



Rinforzo di edifici in muratura di pietrame facciavista con Reticolatus e pannelli in CLT

Romina Sisti^a, Marco Corradi^b, Chiara Quintaliani^b, Antonio Borri^b

^a Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125 - Napoli

^b Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, Via Goffredo Duranti 93, 06125 - Perugia

Keywords: murature, rinforzo a taglio, CLT, Reticolatus, sperimentazione

SOMMARIO

In questo lavoro viene presentata una tecnica di rinforzo di murature in pietrame che prevede l'utilizzo di un pannello in CLT (Cross Laminated Timber) giustapposto a una delle superfici murarie, e l'applicazione sulla faccia opposta del sistema Reticolatus, consistente in una ristilatura armata realizzata attraverso l'inserimento di trefoli in acciaio inox nei giunti di malta.

L'efficacia della tecnica è stata valutata studiandone l'applicazione come riparazione di murature già danneggiate. La campagna sperimentale eseguita ha infatti interessato campioni in muratura di pietrame di spessore 400 mm che risultavano fessurati per precedenti test. Sono state realizzate 4 prove di compressione diagonale, una su un campione in cui è stata eseguita la sola risarcitura della lesione, tre su campioni riparati e rinforzati con il sistema proposto.

La tecnica si propone quando, in presenza di finitura faccia-vista per la superficie muraria esterna, si vogliono migliorare sia le caratteristiche meccaniche della muratura, sia le prestazioni energetiche ed acustiche dell'edificio.

1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni un numero sempre maggiore di ricercatori ha dedicato la propria attività allo studio di un approccio interdisciplinare che permetta l'ottimizzazione delle risorse investite nel recupero del patrimonio esistente. (Lamperti Tornaghi et al. 2018; Marini et al. 2017). La maggior parte degli edifici esistenti, infatti, associa un'elevata vulnerabilità sismica a prestazioni energetiche molto scadenti. Progettare e realizzare interventi che trascurino completamente l'uno o l'altro aspetto può portare ad uno spreco di risorse, spesso pubbliche. (Menna et al. 2019).

In un precedente lavoro (Borri et al. 2015) è stato proposto il rinforzo di murature esistenti attraverso intonaci armati con reti in composito realizzati con malte termoisolanti progettate ad hoc in modo da conseguire, con un unico intervento, un consistente incremento di resistenza meccanica ed un abbattimento della trasmittanza della parete.

Recentemente, sono stati proposti interventi di consolidamento di murature storiche che prevedono l'impiego di pannelli CLT (Cross Laminated Timber), caratterizzati da elevate prestazioni meccaniche e termo-acustiche (Sustersic e Dujic 2012; Lucchini et al. 2014; Pozza et al. 2017)

I pannelli CLT sono costituiti da almeno tre strati di tavole in legno disposte e incollate in modo tale che le fibre resistenti siano tra loro ortogonali, così da ottenere caratteristiche meccaniche paragonabili nelle due direzioni. La capacità isolante del legno consente un importante miglioramento delle prestazioni energetiche e delle condizioni di comfort e salubrità all'interno dell'edificio.

Nel già citato lavoro (Lucchini et al. 2014) l'utilizzo di strutture in CLT è stato proposto nell'ambito della tecnica del "façadism", in cui l'aspetto esteriore della costruzione viene conservato mantenendo la scatola muraria esterna, mentre le prestazioni strutturali sono

assicurate da una nuova struttura in CLT posta all'interno della "fodera" esistente.

In (Pozza et al. 2017) è stato proposto di affiancare la muratura esistente con una nuova parete CLT che incrementi la capacità resistente della struttura nei confronti delle azioni sismiche. È stata prevista la possibilità di inserire la nuova parete sia sulla faccia esterna della muratura che su quella interna, in entrambi i casi le connessioni con gli orizzontamenti della struttura esistente vengono realizzate esclusivamente tramite viti. L'intervento quindi è facilmente reversibile ed è per questo applicabile a murature storiche delle quali debba essere conservata la natura originaria.

La tecnica presentata in questo articolo prevede l'utilizzo di un pannello in CLT giustapposto a una delle superfici murarie, e l'applicazione, sulla faccia opposta, del sistema Reticolatus (Borri et al 2013). I due sistemi sono fra loro collegati attraverso la predisposizione di connettori trasversali in acciaio inox.

Come noto, la tecnica del Reticolatus consiste nell'inserire una maglia di trefoli in acciaio inossidabile all'interno dei ricorsi di malta della muratura, e nel fissare i nodi della maglia attraverso dei connettori trasversali. Le dimensioni della maglia di rinforzo dipendono dalle dimensioni degli elementi lapidei che costituiscono la muratura e generalmente non dovrebbero essere superiori allo spessore della parete.

I trefoli utilizzati nel rinforzo sono flessibili e possono essere disposti con facilità all'interno dei giunti di malta, qualsiasi sia il loro andamento. Questa peculiarità rende il Reticolatus una delle poche tecniche idonee al rinforzo di murature esistenti irregolari delle quali voglia essere mantenuta la finitura faccia-vista.

Attraverso il Reticolatus si realizza una muratura armata in cui gli sforzi di trazione vengono assorbiti dai trefoli mentre quelli di compressione sono portati dalla muratura; ottenendo in tal modo un buon incremento delle capacità portanti a taglio e flessione del pannello murario rinforzato (Borri et al. 2014).

L'efficacia del Reticolatus è stata valutata sia quando applicato su entrambe le facce della muratura che quando realizzato solo su una faccia in abbinamento con l'applicazione di un intonaco armato con rete in fibra di vetro preformata sull'altra faccia (Castori et al. 2016; Gattesco et al. 2015).

2 LA CAMPAGNA SPERIMENTALE

L'efficacia meccanica della tecnica proposta è stata testata studiandone l'applicazione come riparazione di murature già danneggiate.

Le prove di compressione diagonale sono infatti state eseguite su 4 campioni murari precedentemente testati e quindi fessurati (Figura 1a). I sistemi di rinforzo, presenti sulle facce dei campioni al termine dei precedenti test, sono stati asportati e sono stati rimossi gli elementi lapidei che risultavano sconnessi (Figura 1b). Si è poi proceduto alla risarcitura delle lesioni utilizzando una malta cementizia di adeguata fluidità (Figura 1c).

Il campione MP3_REP è stato testato senza che fosse applicato alcun tipo di rinforzo, mentre i 3 campioni rimanenti (MP4_REI, MP5_REI e MP6_REI) sono stati rinforzati con la tecnica proposta.

Nella campagna sperimentale qui presentata il carico di compressione è stato applicato lungo la diagonale perpendicolare a quella precedentemente lesionata, come mostrato in Figura 1c.

In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche dei campioni testati. I campioni MP1_UR e MP2_UR, costituiti della stessa tipologia muraria degli altri, appartengono ad una precedente campagna sperimentale. I risultati delle prove di compressione diagonale realizzate su questi 2 campioni sono qui riportati come termine di confronto, in quanto si riferiscono alla muratura non danneggiata e non rinforzata.

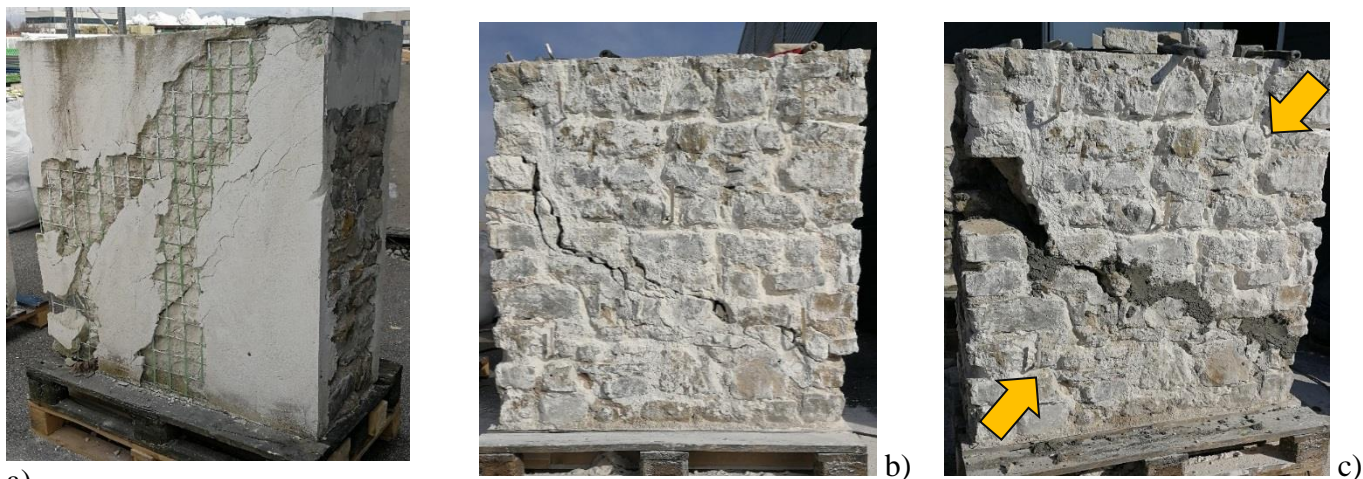
Tabella 1. Caratteristiche dei campioni testati

campione	descrizione
MP1_UR	Nessuna lesione preesistente e nessun
MP2_UR	rinforzo
MP3_REP	Riparazione della lesione preesistente
MP4_REI	Riparazione della lesione preesistente e
MP5_REI	rinforzo con Reticolatus e pannelli CLT
MP6_REI	

2.1 Applicazione della tecnica di rinforzo

Il rinforzo dei campioni MP4_REI, MP5_REI, MP6_REI è avvenuto secondo i passaggi descritti in questo paragrafo.

I giunti di malta della superficie muraria rinforzata con la tecnica del Reticolatus sono stati scarniti per una profondità di circa 50 mm (Figura 3a).



a) I campioni murari impiegati nella campagna sperimentale presentata in questo articolo erano già stati sottoposti in precedenza a prove di compressione diagonale. b) Sono stati rimossi i sistemi di rinforzo applicati ai pannelli murari ed è stato asportato il materiale incoerente. c) In tutti i campioni è stata risarcita la lesione diagonale. Le frecce indicano la direzione di applicazione del carico di compressione nei nuovi test effettuati, di cui al presente articolo.

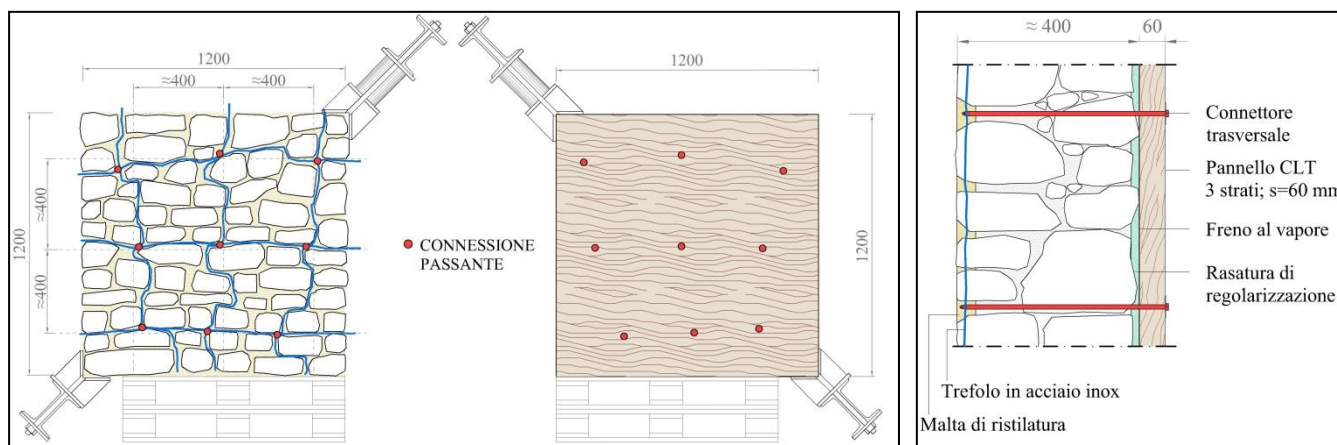


Figura 2. Schematizzazione del rinforzo applicato ai campioni in muratura di pietra: un lato è stato rinforzato con la tecnica del Reticolatus, l'altro lato è stato rinforzato giustapponendo alla muratura un pannello di CLT. I due sistemi di rinforzo sono fra loro collegati da 9 connessioni trasversali disposti in corrispondenza dei nodi della maglia del Reticolatus.

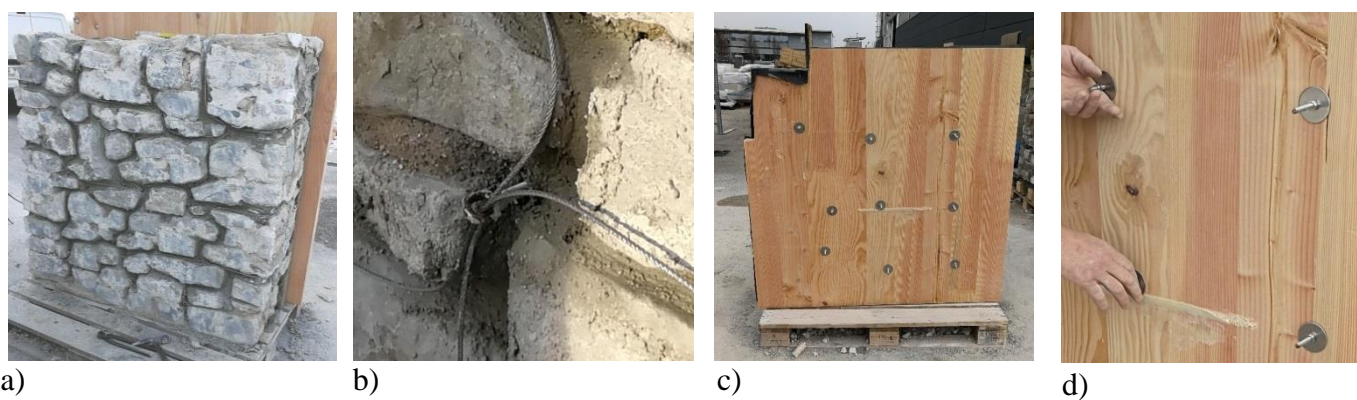


Figura 3. Rinforzo dei pannelli: a) applicazione del sistema Reticolatus su una faccia; b) i trefoli in acciaio del sistema Reticolatus vengono fatti passare all'interno dell'occhiello del connettore trasversale. c) Applicazione del pannello CLT; d) serrando il dado sull'estremità filettata del connettore trasversale viene applicata una leggera pretensione ai trefoli in acciaio presenti sulla superficie muraria opposta.

In funzione delle dimensioni delle pietre e della loro tessitura, si è deciso di disporre tre trefoli di acciaio orizzontali e tre verticali (Figura 2), realizzando una maglia di dimensioni 400 mm circa. Stabilita la geometria del rinforzo, in corrispondenza dei 9 nodi della maglia sono stati realizzati i fori passanti (diametro 12 mm) per la disposizione delle connessioni trasversali.

I connettori sono costituiti da barre filettate in acciaio inox caratterizzati dalla presenza di un anello su una delle due estremità.

Dopo aver realizzato una prima parziale ristilatura dei giunti, sono stati disposti i trefoli in acciaio secondo lo schema precedentemente definito. I cavi sono stati fatti passare all'interno degli occhielli dei connettori trasversali (Figura 3c) ma erano liberi di scorrere al loro interno.

L'altra superficie muraria è rinforzata con un pannello CLT. Nello specifico si è adottato un pannello di spessore 60 mm costituito di 3 strati di legno Douglasia (*Pseudotsuga Menziesii*), avente dimensioni uguali a quelle del campione murario (1200x1200 mm).

L'applicazione del pannello CLT è stata preceduta dalla regolarizzazione della superficie muraria con apposita rasatura. Inoltre, tra il pannello ligneo e la muratura è stata interposta una membrana in polietilene. L'utilizzo di una barriera al vapore è infatti necessario nella reale applicazione del rinforzo per proteggere il pannello ligneo dall'umidità della muratura.

Sull'estremità filettata del connettore è stata montata una rosetta di grandi dimensioni e un dado (Figura 3) in modo che, serrando il dado, l'opposizione della rosetta contro il pannello CLT permettesse l'applicazione di una leggera pretensione ai cavi del Reticolatus che passano all'interno dell'opposta estremità del connettore.

Il foro trasversale non è stato riempito con alcun tipo di malta o resina.

È infine stato realizzato il completamento della ristilatura dei giunti di malta che, inglobando sia i cavi in acciaio che le teste dei connettori, permette di ottenere la finitura faccia-vista della muratura.

2.2 Materiali impiegati nella sperimentazione

2.2.1 Malte

Sono state impiegate tre differenti malte:

- malta per il ripristino delle lesioni diagonali causate delle precedenti prove, nel seguito indicata con la sigla LE. Si tratta di una malta confezionata in opera

secondo un rapporto 2:1:1 di sabbia, calce idraulica e cemento;

- malta per la ristilatura dei giunti nel rinforzo Reticolatus, nel seguito identificata dalla sigla RI. Si tratta di una malta premiscelata a base di calce e cemento;
- malta per la rasatura delle superfici murarie sulle quali poi è stato applicato il pannello CLT, nel seguito indicata con la sigla RA. Anche in questo caso è stata impiegata una malta premiscelata a base di calce e cemento.

Al momento della riparazione e del rinforzo dei pannelli murari sono stati prelevati dei campioni delle tre malte, realizzando provini prismatici di dimensioni 40x40x160 mm.

In Tabella 2 sono riportati i risultati delle prove di flessione e compressione eseguite su tali provini secondo le indicazioni della norma UNI-EN 1015-11:2007.

Tabella 2. Caratteristiche meccaniche delle malte impiegate nella sperimentazione: la sigla LE indica la malta utilizzata per risarcire le lesioni preesistenti; la sigla RI indica la malta utilizzata per la ristilatura dei giunti, la sigla RA indica la malta utilizzata per la rasatura della superficie muraria su cui poi è stato applicato il pannello CLT.

Tipo di malta	LE	RI	RA
Peso specifico [kg/m ³]	2129	1807	1717
Resistenza media a flessione [MPa]	6.13	4.89	4.01
n. campioni testati	6	9	9
CoV [%]	12.6	17.9	14.6
Resistenza media a compressione [MPa]	38.41	14.41	10.76
n. campioni testati	12	18	18
CoV [%]	14.8	38.3	19.3

2.2.2 Pannelli CLT

I pannelli impiegati nella sperimentazione hanno uno spessore di 60 mm e sono costituiti di 3 strati di legno Douglasia. Il peso specifico dei pannelli è di 500 kg/m³. Nella scheda tecnica del produttore è indicata una resistenza a compressione perpendicolare alle fibre di 2.9 MPa. Il modulo elastico nella direzione perpendicolare e parallela alle fibre risulta rispettivamente di 430 MPa e 13000 MPa. Il modulo di taglio G è di 810 MPa. Per quanto riguarda la durabilità naturale (UNI EN 350:2016) il legno di Douglasia rientra nella classe 3.

2.2.3 Trefoli in acciaio inox

I trefoli utilizzati nella tecnica del Reticolatus sono in acciaio inossidabile AISI 316 e sono costituiti da 49 fili ognuno del diametro di 0.33 mm. Sulla base dei dati riportati nella scheda tecnica del produttore il trefolo presenta una tensione caratteristica di rottura di 1416 MPa e un modulo elastico medio di 81.5 GPa.

3 PROVE DI COMPRESSIONE DIAGONALE

3.1 Set-up di prova

Due angolari metallici sono stati disposti alle estremità di una delle diagonali del campione murario. Le dimensioni degli angolari rispettano le prescrizioni della norma ASTM E519.

Un martinetto idraulico è stato posizionato fra l'angolare superiore e un elemento metallico di contrasto più esterno collegato all'angolare inferiore tramite delle barre in acciaio. In tal modo è stato realizzato un sistema chiuso che permette l'applicazione di una sollecitazione di compressione lungo la diagonale del campione.

Il carico di prova è stato impartito al martinetto tramite una pompa idraulica manuale dotata di trasduttore di pressione.

Le prove sono state effettuate eseguendo cicli di carico e scarico crescenti fino alla rottura del pannello.

I campioni sono stati strumentati con due trasduttori di spostamenti induttivi LVDT su ciascuna faccia, disposti lungo le diagonali del pannello ed aventi una base di misura di circa 1000 mm.

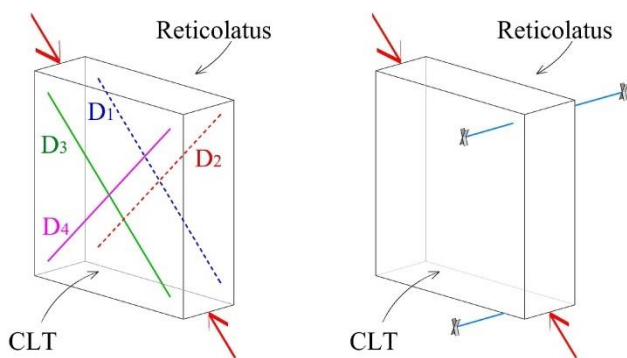


Figura 4. Schematizzazione delle grandezze acquisite durante le prove eseguite sui campioni con rinforzo ibrido: oltre agli accorciamenti delle diagonali D1 e D3 (parallele alla direzione di applicazione del carico) e agli allungamenti delle diagonali D2 e D4 (perpendicolari al carico), sono stati acquisiti gli spostamenti ortogonali al piano del campione in corrispondenza del vertice superiore della diagonale tesa e di un punto di controllo sulla base di appoggio.

Per valutare l'effetto della dissimmetria che caratterizza la tecnica di rinforzo proposta in questo articolo, le prove di compressione diagonale sui pannelli MP4-REI, MP5-REI e MP6-REI sono state condotte predisponendo, oltre alla strumentazione delle quattro diagonali, degli LVDT per l'acquisizione degli spostamenti perpendicolari al piano del pannello in corrispondenza del vertice superiore della diagonale tesa, come rappresentato schematicamente in Figura 4.

3.2 Analisi dei risultati

La resistenza a trazione della muratura è stata valutata a partire dal carico massimo di compressione registrato nel corso della prova (P_{max}) in accordo con la normativa RILEM secondo la seguente equazione:

$$f_t = 0.5 \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

dove A è l'area della sezione orizzontale del campione considerata al netto dell'incremento di spessore dovuto all'applicazione del pannello CLT.

Il valore di resistenza a taglio τ_0 è stato valutato in accordo con il criterio di resistenza formulato da Turnsek-Cacovic:

$$\tau_0 = \frac{f_t}{1.5} \quad (2)$$

A partire dalla lunghezza iniziale dell'i-esima base deformometrica ($D_{i_iniziale}$) e dall'acquisizione del corrispondente LVDT (D_i), la deformazione della i-esima diagonale (ε_i) viene calcolata secondo la relazione:

$$\varepsilon_i = \frac{D_i - D_{i_iniziale}}{D_{i_iniziale}} \quad (3)$$

Il comportamento complessivo del pannello può essere valutato mediando i valori relativi alle diagonali tese e compresse dei due lati, così da ottenere le deformazioni medie di compressione (ε_c) e di trazione (ε_t). La deformazione angolare γ viene quindi calcolata come:

$$\gamma = |\varepsilon_c| + |\varepsilon_t| \quad (4)$$

La rigidità a taglio G dei campioni è stata valutata come modulo secante la curva tensione tangenziale – deformazione angolare fra il 10% ed il 40% della tensione tangenziale massima:

$$G = \frac{\tau_{40\%} - \tau_{10\%}}{\gamma_{40\%} - \gamma_{10\%}} = \frac{1.05}{A} \cdot \frac{P_{40\%} - P_{10\%}}{\gamma_{40\%} - \gamma_{10\%}} \quad (5)$$

3.3 Risultati della sperimentazione

Durante le prove eseguite sui tre campioni rinforzati, le acquisizioni degli LVDT disposti su diagonali fra loro parallele (D1-D3 e D2-D4) sono state pressoché simmetriche fino alla fessurazione della muratura. In seguito, le letture degli strumenti posizionati sul pannello CLT hanno repentinamente invertito il loro andamento. Infatti, mentre nella muratura la rigidità diminuisce progressivamente, il pannello di legno conserva le sue caratteristiche iniziali. Ciò produce una differente risposta dei due elementi, che porta allo sviluppo di una deformazione del pannello di legno perpendicolare al piano del campione. Tale deformazione era ben visibile al termine della prova ed è stata schematicamente rappresentata in Figura 5 amplificandone l'entità. Nelle figure 6 e 7 sono riportati, a titolo esemplificativo, gli andamenti delle acquisizioni degli LVDT posizionati sulle quattro diagonali del campione MP4_REI.

Nella prima fase della prova, fino al raggiungimento del carico massimo, si è quindi ritenuto di poter considerare un comportamento medio delle due facce e poter trattare i dati acquisiti secondo l'equazione 4. In tal modo è stato possibile calcolare il modulo di taglio G dei campioni testati (equazione 5).

In Tabella 3 sono riportati i risultati delle prove eseguite.

Il campione riparato ha mostrato una resistenza media a taglio τ_0 pari a 0.128 MPa, il 30% circa in più del valore medio (0.099 MPa) dei due campioni non danneggiati e non rinforzati testati in una precedente campagna sperimentale.

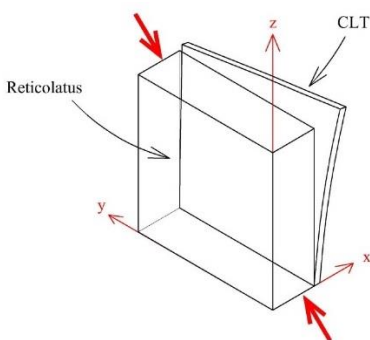


Figura 5. Schematizzazione delle deformazioni osservate al termine delle prove di compressione diagonale nei campioni rinforzati. L'entità della deformazione è amplificata per facilitarne la rappresentazione.

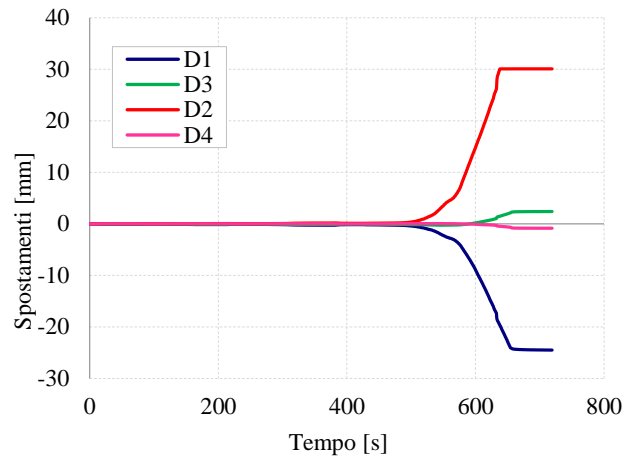


Figura 6. Andamento degli allungamenti/contrazioni delle quattro diagonali del campione MP4_REI in funzione del tempo.

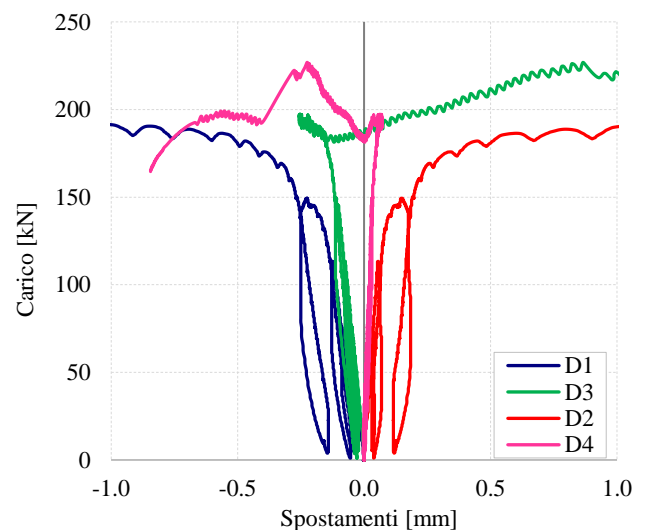


Figura 7. Andamento degli allungamenti/contrazioni delle quattro diagonali del campione MP4_REI in funzione del carico applicato.

Per la tipologia muraria che caratterizza i campioni testati (muratura in pietre a spacco di buona tessitura) la circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019 fornisce un intervallo di variabilità della τ_0 pari a 0.056-0.074 MPa (Tab. C8.5.I) e un relativo coefficiente amplificativo per la presenza di malta di buona qualità di 1.3 (Tab. C8.5.II). Il valore di resistenza ottenuto per il campione MP2_UR ($\tau_0=0.081$ MPa) è quindi interno al range fornito dalla norma (0.0728-0.0962 MPa), mentre i campioni MP1_UR e MP2_REP hanno mostrato resistenze superiori.

Si può quindi affermare che l'aver risarcito le lesioni preesistenti e l'aver applicato il carico di compressione secondo la diagonale rimasta integra dopo le prove precedenti, ha permesso di ottenere valori di resistenza del tutto paragonabili a quelli tipici per la specifica tipologia muraria.

Confrontando i valori di resistenza dei campioni rinforzati con il valore ottenuto per il campione riparato (MP3_REP) e non rinforzato, si osserva un significativo incremento di resistenza. Infatti, il valore medio della τ_0 dei campioni rinforzati è di 0.180 MPa, superiore del 40% rispetto alla resistenza del campione solo riparato (e circa l'82% in più rispetto al valore medio dei due campioni non danneggiati e non rinforzati testati in una precedente campagna sperimentale).

In Figura 8 sono riportate le curve tensione tangenziale - deformazione angolare delle prove eseguite. Nel caso dei tre campioni rinforzati, la parte di curva che segue la perdita di simmetria di comportamento del campione è stata rappresentata con una linea grigia tratteggiata.

Per quanto riguarda la rigidità, il valore medio del modulo di elasticità tangenziale G dei campioni rinforzati è 1633 GPa, quasi il doppio del modulo G del campione riparato MP3_REP.

Va tuttavia osservato che i valori dei moduli di taglio G determinati per i campioni MP1_UR e MP2_UR erano notevolmente superiori rispetto a quelli determinati in questa campagna sperimentale, a conferma della nota dispersione dei valori di questo coefficiente.

L'impossibilità di applicare l'equazione 4 alle fasi post-picco delle prove non permette di fare considerazioni sulla duttilità dei campioni. Tuttavia, prescindendo da valutazioni quantitative, dalle curve di Figura 8 si può osservare come i campioni rinforzati mantengano pressoché inalterato il carico massimo di prova fino ad elevati valori delle deformazioni.

Tabella 3. Risultati delle prove di compressione diagonale. Sono riportati il carico massimo (P_{max}), la resistenza a taglio (τ_0) ed il rapporto tra la resistenza a taglio del campione rinforzato e quella del campione solo riparato ($\tau_{0,REI}/\tau_{0,REP}$).

campione	P_{max} [kN]	τ_0 [MPa]	$\tau_{0,REI}/\tau_{0,REP}$ [-]	G [MPa]
MP1_UR	161.6	0.117	-	3123
MP2_UR	107.0	0.081	-	2254
MP3_REP	179.4	0.128	-	791
MP4_REI	282.8	0.191	1.49	1489
MP5_REI	226.9	0.157	1.23	1661
MP6_REI	292.1	0.193	1.51	1750

Per quanto riguarda le modalità di rottura, nel campione riparato MP3_REP, poco prima del raggiungimento del carico massimo si è formata un'unica fessurazione diagonale che ha interessato l'intero spessore murario, seguendo l'andamento dei giunti di malta. Al crescere delle deformazioni si è osservato l'ampliamento della prima lesione e la formazione di una seconda che ripercorreva parzialmente la lesione preesistente (Figura 9).

Nei campioni rinforzati, sulla faccia in cui era stato applicato il Reticolatus si sono manifestate fessure nei giunti di malta, con un andamento parallelo alla direzione di applicazione del carico, diffuse su una zona di ampiezza di 50 cm circa (Figura 10). Osservando il fianco del campione si nota che tali fessure hanno interessato l'intero spessore della muratura (Figura 10c). I pannelli CLT non hanno invece riportato lesioni visibili (Figura 10b). Tuttavia, una volta smontato il setup di prova, rimuovendo i dati e le rosette applicate alle estremità dei connettori, è stato osservato un lieve rifollamento del pannello per effetto dei connettori trasversali (Figura 11a).

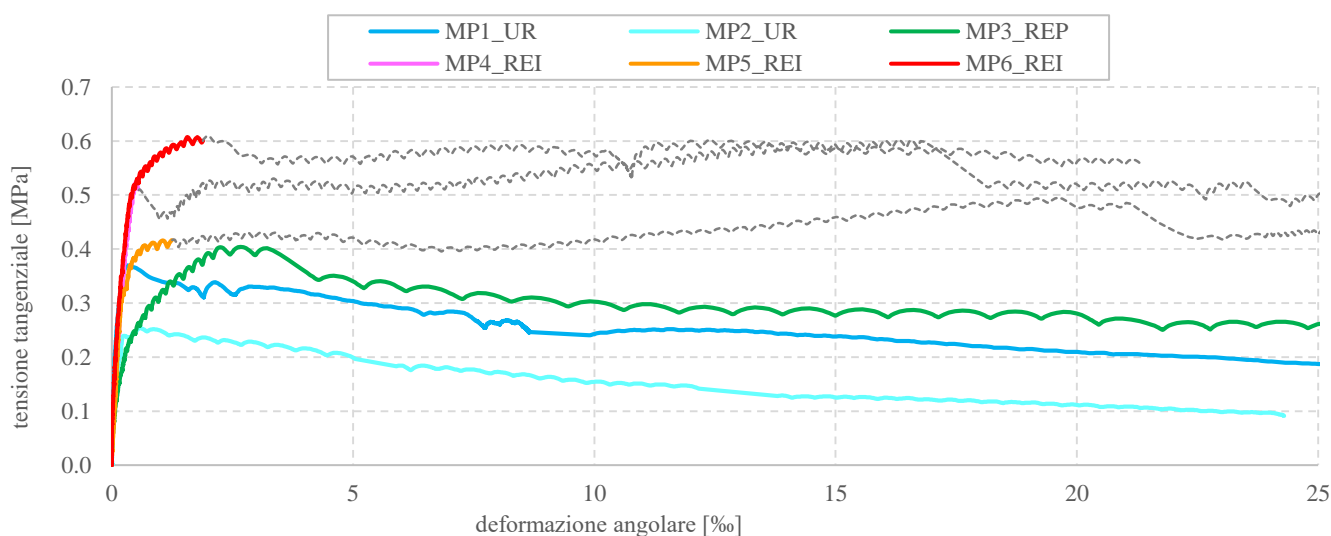


Figura 8. Curve tensione tangenziale vs deformazione angolare dei campioni testati.

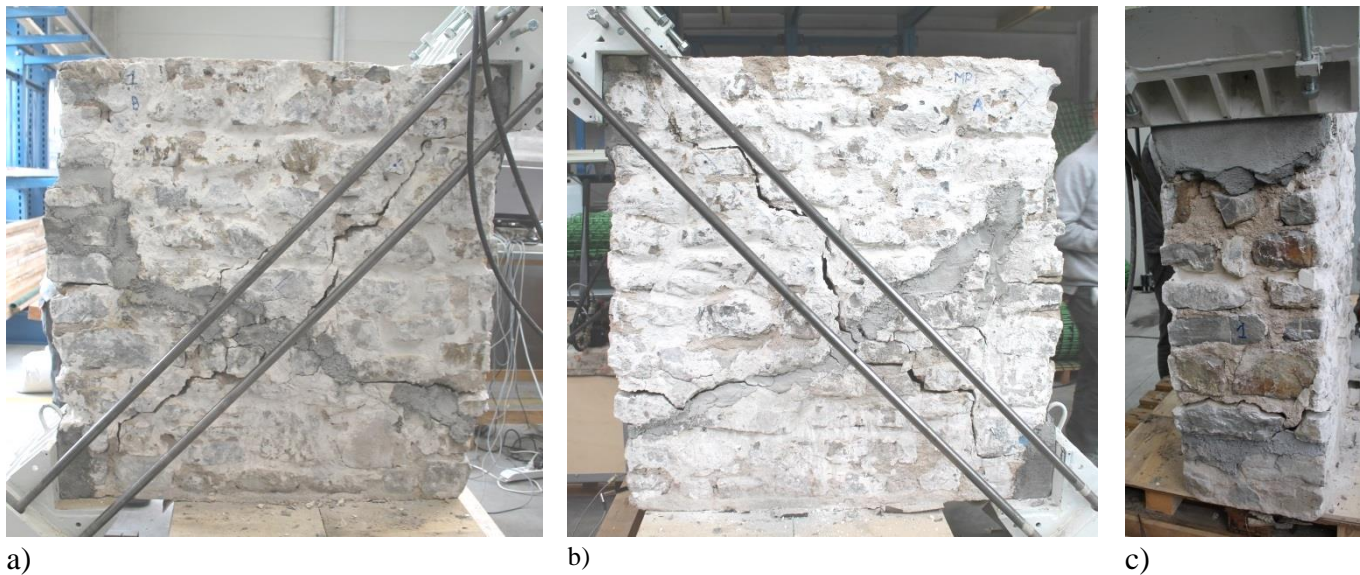


Figura 9. Campione MP3_REP riparato al termine della prova di compressione diagonale.

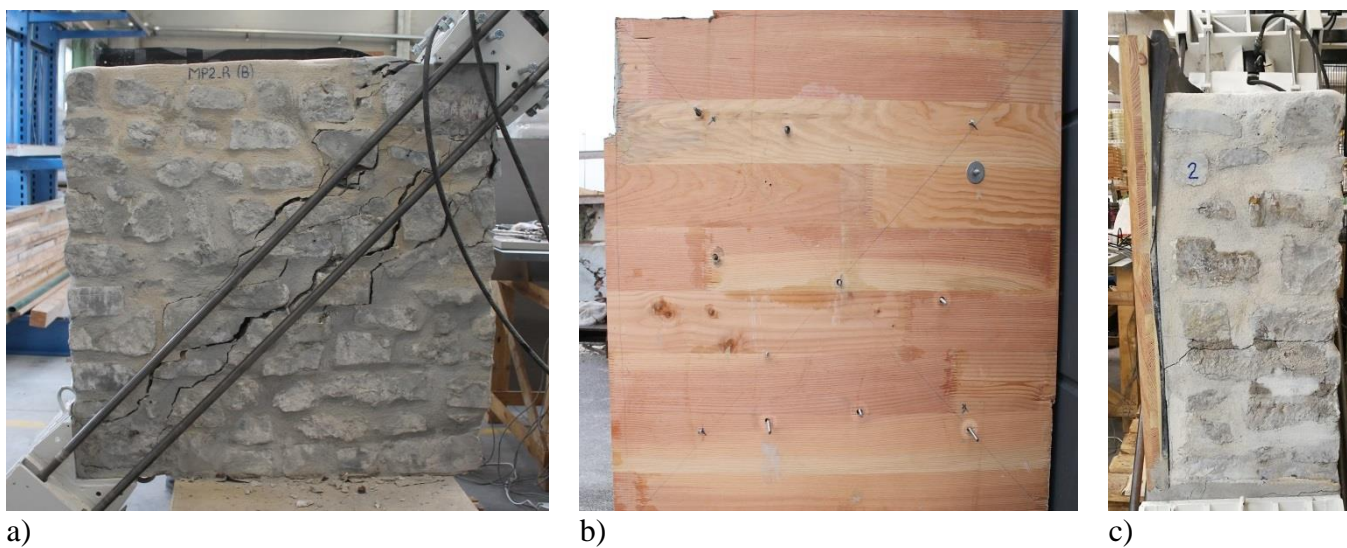


Figura 10. Campione MP4_REI con rinforzo ibrido al termine della prova di compressione diagonale.

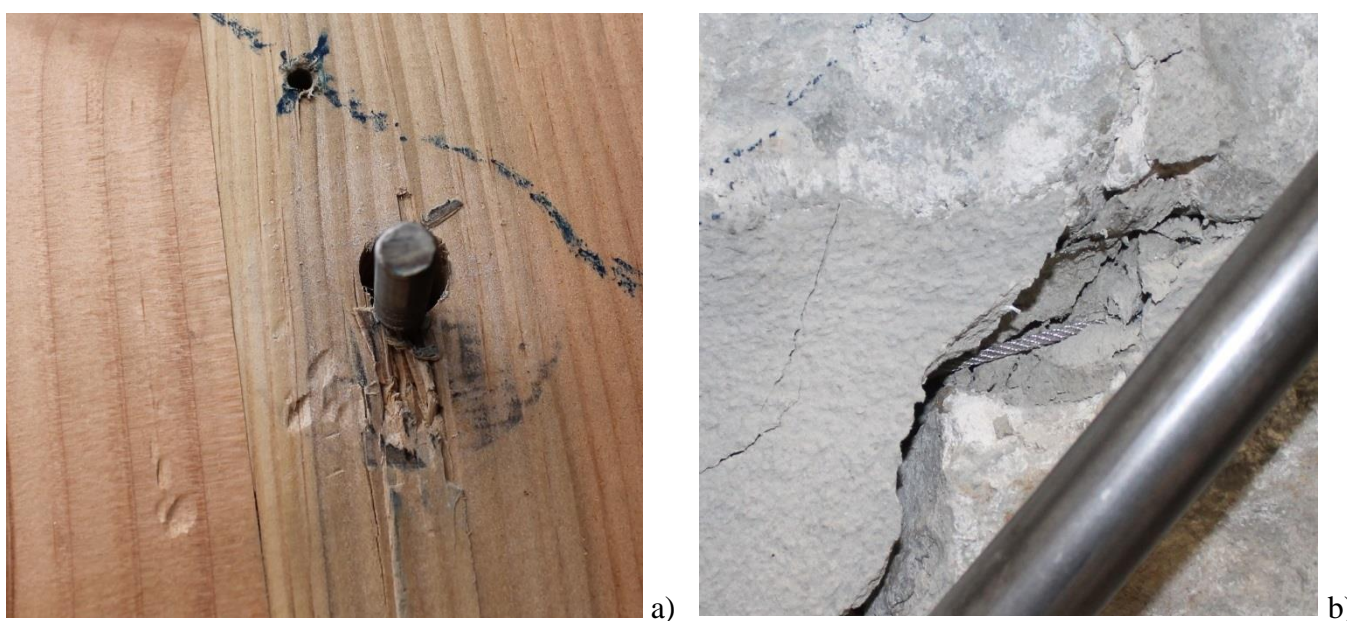


Figura 11. Dettagli del campione MP4_REI al termine della prova di compressione diagonale. a) lieve rifollamento del pannello CLT per effetto del connettore trasversale; b) cavo in acciaio inox che costituisce la maglia del Reticolatus.

4 CONCLUSIONI

È stato proposto un nuovo metodo di rinforzo delle murature facciavista, che prevede l'utilizzo della tecnica del Reticolatus su una faccia e l'applicazione di un pannello CLT sull'altra, con il fine di migliorare sia la resistenza meccanica della muratura che le prestazioni termo-acustiche della parete su cui è applicata.

La capacità isolante dei pannelli di CLT conduce a importanti miglioramenti delle prestazioni energetiche e delle condizioni di comfort e salubrità all'interno dell'edificio; tali benefici sono ben noti, mentre invece ancora da investigare è la risposta meccanica degli elementi murari rinforzati con tale materiale.

Nel presente lavoro è stata valutata la capacità di incrementare la resistenza a taglio della muratura considerando il caso di riparazione di murature facciavista lesionate, realizzando 4 prove di compressione diagonale su campioni fessurati da test precedenti.

I risultati ottenuti mostrano che la tecnica proposta consente di ottenere un sensibile incremento della resistenza a taglio, valutato mediamente pari al 40% rispetto al pannello in cui è stata semplicemente risarcita la lesione.

È evidente che tali risultati devono essere confermati attraverso ulteriori test, riguardanti anche tipologie murarie differenti da quelle qui considerate e facendo variare anche le caratteristiche dei rinforzi applicati, in modo da comprendere come tali parametri influiscono sulla resistenza complessiva della muratura rinforzata, con il fine ultimo di ricavare delle regole di dimensionamento per la tecnica in questione.

5 RICONOSCIMENTI

Si ringrazia XlamItalia s.r.l.s. per la fornitura dei pannelli di CLT. Si ringrazia Fibre Net s.p.a per la fornitura degli altri materiali impiegati nella sperimentazione, per la predisposizione dei campioni e l'assistenza nell'esecuzione delle prove.

Il nome "Reticolatus" è un marchio registrato della Unilab srl (già spin off dell'Università degli Studi di Perugia).

BIBLIOGRAFIA

- ASTM E519/E519M, 2010. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.
- Borri A., Sisti, R., Gattesco, N., Boem, I., Dudine A., 2013, Sperimentazioni su murature Faccia vista rinforzate con reticolo di trefoli metallici inseriti nei giunti e intonaco con rete in GFRP. *Structural*, 182, paper 24.
- Borri, A., Castori, G., Corradi, M., Sisti, R., 2014. Masonry wall panels with GFRP and steel-cord strengthening subjected to cyclic shear: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 56, 63-73
- Borri, A., Corradi, M., Sisti, R., Buratti, C., Belloni, E., Moretti, E., 2015. Masonry wall panels retrofitted with thermal-insulating GFRP-reinforced jacketing. *Materials and Structures*, DOI 10.1617/s11527-015-0766-4
- Castori, G., Corradi, M., Borri, A., Sisti, R., 2016. The Reticulatus method for shear strengthening of fair-faced masonry. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-25
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S. LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al DM 17 gennaio 2018.
- Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- Gattesco, N., Amadio, C., Bedon, C., 2015. Experimental and numerical study on the shear behavior of stone masonry walls strengthened with GFRP reinforced mortar coating and steel-cord reinforced repointing. *Engineering Structures*, 90, 143-157
- Lamperti Tornaghi, M., Loli, A., Negro, P., 2018. Balanced Evaluation of Structural and Environmental Performances in Building Design. *Buildings*, 8, 52.
- Lucchini, A., Mazzucchelli E. S., Mangialardo S., Persello M., 2014. Façadism and CLT technology: an innovative system for masonry construction refurbishment. *40th IAHS World Congress on Housing -Sustainable Housing Construction*. December 16-19, Funchal, Portugal.
- Marini, A., Passoni. C., Belleri, A., Feroldi, F., Preti, M., Metelli, G., Riva, P., Giuriani, E., Plizzari, G., 2017 Combining seismic retrofit with energy refurbishment for the sustainable renovation of RC buildings: A proof of concept. *Eur. J. Environ. Civ.Eng.* 1-21
- Menna, C., Vitiello U., Mauro, G.M., Asprone D., Bianco N., Prota, A., 2019. Integration of Seismic Risk into Energy Retrofit Optimization Procedures: A Possible Approach Based on Life Cycle Evaluation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 290 012022
- Pozza, L., Evangelista, F., Scotta, R., 2017. CLT used as seismic strengthener for existing masonry walls. *XVII Convegno ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia*. 17-21 Settembre, Pistoia, Italy.
- RILEM TC. 76-LUM, 1994. Diagonal tensile strength tests of small wall specimens, *RILEM Recommendations for the Testing and use of Constructions Materials*, pp. 488-489, E&EN SPON, London.
- Sustersic, I., Dujic, B., 2012. Seismic Strengthening of existing buildings with cross laminated timber panels.

World Conference on Timber Engineering, Auckland,
16-19 July.

UNI-EN 350:2016. Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prove e classificazione della durabilità agli agenti biologici del legno e dei materiali a base di legno

UNI-EN 1015-11:2007. Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione della malta indurita.