

COMUNE DI PETRIOLO

Provincia di Macerata

PIANO STRAORDINARIO PER LA MESSA IN SICUREZZA
DI EDIFICI SCOLASTICI

ADEGUAMENTO SISMICO SCUOLA ELEMENTARE "G. GINOILI"

PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE :

AMMINISTRAZIONE COMUNALE

TAVOLA:

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA -
RELAZIONE INTERVENTI

1.0



PROMAR engineering s.r.l.
Società di Architettura ed Ingegneria

Via S.S. Annunziata 30 - 62020 Colmurano (MC) ITALIA
Tel. 0733/506270 - E-mail info@promarengineering.com

PROGETTISTA , D.L. E
COORDINATORE SICUREZZA:

ING. ENRICO MARIOTTI

Collaboratori:

TIMBRO E FIRMA



N. rev.	Percorso	Verifica	Responsabile di verifica	Approvazioni enti
REV.01	PROMAR / ARCHIVIO / 2013/ PUBBLICI/ 006-PETRIOLO SCUOLA ELEMENTARE/ 6000 CAMPANILI	23/09/2013	Ing. Enrico Mariotti	

INDICE DELLA RELAZIONE

1. PREMESSA

2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

- Informazioni storiche dell'edificio
- Analisi della struttura e interventi nel tempo
- Stato di conservazione dell'immobile

3. MONITORAGGI ED INDAGINI

4. RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

5. VALUTAZIONI DEL PROFESSIONISTA

6. INTERVENTI DI ADEGUAMENTO PROPOSTI PER RIDURRE LA VULNERABILITA' SISMICA

ALLEGATO

A1- Certificazione alla resistenza della fibra con relativa relazione sulle prove

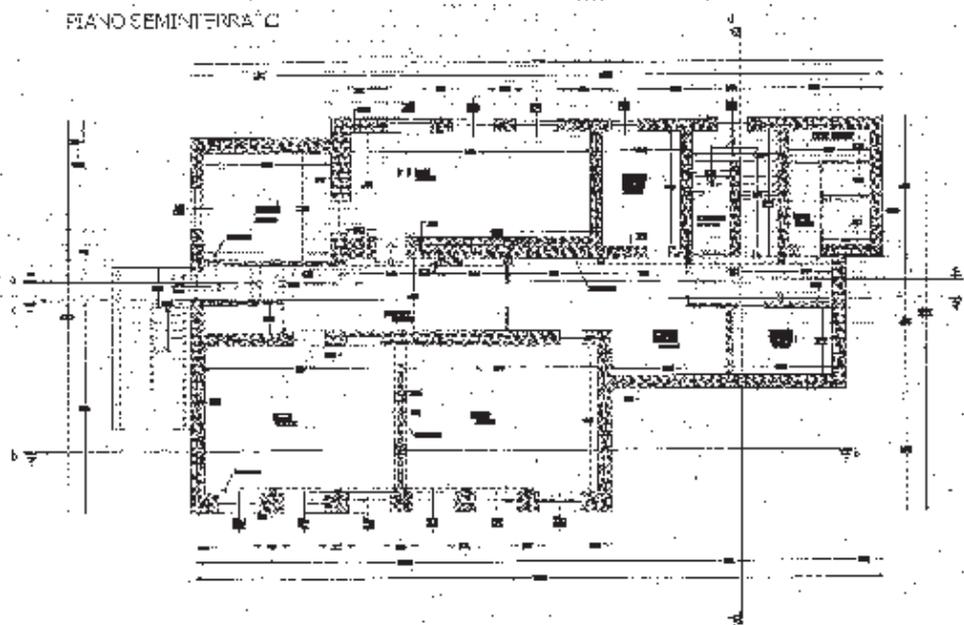
A2- Certificazione alla permeabilità al vapor acqueo

1. PREMESSA

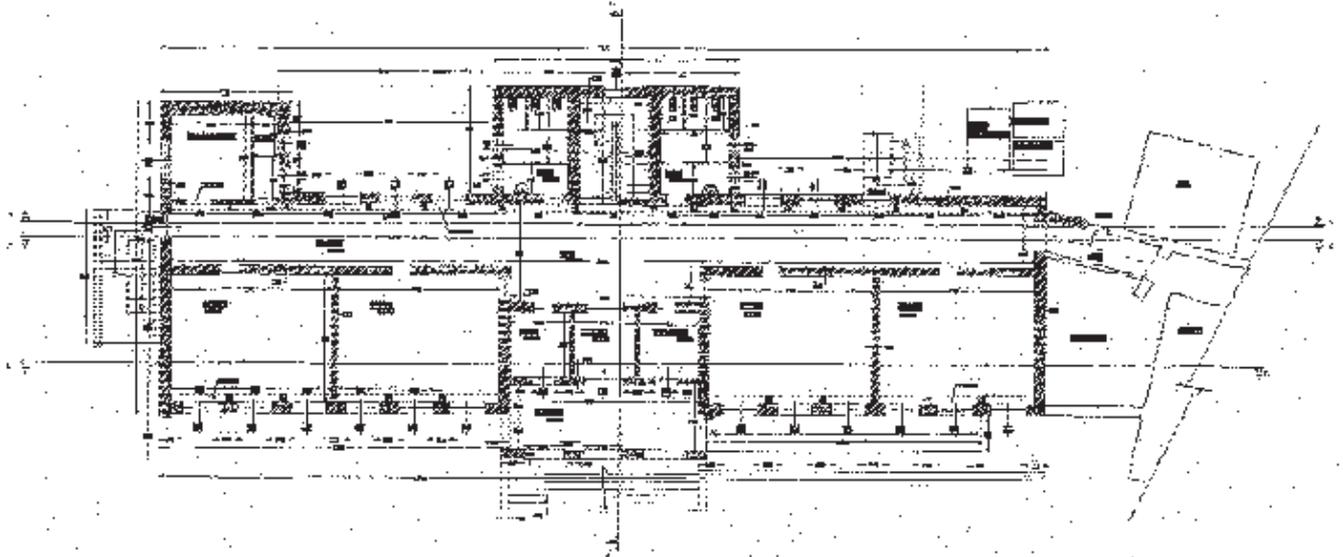
Lo scrivente Ing. Enrico Mariotti è stato incaricato dall'amministrazione comunale di Petriolo di redigere il progetto esecutivo per la messa in sicurezza della Scuola Elementare comunale "G. GINOBILI" finanziata con la legge 289 del 27/12/2002.

2. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

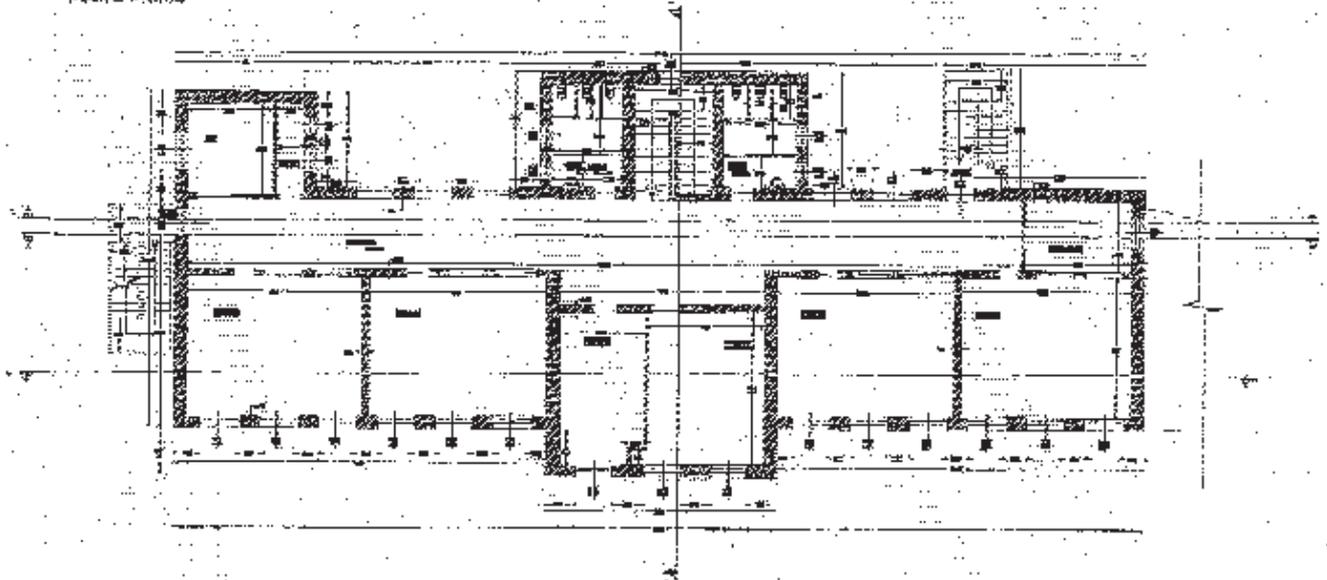
L'edificio si presenta come una struttura compatta, regolare in alzata ma non regolare in pianta. Il corpo centrale, dove sono posizionate le scale principali e le stanze di servizio (bagni, aula bidelli, disimpegno ecc.), risulta aggettante rispetto alle ali ad est e ad ovest. Nella parte ovest si rileva un altro elemento di irregolarità dove erano state posizionate l'aula professori e i bagni di servizio. L'edificio è costituito da un piano seminterrato, dove si trova la cucina e la mensa, dal piano terra e dal piano primo con le aule, laboratori e servizi. Qui di seguito si riporta la planimetria dei tre livelli:

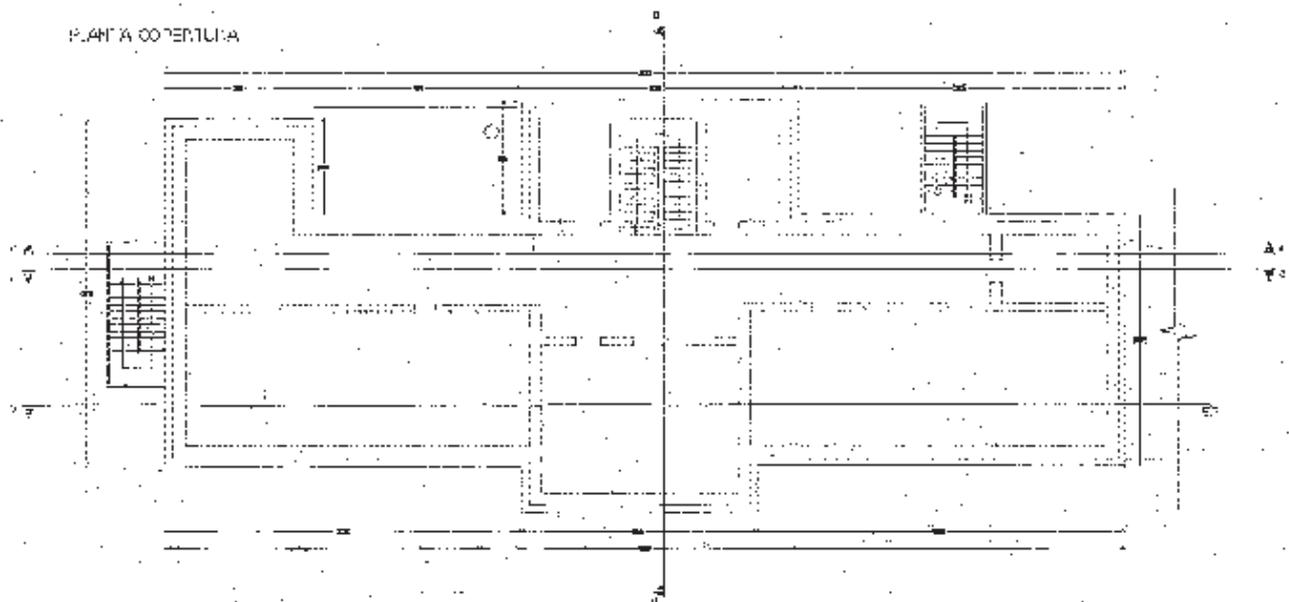


PIANO TERRA



PIANO PRIMO





INFORMAZIONI STORICHE DELL'EDIFICIO

A seguito della ricerca storiografica sull'edificio in oggetto, siamo entrati in possesso dei 2 progetti eseguiti prima della costruzione dell'opera, il primo dal Geom. Vallonica (1928), l'altro dall'Ing. Antinori (1934). Non è stato possibile trovare nell'Archivio Comunale i successivi progetti di variante o di ristrutturazione che sicuramente hanno caratterizzato la storia dell'edificio.

Dalla ricerca effettuata al Genio Civile della provincia di Macerata è stato rinvenuto il progetto di ristrutturazione, eseguito nel 1992 dall'Ing. Repupilli, riguardante la ristrutturazione della copertura in laterocemento sostituita da una copertura in acciaio.

Dall'analisi della struttura è emerso almeno un altro intervento, di cui non siamo riusciti a trovare alcun documento, che ha visto l'introduzione di un telaio in calcestruzzo nei piani seminterrato e terra.

ANALISI DELLA STRUTTURA E INTERVENTI NEL TEMPO

Originariamente la struttura dell'edificio era in muratura portante con mattoni pieni e solai in laterocemento, orditi in senso perpendicolare al lato lungo dell'edificio e poggiante sui tre setti principali, i due esterni e il muro interno di spina. Un successivo intervento di ristrutturazione ha modificato in maniera profonda l'assetto strutturale dell'opera, introducendo al piano seminterrato e al piano terra, accanto al muro portante perimetrale, un telaio in cemento armato. A seguito di

questo intervento i solai sono venuti a caricare non più il muro portante perimetrale, ma il telaio in cls, mentre il muro di spina ha mantenuto la sua funzione portante.

PIANO SEMINTERRATO



LEGENDA	
STRUTTURA ESISTENTE IN MATTONI E CEMENTO	STRUTTURA IN CLS
STRUTTURA IN CLS	STRUTTURA IN CLS
STRUTTURA IN CLS	STRUTTURA IN CLS

PIANO TERRA

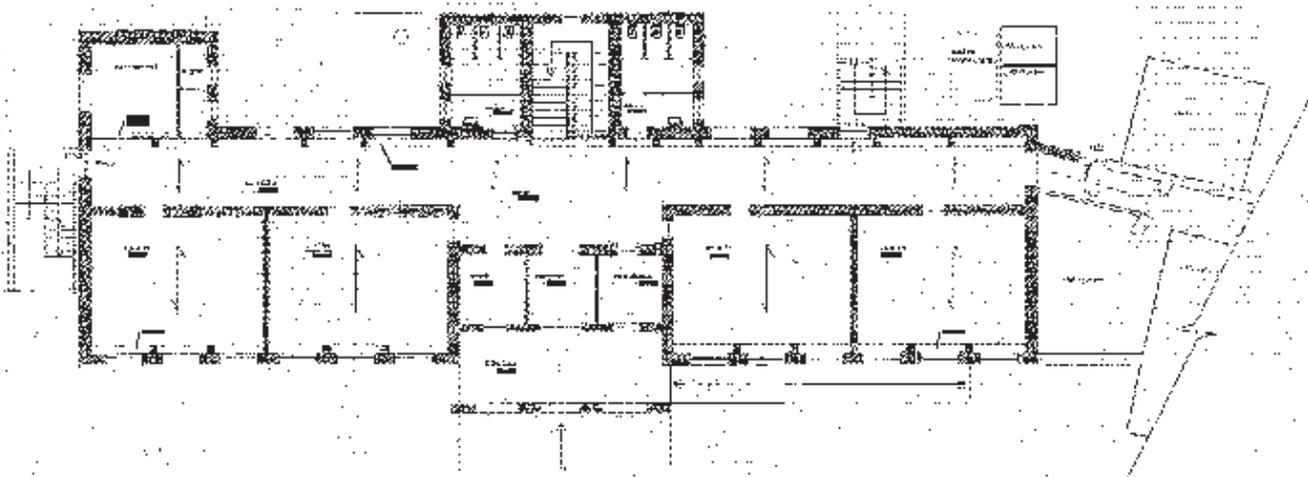


Figura 1

Plante con evidenziata (in magenta) la successiva struttura in cls

Anche il recente intervento¹ nel solaio di copertura ha modificato l'assetto statico dell'edificio. Esso infatti da visto la demolizione del vecchio solaio in laterocemento e l'introduzione di capriate reticolari poggianti in un'unica campata alle pareti perimetrali, su un cordolo di calcestruzzo armato che corre lungo tutto il perimetro dell'edificio. Questo nuovo schema di appoggio ha esautorato la funzione del muro di spina che attualmente risulta scaricato nella sua parte terminale (piano primo) e completamente svincolato.

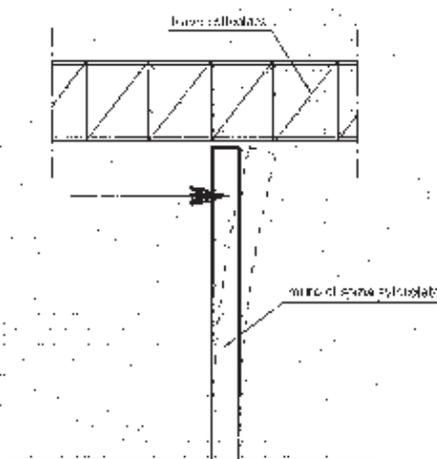
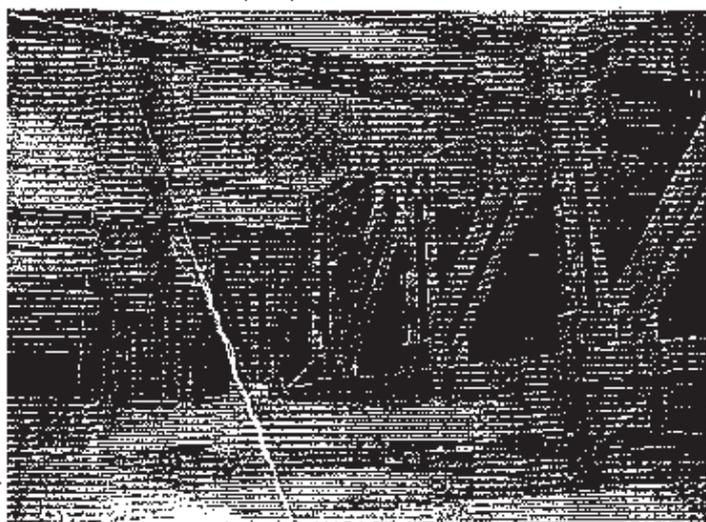


Figura 2-2

Foto del setto tagliato per il passaggio della nuova copertura e schema dello stato attuale

PIANTA COPERTURA

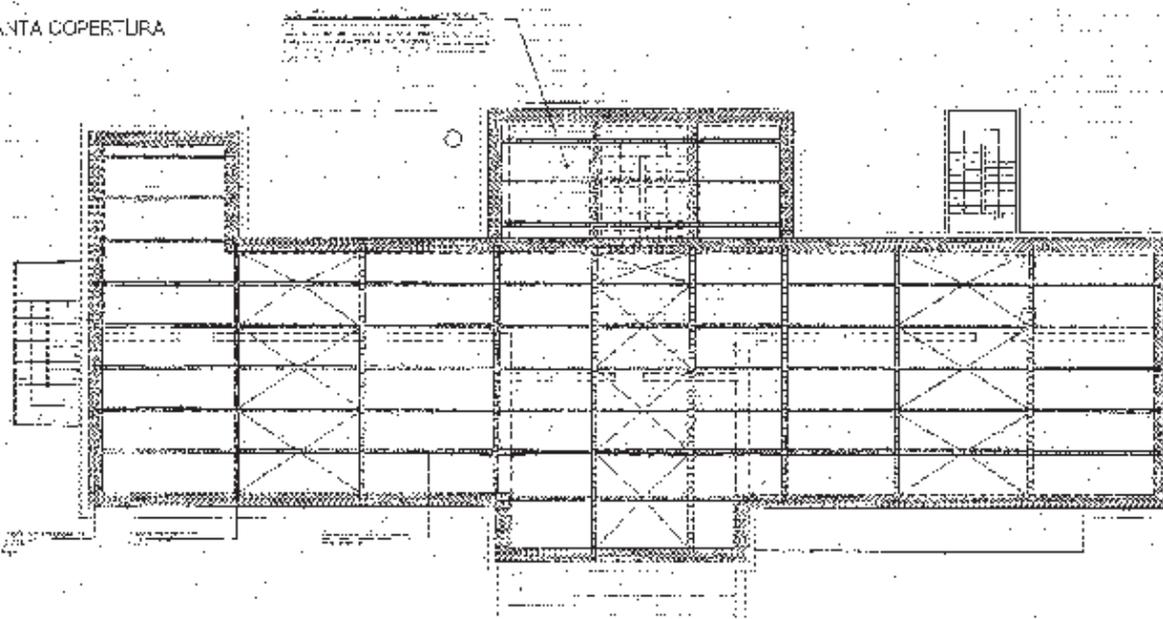


Figura 3

pianta del nuovo intervento in copertura

¹ Intervento di Ristrutturazione Edilizia del 1992.

Altri interventi nel corso degli anni fanno riferimento all'adeguamento dell'edificio alla normativa antincendio con l'esecuzione di 2 scale di sicurezza esterne. Sono entrambe strutture di acciaio indipendenti, e quindi non gravanti sul sistema statico dell'edificio.

STATO DI CONSERVAZIONE DELL'IMMOBILE

L'edificio a seguito di una attenta analisi visiva non presenta alcun tipo di evidenti lesioni o problematiche relative a cedimenti fondali. L'immobile verte in un generale stato di buona conservazione, le uniche problematiche che si evidenziano (nella parte esterna dell'edificio) sono relative all'umidità di risalita, problematica evidentemente già affrontata visto l'intervento di creazione di una controparete in forati eseguita nel piano seminterrato (emersa dai sondaggi conoscitivi). Non c'è alcuna evidenza, dal punto di vista delle lesioni, di problematiche di tipo strutturale.

3. MONITORAGGI ED INDAGINI

L'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 3431 del 03/05/2005 dà molta importanza alla fase conoscitiva dell'edificio per una buona valutazione della sua sicurezza. Questo livello di conoscenza è dato dalle indagini storiche, dalle operazioni di rilievo e dalle indagini sperimentali.

Il sottoscritto nell'ambito del quadro generale di valutazione ha ritenuto opportuno raggiungere un approfondito livello di conoscenza così da poter limitare i successivi interventi di adeguamento. Il grado di conoscenza acquisito è dunque LC3 raggiunto a seguito di esaustive ed estese verifiche in situ per quanto riguarda i dettagli costruttivi, e ad esaustive indagini in situ per quanto riguarda le proprietà dei materiali. Per una più dettagliata esposizione si rimanda alle tavole 5.0 e 5.1.

4. RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

Come già evidenziato in precedenza non sono evidenti cedimenti in fondazione per la struttura in oggetto.

Dall'analisi geologica è emerso un terreno costituito da uno strato colluviale molto compatto e plastico e da una successiva associazione arenaceo pelitica che si presenta compatta, allo stato solido e coesiva, che classifica il terreno come di tipo "B".

Il terreno risulta di stratigrafia omogenea al di sotto delle fondazioni che quindi non presentano particolari problematiche, come è evidente dalla completa assenza di cedimenti.

5. VALUTAZIONI DEL PROFESSIONISTA

I sondaggi e le prove effettuate hanno evidenziato una muratura di mattoni pieni e malta di media qualità, costruiti a ricorsi orizzontali e paralleli e quindi secondo una buona regola dell'arte.

I solai di calpestio del piano terra e del piano primo scaricano sulle travi in calcestruzzo armato che fanno parte del telaio eseguito successivamente all'edificio in muratura. I sondaggi e le prove effettuate sul telaio in calcestruzzo armato hanno evidenziato una buona resistenza del c/s e un'adeguata armatura.

Per la definizione geometrica e dimensionale dei vari setti murari, degli elementi in calcestruzzo armato e per i dettagli costruttivi emersi dal rilievo e dai sondaggi si rimanda alla tavola del rilievo strutturale.

La nuova copertura eseguita nel 1992 ha creato un cordolo in c/s armato che corre per tutto il perimetro dell'edificio dove poggiano le travi reticolari. Il materiale utilizzato in quest'ultimo intervento ha caratteristiche uniformi a quelle di progetto e comprovate dai certificati originali di prova.

La nuova copertura, per quanto non ha gravato la muratura di maggior carico, come emerge dalla relazione strutturale del progetto dell'ing. Repupilli, ha cambiato in maniera importante lo schema statico della copertura, tagliando il muro di spina che risulta oggi completamente scaricato e soprattutto completamente svincolato, perdendo la funzione di irrigidimento della struttura che precedentemente aveva e funzionando sotto spinte sismiche come mensola.

Dalle prove effettuate sul pilastro in muratura del piano seminterrato è emersa una tensione particolarmente alta, molto più alta di quelle rilevate in altri setti murari.

Tutti questi aspetti saranno presi in considerazione nella verifica sismica dell'edificio, per la quale si rimanda alla relazione strutturale. Non sono state previste particolari verifiche in fondazione in considerazione dei dati emersi sia dal rilievo sia dall'analisi geologica.

6. INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

A seguito della verifica effettuata sullo stato attuale si è evidenziato come l'edificio abbia una resistenza molto distante dalle condizioni richieste dalla nuova normativa.

In considerazione di ciò si è scelto di migliorare globalmente la resistenza dell'immobile

- in prima istanza eliminando le lability o carenze specifiche dovute alla costruzione dell'immobile stesso o a seguito di interventi postumi alla costruzione,
- in seconda istanza eliminando le lability o carenze di genere dovute alla tipologia di costruzione
- in ultima istanza progettando i rinforzi per migliorare puntualmente l'edificio nei setti che inducono carenze e non permettono il soddisfacimento della verifica globale.

Questo approccio ha permesso di valutare il miglioramento a step di interventi riducendo i rinforzi che altrimenti sarebbero stati generalizzati su quasi tutti i setti ed ha permesso un contenimento effettivo della spesa.

Gli interventi iniziali sono stati le chiusure e/o cerchiature di alcune porte e finestre, i successivi sono stati quelli di spessoramento di alcuni setti trasversali.

L'ulteriore intervento di aumento della massa muraria e quello sicuramente più evidente ma che dato il maggior grado di miglioramento è stato il tamponamento con muratura portante cielo terra di quattro finestre presenti nel prospetto sud.

La scelta di chiusura di alcune finestre su detta parete è stata dettata da condizioni strutturali di evidente lability di tutta la parete sud.

La scelta poi delle specifiche finestre chiuse è stata dettata da osservazioni o valutazioni di carattere architettonico al fine di mantenere una decorosa immagine dell'edificio.

E' stato inoltre verificata la condizione di normativa sui limiti della superficie finestrata per la singola aula (1/8 della superficie della stanza).

In alternativa alla chiusura si sarebbe potuto optare per un intervento diffuso su tutto l'immobile di miglioramento di tutti i setti ma lasciando in evidente crisi la parete sud che comunque non sarebbe stata esente da problemi di carenza specifica locale.

Altro notevole intervento, pur se totalmente interno, è quello che si è reso necessario per ripristinare il contributo alla azione orizzontale del muro longitudinale centrale posto al piano primo attualmente totalmente scarico e scollegato dalla copertura.

I lavori di ristrutturazione eseguiti nel '92 hanno portato al taglio del muro di spina che risulta attualmente una mensola.

L'intervento previsto in progetto consiste dell'esecuzione di un cordolo in cls armato in sommità, collegato alle pareti perimetrali tramite iniezioni con resina epossidica armate con barre inox filettate Ø12, e collegato alle travi reticolari in acciaio di copertura tramite piastre che fungono da pattino tra trave e parete, permettendo così la traslazione verticale della copertura (che attualmente non poggia su detto muro) ed impedendo invece la traslazione orizzontale, collaborando quindi con la struttura dell'edificio in caso di azioni sismiche.

Sullo stesso muro inoltre, essendo stato traforato con aperture varie di finestre alte, pressoché inutili visto la notevole illuminazione, sono stati previsti interventi per ripristinare la continuità del pannello murario con la chiusura dei vuoti.

MATERIALE SCELTO PER IL RINFORZO STRUTTURALE

L'intervento di rinforzo strutturale, oltre a dover rispondere delle necessarie prestazioni di resistenza, doveva anche garantire uno spessore limitato di intervento, in quanto si andava ad intervenire nella facciata e per tutta la sua altezza con evidente interferenza con il resto dei setti murari dove non era previsto il rinforzo.

L'intonaco armato, per quanto rispondente alle caratteristiche meccaniche necessarie per la nostra verifica allo stato modificato, risultava completamente inefficace dal punto di vista architettonico generando spessoramenti dell'ordine di cm 5 almeno per lato di muro.

Inoltre l'efficacia dell'intonaco armato e quindi della cerchiatura si sarebbe tutta concentrata sulla efficacia dei collegamenti tra facce opposte.

Si è optato per l'utilizzo di rinforzo con fibre di carbonio con malta cementizia.

Un intervento con questa metodologia, per quanto più dispendiosa economicamente rispetto all'intonaco armato, permette comunque una economia globale essendo l'intervento concentrato su pochi setti e quindi non divenendo necessario l'intervento di spessoramento dell'intonaco sul resto dell'immobile perlomeno su tutte le facciate esterne.

Per l'iscrizione delle fibre di carbonio nel calcolo allo stato modificato e per la verifica quindi delle sue prestazioni in confronto all'intonaco armato, ci siamo basati su dati sperimentali eseguiti dall'università di Bologna su murature in mattoni, (i cui risultati alleghiamo alla presente relazione). I risultati evidenziano come il rinforzo su una muratura in mattoni con uno strato di fibra posizionato unilateralmente (lungo una sola faccia della muratura), aumenta le caratteristiche di resistenza della muratura stessa di un 50%, la stessa percentuale data dalla normativa per l'utilizzo dell'intonaco armato. Altre prove hanno evidenziato che l'utilizzo di un doppio strato di fibra posizionato unilateralmente aumenta la resistenza del 170 %, mentre per un doppio strato posizionato bilateralmente si arriva ad un aumento del 250 %.

Il nostro intervento prevede l'utilizzo di un solo strato di fibra posizionato a mo' di cerchiatura del sotto. La resistenza di questo tipo di intervento non è stata ricavata sperimentalmente ma si porrà senza ombra di dubbio tra un aumento del 50 e del 170 %. Nel nostro calcolo allo stato modificato abbiamo considerato un aumento del 50 %, tenendoci perciò in una situazione a vantaggio di sicurezza.

È importante sottolineare inoltre come il materiale scelto sia accoppiato, non a caso, non al solito sistema di fissaggio cpossidico e non traspirante, ma ad una malta che moltiplica notevolmente la capacità traspirante del sistema di rinforzo, si passa infatti dai 2.14 g/mq per 24 h della prima, agli 84 g/mq per 24 ore della seconda. Questa scelta è basata sulla necessità e sulla volontà di perseguire, in un ambiente come quello di una scuola, il massimo livello di confort igrometrico.

Per le certificazioni e gli studi sulla fibra di carbonio si rimanda ai seguenti allegati.

A1



Sezione ed Ufficio di Belle Arti
 Palazzo d'Arte (Art. 46 art. 11)
 Piazza D'Arte 26.10.72 N. 442
 e-mail: arte@unibo.it

DISTANT
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE, DEI TRASPORTI
 DELLE ACQUE, DEL PAESAGGIO, DEL TERRITORIO
 LABORATORIO Sperimentale PER LA RESISTENZA DEI MATERIALI

Bologna, 10 aprile 2002

CERTIFICATO n. 14/02/1
 Registrazione n. 242
 del 1-7-99R.2002

Spett.le Ditta
RUREDIL S.p.A.
 Via Bruno Buozzi, 1
 20097 San Donato Milanese (MI)

CERTIFICATO

delle prove di compressione diagonale su n. 9 muretti di mattoni pieni in laterizio richieste con domanda in data 1 ottobre 2001.

I muretti, di dimensioni nominali e con ordinari dai mattoni riportate in Figura 1, sono stati confezionati in diversi giorni del mese di ottobre 2001 presso il Laboratorio Resistenza dei Materiali di personale della Committente.

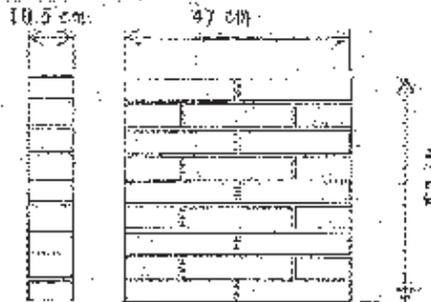


Figura 1

Dei muretti confezionati a parte n. 2 nel seguito designati P1 e P2, sugli altri è stato riportato un rivestimento di malta denominato "malta inorganica stabilizzata Ruredil X Mesh M25" e una "rete in fibra di carbonio Ruredil X Mesh C10" secondo le seguenti configurazioni:

- a) per n. 2, nel seguito designati P3 e P4, il rivestimento è stato applicato su una faccia del muretto "con rete disposta a 0°/90°";
- b) per n. 2, nel seguito designati P5 e P6, il rivestimento è stato applicato su una faccia del muretto con "due reti disposte rispettivamente a 0°/90° e +45°/-45°";
- c) per n. 5 infine, nel seguito designati P7, P8 e P9, il rivestimento del punto precedente b) è stato applicato ad entrambe le facce del muretto.

1/8



Con la malta impiegata per il rivestimento sono stati confezionati provini prismatici, di dimensioni nominali $40 \times 40 \times 15$ cm, per la determinazione dei valori di resistenza a flessione R_f e a compressione R_c in conformità alle modalità indicate dalla norma UNI EN 196/1. I valori sperimentali sono raccolti nelle tabelle 1a e 1b.

Tabella 1a

Età di maturazione	Provino 1 R_f MPa	Provino 2 R_f MPa	Provino 3 R_f MPa	Media R_f MPa
15	7.81	6.67	6.78	7.09
30	7.54	7.56	7.45	7.52

Tabella 1b

Età di maturazione	Provino 1		Provino 2		Provino 3		Media R_c MPa
	R_c MPa	R_c MPa	R_c MPa	R_c MPa	R_c MPa	R_c MPa	
15	31.87	32.73	35.86	36.41	33.63	33.59	34.02
30	35.66	37.94	36.96	37.39	39.72	40.27	37.89

I murati sono stati sottoposti a prova di compressione diagonale secondo lo schema statico di Figura 2.

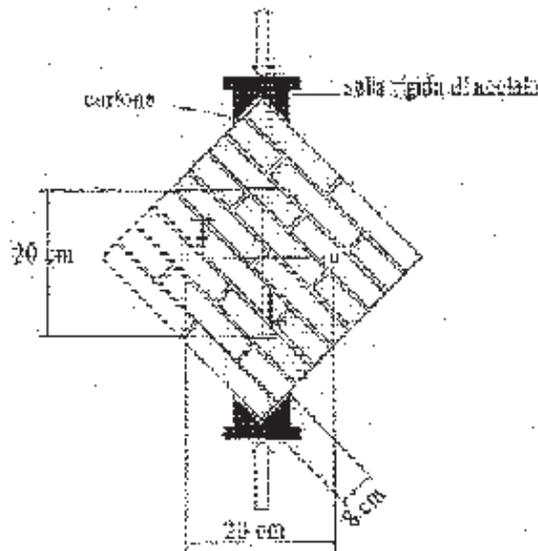


Figura 2



La risposta strutturale dei muretti è stata rilevata attraverso la misura, mediante trasduttori LVDT, della variazione di lunghezza di due basi di lunghezza iniziale 20 cm disposte rispettivamente in direzione orizzontale (T) e verticale (L). Tali determinazioni sono state eseguite su entrambe le facce di ogni muretto.

Da Figura 3 a Figura 11 sono riportati i diagrammi sperimentali "Carico P - Variazione di lunghezza" ottenuti.

Nella tabella 2 è indicato il valore del carico massimo raggiunto da ogni campione.

Tabella 2

Campione	P KN
P1	67
P2	35
P3	47
P4	62
P5	100
P6	88
P7	139
P8	133
P9	120



Prove di compressione diagonale
Muretta P1

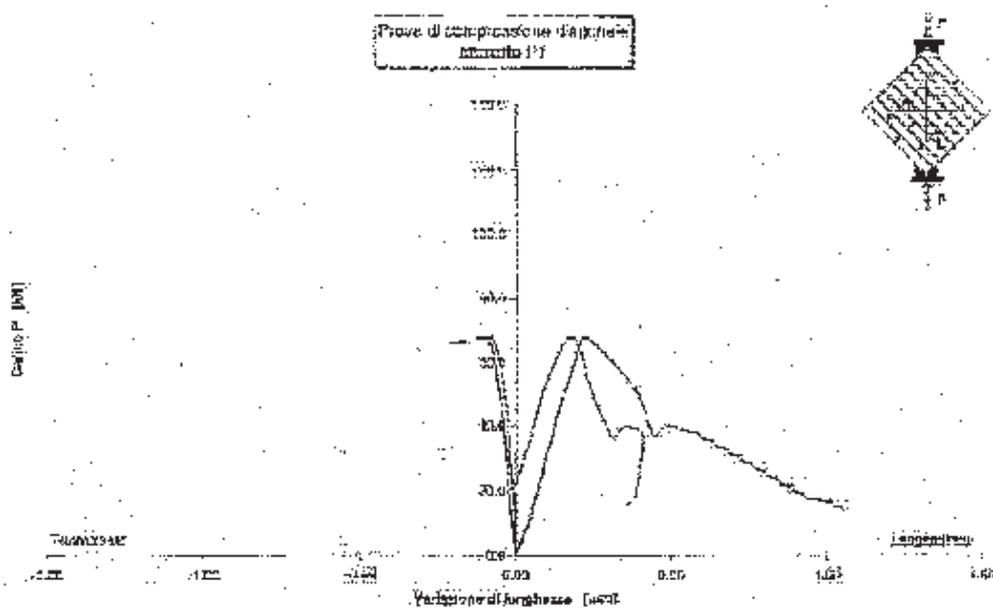


Figura 3

Prove di compressione diagonale
Muretta P2

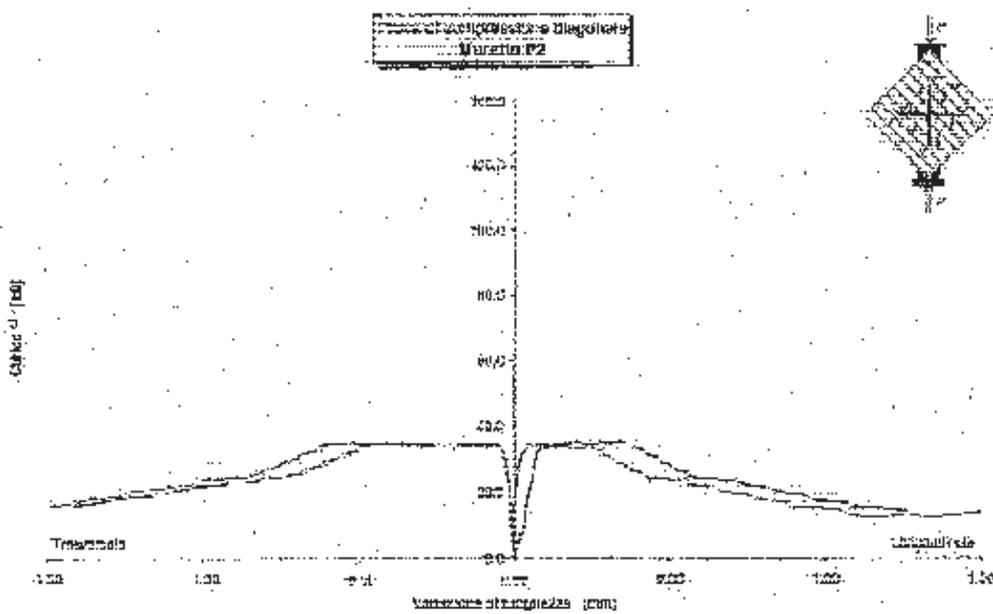


Figura 4



Plano de Compressão Diagonal
Materia PP

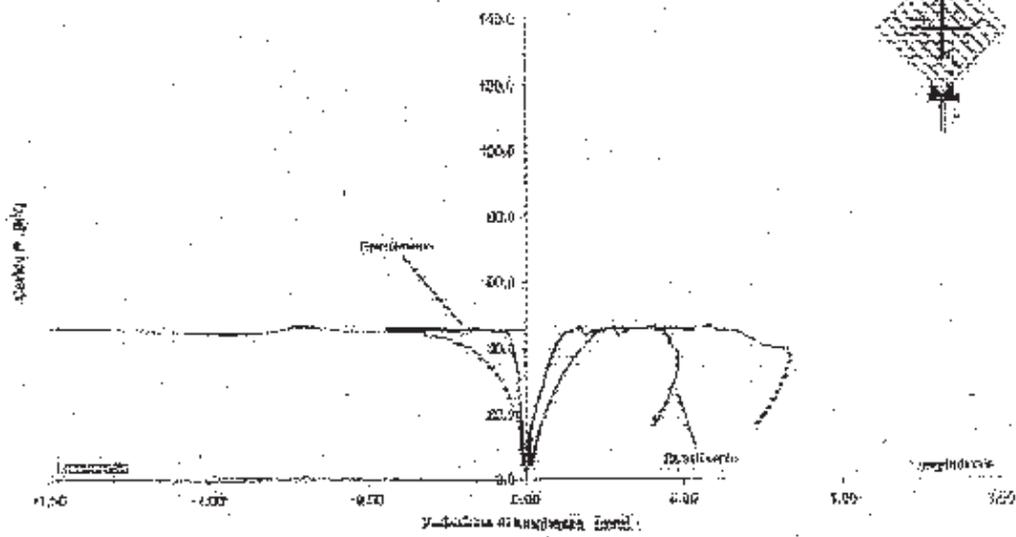


Figura 5

Plano de Compressão Diagonal
Materia PE

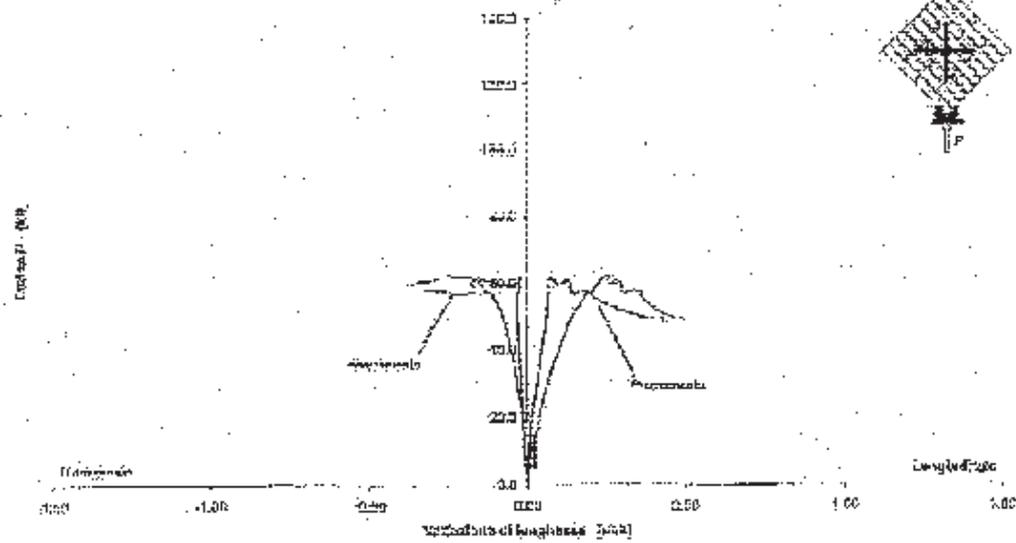


Figura 6



Prova di compressione diagonale
Muroso P4

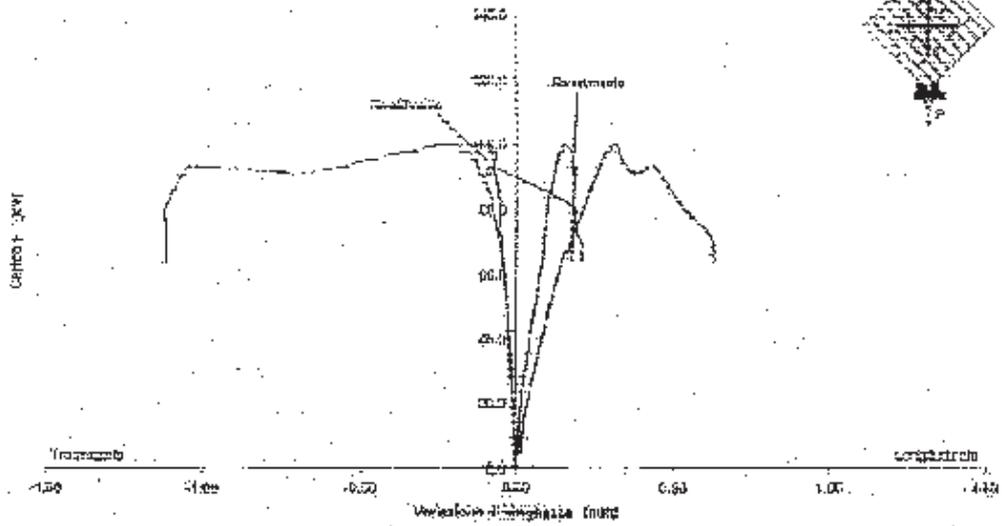


Figura 7

Prova di compressione diagonale
Muroso P4

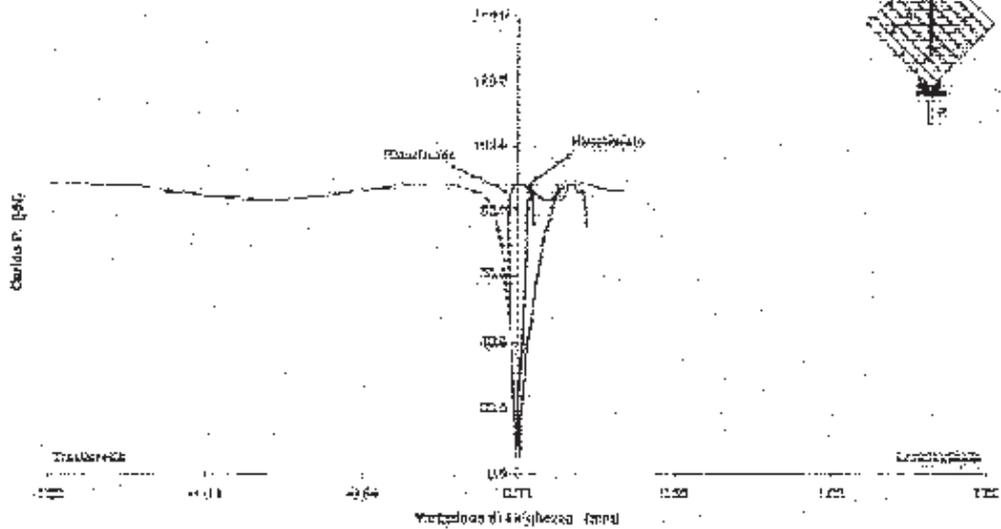


Figura 8



Prova di trazione diagonale
Materiale P7

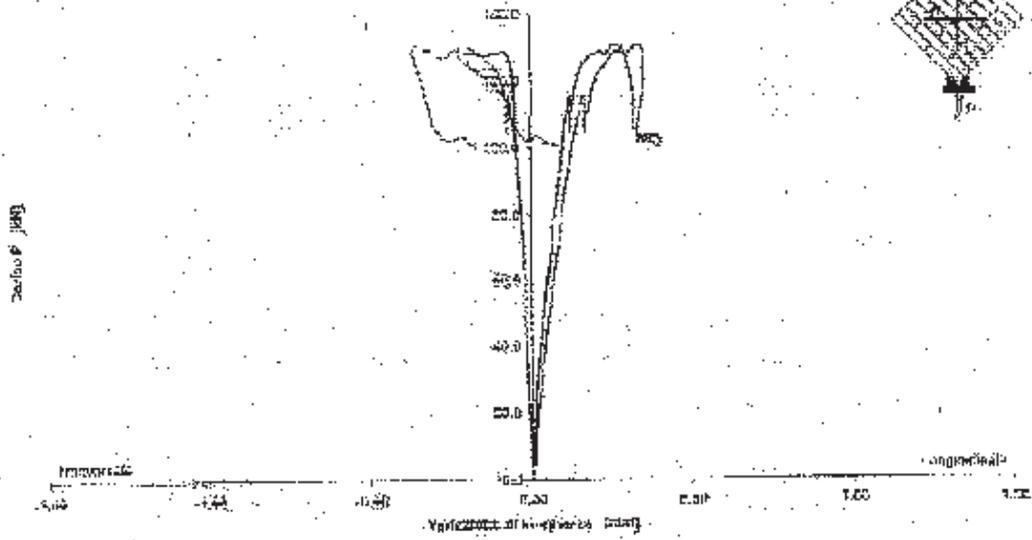


Figura 9

Prova di compressione diagonale
Materiale P8

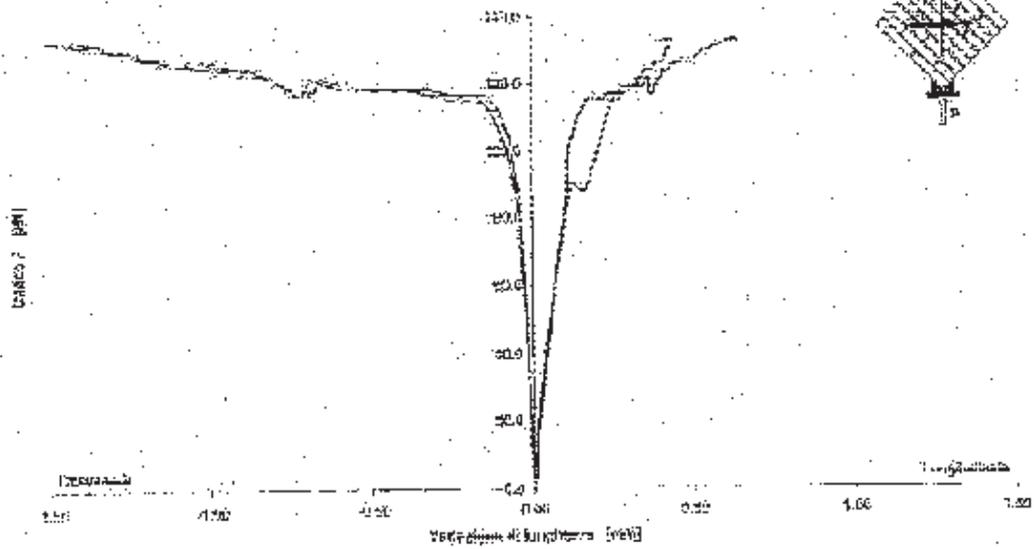


Figura 10



Prova di compressione diagonale
Materiale 89

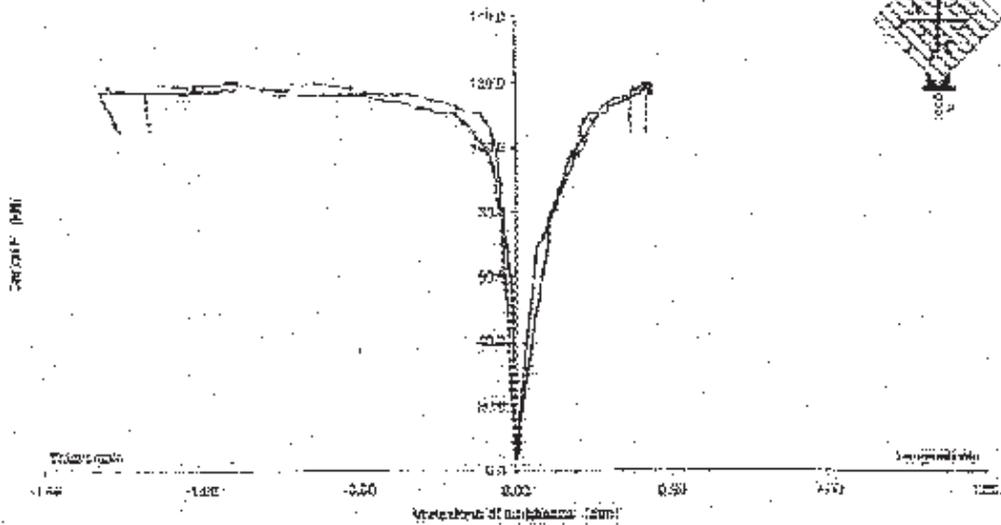


Figura H

Tutto il programma sperimentale sopra descritto è stato eseguito attenendosi alle modalità indicate dalla Committente. All'atto delle determinazioni sperimentali ha presenziato personale della Committente.

Lo Sperimentatore
E. L. Roberto Carli

Roberto Carli

Per il Coordinatore del Laboratorio
Prof. Ing. Antonio Di Leo

Antonio Di Leo

Il Direttore del Dipartimento
Prof. Ing. Marco Unguendoli

Marco Unguendoli



PREMESSA

Il presente studio tratta dell'impiego di un sistema brevettato, a base composito strutturale fibroso in matrice cementizia (FRCM - Fiber Reinforced Cementitious Matrix), che introduce un'innovazione mondiale nel campo dei sistemi di rinforzo strutturale denominati FRP.

Il nuovo sistema di rinforzo strutturale FRCM, a differenza degli FRP, impiega una matrice inorganica che miscelata con acqua risulta perfettamente compatibile sotto il profilo chimico, fisico e meccanico con il supporto, con particolare riferimento alle murature.

Il rinforzo FRCM presenta notevoli vantaggi rispetto ai tradizionali FRP:

- *Resistenza al fuoco identica a quella del supporto (calcestruzzo o muratura)*
I sistemi FRP perdono le loro proprietà strutturali durante un incendio a causa della scarsa resistenza al calore delle resine utilizzate per rendere solida la fibra o il tessuto alla struttura. È noto infatti che le resine (poliestere ed epossidiche) perdono le loro caratteristiche strutturali a temperature comprese tra 80 e 150°C.
- *Permeabilità comparabile al supporto murario*
Il sistema FRCM permette i normali scambi termigrometrici con l'esterno, mentre una resina epossidica che, per definizione è un polimero a pori chiusi, elimina tale possibilità. Questo significa che l'umidità presente nelle murature non potrà liberamente fuoriuscire e migrare verso l'esterno.
- *Applicabilità su supporti umidi, essendo a base inorganica*
I sistemi FRP, invece, possono essere applicati solo se il supporto è privo d'umidità. In quanto le resine (poliestere ed epossidiche) non catalizzano in presenza di acqua.
- *Facilità di applicazione anche su superfici scabre ed irregolari e di manipolazione.*
La stesura dello strato di malta inorganica, colma le irregolarità della superficie (considerati gli spessori del sistema) senza necessità di rasatura come nelle applicazioni con FRP.

INDAGINE SPERIMENTALE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM

Una serie di prove sperimentali su campioni di dimensioni limitate sollecitati a compressione diagonale sono state condotte presso il LaRM di Bologna. La condizione di carico riprodotta sperimentalmente ricalca la sollecitazione presente in un pannello murario reale sollecitato da azioni verticali e da una forza orizzontale, agenti simultaneamente.

L'obiettivo della ricerca è di verificare l'efficacia di tale tecnologia per il rinforzo a taglio delle murature portanti e di tamponamento di edifici, siti in aree a rischio sismico. La filosofia del progetto di rinforzo strutturale con materiali innovativi ricalca in parte quanto fatto in passato con tecniche tradizionali. La realizzazione di una rifoderia in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata viene sostituita da uno strato di circa 1 cm di malta inorganica in cui viene annegata una rete in fibra di carbonio con alte prestazioni meccaniche, realizzando un composito strutturale speciale (FRCM). La tecnologia proposta è simile a quella tradizionale per la presenza della malta e per la modalità di applicazione, mentre risulta innovativa per quanto concerne il rinforzo di natura fibrosa.

SET UP DI PROVA

La prova a compressione diagonale su pannelli in muratura è descritta nella norma ASTM E519-74 [1]. Dato che lo scopo principale dell'indagine sperimentale era quello di verificare l'efficienza della tipologia di rinforzo proposta, le dimensioni dei pannelli sono state ridotte di 1/3,

rispetto a quelle indicate nella norma. I pannelli hanno una dimensione media di 46.75 cm del lato ed uno spessore di 10.5 cm, con giunti di malta di spessore pari a 1 cm, apparecchiando i mattoni di laterizio di dimensioni 225x105x45 mm. La dimensione contenuta del pannello rispetto alle prescrizioni normative ASTM E519-74 non inficiano i risultati delle prove, consentendo di realizzare un numero più significativo di prove sperimentali.

La tipologia di prova adottata, definita di "compressione diagonale", induce uno stato di tensione bi-assiale "uniforme" solamente nella regione centrale del pannello, mentre lo stato di tensione nelle rimanenti zone è complesso. Si è adottato lo schema sopra indicato in quanto lo scopo è quello di valutare lo sforzo di taglio critico τ_c ed i meccanismi di crisi, ovvero l'interazione tra supporto in muratura e rinforzo in malta inorganica fibrorinforzata.

CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

La muratura è stata caratterizzata meccanicamente attraverso una prova di compressione su 3 prismi di dimensioni medie 98x100x184 mm. Dalle prove è stato definito il valore medio del modulo elastico della muratura pari a 5418 N/mm² e la tensione media di compressione a rottura pari a 28.57 N/mm².

σ_t a flessione [N/mm ²]				
MM	P1	P2	P3	Media
15 gg.	5.63	5.86	4.71	5.40
28 gg.	5.59	5.38	5.59	5.52
σ_c a compressione [N/mm ²]				
MM	P1	P2	P3	Media
15 gg.	21.76	21.08	22.62	22.30
	22.43	22.68	23.23	
28 gg.	26.60	26.17	25.68	25.92
	25.74	25.01	26.29	

MM malta della muratura

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche della malta d'allettamento.

La caratterizzazione delle malte è stata eseguita secondo la normativa italiana [2] su campioni di dimensioni 40x40 x160 mm, di cui tre campioni per tipo di malta sono stati testati a 15gg ed i rimanenti a 28 gg. I dati di resistenza a trazione per flessione e compressione della malta d'allettamento della muratura sono indicati in tabella 1.

X MESH C10	
Peso della rete	[g/m ²] 214
Peso della fibra di carbonio nella rete	[g/m ²] 168
Spessore per il calcolo della sezione di carbonio a 0° e 90°	[mm] 0,047
Carico di rottura riferito ad una larghezza unitaria di 1 cm in direzione 0° e 90	[Kg/cm] > 160
X MESH M 25	
σ_t a flessione [N/mm ²]	
MR	P1 P2 P3 Media
15 gg.	7.81 6.67 6.78 7.09
28 gg.	7.54 7.56 7.45 7.52
σ_c a compressione [N/mm ²]	
MR	P1 P2 P3 Media
15 gg.	31.87 35.86 33.65 34.02
	32.73 36.41 33.59
28 gg.	35.06 36.96 39.72 37.89
	37.94 37.39 40.27

Tabella 2. Caratteristiche del composito FRCM

Il composito strutturale FRCM è costituito da:

- X MESH C10, rete formata da fasce di filamenti in fibra di carbonio disposti a 0°/90° con interasse inferiore ad 10 mm.
- X MESH M25, matrice inorganica stabilizzata, che miscelata con acqua si trasforma in un materiale che lega le fibre della rete di rinforzo tra loro e al supporto.

Le caratteristiche del composito FRCM sono riportate in tabella 2.

La caratterizzazione del nuovo composito strutturale FRCM ha interessato, inoltre, la

PERMEABILITA' AL VAPOR D'ACQUA ΔM (g/m ² x 24 h) media 5 provini	
X MESH M25 + X MESH C10	84,0
RESINA EPOSSIDICA + RETE IN FIBRA DI CARBONIO	2,14

Tabella 3. Permeabilità al vapor d'acqua del composito FRCM

determinazione del valore di permeabilità al vapore d'acqua (NORMAL 21-85) in comparazione al tradizionale FRP, realizzato con resina epossidica e rete in carbonio (vedi tabella 3). Il nuovo sistema FRCM ha una permeabilità al vapor d'acqua di circa 40 volte superiore ai tradizionali FRP.

CONFIGURAZIONE DELLA PROVA

La prova a taglio è stata condotta su 11 campioni. Due campioni (PM1 ed PM2) sono stati testati privi di rinforzo, quali termini di confronto e riferimento per i successivi 9 campioni rinforzati (da PM3 a PM11). Il rinforzo si differenzia in:

- placcaggio con sola matrice inorganica (X MESH M 25) su un lato del pannello;
- placcaggio con singolo strato di rinforzo FRCM disposto a 0°/90° su un lato del pannello (US);
- placcaggio con doppio strato di rinforzo FRCM disposto a 0°/90° e ± 45° su un lato del pannello (UD);
- placcaggio con doppio strato di rinforzo FRCM disposto a 0°/90° e ± 45° su ambo i lati del pannello (BD);

Il carico è stato applicato attraverso due scarpe metalliche; inoltre, per evitare lo schiacciamento degli spigoli del pannello, sono stati interposti dei fogli di cartone sufficientemente rigidi tra le piastre metalliche e la superficie caricata del pannello, così da ripartire uniformemente il carico impresso dalla pressa dotata di snodo sferico in sommità.

Due trasduttori di spostamento (LVDT) per ambo le superfici sono stati disposti lungo le diagonali. Il trasduttore lungo la diagonale compressa ha una uno spostamento massimo di ± 25 mm, mentre quello lungo la diagonale tesa di ± 5 mm; in entrambi la base di misura è di 200 mm. L'acquisizione di dati relativi ai trasduttori di spostamento avviene in simultanea con l'acquisizione del carico applicato.

RISULTATI SPERIMENTALI

Nella campagna sperimentale la modalità di crisi dei campioni rinforzati differisce da quella che si è manifestata nei pannelli di controllo. In questi ultimi si sono individuate le seguenti modalità di crisi. Il primo pannello (PM1) ha manifestato una fessura lungo la diagonale compressa che coinvolge sia il giunto di malta all'interfaccia sia il blocco di laterizio in corrispondenza del carico massimo di 35 kN, mentre il secondo pannello (PM2) ha manifestato la crisi per scorrimento lungo il giunto di malta orizzontale superiore ad un carico di 70 kN (Fig. 1). L'entità del carico massimo differisce tra i due campioni del 100%.



Figura 1. Quadro fessurativo nel pannello di controllo (PM2).

È necessario precisare che la prima prova (PM1) è stata svolta con un gradiente di carico più elevato che nella seconda prova (PM2). Questo ha giocato un ruolo determinante sulla modalità di crisi del campione PM1 e sul valore del carico massimo registrato. La seconda prova ha un gradiente di carico più basso ma tale da evidenziare l'evoluzione del danno. Nel seguito le prove sui campioni rinforzati sono state svolte con il medesimo gradiente di carico. Il campione PM2 è preso quale riferimento per i campioni rinforzati.

Due dei campioni predisposti al rinforzo sono stati placcati su uno solo dei lati con la malta di allettamento della rete, senza inserire quest'ultima (PM3; PM4). La crisi di entrambi i campioni si è manifestata con lo sviluppo di un'unica fessura diagonale per tensioni di trazione limite sulle giaciture con traccia parallela alla diagonale compressa, al centro della parete.

L'applicazione della malta inorganica ha modificato il meccanismo di crisi, impedendo lo scorrimento lungo il giunto di malta orizzontale, incrementando di conseguenza il carico massimo che ha raggiunto un valore medio di 48,70 kN.

Nei campioni PM5 e PM6 il rinforzo è stato predisposto in un unico strato con la rete orientata a $0^\circ/90^\circ$ rispetto all'orditura dei pannelli.

Il meccanismo di crisi in questi pannelli è simile a quello rilevato nei campioni PM3, PM4. In seguito al rinforzo il quadro fessurativo interessa una maggiore compagine del pannello: la fessura diagonale è accompagnata da microfessurazioni dei blocchi di laterizio (PM5) o da una seconda fessura diagonale parallela che coinvolge giunti di malta e blocchi (PM6). In entrambi i casi si sono rilevate delle microfessure sul lato del placcaggio, che nel campione PM6 rispecchiano il percorso seguito dalle fessure sulla faccia non rinforzata. Il carico massimo medio registra un aumento sino al valore di 54,15 kN. È necessario osservare che le fibre hanno un orientamento non ottimale nella presente configurazione, in quanto non disposte lungo la direzione di trazione principale (diagonale tesa).

Nei campioni PM7 ed PM8 la configurazione del rinforzo ha previsto l'applicazione di due strati di rete: il primo a $0^\circ/90^\circ$ ed il secondo a $\pm 45^\circ$, con interposizione di uno strato di malta inorganica che funge da rifinitura della prima rete e piano di allettamento della seconda. Il secondo strato di rete consente di assorbire interamente le tensioni di trazione che si sviluppano lungo la diagonale compressa.

Il meccanismo di crisi è uguale per i due campioni, in quanto la fessura segue lo stesso percorso. Il carico massimo si incrementa sino al valore medio di 94,20 kN. La capacità portante del pannello è più che raddoppiata per effetto del rinforzo che fornisce una riserva di resistenza a trazione alla muratura, ovvero di resistenza a taglio.

Una terna di campioni (PM9; PM10; PM11) sono successivamente stati rinforzati con doppio strato di rete a $0^\circ/90^\circ$ e $\pm 45^\circ$, al fine di verificare l'efficacia del rinforzo qualora sia possibile applicare il placcaggio su entrambe le superfici del pannello murario.

Il meccanismo di crisi per i tre pannelli murari è uguale (Fig. 2-3).

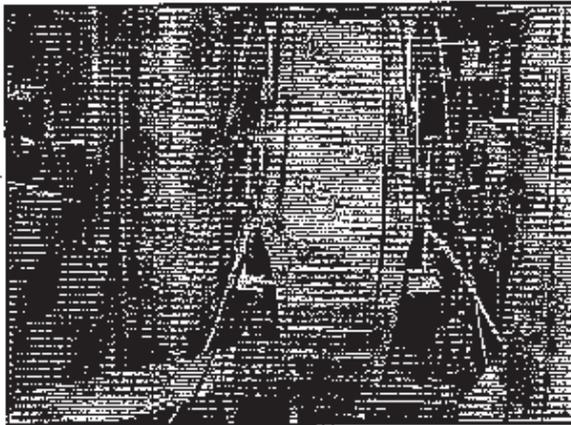


Figura 2. Distacco del rinforzo dal pannello di muratura (PM9).

diagonale, fino al quasi completo distacco del placcaggio. Il meccanismo coinvolge ambo le superfici in modo simmetrico. Il valore medio del carico massimo è pari a 127.93 kN.



Figura 3. Particolare del quadro di danno evidenziatosi sotto il rinforzo.

campioni rinforzati su una sola delle due superfici. L'avvicinamento degli estremi liberi del pannello lungo la diagonale tesa è dovuta alla asimmetria generata dal rinforzo applicato su una sola delle due superfici. Il fenomeno è in fase di studio.

Con l'incrementarsi del carico, il rinforzo viene interessato da una quota parte del carico che si traduce in sollecitazione di trazione lungo le fibre della rete; il comportamento del pannello risulta elastico-lineare sino ad un valore del carico per cui si innesca il meccanismo di crisi. Questo ha avvio all'interfaccia tra placcaggio e superficie del pannello: delle micro lesioni si possono osservare lungo il perimetro del pannello a partire dal punto di applicazione del carico. In alcuni punti le fessure proseguono nello spessore del pannello, in corrispondenza del blocco di laterizio. La fessura progredisce nella sua estensione verso il centro del pannello, con l'incrementarsi del carico di compressione

I valori dati registrati durante le prove hanno consentito di tracciare i diagrammi P - Δl (Fig. 4-5) per ogni campione, considerando ambo le superfici dei pannelli (senza placcaggio e con il placcaggio). Ad eccezione dei campioni PM10 ed PM11, il lato frontale, ovvero quello placcato con la rete immersa nella malta inorganica, risulta manifestare un minore tasso di deformazione a compressione, mentre a trazione la variazione di lunghezza è analoga tra le due superfici. Questa differenza di comportamento tra le due superfici è in parte imputabile ad una lieve inflessione del pannello fuori dal proprio piano, che è stata registrata nei

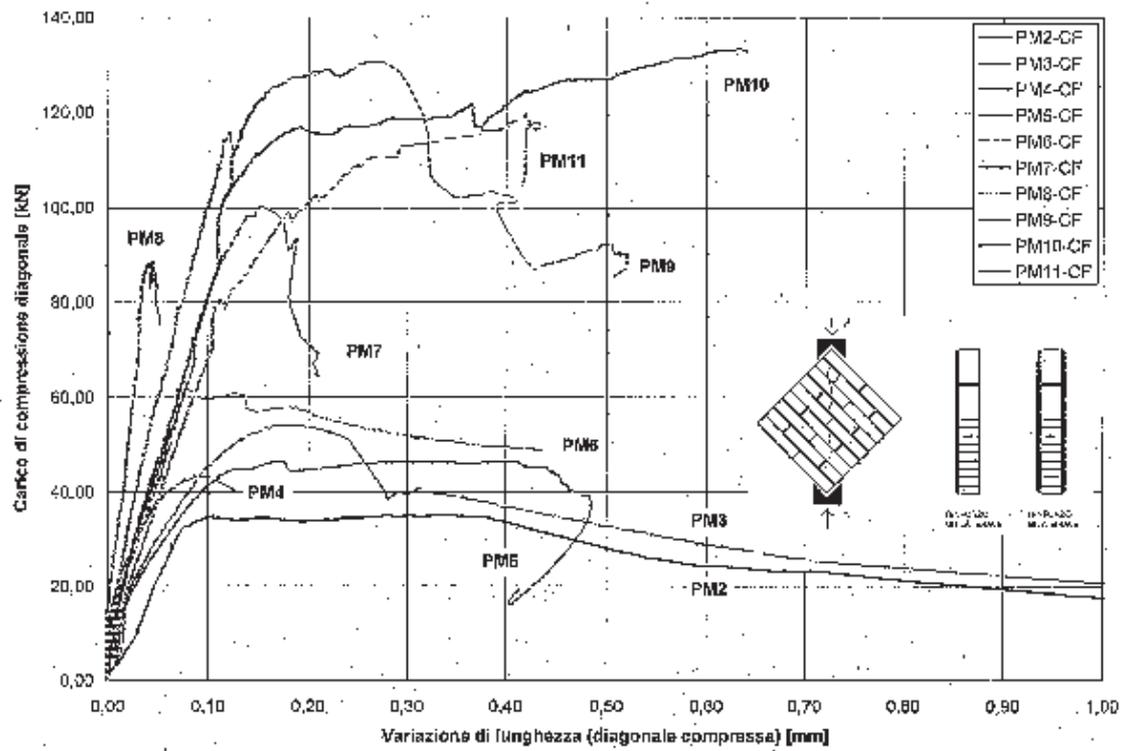


Figura 4. Diagramma P- Δt lungo la diagonale compressa della superficie rinforzata dei campioni.

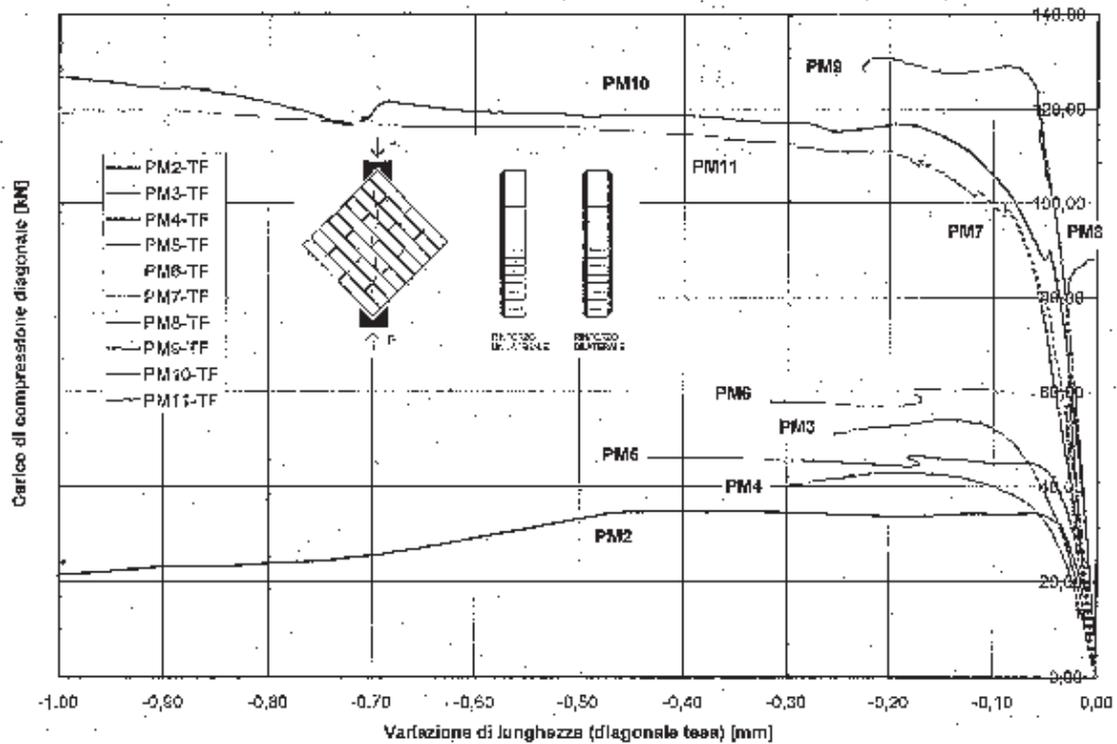


Figura 5. Diagramma P- Δl lungo la diagonale tesa della superficie rinforzata dei campioni.

DEFINIZIONE DEL PARAMETRO DI TAGLIO τ_k

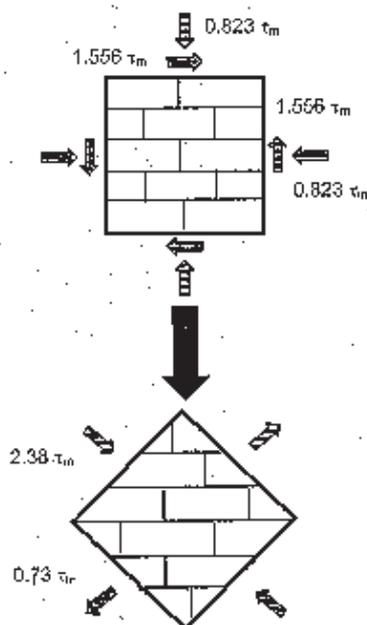


Figura 6. Stato tensionale al centro del pannello sollecitato da forza di compressione P lungo la sua diagonale.

Dalla prova a taglio è possibile valutare lo sforzo di taglio critico τ_k ed i meccanismi di crisi, ovvero l'interazione tra supporto in muratura e rinforzo. Il valore di τ_k definito analiticamente dall'elaborazione di dati sperimentali, per ogni singolo campione, viene mediato sui valori scaturiti per la medesima tipologia di rinforzo e rapportato al valore ottenuto per i campioni di riferimento. Il rapporto τ_k/τ_{knr} indica l'incremento di resistenza apportato dall'applicazione del rinforzo, in cui τ_k valore del taglio critico nel campione rinforzato; τ_{knr} valore del taglio critico nel campione non rinforzato.

Ai meccanismi di collasso di pannelli murari caricati monotonicamente e quasi staticamente, riportati in dettaglio in [3], corrispondono altrettanti stati limite per il pannello in esame. Per ognuno di questi stati limite è possibile calcolare il corrispondente carico limite P_{lim} in funzione della geometria (h altezza; t spessore del

pannello murario) e delle caratteristiche meccaniche del materiale (f_{cm} resistenza di compressione nella muratura; f_{tm} resistenza di trazione nella muratura; τ_0 tensione tangenziale critica in assenza di tensione di compressione sul giunto; μ coefficiente di attrito apparente).

Lo stato tensionale al centro del pannello, in presenza del meccanismo di fessurazione diagonale per tensioni di trazione limite sulle giaciture con traccia parallela alla diagonale compressa, al centro della parete ed in corrispondenza di un intorno infinitesimo del punto A, è rappresentato in figura 6. Le tensioni sono espresse in funzione di τ_m , tensione tangenziale media valutata sulla sezione orizzontale del pannello ($h \times t$):

$$\tau_m = P \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot t} \quad (1)$$

ove: P carico di compressione diagonale applicato;
 h lato del quadrato del pannello;
 t spessore del pannello.

Nei provini rinforzati il meccanismo di crisi si manifesta con una fessura diagonale che si viene ad innescare per effetto delle tensioni di trazione limite sulle giaciture con traccia parallela alla diagonale compressa, al centro della parete. La resistenza a trazione della muratura f_{tm} è valutata dalla seguente relazione:

$$0.73 \cdot \tau_m = f_{tm} \quad (2)$$

La determinazione della resistenza a trazione della muratura è da intendersi come resistenza nominale, per un dato materiale, legata al particolare criterio impiegato. Sostituendo il valore di τ_m definito in (1) si ottiene:

$$f_m = 0.73 \cdot P \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1}{h \cdot t} \quad (3)$$

Dall'indagine sperimentale si determina il valore del carico massimo ed i dati geometrici; il valore della resistenza a trazione della muratura f_m è definito attraverso la relazione (3).

Nella realtà fisica lo stato di sollecitazione al centro del pannello è alquanto complesso per la disomogeneità e l'anisotropia della muratura stessa. I criteri di resistenza presenti in letteratura scientifica e citati in [4] si basano sull'ipotesi che la muratura sia un materiale omogeneo ed isotropo con comportamento elastico-lineare fino all'innescò della fessura; lo stato di sforzo al centro del pannello, tuttavia, risulta confacente alla realtà fisica se i parametri relativi alla resistenza a trazione sono appropriati. Tra i diversi criteri di resistenza, ci si è riferiti a quello di Turnsek-Cacovic. Il valore di τ_k risulta definito da:

$$\tau_k = f_m / b \quad (4)$$

con b coefficiente variabile in funzione della geometria del pannello: $b=1.5$ nel caso di pannelli snelli; $b=1.1$ nel caso di pannello quadrato [12].

Questo criterio è estesamente impiegato nella verifica sismica degli edifici in muratura, secondo la procedura di calcolo definita "metodo POR". L'azione tagliante che conduce all'innescò della fessurazione nel singolo pannello può essere determinata con buona approssimazione dalla seguente relazione, in funzione del parametro caratteristico del materiale τ_k :

$$T_u = A \cdot \tau_k \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot \tau_k}} \quad (5)$$

L'utilizzo dell'espressione (5) presuppone la conoscenza della grandezza caratteristica τ_k . La campagna sperimentale ha consentito di definire tale grandezza a partire dall'osservazione della modalità di crisi dei pannelli rinforzati e dall'entità del carico massimo. Attraverso l'espressione (3) si è definita la resistenza a trazione della muratura rinforzata e quindi il valore di τ_k attraverso la sostituzione in (4). In tabella 4 sono riportati i valori caratteristici innanzi definiti.

CONCLUSIONI

I dati sperimentali e quelli scaturiti dalla loro elaborazione evidenziano un incremento medio della τ_k del 50% nel caso di pannello rinforzato unilateralmente con singolo strato di FRCM a 0°/90°; del 170% nel caso di pannello rinforzato unilateralmente con doppio strato di FRCM a 0°/90° e ± 45°; del 250% nel caso di pannello rinforzato bilateralmente con doppio strato di FRCM a 0°/90° e ± 45°.

Campione	P_{max} [N]	f_{tm} [N/mm ²]	τ_k [N/mm ²]	τ_k/τ_{kd}
PM2	35x10 ³	0.37	0.33	1
PM3-UM	54.2x10 ³	0.57	0.52	1.55
PM4-UM	43.2 x10 ³	0.45	0.41	1.23
PM5-US	46.4 x10 ³	0.49	0.44	1.33
PM6-US	61.9 x10 ³	0.65	0.59	1.77
PM7-UD	100.2 x10 ³	1.05	0.96	2.86
PM8-UD	88.2 x10 ³	0.93	0.84	2.52
PM9-BD	130.7 x10 ³	1.37	1.25	3.79
PM10-BD	133.3 x10 ³	1.40	1.27	3.81
PM11-BD	119.8 x10 ³	1.26	1.15	3.42

- τ_k : valore di riferimento del campione di controllo non rinforzato;
- τ_{ki} : valore del campione i-esimo rinforzato valutato in base alla (8) con $b=1.1$;
- h : valore medio della dimensione del pannello $h=467.5$ mm;
- t : valore medio dello spessore del pannello a meno dello spessore del rinforzo $t=105$ mm;
- U: rinforzo unilaterale; B: rinforzo bilaterale; M: sola matrice inorganica (X MESH M25);
- S: singolo strato di FRCM;
- D: doppio strato di FRCM;

Tabella 4. Caratteristiche meccaniche dei pannelli in muratura rinforzata con materiale innovativo.

principale con andamento diagonale che coinvolge malta e mattoni; accanto a questa si osservano delle fessure secondarie con andamento parallelo ma con minore estensione. Il placcaggio, talvolta, si distacca in seguito al raggiungimento del carico massimo per carenza di resistenza a sollecitazioni di tipo $\sigma-\tau$ della muratura di supporto, in quanto è possibile osservare l'esatta tessitura muraria del campione sulla sua faccia interna.

Il placcaggio realizzato con il sistema di rinforzo FRCM consente di incrementare la capacità portante del pannello attraverso una ripartizione delle tensioni di trazione lungo una superficie più estesa del pannello. Inoltre, parte degli sforzi sono assorbiti dal placcaggio per effetto del corretto funzionamento di interfaccia tra la matrice inorganica e la muratura, come tra le fibre di carbonio e la matrice inorganica.

Questo nuovo sistema di rinforzo FRCM, alternativo ai tradizionali FRP, apre la strada ad applicazioni diffuse nel settore del restauro e del recupero dell'edilizia pre-esistente

ESEMPI APPLICATIVI

Nonostante questa nuova tecnologia sia stata introdotta recentemente (febbraio 2002) sul mercato dei compositi, diverse sono le applicazioni realizzate fino ad ora.

Di seguito vengono riportati i lavori più significativi.

Gli incrementi considerevoli del carico massimo registrato sperimentalmente, ovvero della τ_k ricavata analiticamente, sono supportati da una modifica delle modalità di crisi del sistema. Se da un lato i campioni di controllo hanno manifestato modalità di crisi differenti, a cui corrispondono diversi valori del carico massimo (formazione di fessura diagonale "a scaletta" lungo i giunti di malta in P1; scorrimento lungo il letto di malta con crisi all'interfaccia mattone-giunto P2) nel caso dei campioni placcati le modalità di crisi si sono ricondotte ad un'unica modalità ed il valore del carico massimo si è attestato attorno allo stesso valore. Il sistema entra in crisi per la formazione di una fessura

BIBLIOGRAFIA

1. ASTM E519-74
2. D.M. 03/06/68, "Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi", G.U. n. 180, Cap. II, sez. I.
3. DI TOMMASO A., Riparazione ed adeguamento sismico di fabbricati lesionati o deformati dai terremoti, 14° Convegno Nazionale nell'ambito del SAIE organizzato dal Collegio Regionale Ingegneri e Architetti dell'Emilia-Romagna, Bologna, pp. 1-16, 1981.
4. BENEDETTI D., Riparazione e consolidamento degli edifici in muratura, in Costruzioni in zona sismica, a cura di Castellani A, Masson Italia Editori, Milano, pp. 327-398, 1981.

A2



Consiglio Nazionale delle Ricerche

IBAM

Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali

via Salaria km. 29,000 - 00198 Roma

IBAM
Via Salaria km. 29,000
00198 Roma
Tel. +39 06 495921
Fax +39 06 495922
E-mail: ibam@ibam.cnr.it



Mercoledì - Marzo 2002

via Salaria km. 29,000 - 00198 Roma - tel. +39 06 495921 fax +39 06 495922
web: www.ibam.cnr.it e-mail: ibam@ibam.cnr.it

Le prove di generalità sono state eseguite dal sig. Maurizio Maceri.

Lecc, 29/03/2002



Per il Comandante

IL DIRETTORE

COMANDO PIAZZA S. PIETRO - DOZZA

[Handwritten signature]

Permeabilità al vapor d'acqua

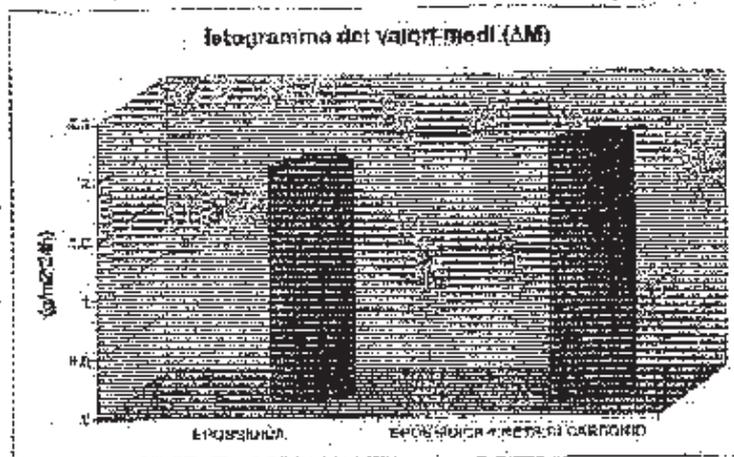
La prova è stata eseguita in conformità a quanto prescritto dal Norm. 21-85.

Considerati che i valori di permeabilità dei campioni a base epossidica sono estremamente bassi, si è ritenuto opportuno indicare il valore medio della perdita d'acqua di una prova riferita con un campione di materiale non permeabile (plexiglas). Tale prova è stata effettuata (come previsto dal Norm. 21-85) allo scopo di valutare la tenuta delle giunzioni in gomma il cui utilizzo è necessario per garantire il perfetto isolamento laterale del campione con la cella di misura.

Campioni in plexiglas ($\Delta 61-1.63g/m^2 \times 24h$)

Permeabilità al vapore d'acqua

Campione	AVI (g/m ² ·24h) (media su 5 prove)
EPOSSIDA	1,68
EPROSSIDA RETE DI CARBONIO	2,12



Permeabilità al vapor d'acqua

Campioni	AV (g/m ² x 24h) media di 5 prove
MALTA isol gesso	140
RIGEDIL X MESH c10-1 strato	64
RIGEDIL X MESH c10-2 strato	74

