



Rinforzo strutturale della muratura

MX-PVA
Sistema intonaco
fibrorinforzato



L RureGold
Evoluzione del rinforzo strutturale

MX-PVA
Fibrorinforzata

**Malta ad alte prestazioni per il ripristino
strutturale delle murature**

High performance mortar for the structural reinstatement
of masonry

Mortier à hautes performances pour la réparation
structurelle des maçonneries

Mortero de elevadas prestaciones para la rehabilitación
estructural de mampostería

L laterlite
Le tue soluzioni per costruire

Indice

Patrimonio edilizio esistente.		4
Interventi di consolidamento.	Riferimenti normativi.	6
	Descrizione degli interventi.	8
	Saturazione dei vuoti con iniezione di miscele leganti.	8
	Ristilatura armata e connessione dei paramenti.	8
	Intonaco armato e sistema CRM.	9
Sistema intonaco fibrorinforzato.	Introduzione e vantaggi.	10
	MX-PVA Fibrorinforzata.	11
	Campagne di ricerca.	12
	Università di Firenze.	12
	Università di Pavia.	14
	Università di Perugia.	16
	- Intonaco Fibrorinforzato.	16
	- Ristilatura.	17
	Centro Ricerche ENEA.	18
	Prestazioni del sistema.	20
	Intonaco Fibrorinforzato.	20
	Ristilatura dei giunti.	21
	Certificazioni del sistema MX-PVA Fibrorinforzata.	21
	Applicazione del Sistema Intonaco Fibrorinforzato.	22
Il sistema di rinforzo.	MX-PVA Fibrorinforzata.	23
	Connessioni.	23

Seguici su:    

Patrimonio edilizio esistente.

Le strutture in muratura rappresentano la **tipologia costruttiva più diffusa** nel patrimonio edilizio storico in Italia. Questa tipologia di edificio si caratterizza per una grande varietà di soluzioni tecniche e costruttive, fortemente influenzate dai materiali disponibili localmente e dalle consuetudini costruttive delle diverse epoche.

La muratura in una costruzione esistente è quindi il risultato **dell'assemblaggio di materiali diversi**, in cui la tecnica costruttiva, le modalità di posa in opera, le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti e il loro stato di conservazione determinano il comportamento meccanico dell'insieme, come specificato nella **Circolare n. 7 del 21/01/2019 delle NTC 2018**.

Negli ultimi anni si è assistito a una **crescente attenzione nei confronti del recupero e del consolidamento** del patrimonio edilizio esistente. Intervenire su edifici storici richiede un approccio consapevole e mirato, in grado di coniugare la sicurezza strutturale con la tutela del valore storico-architettonico dell'opera. Per poter procedere alla definizione del miglior intervento possibile sulla struttura in esame risulta dunque opportuno procedere con una **preventiva e accurata analisi dell'edificio** prendendo in esame **la geometria, la tipologia muraria, i meccanismi di danno e i dissesti eventualmente presenti**.

È quindi necessario acquisire un **adeguato livello di conoscenza** della struttura e delle **caratteristiche meccaniche e di resistenza** della muratura su cui si deve intervenire, come definito al capitolo **§ 8.5 delle NTC 2018**.

Tale conoscenza può essere ottenuta attraverso rilievi visivi, prove diagnostiche in situ e in laboratorio oltre a un'analisi storica dell'edificio. Il rilievo dei **dissesti presenti** è parte integrante della fase conoscitiva e tra i principali è possibile inserire:

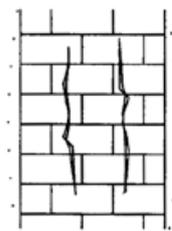
- cedimenti a livello delle fondazioni;
- eccesso di presenza di carichi verticali;
- effetti di azioni spingenti non contrastate;
- effetto dell'azione sismica.

A livello delle fondazioni si possono verificare dei **cedimenti differenziali del terreno**, causati ad esempio dalla mancanza di un adeguato costipamento del suolo prima della costruzione, dalla variazione del regime idraulico delle acque sotterranee o dal sottodimensionamento delle strutture di fondazione.

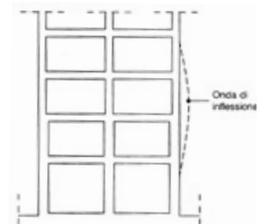
Si possono poi osservare diverse tipologie di danneggiamento, a causa delle sollecitazioni che insistono sugli elementi murari.

Tra le principali si annoverano:

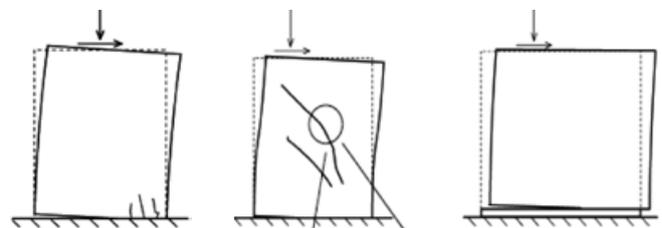
- **dissesti dovuti a schiacciamento** che si manifestano con lesioni ad andamento prevalentemente verticale, dovute all'insufficiente resistenza alla compressione della sezione trasversale rispetto ai carichi, all'aumento di questi ultimi o alla riduzione della capacità portante a causa del degrado dei materiali;



- **dissesti dovuti a instabilità locale dei paramenti murari** a causa della presenza di carichi gravitazionali non opportunamente distribuiti o contrastati;



- **dissesti dovuti al raggiungimento della resistenza a trazione del materiale** a causa di fenomeni di presso-flessione, taglio-scorrimento e taglio-trazione, in cui il comportamento dipende dalla qualità dei giunti tra gli elementi murari, giunti deboli e forti rispettivamente.



Non si deve inoltre trascurare la presenza di eventuali **effetti spingenti non contrastati**, spesso dovuti alla geometria dell'edificio (es. archi o volte non adeguatamente contenute), che possono portare alla formazione di lesioni e concentrazioni di danneggiamento.

Questi fenomeni sono comunemente presenti nel caso di catene e spinte orizzontali non confinate, oppure in presenza di effetti spingenti come le coperture di edifici esistenti e l'interazione con altri edifici adiacenti a quello oggetto di intervento (Figura 1).

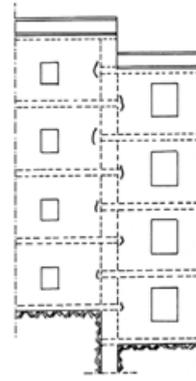


Figura 1

L'**azione sismica** rappresenta infine una delle maggiori fonti di vulnerabilità intrinseca di un edificio in muratura. Durante un evento sismico, gli edifici in muratura possono sviluppare cinematici di collasso locali o globali, dovuti

all'assenza di collegamenti efficaci tra i diversi elementi costruttivi (pareti, solai, coperture), all'insufficiente rigidità dei diaframmi orizzontali o alla presenza di murature disomogenee.



Interventi di consolidamento.

Riferimenti normativi.

Dopo aver effettuato la verifica di vulnerabilità sismica e statica dell'edificio oggetto di consolidamento e dopo aver individuato le **carenze strutturali** presenti, è possibile procedere con la definizione dei possibili interventi di consolidamento strutturale.

A tal fine le **Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e la Circolare n.7 del 21/1/2019 delle NTC2018 descrivono le principali tecniche di intervento** per il rinforzo degli edifici in muratura. In particolare la Circolare al § C8.5.3.1 definisce i seguenti **interventi di consolidamento** per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della struttura muraria di partenza:

- **consolidamento con iniezioni di miscele leganti;**
- **consolidamento con intonaco armato;**
- **consolidamento con diatoni artificiali o tirantini antiespulsivi;**
- **consolidamento con ristilatura armata e connessione dei paramenti.**

Sempre nella Circolare, al § C8.7.4 **“Criteri e tipi di intervento”** vengono riportate le raccomandazioni per rendere funzionale un intervento per mitigare la vulnerabilità dell'edificio, passando attraverso l'analisi delle criticità locali.

Tab. C8.5.I della Circolare esplicativa.

Caratteristiche meccaniche di riferimento differenziate per tipologia di muratura.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	[N/mm ²]	[kN/m ³]				
	min - max	min - max		min - max	min - max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0	0,018	-	690	230	19
	2,0	0,032	-	1050	350	
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	2,0	0,035	-	1020	340	20
		0,051	-	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6	0,056	-	1500	500	21
	3,8	0,074	-	1980	660	
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4	0,028	-	900	300	13 - 16
	2,2	0,042	-	1260	420	
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	2,0	0,04	0,10	1200	400	13 - 16
	3,2	0,08	0,19	1620	500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8	0,09	0,18	2400	800	22
	8,2	0,12	0,28	3300	1100	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	2,6	0,05	0,13	1200	400	18
	4,3	0,13	0,27	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura ≤40%)	5,0	0,08	0,20	3500	875	15
	8,0	0,17	0,36	5600	1400	

Successivamente, al paragrafo § C8.7.4.1 **“Criteri per gli interventi di consolidamento degli edifici in muratura”** sono forniti i criteri generali per gli interventi di consolidamento nei confronti delle azioni sismiche, suddivisi in **5 principali categorie**:

1. la formazione dei diaframmi di piano, a livello dei solai ed eventualmente nelle falde di copertura;
2. le connessioni delle pareti tra loro e ai diaframmi di piano;
3. i collegamenti nello spessore della parete in presenza di paramenti multipli;
4. l'incremento della sismo-resistenza delle pareti;
5. il contenimento delle spinte e il consolidamento di archi e volte.

In particolare, il **punto 4** propone una serie di **strategie di intervento** tra cui:

- interventi di scuci-cuci;
- ristilatura dei giunti di malta;
- iniezioni di miscele leganti;
- intonaco armato con reti di acciaio o materiali compositi;
- applicazione di fasciature resistenti a trazione;
- inserimento di tiranti verticali post-tesi;
- eliminazione delle discontinuità (chiusura di nicchie, canne fumarie o vecchie lesioni).

Inoltre, al § C8.7.4 punto 4. **“Incremento della capacità delle pareti”** della Circolare, è specificato che è altresì possibile considerare interventi per l'incremento della capacità delle pareti mediante:

- **interventi di scuci-cuci;**
- **ristilatura dei giunti di malta.**

La tabella Tab. C8.5.I del § C8.5.3 della Circolare riporta, per le tipologie murarie più ricorrenti, indicazioni sui possibili valori dei parametri meccanici, identificati attraverso il rilievo degli aspetti costruttivi. In funzione della tipologia di tessitura, del materiale e della dimensione degli elementi lapidei, vengono definite **otto categorie di murature alle quali vengono associate degli intervalli di prestazione meccanica, deformativa e peso:**

- **f** = resistenza media a compressione;
- **τ_0** = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (da utilizzare in murature irregolari);
- **f_{v0}** = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (da utilizzare in murature regolari);
- **E** = valore medio del modulo di elasticità normale;
- **G** = valore medio del modulo di elasticità tangenziale;
- **w** = peso specifico medio.

Dopo aver fornito le indicazioni per la valutazione delle resistenze base della muratura, la Circolare propone un **approccio semplificato per incrementare tali resistenze attraverso la definizione di coefficienti correttivi**, applicabili sia nello stato di fatto che nello stato di progetto, riportati in **Tab. C8.5.II.**

Quest'ultima, infatti, è divisa in due macro categorie:

- **stato di fatto;**
- **interventi di consolidamento.**

Per poter applicare i **coefficienti correttivi della prima sezione** è necessario effettuare delle valutazioni qualitative sullo stato di conservazione della muratura esistente, verificare la presenza di ricorsi (o listature) e la presenza sistematica di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti.

Per poter invece sfruttare i coefficienti correttivi della sezione “interventi di consolidamento” è necessario realizzare tali **interventi di rinforzo, verificando che questi ultimi vengano effettuati secondo le modalità illustrate dalla Circolare.**



Tab. C8.5.II della Circolare esplicativa.

Coefficienti moltiplicativi di incremento da applicare in funzione dell'intervento di consolidamento.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato	Ristilatura armata con connessione dei paramenti	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	-	-	1,3	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura $\leq 40\%$)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

Descrizione degli interventi.

Saturazione dei vuoti con iniezione di miscele leganti.

Tale intervento permette di ripristinare la **monoliticità della parete** scongiurando così fenomeni di disgregazione locale dovuti alla presenza di fessure o piccole cavità.

Deve essere valutata preventivamente la possibilità di iniettare malte molto fluide per riempire le lacune esistenti nella trama muraria.

La soluzione per questo intervento prevede l'impiego del premiscelato **MX-Inject NHL**, boiacca da iniezione pozzolanica a base di calce idraulica naturale.

In questo caso il **coefficiente indicato** in tabella **Tab. C8.5.II**, può essere applicato ai valori sia dei parametri di resistenza sia dei moduli elastici.

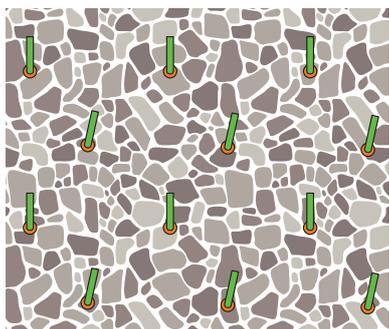
Ristilatura armata e connessione dei paramenti.

Tale tecnica consiste nella **risarcitura e successiva stila-tura dei giunti di malta di allettamento parzialmente o totalmente mancanti, degradati ed erosi**. Lo scopo dell'intervento è di migliorare la resistenza della muratura mediante il ripristino dei contatti tra gli elementi lapidei e la continuità della sezione muraria.

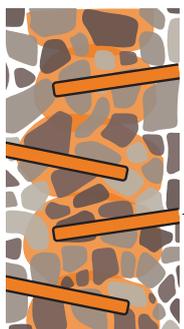
In questa sezione è permesso sostituire su uno dei paramenti la ristilatura armata con un intonaco armato di limitato spessore.

Il **coefficiente** in tabella **Tab. C8.5.II**, può essere applicato ai valori sia dei parametri di resistenza che ai moduli elastici (in quest'ultimo caso, in misura ridotta del 50%).

Vista frontale.



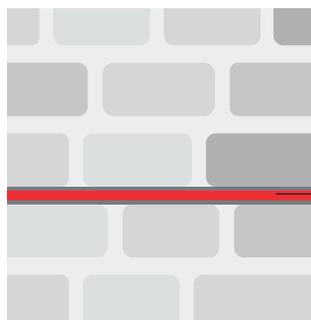
Sezione trasversale.



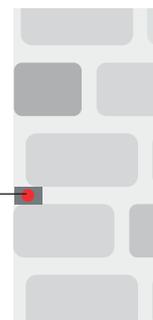
Modalità applicativa.



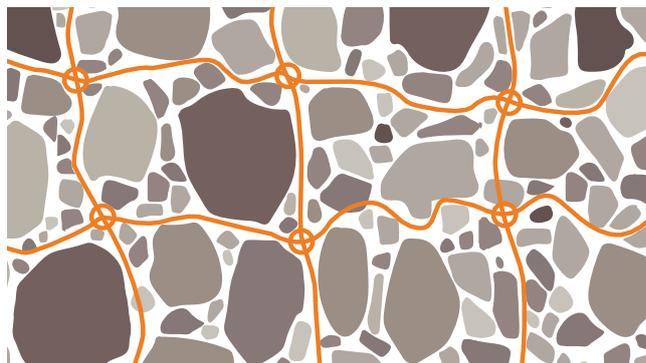
Vista frontale.



Sezione trasversale.



Ristilatura armata.



RureGold
Evoluzione del rinforzo strutturale

MX-Inject NHL

Malta da iniezione prepolimerizzata a base di calce idraulica naturale per il consolidamento della muratura

Per approfondimenti scansiona il QR code.

RureGold
Evoluzione del rinforzo strutturale

MX-PVA Fibrorinforzata

Malta ad alta prestazione per il ripristino strutturale della muratura

Per approfondimenti scansiona il QR code.

Intonaco armato e sistema CRM.

Tale intervento consiste nella realizzazione di due pareti armate con reti in acciaio o in materiale composito in cui vengono applicate sistematiche connessioni trasversali che ne garantiscono la piena funzionalità.

La tecnica dell'intonaco armato consiste nel **placcaggio delle murature mediante una rete di armatura connessa meccanicamente alla parete esistente e inglobata in un betoncino** (o intonaco strutturale) migliorandone così la stabilità ed evitando fenomeni di degrado e di instabilità fuori dal piano.

Tale intervento in passato veniva realizzato con reti elettrosaldate in acciaio e betoncino cementizio, in uno spessore medio di circa 8-10 cm per lato.

Negli ultimi anni, **per risolvere le problematiche relative alla corrosione delle armature di acciaio e per**

facilitare la messa in opera del sistema, vengono utilizzati i sistemi CRM (Composite Reinforced Mortar) che sfruttano l'elevata resistenza e leggerezza delle reti preformate in FRP, immuni dalla corrosione.

Il coefficiente indicato in tabella Tab. C8.5.II può essere applicato ai valori sia dei parametri di resistenza sia dei moduli elastici. In questo caso non si applicano i coefficienti relativi alla connessione trasversale della muratura non consolidata e alla ristilatura armata. Infine, si specifica che l'efficacia dell'intervento è ridotta quando realizzato su un solo paramento, senza precisa indicazione sull'entità del decremento.

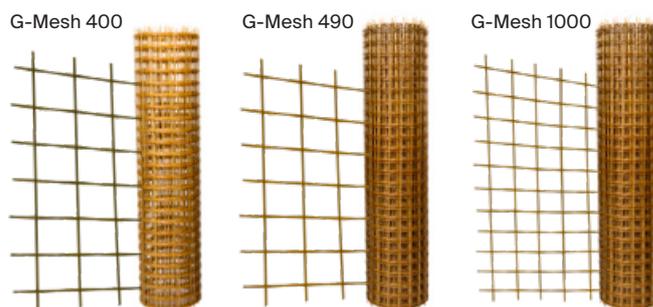
Nel caso di **uso combinato di diverse tecniche di consolidamento**, i coefficienti possono essere applicati in **forma moltiplicativa** purché il valore complessivo non superi il coefficiente massimo indicato nell'ultima colonna della tabella **Tab. C8.5.II**.

Intonaco armato - Sistema CRM.



Consulta la monografia Sistema CRM:
inquadra il QR code o vai sul sito
RureGold.it

Reti preformate.



Intonaci strutturali.



Prodotti complementari al sistema.



Angolare



Fazzoletto



Connettori

Sistema intonaco fibrorinforzato.

Introduzione e vantaggi.

In alternativa ad un intervento di placcaggio delle muraure mediante la tecnica dell'intonaco armato tradizionale o sistema CRM, per incrementare la capacità portante e sismo-resistente delle pareti è possibile prevedere un intervento di rinforzo mediante **Sistema Intonaco Fibrorinforzato - MX-PVA Fibrorinforzata**, sfruttandone la **resistenza a trazione diffusa** offerta dalle fibre disperse nell'intonaco. Con il termine **diffusa** si intende la **capacità della malta FRC di esprimere una resistenza a trazione uguale in tutte le direzioni**, fondamentale per opporsi a sollecitazioni composte di taglio e pressoflessione nel piano e fuori piano.

MX-PVA Fibrorinforzata è un **intonaco strutturale fibrorinforzato premiscelato** conforme alla **UNI EN 998-1 e 2, UNI EN 1504-3** e dotato di **Certificato di Valutazione**

Applicazione intonaco fibrorinforzato.



Tecnica (CVT n. 49 del 19/02/2025) in accordo alla "Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica e il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati **FRC** (*Fiber Reinforced Concrete*)".

La presenza delle fibre strutturali di Polyvinyl Alcohol (**PVA**) nell'impasto **permette all'intonaco di sviluppare importanti resistenze a trazione**, le quali sono state caratterizzate in fase di certificazione conducendo prove di flessione a tre punti su provini prismatici con un intaglio in mezzeria, come da disposizioni della UNI EN 14651.

Da tali prove vengono ricavate le resistenze residue a flessione in corrispondenza di quattro livelli di apertura della fessura in mezzeria (**CMOD Crack Mouth Opening Displacement**).

Applicazione ristilatura fibrorinforzata.



MX-PVA Fibrorinforzata.

È l'**innovativo** sistema di consolidamento delle murature esistenti "**tutto in uno**" che, grazie alla **presenza diffusa di fibre sintetiche strutturali in PVA**

in abbinamento ai connettori, si pone come soluzione alternativa alla tradizionale tecnica dell'intonaco armato - sistema CRM **facilitandone la posa.**

Intonaco fibrorinforzato



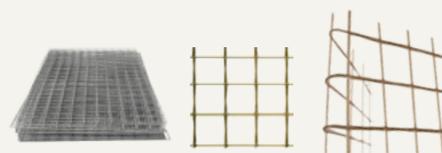
Intonaco armato Sistema CRM



3 IN 1



Le **fibre strutturali PVA** costituiscono l'armatura tridimensionale del sistema, svolgendo la funzione equivalente delle reti metalliche o in fibra.



Reti in acciaio o in composito

Angolari

L'effetto primario delle fibre strutturali nell'impasto è quello di **fornire duttilità al materiale cementizio**, tipicamente fragile sia a compressione che a trazione.

L'applicazione di MX-PVA Fibrorinforzata offre i seguenti vantaggi:

- **evita l'utilizzo delle reti di armatura in acciaio o fibra;**
- **elimina le criticità delle reti metalliche** nei confronti dei fenomeni corrosivi;
- **semplifica e velocizza le fasi esecutive di cantiere;**
- consente di realizzare **spessori di intervento** contenuti nell'ordine di **circa 3 cm;**
- **evita l'impiego di angolari.**

In più, MX-PVA Fibrorinforzata può essere impiegata per effettuare i seguenti interventi di ripristino e rinforzo di strutture in muratura:

- **interventi di scuci-cuci;**
- **interventi di ristilatura**, anche profonda, dei giunti di malta.

L'effetto benefico degli interventi sopracitati è stato indagato, studiato e testato da **Laterlite conducendo ampie campagne sperimentali presso Università e Centri di Ricerca** al fine di dimostrarne i benefici e la congruenza con gli interventi di rinforzo tradizionali. I risultati di tali attività di ricerca vengono approfonditi nelle sezioni successive.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



A.D. 1308
unipg
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA



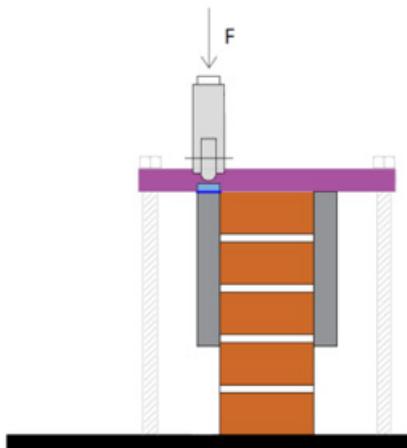
Campagne di ricerca.

Università di Firenze.

L'attività sperimentale condotta in collaborazione con il **Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli studi di Firenze dal titolo "Studio sperimentale e numerico dell'efficacia del sistema FRC realizzato con malta MX-PVA Fibrorinforzata per il rinforzo a taglio di pannelli murari"** sia articolata in tre fasi principali.

1. Caratterizzazione meccanica e della **capacità adesiva** di MX-PVA Fibrorinforzata dai diversi supporti in muratura: questa prima fase è risultata fondamentale per la definizione del legame costitutivo del materiale a trazione e del legame adesivo sui diversi supporti di muratura.

Test setup - prove di distacco.

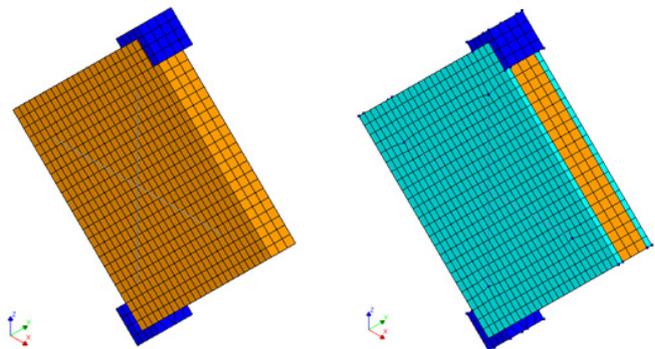


Per valutare quest'ultima capacità sono state effettuate prove di distacco dai supporti standard.

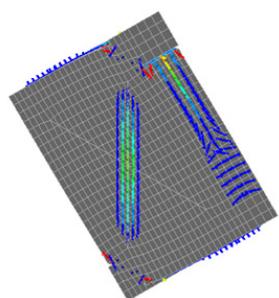
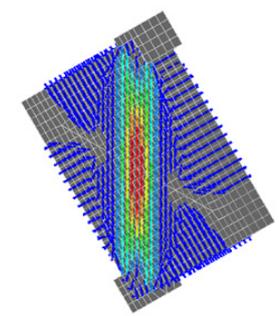
2. Sviluppo di un modello numerico agli elementi finiti

validato dai risultati sperimentali delle campagne sperimentali in collaborazione con Università di Pavia e Perugia: in questa fase è stato sviluppato e calibrato un modello numerico FEM al fine di studiare, attraverso analisi parametriche, l'**efficacia del sistema FRC** come rinforzo a taglio delle pareti in muratura. I risultati delle analisi numeriche sono stati confrontati con quelli sperimentali raggiungendo un grado accuratezza superiore al 93%.

Modellazione agli elementi finiti.



Risultato del modello FEM.



3. Analisi parametrica e predittiva per la valutazione dell'incremento della resistenza taglio-trazione della muratura: in quest'ultima fase dell'attività di ricerca, utilizzando il modello numerico descritto e calibrato precedentemente, è stata condotta una analisi parametrica per valutare l'efficacia del rinforzo al variare dei parametri più significativi:

- **spessore del pannello;**
- **applicazione su entrambe le facce o solo da un lato;**
- **tipologia di muratura.**

Quest'ultimo punto ha permesso di **quantificare l'efficacia del sistema di rinforzo** nella valutazione del taglio resistente della muratura rinforzata su entrambi i lati con uno strato MX-PVA Fibrorinforzata. Tale analisi è stata sviluppata secondo due approcci equivalenti.

L'approccio 1 - semplificato segue la linea progettuale proposta dalla Circolare nella Tab. C8.5 II.

Viene infatti **proposta una formulazione per calcolare il coefficiente correttivo da applicare alle resistenze base della parete muraria** in funzione delle sue caratteristiche geometriche e resistenti e della resistenza a trazione e spessore di applicazione dell'intonaco fibrorinforzato. **Tale approccio potrebbe essere standardizzato per creare una nuova colonna nella tabella della Circolare da utilizzarsi in alternativa all'intonaco armato.**

L'approccio 2 - analitico invece propone di valutare in maniera più accurata la resistenza a taglio della parete attraverso la definizione di una **resistenza a taglio equivalente** $\tau_{R,eq}$ secondo una formula semplificata.

Sfruttando entrambi gli approcci, **l'attività di ricerca condotta ha dimostrato che i coefficienti migliorativi ottenuti utilizzando l'intonaco fibrorinforzato MX-PVA Fibrorinforzata risultano sempre superiori a quelli proposti per gli interventi di intonaco armato dalla Tab. C8.5 II della Circolare esplicativa per uno spessore delle pareti inferiore a 70 cm.**

Formula Approccio 1 - semplificato.

$$\alpha_{2 \text{ lati}} = 2.39 \cdot \left(\frac{\tau_{NR} t_m}{f_{t,FRC} t_{FRC}} \right)^{-0.536}$$

$$\alpha_{1 \text{ lato}} = 2.14 \cdot \left(\frac{\tau_{NR} t_m}{f_{t,FRC} t_{FRC}} \right)^{-0.409}$$

Formula Approccio 2 - analitico.

$$\tau_{R,eq} = \tau_{NR} + \frac{f_{t,FRC} t_{FRC}}{t_m}$$

Coefficiente amplificativo della resistenza a taglio α al variare della tipologia e dello spessore della parete, del numero di strati di intonaco e confronto con i valori previsti da NTC 2018.

Tipologia di muratura	sp. parete τ_m [mm]	α intonaco su 2 lati	α intonaco su 1 lato	α Tab. C8.5.II Circ. NTC18
Pietrame (Conci sbozzati*)	30	4,66	2,62	2,50 (2,00*)
	40	3,65	2,13	2,50 (2,00*)
	50	3,05	1,86	2,50 (2,00*)
	60	2,62	1,62	2,50 (2,00*)
	70	2,35	1,50	2,50 (2,00*)
Laterizio forato	16	2,00	1,38	1,30
	30	1,82	1,22	1,30
	40	1,66	1,17	1,30
Mattoni pieni	12	4,10	2,52	1,50
	25	2,67	1,82	1,50
	38	2,14	1,51	1,50

* La muratura in pietra testata può essere classificata come muratura in pietrame in termini di resistenza a compressione, mentre dal punto di vista della tessitura muraria può essere fatta ricadere nella categoria muratura a conci sbozzati. Per questo in tabella vengono riportati i confronti con i coefficienti da NTC 2018 di entrambe le tipologie.



Consulta il report di prova:
inquadra il QR code o vai sul sito RureGold.it

Università di Pavia.

Nell'ambito di una più ampia campagna sperimentale, presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAr) dell'**Università di Pavia**, è stato valutato l'effetto positivo di un rinforzo mediante MX-PVA Fibrorinforzata su campioni di muratura di pietra naturale, assimilabili a muratura a conci sbazzati con paramenti di spessore disomogeneo, secondo la tabella Tab. C8.5.I della Circolare.

Sono state testate le seguenti configurazioni di intonaco fibrorinforzato su **3 campioni ciascuna**:

- **provino tipo 1** - applicazione di MX-PVA Fibrorinforzata solo su un lato con 5 Connettori Elicoidali passanti e ristilatura dei giunti sull'altra faccia;
- **provino tipo 2** - applicazione di MX-PVA Fibrorinforzata su entrambi i lati con 5 Connettori Elicoidali;
- **provino tipo 3** - su entrambi i lati senza Connettori Elicoidali.

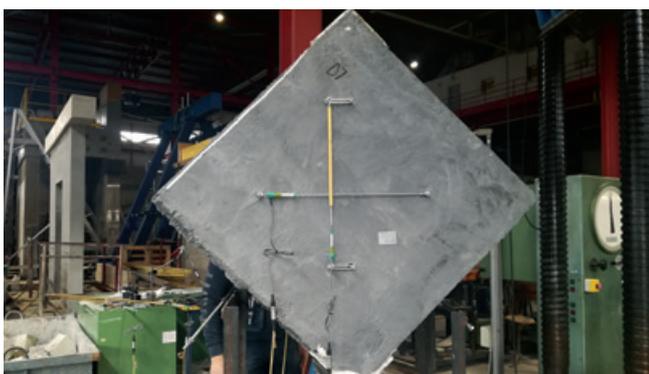
Provino tipo 1.



Provino tipo 2.



Provino tipo 3.



Sono state condotte prove di **compressione diagonale**, con applicazione della forza di compressione lungo una diagonale del pannello murario quadrato, lasciando l'altra diagonale scarica.

È stato poi registrato per ciascun provino la **massima forza applicata P_{max}** , a partire dalla quale è possibile ricavare la resistenza a taglio, a trazione e a compressione, come dettagliato nel report di prova, consultabile sul sito RureGold.

Dalle prove è emerso che i provini non rinforzati hanno sviluppato **fessure nel piano**, in posizione quasi parallela alla forza di compressione, e rigonfiamenti fuori dal piano che hanno provocato la separazione dei paramenti murari.

I rinforzi con MX-PVA Fibrorinforzata, in particolare quelli con cinque connettori elicoidali, hanno permesso di confinare efficacemente la muratura e limitare e/o ritardare notevolmente la separazione dei paramenti.

Questo effetto benefico è stato parzialmente perso per i campioni senza connettori, dove sono stati osservati il distacco del rinforzo e la separazione dei paramenti.

Nessun connettore applicato al provino.



Gli interventi di rinforzo con MX-PVA Fibrorinforzata hanno permesso di incrementare la resistenza del provino con un coefficiente (rapporto tra il carico ottenuto nella configurazione rinforzata e quello nella configurazione non rinforzata) **compreso tra 2.26 e 4.71.**

Nello specifico, il miglioramento delle prestazioni è risultato più contenuto nei campioni rinforzati su un lato con intonaco fibrorinforzato e sull'altro con la ristilatura. Inoltre, confrontando i provini rinforzati con intonaco fibrorinforzato su entrambi i lati, si osserva che in assenza di connettori l'incremento di resistenza medio si riduce del 25%.

Infine, dal punto di vista della **risposta della muratura**, si sono osservate delle differenze: **in assenza di connettori si assiste a una progressiva separazione del rivestimento o dei paramenti murari, con maggiori deformazioni diagonali; nel caso di rinforzo ben collegato, tale modalità di rottura viene scongiurata, a favore di un incremento del carico massimo.**

Provino con cinque connettori a m².



Consulta il report di prova:
inquadra il QR code o vai sul sito RureGold.it

Università di Perugia.

Intonaco fibrorinforzato.

Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'**Università degli Studi di Perugia** sono state svolte delle **prove a compressione diagonale** su pannelli murari quadrati rinforzati con malta MX-PVA Fibrorinforzata. Sono stati testati sette campioni di muratura (di dimensioni 120x120 cm e 16 cm di spessore), realizzati utilizzando **blocchi forati portanti in laterizio** e malta a base cementizia. Il **rinforzo strutturale eseguito su tre dei sette provini** è caratterizzato dall'apposizione di uno strato di **MX-PVA Fibrorinforzata su ambo i lati dei pannelli per uno spessore di 3 cm per lato**.

I pannelli sono stati sottoposti a un carico di compressione P applicato lungo una diagonale del provino; è stato rilevato il massimo carico P_{max} e lo stato deformativo.

Nelle tabelle, sono riportati i risultati ottenuti per i provini non rinforzati e rinforzati: si è osservato un **incremento di resistenza a taglio di oltre l'85% a seguito dell'intervento di rinforzo**.

Dal punto di vista del quadro fessurativo, i pannelli rinforzati hanno subito **maggiori deformazioni** prima di evidenziare fessure visibili. Si è osservata inoltre una **diversa tipologia di rottura** nei provini non rinforzati e rinforzati. Nei primi le lesioni hanno interessato la zona dei giunti, punto più debole della muratura. Nei pannelli rinforzati, le lesioni hanno invece interessato l'intero sistema rinforzo-supporto con un andamento diagonale. Il rinforzo ha infatti consentito di mobilitare la resistenza del laterizio, che in una muratura non rinforzata rimane generalmente inutilizzata a causa del preliminare sviluppo di lesioni sui giunti.

Risultati delle prove.

Provini non rinforzati	P_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]
URM1	129,4	0,85
URM2	99,5	0,65
URM3	164,7	1,09
URM4	161,4	1,07
Valore medio	138,7	0,92

Provini rinforzati	P_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]
RM1	472,4	1,85
RM2	434,1	1,71
RM3	397,2	1,56
Valore medio	434,6	1,71

Dettaglio rottura provino rinforzato.



Rottura provino non rinforzato (a sinistra) e rinforzato (a destra).



Ristilatura.

Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia sono state svolte delle **prove a taglio su singolo blocco** e delle prove a **compressione diagonale su pannelli** di dimensioni 1.2 x 1.2 m di una muratura esistente in **mattoni pieni a una testa**, rinforzata mediante stilatura dei giunti con malta MX-PVA Fibrorinforzata.

Prove a taglio per scorrimento sui giunti.

La preparazione dei campioni ha previsto la rimozione dell'intonaco e la pulizia della superficie, la scarnitura meccanica dei giunti fino a una profondità di circa 2-3 cm e la successiva stilatura degli stessi mediante MX-PVA Fibrorinforzata, per quattro campioni su sei.

Lo scopo della prova è di valutare **l'effetto sulla resistenza allo scorrimento**: è emerso che l'intervento di stilatura mediante MX-PVA Fibrorinforzata **incrementa la resistenza allo scorrimento tangenziale del 50%** rispetto ai campioni non rinforzati.

Provini per prove a taglio per scorrimento sui giunti.



Prove a taglio della muratura per compressione diagonale.

Sono state svolte inoltre **prove di compressione diagonale** su sei pannelli murari, di dimensioni 120x120 cm e 13 cm di spessore, di cui quattro non rinforzati e due rinforzati su entrambi i lati mediante stilatura dei giunti.

È emerso come **l'intervento di stilatura dei giunti comporti un incremento della resistenza a taglio di circa tre/quattro volte.**

Consulta i report di prova:

inquadra il QR code o vai sul sito RureGold.it



Provini per prove di compressione in diagonale.



Centro Ricerche ENEA.

L'impiego della malta MX-PVA Fibrorinforzata è stato inoltre misurato con delle **prove dinamiche su tavola vibrante** presso il Laboratorio di Dinamica Strutturale e Controllo del **Centro Ricerche ENEA** a Casaccia (Roma).

L'attività di ricerca ha permesso di **analizzare la risposta dinamica di una struttura, preventivamente danneggiata** mediante prova sulla medesima tavola vibrante, **rinforzata mediante l'applicazione di un doppio strato (esternamente ed internamente) di malta MX-PVA Fibrorinforzata** di spessore pari a circa 3 cm per lato.

L'analisi dei dati e l'osservazione dello stato di danno hanno permesso di valutare l'effetto del rinforzo sia in termini qualitativi sull'analisi della tipologia di danno e innesco dei meccanismi di collasso, sia in termini quantitativi, ovvero di accelerazioni e capacità di assorbimento dell'energia sismica in input da parte della struttura.

Descrizione del modello costruttivo.

Il modello costruttivo di riferimento è costituito da un **edificio disposto su due livelli**, di pianta rettangolare. I quattro prospetti del modello sono costituiti da varie aperture aventi diverse dimensioni e posizioni in modo da conferire al baricentro delle rigidezze un'eccentricità rispetto al baricentro delle masse. Le pareti sono state costruite usando **blocchi portanti in laterizio** (percentuale di foratura 45%) di dimensioni 30x18x16 cm e malta M10 con giunti di spessore circa pari a 1 cm.

Intervento di rinforzo.

Il quadro fessurativo dopo il primo ciclo di prove dinamiche, antecedente all'applicazione del rinforzo, mostra come i danni si siano concentrati al solo piano inferiore. Pertanto, **l'applicazione della malta di rinforzo MX-PVA Fibrorinforzata è stata limitata al solo piano inferiore, essendo quello superiore rimasto integro**. Nello specifico, è stata applicata MX-PVA Fibrorinforzata per uno spessore di circa 3 cm sia sul lato esterno che interno del modello, in assenza di sistemi di connessione trasversale.

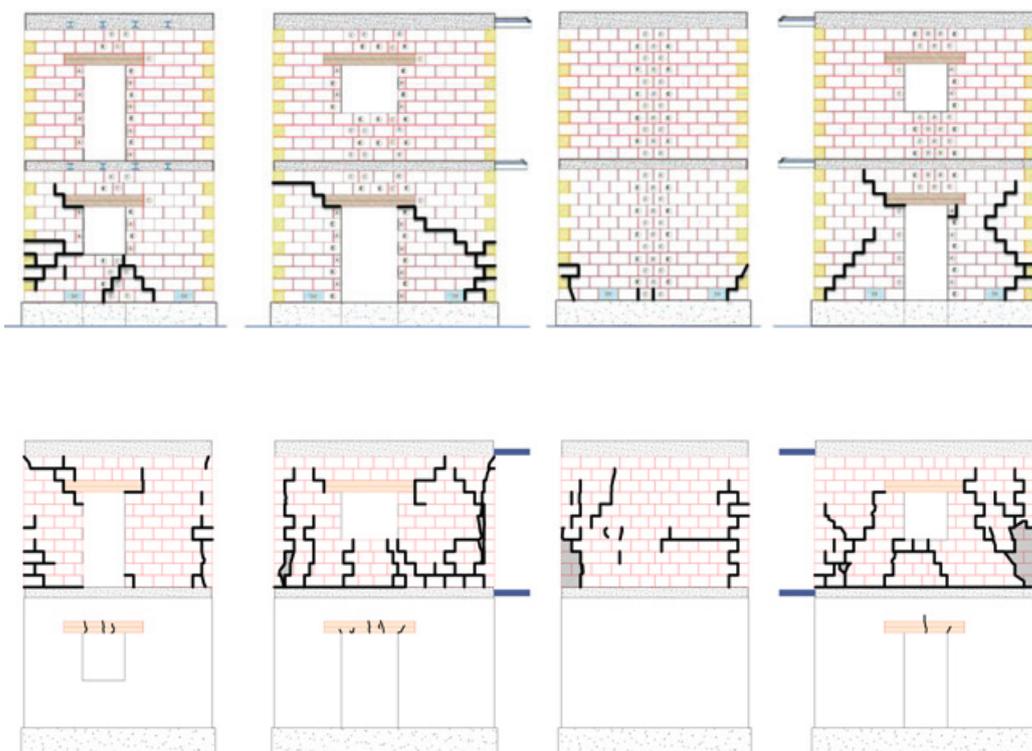
Confronto della risposta dinamica strutturale pre-rinforzo e post-rinforzo.

Il modello strutturale è stato sottoposto a input sismici con accelerazioni di picco crescenti, scalando opportunamente le storie temporali della storia accelerometrica di riferimento. Sono stati utilizzati i record di accelerazione registrati dalla **stazione sismica di Norcia durante l'evento sismico del 30 ottobre 2016 (Magnitudo 6.5)**.

I risultati, sia da ispezione visiva che da elaborazione dei dati, hanno messo in evidenza che a fronte di uno stesso input, **la struttura si sia comportata in modo sensibilmente diverso dopo l'applicazione del rinforzo**.

In particolare, si è osservato che il manufatto in muratura ordinaria ha manifestato un primo quadro fessurativo in

Quadro fessurativo pre rinforzo (in alto) e post rinforzo (in basso) del piano terra con MX-PVA Fibrorinforzata.



corrispondenza del fattore di scala 1.00 localizzato esclusivamente al piano inferiore della struttura e dovuto all'effetto combinato dell'azione sismica verticale e orizzontale. Il quadro fessurativo è incrementato in corrispondenza del fattore di scala 1.20, caratterizzato da fessure diagonali a taglio.

Il manufatto in muratura consolidata con malta MX-PVA Fibrorinforzata ha manifestato invece un **primo quadro fessurativo** in corrispondenza del **fattore di scala 1.20**, localizzato esclusivamente al **piano superiore** della struttura. Il danneggiamento del livello superiore è ulteriormente incrementato in corrispondenza del fattore di scala 1.50, con fessure diagonali a taglio, scorrimento sui giunti e moto relativo di roto-traslazione tra i due macro-blocchi strutturali di piano primo e secondo.

Il prototipo rinforzato è stato soggetto a un'azione sismica pari a 1.50 volte quella di riferimento, 25% superiore al livello che aveva danneggiato significativamente il prototipo non rinforzato: questa azione sismica ha notevolmente incrementato lo stato di danno del piano superiore causando espulsioni locali di laterizio e portandolo molto vicino al crollo totale.

Il piano inferiore consolidato con MX-PVA Fibrorinforzata, nonostante la muratura inferiore fosse severamente danneggiata con lesioni passanti e che l'azione sismica fosse superiore a quella che aveva provocato il danno nel prototipo non rinforzato, **ha manifestato solo microfessure localizzate** specialmente in corrispondenza delle aperture e quindi non direttamente connesse al quadro fessurativo precedente.

Prototipo pre rinforzo (a sinistra) e prototipo rinforzato (a destra) al termine della prova.



Consulta il report di prova:
inquadra il QR code o vai sul sito RureGold.it

Prestazioni del sistema.

Intonaco Fibrorinforzato.

La tecnica consiste nella formazione dell'**intonaco fibrorinforzato**, completo di connessioni trasversali nella misura di ca. **5 connettori/m²**, in grado di migliorare la resistenza della muratura esistente.

Muratura in pietrame/ muratura a conci sbozzati.

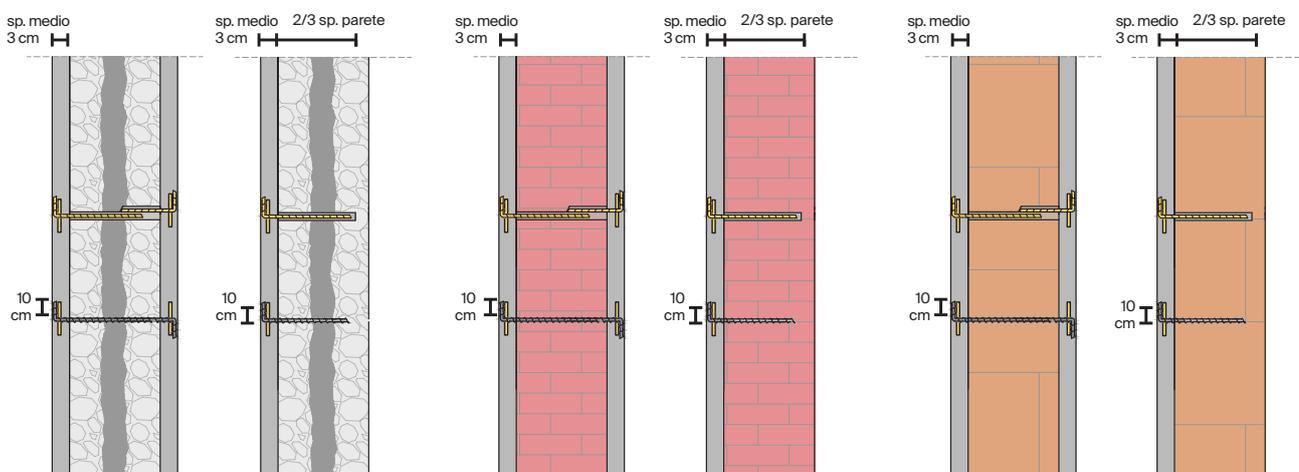
Applicazione su entrambe le facce del paramento. Applicazione su una sola faccia del paramento.

Muratura in mattoni pieni.

Applicazione su entrambe le facce del paramento. Applicazione su una sola faccia del paramento.

Muratura in mattoni semipieni.

Applicazione su entrambe le facce del paramento. Applicazione su una sola faccia del paramento.



Di seguito sono riportati i **coefficienti moltiplicativi di incremento** da applicarsi alle prestazioni meccaniche dell'elemento murario sul quale viene realizzato, a confronto con quelli tabellati di riferimento per l'applicazione.

valore tabellato **Muratura in pietrame.**
2,5 su entrambi i lati

Muratura a conci sbozzati.
2,0 su entrambi i lati

MX-PVA **Muratura in pietrame.**
>2,6 su entrambi i lati
>1,6 su un solo lato

Muratura a conci sbozzati.
>2,6 su entrambi i lati
>1,5 su un solo lato

valore tabellato 1,5 su entrambi i lati

MX-PVA **>2,1** su entrambi i lati
>1,5 su un solo lato

valore tabellato 1,3 su entrambi i lati

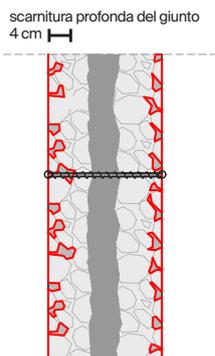
MX-PVA **>1,6** su entrambi i lati
>1,2 su un solo lato

Ristilatura dei giunti.

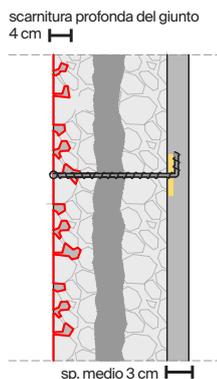
La tecnica consiste nella risarcitura e successiva **stilatura dei giunti di malta** di allettamento, degradati e/o erosi e l'applicazione di connessioni trasversali di ca. **5 connettori/m²**.

Muratura in pietrame/conci sbozzati.

Applicazione su entrambe le facce del paramento.

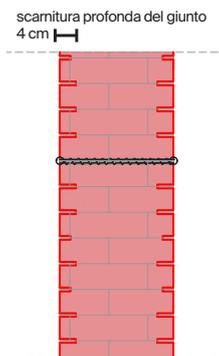


Applicazione combinata ristilatura/intonaco MX-PVA.

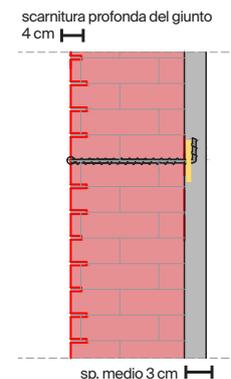


Muratura in mattoni pieni.

Applicazione su entrambe le facce del paramento.



Applicazione combinata ristilatura/intonaco MX-PVA.



Di seguito sono riportati i **coefficienti moltiplicativi di incremento** da applicarsi alle prestazioni meccaniche dell'elemento murario sul quale viene realizzato, a confronto con quelli tabellati di riferimento per l'applicazione.

valore tabellato 1,5 su entrambi i lati
MX-PVA >2,1 su entrambi i lati
 >1,5 su un solo lato

valore tabellato 1,2 su entrambi i lati
MX-PVA >1,2 su entrambi i lati
 >1,5 combinato intonaco-ristilatura

valore tabellato 1,3 su entrambi i lati
MX-PVA >1,6 su entrambi i lati
 >1,2 su un solo lato

Certificazioni del sistema MX-PVA Fibrorinforzata.

MX-PVA Fibrorinforzata è certificata con **CVT n. 49 del 19.2.2025** come sistema **FRC per il miglioramento sismico di strutture esistenti in muratura e la sostituzione di lastre armate con rete elettrosaldata**.
 Conforme alla **UNI EN 998-1/2**.
 Conforme alla **UNI EN 1504-3**.

Conforme alle **Norme Tecniche delle Costruzioni** (NTC 2018) e alla relativa **Circolare esplicativa** (n. 7 del 21-1-2019).

Le prestazioni sono state validate con **prove sperimentali** condotte presso l'università di Pavia, Perugia, Firenze e il Centro di ricerche ENEA.

CVT N. 49
19.2.2025



Applicazione del Sistema MX-PVA Fibrorinforzata.

Trattandosi di un intonaco premiscelato in sacco, MX-PVA Fibrorinforzata può essere applicata **a mano o a macchina** utilizzando le tradizionali intonacatrici in continuo.

L'applicazione prevede una preparazione preliminare del supporto che dovrà presentarsi pulito, nudo da parti non strutturali e consistente, privo di parti incoerenti e fenomeni fessurativi.

Una volta preparato il supporto e risarcite le eventuali fessure, sarà possibile applicare gli elementi di connessione rigida utilizzando in maniera alternativa **Connettore elicoidale** o **G-Mesh Connettore** di Ruregold, **in numero non inferiore a cinque connettori su metro quadro di parete**. I connettori miglioreranno la trasmissione delle sollecitazioni dalla muratura esistente all'intonaco fibrorinforzato, evitando il distacco improvviso della parete.

Prima di passare all'applicazione a mano o a macchina del sistema di rinforzo sarà infine necessario bagnare a rifiuto la parete per garantire una riserva di umidità alla malta in fase di maturazione e scongiurare la formazione di microfessurazioni all'interfaccia che ridurrebbero l'efficacia del rinforzo.

In presenza di un supporto con scarso aggrappo e fortemente assorbente, si suggerisce di effettuare un **rinzaffo con MX-PVA Fibrorinforzata** circa 24 ore prima applicare MX-PVA Fibrorinforzata.

Infine, si consiglia l'applicazione dell'intonaco fibrorinforzato partendo dalla **parte bassa della parete sino in sommità** in modo uniforme su tutta la superficie.

Dopo la completa stagionatura di MX-PVA Fibrorinforzata (indicativamente 7 gg/cm di spessore), procedere con **l'applicazione della rasatura armata, impiegando Rasatutto PreMix o Rasatutto OK GrasCalce e rete PremixNet 160**.

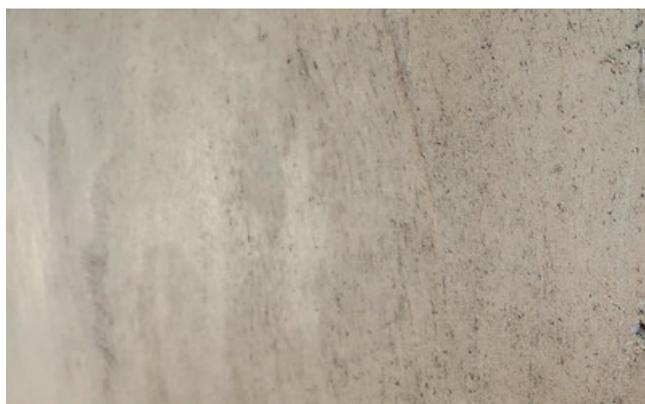
Connessioni trasversali.



Pompaggio di MX-PVA.



MX-PVA pronta per accogliere la rasatura armata.



Rasanti e finiture di intonaci.
La nuova gamma di premiscelati facili, sicuri e pronti all'uso.



Consulta la brochure: inquadra il QR code o vai sul sito GrasCalce.it o PreMix.it



Il sistema di rinforzo strutturale si completa con la rasatura armata, realizzata con i premiscelati della gamma GrasCalce o PreMix e la rete in fibra di vetro PremixNet 160.

Il sistema di rinforzo.

MX-PVA Fibrorinforzata.



Densità	ca. 2000 kg/m ³
Resistenza a compressione 28 gg	≥ 45 MPa
Fibre strutturali in PVA	12 mm
Resa in opera per intonaco strutturale	ca. 20 Kg/m ² per cm di sp.
Spessore massimo a strato	10 - 40 mm
Classe di consistenza	S3
Classe di tenacità	1b
Classe di esposizione	X0
	XC1, XC2, XC3, XC4
	XD1, XD2, XD3
	XS1, XS2, XS3
Resistenza a trazione residua per flessione	$f_{R1k} = 1,35$ MPa (CMOD1)
	$f_{R2k} = 1,37$ MPa (CMOD2)
	$f_{R3k} = 1,01$ MPa (CMOD3)
	$f_{R4k} = 0,61$ MPa (CMOD4)

Connessioni.



Connettore elicoidale

Barra elicoidale in acciaio inox per ancoraggi, connessioni e cuciture a secco.

Materiale costituente	Acciaio inox AISI 316L
Diametro nominale	10 mm
Certificazione	Marcato CE secondo EN 845-1: 2013 + A1:2016 "Specifica per elementi complementari per muratura - Parte 1: Connettori trasversali, incatenamenti orizzontali, ganci e mensole di sostegno"



G-Mesh connettore

Connettore a "L" preformato in materiale composito GFRP.

Da utilizzare con **Ancorante Sismico 400** o **MX-Joint**.

Materiale costituente	Fibra di vetro impregnata con resina epossidica ad aderenza migliorata
Diametro nominale	8,2 mm
Certificazione	Marcato CE secondo EAD 340392-00-0104 "CRM (Composite reinforced Mortar) Systems for strengthening of concrete and masonry structures"



G-Mesh fazzoletto

Fazzoletto per il rinforzo strutturale di murature esistenti mediante la tecnica dell'intonaco armato da applicare in corrispondenza dei connettori.

