

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. Francesco Giacometti



**Redatto**

Ing. Francesco Giacometti



**Approvato**

Ing. Martino Labanti



# RAPPORTO DI PROVA

**040216 - R - 0867**

**DETERMINAZIONE DEI VALORI TERMICI DI PROGETTO DEL PRODOTTO "MATTONE FACCIA A VISTA 3 FORI GAIOLE", 24x12x5,5", DELLA DITTA "SO.LA.VA. S.p.A." STABILIMENTO DI PIANDISCO' (AR), E DI UNA PARETE IN MURATURA DA ESSO COSTITUITA (NORMA UNI EN 1745). FLUSSO TERMICO ATTRAVERSO LO SPESSORE DI 120 mm.**

LUOGO E DATA DI EMISSIONE: Faenza, 23/11/2007

COMMITTENTE: **SO.LA.VA. S.p.A.**

STABILIMENTO: Via della Fornace, 18 - 52026 Piandiscò (AR)

TIPO DI PRODOTTO: **Mattone Faccia a Vista in Laterizio**

NORMATIVA APPLICATA: UNI EN 1745

DATA RICEVIMENTO CAMPIONI: 09/11/2007

DATA ESECUZIONE PROVA: Novembre 2007

PROVA ESEGUITA PRESSO: CertiMaC, Faenza

Revisione -	Il presente Rapporto di Prova è composto da n. 12 pagine	Pagina 1 di 12	
Classificazione:	Prog. CNT	Ris. III	Arch. +5

## 1. Introduzione

Il presente rapporto ha per oggetto la:

- *determinazione dei valori termici (conducibilità, conduttanza, resistenza e trasmittanza) di progetto di un singolo mattone e di una parete in muratura da esso costituita,*

effettuata su una tipologia di prodotto selezionato ed inviato al laboratorio CertiMaC di Faenza dalla Ditta "SO.LA.VA. S.p.A.", stabilimento di Piandiscò (AR) (Rif. 2-a, 2-b).

Il calcolo è stato effettuato in accordo con le norme riportate nei Rif. 2-c, Rif. 2-d. e considerando che il flusso termico attraversi lo spessore di 120 mm.

## 2. Riferimenti

- Preventivo: prot. 339/lab del 09/11/2007.
- Conferma d'ordine: fax del 12/11/2007.
- Norma UNI EN 1745. Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.
- Norma UNI EN 6946. Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.
- Nota tecnica sulla calibrazione di un modello bidimensionale per il calcolo della conducibilità equivalente di un blocco per muratura del 7/2007.
- Norma UNI EN 772-13. 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).
- Rapporto di prova 040208-R-0865 del 23/11/07. Determinazione della massa volumica a secco assoluta e della massa volumica a secco apparente del prodotto "Mattone Faccia a Vista 3 fori Gaiole, 24x12x5,5" della ditta SO.LA.VA S.p.a., stabilimento di Piandiscò (Ar).
- Rapporto di prova 040209-R-0864 del 23/11/07. Determinazione delle dimensioni del prodotto "Mattone Faccia a Vista 3 fori Gaiole, 24x12x5,5" della ditta SO.LA.VA S.p.a., stabilimento di Piandiscò (Ar).
- Rapporto di prova 040207-R-0863 del 23/11/07. Determinazione del volume netto e della percentuale dei vuoti del prodotto "Mattone Faccia a Vista 3 Fori Gaiole, 24x12x5,5" della ditta SO.LA.VA S.p.a., stabilimento di Piandiscò (Ar).
- Norma UNI EN ISO 10456. Materiali e prodotti per edilizia. Procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.
- Norma UNI EN 12524. Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà idrometriche. Valori tabulati di progetto.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 2 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 – R- 0867

### 3. Descrizione del campione

Il calcolo è stato eseguito sul seguente prodotto in laterizio:

➤ *Mattone faccia a vista 3 fori Gaiole, 24x12x5,5.*

Le dimensioni nominali di produzione del campione sono 240 x 120 x 55 mm. I provini oggetto del calcolo sono stati selezionati all'interno di una campionatura inviata dalla Ditta "SO.LA.VA. S.p.A." (d.d.t. n. 63 del 07/11/2007).

### 4. Descrizione del metodo di calcolo

La determinazione dei valori termici di progetto del singolo mattone è stata svolta secondo le direttive previste dalla norma riportata nel Rif. 2-c, utilizzando il modello di calcolo agli elementi finiti bidimensionale messo a punto con il programma di calcolo *Ansys* ver. 8.0 (Rif. 2-e).

Come oggetto del modello di calcolo è stata presa una sezione piana bidimensionale del mattone, parallela alla direzione del flusso termico e perpendicolare all'asse di foratura degli elementi.

### 5. Dati di calcolo per la determinazione dei valori termici del singolo mattone

#### 5.1 Geometria

La geometria della sezione piana del mattone (Fig.1) è stata definita considerando le dimensioni medie ottenute dai controlli dimensionali standard (Rif. 2-h, 2-i).

In appendice A viene riportata una fotografia del prodotto tal quale.

#### 5.2 Conducibilità termica dell'impasto

La conducibilità dell'impasto è stata ricavata per interpolazione dal prospetto A.1 della norma di Rif. 2-c (riportato in Appendice B), assumendo i valori  $\lambda_{10,secco}$  della colonna P=90% (con valori di probabilità del 90%). Dal valore di massa volumica a secco assoluta media del mattone pari a 2008,4 kg/m<sup>3</sup>, ottenuto mediante prova sperimentale (Rif. 2-g) secondo il procedimento indicato nella norma del Rif. 2-f, si ottiene quindi un valore di conducibilità dell'impasto:

-  $\lambda_{impasto} = 0.644 \text{ W/mK}$ .

#### 5.3 Resistenza termica dei vuoti d'aria

La resistenza termica delle cavità d'aria è stata calcolata secondo la metodologia indicata nella norma del Rif. 2-d all'Appendice B. Essendo le cavità in questione a sezione circolare, per il calcolo della loro resistenza termica sono state considerate equivalenti a cavità quadrate con la medesima area come descritto in appendice B.3 della norma del Rif. 2-d, riferendo la conducibilità dell'aria all'interno delle cavità ad una temperatura di 10°C:

-  $R_g = 0,238 \text{ m}^2\text{K/W}$

-  $\lambda_{vuoti} = 0,155 \text{ W/mK}$ .

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 3 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

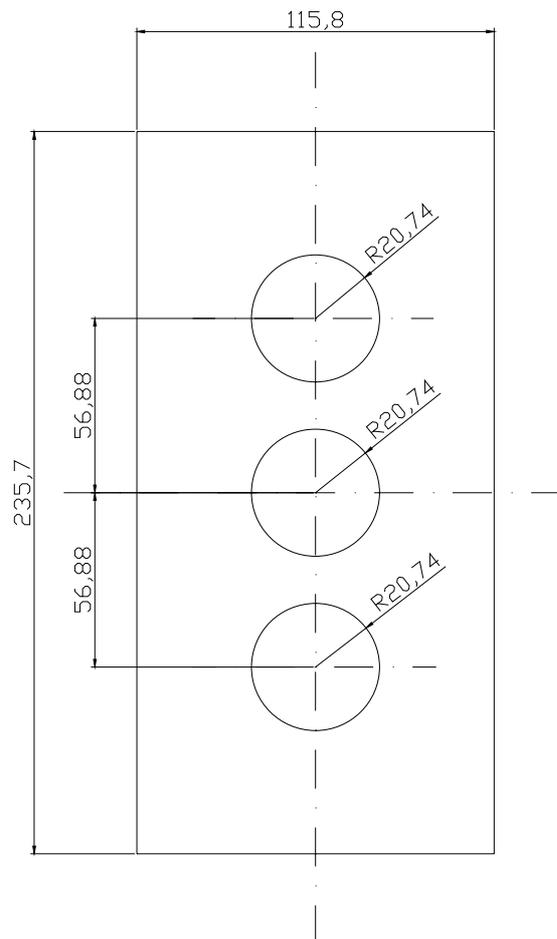


Figura 1. Geometria della sezione del mattone utilizzata per il calcolo

#### 5.4 Condizioni limite

Come condizioni limite la norma del Rif. 2-c intende i valori di resistenza termica superficiale, interna ed esterna, del mattone. Questi valori si riferiscono ai fenomeni di convezione ed irraggiamento che si hanno sulle superfici del blocco e vengono così valutati dalla norma del Rif. 2-d all'appendice A:

- Resistenza superficiale interna:  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Resistenza superficiale esterna:  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Per i valori della temperatura ambiente interna ed esterna da utilizzare nel modello di calcolo sono stati considerati:

- Temperatura interna:  $T_i = 20^\circ\text{C} = 293,5 \text{ K}$
- Temperatura esterna:  $T_e = 0^\circ\text{C} = 273,5 \text{ K}$

Le condizioni limite vengono applicate considerando come superfici interna ed esterna i lati di dimensione maggiore della sezione, in modo che la direzione del flusso di calore sia parallela ai lati di dimensione minore (Fig.2).

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 4 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

### 5.5 Tipo di elemento e mesh

Data la geometria delle forature il calcolo è stato effettuato utilizzando elementi lineari di tipo triangolare. Al fine di riprodurre fedelmente la geometria della sezione del blocco (Fig.2) è stato considerato un modello con una mesh costituita da 2684 elementi (con lati di dimensione media pari a 4,84 mm), in grado di garantire una accuratezza del calcolo prevedibilmente inferiore al 2% come indicato dal Rif. 2-e.

I tempi di calcolo estremamente contenuti consentono di effettuare il calcolo sulla geometria intera della sezione del mattone senza bisogno, quindi, di doverne sfruttare le condizioni di simmetria.

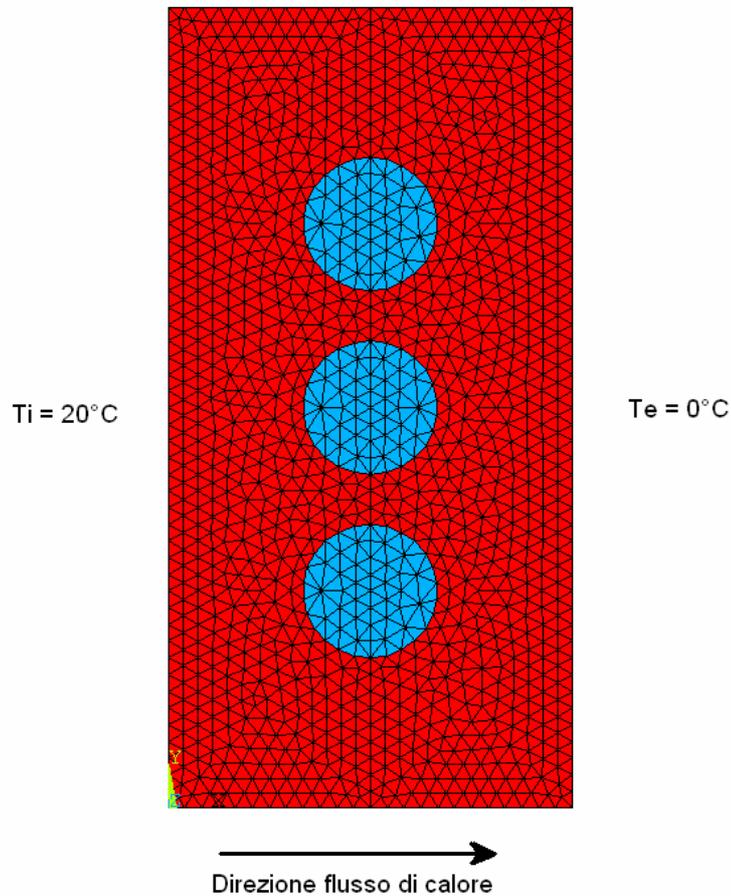


Figura 2. Mesh del mattone con elementi triangolari

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 5 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

## 6. Risultati del calcolo per il singolo mattone

Il calcolo effettuato, con i dati di input sopra elencati, fornisce un valore di flusso per altezza unitaria, per ogni sezione trasversale alla direzione del flusso stesso, pari a:

- $\Phi = 12,1136 \text{ W/m}$

Da questo risultato, conoscendo il gradiente termico a cui è sottoposto il modello di calcolo, possiamo ricavare il coefficiente di accoppiamento termico bidimensionale descritto dalle Norme di Rif. 2-c e 2-d:

- $L^{2D} = \Phi / \Delta T = 12,1136 / 20 = 0,606 \text{ W/mK}$

Dividendo quest'ultimo per la larghezza del modello si ottiene il valore di trasmittanza:

- $U = L^{2D} / w = 0,606 / 0,2357 = 2,570 \text{ W/m}^2\text{K}$

Il cui inverso rappresenta il valore di resistenza termica:

- $R_T = 1 / U = 1 / 2,570 = 0,389 \text{ m}^2\text{K/W}$

Sottraendo alla resistenza termica i valori limite, si ottiene il valore della resistenza termica del blocco senza considerare i fenomeni di convezione e irraggiamento:

- $R_t = R_T - R_{si} - R_{se} = 0,389 - 0,13 - 0,04 = 0,219 \text{ m}^2\text{K/W}$

Da cui, conoscendo lo spessore del modello del blocco per muratura considerato, si ricava la sua conducibilità termica equivalente:

- $\lambda_{equ} = d / R_t = 0,1158 / 0,219 = \mathbf{0,528 \text{ W/mK}}$

U [W/m <sup>2</sup> K]	R <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>t</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	λ <sub>equ</sub> [W/mK]
2,570	0,389	0,219	0,528

**Tabella 1. Valori termici di progetto per il Bimattone 3 fori**

Da questo risultato, essendo la conducibilità dell'impasto pari a 0,644 W/mK, si deduce che la foratura così disposta riduce di circa il 22% la conducibilità equivalente del mattone. Di seguito sono inoltre riportate la distribuzione delle isoterme (Fig.3) e l'andamento vettoriale del flusso di calore medio per elemento (Fig.4).

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 6 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

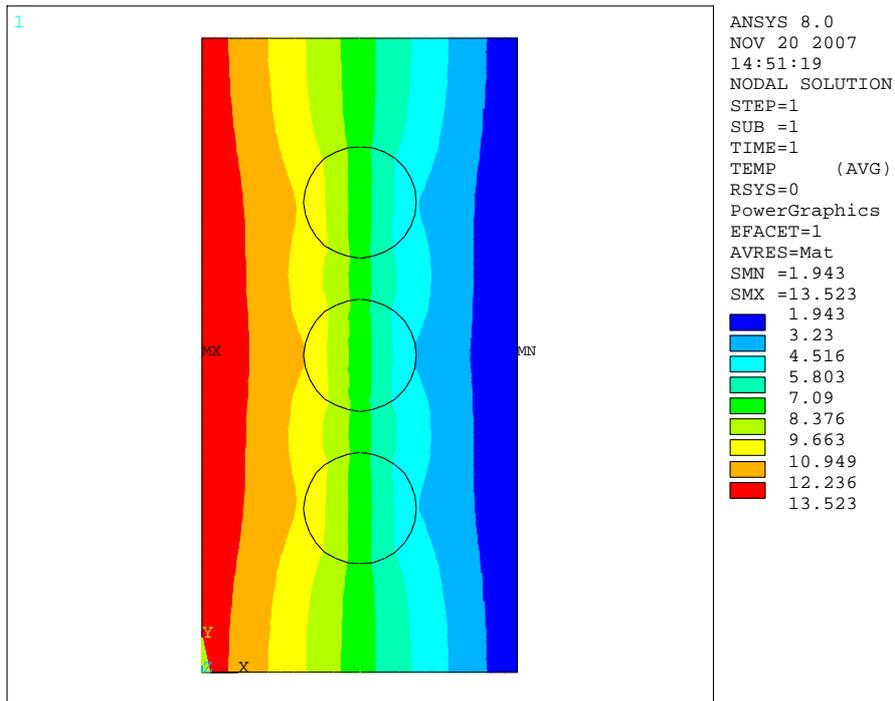


Figura 3. Andamento delle curve isoterme all'interno del mattone [°C]

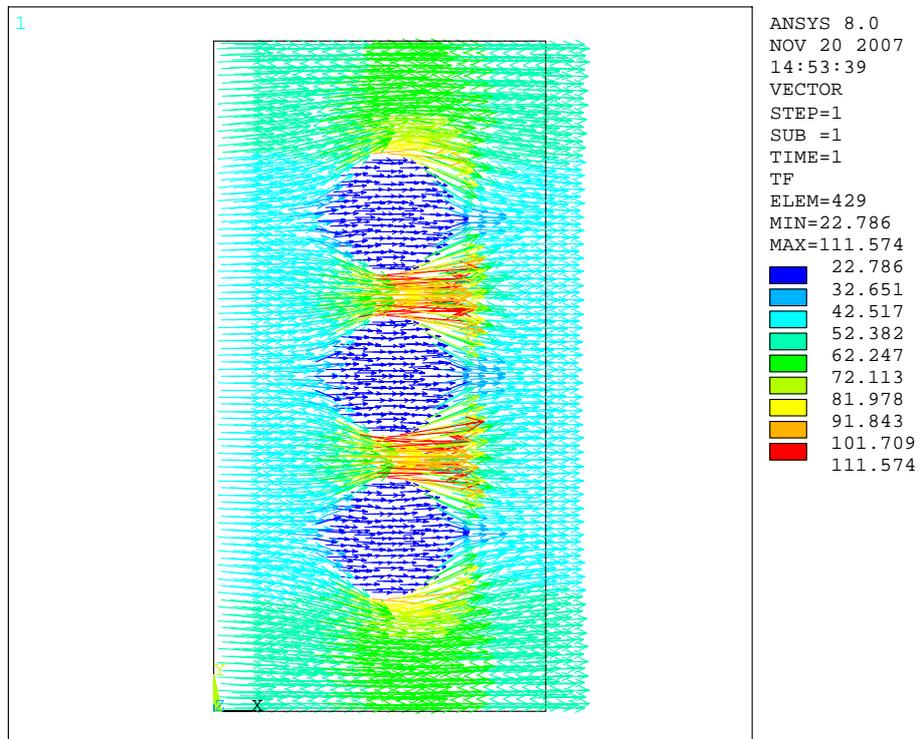


Figura 4. Andamento vettoriale del flusso di calore medio per elemento [W/m²]

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 7 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

## 7. Dati di calcolo per la determinazione dei valori termici della parete in muratura

Per la stima delle caratteristiche termiche della parete in muratura costituita dai mattoni in oggetto si è tenuto conto della presenza della malta fra gli elementi, sommando alla potenza termica che si trasmette attraverso il blocco la potenza dispersa dai giunti di malta e supponendo identiche la differenza di temperatura, fra superficie interna ed esterna, sulla porzione di struttura e sulla malta (Fig. 5).

Il calcolo è stato poi effettuato anche per una parete intonacata nelle condizioni a secco e nelle condizioni di progetto indicate nel prospetto 2 della norma riportata al Rif. 2-j denominate "Ib".

### 7.1 Caratteristiche della parete

La parete oggetto di questo calcolo è stata così considerata:

- Spessore della parete = 0,1158 m
- Superficie di riferimento = 0.028903 m<sup>2</sup>
- Resistenza superficiale interna:  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Resistenza superficiale esterna:  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

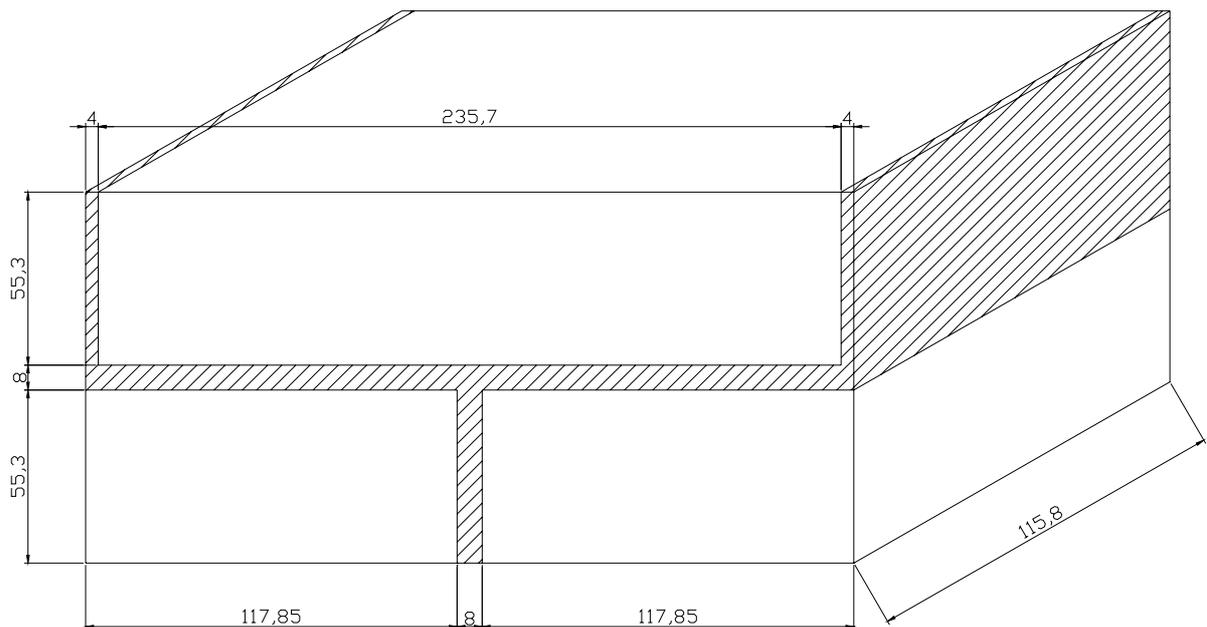


Figura 5. Schema della parete considerata per il calcolo

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 8 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

## 7.2 Caratteristiche dei giunti di malta

Per la malta, considerata come un mezzo omogeneo, sono stati assunti i seguenti valori (prospetto A.12 della norma del Rif 2-c):

- Massa volumica = 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Conducibilità = 0,930 W/mK

Per i giunti, invece, è stato ipotizzato quanto segue:

- Spessore dei giunti di malta = 0,008 m
- Giunti di tipo continuo

## 7.3 Caratteristiche degli intonaci

Gli intonaci interno ed esterno sono stati considerati col medesimo spessore e conducibilità:

- Spessore intonaco = 0,015 m
- Conducibilità intonaco = 0.900 W/mK

## 8. Risultati del calcolo della parete in muratura a secco

Il calcolo della parete in muratura così considerata ha fornito i seguenti risultati, in termini di valori termici:

- Conduttanza termica della parete: **C = 4,900 W/m<sup>2</sup>K**
- Resistenza termica della parete: **R = 0,204 m<sup>2</sup>k/W**
- Trasmittanza termica della parete: **U = 2,673 W/m<sup>2</sup>K**
- Conducibilità termica equivalente della parete:  **$\lambda_{equ} = 0,567$  W/mK**
  
- Trasmittanza termica della parete intonacata: **U = 2,455 W/m<sup>2</sup>K**

Si osserva che la conducibilità equivalente della parete non intonacata, rispetto a quella del solo mattone, ha subito un incremento di circa il 7%. Ciò è dovuto alla conducibilità della malta considerata, che funge da ponte termico, incrementando così la conducibilità complessiva del sistema composto dai mattoni e dalla malta.

Riportiamo di seguito, a titolo d'esempio, il calcolo dei valori termici di progetto di una parete in muratura con *malta termica* al posto della malta tradizionale:

- Conducibilità malta termica = 0,21 W/mK

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 9 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

- Conduttanza termica della parete con malta termica: **C = 4,290 W/m<sup>2</sup>K**
- Resistenza termica della parete con malta termica: **R = 0,233 m<sup>2</sup>k/W**
- Trasmittanza termica della parete con malta termica: **U = 2,481 W/m<sup>2</sup>K**
- Conducibilità termica equivalente della parete con malta termica: **λ<sub>equ</sub> = 0,497 W/mK**
  
- Trasmittanza termica della parete intonacata, con malta termica: **U = 2,291 W/m<sup>2</sup>K**

In questo caso si può osservare come la conducibilità equivalente della parete con malta termica sia inferiore a quella della parete con malta tradizionale. La diminuzione di circa il 14% di questo valore, infatti, è dovuta solo alla minore conducibilità della malta termica.

## 9. Risultati del calcolo della parete in muratura in condizioni di progetto

In questo caso le proprietà termiche della muratura sono state determinate nelle condizioni riportate nel prospetto 2 "Condizioni per il valore dichiarato" della norma di Rif. 2 -j, per l'insieme di condizioni "Ib":

- temperatura di riferimento: 10°C
- umidità: contenuto all'equilibrio con aria a 23°C ed umidità relativa del 50%

Il valore della conducibilità termica dell'impasto costituente gli elementi in esame è stato determinato applicando le formule per il calcolo della conducibilità termica di progetto riportate nella norma di Rif. 2-c al paragrafo 4, utilizzando il valore di conducibilità termica precedentemente impiegato per il calcolo delle caratteristiche termiche dell'elemento, il contenuto di umidità ed il coefficiente correttivo dell'umidità riportati nel prospetto 2 della norma di Rif. 2-k:

- Coefficiente di conversione dell'umidità:  $f_{\psi} = 10$
- Contenuto di umidità in volume per argilla refrattaria a 23°C e 50% U.R.: 0,007 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

Con questi valori si ottiene un fattore di conversione per il contenuto di umidità pari a:

$$F_m = e^{f_{\psi}(\Psi_2 - \Psi_1)} = e^{10 \cdot (0,007 - 0)} = 1,072$$

E quindi un valore di conducibilità dell'impasto in condizioni di progetto:

- Conducibilità termica dell'impasto a secco:  $\lambda_{\text{impasto}} = 0,644 \text{ W/mK}$

$$\lambda_{\text{impasto } 23,50} = F_m \cdot \lambda_{\text{impasto}} = 1,072 \cdot 0,644 = 0,691 \text{ W / mK}$$

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 10 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

Il calcolo della parete in muratura con malta tradizionale così considerata ha fornito i seguenti risultati, in termini di valori termici di progetto:

- Conduttanza termica della parete: **C = 5,173 W/m<sup>2</sup>K**
- Resistenza termica della parete: **R = 0,193 m<sup>2</sup>k/W**
- Trasmittanza termica della parete: **U = 2,752 W/m<sup>2</sup>K**
- Conducibilità termica equivalente della parete: **λ<sub>equ</sub> = 0,599 W/mK**
- Trasmittanza termica della parete intonacata: **U = 2,521 W/m<sup>2</sup>K**

Si osserva come la conducibilità equivalente della parete non intonacata in condizioni di progetto sia maggiore di quella a secco di circa il 6% per effetto del contenuto di umidità considerato.

#### 10. Lista di distribuzione

ENEA	M. Labanti	1 copia
CertiMaC	Archivio	1 copia
Committente	F. Cantagalli, SO.LA.VA.	1 copia

#### Appendice A

Riproduzione fotografica di un provino tal quale del prodotto "Mattone faccia a vista 3 fori Gaiole, 24x12x5,5"



	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 11 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867

## Appendice B

### Valori tabellari $\lambda_{10,dry}$ dell'argilla utilizzata per i prodotti per muratura

prospetto A.1 Elementi di argilla (argilla cotta)

Massa volumica del materiale [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda_{10,dry}$ [W/mK]		Coefficiente di diffusione del vapore acqueo $\mu$	$c$ [kJ/kgK]
	$P=50\%$	$P=90\%$		
1 000	0,20	0,27	5/10	1,0
1 100	0,23	0,30	5/10	1,0
1 200	0,26	0,33	5/10	1,0
1 300	0,30	0,36	5/10	1,0
1 400	0,34	0,40	5/10	1,0
1 500	0,37	0,43	5/10	1,0
1 600	0,41	0,47	5/10	1,0
1 700	0,45	0,51	5/10	1,0
1 800	0,49	0,55	5/10	1,0
1 900	0,53	0,60	5/10	1,0
2 000	0,58	0,64	5/10	1,0
2 100	0,62	0,69	5/10	1,0
2 200	0,67	0,74	5/10	1,0
2 300	0,72	0,79	5/10	1,0
2 400	0,77	0,84	5/10	1,0

$f_{\psi} = 10$  (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>).

Per materiali di argilla aventi una massa volumica tra 1 800 kg/m<sup>3</sup> e 2 400 kg/m<sup>3</sup> utilizzati come materiali per facciata, che sono generalmente cotti ad una temperatura significativamente alta, il valore  $\mu$  è 50/100 invece di 5/10.

	Sperimentazione eseguita	Redatto	Approvato	Pagina 12 di 12
	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Francesco Giacometti	Ing. Martino Labanti	040216 - R -0867