



CONTRATTO CON LA DITTA

Ruregold

Report attività sperimentali su
Effetto della stilatura dei giunti con malte ad alta
resistenza sulle proprietà meccaniche di pannelli
murari

RAPPORTO TECNICO SCIENTIFICO

PARTE II

Valutazione della resistenza a taglio mediante prove a
compressione diagonale di pannelli in muratura di laterizio
portante rinforzati

Perugia, luglio 2020



INDICE

PREMESSA	1
1. Inquadramento normativo	2
2. Preparazione dei provini e setup sperimentale	4
2.1 Preparazione di provini	4
2.2 Setup sperimentale	6
3. Risultati sperimentali.....	8
3.1 Risultati ottenuti su pannelli in muratura non rinforzata	8
3.2 Risultati ottenuti su pannelli in muratura rinforzata	13
3.3 Sintesi dei risultati	17
4. CONCLUSIONI.....	20



PREMESSA

La presente relazione illustra parte delle attività tecnico-scientifiche svolte dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia per la ditta Ruregold nell'ambito della convenzione *“Effetto della stitatura dei giunti con malte ad alta resistenza sulle proprietà meccaniche di pannelli murari”*.

In particolare, in questa relazione vengono descritte le prove a compressione diagonale effettuate su pannelli murari rinforzati con malta MX-PVA Fibrorinforzata.

GRUPPO DI RICERCA

Prof. Ing. Massimiliano Giofrè (Responsabile Scientifico)

Dott. Ing. Nicola Cavalagli

Dott. Ing. Chiara Pepi



1. Inquadramento normativo

La prova di compressione diagonale viene indicata dalla normativa tecnica, e condivisa dalla letteratura scientifica, come prova idonea ai fini della caratterizzazione della resistenza a taglio della muratura. La norma a cui si è fatto riferimento è l'ASTM E 519-02 "*Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*", di seguito illustrata nelle sue caratteristiche principali.

La norma descrive la procedura per la determinazione della resistenza a taglio del solido murario mediante l'applicazione di un carico a compressione in direzione di una delle diagonali di un pannello quadrato avente lato pari a 120 cm, sino a rottura. Le dimensioni geometriche del campione sono valutate in modo che esso sia rappresentativo del comportamento globale della struttura muraria e compatibile con le usuali attrezzature di laboratorio. Affinché i risultati possano essere considerati rappresentativi della tipologia muraria esaminata, le prove devono essere condotte su almeno tre campioni, aventi le medesime caratteristiche in termini sia di malta, di blocco e di manodopera. Successivamente alla fase di stagionatura, tipicamente indicata pari ad almeno 28 giorni, i pannelli vengono sottoposti ad un carico di compressione P mediante specifica apparecchiatura di prova. Lo stato deformativo viene analizzato misurando accorciamenti (ΔL_c) e allungamenti (ΔL_t) nelle due direzioni diagonali del pannello tramite apposita strumentazione.

L'elaborazione dei dati è rivolta alla stima sia della resistenza a taglio del pannello, sia del modulo elastico secante a taglio G .

La resistenza a taglio (τ_{\max}) viene ottenuta come massimo valore delle tensioni tangenziali (τ) raggiunte durante la prova e calcolate con la relazione che segue:

$$\tau = P/(\sqrt{2} \cdot A_n) = 0.707 \cdot P/A_n \quad (1)$$



dove

- τ tensione di taglio sull'area netta [MPa]
 P carico applicato [N]
 A_n area netta del pannello [mm²] con $A_n = ((w+h)/2) \cdot t \cdot n$
 w base del pannello [mm]
 h altezza del pannello [mm]
 t spessore del pannello [mm]
 n percentuale solida della generica sezione trasversale del pannello

Al fine poi di valutare il modulo a taglio G , viene calcolata la deformazione a taglio (γ) come segue:

$$\gamma = \varepsilon_c + \varepsilon_t = \Delta L_c / g_c + \Delta L_t / g_t \quad (2)$$

dove

- ΔL_c accorciamento [mm]
 ΔL_t allungamento [mm]
 g_c e g_t lunghezza base dell'estensimetro relativo al diagonale compresso e al diagonale teso, rispettivamente [mm]

Conseguentemente viene quindi determinato il modulo di rigidezza secante a taglio G , inteso come rapporto tra la tensione tangenziale e la relativa deformazione opportunamente valutato in un ramo elastico del diagramma γ - τ :

$$G = \tau / \gamma \quad (3)$$



2. Preparazione dei provini e setup sperimentale

2.1 Preparazione di provini

L'indagine sperimentale riguarda complessivamente sette provini di muratura, ovvero pannelli murari di dimensioni 120×120 cm e 16 cm di spessore, di cui quattro non rinforzati e tre rinforzati su entrambi i lati con 6 cm di malta MX-PVA Fibrorinforzata.

I provini sono stati realizzati utilizzando blocchi forati portanti in laterizio opportunamente sagomati per ottenere un generico blocco costituente avente dimensioni di 30×18×16 cm. I blocchi sono caratterizzati da una percentuale di sezione solida del 55% e una resistenza a compressione pari a $f_{bk}=18,7 \text{ N/mm}^2$. Ulteriori sagomature si sono rese necessarie al fine di realizzare una tessitura a blocchi sfalsati, che ha comportato l'inserimento di mezzi mattoni all'estremità di alcuni filari, e la realizzazione di una "tasca" speciale per l'alloggiamento della carpenteria metallica del sistema di attuazione. Per la costruzione di tutti i provini è stata impiegata una malta a base cementizia di tipo M10 allettata sui giunti sia di letto sia di testa per uno spessore di circa 1 cm (Figura 1a).

Il rinforzo strutturale eseguito su tre dei sette provini, è caratterizzato dall'apposizione di uno strato di malta MX-PVA Fibrorinforzata su ambo i lati dei pannelli, per uno spessore di circa 3 cm per lato. Nella procedura di esecuzione, si è reso necessario applicare il materiale in due fasi, operate in diverse giornate di lavoro: una prima fase è stata caratterizzata dalla realizzazione di uno strato più sottile (1-2 cm circa) di malta per garantire una buona presa del materiale al supporto; in una seconda fase si è raggiunto lo spessore di 3 cm preventivato (Figura 1b).

I provini sono stati fatti quindi stagionare per circa un mese in ambiente asciutto e riparato (Figura 2).

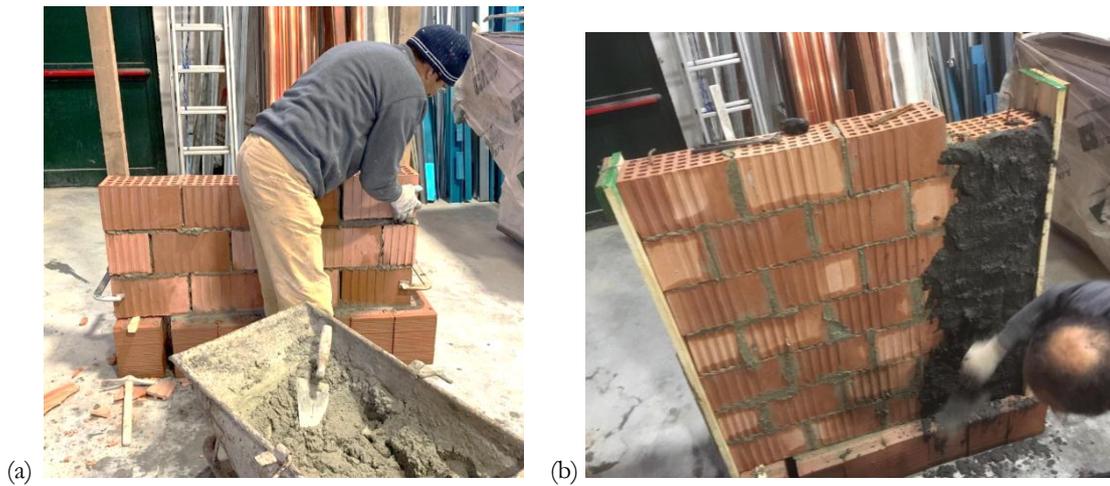


Figura 1. (a) Realizzazione dei provini di muratura mediante blocchi portanti in laterizio. (b) Applicazione del primo strato di malta MX-PVA Fibrorinforzata in uno dei tre provini rinforzati.

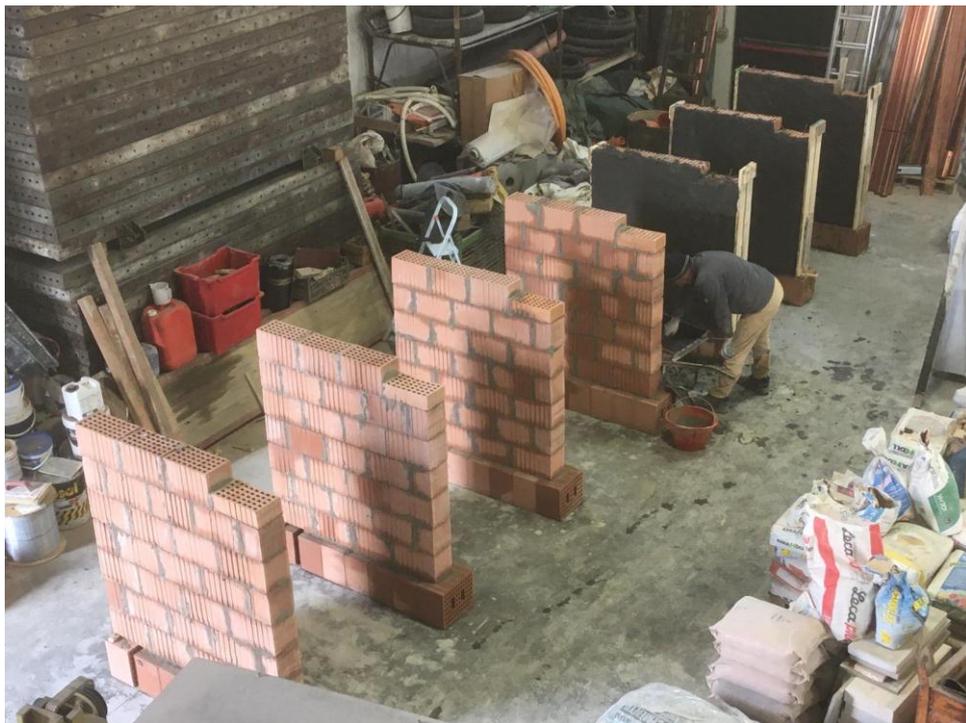


Figura 2. Vista d'insieme dei sette provini sottoposti a prove di compressione diagonale: quattro in muratura non rinforzata e tre con l'aggiunta di malta MX-PVA Fibrorinforzata.

2.2 Setup sperimentale

La prova a compressione diagonale è stata eseguita secondo le indicazioni riportate nell'ASTM E519-02 e precedentemente illustrate. È stata impiegata la seguente strumentazione (Figura 3):

- n. 4 LVDT (Linear Variable Displacement Transducers) modello Solartron Metrology S-Series, 0-10V, range di misura 0-50 mm;
- cella di carico modello TC4 AEP Transducers, portata massima 500 kN;
- martinetti idraulici EuroPressPack, modello CGS30N50 e CGS50N100 da 30tonn/50 mm di corsa e 50tonn/100 mm di corsa, rispettivamente, corredati di pompa idraulica ad attuazione manuale modello PN141B EuroPressPack;
- sistema di acquisizione dei dati imc CRONOS dotato di schede multi-funzione per la registrazione simultanea dei dati da ogni sensore.



Figura 3. Strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle prove: (a) LVDT; (b) Cella di carico; (c) Martinetto idraulico da 30 kN; (d) sistema di acquisizione dati imc CRONOS.

In accordo con le indicazioni fornite dalla norma, le dimensioni nominali del provino sottoposto al carico diagonale risultano essere di 120×120 cm e spessore pari a 16 cm per i pannelli non rinforzati e 22 cm per quelli rinforzati (16 di supporto più due strati da 3 cm ciascuno di malta). I quattro LVDT sono stati fissati al pannello in corrispondenza delle quattro diagonali, utilizzando delle barre di alluminio per ottenere opportune lunghezze di base, L_c e L_t (circa 1.1 m), sulle quali misurare le deformazioni ϵ_c ed ϵ_t . L'azione di compressione diagonale è stata applicata attraverso un martinetto e l'utilizzo di apposita carpenteria metallica (Figura 4). I dati sono stati acquisiti mediante il sistema imc CRONOS ad una frequenza pari a 100 Hz in modo da poter cogliere eventuali risposte impulsive dovute alla natura fragile del materiale a rottura.

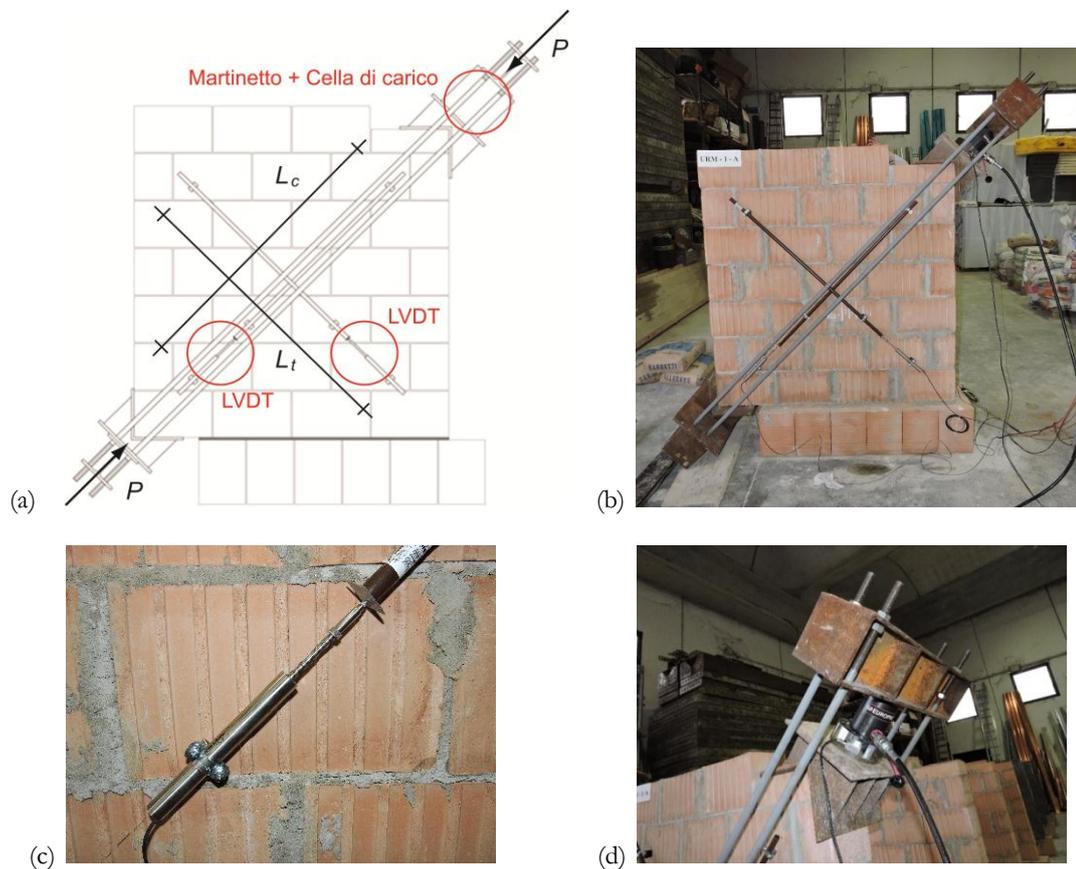


Figura 4. (a) Layout della strumentazione installata nel generico provino. (b) Immagine del setup sperimentale applicato ad uno dei provini. (c) Particolare di uno degli LVDT. (d) Sistema di attuazione e cella di carico.



3. Risultati sperimentali

3.1 Risultati ottenuti su pannelli in muratura non rinforzata

Nel seguito si riportano i risultati ottenuti sui provini di muratura non rinforzata. In particolare vengono restituite sia la modalità di rottura, sia le curve ε - τ , γ - τ (ottenute mediante Equazioni (1) e (2)). Inoltre viene stimato il modulo di rigidezza a taglio G come modulo secante calcolato sui due punti $\tau_{\max}/5$ e $\tau_{\max}/3$ della curva γ - τ .

URM1 – PANNELLO NON RINFORZATO #1

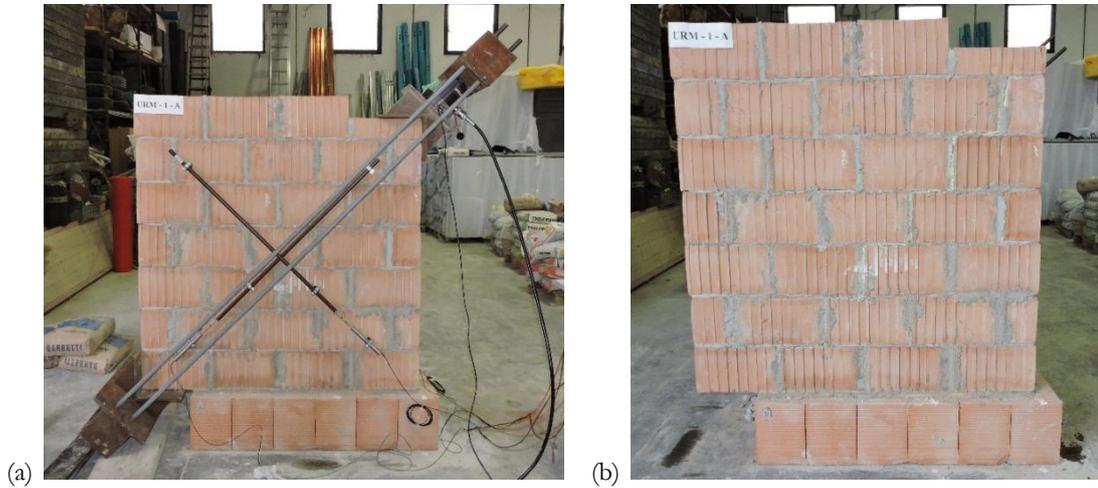


Figura 5. Pannello URM1. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale per scorrimento sui giunti di malta.

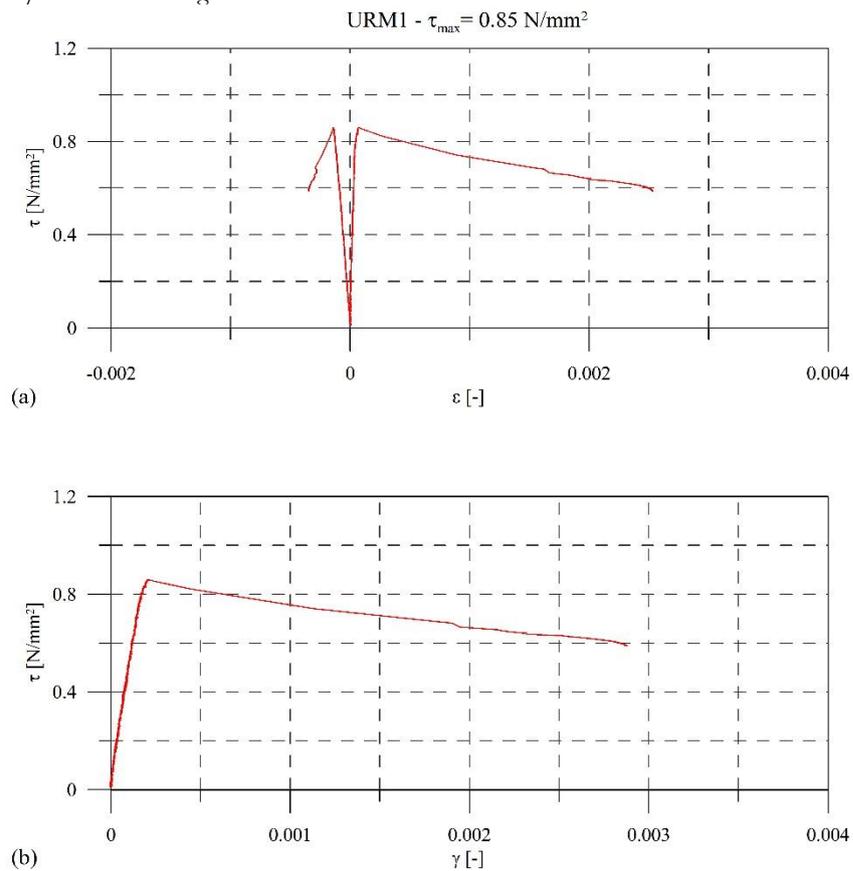


Figura 6. Risultati delle prove sul pannello URM1: (a) Diagramma ε - τ . (b) Diagramma γ - τ .

URM2 – PANNELLO NON RINFORZATO #2

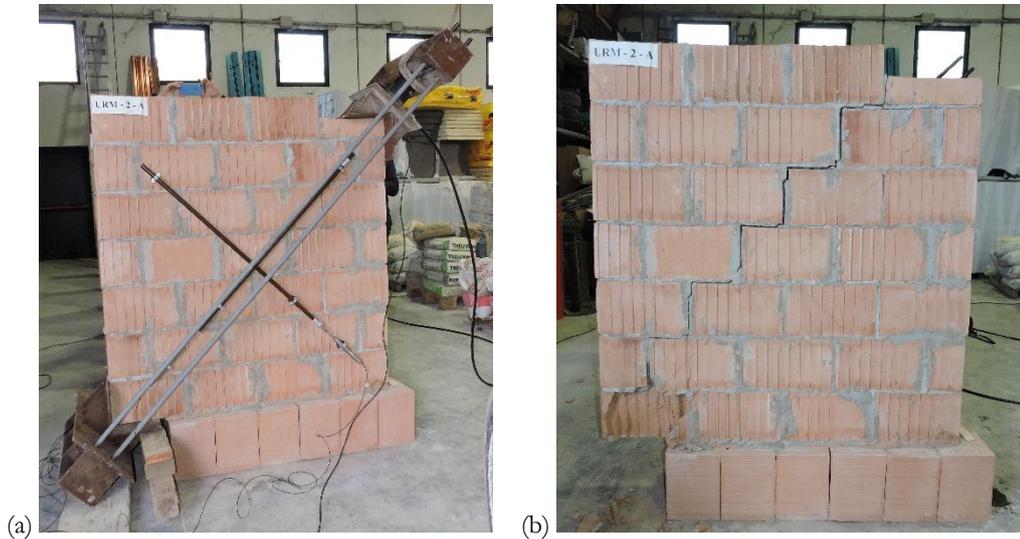


Figura 7. Pannello URM2. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale per scorrimento sui giunti di malta.

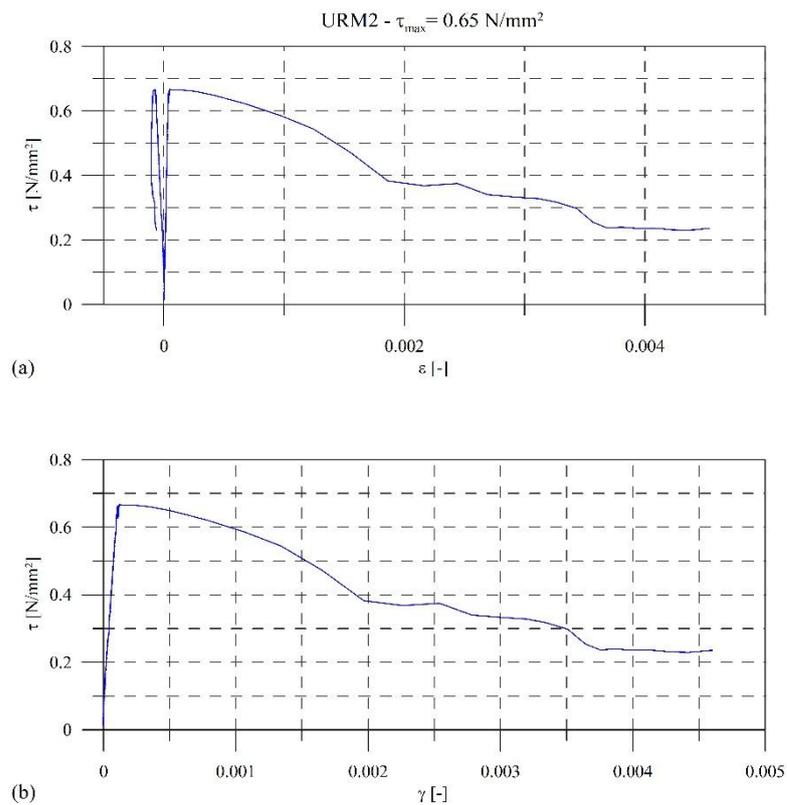


Figura 8. Risultati delle prove sul pannello URM2: (a) Diagramma ε - τ . (b) Diagramma γ - τ .

URM3 – PANNELLO NON RINFORZATO #3

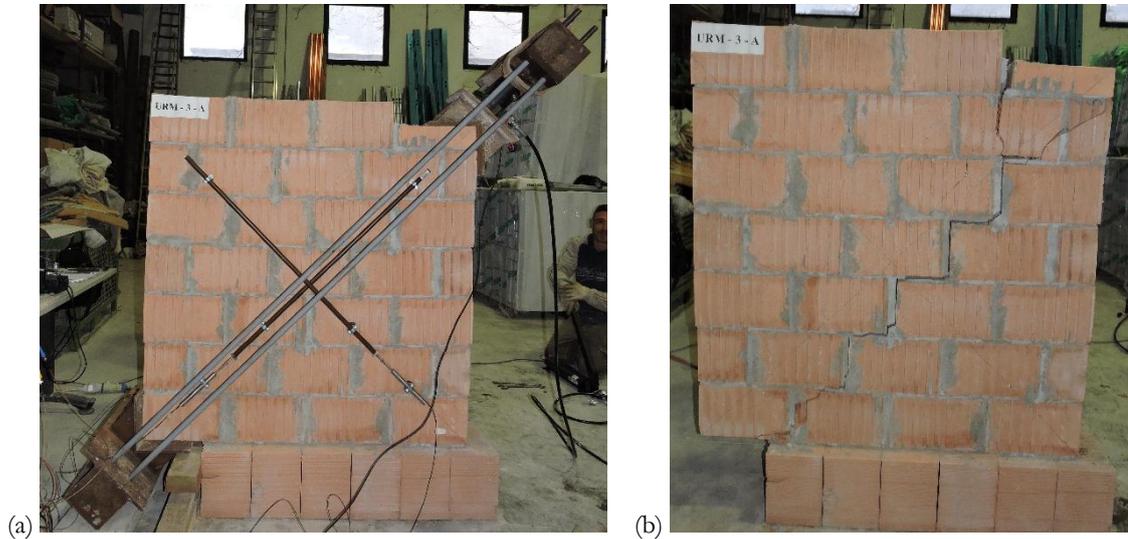


Figura 9. Pannello URM3. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale per scorrimento sui giunti di malta.

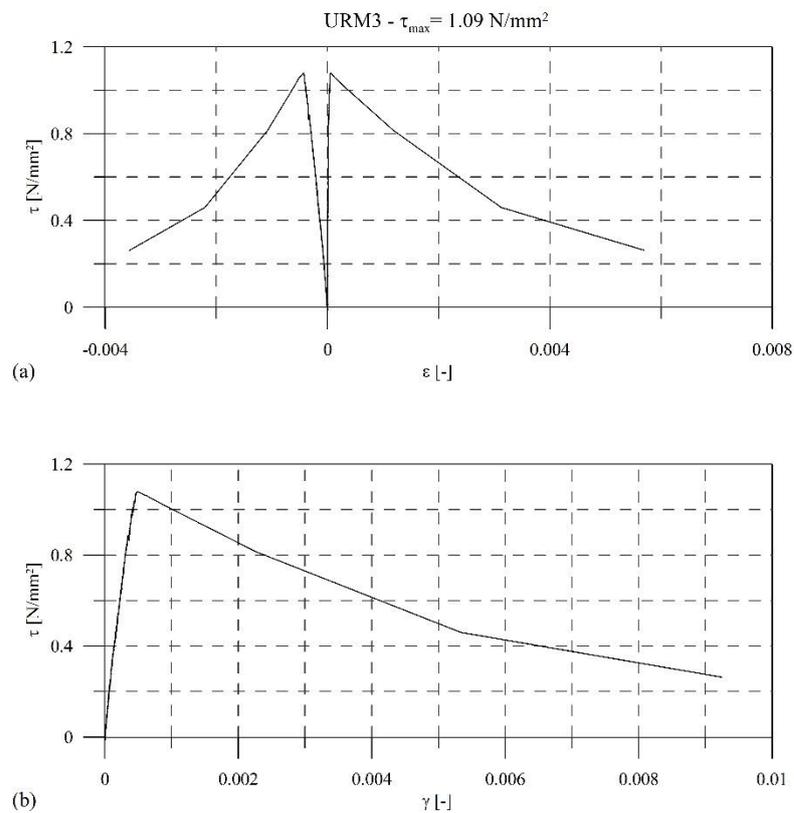


Figura 10. Risultati delle prove sul pannello URM3: (a) Diagramma ϵ - τ . (b) Diagramma γ - τ .

URM4 – PANNELLO NON RINFORZATO #4

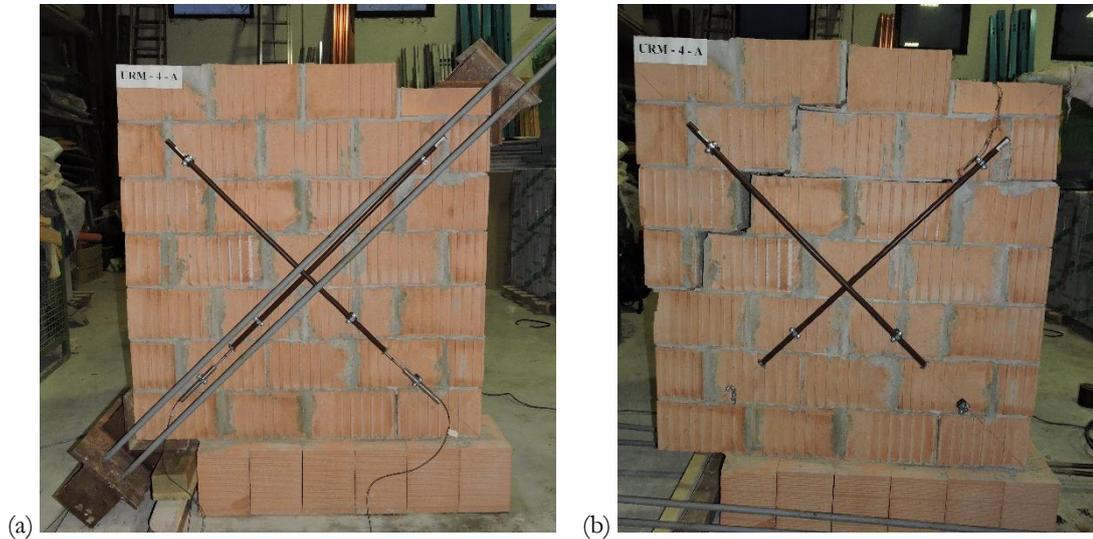


Figura 11. Pannello URM4. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura mista per scorrimento su giunto orizzontale e diagonale per scorrimento sui giunti di malta.

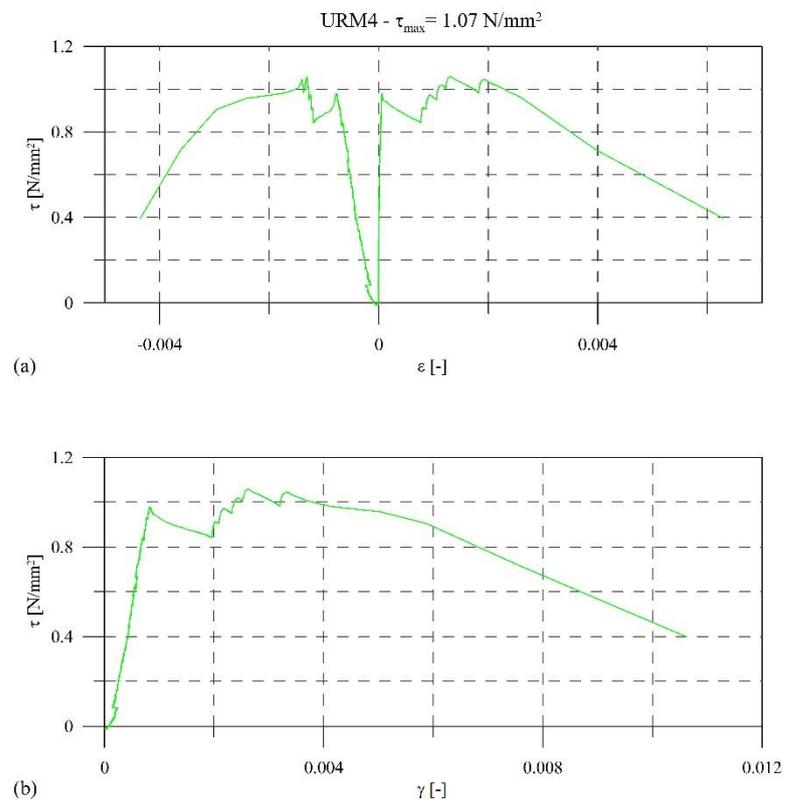


Figura 12. Risultati delle prove sul pannello URM4: (a) Diagramma ϵ - τ . (b) Diagramma γ - τ .



3.2 Risultati ottenuti su pannelli in muratura rinforzata

Nel seguito si riportano i risultati ottenuti sui provini di muratura rinforzata. In particolare vengono restituite sia la modalità di rottura, sia le curve ε - τ , γ - τ (ottenute mediante Equazioni (1) e (2)). Inoltre viene stimato il modulo di rigidezza a taglio G come modulo secante calcolato sui due punti $\tau_{\max}/5$ e $\tau_{\max}/3$ della curva γ - τ .

RM1 – PANNELLO RINFORZATO #1*

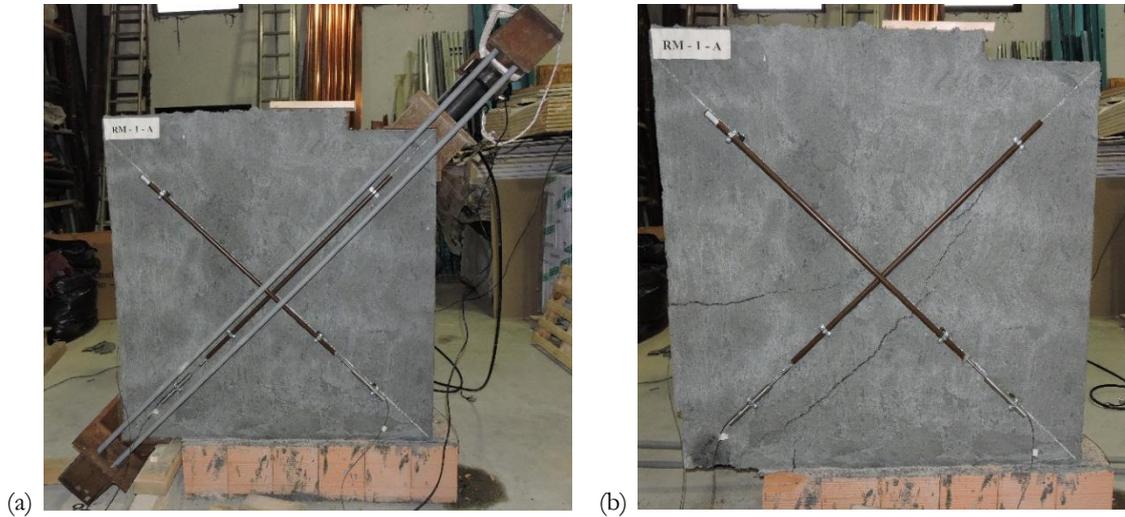


Figura 13. Pannello RM1. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale omogenea, sia sul rinforzo che sul supporto.

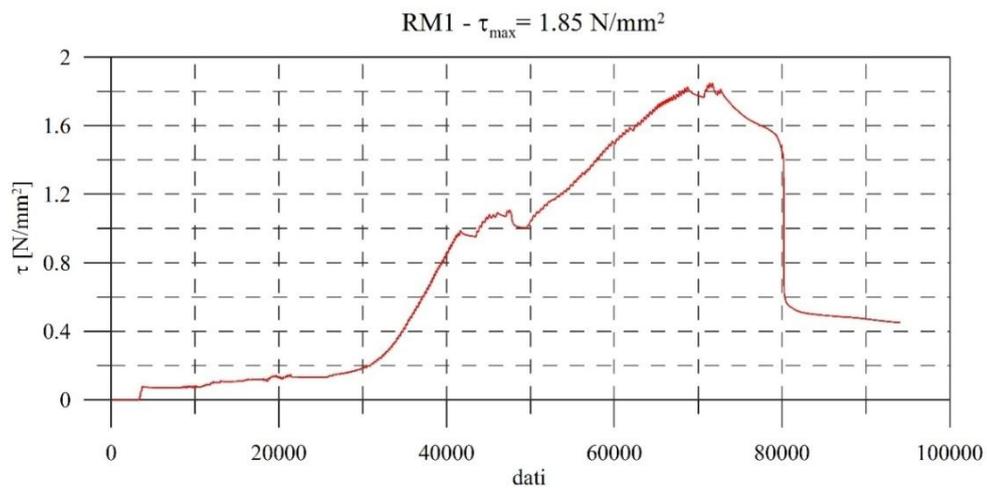


Figura 14. Risultati delle prove sul pannello RM1: diagramma dello sforzo tangenziale τ calcolato durante la prova.

* Durante questa prova non è stato possibile riportare le grandezze di deformazione a causa di un malfunzionamento della strumentazione.

RM2 – PANNELLO RINFORZATO #2

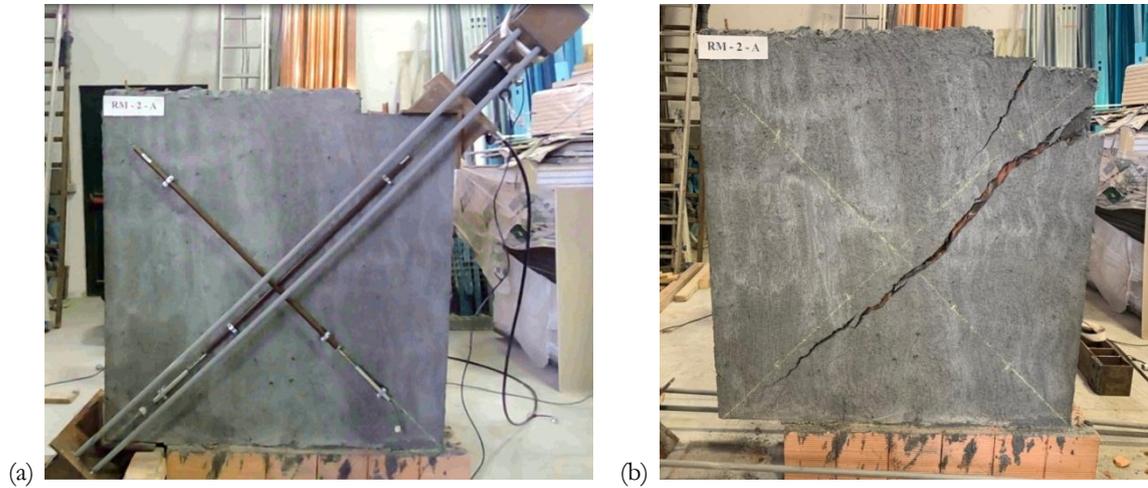


Figura 15. Pannello RM2. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale omogenea, sia sul rinforzo che sul supporto.

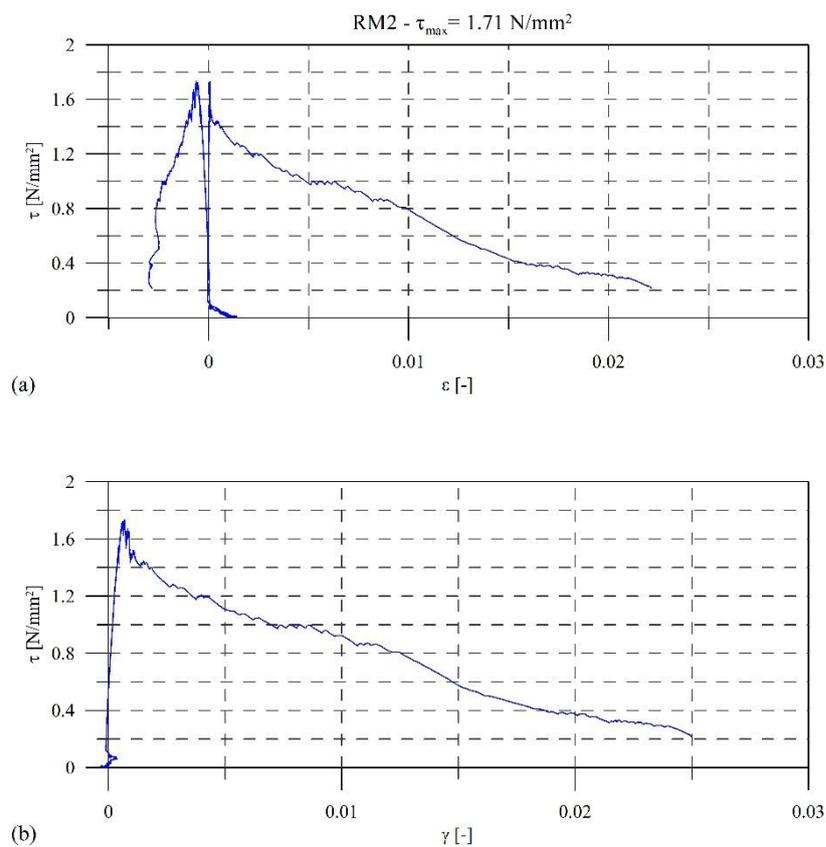


Figura 16. Risultati delle prove sul pannello RM2: (a) Diagramma ε - τ . (b) Diagramma γ - τ .

RM3 – PANNELLO RINFORZATO #3

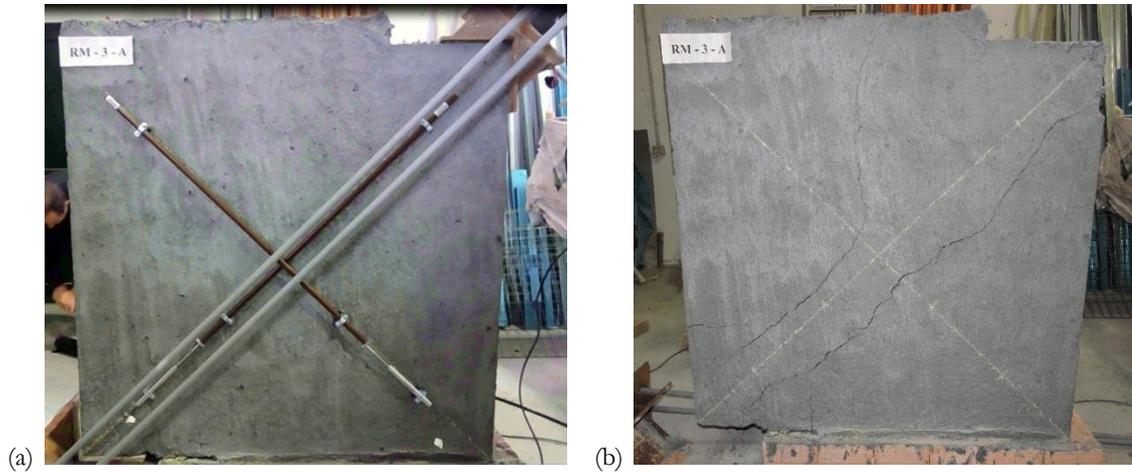


Figura 17. Pannello RM3. (a) Setup di prova con pannello integro. (b) Immagine a rottura del pannello – Rottura diagonale omogenea, sia sul rinforzo che sul supporto.

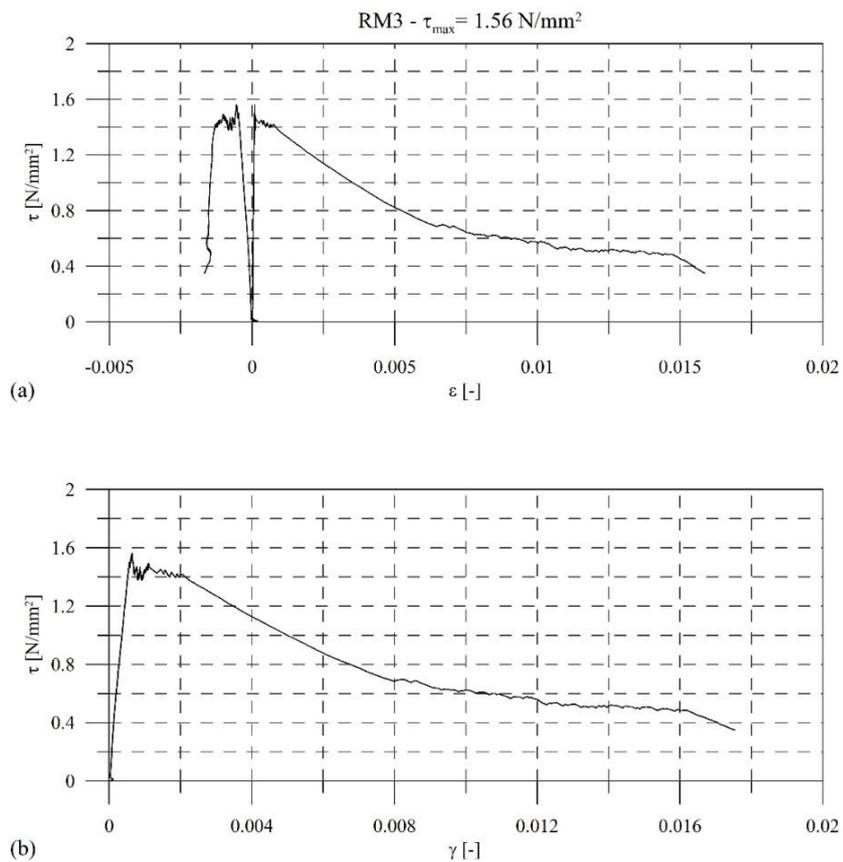


Figura 18. Risultati delle prove sul pannello RM3: (a) Diagramma ϵ - τ . (b) Diagramma γ - τ .



3.3 Sintesi dei risultati

I risultati delle prove di compressione diagonale descritti nei paragrafi 3.1 e 3.2 sono sintetizzati nelle Tabelle 1 e 2, rispettivamente per la muratura non rinforzata e rinforzata.

Tabella 1. Risultati dei test a compressione diagonale eseguiti su provini di muratura non rinforzata.

<i>Provino</i>	P_{max} [N]	τ_{max} [MPa]	G [MPa]
URM1	129451	0.85	4525
URM2	99549	0.65	5306
URM3	164705	1.09	2823
URM4	161412	1.07	1133
<i>Valori medi</i>		<i>0.92</i>	<i>3447</i>

Tabella 2. Risultati dei test a compressione diagonale eseguiti su provini di muratura rinforzata.

<i>Provino</i>	P_{max} [N]	τ_{max} [MPa]	G [MPa]
RM1	472446	1.85	-
RM2	434161	1.71	3533
RM3	397261	1.56	3065
<i>Valori medi</i>		<i>1.71</i>	<i>3299</i>

In Figura 19 sono messi a confronto i risultati ottenuti dalle prove sperimentali effettuate su provini non rinforzati (URM) e rinforzati (RM) mediante le curve ϵ - τ e γ - τ . I grafici e le tabelle evidenziano un incremento della resistenza a taglio di circa l'85% a seguito dell'intervento di rinforzo. Osservando la progressione del quadro fessurativo durante le prove, si è notato che i pannelli rinforzati hanno subito maggiori deformazioni prima di evidenziare fessure visibili. In base ai dati riportati nelle Tabelle 1 e 2, non si riscontrano invece significative variazioni in termini di rigidezza a taglio secante G per la presenza del rinforzo.

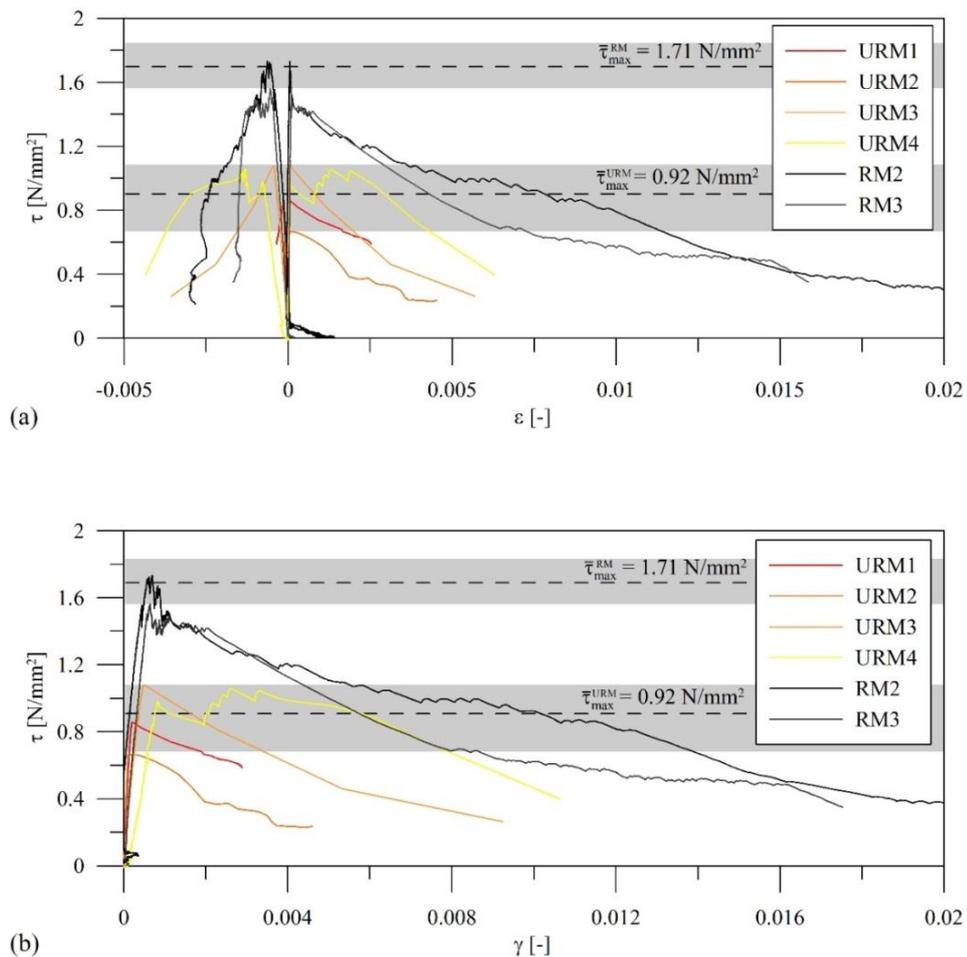


Figura 19. Confronto fra i risultati ottenuti sui pannelli URM e RM: (a) Diagramma ϵ - τ . (b) Diagramma γ - τ .

Inoltre si ritiene importante sottolineare la differente tipologia di rottura riscontrata nei provini URM e RM. Nei primi, come atteso, le lesioni hanno principalmente interessato le zone dei giunti, essendo queste le zone più deboli del materiale. Nei pannelli rinforzati le lesioni hanno invece interessato l'intero materiale composito costituito da laterizio portante e strati di malta MX-PVA Fibrorinforzata con un andamento diagonale, tipico di un materiale omogeneo (Figura 20). In altri termini, lo strato di malta MX-PVA Fibrorinforzata ha consentito di mobilitare la resistenza del laterizio, che nei pannelli di muratura ordinaria rimane generalmente inutilizzata a causa del preliminare sviluppo di lesioni sui giunti.



Figura 20. Particolare della lesione diagonale del pannello rinforzato che interessa laterizio e rinforzo.



4. CONCLUSIONI

Le attività tecnico-scientifiche descritte nel presente report illustrano i risultati delle prove sperimentali a compressione diagonale condotte su sette provini di muratura di mattoni portanti forati, al fine di verificare l'efficacia del rinforzo strutturale eseguito con applicazione di malta MX-PVA Fibrorinforzata. In particolare sono stati provati quattro pannelli realizzati in muratura non rinforzata e tre in muratura rinforzata. Le prove sono state eseguite secondo le indicazioni della norma ASTM E 519-02 per il calcolo degli sforzi e delle deformazioni equivalenti.

Limitatamente alla tipologia dei pannelli sottoposti a prova (geometria e materiali utilizzati) è possibile concludere quanto segue:

- il comportamento a rottura dei pannelli rinforzati ha manifestato una lesione diagonale che ha interessato l'intero sistema rinforzo-supporto in maniera omogenea diversamente dal tipico quadro fessurativo in corrispondenza dei giunti di malta per pannelli privi di rinforzo;
- il sistema di rinforzo ha conferito ai pannelli murari un incremento della resistenza a taglio pari a circa l'85%;
- la rigidezza secante a taglio dei pannelli non ha subito significative variazioni a seguito dell'applicazione del rinforzo;
- rispetto ai pannelli in muratura ordinaria, i pannelli rinforzati hanno subito maggiori deformazioni prima di evidenziare fessure visibili.

Perugia, luglio 2020

*Il coordinatore dell'attività scientifica e sperimentale
prof. ing. Massimiliano Gioffrè*