

Contributo allo studio sperimentale di murature realizzate con malte fibrorinforzate

(Contribution to experimental research on masonry with fibre-reinforced mortar)

R.MATTONE, G.PIZZETTI

Istituto di Scienza delle Costruzioni - Facoltà di Architettura - Politecnico di Torino - Italia.

Sommario - Viene illustrato uno studio di carattere sperimentale sulla possibilità di uso della malta rinforzata con fibre di acciaio nelle costruzioni in muratura. Le prove su campioni sollecitati a compressione ed a taglio hanno evidenziato l'effetto positivo giuocato dalla presenza delle fibre di acciaio nella malta.

Abstract - The paper concerns an experimental study on the possibility of using steel fibers reinforced mortar in masonry constructions. Compression and shear tests on masonry specimens show the positive effect played by the presence of steel fibers in mortar.

1. PREMESSA

Il comportamento del calcestruzzo rinforzato con fibre di acciaio è da tempo oggetto di studi e di esperienze che ne hanno evidenziato le caratteristiche di resistenza e di duttilità.

E' parso quindi interessante esplorare le possibilità offerte dalla applicazione del rinforzo con fibre di acciaio alle malte impiegate per le murature, nello intento di valutare se, ed in quale misura, l'impiego di malte di tale tipo possa contribuire a variare le caratteristiche resistenti e il comportamento deformazionale del manufatto murario.

Stante la complessità del problema, si è reso necessario operare delle scelte preliminari, fissando a priori alcuni parametri (tipo di malta, di mattoni e di fibra) ed assumendo come variabile solo il quantitativo di fibra aggiunto.

Perciò, quanto viene qui di seguito relazionato, ben lungi dall'esaurire il problema, fornisce solo una prima indicazione degli aspetti di comportamento che sono emersi nel corso delle prove, e che dovranno essere ulteriormente approfonditi attraverso una sperimentazione condotta su più ampia scala.

Tutte le prove che vengono in seguito descritte sono state effettuate secondo le indicazioni contenute nella pubblicazione ANDIL "Raccomandazioni per la progettazione ed il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio".

2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI.

Per la realizzazione dei provini, sono stati utilizzati materiali aventi le seguenti caratteristiche:

Mattoni (di tipo semipieno):

misure geometriche medie: 7x11,5x24 cm;

percentuale di foratura: 29,4%;

resistenza a compressione (sull'area lorda):

valore medio su 10 prove: 19,80 MPa

scarto quadratico medio: 2,26 MPa

valore caratteristico: 14,98 MPa

Malta:

E' stata utilizzata malta additivata preconfezionata a base cementizia con inerte silico-calcareo (\emptyset max = mm 2). Si è privilegiato l'impiego di tale tipo di malta per la costanza delle sue caratteristiche. Le condizioni ottimali di lavorabilità, in relazione alla presenza di inerti prevalentemente fini, si sono ottenute con un rapporto acqua/cemento $A/C \cong 0,7$.

Le proprietà meccaniche di tale malta sono indicate in Tab. I.

Fibre:

Sono state utilizzate fibre Wirand lisce, aventi rapporto d'aspetto $L/D \cong 90$ ($L = 20$ mm; $D = 0,22$ mm).

3. DESCRIZIONE DELLA FASE SPERIMENTALE.

La sperimentazione si è articolata attraverso i seguenti punti:

3.1. Determinazione del ruolo giocato dalla fibra aggiunta alla malta.

Preliminarmente alla realizzazione dei provini in muratura sono state effettuate prove a flessione ed a compressione su provini di malta pura e fibrosa, aventi dimensioni $4 \times 4 \times 16$. In particolare, con riferimento a precedenti sperimentazioni condotte nell'ambito dei calcestruzzi fibrosi, le fibre sono state aggiunte con i seguenti dosaggi:

40 kg di fibra per mc di malta (corrispondenti a 0,5% in peso di volume)

80 kg " " " " (" " a 1,0% " " ").

Nei successivi riferimenti le varie malte vengono, per semplicità, così contraddistinte:

malta A = malta pura;

malta B = malta con 40 kg/mc di fibra;

malta C = malta con 80 kg/mc di fibra.

Dalla Tab. I emerge la variazione di resistenza a flessione ed a compressione delle malte stesse, in funzione del quantitativo di fibra aggiunto.

Tipi di malte	FLESSIONE			COMPRESSIONE		
	A	B	C	A	B	C
Resistenza media (MPa)	4,75 *	4,99 *	6,28 *	14,58 Δ	15,47 \blacktriangle	17,47 Δ
Scarto quadratico medio (MPa)	0,51	0,37	0,49	1,28	1,37	1,69
Resistenza caratteristica (MPa)				12,06	12,76	14,16

(*) valutata su n. 9 provini

(Δ) valutata su n.17 provini

(\blacktriangle) valutata su n.16 provini

Tab.I - Proprietà meccaniche delle malte utilizzate (dopo 28 gg. di stagionatura).

3.2. Prove a compressione sui provini di muratura realizzati con le diverse malte.

Sono stati realizzati n. 18 provini, 6 per ogni tipo di malta impiegato; di questi 6, n.3 sono stati sollecitati a compressione fino a rottura, ed i restanti sono stati sottoposti a prove cicliche.

In entrambi i casi, il rilevamento delle deformazioni verticali è stato effettuato mediante n.4 comparatori centesimali - 2 per ogni faccia del provino - posti in corrispondenza del 2° e del 4° corso di mattoni, su di una base di 140mm.

Le deformazioni orizzontali sono state rilevate mediante n. 4 basi estensimetriche Staeger (l=100 mm), disposte in corrispondenza di un giunto di malta verticale e del mattone sottostante.

Una ulteriore coppia di comparatori ha inoltre consentito di rilevare le deformazioni orizzontali dell'intero provino (vedi schema indicato nelle figg. 4,5,6).

Le variazioni di resistenza a compressione in funzione della malta utilizzata, emerse dalla prima serie di prove, sono riportate in fig. 1.

I provini realizzati con malte fibrose presentano tensioni di rottura più elevate rispetto a quelli realizzati con malta pura.

Pare inoltre significativo rilevare come l'influenza delle fibre si manifesti non solo attraverso un incremento di resistenza, ma soprattutto impedendo il verificarsi della caratteristica rottura "esplosiva", tipica delle murature realizzate con malte tradizionali.

Tale fenomeno è evidenziato dalle figg. 2,3.

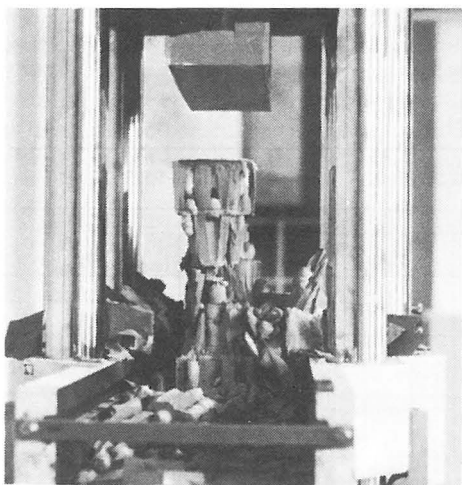


Fig. 2 - Tipo di rottura riscontrato sistematicamente nei provini confezionati con malta A.

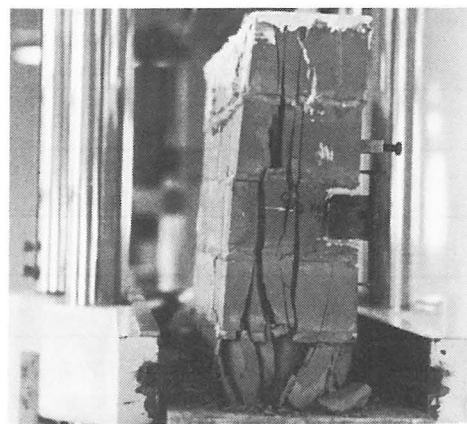


Fig. 3 - Tipo di rottura riscontrato sistematicamente nei provini confezionati con malte B e C.

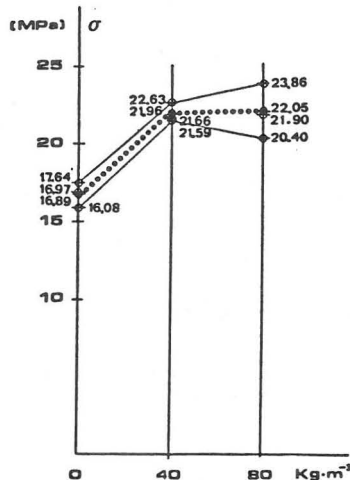


Fig.1 -Diagramma della variazione della resistenza unitaria a compressione in funzione del tipo di malta utilizzato.
(.....) = media dei valori.

La seconda serie di prove a compressione è stata eminentemente intesa a ricavare qualche dato orientativo sul comportamento dei provini a sollecitazioni di tipo ciclico.

Le figg. 4,5,6 riportano dati tipici relativi a ciascun gruppo di provini; come si può rilevare dalle figure stesse, sono stati effettuati n.4 cicli di carico e scarico nell'ambito da 0 a 500 KN ($\sigma = 8,9$ MPa), n.4 cicli da 0 a 600 KN ($\sigma = 10,7$ MPa), n.1 ciclo da 0 a 700 KN ($\sigma = 12,5$ MPa) e n.1 ciclo da 0 a 1000 KN ($\sigma = 17,8$ MPa),

Fig.4

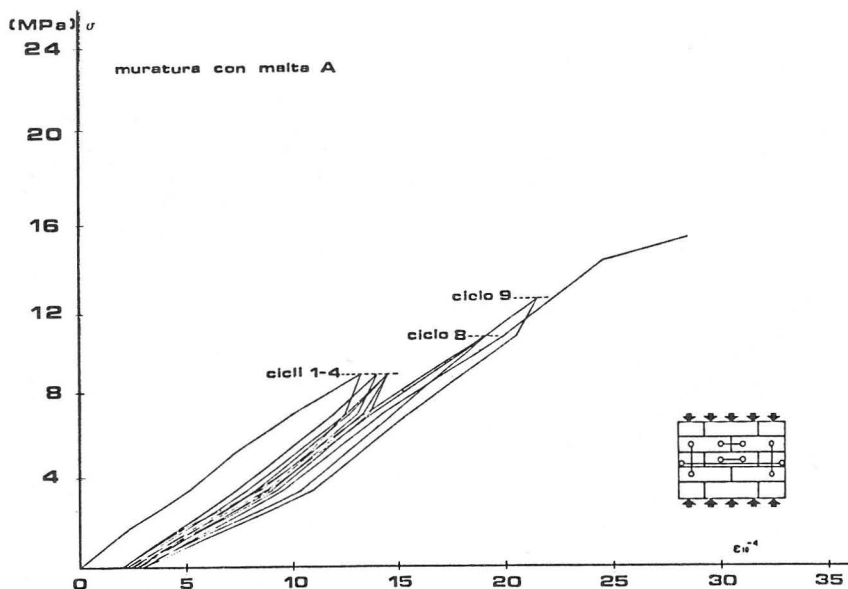
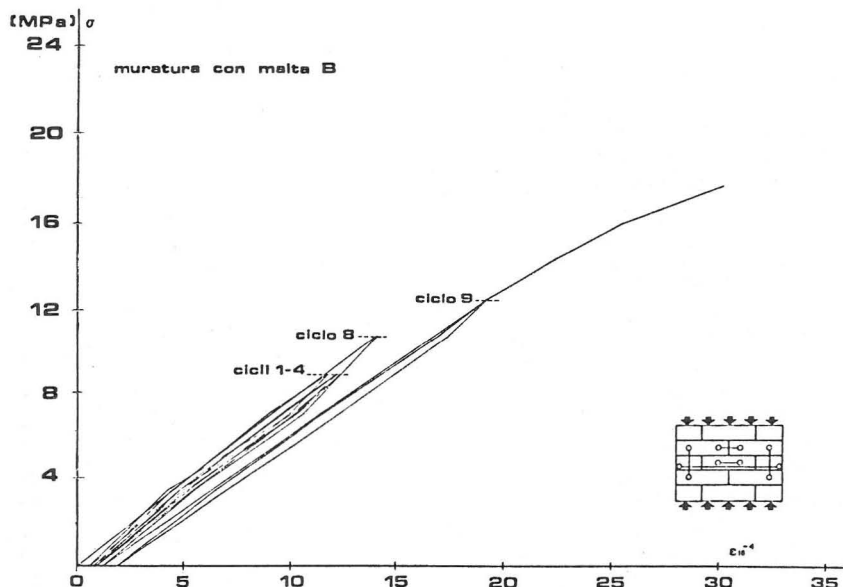


Fig.5



Figg. 4,5 - Diagrammi $\sigma - \epsilon$ relativi alle prove di tipo ciclico a compressione.

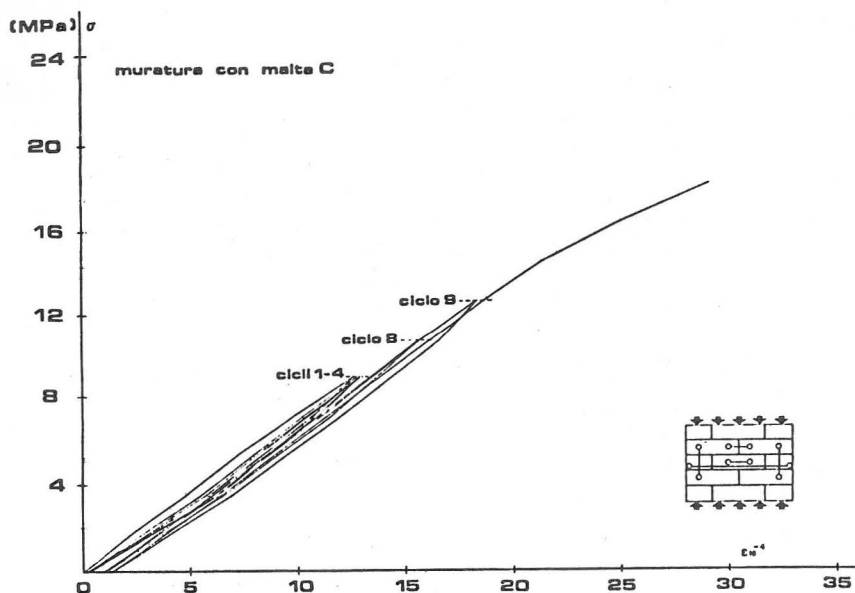


Fig. 6- Diagramma σ - ϵ relativo a prova di tipo ciclico a compressione.

spingendo in tal modo a rottura solo i provini realizzati con malta A.

L'effetto di isteresi è palesamente meno sensibile nei provini con malte B e C rispetto a quelli con malta A; tale effetto è stato sistematicamente rilevato anche per i campioni i cui diagrammi sono stati omessi per brevità.

3.2. Prove al taglio

Sono stati realizzati complessivamente n. 9 provini (n. 3 confezionati con malta A, n. 3 con malta B, n. 3 con malta C).

Come indicato in figura 7, ogni provino è composto di cinque corsi di mattoni, terminanti superiormente ed inferiormente con un cordolo in calcestruzzo debolmente armato.

In figura risulta altresì lo schema di carico al quale i provini sono stati sottoposti.

Per la determinazione delle deformazioni sono stati utilizzati:

- comparatori centesimali per rilevare le deformazioni orizzontali;
- basi estensimetriche Whitmore - disposte su entrambe le facce dei provini - per rilevare le deformazioni lungo le diagonali.

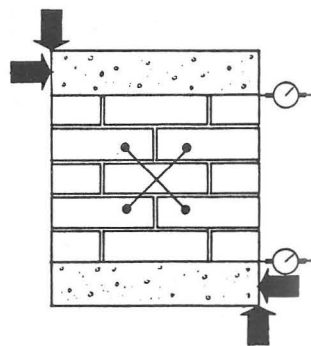
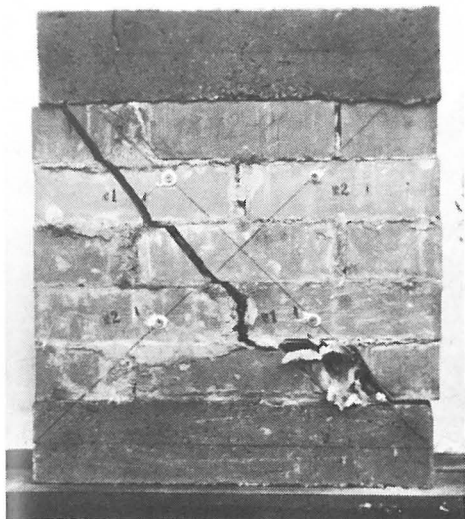


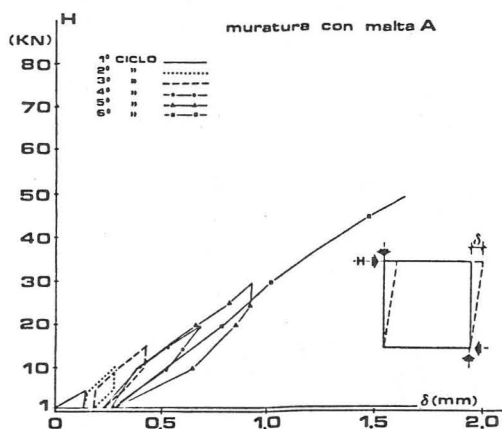
Fig. 7- Provino sottoposto a taglio



I diagrammi delle figg. da 9 a 16 rappresentano lo spostamento della sommità dei provini in relazione al carico applicato.

Fig.8 - Andamento del fenomeno di rottura dei provini sollecitati a taglio.

Fig.9



Figg. 9,10 - Diagrammi carico-spostamento nei provini confezionati con malta A, sollecitati a taglio.

Fig. 10

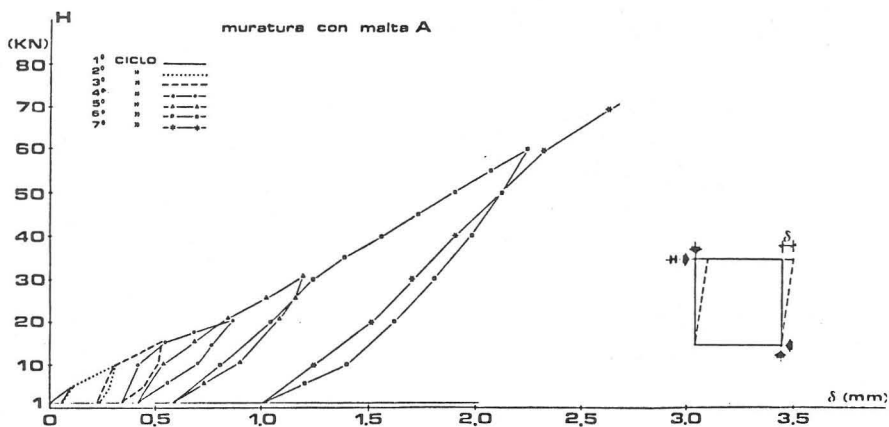


Fig.11

Figg.11,12,13 - Diagramma carico-spostamento nei provini confezionati con malta B, sollecitati a taglio.

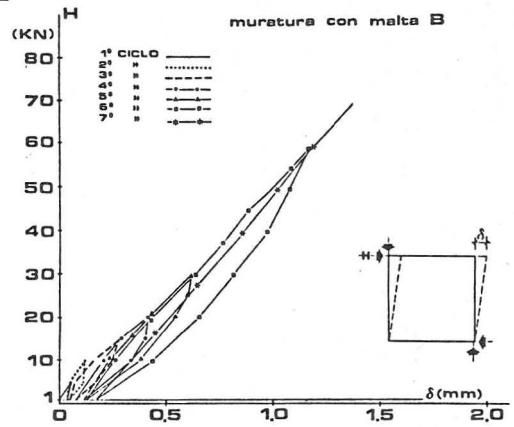
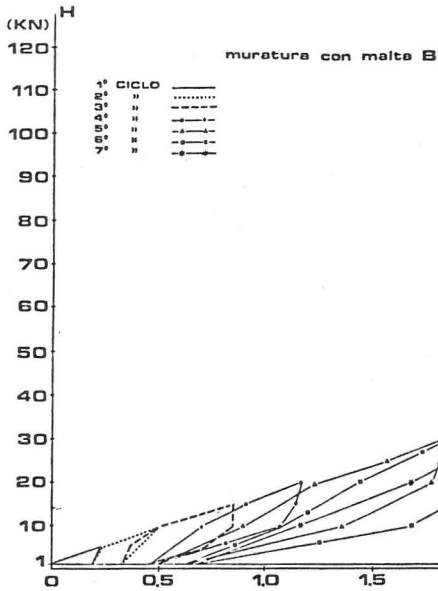


Fig.12

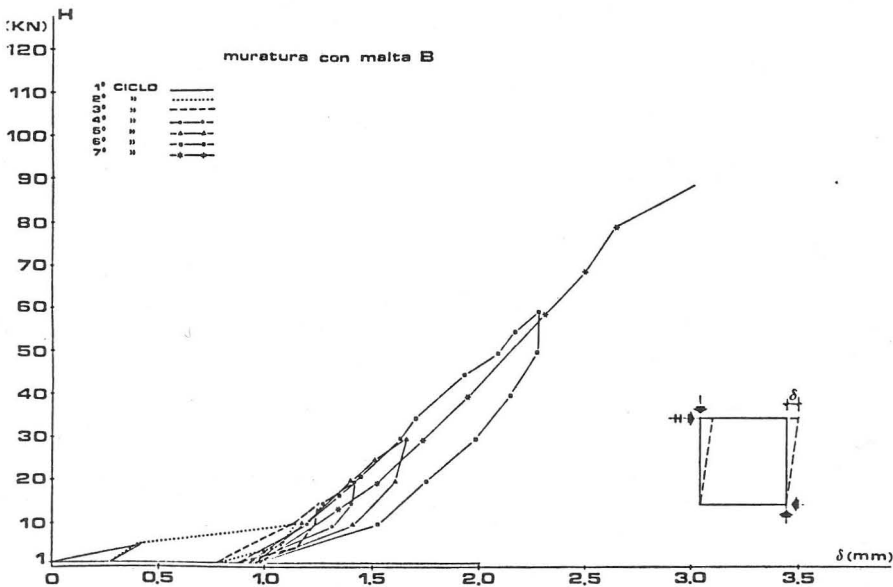


Fig.13

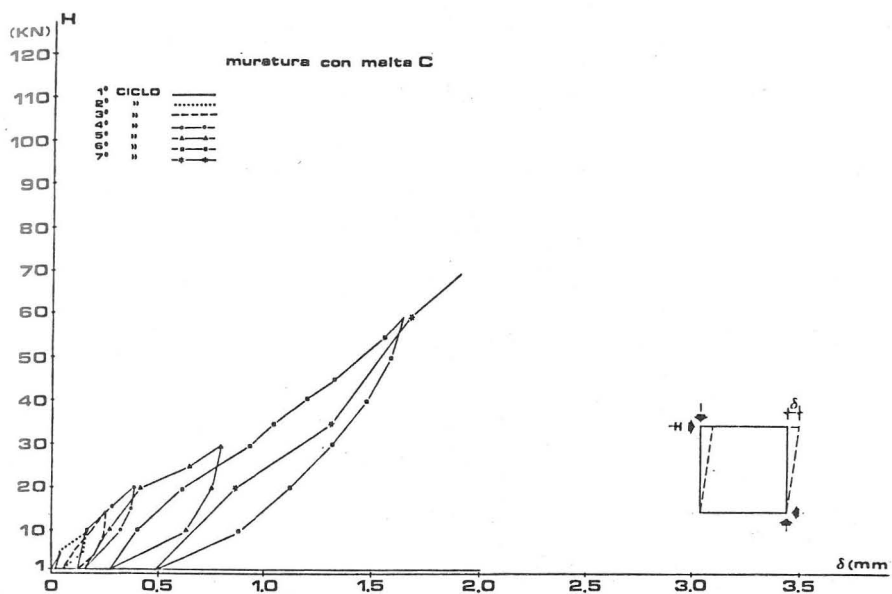


Fig. 14

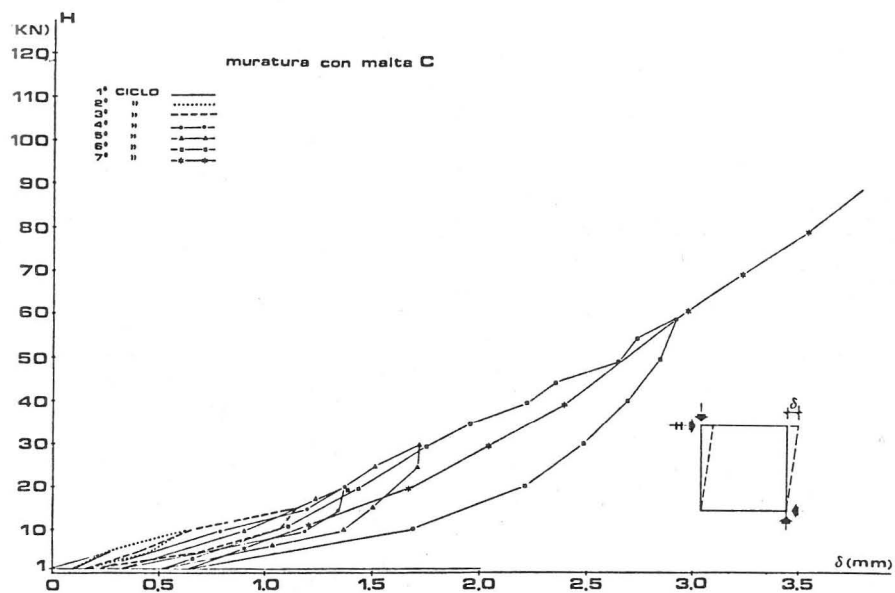


Fig. 15

Figg. 14,15 - Diagramma carico-spostamento nei provini confezionati con malta C, sollecitati a taglio.

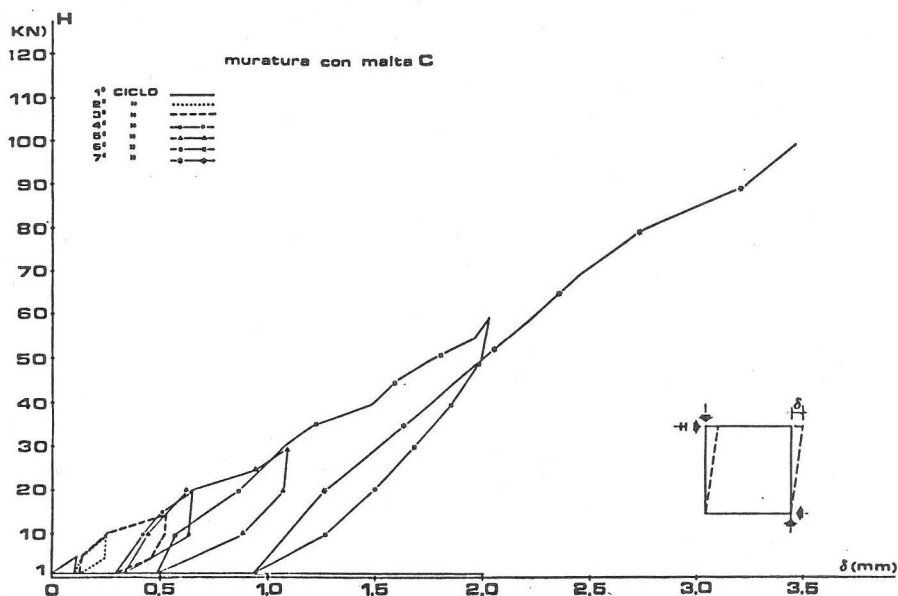


Fig. 16 - Diagramma carico-spostamento in provino confezionato con malta C, sollecitato a taglio.

I diagrammi delle 18, 19 e 20 rappresentano inoltre le deformazioni riscontrate ϵ_c ed ϵ_t lungo le diagonali, per un provino di ogni serie ritenuto il più significativo (ϵ_c = accorciamento unitario lungo la diagonale compressa; ϵ_t = allungamento unitario lungo la diagonale tesa).

Il comportamento dei vari tipi di provini è stato pressochè identico: la rottura, di tipo fragile, si è verificata normalmente alla diagonale tesa, e senza essere preceduta da apparenti fenomeni di fessurazione.

Si è invece riscontrato un apprezzabile incremento dei valori della tensione tangenziale τ_{media} in rapporto alla diversa quantità di fibra presente nella malta.

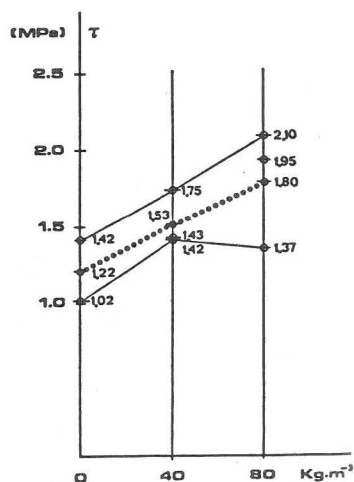


Fig. 17 - Diagramma della variazione della resistenza unitaria a taglio in funzione del tipo di malta utilizzato.

(.....) = media dei valori.

- Fig.18

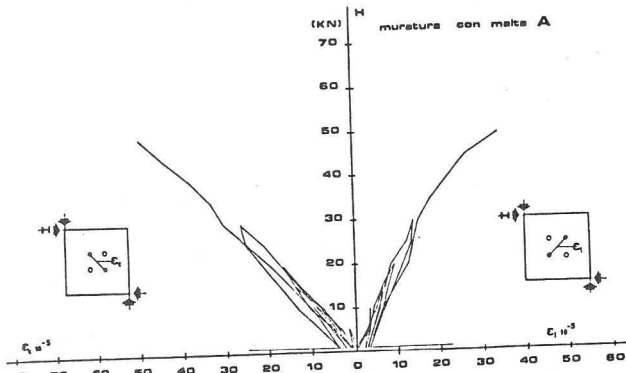


Fig.19

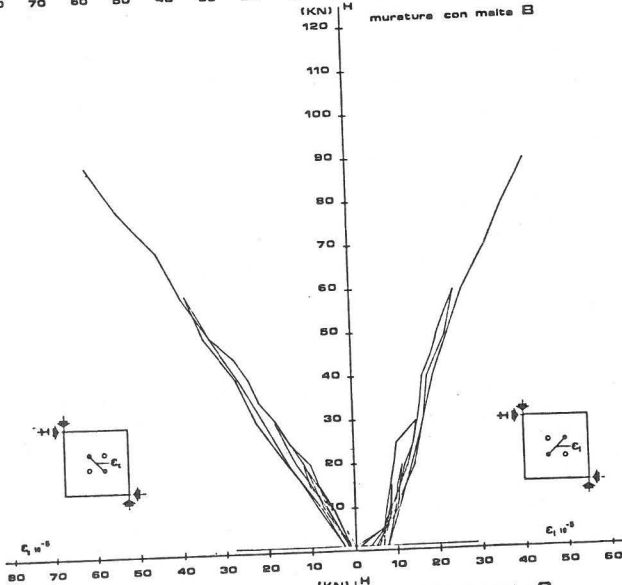
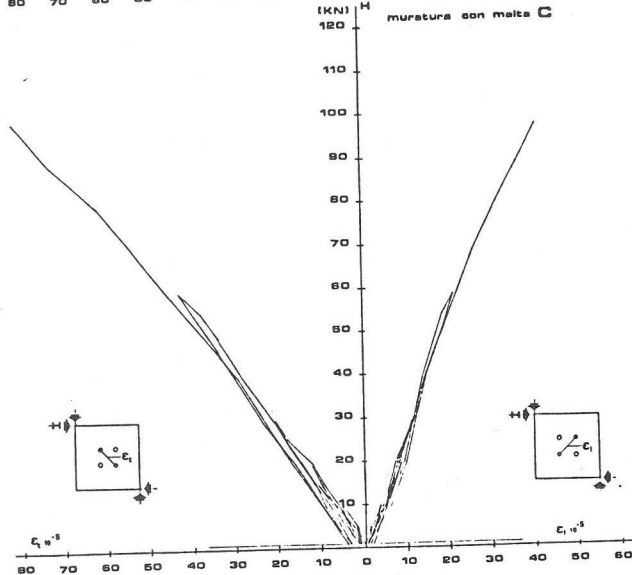


Fig.20



Figg.18,19,20 - Diagrammi delle deformazioni ϵ_c ed ϵ_t lungo le diagonali.

4. CONCLUSIONI

La sperimentazione finora effettuata, per quanto impegnativa, richiede ulteriori approfondimenti; ne citiamo alcuni:

- riesame della composizione della malta, al fine di migliorare il rapporto A/C (che si presenta elevato, anche se le fibre hanno contribuito a ridurre il fenomeno di ritiro);
- estensione della sperimentazione ad ulteriori tipi di fibra (ad es, Wirand Duoform ed altre).

Tuttavia riteniamo si possa fin d'ora sottolineare, come risultato sistematico e significativo, il comportamento qualitativamente diverso alla rottura per compressione tra le murature confezionate con malta A e quelle confezionate con le malte B e C: i provini confezionati con malta A hanno avuto un tipo di rottura "esplosivo", tipico della muratura tradizionale, mentre quelli confezionati con le malte B e C hanno conservato, dopo rottura, forma e consistenza.

Inoltre, le malte fibrose hanno consentito un incremento dei valori di rottura a compressione piuttosto significativo.

Tali incrementi si sono registrati anche nelle prove di rottura al taglio; in tali prove, però, il meccanismo di rottura dei vari provini non ha evidenziato differenze sostanziali. E' probabile che una sperimentazione al taglio condotta con condizioni di carico che meglio corrispondano alle situazioni reali possa evidenziare qualche differenza di comportamento.

Altro punto degno di nota è quello relativo alla semplicità riscontrata nelle varie fasi esecutive dei campioni, in quanto la presenza delle fibre nell'impasto non ha creato complicazioni apprezzabili.

Gli autori, pur consci della necessità di una più ampia e sistematica esplorazione dei problemi qui affrontati, ritengono di avere - con questa prima campagna di esperienze - apportato diversi dati orientativi di indubbio interesse.

Desiderano infine osservare la notevole semplicità ed agilità di applicazione della soluzione sperimentata ai fini del miglioramento della qualità e della resistenza delle murature anche nei piccoli cantieri, dove la malta preconfezionata con la aggiunta di fibre può sostituire, senza complicazioni apprezzabili, la malta tradizionale.

* * *

Gli autori desiderano esprimere un particolare ringraziamento all'arch. N. Debellis, preposto alla conduzione del Laboratorio Prove Materiali dell'Istituto, che ha dato intelligente e fattiva collaborazione in tutte le fasi della sperimentazione condotta.

Del pari esprimono il loro ringraziamento al tecnico esecutivo Sig. S. Lupini.

BIBLIOGRAFIA

- 1) - A. Neville, "Fibre Reinforced Cement and Concrete", Rilem Symposium 1975, The Construction Press LTD, 1975.
- 2) - C. Flohrer, H.K. Hilsdorf, "Strength and Deformation Characteristics of Masonry with Fiber-reinforced Mortar Joints", Vth International Brick Masonry Conference, Washington, 1980.

- 3) - A. Bernardini, C. Modena, V. Vescovi, "Ricerca sperimentale sui parametri di resistenza e deformabilità di murature in laterizio normale e alveolato", Costruire, 109, 1978.
- 4) - "Raccomandazioni per la progettazione e il calcolo delle costruzioni a muratura portante in laterizio", ANDIL, Sezione murature in laterizio, maggio 1981.