

Basalt fibre stitchings: a new technique for strengthening masonry

Francesco Monni^{a*}

^a A.h.R.T.E. Srl – Spin Off, Università Politecnica delle Marche, DICEA, Via Brecce Bianche 12, Ancona, 60131, Italia

Highlights

The most important characteristic that historic masonry should have is that of a monolithic behaviour.

Stitching masonry through basalt fiber ropes is an innovative technique, able to connect the several masonry elements and to convey it a monolithic behaviour.

The results of tests executed indicate the effectiveness of this retrofitting system.

Abstract

Rehabilitation of historical masonry is a demanding task, especially in seismic zones, where vulnerable buildings and structures can suffer severe damages and losses, as recent earthquakes testify. The idea of a strengthening technique able to connect masonry elements, stitching them, based on the use of basalt fibre ropes arise from the awareness that one of the worst structural defects of an historic masonry wall is the lack of monolithic behaviour. To assess the effectiveness of proposed technique, experimental (laboratory and “in situ” tests) has been performed. The main results show its potentiality and full sustainability.

Keywords

Masonry, Consolidation, Basalt fibre, Monolithicity

1. INTRODUZIONE

In Italia, così come del resto in molte altre regioni soggette all’azione del sisma, gli edifici storici in muratura rappresentano una significativa porzione del patrimonio edilizio. Solitamente queste strutture non soddisfano le prescrizioni delle più recenti normative in materia di sicurezza sismica e sono caratterizzate da una notevole vulnerabilità al terremoto. L’approccio proposto da vari autori [1, 2], che in caso di sisma vede gli edifici storici in muratura reagire per “macroelementi” non manifestando quindi un chiaro comportamento strutturale globale, risulta ormai consolidato anche all’interno del quadro normativo che regola gli interventi sulle costruzioni esistenti in muratura in genere [3, 4] e anche sugli edifici di interesse storico ed architettonico [5]. È possibile quindi verificare la sicurezza di un edificio storico in muratura rispetto all’azione sismica attesa, valutando la possibile attivazione dei cosiddetti “cinematismi di collasso”, valutazione necessaria per l’eventuale progetto di opportuni presidi a contrasto. Un’ipotesi imprescindibile che sta alla base della teoria della discretizzazione dell’edificio in macroelementi è quella di poter considerare queste parti di edificio come monolitiche e, quindi, che la muratura che li compone sia di “buona qualità” (Figura 1). Al contrario, se la muratura è stata realizzata senza seguire i dettami della cosiddetta “regola dell’arte”, è molto probabile che questa reagisca al sisma disgregandosi caoticamente: non ha senso, in quest’ultimo caso, ragionare sull’attivazione di cinematismi di collasso e, purtroppo, anche un terremoto di modesta entità può essere sufficiente a provocare danni ingenti. Appare quindi fondamentale e prioritario, prima di ogni altro intervento

* Corresponding author. Tel.: +39-339-608-8721; e-mail: ahrte@univpm.it

sulla struttura e tra le sue parti, andare a colmare le carenze in termini di monoliticità della muratura, riportando la stessa ad un comportamento più vicino agli apparecchi murari di “buona qualità”.



Figura 1: Risposta della muratura ad azioni orizzontali fuori dal piano: se è di “buona qualità” (a sinistra) ci si può aspettare un comportamento monolitico, al contrario, se è di “scarsa qualità” (a destra) si disgrega caoticamente. In caso di “media qualità” dell’apparecchio murario (al centro), ci si deve aspettare un comportamento intermedio. L’attivazione di meccanismi di collasso in caso di sisma è subordinata alla capacità della muratura di comportarsi in maniera monolitica.

Da qui l’idea di mettere a punto una tecnica di consolidamento per assecondare questa esigenza, in linea con i principi che regolano gli interventi sul costruito storico, vale a dire: tendenza al minimo intervento, ricerca della compatibilità, reversibilità dell’intervento, rispetto dell’autenticità, conservazione della materia, controllo dell’impatto visivo e riconoscibilità degli interventi.

2. STATO DELL’ARTE

La tecnica proposta mira a connettere la muratura conferendole un comportamento monolitico. Essa consiste nell’inserimento di un rinforzo continuo (una corda realizzata in fibra di basalto) sulle facce e attraverso lo spessore del pannello murario, seguendo un percorso progettato “su misura” per la tessitura muraria da consolidare. Rispetto all’inserimento di barre in acciaio (o in FRP) nei giunti di malta – repointing – si può lavorare con un materiale più leggero e più versatile (la corda in basalto) e, soprattutto, in grado di essere inserito anche nello spessore, creando cuciture continue e flessibili, al contrario di altre tecniche che puntano ugualmente a rendere monolitica la parete [6, 7]. Per produrre la fibra di basalto è necessario portare la roccia alla temperatura di fusione (circa 1400 °C) in una fornace; il fuso è quindi estruso per produrre filamenti continui. Le fibre così ottenute, che risultano avere caratteristiche meccaniche comprese tra quelle delle fibre di vetro e quelle delle fibre di carbonio [8], possono essere sottoposte a lavorazioni di "tessitura" che consentono di realizzare anche corde (Figura 2), per le quali è stata proposta una procedura di caratterizzazione e che mostrano buone prestazioni in termini di resistenza [9] Il basalto è un materiale durevole [10, 11],

resistente alle alte temperature [12] e sicuro nonostante le caratteristiche delle sue fibre possano indurre a similitudini con l'amianto [13].



Figura 2: dalla fusione della roccia basaltica si ottengono fibre ad elevate prestazioni che dopo operazioni di filatura possono essere usate nei più svariati modi, tra i quali anche la tessitura di corde.

3. METODOLOGIA

Nel dettaglio, le fasi della lavorazione possono venir riassunte come di seguito descritto (Figura 3):

- fori passanti di diametro contenuto vengono praticati sulla muratura da consolidare. La dislocazione viene stabilita dopo un attento esame della tessitura muraria;
- il rinforzo continuo e flessibile viene fatto passare sulle due facce e nello spessore del pannello murario come se andasse a “cucirlo”. L'applicazione viene eseguita con una minima pre-tensione, quella esercitata a mano dall'operatore;
- l'operazione può essere ripetuta anche in più direzioni, sfruttando sempre gli stessi fori, con il risultato di aver confinato la muratura con una maglia di elementi continui connessi tra loro.

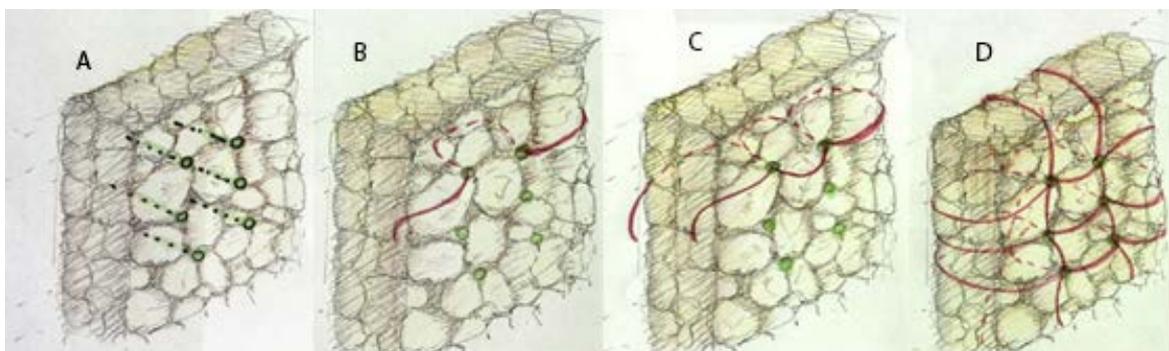


Figura 3: le fasi dell'intervento con cuciture continue flessibili: esecuzione di fori passanti (a), inserimento della corda in basalto (b) in modo da creare una “maglia” con funzione di collegamento e contenimento degli elementi costituenti la muratura (c, d).

Per verificare l'efficacia del sistema nel conferire monoliticità alla muratura, sono state messe a punto diverse campagne sperimentali non solo in laboratorio ma anche in situ. Le esperienze di laboratorio hanno riguardato

principalmente la tipologia della “muratura a sacco”, frequentemente utilizzata nelle costruzioni storiche del nostro patrimonio edilizio e caratterizzata da un nucleo incoerente contenuto all’interno di due cortine esterne realizzate in mattoni o pietra. I pannelli murari “a sacco” che presentano poche connessioni tra le cortine esterne (o se queste sono inefficaci) risultano molto vulnerabili alle azioni fuori dal piano, poiché sono più simili ad un insieme di pareti sottili e snelle che non ad un univo corpo. In un programma sperimentale [14] l’applicazione delle cuciture in basalto è stata eseguita con l’utilizzo di resina, mentre in un’analoga campagna [15] si è cercato di incrementare la reversibilità e la sostenibilità dell’intervento (Figura 4) escludendo l’uso di adesivi sintetici ed applicando il rinforzo “a secco” (limitando il ruolo della malta, scelta con composizione comunque compatibile con il substrato storico, a semplice allettamento e finitura). Va evidenziato come in entrambi i casi il rinforzo sia stato progettato per essere collocato all’interno dei giunti di malta e quindi renderlo invisibile. Per quanto riguarda i test in situ, la tecnica è stata applicata su campioni di muratura di scarsa qualità, realizzata con pietre erratiche e irregolari, del centro abruzzese di Onna (tristemente noto alle cronache per le perdite di vite umane e le distruzioni subite nel sima aquilano del 2009) e si confrontata la prestazione dei campioni non rinforzati rispetto a quelli consolidati [16, 17]. Da ultimo, è stata svolta un’ulteriore campagna di laboratorio per valutare l’efficacia del consolidamento nell’incrementare la sicurezza delle pareti anche nei confronti delle azioni fuori dal piano [18] per contrastare l’attivazione di meccanismi di ribaltamento o di flessione verticale (Figura 5).

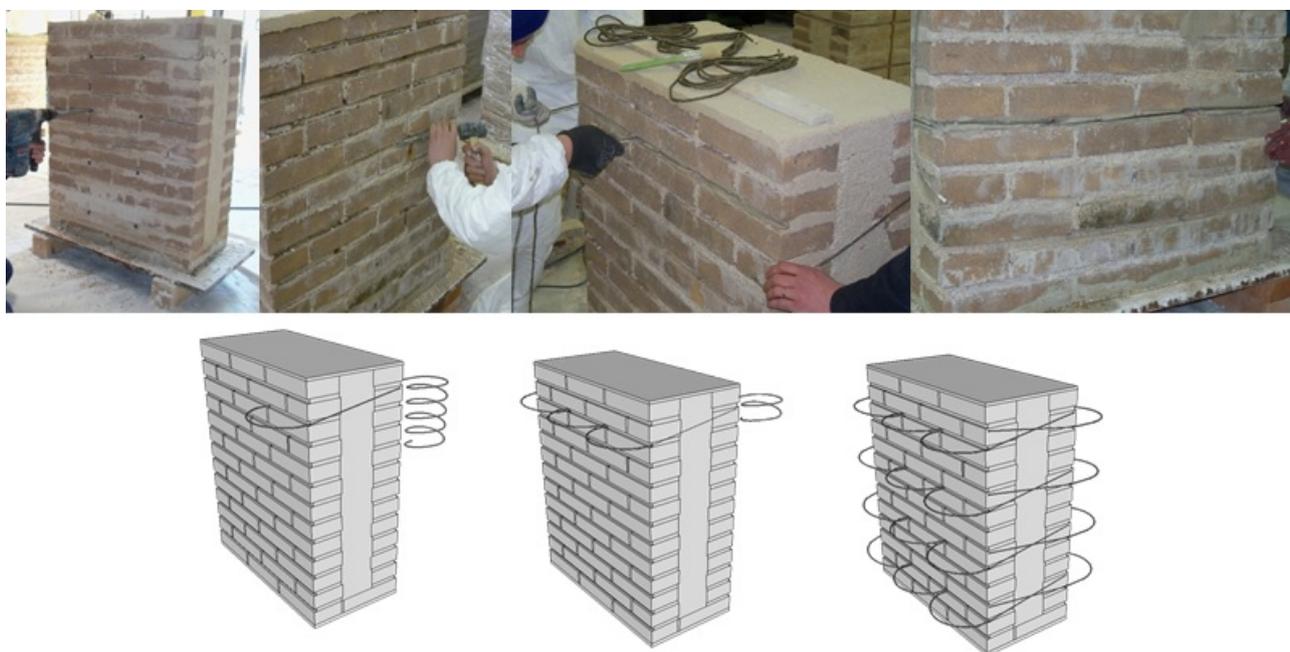


Figura 4: applicazione della tecnica di consolidamento con cuciture continue flessibili in fibra di basalto su campioni di muratura “a sacco” da testare a compressione [15].

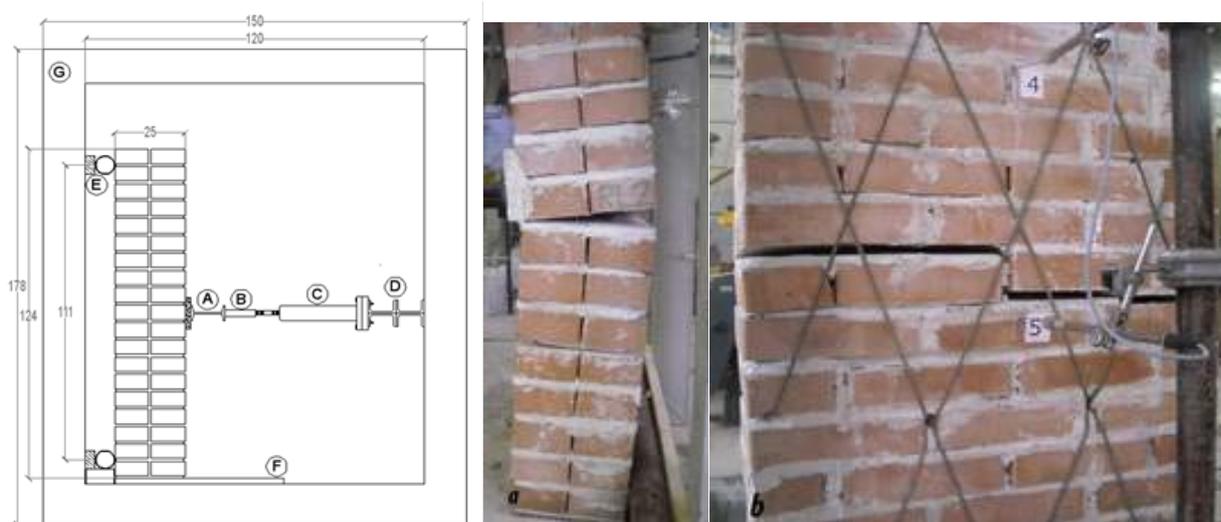


Figura 5: applicazione della tecnica di consolidamento con cuciture continue flessibili in fibra di basalto su campioni di muratura in laterizio per valutare l'efficacia nei confronti delle azioni fuori dal piano [16].

4. RISULTATI SPERIMENTALI

Per quanto riguarda le campagne di laboratorio condotte sui provini di muratura a sacco, entrambe le applicazioni (“a secco” e con l’utilizzo di resina) hanno fornito buoni risultati nell’incrementare la monoliticità dei campioni testati [14, 15]: il sistema è risultato in grado di modificarne la modalità di collasso, sfruttando al meglio le capacità dei materiali e determinando una riduzione della deformazione trasversale sotto carichi di compressione (Figura 6). Anche i test di compressione diagonale condotti in situ hanno mostrato l’efficacia della tecnica di consolidamento nel “confinare” e contenere fenomeni di disgregazione della muratura [16, 17].

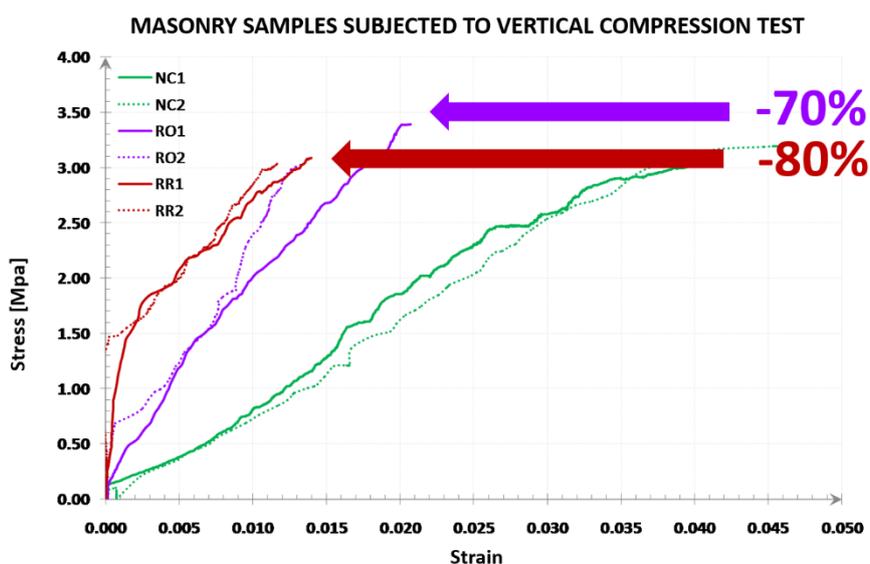


Figura 6: confronto dei grafici tensione/deformazione trasversale (misurata nella direzione dello spessore) dei provini di muratura “a sacco” testati a compressione. Si nota chiaramente come l’applicazione delle cuciture continue flessibili in fibra di basalto contribuisca, rispetto al caso “non consolidato” (curve in verde), a ridurre le deformazioni e quindi a fornire la monoliticità mancante ai pannelli.

Infine, la tecnica proposta è risultata in grado migliorare le prestazioni dei pannelli sollecitati da azioni fuori dal piano, in particolare si è mostrata efficace nel contrasto all'attivazione di meccanismi di flessione verticale [18].

5. CONCLUSIONI

La tecnica proposta risulta in grado di conferire alla muratura un comportamento monolitico quando questa risultasse deficitaria da questo punto di vista, come è stato osservato sia sui provini di muratura a sacco che su quelli in muratura di pietre irregolari. Inoltre può essere efficacemente applicata per evitare l'innescò di meccanismi fuori dal piano. I suoi maggiori vantaggi sono: la velocità di applicazione (che è anche sinonimo di economicità), la compatibilità del materiale di rinforzo utilizzato (la corda in fibra di basalto, ottenuta da pietre naturali), la quasi completa reversibilità del rinforzo, la sua capacità di integrare la muratura senza sostituirla, la sua resistenza al fuoco. Le prime applicazioni su casi reali di valore storico e architettonico hanno confermato l'utilità del metodo ed hanno incoraggiato nuove attività sperimentali tese ad investigare gli effetti di possibili varianti nelle modalità applicative o su ulteriori tipologie murarie.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A. Giuffrè, *Lecture sulla meccanica delle murature Storiche*, Kappa, Roma, 1991.
- [2] F. Doglioni et al., *Le chiese e il terremoto* (a cura di), LINT, Trieste, 1994.
- [3] Norme tecniche per le costruzioni di D.M. 14 gennaio 2008.
- [4] Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n°617 del 2 febbraio 2009.
- [5] Direttiva del P.C.M. del 9 febbraio 2011: "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008".
- [6] R. Marnetto et al., *Conservare l'edilizia in muratura: il sistema CAM-Cuciture Attive dei Manufatti* (a cura di), Preprogetti S.r.l. Roma, 2014.
- [7] A. Borri et al., *Reticolatus: una tecnica di rinforzo di murature irregolari mediante una maglia continua di trefoli metallici*", *L'Edilizia*, 156, De Lettera, Milan, 2008.
- [8] Z. Wu et al., *Tensile fatigue behaviour of FRP and hybrid FRP sheets*, *Composites: Part B* 41, 2010.
- [9] E. Quagliarini et al., *Tensile characterization of basalt fiber rods and ropes: A first contribution*. *Construction and Building Materials* 34, 2012.
- [10] K. Van de Velde et al., *Basalt Fibres as Reinforcement for Composites*, *Proceedings of 10th International Conference on Composites/Nano Engineering*, University of New Orleans, New Orleans, LA, USA, 20–26 July 2003.
- [11] B. Wei et al., *Environmental resistance and mechanical performance of basalt and glass fibers*, *Materials Science and Engineering A* 527, 2010.
- [12] G. Landucci et al., *Design and testing of innovative materials for passive fire protection*, *Fire Safety Journal* 44, 2009.
- [13] V. Dhand et al., *A short review on basalt fiber reinforced polymer composites*. *Composites: Part B* 73, 2015.
- [14] E. Quagliarini et al., *Strengthening three-leaf masonry panel with basalt fibre ropes. First experimental data*, *Proc. of 5th Int. Congr. "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin"*, Istanbul, Turkey, 22-25 Nov. 2011, Valmar Ed., Roma, 2012.
- [15] F. Monni et al., *Basalt ropes: a new product for the rehabilitation of historical masonry*, *Proc. of the Int. Conf. of Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures*, Tomar, Portugal, 19-21 Mar. 2014, Vol. 2, 2014.
- [16] E. Quagliarini et al., *La pietra che tiene unita la pietra: il Sistema Ticorapsimo® per il consolidamento di murature storiche. Parte Prima: Structural* 182, 2013.
- [17] E. Quagliarini et al., *La pietra che tiene unita la pietra: il Sistema Ticorapsimo® per il consolidamento di murature storiche. Parte Seconda: Structural* 183, 2013.
- [18] F. Monni et al., *Dry masonry strengthening through basalt fibre ropes: experimental results versus out-of-plane actions*, *Key Engineering Materials* 624, 2015.