



## DALLA SPERIMENTAZIONE ALLA PROGETTAZIONE: IL CASO DELLA TORRE DI PICO, MIRANDOLA\_PARTE 1

SPERIMENTAZIONI SU MURATURE FACCIA VISTA RINFORZATE CON RETICOLO DI TREFOLI METALLICI INSERITI NEI GIUNTI E INTONACO CON RETE IN GFRP.

### NOTA INTRODUTTIVA

Il presente articolo, primo di due pubblicazioni, descrive la campagna sperimentale su murature realizzata da Fibre Net al fine di quantificare e definire modelli di dimensionamento relativamente all'efficacia dei propri sistemi di rinforzo strutturale Ri-Struttura (attraverso la tecnica dell'intonaco armato con rinforzi in GFRP) e Reticola Plus (tecnica di armatura dei giunti su murature faccia a vista). In seguito a tale campagna sono stati prodotti report tecnici da cui estrapolare i modelli di dimensionamento e di calcolo per il rinforzo delle murature della Torre del Castello, meglio nota come Torre di Pico a Mirandola (Mo).

La struttura era stata lesionata in seguito agli eventi sismici del 2012, con un esito di agibilità assegnato agli elementi strutturali verticali ed orizzontali di grado E2.

Tale fabbricato, oggetto di miglioramento sismico, si sviluppa su 6 piani fuori terra più sottotetto accessibile e presenta pianta rettangolare di lati 13,10x12,50 m con una parte sporgente (che si sviluppa per 4 piani fuori terra) di dimensioni 3,40x8,00 m circa. La struttura portante del fabbricato esistente è costituita da muratura in mattoni pieni; i solai sono del tipo in putrelle e tavelloni e infine il tetto di copertura con struttura in legno. Le fondazioni in muratura sono in continuità con la muratura in elevazione. Le strutture descritte risultano essere parte di un più grande aggregato.

La seconda pubblicazione descriverà nel dettaglio le verifiche per carichi verticali e sismici dell'aggregato sopraccitato, migliorato sismicamente attraverso particolari interventi di consolidamento, tra i quali i Sistemi Ri-Struttura e Reticola Plus, per eliminare il danno sulle strutture murarie e gli orizzontamenti e garantire la restituzione della piena agibilità dei locali.

**SOMMARIO** \_ Nel presente lavoro si riportano i risultati di una campagna di indagini sperimentali condotta al fine di valutare il comportamento di murature rinforzate mediante intonaco armato con rete in GFRP e ristilatura armata dei giunti di malta con trefoli in acciaio inox. Le indagini hanno riguardato sia campioni rinforzati con ristilatura armata su entrambe le facce, sia campioni rinforzati con un sistema ibrido, ossia intonaco armato su una faccia e ristilatura armata sull'altra. Sono state eseguite numerose prove di compressione diagonale su pannelli di tre diverse tipologie murarie: pietrame grossolanamente squadrato, ciottoli di fiume e mattoni pieni a due teste. È stato considerato uno spessore di 400 mm nei primi due casi e di 250 mm per i campioni in mattoni pieni.

Sono state condotte, inoltre, tre prove a flessione fuori piano per valutare le prestazioni del sistema ibrido applicato a murature in ciottoli di fiume (spessore 400 mm). Queste indagini hanno fornito utili informazioni sul comportamento meccanico dei campioni rinforzati e hanno evidenziato l'efficacia delle tecniche proposte. Questo articolo è una pubblicazione parziale di un progetto di ricerca completo che è stato condotto con la cooperazione delle Università di Trieste e di Perugia [9].



**ABSTRACT** \_ In the paper are presented the results of a broad experimental investigation carried out to evaluate the behaviour of masonry walls strengthened with reinforced repointing of mortar joints with stainless steel cords and mortar coating reinforced with a GFRP grid.

The experimental research dealt with specimens strengthened with reinforced repointing on both faces and with a hybrid technique which couples mortar coating, on one face, and reinforced repointing, on the other. Diagonal compression tests have been carried out on square specimens of three different types of masonry: roughhewn stone masonry (thickness equal to 400 mm), uncut rounded stone masonry (400 mm) and solid brick masonry (250 mm). Furthermore, three out-of-plane bending tests have been carried out to evaluate the effectiveness of hybrid strengthening of uncut rounded stone masonry (thickness equal to 400 mm). Investigation results produced useful information about mechanical behavior of strengthened specimens and highlighted a significant effectiveness of these strengthening techniques.

#### PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

rinforzo muratura, materiali compositi, sperimentazione, prove a taglio, prove di flessione  
strengthening, composites, experimental test, diagonal compression test, out-of- plane bending test.

## INTRODUZIONE

La risposta di un edificio tradizionale in muratura alle azioni statiche e a quelle dinamiche causate dagli eventi sismici è primariamente legata alla qualità muraria degli elementi resistenti, la cui carenza rappresenta un elemento di grave vulnerabilità che spesso rende inefficaci anche quegli accorgimenti costruttivi intesi a limitare i meccanismi di collasso locali. In questi casi, il conseguimento di un adeguato livello di sicurezza è legato all'adozione di interventi capaci di assicurare un miglioramento delle proprietà meccaniche delle murature, così da incrementarne le prestazioni nei confronti delle azioni parallele (taglio) e perpendicolari (flessione) al proprio piano. Alcune tecniche di rinforzo, quali ad esempio le iniezioni di miscele di boiaccia di cemento o a base calce e l'intonaco armato con rete elettrosaldata, particolarmente diffuse nelle ricostruzioni seguenti gli eventi sismici di Friuli (1976), Irpinia (1980) ed Umbria-Marche (1997), hanno mostrato, con il passare del tempo, criticità in termini di efficacia e durabilità. Le più recenti sperimentazioni sono quindi state rivolte verso tecniche diverse quali, ad esempio, quelle che prevedono il placcaggio con compositi a base di fibre unidirezionali o la realizzazione di un intonaco armato con rete in FRP (Fiber Reinforced Polymer).

La necessità di mantenere la finitura faccia-vista dei paramenti murari, frequente nel caso di interventi su edifici di carattere storico-monumentale, limita fortemente la scelta delle metodologie di rinforzo. In precedenti lavori [Borri et al. 2009] è stato proposto un sistema, denominato "Reticolatus", consistente nell'inserimento nei giunti di malta di una maglia continua di sottili funi in acciaio inox, la cui flessibilità consente la realizzazione di una ristilatura armata anche per le murature irregolari. Le sperimentazioni qui presentate, oltre che approfondire lo studio del rinforzo a taglio delle murature con il sistema "Reticolatus" su entrambe le facce, hanno consentito di valutare l'efficacia di un rinforzo di tipo ibrido, ottenuto effettuando la ristilatura armata dei giunti su una faccia della muratura e realizzando un intonaco armato con rete in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) sull'altra [Gattesco e Dudine 2010]. Tale tecnica si propone come risolutiva nei casi in cui debba essere conservata una delle due superfici murarie ma non si possa rinunciare a sensibili incrementi di resistenza.

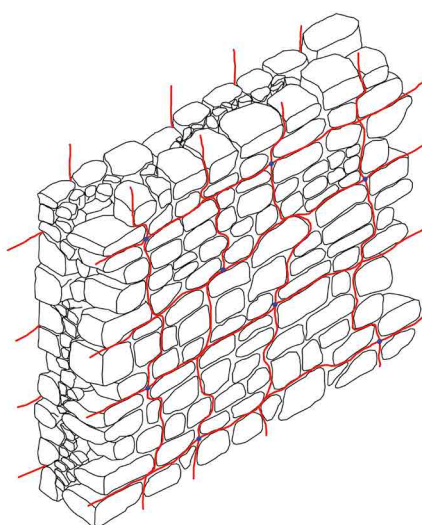
Per valutare l'efficacia di queste due tecniche di intervento, è stata condotta un'ampia campagna sperimentale, qui rendicontata, che ha riguardato l'esecuzione di numerose prove di compressione diagonale e anche di tre prove a flessione fuori piano [Gattesco et al. 2013]. Il miglioramento del comportamento fuori piano delle murature sollecitate da un evento sismico è, infatti, molto importante, poiché inibisce il prematuro collasso fragile dei pannelli, permettendo loro di resistere efficacemente ad azioni nel loro piano (taglio).



## TECNICHE DI RINFORZO

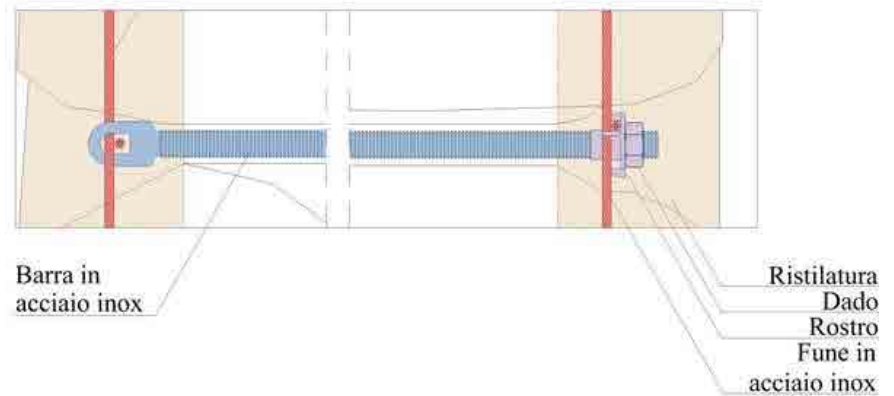
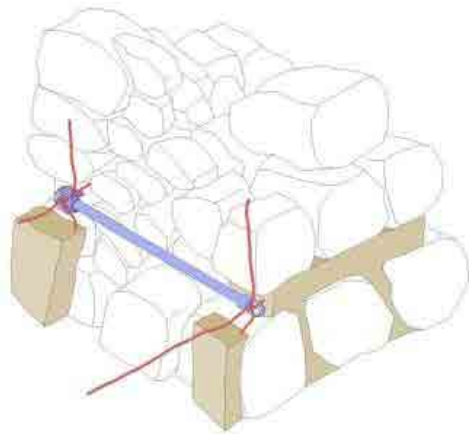
Rinforzo con "Reticolatus" su entrambe le facce

La tecnica di rinforzo chiamata "Reticolatus" consiste nell'inserimento nei giunti di malta, scarniti per una profondità di 50-60 mm, di una maglia continua realizzata con funi in acciaio inox, i cui nodi, generalmente uno ogni due, sono fissati al paramento murario mediante barre trasversali, anch'esse in acciaio inox, previste nel numero di 5 a m<sup>2</sup> secondo uno schema a quinconce irregolari (figura 1).

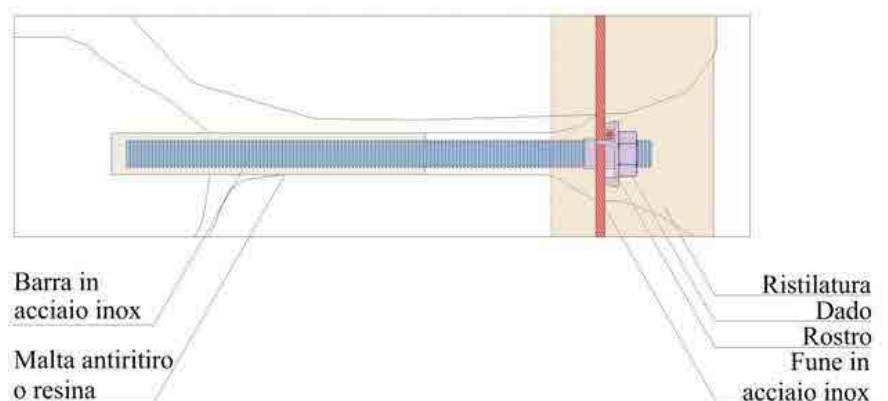
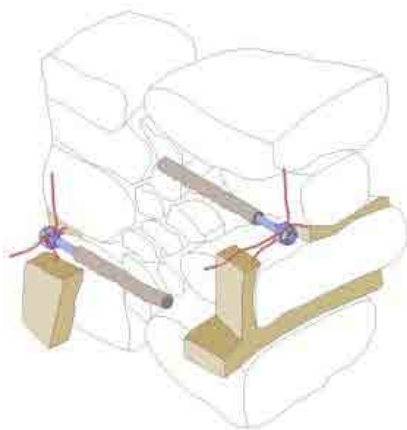


1. Rinforzo con "Reticolatus" su entrambe le facce della muratura; posizioni delle connessioni trasversali.

I trefoli metallici vengono disposti secondo traiettorie sub-verticali e sub-orizzontali a formare maglie approssimativamente quadrate le cui dimensioni, normalmente comprese fra i 300 e i 500 mm, dipendono dalla grandezza degli elementi lapidei e di regola non devono essere superiori allo spessore della muratura su cui si interviene. Le funi sono trattenute dai connettori senza essere ad essi solidali di modo che sia possibile applicare loro una modesta pretensione, capace di rendere la maglia immediatamente "attiva". Quando le dimensioni degli elementi lapidei sono tali da impedire l'adozione di connessioni trasversali passanti, il collegamento può essere effettuato con barre di lunghezza pari a circa 2/3 dello spessore murario ancorate attraverso un'iniezione di malta antiritiro o resina (figura 2). L'applicazione finale di malta, che ricopre completamente sia i trefoli metallici che le teste delle barre trasversali, permette di conservare la finitura faccia-vista della muratura.



2. Applicazione del rinforzo simmetrico con "Reticolatus" a murature con elementi lapidei di piccole dimensioni.



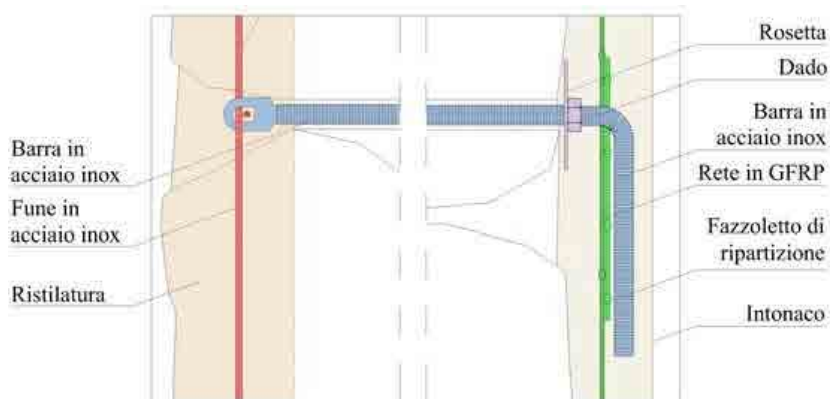
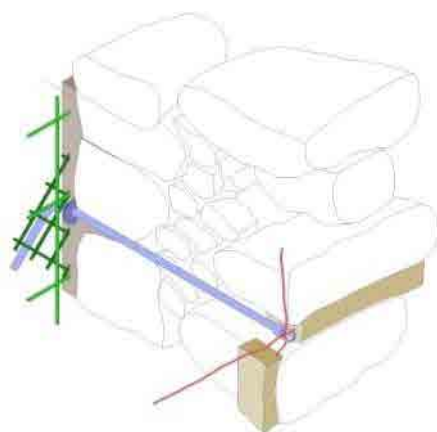
3. Applicazione del rinforzo simmetrico con "Reticolatus" a murature con elementi lapidei di grandi dimensioni.

### Rinforzo ibrido con "Reticolatus" e intonaco armato con rete in GFRP

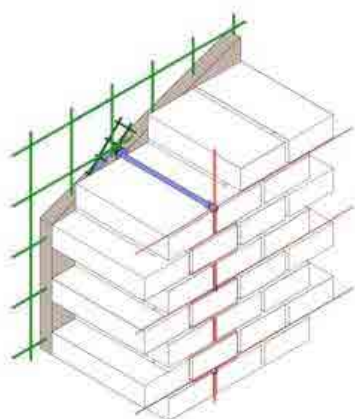
Questa tecnica di rinforzo accoppia il sistema "Reticolatus" su una faccia muraria all'applicazione di uno strato di intonaco di circa 30-35 mm rinforzato con una rete in GFRP sull'altra.

Le due facce rinforzate sono fra loro collegate attraverso dei connettori trasversali costituiti da barre filettate in acciaio inox del diametro di 8 mm. I trefoli metallici vengono fatti passare attraverso un anello posto all'estremità del connettore, cosicché, serrando il dado presente sull'estremità opposta, è possibile applicare una leggera pretensione alla rete in acciaio inox (figura 4).

Nel caso di applicazione su murature regolari di laterizio, il "Reticolatus" viene realizzato disponendo delle funi nei ricorsi orizzontali di malta (tipicamente ogni tre). I trefoli orizzontali possono essere collegati fra loro da coppie di funi verticali disposte ad una distanza di circa 800 mm l'una dall'altra. In corrispondenza delle intersezioni fra i rinforzi verticali ed orizzontali sono previsti dei connettori trasversali aventi caratteristiche analoghe a quelli utilizzati in applicazioni su murature irregolari (figura 5).



4. Schematizzazione del rinforzo ibrido con "Reticolatus" e intonaco armato con rete in GFRP su murature irregolari.



5. Schematizzazione del rinforzo ibrido con "Reticolatus" e intonaco armato con rete in GFRP su murature in laterizi.

## PROVE A COMPRESSIONE DIAGONALE

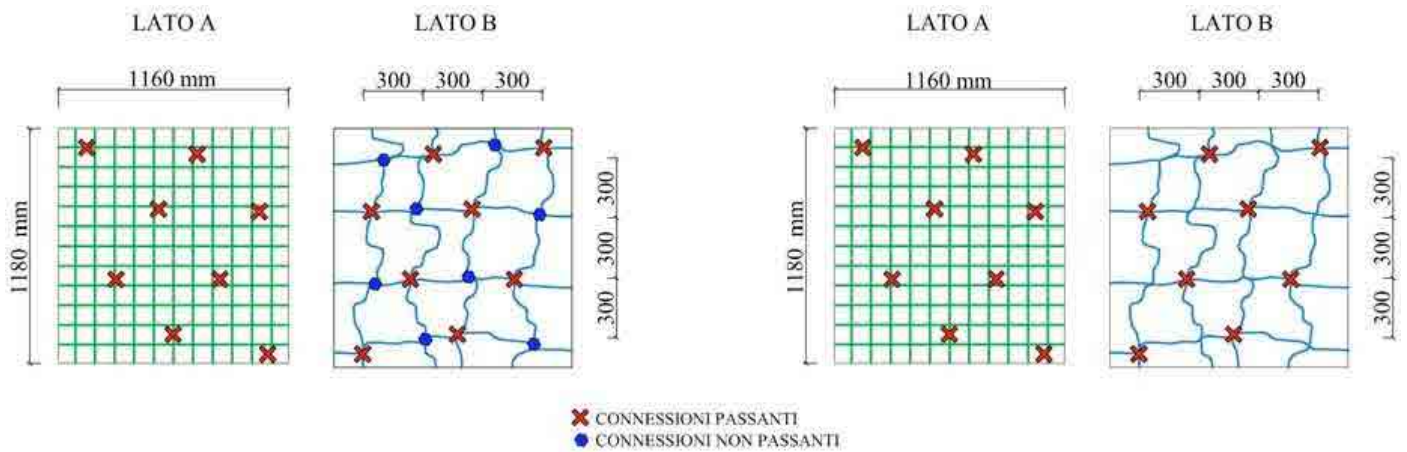
### Descrizione dei campioni

Sono state eseguite 23 prove di compressione diagonale su campioni con dimensioni di 1200 x 1200 mm circa, che differivano fra loro per tipologia muraria e configurazione di rinforzo. In particolare sono stati sottoposti a prova:

- 8 campioni di muratura in pietra grossolanamente squadrata di spessore 400 mm;
- 7 campioni di muratura in mattoni pieni a due teste con tessitura di tutti diatoni;
- 8 campioni di muratura in ciottoli di spessore 400 mm.

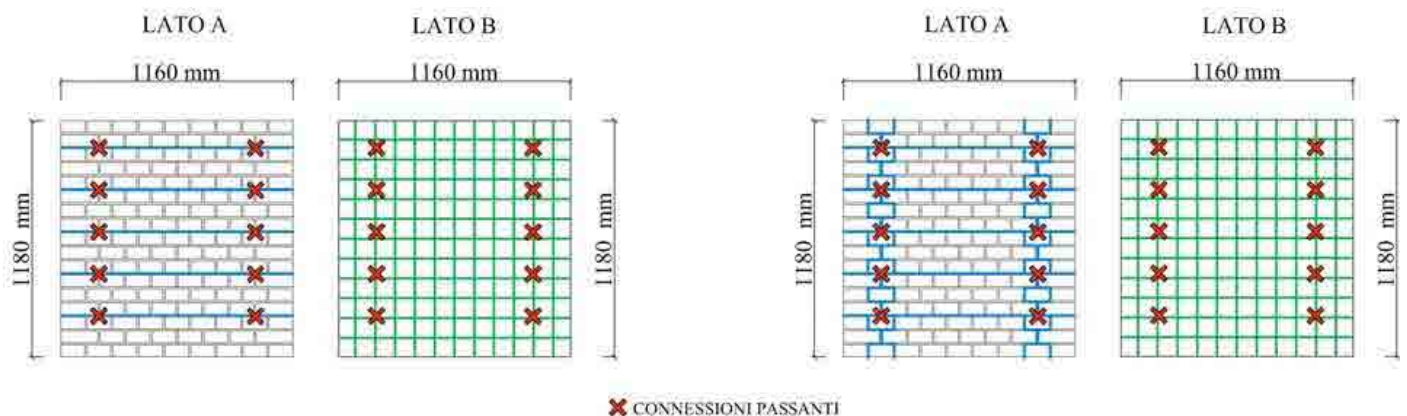
Al fine di verificare la ripetibilità dei risultati, sono stati previsti due campioni per ogni combinazione tipologia muraria-configurazione di rinforzo.

Per valutare le possibili differenze di comportamento legate al numero di connettori trasversali sui nodi della maglia di "Reticolatus", sia per le murature di pietrame che di ciottoli, sono state realizzate due coppie di campioni: la prima caratterizzata dalla presenza di connessioni passanti l'intero spessore murario affiancate a connessioni non passanti sulla faccia rinforzata con "Reticolatus", la seconda con le sole connessioni passanti. Le due configurazioni di rinforzo sono mostrate in figura 6.



6. Configurazioni di rinforzo ibrido dei pannelli in muratura di pietrame e ciottoli: a sinistra con connessioni passanti e non passanti; a destra con sole connessioni passanti.

Per quantificare l'apporto fornito dalla presenza di armatura nei giunti verticali dei campioni in muratura di laterizio, una coppia di campioni è stata rinforzata disponendo le funi in acciaio inox nei soli giunti orizzontali e l'altra inserendo i trefoli anche nei giunti verticali, come riportato in figura 7.



7. Configurazioni di rinforzo dei pannelli in muratura di laterizi: a sinistra "Reticolatus" con trefoli solo orizzontali, a destra con trefoli orizzontali e verticali.



In tabella 1 sono mostrate le caratteristiche dei campioni di prova. I pannelli sono stati identificati da una sigla composta da quattro indici in cui il primo individua la tipologia muraria (MP = muratura in pietrame, MD = muratura in laterizi a due teste, MC = muratura in ciottoli), il secondo l'indice del campione (1 o 2), il terzo il tipo di rinforzo (I = ibrido, R = "Reticolatus" su entrambe le facce), il quarto la configurazione di rinforzo (P = "Reticolatus" con connessioni trasversali passanti; N = "Reticolatus" con connessioni trasversali passanti e non; O = "Reticolatus" su muratura di laterizi con funi solo orizzontali; V = "Reticolatus" su muratura di laterizi con funi sia orizzontali che verticali). Il campione non rinforzato MD-1, una volta testato, è stato riparato con l'intervento ibrido e quindi nuovamente sottoposto alla prova di compressione diagonale. I risultati relativi all'applicazione del rinforzo come riparazione sono quindi presentati come relativi al campione indicato con la sigla MD-1rip-I-V.

I campioni in muratura di pietrame e di laterizi sono stati costruiti con una malta di allettamento denominata "AA" e rinforzati con un intonaco realizzato, quando previsto, utilizzando una malta pre-miscelata a base di calce idraulica naturale identificata dalla sigla "NHL6".

Per i campioni in muratura di ciottoli è invece stata adottata una malta di allettamento più debole, indicata come "AB", in modo da riprodurre più fedelmente le caratteristiche reali di questa tipologia muraria. Anche per l'intonaco si è preferito applicare una malta confezionata in opera a base calce idraulica naturale con caratteristiche meccaniche modeste così da minimizzare la differenza di rigidità fra l'intonaco applicato e la muratura di supporto (malta NHL5). Per tutti i campioni è stata utilizzata un'unica malta da ristilatura pre-miscelata a base di calce idraulica indicata con la sigla "M8".

Campione	Malta allettamento	Malta intonaco	Malta ristilatura
MP-1	AA	-	-
MP-2	AA	-	-
MP-1-I-N	AA	NHL6	M8
MP-2-I-N	AA	NHL6	M8
MP-1-I-P	AA	NHL6	M8
MP-2-I-P	AA	NHL6	M8
MP-1-R-N	AA	-	M8
MP-2-R-N	AA	-	M8
MD-1	AA	-	-
MD-2	AA	-	-
MD-1-I-V	AA	NHL6	M8
MD-2-I-V	AA	NHL6	M8
MD-1-I-O	AA	NHL6	M8
MD-2-I-O	AA	NHL6	M8
MD-1rip-I-V	AA	NHL6	M8
MC-1	AB	-	-
MC-2	AB	-	-
MC-1-I-P	AB	NHL5	M8
MC-2-I-P	AB	NHL5	M8
MC-1-I-N	AB	NHL5	M8
MC-2-I-N	AB	NHL5	M8
MC-1-R-P	AB	-	M8
MC-2-R-P	AB	-	M8

**Tabella 1.** Caratteristiche dei campioni testati con prove di compressione diagonale.

La composizione e le caratteristiche meccaniche medie delle malte impiegate nella sperimentazione sono riportate nelle tabelle 2,3 e 4. Le prove di compressione (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) e trazione indiretta (UNI EN 12390-6-2010 Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini) sono state eseguite su campioni cilindrici di 100 mm di diametro e 200 mm di altezza.



Sigla	Dosaggio calce idraulica [kg/m <sup>3</sup> ]	f <sub>cm</sub> [MPa]
AA	260	1.87
AB	200	0.96

**Tabella 2.** Malte di allettamento: dosaggio di legante per m3 di impasto e resistenza media a compressione f<sub>cm</sub>.

Sigla	Composizione	f <sub>cm</sub> [MPa]
M8	premiscelata	8.90

**Tabella 3.** Malta per ristilatura: composizione e resistenza media f<sub>cm</sub>.

Sigla	Dosaggio calce idraulica [kg/m <sup>3</sup> ]	f <sub>cm</sub> [MPa]	E [MPa]	f <sub>tm</sub> [MPa]
NHL5	300	4.24	14529	0.55
NHL6	premiscelata	4.71	15089	0.77

**Tabella 4.** Malte per intonaci: composizione e caratteristiche meccaniche medie (resistenza a compressione f<sub>cm</sub>, modulo elastico E, resistenza a trazione f<sub>t</sub>).

L'intonaco applicato è stato rinforzato con una rete a maglia quadrata di dimensioni 99x99 mm (tipo FB MESH 99X99T96AR Fibre Net S.r.l.), costituita da fibre di vetro AR (resistente agli alcali o Alkali Resistant) inglobate in una resina termo-indurente di tipo vinilestere-epossidica.

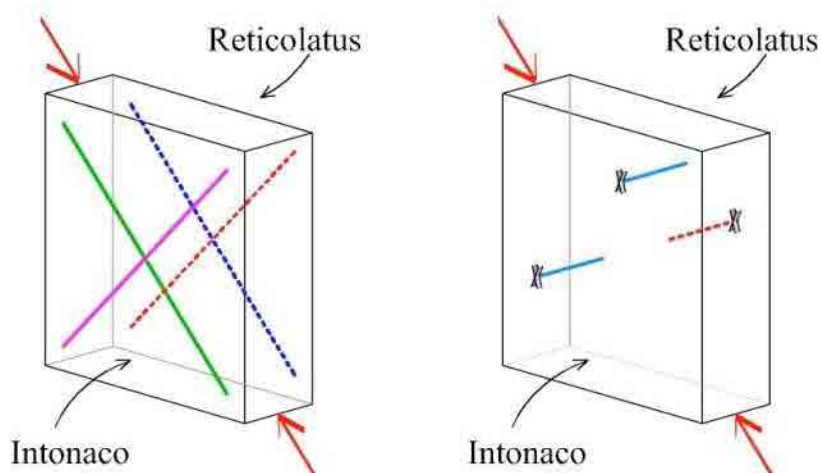
Le funi metalliche utilizzate nel sistema "Reticolatus" sono funi di acciaio inox AISI 316 del diametro di 3 mm, ciascuna costituita da 49 fili (Ø filo = 0.33 mm) con configurazione 7x7 e caratterizzata da un carico di rottura minimo di 5.54 kN.



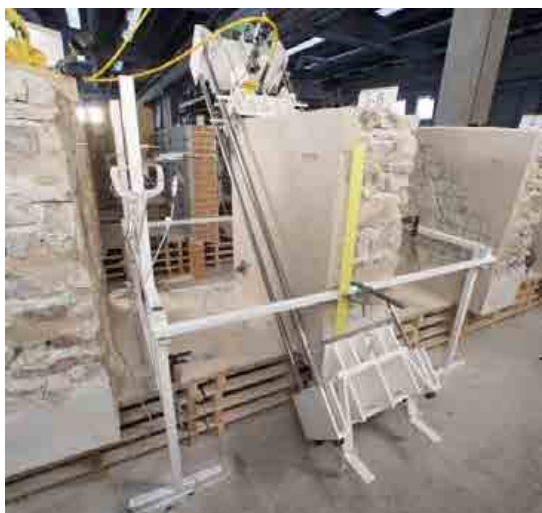


## Apparato e modalità di prova

Il carico di prova è stato applicato mediante un attuatore che agisce tra due elementi metallici. L'elemento interno è appoggiato allo spigolo del pannello mentre quello esterno, con funzione di contrasto, è collegato tramite quattro barre in acciaio all'elemento metallico disposto sullo spigolo opposto del campione. Si è realizzato in tal modo un sistema chiuso in cui il martinetto, azionato tramite pompa idraulica manuale, sollecita il pannello lungo la diagonale con una forza la cui entità è acquisita mediante un 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 potenziometrici su ciascuna faccia, disposti lungo le diagonali del pannello ed aventi una base di misura di circa 1100 mm. Nelle prove sui campioni con rinforzo ibrido l'effetto della dissimetria è stato monitorato controllando gli spostamenti fuori piano del campione. Come schematizzato in figura 8, sono infatti stati acquisiti gli spostamenti fuori dal piano del pannello dei punti centrali delle due facce e dello spigolo superiore non caricato della faccia rinforzata con intonaco armato.



8. Schematizzazione delle grandezze acquisite durante le prove su campioni con rinforzo ibrido.



9. Apparato di prova utilizzato per l'esecuzione delle prove di compressione diagonale su pannelli con rinforzo ibrido.



### Analisi dei risultati

Ipotizzando di poter studiare il sistema come un problema elastico di una lastra caricata nel suo piano con due forze P agenti su due spigoli opposti di una diagonale, a partire dal carico P registrato dal trasduttore di pressione è stata determinata la resistenza a trazione della muratura:

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

dove A è l'area della sezione orizzontale del campione considerata al netto dell'incremento di spessore dovuto all'applicazione dell'intonaco. Per tutti i campioni testati il parametro  $\alpha$  è stato assunto pari a 0,5, in accordo con le indicazioni della normativa RILEM (1994). La scelta di non differenziare il valore di 2 in base alla tipologia muraria, diversamente da quanto proposto in [Brignola et al. 2009], scaturisce dalla necessità di determinare la resistenza a trazione di murature rinforzate per le quali non è possibile estendere le considerazioni presentate nel citato articolo. Il valore di resistenza a taglio  $\tau_0$  è stato valutato in accordo con il criterio di resistenza formulato di Turnsek-Cacovic:

$$\tau_0 = \frac{f_t}{1,5} \quad (2)$$

In tabella 5 sono riassunti i risultati ottenuti dalle prove eseguite riportando il carico massimo ( $P_{max}$ ), la resistenza a trazione ( $f_t$ ), la resistenza a taglio ( $\tau_0$ ) ed il rapporto tra la resistenza a taglio del campione rinforzato e la media di quelli non rinforzati ( $\tau_{0,R}/\tau_{0,NR}$ ).

Campione	$P_{max}$ [kN]	$f_t^*$ [MPa]	$\tau_0^*$ [MPa]	$\tau_{0,R} / \tau_{0,NR}$
MP-1	161.58	0.176	0.117	-
MP-2	107.03	0.121	0.081	-
MP-1-I-N	246.22	0.262	0.175	1.76
MP-2-I-N	273.68	0.298	0.198	2.01
MP-1-I-P	233.26	0.254	0.169	1.71
MP-2-I-P	284.27	0.296	0.197	1.99
MP-1-R-N	162.38	0.175	0.117	1.18
MP-2-R-N	158.51	0.171	0.114	1.15
MD-1	120.60	0.209	0.139	-
MD-2	108.22	0.187	0.124	-
MD-1-I-V	135.29	0.222	0.148	1.12
MD-2-I-V	197.61	0.332	0.222	1.68
MD-1-I-O	192.03	0.318	0.212	1.61
MD-2-I-O	162.44	0.266	0.178	1.35
MD-Irip-I-V	127.14	0.216	0.144	1.04
MC-1	46.66	0.052	0.034	-
MC-2	49.77	0.055	0.037	-
MC-1-I-P	132.49	0.143	0.095	2.68
MC-2-I-P	109.08	0.120	0.080	2.26
MC-1-I-N	108.48	0.114	0.076	2.13
MC-2-I-N	107.54	0.113	0.075	2.13
MC-1-R-P	63.79	0.072	0.048	1.36
MC-2-R-P	69.73	0.077	0.052	1.46

\* I valori della resistenza a trazione  $f_t$  e a taglio  $\tau_0$  sono stati determinati facendo riferimento all'area della sezione orizzontale della sola muratura, senza considerare lo spessore dell'intonaco di rinforzo eventualmente presente.

**Tabella 5.** Risultati delle prove di compressione diagonale.



Indicando con  $L$  la lunghezza iniziale della base di misura del potenziometro lineare sulla generica diagonale e con  $\Delta L$  la relativa variazione di lunghezza acquisita, la dilatazione diagonale media a compressione  $\varepsilon_c$  e a trazione  $\varepsilon_t$  e la dilatazione angolare  $\gamma$  sono così definite:

$$\varepsilon_c = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L_{c,latoA}}{L_{c,latoA}} + \frac{\Delta L_{c,latoB}}{L_{c,latoB}} \right) \quad (3)$$

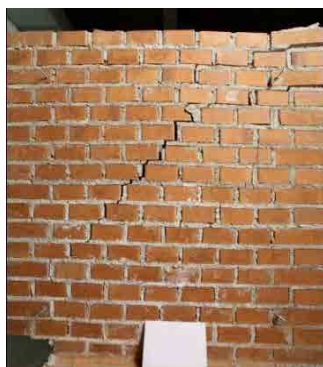
$$\varepsilon_t = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L_{t,latoA}}{L_{t,latoA}} + \frac{\Delta L_{t,latoB}}{L_{t,latoB}} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = |\varepsilon_c| + |\varepsilon_t|$$

Per i campioni con rinforzo ibrido in tabella 6 sono mostrati i valori dello spostamento fuori dal piano del pannello del vertice superiore della diagonale tesa della faccia rinforzata con intonaco armato al raggiungimento del carico massimo ed al termine della prova. Per i campioni in muratura di pietrame e di ciottoli con rinforzo ibrido sono state riscontrate letture non omogenee degli strumenti sulle diagonali corrispondenti delle due facce, tuttavia, si è ritenuto di poter considerare un comportamento medio e quindi trattare i dati acquisiti secondo le formulazioni (1-5) in ragione del fatto che lo spostamento fuori dal piano del pannello dello spigolo libero della faccia rinforzata con intonaco armato non è rilevante fino al raggiungimento del carico massimo e al termine della prova presenta valori comunque contenuti. Per i campioni in muratura di laterizio sempre con rinforzo ibrido, la risposta eccentrica è stata trascurabile in quanto la rigidità della muratura e quella dell'intonaco applicato sono confrontabili. I campioni non rinforzati di ciascuna tipologia muraria hanno presentato una fessurazione diagonale che interessa i giunti di malta (figura 10). Alla rimozione del carico al termine della prova i pannelli in ciottoli hanno perso completamente la propria integrità (figura 11), evidenziando l'incoerenza tipica di questa tipologia muraria. Le prove sui campioni rinforzati con "Reticolatus" su entrambe le facce dimostrano che l'intervento, trattenendo assieme le varie parti che compongono il campione, è in grado di risolvere tale problematica (figura 12). Anche i pannelli con rinforzo ibrido sono caratterizzati dalla presenza di una fessurazione diagonale, che tuttavia, risulta maggiormente diffusa (figure 13 e 14).

Campione	$P_{max}$ [kN]	Spost. a $P_{max}$ [mm]	Spost. a fine prova [mm]
MP-1-I-N	246.22	7.00	34.30
MP-2-I-N	273.68	7.20	37.00
MP-1-I-P	233.26	8.90	16.60
MP-2-I-P	284.27	5.00	31.40
MD-1-I-V	135.29	1.00	11.90
MD-2-I-V	197.61	0.50	2.70
MD-1-I-O	192.03	0.80	9.40
MD-2-I-O	162.44	0.20	8.20
MD-1rip-I-V	127.14	19.40	16.70
MC-1-I-P	132.49	9.40	22.50
MC-2-I-P	109.08	7.10	32.20
MC-1-I-N	108.48	10.90	45.00
MC-2-I-N	107.54	9.10	31.50

**Tabella 6.** Spostamenti fuori dal piano del pannello del vertice superiore della faccia rinforzata con intonaco armato in corrispondenza del raggiungimento del carico massimo ed al termine della prova.



11. Campione non rinforzato in muratura di ciottoli: a sinistra durante l'esecuzione della prova, a destra dopo la rimozione del carico.



12. Campioni in muratura di pietra (sinistra) e ciottoli (destra) rinforzato con "Reticolatus" al termine della prova.



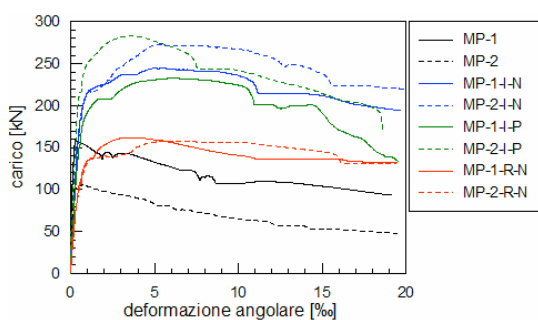
13. Campione in muratura di laterizi con rinforzo ibrido.



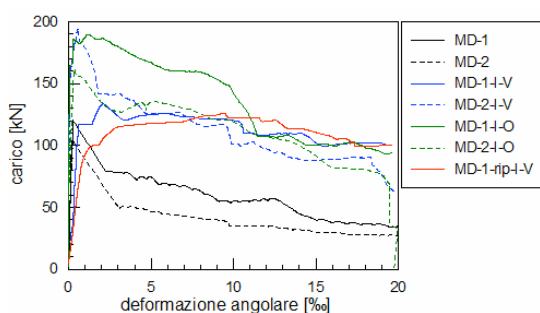


14. Campione in muratura di pietrame con rinforzo ibrido.

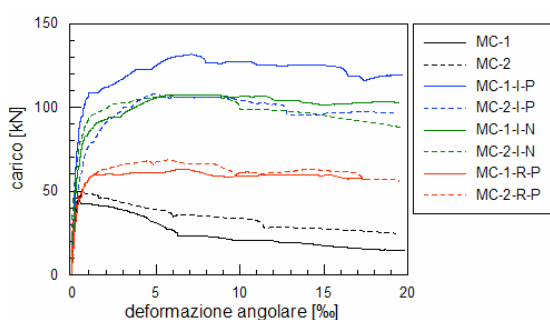
Nelle figure 15-17 sono presentate le curve involuppo dei diagrammi sperimentali carico vs deformazione angolare relativi alle tre tipologie murarie testate.



15. Muratura in pietrame: curve involuppo dei diagrammi sperimentali carico - deformazione angolare.



16. Muratura di laterizi: involuppo dei diagrammi sperimentali carico - deformazione angolare.



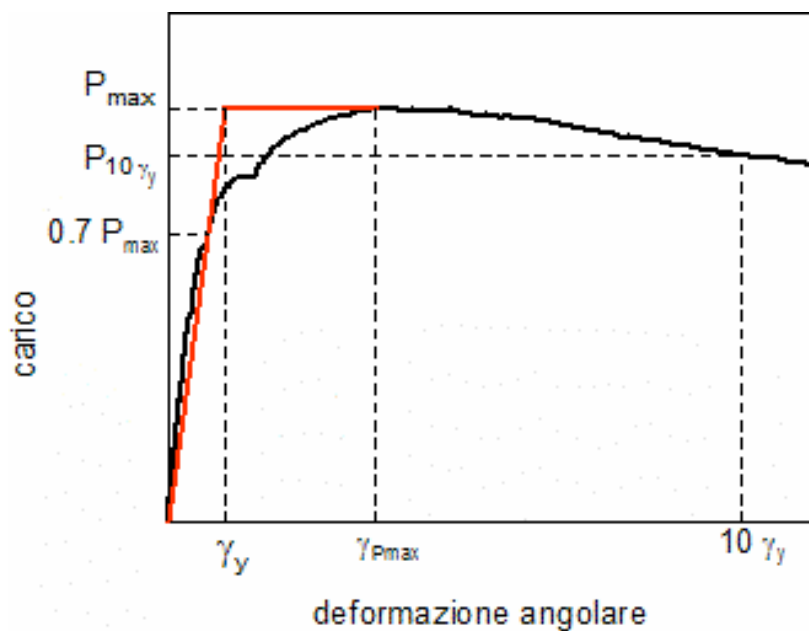
17. Muratura di ciottoli: involuppo dei diagrammi sperimentali carico - deformazione angolare.



Il rinforzo con "Reticolatus" su entrambe le facce determina un incremento di resistenza del 17% sulla muratura di pietrame e del 40% sulla muratura di ciottoli. Gli incrementi determinati dal rinforzo ibrido risultano, invece, dell'87%, 44% e 112% rispettivamente per muratura in pietrame, laterizi e ciottoli. È evidente quindi che l'aumento di resistenza conseguente l'applicazione delle tecniche di rinforzo proposte dipende dalle caratteristiche meccaniche della muratura sulla quale si interviene, diventando più apprezzabile al diminuire della resistenza di partenza, come nel caso della muratura in ciottoli. Per quantificare il miglioramento del comportamento post-rottura dei campioni rinforzati si è valutata, attraverso il parametro  $\Delta$ , l'aliquota di carico massimo che il pannello è in grado sopportare al raggiungimento di una prefissata deformazione:

$$\Delta = \frac{P_{10\gamma_y}}{P_{max}}$$

dove  $P_{10\gamma_y}$  è il carico residuo corrispondente ad una deformazione angolare pari a dieci volte la deformazione  $\gamma_y$  individuata dall'intersezione fra la tangente orizzontale al grafico  $P-\gamma$  nel punto di carico massimo e la secante la curva al 70% del resistenza ultima (figura 18).



18. Valutazione dei parametri necessari nel calcolo di  $\Delta$ .



Campione	$2P_{max}$ [‰]	$\Lambda_{0,7}$ [‰]	$\Lambda_y$ [‰]	$P_{10\Lambda_y}$ [kN]	$\Lambda$ [-]
MP-1	0.324	0.105	0.150	144.01	0.89
MP-2	0.580	0.117	0.167	97.92	0.91
MP-1-I-N	4.958	0.484	0.691	243.04	0.99
MP-2-I-N	5.337	0.623	0.889	269.38	0.98
MP-1-I-P	6.102	0.594	0.848	229.74	0.98
MP-2-I-P	3.720	0.421	0.601	269.92	0.95
MP-1-R-N	3.184	0.616	0.879	144.44	0.89
MP-2-R-N	5.646	0.642	0.918	157.37	0.99
MD-1	0.273	0.140	0.200	83.16	0.69
MD-2	0.258	0.147	0.210	66.67	0.62
MD-1-I-V	2.152	0.466	0.665	124.00	0.92
MD-2-I-V	0.601	0.076	0.108	178.57	0.90
MD-1-I-O	1.192	0.024	0.034	185.63	0.97
MD-2-I-O	0.341	0.157	0.224	131.82	0.81
MD-1rip-I-V	9.486	0.864	1.235	120.08	0.94
MC-1	0.270	0.072	0.103	42.61	0.91
MC-2	0.664	0.197	0.281	43.45	0.87
MC-1-I-P	7.093	0.484	0.691	131.49	0.99
MC-2-I-P	4.817	0.930	1.328	98.57	0.90
MC-1-I-N	5.920	0.547	0.781	108.36	1.00
MC-2-I-N	6.193	0.392	0.560	106.45	0.99
MC-1-R-P	6.599	0.395	0.564	61.27	0.96
MC-2-R-P	5.295	0.531	0.758	67.41	0.97

**Tabella 7.** Comportamento post-picco.

Come è possibile osservare dai grafici precedenti e dai valori di  $\square$  riportati in tabella 7, nei campioni non rinforzati il calo di resistenza seguente la formazione della fessura è consistente per la muratura in mattoni mentre risulta più contenuto per le altre due tipologie che mostrano una buona capacità dissipativa. Sia i campioni rinforzati simmetricamente che in modo ibrido evidenziano un netto miglioramento del comportamento post-picco mantenendo quasi inalterato il valore del carico ultimo al crescere della deformazione angolare.

Nei campioni con rinforzo ibrido su murature irregolari l'aggiunta di connessioni non passanti nei nodi della maglia di "Reticolatus" non determina differenze significative né in termini di incrementi di resistenza né di miglioramento del comportamento post-picco. La stessa cosa avviene per le due tipologie di rinforzo ibrido considerate sulle murature regolari di mattoni. Si ritiene tuttavia opportuno verificare l'influenza di queste connessioni aggiuntive in prove sperimentali che chiamino in causa il comportamento flessionale della muratura.



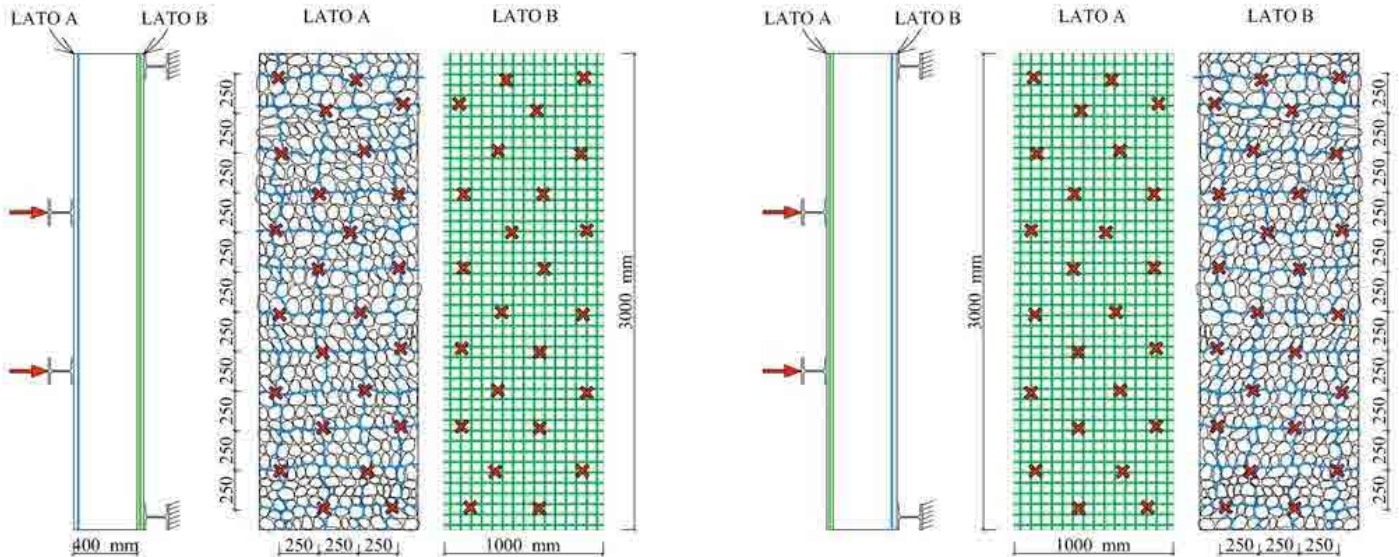
## PROVE A FLESSIONE FUORI PIANO

### DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

Sono state eseguite tre prove a flessione fuori piano su campioni di muratura in ciottoli di fiume, aventi larghezza 1000 mm, altezza 3000 mm e spessore 400 mm [Gattesco et al. 2013]. Due campioni sono stati rinforzati con il sistema ibrido descritto al paragrafo 0 ed uno non è stato rinforzato in modo da permettere di evidenziare le differenze di comportamento fra campioni rinforzati e campione non rinforzato.

I pannelli sono stati identificati da una sigla composta da quattro indici in cui il primo individua la tipologia di prova e il tipo di muratura (FMC = prova a flessione su muratura in ciottoli), il secondo distingue campioni uguali (1, 2), il terzo indica il tipo di rinforzo (I = ibrido), il quarto la configurazione di rinforzo (P = connessioni trasversali passanti). Nel campione FMC-1-I-P la faccia soggetta a trazione è quella rinforzata con intonaco armato, viceversa il campione FMC-2-I-P presenta sulla faccia soggetta a trazione il rinforzo con sistema "Reticolatus".

Le caratteristiche dimensionali dei campioni di prova sono illustrate in figura 19, dove è indicata anche la disposizione dei trefoli di acciaio inox sulla faccia rinforzata con il sistema "Reticolatus" e quella delle connessioni: sono state realizzate 24 connessioni passanti.

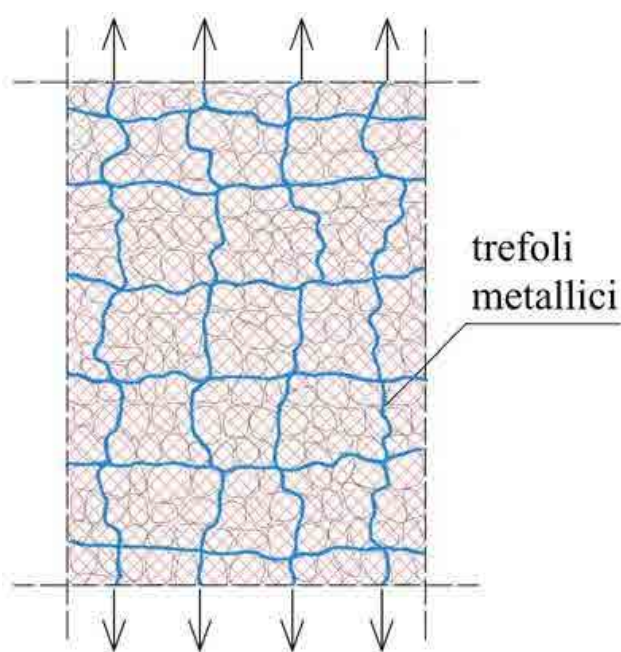


19. Geometria dei campioni di prova a flessione fuori piano, con indicazione della disposizione dei trefoli di acciaio inox e delle connessioni nei campioni rinforzati: (a) campione FMC-1-I-P, (b) campione FMC-2-I-P.





La capacità di resistere a trazione del paramento murario rinforzato con "Reticolatus" prescinde dall'essere i trefoli perfettamente rettilinei o meno. Infatti, fra il reticolo metallico inserito nei giunti della muratura e la muratura stessa nasce una sinergia meccanica (le singole maglie del reticolo "contengono" la muratura e questa, a sua volta, "contiene" i singoli trefoli) che conferisce alla muratura di partenza nuove capacità di resistenza. In definitiva, si ha un paramento di muratura armata con maglia di trefoli metallici che può rispondere alle diverse azioni, sia di compressione che di trazione, con meccanismi resistenti del tipo "tirante-puntone". Risulta per questo inessenziale che i trefoli siano disposti in modo rettilineo: il paramento trova comunque, nel suo insieme, una sua soluzione di equilibrio in cui le azioni di trazione interessano i trefoli (tiranti) e quelle di compressione la muratura (puntone).



20. Schematizzazione del funzionamento a trazione del sistema di rinforzo con "Reticolatus".

In tabella 8 sono riportate le caratteristiche dei campioni di prova. Tutti i campioni sono stati confezionati con una malta di allettamento denominata "AC" e rinforzati con un intonaco di malta bastarda identificata dalla sigla "CHL". La malta da ristilatura utilizzata, di tipo pre-miscelato, è a base di calce idraulica ed è stata identificata con la sigla "M8".

Campione	Malta allettamento	Malta intonaco	Malta ristilatura
FMC	AC	-	-
FMC-1-I-P	AC	CHL	M8
FMC-2-I-P	AC	CHL	M8

**Tabella 8.** Caratteristiche dei campioni testati con prove di flessione fuori piano.



Sigla	Dosaggio calce idraulica [kg/m <sup>3</sup> ]	f <sub>cm</sub> [MPa]
AC	320	3.16

**Tabella 9.** Malte di allettamento: dosaggio di legante per m<sup>3</sup> di impasto e resistenza media a compressione  $f_{cm}$ .

Sigla	Composizione	f <sub>cm</sub> [MPa]
M8	premiscelata	8.90

**Tabella 10.** Malta per ristilatura: composizione e resistenza media  $f_{cm}$ .

Sigla	Dosaggio calce idraulica [kg/m <sup>3</sup> ]	Dosaggio cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	f <sub>cm</sub> [MPa]	E [MPa]	f <sub>tm</sub> [MPa]
CHL	300	100	6.29	14429	1.10

**Tabella 11.** Malte per intonaci: composizione e caratteristiche meccaniche medie (resistenza a compressione  $f_{cm}$ , modulo elastico E, resistenza a trazione  $f_t$ ).

L'intonaco applicato è stato rinforzato con una rete a maglia quadrata di dimensioni 66x66 mm (tipo FB MESH 66X66T96AR Fibre Net S.r.l.), costituita da fibre di vetro AR (resistente agli alcali) inglobate in una resina termo-indurente di tipo vinilestere-epossidica.

I trefoli di acciaio utilizzati nel sistema "Reticolatus" sono funi di acciaio inox AISI 316 del diametro di 3 mm, ciascuna costituita da 49 fili (Ø filo = 0.33 mm) con configurazione 7x7 e caratterizzata da un carico di rottura minimo di 5,54 kN.

## APPARATO E MODALITÀ DI PROVA

L'apparato di prova è costituito da una struttura metallica di contrasto formata da profilati HEA160. Un traverso superiore e uno inferiore, connessi da due montanti, sono posti a contatto con una faccia del campione; sulla faccia opposta, ai terzi dell'altezza, viene applicato il carico, in direzione orizzontale, tramite due attuatori impostati sullo stesso telaio di profili metallici pensato per formare un sistema auto equilibrato (figura 21a,b). In tutte le zone di contatto del campione con l'apparato di prova e con il terreno sono stati realizzati dei vincoli di tipo lineare in grado di consentire la libera rotazione relativa del campione (figura 21b,c).

Gli attuatori idraulici a singolo effetto, da 154 kN ciascuno, sono collegati in parallelo e azionati mediante una pompa idraulica manuale ad alta pressione (700 bar). La forza applicata al campione è misurata mediante un trasduttore di pressione. La procedura di applicazione dei carichi segue dei cicli di carico-scarico con passi crescenti di circa 3-5 kN (per il campione non rinforzato) e di circa 10 kN (per quelli rinforzati), fino al raggiungimento del carico massimo; la prova è stata poi portata avanti fino al collasso o comunque fino a valori importanti della freccia.



Sono stati utilizzati diversi potenziometri lineari e rotativi per valutare gli spostamenti fuori piano del campione; tutta la strumentazione è stata solidarizzata ad un cavalletto metallico esterno al sistema, poggiante sul terreno e indipendente dall'apparato di prova. Tutti gli strumenti sono stati collegati ad una centralina elettronica di acquisizione dati, interfacciata con un computer, che ha permesso di controllare in diretta l'evoluzione della prova. Il rilievo delle rotazioni alle estremità ha permesso di correggere tali misurazioni da possibili traslazioni rigide del campione, dovute a irregolarità costruttive.



(a)



(b)



(c)

**21.** Apparato di prova a flessione fuori piano: vista d'insieme (a), dettagli dei dispositivi di applicazione del carico (b) e dell'appoggio a terra (c).

## ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle prove di flessione fuori piano sono riassunti in tabella 12, dove sono riportati carico massimo ( $P_{max}$ ), rapporto tra carico massimo del campione rinforzato e di quello non rinforzato ( $P_{R,max}/P_{NR,max}$ ) e freccia netta in mezzeria corrispondente a  $P_{max}$  ( $f_p$ ).

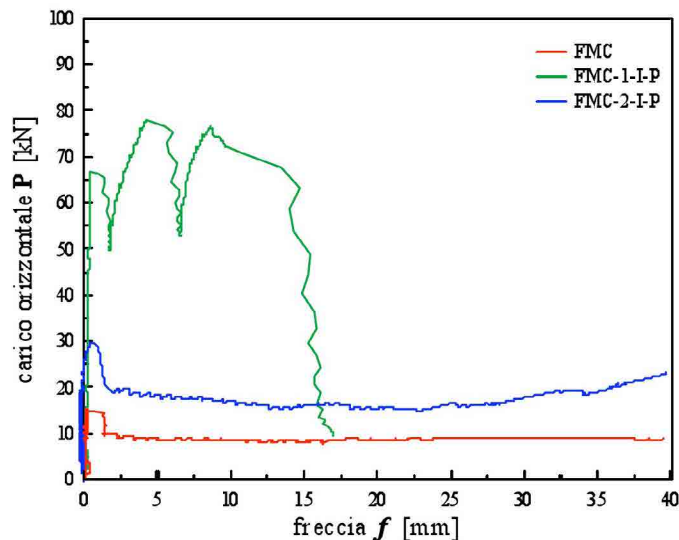
Campione	$P_{max}$ [kN]	$P_{R,max}/P_{NR,max}$ [-]	$f_p$ [mm]
FMC	15.14	-	0.07
FMC-1-I-P	66.36 *	4.38	0.89
FMC-2-I-P	29.76	1.97	0.71

\* Carico corrispondente alla formazione della prima fessura.

**Tabella 12.** Risultati delle prove a flessione fuori piano.



Il sistema di rinforzo determina un significativo aumento di resistenza soprattutto nel caso in cui sia soggetto a trazione il lato rinforzato con l'intonaco armato (FMC- 1-I-P). In questo caso, infatti, il rapporto  $P_{(R,max)}(R)/P_{(NR,max)}$  è quasi 4.5, mentre è pari a 2 nel campione con faccia tesa rinforzata con il sistema "Reticolatus" (FMC-2-I-P). In tabella 12, relativamente al campione FMC-1-I-P, non è stato riportato il carico massimo raggiunto nel corso della prova ma quello corrispondente alla formazione della prima fessura, in conseguenza della quale si è verificata una riduzione di resistenza. Successivamente, tuttavia, continuando ad aumentare la freccia, il carico ha ripreso a crescere, per l'intervento dell'armatura presente nell'intonaco (rete GFRP), raggiungendo un valore massimo di 77.77 kN in corrispondenza di una freccia pari a 4.27 mm. In figura 22 sono riportati i diagrammi che riportano il carico P in funzione della freccia media di inflessione. Si osserva che il grafico del campione FMC-2-I-P ha un andamento molto simile a quello del campione non rinforzato FMC, con valori di carico raddoppiati; molto diverso, invece, è stato il comportamento del campione FMC-1-I-P.



22. Diagramma P-f relativo ai campioni di prova.

La modalità di collasso del campione non rinforzato (figura 2-3) è caratterizzata dalla formazione e dall'istantanea apertura di un'unica fessura orizzontale, approssimativamente nella mezzera del campione, a partire dalla faccia tesa. Essa si è sviluppata, per un valore di carico di circa 15 kN, lungo un unico corso di malta, interessando quasi l'intero spessore della muratura e ha determinato una diminuzione di resistenza repentina ma contenuta: il carico residuo si è infatti attestato attorno a circa il 65% di quello massimo. Questa resistenza residua è attribuibile, in parte ad un fenomeno di ingranamento, ed in parte al contrasto offerto dal peso proprio all'attivazione del meccanismo di ribaltamento.

Durante la prova sul campione rinforzato FMC-1-I-P, invece, si sono formate in successione due fessure orizzontali continue sulla lastra di intonaco sollecitata a trazione, localizzate nel terzo medio dell'altezza, dove il momento flettente assume un valore approssimativamente costante (figura 23b). All'apertura di ciascuna fessura si è verificata una moderata riduzione del carico (di circa 15-20 kN), che ha ripreso successivamente a crescere fino alla formazione della fessura successiva. La rottura del pannello è avvenuta per un carico di circa 78 kN, quando, in corrispondenza della fessura con apertura più ampia, si sono rotti, in maniera pressoché simultanea, tutti i fili verticali della rete in GFRP. A questo punto, la fessura principale si è propagata istantaneamente anche all'interno della muratura, lungo l'interfaccia malta-ciottoli, interessando quasi completamente l'intero spessore del pannello. Il conseguente crollo di resistenza è stato repentino e ha determinato un collasso del campione di tipo fragile. Non sono state evidenziate fessure in corrispondenza del lato di applicazione del carico, né sulla muratura né sulla malta di ristilatura dei cavi metallici del "Reticolatus".



Nel corso della prova sul campione rinforzato FMC-2-I-P, per valori di carico attorno ai 20 kN, la malta di ristilatura ha cominciato a fessurarsi e a sollevarsi dal pannello nei punti maggiormente sollecitati, distaccandosi parzialmente. Il fenomeno ha assunto maggiore intensità a circa 2/3 dell'altezza del campione, in corrispondenza di un giunto di malta attraversato da un trefolo orizzontale, dove, all'aumentare del carico, si è aperta anche una fessura orizzontale sulla muratura, all'interfaccia malta-ciottoli (figura 23c). In corrispondenza di questa fessura, per un carico prossimo ai 25 kN, è stato riscontrato il parziale sfilacciamento del trefolo verticale sul lato destro, che tuttavia non è giunto a rottura completa. Il collasso del campione si è verificato, invece, quando si è rotto a trazione il trefolo verticale sinistro, tranciato in corrispondenza dell'anello metallico del connettore. A tale fenomeno è associato un rapido calo di resistenza, che si è poi attestata ad un valore pari a circa il 65% di quello massimo. Al proseguire della prova, l'inflessione del pannello ha continuato a crescere, determinando la rottura graduale del trefolo verticale di destra, già sfilacciato. Per elevati valori della freccia, superiori ai 30 mm, si è osservato che il pannello tendeva gradualmente a riprendere carico, man mano che i due trefoli verticali centrali, rimasti integri, iniziavano a tendersi. La prova è stata tuttavia interrotta in corrispondenza di una freccia di circa 75 mm, per evitare il collasso del pannello per ribaltamento delle due porzioni di muratura, vista l'elevata inflessione raggiunta. La fessura orizzontale, originatasi in corrispondenza della faccia sollecitata a trazione, si è diffusa su tutto lo spessore della muratura, arrivando a interessare anche la lastra di intonaco posizionata sul lato opposto del campione.



(a)



(b)



(c)

23. Fessurazione delle facce tese dei tre campioni testati: FMC (a), FMC-1-I-P e FMC-2-I-P (c).



## CONCLUSIONI

La campagna sperimentale condotta ha permesso di valutare il contributo alla resistenza a compressione diagonale e a flessione fuori piano dovuto al rinforzo di murature mediante un sistema ibrido con ristilatura armata con trefoli in acciaio inox e intonaco armato con rete in GFRP.

Le prove di compressione diagonale eseguite in laboratorio hanno evidenziato che la tecnica di rinforzo ibrido, con ristilatura armata ("Reticolatus") su una faccia e intonaco armato con rete in GFRP sull'altra, determina un incremento di resistenza dell'87%, 44% e 112% rispettivamente per la muratura di pietrame sbizzato, di laterizi a due teste e di ciottoli di fiume. Il comportamento flessionale derivante dall'asimmetria di rinforzo è stato monitorato nel corso delle prove e, pur dipendendo dal rapporto fra le rigidità dell'intonaco applicato e della muratura di supporto, è risultato in ogni caso contenuto e non ha precluso il miglioramento della resistenza a taglio. Anche l'aumento di resistenza conseguente all'applicazione del rinforzo con "Reticolatus" su entrambe le facce è risultato dipendere sensibilmente dalle caratteristiche originarie della muratura su cui si interviene, infatti si è osservato un incremento del 17% per la muratura in pietrame e del 40% per quella in ciottoli.

Dal confronto dei valori del parametro K (rapporto fra il carico residuo corrispondente al raggiungimento di una prefissata deformazione e il carico massimo di prova) è inoltre emerso che entrambe le tecniche analizzate consentono un significativo miglioramento del comportamento post-critico della muratura.

Le prove sperimentali a flessione fuori-piano hanno evidenziato che la tecnica di rinforzo ibrido permette di ottenere miglioramenti significativi in termini di resistenza ad azioni fuori piano.

In particolare, le prove eseguite su murature in ciottoli hanno mostrato che quando la sollecitazione di trazione interessa il lato con l'intonaco armato, si consegue una resistenza pari a circa 4 volte quella della muratura non rinforzata. La resistenza viene invece raddoppiata nel caso in cui la faccia sottoposta a trazione è rinforzata con trefoli metallici, tale incremento è comunque funzione dell'area dei trefoli verticali presenti, essendo questi gli elementi "deboli" del sistema resistente maglia metallica-muratura.

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro qui presentato è stato condotto in parte con il contributo del progetto ReLUI (2010-2013) Linea 2.3.1 - Sviluppo e analisi di nuovi materiali per l'adeguamento sismico. Si ringraziano il Prof. Ing. Natalino Gattesco e l'Ing. Ingrid Boem PhD dell'Università di Trieste, l'Ing. Andrea Cernigoi per la collaborazione durante l'esecuzione delle prove e il Prof. Ing. Antonio Borri e l'Ing. Romina Sisti PhD dell'Università di Perugia.

Articolo a cura dell'Ingegnere Allen Dudine  
Ufficio tecnico Fibre Net



## BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

1. Baronio, G., Binda, L., Modena, C., 1993. Strengthening of masonries by injection techniques. Proceedings of the Sixth North American Conference. Philadelphia.
2. Binda, L., Modena, C., Baronio, G., Gelmi, A., 1994 Experimental qualification of injection admixtures used for repair and strengthening of stone masonry walls. Proceedings of the 10th International Brick/Block Masonry Conference. Calgary.
3. Borri, A., Corradi, M., Giannantoni, A., Speranzini, E., 2009. Ristilatura con SRG di Murature Storiche: Nuove Sperimentazioni, ANIDIS, 28 giugno-2 luglio 2009, Bologna.
4. Borri, A., Castori, G., Corradi, M., Speranzini, E., 2011. Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 4403–4414;
5. Borri A., Sisti R., Gattesco N., Boem I., Dudine A. "Sperimentazioni su murature faccia a vista rinforzate con reticolo di trefoli metallici inseriti nei giunti e intonaco con rete in GFRP", *Structural*, Ed. De Lettera, n. 182/2013, e-printing, Milano, Ottobre 2013.
6. Brignola, S., Frumento, S., Lagomarsino, S., Podestà, S., 2009. Identification of shear parameters of masonry panels through the in-situ diagonal compression test, *Int. Journal. of Architectural Heritage*, 3, 52-73
7. Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A., 2008. Experimental evaluation of the in-plane shear behaviour of masonry walls retrofitted using conventional and innovative methods. *J. of the British Masonry Soc.*, 21(1), 29-42.
8. Gattesco, N., Dudine, A., 2010. Il rinforzo di murature esistenti con intonaco e rete in GFRP. *Structural* n. 164, Anno XVIII – pag. 16-27. ISSN 1593-3970. Ed. De Lettera, Milano.
9. Gattesco, N., Boem, I., Dudine, A., 2013. In plane and out-of-plane behaviour of existing masonry strengthening with a GFRP reinforced mortar coating. XIV International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, CC2013, 3-6 settembre 2013, Cagliari.
10. Modena, C., 1994. Repair and upgrading techniques of unreinforced masonry structures utilized after the Friuli and Campania-Basilicata earthquake. *Earthquake Spectra*; 10(1): 171-185.
11. Parisi F., Iovinella I., Balsamo A., Augenti N., Prota A., 2011, Indagine sperimentale sulla resistenza a taglio della muratura di tufo rinforzata con materiali compositi a matrice inorganica, XIV Convegno "L'Ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS, 18-22 Settembre, Bari.
12. Prota, A., Marcarì, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G., Aldea, C. 2006. Experimental In-Plane Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites *Journal of Composites for Construction*, 10: 3, 223-233.
13. RILEM TC., 1994. 76-LUM. Diagonal tensile strength tests of small wall specimens, 1991. In RILEM, *Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials*. London: E& FN SPON, 488–489.
14. Tunseck, V., Cacovic, F., 1971. Some experimental result on the strength of brick masonry walls. *Proceedings of the 2nd international Brick Masonry Conference*, pp. 149-156, Stoke-on-Trent.
15. Valluzzi, M.R., Tinazzi, D., Modena C., 2002. Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. *Construction and Building Materials* 16 (2002) 409–416.
16. 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.
17. UNI EN 12390-6:2010 Prove sul calcestruzzo indurito – Parte 6: Resistenza a trazione indiretta dei provini.

**Fibre Net S.r.l**

Via Jacopo Stellini, 3 - Z.I.U.  
33050 Pavia di Udine (Ud) ITALY  
Tel. +39 0432 600918

[www.fibrenet.it](http://www.fibrenet.it) - [info@fibrenet.info](mailto:info@fibrenet.info)

[www.fibrenet.it](http://www.fibrenet.it)