinare la conducibilità equivalente: dividendo il flusso di calore che attraversa le suddette sezioni per il salto termico ($\Delta T = 20^\circ\text{C}$) a cui è sottoposto il mattone, viene definito il Coefficiente di Accoppiamento termico bidimensionale che a sua volta, se diviso per la lunghezza del mattone, fornisce il valore di Trasmittanza Termica. Il suo inverso rappresenta la Resistenza Termica complessiva da cui, sottraendo i valori delle resistenze superficiali, si ottiene per il mattone il valore della resistenza termica in assenza di fenomeni di convezione ed irraggiamento e, considerato lo spessore (Fig. 2), si determina la Conducibilità Termica Equivalente a secco pari a $\lambda_{\text{equ mattone}} = 0.2587$ W/mK (Tab. 2). Dal confronto conducibilità termica equivalente del singolo mattone $\lambda_{\text{equ mattone}}$ con il valore di conducibilità termica dell'impasto d'argilla λ_{base} inizialmente considerato, riportato al paragrafo 4.2, si deduce che la tipologia di foratura adottata riduce di circa il **59.1%** la conducibilità equivalente del mattone.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti, riguardo l'andamento delle isoterme e del flusso termico (Figg. 5 e 6).

Dal calcolo fatto emerge un effettivo miglioramento delle caratteristiche termiche del blocco rispetto all'impasto di cui esso si costituisce.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 6 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

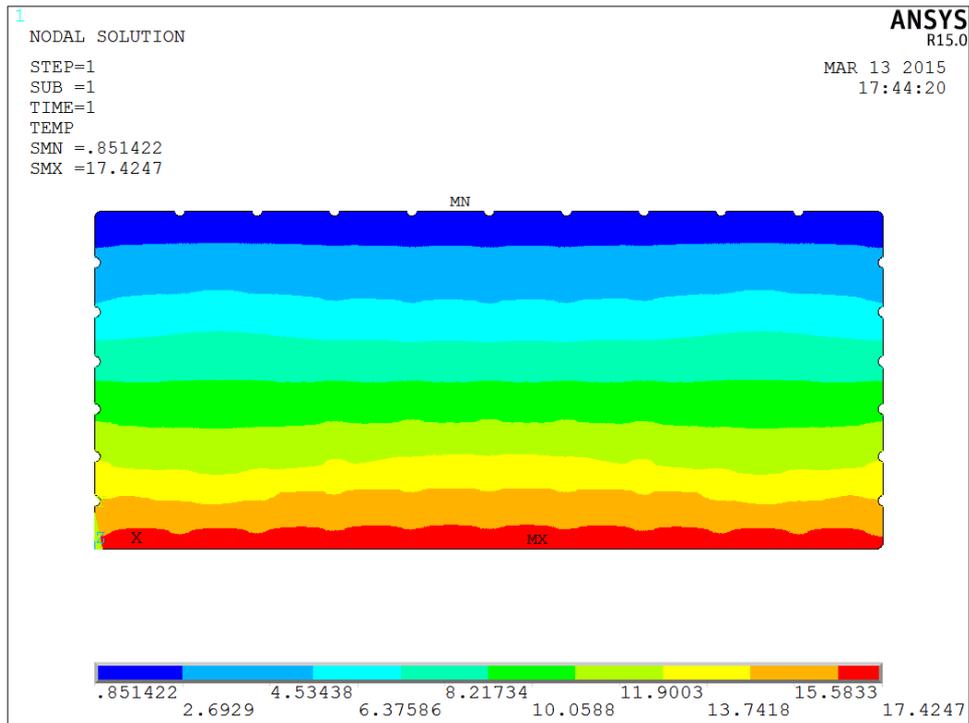


Figura 5. Andamento delle Curve Isotherme all'interno del blocco [°C]

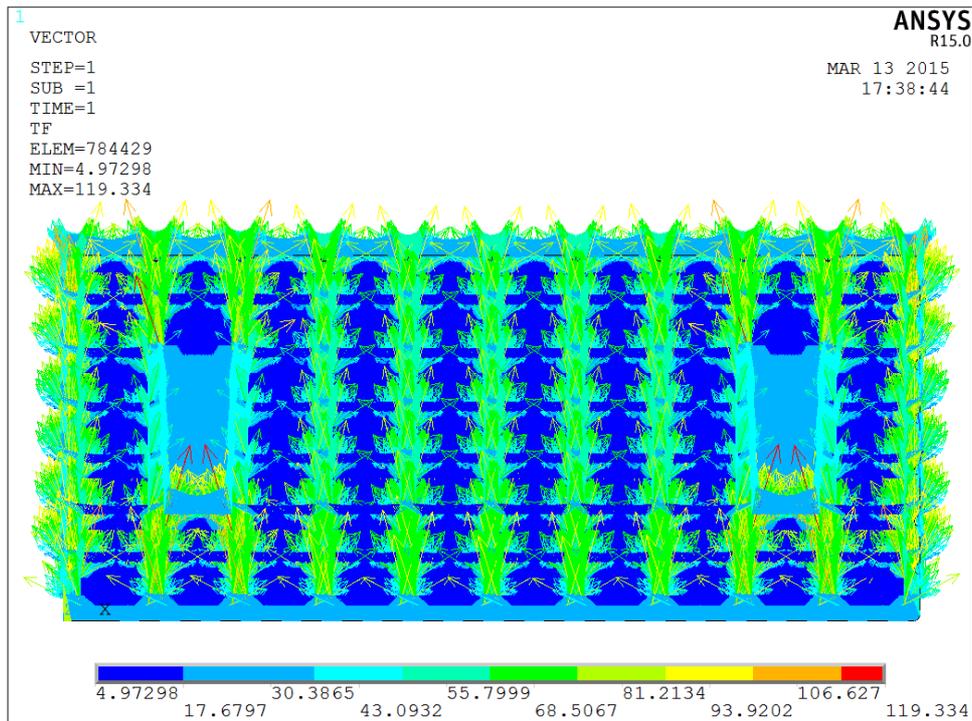


Figura 6. Andamento vettoriale del Flusso di Calore Medio per Elemento [W/m²]

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 7 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

5. Determinazione dei valori termici della muratura

Ai fini della stima dei valori termici della parete, si sono considerati giunti realizzati in malta cementizia di spessore pari a 9 mm e due strati di intonaco (uno interno e l'altro esterno) di spessore pari a 15 mm. Per la valutazione dei valori termici della parete, sono state esaminate due differenti configurazioni: la prima prevede l'utilizzo di malta e di intonaco tradizionali; la seconda invece tiene in considerazione malta ed intonaco termici, con prestazioni più elevate.

La parete, a prescindere dalla presenza degli strati di intonaco, è stata considerata come in Fig. 7.

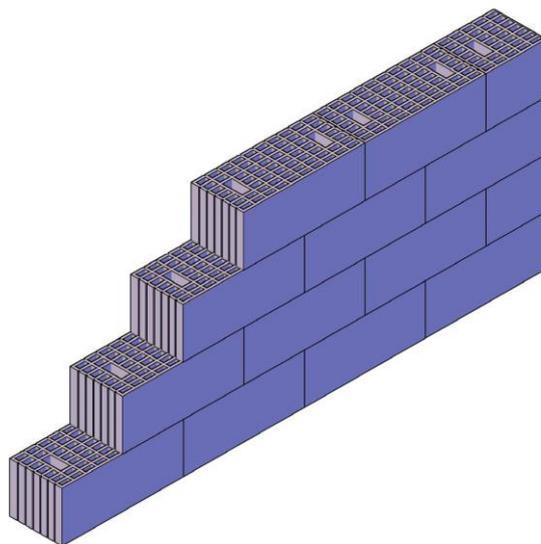


Figura 7. Parete composita considerata nel calcolo.

5.1 Dati di input

Sulla base dei risultati riportati ai paragrafi precedenti, si è sviluppato il calcolo a partire dai seguenti dati di input caratterizzanti la muratura:

Dati di input del calcolo		
	Caratteristiche Dimensionali (mm)	Conducibilità Termica (W/mK)
Blocco con cavità riempite	200x450x190	0.2587
Giunti di malta tradizionale	Spessore = 9	0.700
Giunti di malta termica	Spessore = 9	0.100
Intonaco tradizionale. (int/est)	Spessore = 15	0.700
Intonaco termico (int/est)	Spessore = 15	0.100

Tabella 3. Dati utilizzati per l'esecuzione del calcolo

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 8 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

5.2 Risultati del calcolo per la parete non intonacata

Di seguito si riportano i valori termici della parete non intonacata nel caso dell'impiego di materiali "tradizionali" e con spiccate proprietà termiche.

a) Malta tradizionale: ($\lambda_{\text{malta}} = 0.700 \text{ W/mK}$)

Risultati per la parete in configurazione tradizionale	
Grandezza Fisica	Risultato
Resistenza termica del solo strato R_t ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.6784
Conducibilità equivalente della parete λ_{equ} (W/mK)	0.3243
Resistenza termica della parete comprensiva delle resistenze termiche superficiali R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.8484
Trasmittanza termica U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1.1787

Tabella 4a. Risultati del calcolo per la parete con malta tradizionale.

b) Malta termica: ($\lambda_{\text{malta}} = 0.100 \text{ W/mK}$)

Risultati per la parete in configurazione termica	
Grandezza Fisica	Risultato
Resistenza termica del solo strato R_t ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.7660
Conducibilità equivalente della parete λ_{equ} (W/mK)	0.2872
Resistenza termica della parete comprensiva delle resistenze termiche superficiali R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.9360
Trasmittanza termica U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1.0684

Tabella 4b. Risultati del calcolo per la parete con malta termica

5.3 Risultati del calcolo per la parete intonacata

Per quanto riguarda la muratura composta dagli stessi blocchi, ma considerando anche la presenza della malta da intonaco, si ottiene quanto sotto riportato:

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 9 di 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464

a) Intonaco Tradizionale: ($\lambda_{\text{intonaco}} = 0.700 \text{ W/mK}$)

Risultati per la parete con intonaco tradizionale	
Grandezza Fisica	Risultato
Resistenza termica del solo strato R_t ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.7212
Conducibilità equivalente della parete λ_{equ} (W/mK)	0.3050
Resistenza termica della parete comprensiva delle resistenze termiche superficiali R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.8912
Trasmittanza termica U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1.1220

Tabella 5a. Risultati del calcolo per la parete con intonaco tradizionale.

b) Intonaco Termico: ($\lambda_{\text{intonaco}} = 0.100 \text{ W/mK}$)

Risultati per la parete con intonaco termico	
Grandezza Fisica	Risultato
Resistenza termica del solo strato R_t ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1.0660
Conducibilità equivalente della parete λ_{equ} (W/mK)	0.2064
Resistenza termica della parete comprensiva delle resistenze termiche superficiali R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1.2360
Trasmittanza termica U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0.8091

Tabella 5b. Risultati del calcolo per la parete con intonaco termico.

6 Conclusioni

Sulla base dei calcoli eseguiti si è ottenuto un valore di conducibilità termica equivalente del mattone pari a **0.2587 W/mK**. Dalle figure 5 e 6 si può notare, a tal proposito, come vi siano percorsi preferenziali per il flusso termico nei setti interni che separano le cavità. Tuttavia si può constatare una riduzione della conducibilità nel passare dall'impasto al blocco pari al **59.1%**. Nel caso invece dei calcoli effettuati sulla muratura, si ottiene una trasmittanza di **0.8091 W/m²K** nel caso venga applicato un intonaco termico ed un valore pari a **1.1220 W/m²K** nel caso di intonaco di tipo tradizionale.

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 10
	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Jacopo Francisconi	Ing. Luca Laghi	090219-R-4464