

Prove di resistenza al taglio della muratura in laterizio

(Shear resistance tests of brick masonry).

F. LANER

Istituto Universitario di Architettura, Venezia, Italia.

Sommario. A seguito della pubblicazione da parte dell'Andil delle "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio", si sono voluti verificare sperimentalmente i metodi di prova prescritti per la resistenza a taglio su diversi tipi di laterizio di produzione nazionale.

Il contenuto coefficiente di dispersione dei risultati ottenuti dimostra la validità delle modalità di prova e potrà consentire in un prossimo futuro di rivedere i coefficienti di sicurezza proposti dalle "Raccomandazioni". Inoltre, i risultati ottenuti indicano buone correlazioni fra resistenza a compressione e taglio.

Viene infine proposta una "scheda di qualità" di accompagnamento delle forniture che, oltre ai requisiti del laterizio, dovrebbe essere corredata dai valori di resistenza a compressione e taglio, per determinate classi di malta, delle murature confezionate con quei laterizi.

Abstract. Further to the publication of the "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio" (i.e. Recommendations for the design and check of buildings with loadbearing brick masonry) done by ANDIL, the test methods - prescribed on shear resistance - on different types of national production brick have been investigated.

The resulting limited dispersion coefficient proves the validity of the test modes, and in a near future may cause a correction of the safety factors now proposed by the Recommendations. Furthermore the obtained results show good correlation between compressive and shear resistance.

At the end the author suggests a "quality card" in which not only brick requirements, but also the compressive and shear resistance values relative to brick masonry obtained with different types of mortar - should be declared. Such quality card should accompany every supply.

1. PREMESSA.

Le "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura in laterizio" predisposte dalla Sezione Murature dell'Andil e presentate dal coordinatore del Gruppo di Studio, prof. G. Macchi, in occasione del XI Congresso Nazionale dell'Associazione, [1] prevedono paragrafo 6 - le modalità per la determinazione della resistenza a compressione e a taglio della muratura.

Mentre però esiste già un ampio conforto sperimentale sulle prove a compressione, più carente è la sperimentazione - almeno nel nostro Paese - della resistenza a taglio, determinabile o con la prova a "compressione diagonale", o, in alternativa, con la prova tipo "beam test", su una coppia di provini [2] (v. fig. 1).

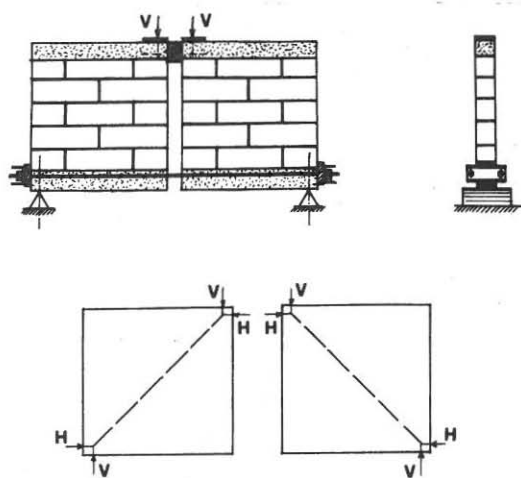


Fig. 1. Prova di taglio tipo Beam Test. Lo schema illustra le modalità di esecuzione della prova per la determinazione della resistenza al taglio in alternativa alla prova di compressione trasversale. Uno dei due provini può essere sostituito con un telaio meccanico.

Il presente resoconto si riferisce a prove eseguite su muretti confezionati con diversi tipi di laterizio con il metodo della compressione diagonale. Le prove eseguite si sono dimostrate di facile esecuzione, con risultati sufficientemente omogenei, tanto che diventa estremamente attuale la proposta che ebbi già ad anticipare nell'ultimo Congresso Andil a proposito della "qualità del laterizio", [3] ipotizzando una scheda tecnica di accompagnamento delle forniture di laterizi per muratura, contenente - oltre ai dati sperimentali dei laterizi e dell'indicazione della malta ottimale da impiegare - anche i valori sperimentali a

compressione e a taglio delle murature, puntando sulla muratura di qualità come logico sbocco dei mattoni di qualità.

2. MODALITA' DI PROVA.

In pratica la prova di compressione diagonale prevista dalle "Raccomandazioni", ricalca il procedimento proposto dall'A.S.T.M. (American Society for Testing Materials - ASTM E519/74) e ripreso dalle Raccomandazioni C.I.B. - Bozza maggio 76, (nel nuovo testo [4] CIB si parla di appropriato metodo) e consiste nella rottura di un provino in muratura, di forma pressoché quadrata con sollecitazioni di compressione nella direzione di una diagonale (fig. 2).

I due spigoli opposti sono provvisti di un elemento in c.a., atto a ripartire il carico della macchina di prova. Il numero di provini previsto dalle Raccomandazioni è ≥ 6 .

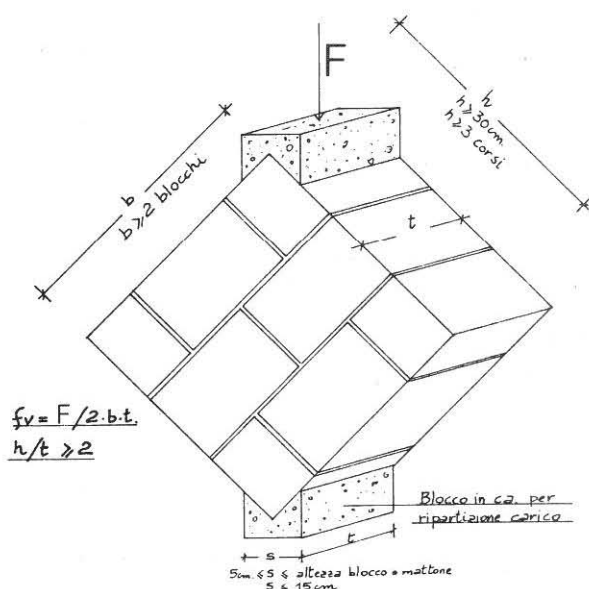


Fig. 2

Provino per la prova di taglio col metodo della compressione trasversale.

La resistenza a taglio, f_v , è data dalla relazione:

$$f_v = \frac{F}{2A}$$

dove F è la resistenza di rottura e $A = b \cdot t$.

La resistenza caratteristica f_{vk} , è data dalla nota relazione

$$f_{vk} = f_v - k \cdot s$$

in cui k prende i valori della tabella 1. (Racc. p. 6.2)

TABELLA N. 1

n	6	8	10	12	20	30
k	2.33	2.19	2.10	2.05	1.93	1.64

Valori del coefficiente k (Racc. Andil 6.2)

Il gradiente di carico, la stagionatura dei provini e le prove sui materiali componenti la muratura sono le stesse della prova a compressione, e cioè il carico è applicato con velocità di circa 0,5 MPa ogni 20 secondi, stagionatura di 28 giorni a 20° C. e 70% di umidità relativa. Per le malte si confezionano tre prismi 4x4x16 centimetri da verificare a flessione (fmf) e a compressione (fmc) e n° 10 elementi laterizi da provare a compressione, carico agente perpendicolarmente al letto di posa, previa rettifica delle facce o spianamento con malta se il blocco è a fori orizzontali.

Le prove sulle malte o sul laterizio non si eseguono se tali materiali sono qualificati.

3. RISULTATI.

I risultati delle prove eseguite sono raccolti in "schede" (n° 9) e la tabella n° 2 li sintetizza.

TABELLA N. 2 Sintesi dei risultati delle prove.
(Misure in MPa).

Scheda	TIPO	\bar{f}_b	MALTA		\bar{f}	\bar{f}_v	\bar{f}/\bar{f}_v	f _{vk}	NOTE
			Compr.	Taglio					
1	Doppiouni L	57.0	M ₁	M ₁	15.0	1.12	13.4	0.53	
2	Isoedil	33.3	M ₂	M ₂	7.7	0.68	11.3	0.45	$\varphi = 58\%$
3	UNI BRG	28.0	M ₃	M ₃	15.0	1.07	14.0	0.38	
4	UNI BRG	29.0	M ₃	M ₃	11.1	1.30	8.5	0.74	
5	Doppiouni C	62.3	M ₁	M ₁	17.3	1.94	8.9	1.45	
6	Doppiouni C	62.3	M ₃	M ₃	14.5	1.16	12.5	0.84	
7	MA 25	29.9	M ₂	M ₂	6.3	0.60	10.5	0.39	$\varphi = 60,8\%$
8	TV	27.2	M ₃	M ₃	6.5	0.33	19.7	0.17	$\varphi = 58,4\%$
9	Quadriuni	9.3	M ₃	M ₃	3.3	0.72	4.6	0.44	fori orizz.

Si possono fare già alcune considerazioni, anche se conclusioni di tipo generale sarà bene tirarle con un maggior numero di dati sperimentali, che non tarderanno a giungere se tali prove diventeranno abitudine per quei produttori che intendono porre sul mercato materiale qualificato e contraddistinto col marchio di qualità.

Intanto, per ciò che riguarda la modalità di rottura, essa avviene secondo le linee preferenziali dei giunti di malta, ogni qualvolta la resistenza del laterizio è notevole rispetto alla resistenza della malta (v. ad esempio, scheda 6, foto), mentre la frattura di taglio è più rettilinea quando fra la resistenza della malta e dei laterizi non ci sono grandi differenze, (ottimizzazione, fra f_m e f_b), oppure quando è alta la percentuale di foratura. Agli effetti della resistenza al taglio è quindi importante la buona confezione dei giunti di malta, sia orizzontali che verticali.

Non solo, ma le qualità meccaniche della malta (f_m), appaiono molto influenti sulla resistenza a taglio (f_v). Ad esempio fra la serie di prove 5 e 6, la maggior f_v (+100%) della serie 5 è dovuta alla miglior f_m (M_1 anziché M_3), per cui, mentre la resistenza a compressione (f) non è così influenzata dalla f_m - almeno per gli alti e medio-alti valori - essa, al contrario, incide notevolmente sulla f_v .

Scarsa importanza hanno dimostrato le letture di deformazione verticali ed orizzontali, proprio per la precoce comparsa di fessure (circa ad $1/3$ della rottura) che non consentono di delineare un quadro deformativo apprezzabile.

Osservando poi la colonna che individua il rapporto fra la resistenza a compressione e a taglio (f/F_v) della tabella 2, si nota che esso varia attorno a 10, per mattoni a fori verticali e ciò in buona sintonia con le Raccomandazioni TBE (ed. '76). [5] che, nel caso di malta di cemento, danno

$$f_v = (0,1 \div 0,2) \cdot f$$

L'elaborazione dei dati della sperimentazione (prime 7 schede), porta ad una relazione:

$$f_v = f/10 \pm 0,3 \quad (0,3 = \text{errore di previsione}).$$

Per i mattoni a fori orizzontali tale rapporto è sicuramente inferiore, anche se non quantificabile per l'esiguità dei dati a disposizione.

I dati sperimentali indicano anche, rispetto alle condizioni poste dalle Raccomandazioni (p. 5.3):

$$\gamma_{\text{ammisibile}} \begin{cases} = 0,07 \text{ MPa} & (\text{per muri realizzati con } M_1, M_2, M_3) \\ = 0,03 \text{ MPa} & (\text{per muri realizzati con } M_4) \end{cases}$$

che esse sono rispettate; infatti, ogni valore di f_v dell'ultima colonna della TAB. 2 è sempre maggiore di 0,35 MPa, ($0,07 \times 5$ coeff. sicurezza) all'infuori che per i blocchi con $\varphi \geq 45\%$, per i quali bisogna ricorrere alla sperimentazione diretta, come per i materiali a perforazione orizzontale o alleggeriti in pasta.

4. CONCLUSIONI.

Le prove condotte hanno sufficientemente collaudato le modalità che consentono di soddisfare nel modo più semplice alle prescrizioni delle Raccomandazioni. Molto significativo è il fatto che la dispersione dei risultati è dello stesso ordine di dispersione percentuale delle tradizionali prove sui laterizi.

Un maggior numero di dati sperimentali consentirà senza dubbio di individuare più precise correlazioni fra resistenza a compressione e a taglio. Ciò potrebbe portare anche alla riduzione dei coefficienti di sicurezza, che ora prudenzialmente le Raccomandazioni indicano in cinque, rispetto però alla resistenza caratteristica, che è un valore già penalizzato.

Infine, per completare lo sforzo che la Sezione Murature sta compiendo nel settore qualità, per rilanciare il laterizio come materiale capace di notevoli prestazioni, bisognerà integrare, come ho ricordato all'inizio, la "scheda qualità" che accompagna le forniture, coi dati sperimentali sul laterizio, anche con le caratteristiche di resistenza della muratura, aggiungendo con ciò all'aspetto promozionale un indubbio servizio a quei progettisti che intendono "calcolare" la muratura.

Ad esempio il grafico della fig. 3, illustra le caratteristiche di resistenza della muratura eseguita con il blocco MA 25. Molto importante è la possibilità offerta da curve di questo genere di poter a priori scegliere il tipo di malta a seconda della prestazione che si vuol ottenere.

Infatti dalla lettura del grafico, appare evidente che l'impiego di malte M_1 e M_2 (v. Tab. n° 4) non migliora di molto le caratteristiche della muratura e che invece appare ottimale l'impiego di malta M_3 .

Accanto a tale grafico l'indicazione della resistenza al taglio (f_v) e del modulo di elasticità, potrebbero completare la scheda di accompagnamento delle forniture di laterizio, munite di certificato di qualità.

TABELLA n° 4.

CLASSI DI MALTA (comp. in volume)			
CLASSE	Cemento 325	calce idraulica	sabbia
M_1	1	0	3
M_2	1	0.5	4
M_3	1	1	5
M_4	1	2	9
Rispetto alla resistenza (f_{mc})			
M_1	$f_{mc} \geq 20 \text{ MPa}$		
M_2	$10 \text{ MPa} \leq f_{mc} < 20 \text{ MPa}$		
M_3	$5 \text{ MPa} \leq f_{mc} < 10 \text{ MPa}$		
M_4	$f_{mc} < 5 \text{ MPa}$		

ESEMPIO DI SCHEDA TECNICA

Resistenza della muratura con blocchi MA - MALTA M3 -

Classe Laterizio $f_b = 300 \text{ Kg/cm}^2$ $\bar{f}_v = 6 \text{ Kg/cm}^2$ $f_{vk} = 4 \text{ Kg/cm}^2$ $E = 80.000 \text{ Kg/cm}^2$

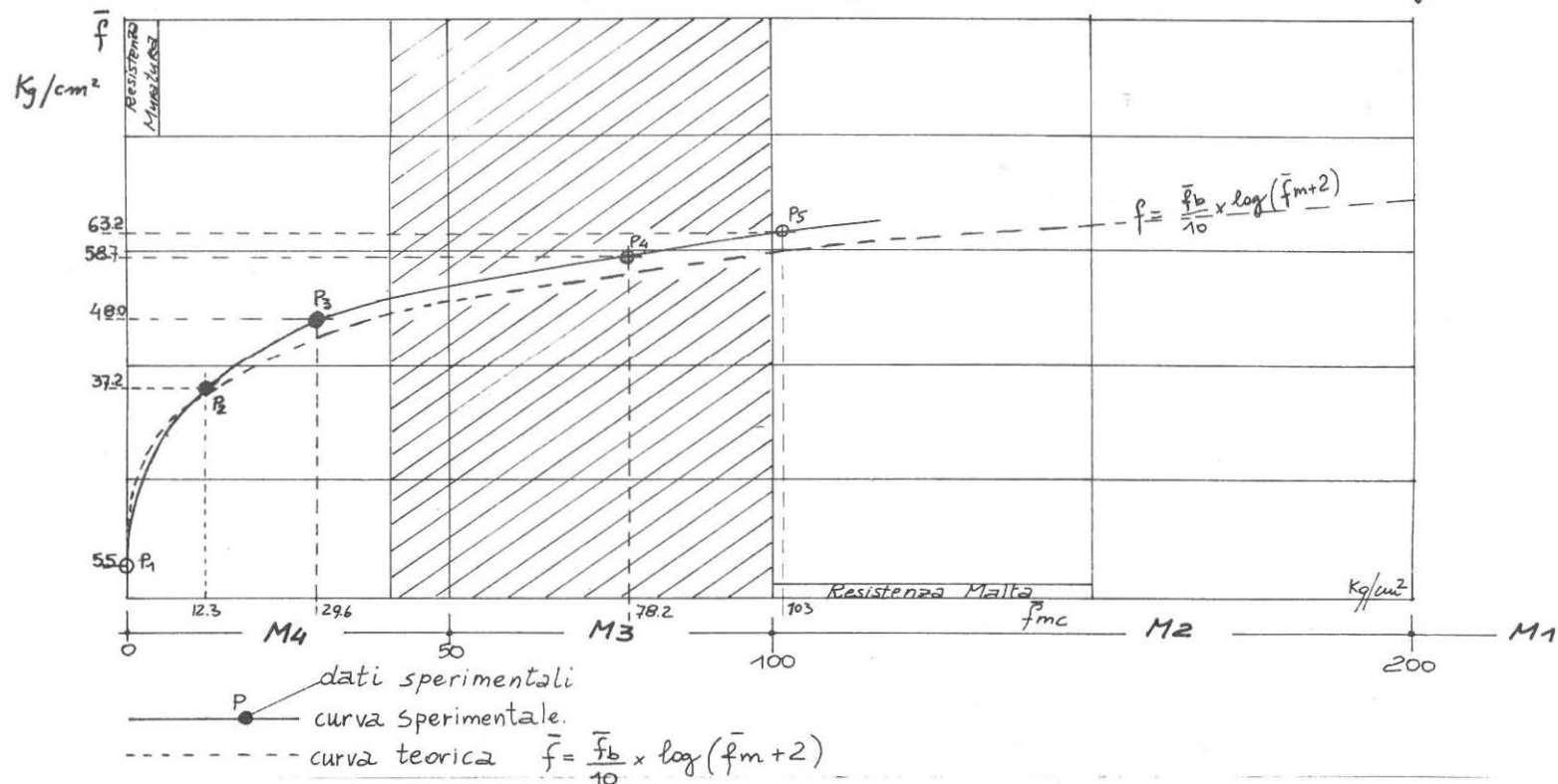


Fig. 3 La parte del grafico tratteggiata indica il campo del miglior sfruttamento delle caratteristiche del laterizio e della malta.

5. BIBLIOGRAFIA.

- [1] "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio".
ANDIL - Sezione Murature - Roma, 1980.
- [2] CANTU', E. "Proposta di un tipo di prova di compressione diagonale su elementi in muratura".
Costruire n° 115, Roma, dicembre 1979.
- [3] LANER, F. "Il marchio di qualità dei laterizi".
Atti XV Congresso Nazionale ANDIL - Roma, 1980.
- [4] C.I.B. "International Recommendations for Masonry Structures". Pubblicazione, n° 58, 1980.
- [5] T.B.E. "Raccomandazioni per il dimensionamento e l'esecuzione delle murature".
Zurigo, ottobre 1976.
- [6] "IL LATERIZIO" Bollettino Tecnico R.D.B. n° 183-184/1980 e n° 189-190/1981 - Piacenza -
- [7] TUBI, N. "La realizzazione di murature in laterizio".
ANDIL - Sezione Murature - Roma, 1981.
- [8] JURINA, L. "Pareti in muratura soggette ad azioni sismiche: indagine sperimentale ed interpretazioni tecniche". - Costruire n° 100 - Roma, giugno 1977.
- [9] BERNARDINI, A. "Ricerca sperimentale sui parametri di resistenza e deformabilità di murature in laterizio armato e alveolato".
MODENA, C.
VESCOVI, U.
Costruire n° 109/1978 e n° 114/1979 - Roma -

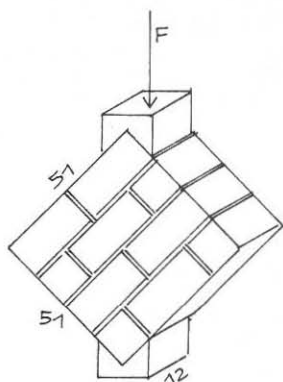
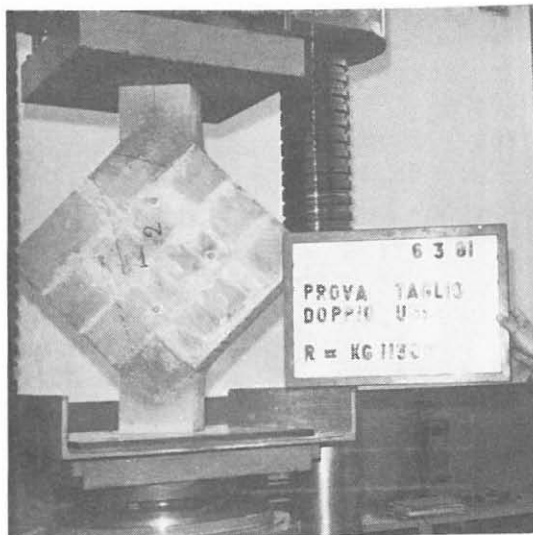
SCHEDA N.1

MATTONE DOPPIOUNI 25 x 12 x 12

$\bar{f}_b = 57 \text{ MPa}$ $f_{bk} = 51 \text{ MPa}$
 $s = 3.4$ $\varphi = 51.2\%$
 $\delta = 6\%$

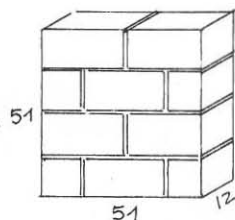
MALTA M₁

$\bar{f}_{mc} = 25.8 \text{ MPa}$ $\bar{f}_{mf} = 5.9 \text{ MPa}$
 $s = 1.4$ $s = 0.49$
 $\delta = 5\%$ $\delta = 8\%$

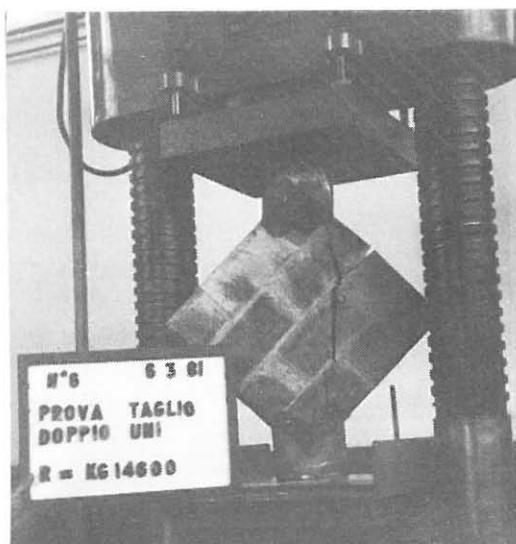


N.	f_v
1	0.92
2	0.98
3	1.50
4	1.22
5	0.95
6	1.19

$\bar{f}_v = 1.12 \text{ MPa}$
 $s = 0.25$
 $\delta = 22\%$
 $f_{vk} = 0.53 \text{ MPa}$



$\bar{f} = 17 \text{ MPa}$ $f_k = 14 \text{ MPa}$
 $s = 1.4$
 $\delta = 8.2\%$



BLOCCO ISOEDIL 25x30x15

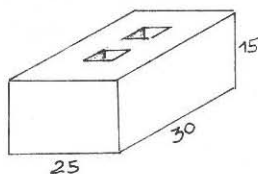
$$\bar{f}_b = 33.3 \text{ MPa}$$

$$s = 1.65$$

$$\delta = 5\%$$

$$f_{bk} = 29.8 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 58.2\%$$



MALTA M₁

$$\bar{f}_{mc} = 25.8 \text{ MPa}$$

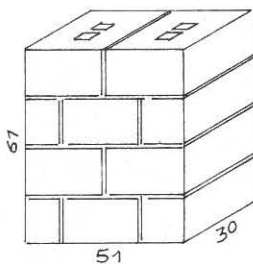
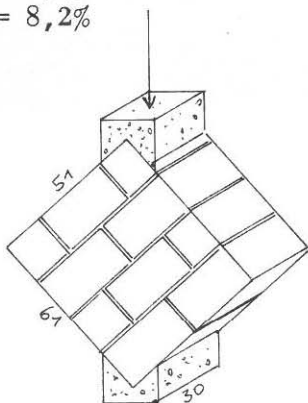
$$s = 1.4$$

$$\delta = 5\%$$

$$\bar{f}_{mf} = 5.94$$

$$s = 0.49$$

$$\delta = 8.2\%$$

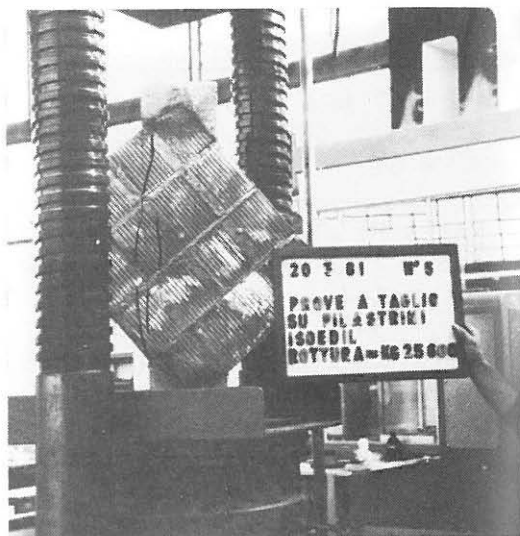


$$\bar{f} = 7.7 \text{ MPa}$$

$$s = 0.61$$

$$\delta = 8\%$$

$$f_k = 6.3 \text{ MPa}$$



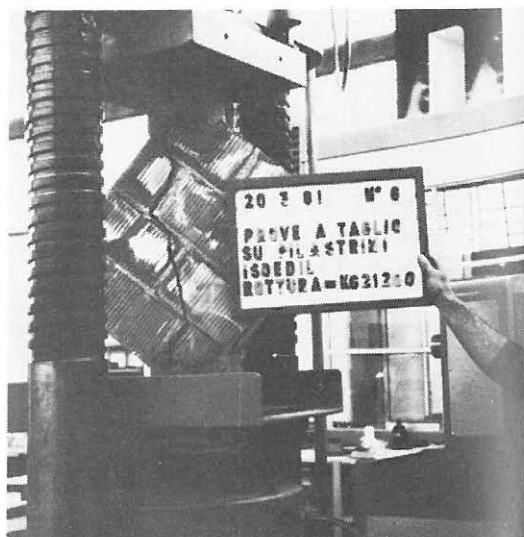
N°	f _v
1	0.57
2	0.59
3	0.69
4	0.73
5	0.84
6	0.69

$$\bar{f}_v = 0.68 \text{ MPa}$$

$$s = 0.098$$

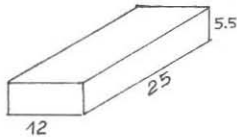
$$\delta = 14.3\%$$

$$f_{vk} = 0.45 \text{ MPa}$$



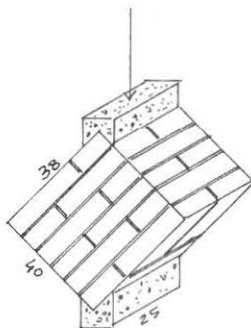
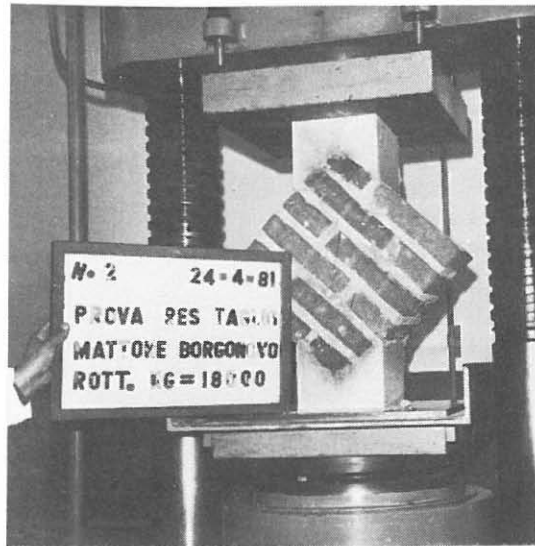
MATTONE UNI BRG

$\bar{f}_b = 28 \text{ MPa}$
 $s = 1.26$
 $\delta = 4.4\%$
 $f_{bk} = 25.3 \text{ MPa}$



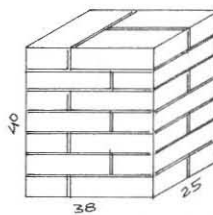
MALTA M₃

$\bar{f}_{mc} = 9.3 \text{ MP}$
 $s = 0.71$
 $\delta = 7.6\%$
 $\bar{f}_{mf} = 3.4 \text{ MPa}$
 $s = 0.36$
 $\delta = 10.5\%$



N°	f_v
1	0.74
2	0.95
3	1.20
4	1.58
5	0.89
6	1.05

$\bar{f}_v = 1.07 \text{ MPa}$
 $s = 0.29$
 $\delta = 27\%$
 $f_{vk} = 0.38 \text{ MPa}$



$\bar{f} = 15 \text{ MPa}$
 $s = 1.2$
 $\delta = 8.2\%$
 $f_k = 9.7 \text{ MPa}$



MATTONE UNI BRG

$$\bar{f}_b = 29 \text{ MPa}$$

$$s = 1.8$$

$$\delta = 6.2\%$$

$$f_{bk} = 25.2 \text{ MPa}$$

MALTA M₃

$$\bar{f}_{mc} = 9.4 \text{ MPa}$$

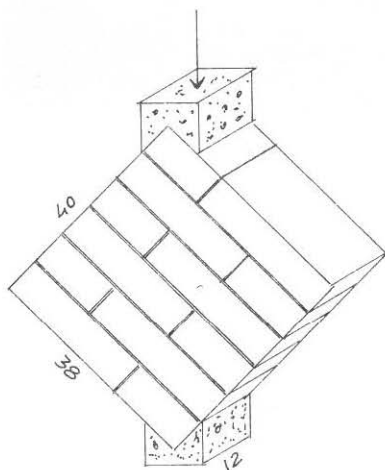
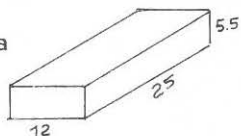
$$s = 0.95$$

$$\delta = 10\%$$

$$\bar{f}_{mf} = 5.6 \text{ MPa}$$

$$s = 0.4$$

$$\delta = 7.8\%$$



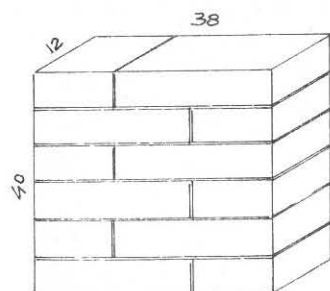
N°	f _v
1	1.10
2	1.25
3	1.53
4	1.10
5	1.14
6	1.65

$$\bar{f}_v = 1.3$$

$$s = 0.24$$

$$\delta = 18\%$$

$$f_{vk} = 0.74 \text{ MPa}$$



$$\bar{f} = 11.1$$

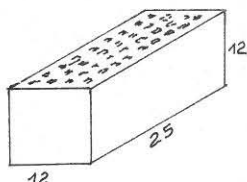
$$\delta = 13.2\%$$

$$f_k = 8 \text{ MPa}$$



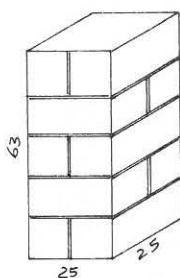
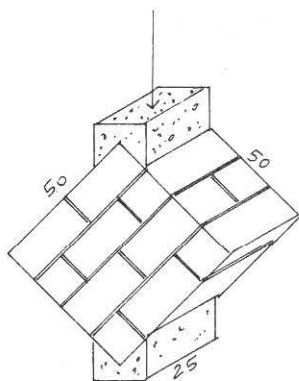
MATTEONE DOPPIOINI 25x12x12

$$\begin{aligned}\bar{f}_b &= 62.3 \text{ MPa} \\ s &= 8.4 \\ \delta &= 13.6\% \\ f_{bk} &= 44.3 \\ \varphi &= 38\%\end{aligned}$$



MALTA M₁

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mc} &= 25.8 \\ s &= 1.4 \\ \delta &= 5\% \\ \bar{f}_{mf} &= 5.94 \\ s &= 0.49 \\ \delta &= 8.2\%\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\bar{f} &= 17.3 \\ s &= 1.8 \\ f_k &= 13.1 \text{ MPa}\end{aligned}$$



N.	f _v
1	2.22
2	2.12
3	1.72
4	1.80
5	1.76
6	2.00

$$\begin{aligned}\bar{f}_v &= 1.94 \text{ MPa} \\ s &= 0.21 \\ \delta &= 10.7\% \\ f_{vk} &= 1.45 \text{ MPa}\end{aligned}$$

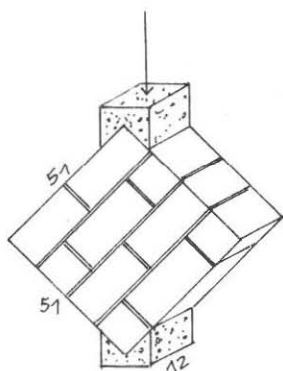
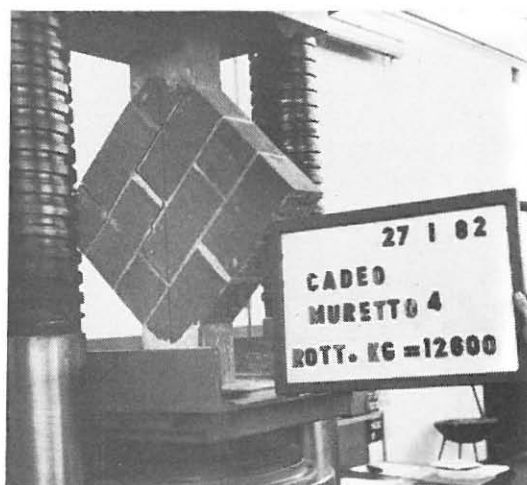


MATTONE DOPPIO UNI 25x12x12

$$\begin{aligned}\bar{f}_b &= 62.3 \\ s &= 8.4 \\ \delta &= 13.6\% \\ f_{bk} &= 44.3 \\ \varphi &= 38\%\end{aligned}$$

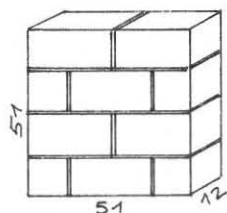
MALTA M₃

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mc} &= 7.64 \text{ MPa} \\ s &= 0.56 \\ \delta &= 7.4\% \\ \bar{f}_{mf} &= 3.11 \text{ MPa} \\ s &= 0.18 \\ \delta &= 5.9\%\end{aligned}$$

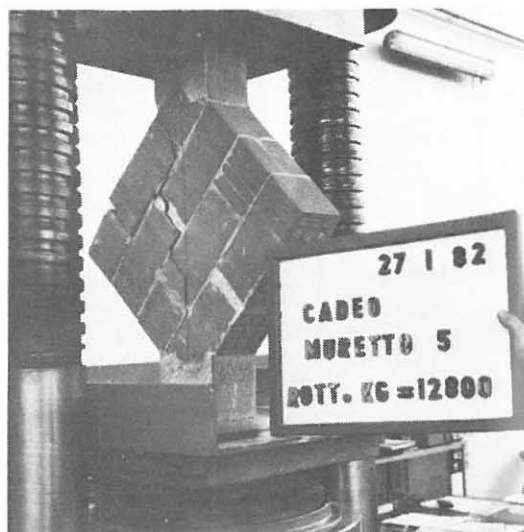


N°	f _v
1	1.03
2	1.30
3	1.37
4	1.10
5	1.11
6	1.08

$$\begin{aligned}\bar{f}_v &= 1.16 \\ s &= 0.14 \\ \delta &= 8.5\% \\ f_{vk} &= 0.84\end{aligned}$$

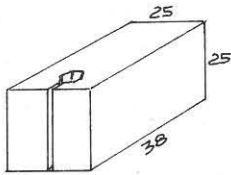


$$\begin{aligned}\bar{f} &= 14.5 \text{ MPa} \\ s &= 1.43 \\ \delta &= 9.9\% \\ f_k &= 11.2 \text{ MPa}\end{aligned}$$



BLOCCO MA 25 25x38x25

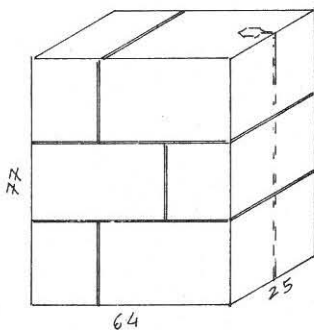
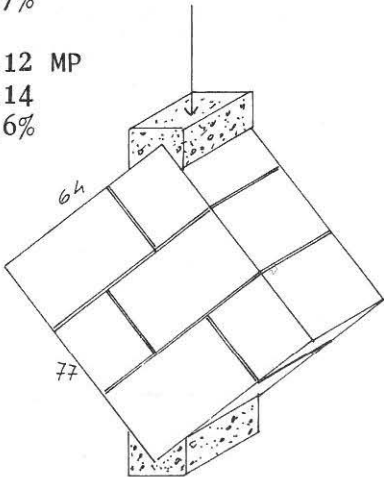
$$\begin{aligned}\bar{f}_b &= 29.9 \text{ MPa} \\ s &= 2.7 \\ \delta &= 8.9\% \\ f_{bk} &= 24.2 \text{ MPa} \\ \varphi &= 60.8\%\end{aligned}$$



MALTA M₂

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mc} &= 10.3 \text{ MPa} \\ s &= 0.79 \\ \delta &= 7.7\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mf} &= 3.12 \text{ MP} \\ s &= 0.14 \\ \delta &= 3.6\%\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\bar{f} &= 6.3 \text{ MPa} \\ s &= 1.15 \\ \delta &= 18.3\% \\ f_k &= 3.6 \text{ MPa}\end{aligned}$$



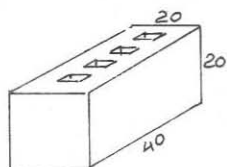
N°	f _v
1	0.62
2	0.61
3	0.58
4	0.75
5	0.47
6	0.59

$$\begin{aligned}\bar{f}_v &= 0.6 \text{ MPa} \\ s &= 0.09 \\ \delta &= 15\% \\ f_{vk} &= 0.39 \text{ MPa}\end{aligned}$$



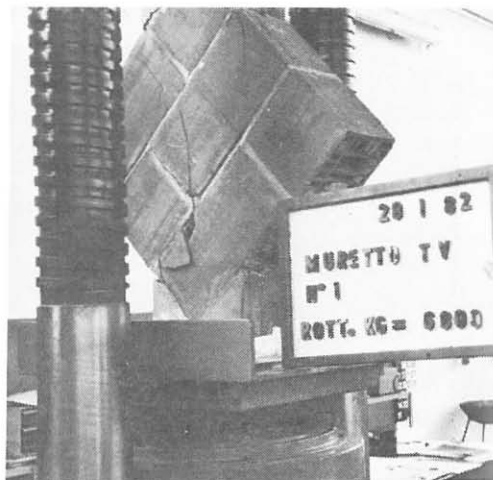
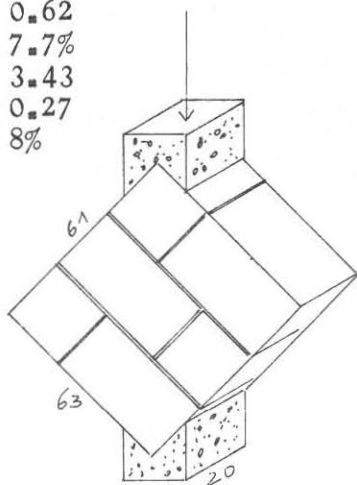
BLOCCO T.V.

$$\begin{aligned}\bar{f}_b &= 27.2 \text{ MPa} \\ s &= 2.39 \\ \delta &= 8.8\% \\ f_{vk} &= 22.1 \text{ MPa} \\ \varphi &= 58.4\%\end{aligned}$$



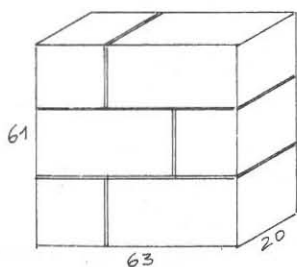
MALTA M₃

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mc} &= 8.1 \text{ MPa} \\ s &= 0.62 \\ \delta &= 7.7\% \\ \bar{f}_{mf} &= 3.43 \\ s &= 0.27 \\ \delta &= 8\%\end{aligned}$$

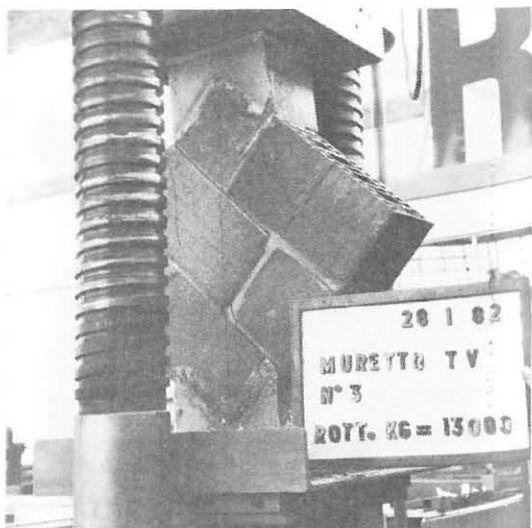


N°	f _v
1	0.19
2	0.30
3	0.37
4	0.39
5	0.39
6	0.34

$$\begin{aligned}\bar{f}_v &= 0.33 \text{ MPa} \\ s &= 0.07 \\ \delta &= 21\% \\ f_{vk} &= 0.17 \text{ MPa}\end{aligned}$$

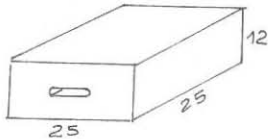


$$\begin{aligned}\bar{f} &= 6.5 \text{ MPa} \\ s &= 0.72 \\ \delta &= 11\% \\ f_k &= 4.8 \text{ MPa}\end{aligned}$$



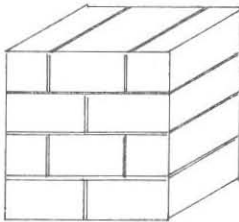
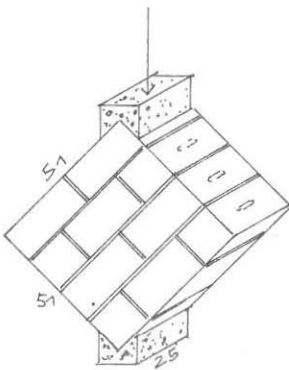
QUADRI UN I

$$\begin{aligned}\bar{f}_b &= 9.3 \text{ MPa} \\ s &= 1.0 \\ \delta &= 10.8\% \\ f_{bk} &= 7.2 \text{ MPa} \\ \varphi &= 50.5\%\end{aligned}$$



MALTA M₃

$$\begin{aligned}\bar{f}_{mc} &= 9.6 \\ s &= 0.7 \\ \delta &= 7.4\% \\ \bar{f}_{mf} &= 5.04 \\ s &= 0.32 \\ \delta &= 6.3\%\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\bar{f} &= 3.30 \\ s &= 0.38 \\ \delta &= 11.5\% \\ f_k &= 2.4 \text{ MPa}\end{aligned}$$



N°	f _v
1	0.90
2	0.78
3	0.69
4	0.58
5	0.76
6	0.59

$$\begin{aligned}\bar{f}_v &= 0.72 \text{ MPa} \\ s &= 0.12 \\ \delta &= 17\% \\ f_{vk} &= 0.44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

