

**Resistenza a compressione delle murature in laterizio
proposta di una formula su basi sperimentali valida anche per elementi
a "foratura non uniforme" e/o giunti di malta interrotti**

(Compressive Strength of masonry - Proposal of a formula on experimental bases valid also for elements with "irregular holes" and/or discontinued mortar joints)

- Ing. Guido Rossi - R.D.B. S.p.a. - Piacenza - Italia

- Sommario: si definiscono elementi a "foratura non uniforme" quelli la cui foratura è data in parte da fori piccoli e in parte da fori di grandi dimensioni sui quali la malta senz'altro non può esservi adagiata. Attualmente questi blocchi, spesso di grandi dimensioni, sono sempre più usati; contemporaneamente vengono realizzati giunti di malta interrotti anche per evitare i ponti termici. Poichè le indicazioni teoriche in materia sono scarse la R.D.B. NORD S.p.a. ha provveduto a sottoporre a prove di compressione, presso il suo Laboratorio prove di Pontenure (PC), cinque tipi diversi di murature. I risultati ottenuti sono stati incoraggianti e si sono potuti esprimere tramite una formula logaritmica molto semplice che approssima la realtà del fenomeno in modo molto soddisfacente.

- Summary: elements with "irregular holes" are those that have partly large ones on which the mortar cannot be spread. At present, said blocks, often the large dimensioned ones, are more and more used; at the esame time discontinued mortar joints are carried out, to avoid heat bridges too. As the theoretic information on the subject is scarce R.D.B. NORD S.p.a. has carried out at its laboratory of Pontenure (Piacenza) compressive strength tests on five different types of masonry. The results obtained have been encouraging and have been expressed through a very simple logarithmic formula that is near to the reality of the phenomenon in a very satisfactory way.

1) Premessa

Nell'ambito dei mattoni o blocchi in laterizio per murature, vengono qui definiti elementi a "foratura non uniforme" quelli la cui foratura è costituita in parte da fori piccoli e in parte da fori grandi eccedenti, in alcuni casi, anche il limite imposto dalla UNI 5630-65 per i mattoni forati.

Poichè sui fori grandi la malta non può esservi adagiata, per tali blocchi viene comunque a crearsi implicitamente un'interruzione, parziale o totale, del giunto di malta. Si può anche notare che questi blocchi così definiti hanno sovente dimensioni abbastanza grandi e una percentuale di foratura eccedente il 45%.

Dall'esame delle recenti "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio" [1] emanate dall'ANDIL, e di altre normative internazionali risulta che la resistenza a compressione di una muratura in laterizio è ricavabile teoricamente a partire dalle caratteristiche meccaniche dei suoi componenti (laterizi e malta) solo per limitate percentuali di foratura ($\phi \leq 45\%$ per le citate Raccomandazioni).

Inoltre, il giunto di malta, soprattutto quello orizzontale che più interessa la resistenza della muratura, viene comunemente considerato non interrotto ed esteso a tutta larghezza intendendo la malta disposta su tutta la superficie orizzontale dei mattoni o blocchi.

D'altra parte, le esigenze attuali di mercato e quindi la produzione dei laterizi da muro, vanno sempre più attestandosi su blocchi di grandi dimensioni caratterizzati anche da notevoli fori o celle nella loro sezione e rientranti in quelli qui definiti a foratura non uniforme. In più, sia per la configurazione di tali blocchi sia per cercare di evitare i ponti termici, va estendendosi, ed alcune volte a sproposito, l'impiego dei giunti di malta interrotti.

Viene naturale chiedersi, pertanto, quale possa essere il comportamento statico di tali murature realizzate con siffatti blocchi e siffatti giunti di malta.

Poichè ai fini statici è di importanza prevalente il giunto orizzontale è ad esso che nel seguito si farà riferimento.

2) Ricerca sperimentale e proposta di una formula di calcolo.

Come anticipato, scopo di questa ricerca era di studiare sperimentalmente il comportamento a compressione delle murature in laterizio realizzate con giunti orizzontali di malta interrotti.

A tal fine, però, non si poteva prescindere dal formato degli elementi di laterizio e in particolare dal disegno della loro sezione in quanto questo influisce sul tipo di giunto che può effettivamente essere realizzato. Infatti l'interruzione della malta può essere sia "esplicita", cioè ottenuta realizzando la separazione preventiva di due o più fasce di malta di uno stesso corso, sia "implicita", dovuta cioè all'impossibilità del legante di essere sostenuto su una certa zona del blocco essendo questa interessata dalla presenza di fori di grandi dimensioni. Inoltre possono verificarsi situazioni miste in cui sono presenti contemporaneamente i due precedenti tipi di interruzione.

Ciò premesso, presso il Laboratorio prove di Pontenure (PC) della R.D.B. S.p.a., si sono recentemente sottoposti a compressione diversi tipi di muratura realizzati con cinque differenti formati di blocco, anche a foratura non uniforme, e comprendendo anche i giunti di malta interrotti. Le modalità di prova sono quelle previste dalle Raccomandazioni [1] e per ogni provino sono stati realizzati sei muretti campione. I tipi di blocco impiegati sono visualizzati da fig. 1 a fig. 5 e i risultati più significativi sono riassunti in Tabella 1. I tipi di giunto impiegati sono dettagliatamente rappresentati da fig. 6 a fig. 10.

L'esame dei risultati sperimentali ottenuti si è alla fine rivelato molto soddisfacente soprattutto per quel che riguarda la loro omogeneità anche in considerazione al fatto che ogni blocco, oltre ad avere un formato a sè, proveniva da uno stabilimento di produzione differente da tutti gli altri e che ogni tipo di muratura era caratterizzato da una diversa conformazione del giunto orizzontale di malta.

Tale omogeneità di valori ha portato così ad individuare la seguente espressione che dà la resistenza a compressione della muratura in funzio-

TAB.1 - Riepilogo caratteristiche delle murature provate e loro resistenze a compressione in MPa

| | Tamponamento T.V. | Isoedil | Climablock | | | Isolater | Quadriuni |
|------------------|----------------------|----------|-------------|-------|------|-----------|-----------|
| Dimensioni (cm) | 20x40x20 | 30x25x15 | 30x15x25 | | | 30x20x25 | 25x12 x25 |
| Perc. For. (Ø) | 58% | 58% | 55% | | | 68% | 45% |
| Giacitura fori | verticale | vertic. | orizzontale | | | orizzont. | orizzont. |
| BLOCCO ISOLATO | | | | | | | |
| Resist.media fbm | 27,23 | 33,26 | 7,87 | | | 4,28 | 9,32 |
| Coeff. disp. | 8,80% | 5,00% | 4,22% | | | 14,10% | 14,00% |
| Res.caratt.fbk | 22,35 | 29,75 | 7,16 | | | 3,00 | 7,18 |
| MURATURA | | | | | | | |
| Res. media fm | 5,33 | 6,59 | 2,70 | 4,67 | 4,36 | 2,70 | 3,63 |
| Coeff. disp. | 9,11% | 9,20% | 4,4% | 3,8% | 6,6% | 15,50% | 11,00% |
| Res.caratt.fk | 4,19 | 5,20 | 2,36 | 4,20 | 3,52 | 1,40 | 2,70 |
| MALTA | | | | | | | |
| Resist.media Rm | 6,44 | 14,08 | 1,225 | 15,25 | 6,20 | 5,44 | 25,80 |

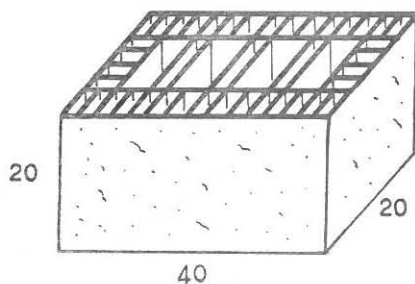


FIG.1 - Tamponamento T.V.
Stabilimento di
Villafranca (AT)

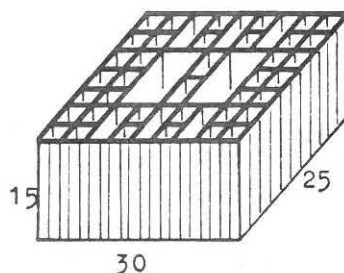


FIG.2 - Isoedil -
Stabilimento di
Lugagnano A (PC)

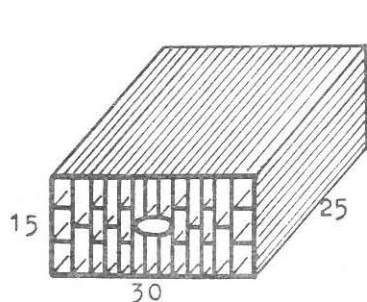


FIG.3 - Climablock -
Stabilimento di
Cadeo (PC)

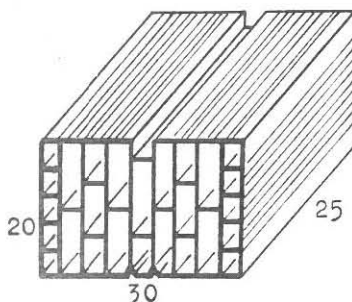


FIG.4 - Isolater
Stabilimento di
Montemesola (TA)

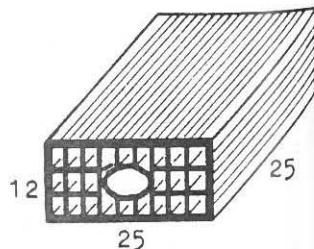


FIG. 5 - Quadriuni
Stabilimento di
Lugagnano B (PC)

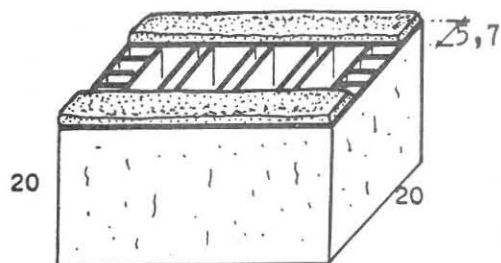


Fig. 6 - Tamponamento T.V.
Disposizione malta

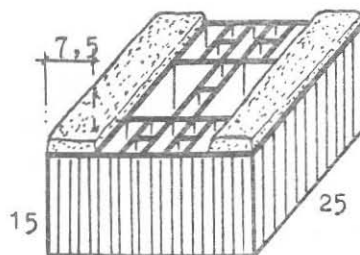


Fig. 7 - Isoedil
Disposizione malta

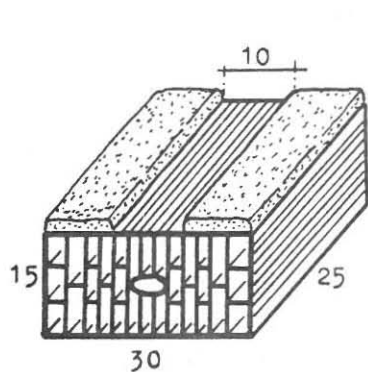


Fig. 8 - Climablock
Disposizione malta

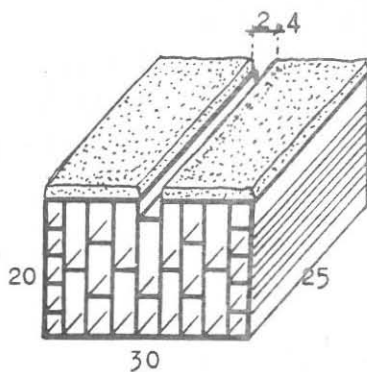


Fig. 9 - Isolater
Disposizione malta

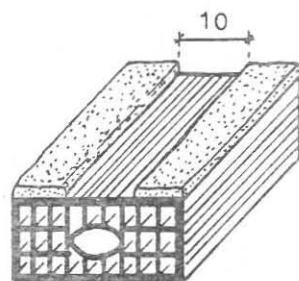


Fig. 10 - Quadriuni
Disposizione malta

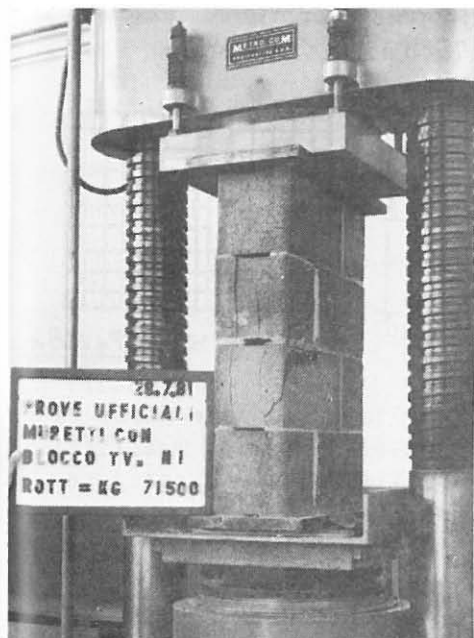


Fig. 11

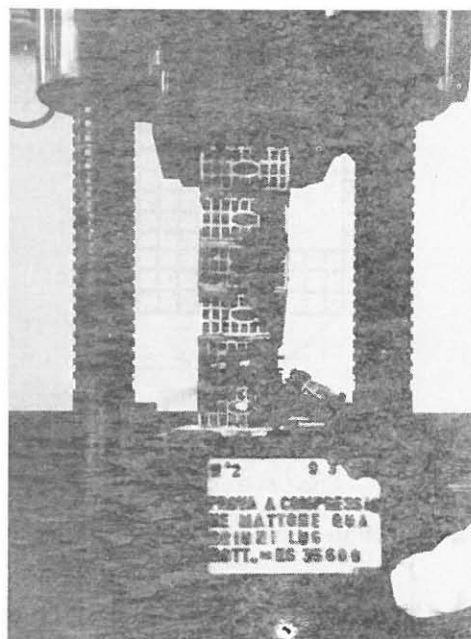


Fig. 12

Fig. 11 - fig. 12 - Alcuni pilastri di prova sotto la pressa durante la prova di compressione centrata.

ne di quella della malta e dei blocchi tenendo conto del tipo di giunto. Questa formula è in effetti un adattamento di quella logaritmica già proposta dall'ing. Guidi [2], [3], [6]. I risultati che con essa si ottengono sembrano approssimare bene la realtà del fenomeno e, in mancanza di altri dati, possono essere assunti come valore della resistenza caratteristica a compressione della muratura dalla quale ricavare la tensione-base ammissibile $\bar{\sigma}_m$ [1].

L'espressione è la seguente:

$$f_k = \frac{S}{A} \cdot \frac{f_{bk}}{\alpha} \cdot \log(10 R_m + 5) \quad (a)$$

Il significato dei simboli è il seguente:

f_k = resistenza caratteristica a compressione della muratura (MPa)

f_{bk} = resistenza caratteristica a compressione dei mattoni o blocchi isolati (MPa)

R_m = resistenza media a compressione della malta (MPa)

(L'introduzione del valore medio R_m al posto di quello caratteristico deriva dal fatto che il primo è più facilmente controllabile durante la messa in opera; inoltre le stesse Raccomandazioni [1] distinguono le malte in classi in funzione del valore medio della loro resistenza).

S = area lorda totale interessata dal giunto di malta orizzontale.

Essa è ricavata tenendo presenti le premesse definizioni di elemento a "foratura non uniforme" e di interruzione di giunto "implicita".

Come esempio è quella tratteggiata in fig. 13 e fig. 14.

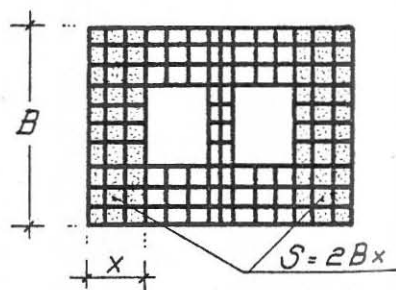
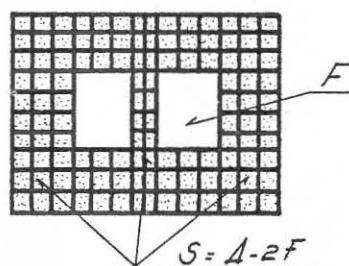


Fig. 13-Malta su tutto il blocco.
Interruzione "implicita"
(parziale) del giunto.

Fig. 14-Malta sulle sole fasce laterali.
Interruzione "esplicita"
del giunto.

A = area lorda totale del blocco (vuoto per pieno) soggetta a compressione.

$\alpha = \begin{cases} 6 & \text{per elementi a fori verticali con } 10 < f_{bk} \leq 40 \text{ MPa (} f_{bk} > 45 \text{ MPa } \alpha \approx 7) \\ 5 & \text{mattoni pieni con } f_{bk} > 10 \text{ MPa} \\ 4 & \text{per tutti gli elementi a fori orizzontali e per altri aventi comunque } f_{bk} < 10 \text{ MPa} \end{cases}$

Questi valori di α già individuati in passato da altri sperimentatori, possono risultare leggermente arrotondati in eccesso. Ciò è giustificato in quanto la (a) può essere applicata, a priori, in sede previsionale.

Come si nota, la modifica alle precedenti formule logaritmiche, più o meno analoghe, consiste nell'introduzione del rapporto S/A che tiene conto della possibilità di interruzione dei giunti di malta e quindi della conformazione del giunto e del tipo di foratura del laterizio.

Essa è comunque valida in generale per qualsiasi tipo di prodotto. Per mattoni pieni e semipieni di uso corrente con giunti di malta completi è $S/A = 1$.

A conforto di quanto detto vengono riportati alcuni esempi tratti direttamente dalle prove sperimentali svolte. In proposito si farà riferimento ai valori riportati in Tab. 1 e si distinguerà " f_k " col sottoindice (s) = valore sperimentale tabulato e (t) = valore teorico ricavato con la formula (a) proposta.

A compendio di ogni caso trattato viene tracciato il grafico della f_k così ottenuta in funzione di R_m . Parallelamente, come confronto, sullo stesso grafico è riportata la curva denominata "Andil" desunta dalle relative Raccomandazioni [1].

Quest'ultima è stata ricavata, oltre che per interpolazione dei dati tabellari forniti dalle [1], traslando verso il basso la curva stessa fino a coincidere col valore sperimentale. Si può subito osservare che lo scarto tra le due curve è sostanzialmente minimo pur se la curva logaritmica proposta sembra adattarsi meglio per alti valori di R_m . Inoltre per le murature in esame le curve Andil non sarebbero desumibili in fase preventiva in mancanza di dati sulla muratura.

Esempio 1: Tamponamento T.V. (fig. 1 e fig. 6)

$$f_{bk} = 22,35 \text{ MPa}; \quad R_m = 6,44 \text{ MPa}; \quad A = 20 \times 40 = 800 \text{ cm}^2;$$

$$S = 2 \cdot (5,7 \times 40) = 456 \text{ cm}^2$$

Supposto in prima approssimazione $\alpha = 6$ si ha:

$$f_{k(t)} = \frac{456}{800} \cdot \frac{22,35}{6} \log(64,4 + 5) = 3,91 \text{ MPa}$$

Valore molto prossimo a quello sperimentale $f_{k(s)} = 4,19 \text{ MPa}$.

I due valori verrebbero a coincidere per $\alpha = 5,60$ ed è per esso che viene tracciata la curva di fig. 15 in funzione di R_m .

Esempio 2: Isoedil (fig. 2 e fig. 7)

$$f_{bk} = 29,75 \text{ MPa}; \quad R_m = 14,08 \text{ MPa}; \quad A = 25 \times 30 = 750 \text{ cm}^2;$$

$$S = 2 (25 \times 7,5) = 375 \text{ cm}^2.$$

Supposto in prima approssimazione $\alpha = 6$ si ha:

$$f_{k(t)} = \frac{375}{750} \cdot \frac{29,75}{6} \log(140,8 + 5) = 5,36 \text{ MPa}$$

contro quello sperimentale $f_{k(s)} = 5,20$ MPa. I due valori, già prossimi, coincidono per $\alpha = 6,18$ per il quale viene tracciata la curva di fig.16.

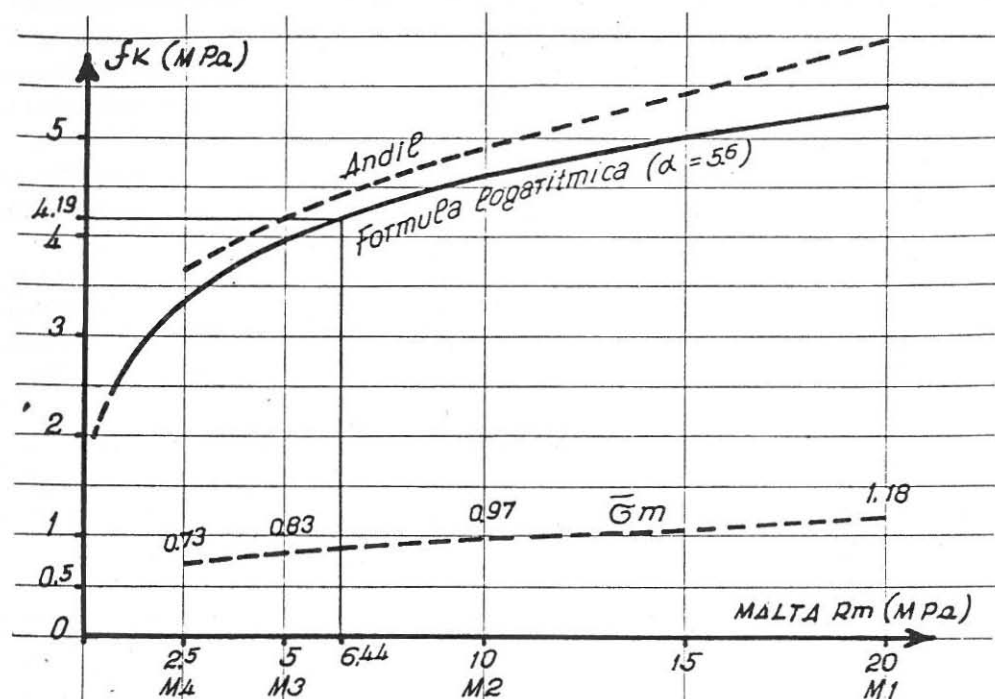


Fig. 15 - Tamponamento T.V. - Resistenza caratteristica della muratura.

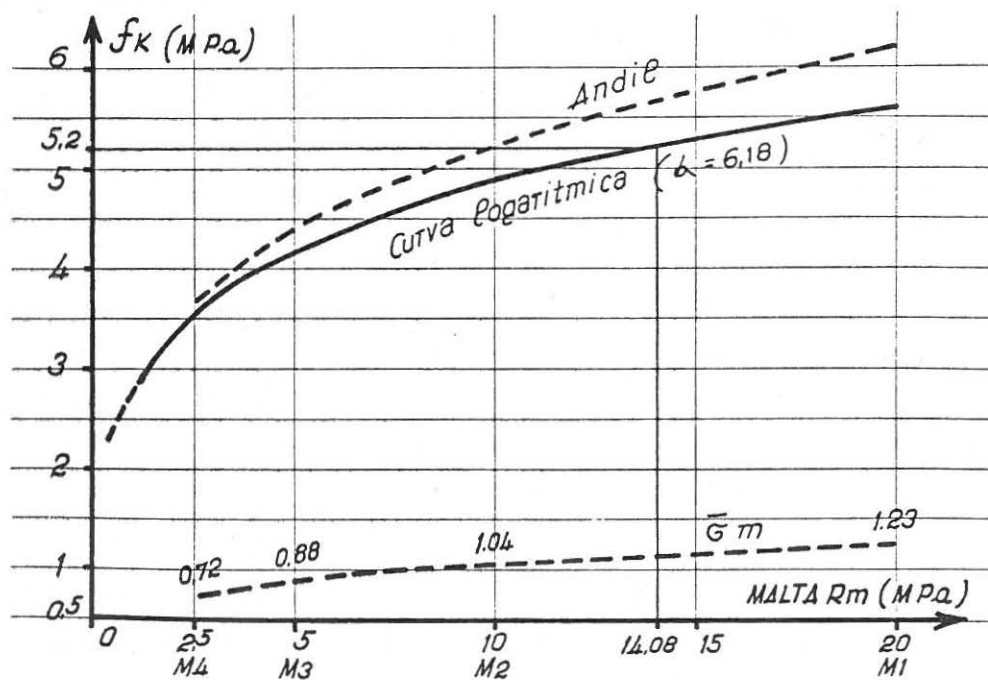


Fig. 16 - Isoedil - Resistenza caratteristica della muratura.

Esempio 3: Climablock (fig. 3)

Le prove di laboratorio, i cui risultati sono riportati in tab. 1, sono state eseguite col giunto di malta non interrotto. Pertanto $S/A = 1$ e:

$$f_{k(t)} = 1 \cdot \frac{7,16}{d} \log(10 R_m + 5)$$

Assumendo $d = 4$ si hanno i seguenti valori in funzione dei vari tipi di malta:

| R_m | $f_{k(s)}$ | $f_{k(t)}$ | $f_{k(t)}/f_{k(s)}$ |
|-----------|------------|------------|---------------------|
| 1,225 MPa | 2,38 MPa | 2,21 MPa | 0,93 |
| 15,25 " | 4,20 " | 3,93 " | 0,94 |
| 6,20 " | 3,52 " | 3,27 " | 0,93 |

Anche in questo caso di blocco cavo e giunto non interrotto la formula dà risultati più che soddisfacenti. I valori di $f_{k(s)}$ sono rappresentati in fig. 17 col punto marcato mentre quelli di $f_{k(t)}$ sono individuati dalla curva tratteggiata.

Attualmente, per migliorare la resistenza termica della parete, si tende a realizzare le murature in Climablock col giunto di malta interrotto, come indicato in fig. 8, cosicché $S/A = (30-10)/30 = 2/3$. Applicando la formula logaritmica proposta si può ragionevolmente prevedere per tale muratura la seguente resistenza a compressione:

$$f_{k(t)} = \frac{2}{3} \cdot \frac{7,16}{4} \log(10 \cdot R_m + 5)$$

il cui andamento è rappresentato a tratto continuo in fig. 17.

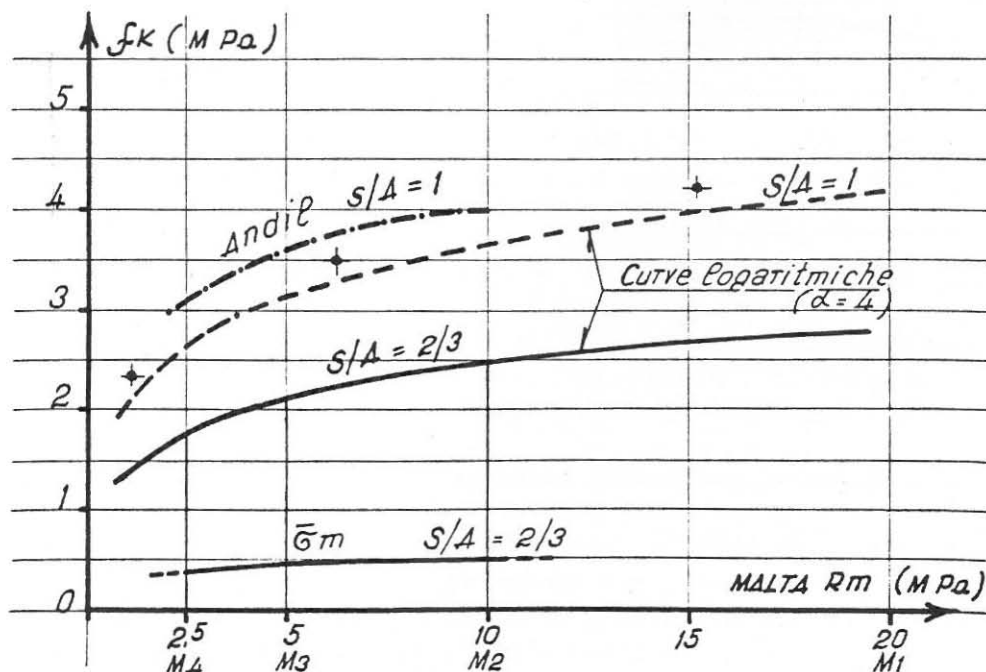


Fig. 17 Climablock - Resistenza caratteristica della muratura.

Esempio 4: Isolater (fig. 4 e fig. 9)

$$f_{bk} = 3 \text{ MPa}; \quad R_m = 5,44 \text{ MPa}; \quad \frac{S}{A} = \frac{25 (30-2,4)}{25 \cdot 30} = 0,92$$

Supposto $\alpha = 4$ si ottiene:

$$f_{k(t)} = 0,92 \cdot \frac{3,00}{4} \cdot \log (54,4 + 5) = 1,23 \text{ MPa}$$

che risulta sufficientemente prossimo a quello sperimentale $f_{k(s)} = 1,40$ MPa. I due valori verrebbero a coincidere per $\alpha = 3,51$ per il quale viene tracciato l'andamento ($f_k - R_m$) di fig. 18;

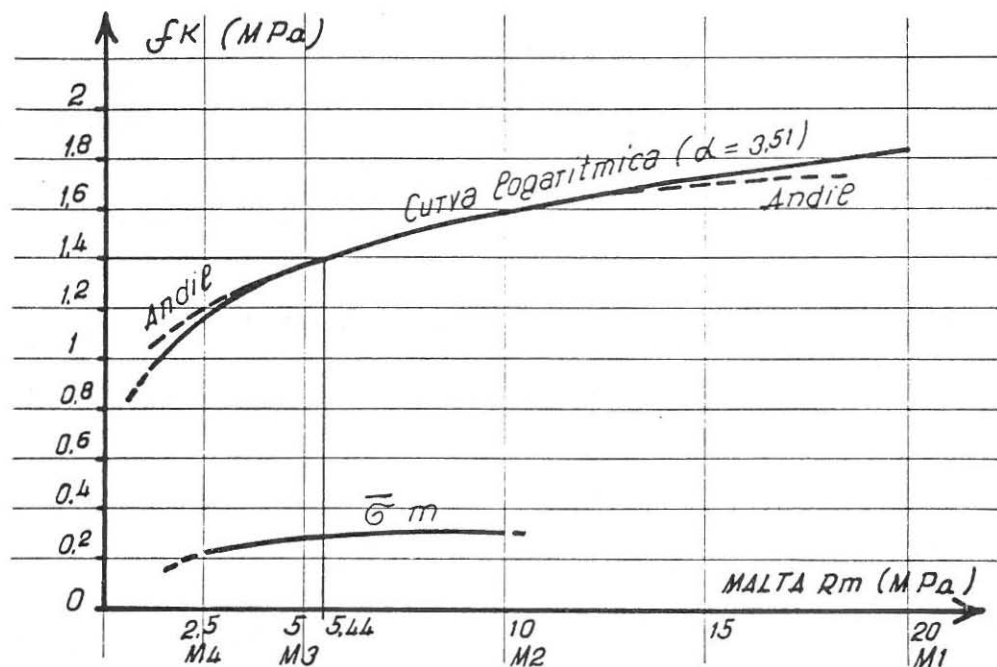


Fig. 18 - Isolater - Resistenza caratteristica della muratura.

Esempio 5: Quadriuni (fig. 5 e fig. 10)

$$f_{bk} = 7,18 \text{ MPa}; \quad R_m = 25,8 \text{ MPa}; \quad \frac{S}{A} = \frac{25 (25-10)}{25 \cdot 25} = 0,60$$

adottando in prima approssimazione $\alpha = 4$ si ha:

$$f_{k(t)} = 0,6 \cdot \frac{7,18}{4} \log (258 + 5) = 2,60 \text{ MPa}$$

praticamente coincidente con quello sperimentale $f_{k(s)} = 2,70$ MPa. Volendo ottenere un'esatta corrispondenza dei valori si può adottare $\alpha = 3,85$ per il quale viene tracciata la curva di fig. 19.

In questo caso, ad esempio, può essere sfruttato il vantaggio dato dalla espressione logaritmica. Infatti il valore di R_m con cui si sono svolte le prove è, in effetti, troppo elevato per questo tipo di muratura ($R_m \gg f_{bk}$). Pertanto, invece di ripetere le prove con un altro tipo di malta, si

può ipotizzare che per una malta ideale di classe M3 avente $R_m = 5$ MPa la resistenza della muratura sia:

$$f_k = 0,6 \frac{7,18}{3,85} \log(50 + 5) = 1,95 \text{ MPa}$$

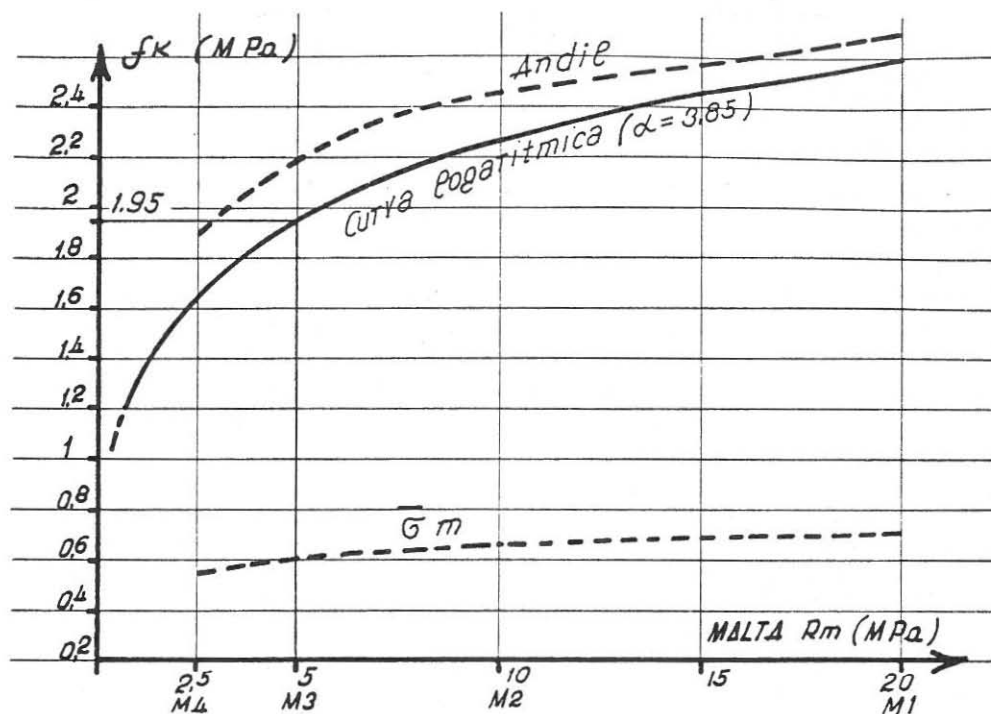


Fig. 19 - Quadriuni - Resistenza caratteristica della muratura.

3) Conclusioni

In mancanza di altri dati, la formula logaritmica proposta (a) può essere utilizzata per calcolare la resistenza a rottura per compressione di una muratura a partire dalle resistenze dei blocchi o mattoni e della malta e dalla conformazione dei giunti. Questo in fase previsionale. Però la formula stessa può risultare utile anche in fase di qualificazione di una muratura. Infatti è mio parere che per sfruttare a pieno le qualità delle murature in laterizio, accanto alla qualificazione dei singoli blocchi o mattoni realizzata in Italia dal "Marchio di Qualità" [1], [4], debba sempre essere eseguita almeno una prova su muretti per ogni prodotto anche per percentuali di foratura minori del 45%. Pertanto la qualificazione di una muratura assemblata dovrebbe seguire le seguenti tappe:

- qualificazione dei laterizi come singoli componenti - Ciò per garantire la costanza del prodotto.
- Prova su muretti onde definire i parametri della curva Resistenza muro-resistenza malta.
- Individuazione di tale curva e delle conseguenti tensioni ammissibili in esercizio della muratura.
- Determinazione dei parametri di resistenza a taglio.

La formula proposta avrebbe il vantaggio di permettere lo svolgimento dei punti b), c), in modo molto semplice con notevole risparmio di tempo e di mezzi. Infatti basterebbe, come detto, una sola prova su muretti con un solo tipo di malta onde poter determinare sperimentalmente una volta per tutte il parametro " α " caratteristico della muratura in esame.

Per il punto d), di stretta attualità, ne relazionano altri ricercatori, tra cui [7].

Per concludere si vorrebbe sfiorare un tasto un po' dolente, perlomeno in Italia. Infatti ai precedenti quattro punti se ne sarebbe potuto (e dovuto) aggiungere un quinto. Il punto e), non meno importante dei precedenti, è l'esecuzione in opera della muratura che dovrebbe essere curata dall'esecutore tanto quanto la qualità dei prodotti. E' più che giusto, anzi indispensabile, che i produttori si preoccupino di garantire prestazioni costanti ai loro manufatti e che forniscano all'utente i dati necessari per il corretto utilizzo del materiale e, se la particolarità del prodotto lo richiede, anche le istruzioni per una corretta messa in opera. Però può succedere che l'utilizzatore vanifichi questi sforzi non rispettando non solo queste istruzioni particolari ma neppure le elementari regole del ben costruire (bagnatura dei blocchi, a piombo dei muri, ecc...) e non di rado si è costretti ad assistere, con rammarico, ad esecuzioni più che precarie se non in certi casi, vergognose vuoi per risparmiare tempo, vuoi per risparmiare materiale. Quindi, invece di chiudere gli occhi e sperare, in una "economia di non spreco" sarebbe opportuno normalizzare e sensibilizzare anche questo aspetto, anche a livello di istruzione, istituendo, non ultimi, seri controlli della messa in opera onde poter preferire, come già prevedono alcune normative estere, quelle murature realizzate correttamente.

/.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Raccomandazioni per la progettazione e il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio". Andil -sezione murature- Roma 1980
- [2] G. Guidi - "Confronto di resistenze fra murature in mattoni pieni e semipieni con vari tipi di malta". - L'industria Italiana dei laterizi - n. 1/1964
- [3] F. Laner - "Resistenza di base delle murature in laterizio: considerazioni su un ciclo di prove". - L'industria Italiana dei laterizi - n. 2/1976
- [4] ANDIL - Sezione murature "Norme concernenti la qualificazione dei materiali laterizi per murature". - L'industria Italiana dei laterizi - n. 4/1980
- [5] P. Szabo - "Il giunto nelle murature e gli additivi per malte". L'industria Italiana dei laterizi - n. 2/1974
- [6] Il Laterizio - bollettino tecnico R.D.B. n. 98/1966 - n.163-164/1977 n. 175-176/1979 - n° 189-190/1981
- [7] F. Laner - "Prove di resistenza a taglio delle murature in laterizio" VI^ congresso Internazionale sulle murature in mattoni - Roma 1982.
- [8] N. Tubi - "La realizzazione delle murature in laterizio" - Andil, sezione murature. - Roma 1981.