

The background of the cover is a photograph of a brick wall. A wooden grid, made of thin, light-colored wooden strips, is laid over the bricks. In the center of the grid, there is a circular metal mesh reinforcement. A metal drill bit is positioned vertically, passing through the center of the circular mesh.

Rinforzo strutturale della muratura

Intonaco Armato Sistema CRM

II EDIZIONE

 **RUREGOLD**



INDICE

SICUREZZA STRUTTURALE

Edifici in muratura	4
---------------------	---

GUIDA ALLE SOLUZIONI DI CONSOLIDAMENTO

Confronto Sistemi FRCM - CRM	5
------------------------------	---

Focus tecnico - Variazione di rigidezza associata all'intervento di rinforzo CRM	6
--	---

Soluzioni tecniche e componenti	8
---------------------------------	---

Riferimenti normativi	9
-----------------------	---

RIPRISTINO DELLA MURATURA

Ristilatura	10
-------------	----

Iniezioni	11
-----------	----

Scuci-Cuci	12
------------	----

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Descrizione	13
-------------	----

Soluzione tecnica	14
-------------------	----

Vantaggi	15
----------	----

Riferimenti normativi di progettazione	16
--	----

Focus tecnico - Esempio di calcolo	17
------------------------------------	----

Qualificazione e accettazione	18
-------------------------------	----

Focus tecnico - Linee Guida	18
-----------------------------	----

Prove sperimentali - Università Pavia	20
---------------------------------------	----

Le malte strutturali	24
----------------------	----

INTONACO FIBRORINFORZATO

Descrizione	26
-------------	----

SICUREZZA STRUTTURALE

Edifici in muratura

Gli edifici in muratura sono corpi di fabbrica estremamente complessi, soggetti a dissesti delle strutture e degrado dei materiali costituenti (malta ed elemento lapideo) nel tempo. Tali fenomeni sono individuabili dalle seguenti cause principali:

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

La presenza di **cedimenti differenziali del terreno**, a livello delle fondazioni esistenti spesso precarie, possono essere di vario tipo. Tra queste, assumono particolare rilievo:

- la mancanza di un adeguato costipamento del suolo prima della costruzione;
- modifiche nel regime idraulico delle acque sotterranee;
- sottodimensionamento delle strutture di fondazione esistenti dell'edificio.

Gli **edifici in muratura** sono poi soggetti a varie tipologie di danneggiamenti, a causa delle caratteristiche di sollecitazione che insistono sui singoli elementi strutturali che li compongono. Tra i principali fenomeni presenti, si riscontrano:

- **fessurazioni da schiacciamento**, causate da un eccesso di carico verticale e conseguente raggiungimento della resistenza a compressione della muratura (*figura 1*);
- **fenomeni di instabilità locale** dei paramenti murari a causa della presenza di carichi gravitazionali (*figura 2*);
- **raggiungimento della resistenza a trazione del materiale** a causa di fenomeni di presso-flessione, taglio-scorrimento e taglio-trazione – giunti deboli e giunti forti rispettivamente (*figura 3*).

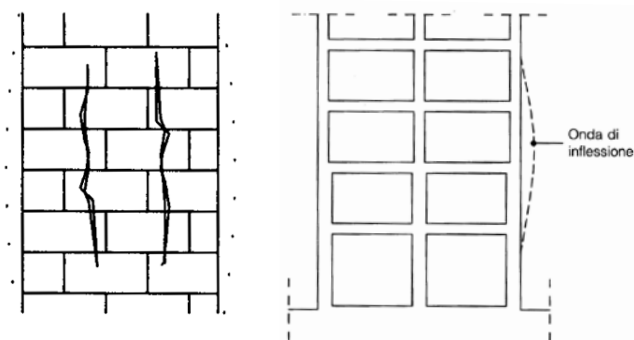


Figura 1

Figura 2

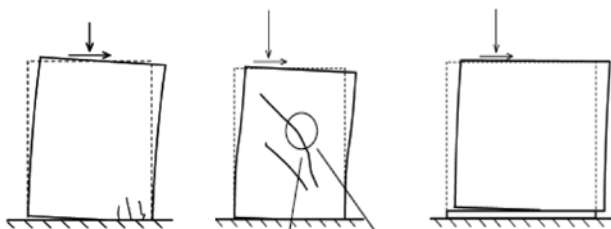


Figura 3

Anche la presenza di **effetti spingenti non contrastati** porta 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 4*).

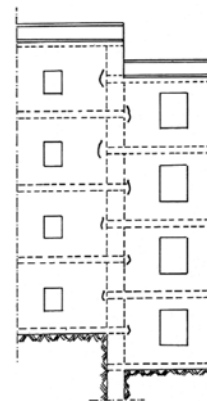


Figura 4

L'**azione sismica** provoca anche la formazione di sollecitazioni impegnative e rappresenta una delle maggiori fonti di vulnerabilità di un edificio in muratura.

I fenomeni sopra descritti vengono ulteriormente amplificati da **carenze nei dettagli costruttivi**, quali collegamenti efficaci tra i singoli pannelli murari e i solai che provocano la mancanza di comportamento scatolare, generando altresì meccanismi di collasso locale e la mancanza di una risposta sismica globale dell'involucro.



GUIDA ALLE SOLUZIONI DI CONSOLIDAMENTO

Confronto Sistemi FRCM-CRM

L'importante **know-how di Ruregold**, sviluppato in oltre 20 anni di presenza nel mercato del rinforzo strutturale degli edifici con interventi ad alto contenuto ingegneristico, ha permesso di sviluppare **sistemi completi e certificati per il ripristino e il consolidamento delle murature**.

La scelta della corretta soluzione, declinata allo specifico intervento oggetto di indagine, rappresenta una delle molte variabili presenti ed estremamente importanti nell'intero svolgimento di un progetto di rinforzo e consolidamento strutturale.

Di seguito vengono presentate due diverse tecniche di intervento: sistema FRCM e sistema CRM.

SISTEMA FRCM

Il sistema **FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix)** costituisce una valida alternativa all'Intonaco Armato - Sistema CRM in particolare quando:

- vengono effettuati interventi locali e focalizzati soltanto in alcune zone dell'edificio;
- è richiesto un incremento di resistenza di singoli elementi strutturali quali maschi murari, fasce, cordoli di piano e sommitali;
- sono presenti specifiche esigenze di rinforzo per effetto di alcune caratteristiche di sollecitazione (taglio e pressoflessione nel piano e fuori piano);
- sono richiesti interventi con spessori contenuti;
- si rende necessario evitare un incremento delle rigidezze.

L'impiego del sistema **FRCM** sull'intero edificio in muratura (ad esempio la rete **PBO-MESH 22/22** con matrice inorganica **MX-PBO Muratura**) consente di:

- incrementare la resistenza dei pannelli (maschi murari e fasce di piano) per azioni nel piano e fuori piano;

- contenere i meccanismi di collasso locale e di primo modo fuori piano;
- incrementare la duttilità dell'intera struttura rinforzata.

SISTEMA CRM

L'**Intonaco Armato - Sistema CRM**, rispetto alla tecnologia FRCM, è caratterizzato da:

- un impiego diffuso sull'intero edificio in muratura, sia sul paramento esterno che su quello interno;
- presenza di connessioni trasversali.

Risulta, in particolare, un intervento valido quando:

- si è in presenza di edifici costituiti da murature irregolari, disomogenee o incoerenti;
- risulta necessario incrementare la sezione resistente e la rigidezza dei pannelli murari.

Il sistema consente, infatti, di incrementare i parametri di resistenza e duttilità, portando però anche ad un incremento delle rigidezze traslazionali dei pannelli murari oggetto di rinforzo, con una conseguente migrazione del centro di rigidezza a livello di piano.

Questo aspetto progettuale deve essere dunque attenzionato, soprattutto nel caso di interventi pensati soltanto su alcune porzioni dell'edificio in muratura, al fine di evitare il generarsi di eccentricità tra centro di massa e centro di rigidezza con conseguente formazione di effetti torsionali a seguito dell'applicazione dell'azione sismica.

Al fine di approfondire questo aspetto, si rimanda al **focus di pag. 6-7 "Variazione di rigidezza associata all'intervento di rinforzo CRM"** nel quale, mediante un esempio di calcolo, si mostra l'effetto di un'applicazione non uniforme di un intonaco armato - Sistema CRM sulla posizione del centro di massa e del centro di rigidezza della struttura.

Sistema FRCM, con rete in PBO e matrice inorganica.



Sistema CRM, con rete in fibra di vetro e malte strutturali.



La finalità di questo esempio di calcolo è mostrare l'effetto di un'applicazione non uniforme di un intonaco armato - Sistema CRM su un edificio.

Si analizza, a titolo di esempio, la seguente configurazione in pianta composta da due maschi murari di lunghezza pari a 1,50 m, spessore pari a 0,28 m ed altezza pari a 3,00 m.

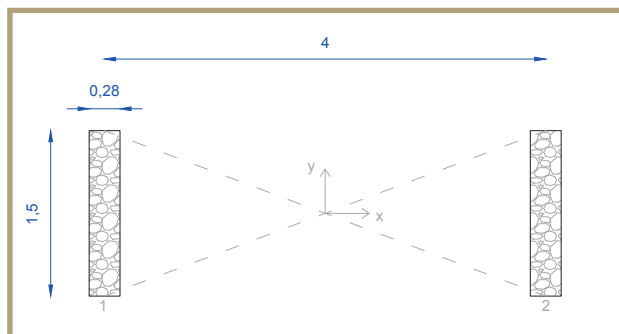
L'interasse tra i due elementi murari è pari a 4,00 m.

La tipologia di muratura è **muratura in pietrame disordinata, le cui caratteristiche**, con un livello di conoscenza **LC1**, in accordo alla tab. C8.5.1 della **Circolare 21-2-2019 delle NTC2018 sono le seguenti:**

■ livello di conoscenza	LC1
■ fattore di confidenza	1,35
■ resistenza a compressione f_{mk}	1,00 MPa
■ modulo elastico E	870 MPa
■ modulo di taglio G	290 MPa
■ peso per unità di volume γ	19,00 kN/m ³

Le coordinate del centro di massa sono valutate come segue:

$$x_{CM} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{23,94 \cdot -2 + 23,94 \cdot 2}{23,94 + 23,94} = 0$$



Si riportano nella seguente tabella le coordinate dei baricentri dei due maschi murari (x_i e y_i), rispetto al sistema di riferimento indicato in figura, e il peso complessivo degli elementi W_i :

	x_i [m]	y_i [m]	W_i [kN]
ELEMENTO 1	-2	0	23,94
ELEMENTO 2	2	0	23,94

$$y_{CM} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{23,94 \cdot 0 + 23,94 \cdot 0}{23,94 + 23,94} = 0$$

Il centro di massa risulta dunque coincidente con l'origine degli assi cartesiani scelta.

Al fine di valutare il centro di rigidezza, è necessario calcolare la rigidezza del singolo elemento: $K = \frac{1}{\frac{h^3}{12EJ} + \frac{\chi h}{GA}}$

Dove:

h è l'altezza della parete

χ è il fattore di forma (per taglio su parete rettangolare $\chi=6/5$)

E è il modulo elastico

G è il modulo di taglio

A è l'area della sezione

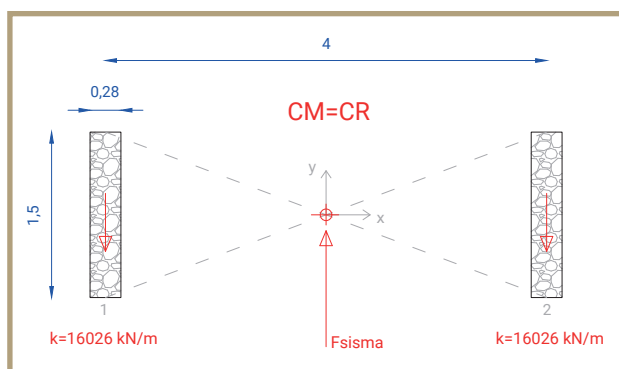
J è il momento d'inerzia (per parete rettangolare, nella direzione forte $J_x = \frac{1}{12} t l^3$)

La rigidezza K nella direzione "forte" (K_y) risulta quindi pari a 16026 kN/m per entrambi gli elementi in quanto identici. Analogamente è possibile condurre il calcolo in direzione "debole" (K_x).

Le formule per valutare le coordinate del centro di rigidezza sono le seguenti:

$$x_{CR} = \frac{\sum K_{yi} x_i}{\sum K_{yi}} = \frac{16026 \cdot -2 + 16026 \cdot 2}{16026 + 16026} = 0$$

$$y_{CR} = \frac{\sum K_{xi} y_i}{\sum K_{xi}} = 0$$



Ne deriva che centro di massa e centro di rigidezza coincidono, pertanto, in caso di applicazione di una forza sismica F , essa verrà equamente ripartita tra i due maschi murari e non si genereranno effetti torcenti per l'edificio.

CIATA ALL'INTERVENTO DI RINFORZO CRM

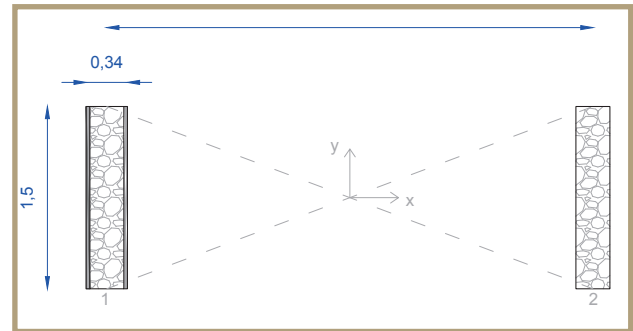
Si ipotizza ora di rinforzare solo il maschio murario 1 con un intonaco armato - Sistema CRM composto da malta **MX-RW Alte Prestazioni** e rete **G-MESH 490**.

Lo spessore di **MX-RW Alte Prestazioni** per ambo i lati del paramento murario è pari a 3 cm.

Si riportano le principali caratteristiche della malta:

■ resistenza a compressione f_{mk}	45 MPa
■ modulo elastico E	15 GPa
■ modulo di taglio G	6 GPa
■ peso per unità di volume γ	21,00 kN/m ³

Si riportano nella tabella a lato le coordinate dei baricentri dei due maschi murari (x_i e y_i), invariate rispetto alla condizione Ante Operam, e il peso complessivo degli elementii W_i :



	x_i [m]	y_i [m]	W_i [kN]
ELEMENTO 1	-2	0	29,61
ELEMENTO 2	2	0	23,94

Le coordinate del centro di massa sono valutate con le medesime formule precedentemente esposte:

$$x_{CM} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{29,61 \cdot -2 + 23,94 \cdot 2}{29,61 + 23,94} = -0,21 \text{ m}$$

$$y_{CM} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{29,61 \cdot 0 + 23,94 \cdot 0}{29,61 + 23,94} = 0$$

Il centro di massa risulta dunque lievemente spostato verso il maschio murario rinforzato.

Al fine di valutare la nuova posizione del centro di rigidezza, è necessario calcolare la **rigidezza del maschio murario rinforzato** nella quale l'area A è l'area totale dell'elemento murario, il momento d'inerzia è il momento d'inerzia della sezione complessiva e i moduli elastici e di taglio sono valutati come qui di fianco esposto:

$$E_{eq} = \frac{E_{muratura} \cdot t_{muratura} + E_{malta} \cdot t_{malta}}{t_{muratura} + t_{malta}} = 3363,53 \text{ MPa}$$

$$G_{eq} = \frac{G_{muratura} \cdot t_{muratura} + G_{malta} \cdot t_{malta}}{t_{muratura} + t_{malta}} = 1297,65 \text{ MPa}$$

La rigidezza K dell'elemento rinforzato nella direzione "forte" (K_y) risulta quindi pari a 80417 kN/m. Analogamente è possibile condurre il calcolo in direzione "debole" (K_x).

La nuova posizione del centro di rigidezza è dunque riportata qui di fianco:

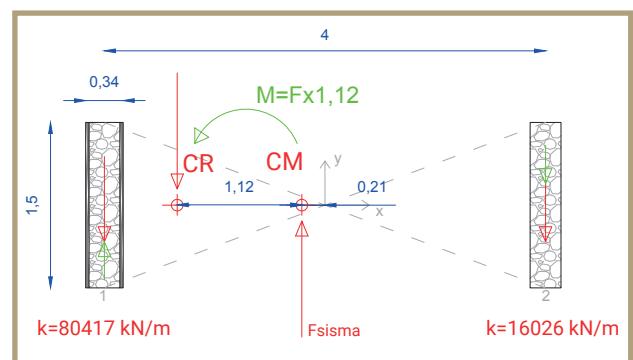
$$x_{CR} = \frac{\sum K_{yi} x_i}{\sum K_{yi}} = \frac{80417 \cdot -2 + 16026 \cdot 2}{80417 + 16026} = -1,34 \text{ m}$$

$$y_{CR} = \frac{\sum K_{xi} y_i}{\sum K_{xi}} = 0$$

Ne deriva che **centro di massa e centro di rigidezza presentano un'eccentricità pari a 1,12 m, pertanto, in caso di applicazione di una forza sismica F , si genereranno effetti torcenti per l'edificio e una conseguente ripartizione non uniforme dell'azione sismica tra i due maschi murari, creando una sollecitazione aggiuntiva sull'elemento 2.**

CONCLUSIONI

Quanto sopra conferma la preferenza di un intervento globale sulla struttura e, nel caso in cui si preveda di intervenire solo su alcune porzioni dell'edificio, è necessario porre particolare attenzione agli effetti che questo comporta.



GUIDA ALLE SOLUZIONI DI CONSOLIDAMENTO

Soluzioni tecniche e componenti

La proposta Ruregold è articolata **su tre soluzioni**, come di seguito meglio specificato.

■ RIPRISTINO DELLA MURATURA ESISTENTE

Il sistema è realizzato con la tecnica dell'iniezione nelle strutture murarie del legante speciale per boiacche **MX-INJECT NHL**, avente funzione di riempimento delle cavità e delle fessure per restituire alla muratura la sua monoliticità iniziale.

Interventi di scuci-cuci e di ristilatura dei giunti si possono realizzare con malte di varia natura: a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità con fibre di polivinilalcol ad alto modulo **MX-PVA Fibrorinforzata**, a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità con fibre di polipropilene **MX-RW Alte Prestazioni**, a base calce **MX-CP Calce** e a base di cemento **MX-15 Intonaco**.



■ INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Il sistema è costituito da reti, malte ed elementi di connessione:

- reti **G-MESH 400/490/1000**, in fibra di vetro impregnata alcali resistente;
- malte da intonaco strutturale:
 - **MX-RW Alte Prestazioni**, a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità;
 - **MX-CP Calce**, a base di pura calce naturale NHL 3.5;
 - **MX-15 Intonaco**, fibrata a base cemento;
- **Connettore Elicoidale**, o **G-MESH Connettore**, sistemi di connessione trasversale;
- **G-MESH FAZZOLETTO**, fazzoletti per la ripartizione delle concentrazioni di sforzo in corrispondenza delle connessioni;
- **G-MESH Angolare**, elemento d'angolo preformato.



■ INTONACO FIBRORINFORZATO

Il sistema è realizzato con il contributo unico della malta **MX-PVA Fibrorinforzata**, ad alte prestazioni con fibre di polivinilalcol, per il ripristino strutturale delle murature in assenza di armatura diffusa.

Per maggiori approfondimenti, contattare l'Assistenza Tecnica Laterlite (calcolo.strutturale@laterlite.it - 02 48011962).



GUIDA ALLE SOLUZIONI DI CONSOLIDAMENTO

Riferimenti normativi

In una costruzione esistente la **muratura è 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**.

Questo è quanto viene indicato nella **Circolare 21-2-2019 delle NTC 2018** in merito alla caratterizzazione meccanica dei materiali per costruzioni in muratura esistenti.

Di seguito si fornisce un quadro generale sugli **interventi di consolidamento** previsti dalla Normativa con la finalità di offrire alcune **tecniche e strumenti** che possono essere, a seconda dei casi, applicati per migliorare le caratteristiche e proprietà meccaniche dell'elemento murario.

La **Circolare delle NTC 2018** fornisce in **tabella Tab. C8.5.I** alcuni valori di riferimento dei parametri meccanici e peso specifico per diverse tipologie di muratura.

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

Focalizzando in primis l'attenzione allo **stato di fatto del setto murario**, è possibile intervenire mediante fattori di incremento delle caratteristiche meccaniche della muratura (indicate in **tab. C8.5.I**) nei seguenti casi:

- malta di buone caratteristiche;
- presenza di ricorsi o listature;
- presenza sistematica di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti.

Nel primo caso, risultano incrementati sia i parametri di resistenza che i moduli elastici; gli altri due, invece, comportano un incremento dei soli parametri di resistenza.

Spostando poi l'attenzione sugli **interventi di consolidamento**, è possibile elencare una serie di **applicazioni per il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della compagine muraria di partenza attraverso**:

- iniezione di miscele leganti;
- ristilatura armata con connessione dei paramenti;
- applicazione di intonaco armato.

Questi interventi consentono di incrementare sia i parametri di resistenza che i moduli elastici, utilizzando i coefficienti correttivi proposti in **Tab. C8.5.II della Circolare alle NTC2018**, come verrà dettagliato meglio in seguito nel paragrafo dedicato ai riferimenti normativi di progettazione.

È altresì possibile considerare **interventi per l'incremento della capacità delle pareti** mediante:

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

Nei prossimi capitoli si approfondirà il tema del ripristino e consolidamento della muratura esistente (pag. 10) e del rinforzo mediante intonaco armato - Sistema CRM (pag. 13).

RIPRISTINO DELLA MURATURA

Ristilatura

Nella Circolare delle NTC 2018 si evidenzia come qualora i setti murari siano costituiti da materiale di bassa qualità possa risultare opportuno migliorare le caratteristiche meccaniche del materiale.

Il tipo di intervento da applicare deve essere valutato in relazione alla tipologia e alla qualità della muratura e può variare da interventi di ricostruzione parziale (scuci-cuci) al consolidamento mediante iniezioni o mediante interventi superficiali o altre tecniche opportune.

Nell'ipotesi di **erosione del giunto di malta**, con conseguente perdita della sua funzione, è opportuno operare con **interventi di ristilatura dei giunti stessi**; l'intervento di ripristino e consolidamento è di tipo esclusivamente **superficiale** impiegando le malte **MX-PVA Fibrorinfozata**, **MX-RW Alte Prestazioni**, **MX-CP Calce** e **MX-15 Intonaco**.

È possibile effettuare anche un intervento di **ristilatura fibrorinfozata mediante MX-PVA Fibrorinfozata** applicato **in profondità** sui due paramenti di murature di piccolo spessore. La Circolare delle NTC2018 specifica, infatti, che l'intervento di ristilatura dei giunti, se effettuato su entrambe le superfici esterne, migliora le caratteristiche meccaniche della muratura incrementandone, di fatto, l'area resistente.



Ristilatura dei giunti effettuata con malta strutturale MX-RW.



Stilatura con malta strutturale MX-PVA.



Particolare stilatura muratura con malta strutturale MX-PVA.

RIPRISTINO DELLA MURATURA

Iniezioni

In presenza di murature con elementi lapidei sconnessi, non legati da malta, o per murature con malta particolarmente degradata o ancora per murature con una elevata percentuale di vuoti, si può operare attraverso le **iniezioni di miscele leganti** mediante speciali boiacche tipo **MX-INJECT NHL** di Ruregold al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche del paramento.

La miscela infatti va a riempire i vuoti e le piccole lesioni ed eliminando le cavità consente di ripristinare la continuità della sezione, garantendo agli sforzi di ripartirsi in maniera più uniforme. Risulta però opportuno procedere alla verifica della fattibilità dell'intervento in termini di capacità delle murature di assorbire e diffondere le malte iniettate, ponendo particolare attenzione nella scelta della pressione di immissione della miscela, per evitare dissesti locali, e l'operazione sarà eseguita procedendo dal basso verso l'alto e procedendo con simmetria.

La scelta della pressione di immissione va fatta in modo tale che le dilatazioni trasversali prodotte dal fluido in pressione non modifichino negativamente la configurazione di equilibrio raggiunta dalla costruzione, a causa di eventuali discontinuità della muratura nei piani paralleli ai paramenti.

La realizzazione di iniezioni mediante **MX-INJECT NHL** si compone delle seguenti fasi lavorative:

1. **scelta dei punti in cui praticare i fori**, in funzione delle fessure presenti e della porosità del muro;
2. **asportazione dell'intonaco lesionato** e stuccatura delle lesioni per evitare fuoriuscite di miscela;
3. **esecuzione dei fori** con perforazioni di diametro minimo 20 mm e fino a 40 mm, con profondità fino al centro del muro, distribuiti in modo da assicurare una sufficiente zona di sovrapposizione delle iniezioni, disposti inclinati in basso;
4. posizionamento nei fori dei **tubi di immissione e successiva sigillatura** sull'esterno con malta di cemento;
5. **lavaggio**, attraverso i fori, con acqua a leggera pressione;
6. **iniezione della miscela** a partire dal basso, a bassa pressione, fino a rifluimento della malta dai tubi adiacenti o superiori, chiudendo i tubi dai quali fuoriesce la malta fluida. Si passa ai fori superiori solo quando da tutti i tubi di iniezione posti alla stessa quota fuoriesce malta fluida;
7. a consolidamento avvenuto, **rimozione ugelli e stuccatura dei fori**.



Intervento di iniezioni con MX-INJECT NHL su una struttura in muratura.



Intervento di iniezioni con MX-INJECT NHL su una struttura in muratura.

RIPRISTINO DELLA MURATURA

Scuci-Cuci

Se la muratura da consolidare è di buona qualità e presenta dei danneggiamenti localizzati, è possibile procedere con la tecnica scuci-cuci: **interventi di demolizione locale, scuci-cuci**, e successiva ricostruzione sono operazioni da eseguire con la massima cautela evitando colpi e vibrazioni durante la fase di demolizione e provvedendo alle eventuali opere di presidio.

Le principali operazioni sono le seguenti:

- rimuovere (**scucitura**) la parte di muratura localmente danneggiata;
- lavare il paramento murario mediante acqua spruzzata a bassa pressione;
- ricostruire (**cucitura**) i conci murari precedentemente rimossi, sostituendoli con mattoni pieni e allettandoli con le malte **MX-PVA fibrorinforzata**, **MX-RW Alte Prestazioni**, **MX-CP Calce** e **MX-15 Intonaco** di Ruregold in grado di assicurare caratteristiche fisico-meccaniche simili a quelle preesistenti.



MX-INJECT NHL

Legante idraulico pozzolanico a basso contenuto di sali che, mescolato con acqua, consente di confezionare boiacche da iniezione compatibili con i materiali da costruzione delle murature preesistenti.

- Consistenza (plastica, fluida, superfluida) e conseguente lavorabilità, variabile a seconda del dosaggio del legante e dell'acqua.
- Compatibilità chimico-fisica con le murature pre-esistenti.
- Adeguate proprietà meccaniche.
- Buona resistenza a cicli gelo-disgelo.
- Buona resistenza all'attacco di sali solubili.



Per approfondimenti
scansiona il QR code

Densità	ca. 2000 kg/m ³
Resistenza a Compressione a 28 gg.	≥ 15 MPa

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Descrizione

L'intervento di **placcaggio delle murature**, mediante la tecnica dell'**intonaco armato**, rappresenta una delle soluzioni indicate nella **Circolare n. 7 del 21/1/2019** finalizzate all'incremento della capacità portante e sismo-resistente delle pareti.

La **soluzione tecnica** rappresenta un **efficace provvedimento** soprattutto nel caso in cui le murature siano gravemente danneggiate o incoerenti, purché siano posti in opera i necessari collegamenti trasversali ben ancorati alle armature poste su entrambe le facce della muratura.

L'intonaco armato Ruregold è realizzato mediante il **Sistema CRM** costituito dai seguenti elementi:

- reti preformate in fibra di vetro impregnata alcali resistente **G-MESH 400, G-MESH 490 e G-MESH 1000**;
- sistema di connessione costituito da barre elicoidali in acciaio inossidabile **CONNETTORI ELICOIDALI** oppure in alternativa, da elementi preformati in fibra di vetro **A.R. G-MESH CONNETTORE**;
- fazzoletti **G-MESH FAZZOLETTO** per la ripartizione delle concentrazioni di sforzo in corrispondenza dei sistemi di connessione;
- elemento angolare **G-MESH ANGOLARE** necessario per assicurare la continuità del rinforzo negli angoli;
- malte da intonaco strutturale a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità (**MX-RW Alte Prestazioni**), a base calce (**MX-CP Calce**) e a base di cemento (**MX-15 Intonaco**) ottenute mediante la tecnologia del premiscelato.

Un valido incremento della capacità portante delle pareti, con conseguente miglioramento delle azioni sismiche, potrà essere assicurato anche mediante l'**eliminazione delle discontinuità**: chiusura di nicchie, canne fumarie, cavedi, ripristino di vecchie lesioni e/o sconnessioni all'interno delle pareti stesse. Altre tipologie di intervento, che possono integrare la tecnica dell'intonaco armato, sono trattate all'interno della sezione "**Ripristino della muratura**".

La **tecnica CRM**, mediante l'impiego di reti alcali resistenti in fibra di vetro e malte strutturali, **consente il superamento di una serie di criticità, rispetto alla tecnica dell'intonaco armato con materiali tradizionali, quali**:

- copriferro inadeguato delle reti tradizionali con la conseguente ossidazione delle stesse e dei sistemi di connessione metallici;
- maggiore vulnerabilità a risalite di umidità capillare;
- mancanza di elementi complementari di sistema, ad esempio gli angolari, che consentano la continuità del rinforzo.

Ruregold ha condotto un'ampia campagna di prove sperimentali sui sistemi di rinforzo CRM presso l'Università di Pavia: si rimanda alle pag. 20-23 per i risultati ottenuti.



Tecnica dell'intonaco armato con materiali tradizionali.



Tecnica dell'intonaco armato con reti preformate in fibra di vetro impregnata A.R.



Particolare G-MESH CONNETTORE e G-MESH FAZZOLETTO.

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Soluzione tecnica

RETE IN FIBRA DI VETRO A.R.



MALTE STRUTTURALI



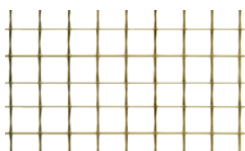
G-MESH 400

- ▶ Gramatura 400 g/m²
- ▶ Maglia 80 x 120 mm



G-MESH 490

- ▶ Gramatura 490 g/m²
- ▶ Maglia 80 x 80 mm



G-MESH 1000

- ▶ Gramatura 1050 g/m²
- ▶ Maglia 40 x 40 mm



MX-RW Alte Prestazioni

- ▶ Resistenza a compressione ≥ 45 MPa



MX-CP Calce

- ▶ Base calce NHL 3.5
- ▶ Resistenza a compressione ≥ 15 MPa



MX-15 Intonaco

- ▶ Resistenza a compressione ≥ 15 MPa



ETA: European Technical Assessment EAD 340392 – 00
- 0104 "CRM (Composite Reinforced Mortar) Systems for
strengthening of concrete and masonry structures".

RETE	G-MESH 400	G-MESH 490	G-MESH 1000
Proprietà costituenti della rete in GFRP	Fibra di vetro impregnata con resina epossidica		
Resistenza a trazione della rete (valori caratteristici)	67 kN/m in ordito 59 kN/m in trama	72 kN/m in ordito 89 kN/m in trama	109 kN/m in ordito 155 kN/m in trama
Modulo elastico a trazione della rete (valori medi)	38,20 GPa in ordito 61,28 GPa in trama	37,24 GPa in ordito 56,20 GPa in trama	44,69 GPa in ordito 59,15 GPa in trama

PRODOTTI COMPLEMENTARI



CONNETTORE ELICOIDALE

Barra in acciaio inox per sistemi di connessione.

Da utilizzare con GUIDA ELICOIDALE.



G-MESH CONNETTORE

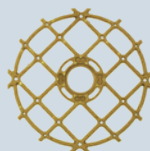
Elemento di connessione preformato in fibra di vetro A/R.

Da utilizzare con un ancorante di inghisaggio (tipo **Ancorante Sismico 400** o mediante matrice inorganica MX-JOINT).



G-MESH ANGOLARE

Gramatura 490 g/m².
Maglia 80 x 80 mm.
Necessario per la formazione di angoli interni ed esterni.



G-MESH FAZZOLETTO

Diametro esterno 170 mm, interno 30 mm.
Da applicare in corrispondenza dei **CONNETTORI**.

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Vantaggi



SISTEMA INNOVATIVO

Il sistema G-MESH 400/490/1000 rappresenta il passaggio dalla tradizionale tecnica dell'intonaco armato, rete elettrosaldata in acciaio e intonaco cementizio, al sistema CRM (*Composite Reinforced Mortar*), mediante l'impiego di reti preformate in materiale composito alcali resistente che evitano la corrosione delle armature di rinforzo e presentano ottime prestazioni meccaniche.

OTTIME PRESTAZIONI



Nell'ampia campagna di prove sperimentali condotta presso l'Università di Pavia i sistemi di rinforzo Ruregold hanno ottenuto ottime prestazioni, addirittura superiori alle indicazioni di Normativa (si rimanda alle pag. 20-23 per i risultati ottenuti).

L'ampia gamma di malte strutturali, a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità, a base calce idraulica naturale NHL 3.5, a base cemento, e la scelta fra diversi sistemi di connessione rendono il sistema G-MESH 400/490/1000 estremamente versatile e ideale per ogni esigenza.



DURABILITÀ

Le reti G-MESH 400/490/1000 possiedono un ottimo comportamento in ambiente alcalino (sia con malte a base calce che cementizie) grazie alle proprietà alcali resistenti offerte dal vetro; la rete preformata in GFRP assicura l'ideale trasferimento delle sollecitazioni all'intero sistema e, grazie all'impiego delle resine epossidiche per la realizzazione delle reti, sono ideali per la conservazione delle proprietà finali del composito.

COMPATIBILITÀ



Elevata compatibilità con le murature, ideale anche per edifici di carattere storico-monumentale, grazie alla possibilità d'impiego con la malta a base calce idraulica naturale MX-CP Calce.



FACILITÀ DI MESSA IN OPERA

Le reti G-MESH 400/490/1000, fornite in rotoli da 40 m² sono facili da movimentare.

La posa è facile e veloce, grazie alla relativa rigidità dei materiali, e alla possibilità di applicare le malte strutturali in modalità manuale o meccanica così da soddisfare le esigenze di ogni cantiere.

CONFORME ALLE LINEE GUIDA DEI SISTEMI CRM



Il Sistema CRM di Ruregold è perfettamente conforme alle Linee Guida introdotte a novembre 2018 (Linee Guida europee) e a maggio 2019 (Linee Guida italiane) per l'identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (*Composite Reinforced Mortar*).

Il Sistema CRM Ruregold è in possesso di **ETA 22/0078**.

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Riferimenti normativi di progettazione

Nel caso di progetto e verifica di strutture murarie mediante la tecnica dell'intonaco armato, per consolidamento strutturale sia di carattere statico che antisismico, **non esistono delle Linee Guida di Progettazione specifiche e/o norme di comprovata validità** come nel caso della progettazione con materiali compositi FRP (*Fiber Reinforced Polymers*) e FRCM (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*).

L'effetto di questa tipologia di intervento di consolidamento può essere stimato attraverso **opportune valutazioni che considerino gli spessori della parete e dell'intonaco armato, oltre che dei relativi parametri meccanici.**

A supporto del progettista, la Circolare n.7 del 21/1/2019 delle NTC2018 in tabella **Tab. C8.5** **Il fornisce dei coefficienti moltiplicativi di incremento** da applicarsi alle prestazioni meccaniche dell'elemento murario sul quale viene realizzato l'intervento di consolidamento.

Come specificato in Circolare, i coefficienti migliorativi possono essere applicati in combinazione tra loro, in forma moltiplicativa, considerando la concomitanza al più dei due effetti che hanno i coefficienti moltiplicativi più alti.

Si deve inoltre rispettare il vincolo sul massimo coefficiente correttivo riportato nell'ultima colonna a destra della tabella.

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 disordinato (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 ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

Nel caso di consolidamento con **iniezioni di miscele leganti**, il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie murarie, si applica sia ai parametri di resistenza sia ai moduli elastici.

Per un intervento di **intonaco armato**, il coefficiente migliorativo si applica sia ai parametri di resistenza che ai moduli elastici. La Circolare evidenzia inoltre che in tal caso non si applicano i coefficienti relativi alla connessione trasversale della muratura non consolidata e alla ristilatura armata.

Si segnala inoltre la necessità di una preventiva verifica che il paramento non evidenzii un'eccessiva disgregazione o

presenza di vuoti, tale da rendere inefficace l'accoppiamento con l'intonaco armato; in questi casi è opportuno accoppiare l'intervento con iniezioni.

Infine, per interventi di **ristilatura armata e connessione dei paramenti**, il coefficiente indicato in tabella, si applica ai parametri di resistenza e ai moduli elastici; in quest'ultimo caso in misura ridotta del 50%.

Si riporta nel Focus di pag. 17 un esempio di applicazione del **metodo tabellare** nel caso in cui si realizzi un rinforzo mediante intonaco armato - Sistema CRM Ruregold.

Si ipotizza di analizzare un maschio murario in **muratura a conci sbazzati con paramenti di spessore disomogeneo** (Tab. C8.5.I Circolare alle NTC2018), con un livello di conoscenza LC1, avente le seguenti caratteristiche:

LUNGHEZZA l	1500 mm
SPESSORE t	300 mm
ALTEZZA h	3000 mm
LIVELLO DI CONOSCENZA	LC1
FATTORE DI CONFIDENZA	1,35
RESISTENZA A COMPRESSIONE f_{mk}	2,00 MPa
RESISTENZA A TAGLIO τ_{0k}	0,035 MPa
COEFFICIENTE DI SICUREZZA DEL MATERIALE γ_m	3
AZIONE ASSIALE AGENTE N	50 kN

Si valutano innanzitutto le resistenze di calcolo a compressione e a taglio in condizione ante operam:

$$f_{md} = \frac{f_{mk}}{\gamma_m \cdot FC} = 0,494 \text{ MPa}$$

$$\tau_{0d} = \frac{\tau_{0k}}{\gamma_m \cdot FC} = 0,009 \text{ MPa}$$

In accordo al **Capitolo 7.8.2.2.1 delle NTC2018**, è possibile valutare il momento ultimo della sezione rettangolare, con l'ipotesi di diagramma delle compressioni rettangolare con valore di resistenza pari a $0,85f_{md}$, utilizzando la seguente formula:

$$M_u = \left(l^2 \cdot t \cdot \frac{\sigma_0}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{0,85f_{md}} \right)$$

Dove:

M_u è il momento corrispondente al collasso per pressoflessione nel piano;

σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione $\sigma_n = N/(l \cdot t) = 0,11 \text{ MPa}$, con N forza assiale agente positiva se di compressione.

In accordo alla **formula C8.7.1.16 della Circolare alle NTC2018**, trattandosi di muratura irregolare, il taglio resistente può essere valutato come segue:

$$V_t = l \cdot t \cdot \frac{1,5\tau_{0d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5\tau_{0d}}}$$

Dove:

σ_0 è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione $\sigma_n = N/(l \cdot t) = 0,11 \text{ MPa}$, con N forza assiale agente positiva se di compressione.

b è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere $b = h/l$, comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1

In **condizione ante operam**, il momento e il taglio resistenti della sezione non rinforzata risulteranno dunque:

$$M_u = \left(1500^2 \cdot 300 \cdot \frac{0,11}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,11}{0,85 \cdot 0,494} \right) = 27,57 \text{ kNm}$$

$$V_t = 1500 \cdot 300 \cdot \frac{1,5 \cdot 0,009}{1,5} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,11}{1,5 \cdot 0,009}} = 12,03 \text{ kN}$$

Si ipotizza di realizzare un intervento di rinforzo con **intonaco armato - Sistema CRM** su ambo i lati e si vuole valutare l'incremento di resistenza conseguito applicando il **metodo tabellare** da NTC2018 precedentemente descritto. Per la tipologia di muratura in esame, il **coefficiente moltiplicativo di Tab. C8.5.II** per un intervento di consolidamento mediante intonaco armato è pari a **2,0**.

Tale coefficiente può essere **applicato sia ai parametri di resistenza che ai moduli elastici**; nel caso in esame, poiché nelle formule per calcolare momento e taglio resistenti entrano in gioco i soli parametri di resistenza, si procede al solo aggiornamento di questi ultimi:

$$f_{mk}^{PO} = f_{mk} \cdot 2,0 = 2,00 \cdot 2,0 = 4,000 \text{ MPa}$$

$$\tau_{0k}^{PO} = \tau_{0k} \cdot 2,0 = 0,035 \cdot 2,0 = 0,070 \text{ MPa}$$

Si valutano quindi le resistenze di calcolo a compressione e a taglio in **condizione post operam**.

$$f_{md}^{PO} = \frac{f_{mk}^{PO}}{\gamma_m \cdot FC} = 0,988 \text{ MPa}$$

$$\tau_{0d}^{PO} = \frac{\tau_{0k}^{PO}}{\gamma_m \cdot FC} = 0,017 \text{ MPa}$$

In **condizione post operam**, il momento e il taglio resistenti della sezione rinforzata risulteranno dunque:

$$M_u = \left(1500^2 \cdot 300 \cdot \frac{0,11}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,11}{0,85 \cdot 0,988} \right) = 32,54 \text{ kNm}$$

$$V_t = 1500 \cdot 300 \cdot \frac{1,5 \cdot 0,017}{1,5} \cdot \sqrt{1 + \frac{0,11}{1,5 \cdot 0,017}} = 17,88 \text{ kN}$$

CONCLUSIONI

L'incremento di resistenza a flessione è pari a **18,00%** e a taglio di **48,63%**.

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Qualificazione e accettazione

Al **Capitolo 11 delle NTC2018**, si specifica come tutti i materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- **identificati** univocamente a cura del fabbricante;
- **qualificati** sotto la responsabilità del fabbricante;
- **accettati** dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

I sistemi CRM ricadono nella categoria C definita al paragrafo 11.1; pertanto, per assolvere l'identificazione e la qualificazione, il fabbricante deve pervenire alla **Marcatura CE** sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure deve ottenere un "**Certificato di Valutazione Tecnica**" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel novembre 2018 sono state introdotte le linee guida europee EAD 340392-00-0104 "**CRM (Composite Reinforced Mortar) systems for strengthening concrete and masonry structures**" e nel maggio 2019 sono state introdotte le linee guida italiane "**Linee Guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica**", da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti con la tecnica dell'intonaco armato CRM (Composite Reinforced Mortar). Il **Sistema CRM** di Ruregold **ne è perfettamente conforme**. Ruregold, in particolare, ha deciso di intraprendere il percorso di qualificazione per ottenere la Marcatura CE sulla base della Valutazione Tecnica Europea.

Il sistema CRM di Ruregold è in possesso di ETA 22/0078.

Si rimanda al Focus tecnico seguente per un approfondimento sulle prove richieste ai fini della qualificazione di questi sistemi e ai fini dell'accettazione degli stessi in cantiere.

FOCUS TECNICO LINEE GUIDA

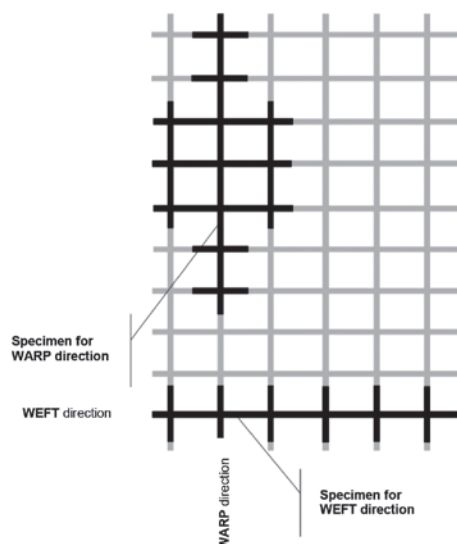
In primis, è opportuno sottolineare che per i sistemi CRM è **prevista la qualificazione dei singoli componenti ma non una qualificazione del sistema**.

Pertanto, le **malte** impiegate saranno marcate CE in accordo alla norma **UNI EN 998-1** "Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni" e alla norma **UNI EN 998-2** "Specifiche per malte per opere murarie - Parte 2: Malte da muratura". Le reti, i connettori preformati e gli angolari saranno invece Marcati CE o avranno il CVT in accordo alle linee guida citate precedentemente.

QUALIFICAZIONE

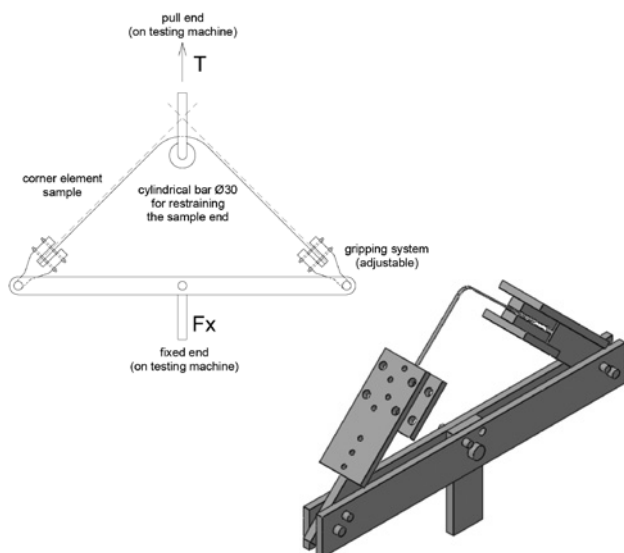
Si vuole ora fornire alcuni cenni sulle principali prove richieste per la **qualificazione dei sistemi a rete preformata**. La tipologia di prove previste dalle linee guida europee o italiane è concettualmente simile, ovvero per entrambe le linee guida sono richieste delle prove al fine di determinare il comportamento meccanico degli elementi del sistema e delle prove di durabilità ambientale. Esistono delle differenze sulle prove specifiche e sul numero di prove da effettuarsi al fine della qualificazione. Nel seguito, dunque, si farà riferimento a quanto previsto dalle linee guida europee EAD 340392-00-0104 "**CRM (Composite Reinforced Mortar) systems for strengthening concrete and masonry structures**", seguite da Ruregold al fine di ottenere la Marcatura CE.

Partendo dalle **prove sulla rete**, è prevista una prova di trazione al fine di determinare la resistenza a trazione, il modulo elastico e la deformazione ultima della rete. La prova consiste in una singola barra di lunghezza pari a 50 cm estratta dalla rete in FRP, tagliando le barre trasversali come mostrato nella seguente immagine tratta dalle linee guida europee:



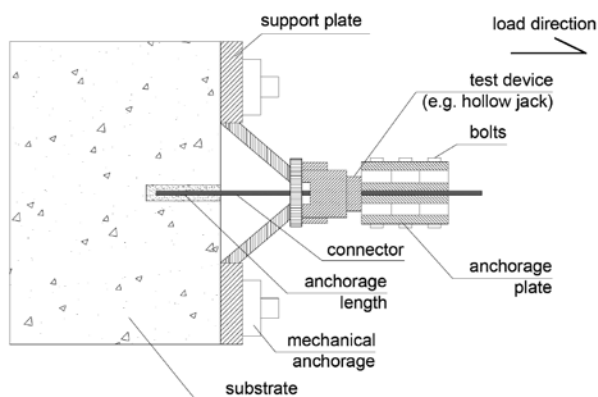
Si deve poi valutare la resistenza a taglio del nodo della maglia nelle due direzioni perpendicolari della rete e devono poi essere effettuate delle **prove di durabilità** per valutare i seguenti comportamenti: resistenza a cicli gelo-disgelo, resistenza all'acqua, resistenza all'acqua salata e resistenza agli alcali. Infine, è necessario determinare la temperatura di transizione vetrosa.

Per quanto concerne invece gli **elementi angolari**, è richiesta l'effettuazione di prove di trazione al fine di valutare la resistenza a trazione dell'elemento. Lo schema di prova è raffigurato nella seguente immagine tratta dalle linee guida europee:

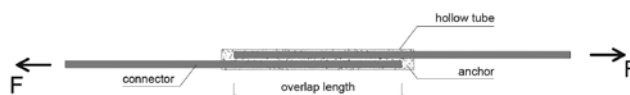


Tutte le altre caratteristiche vengono dedotte dalle corrispondenti prove effettuate sulla rete.

Per i **connettori preformati**, è richiesto di effettuare delle prove di trazione al fine di determinare la resistenza a trazione, il modulo elastico e la deformazione ultima con provini di lunghezza 50 cm e prove di estrazione del connettore da supporti standard (calcestruzzo e muratura).



Inoltre, sono richieste delle prove di giunzione per sovrapposizione dei connettori al fine di determinare la forza corrispondente alla crisi della giunzione e la relativa modalità di crisi.



Analogamente alle reti, devono poi essere effettuate delle prove di durabilità per valutare i seguenti comportamenti: resistenza a cicli gelo-disgelo, resistenza all'acqua, resistenza all'acqua salata e resistenza agli alcali.

ACCETTAZIONE

In merito invece alle prove di accettazione in cantiere di competenza del Direttore dei Lavori, si riporta nel seguito un sunto di quanto indicato al Capitolo 9 delle linee guida italiane **"Linee Guida per la identificazione, la qualificazione e il controllo di accettazione dei sistemi a rete preformata in materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica"**.

Risulta necessario prelevare 3 campioni per ognuno dei componenti dei sistemi di rinforzo da installare, tenendo conto anche dell'eventuale diversa natura delle fasi e delle eventuali diverse caratteristiche delle reti nelle due direzioni, al fine di effettuare le prove di trazione descritte nell'**Allegato 1** della medesima linea guida (prova di trazione della rete, prova di rottura su elementi d'angolo e prova di trazione sugli elementi di connessione).

Per ciascun campione, i valori della tensione di rottura a trazione e del modulo elastico devono risultare non inferiori ai corrispondenti valori nominali dichiarati nella scheda Prodotto.

Per le **malte** è necessario effettuare prove su due provini per ogni lotto di spedizione e le proprietà della malta devono soddisfare i valori dichiarati da Ruregold.

In merito al **Connettore Elicoidale** invece non risulta necessaria alcuna prova in fase di accettazione in quanto esso è marcato CE in accordo alle linee guida BS EN 845-1:2013 (Annex ZA.1).

In aggiunta ai controlli di accettazione, è compito del Direttore dei Lavori verificare che i prodotti di ciascun lotto di spedizione siano coperti da CVT oppure, per prodotti con Marcatura CE, che siano in possesso della Marcatura stessa e della dichiarazione di conformità D.O.P.

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Prove sperimentali - Università Pavia

Presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAr) dell'**Università di Pavia** è stata condotta una **vasta campagna sperimentale** su campioni in muratura di pietra naturale, rinforzati con la tecnica CRM sfruttando **diverse combinazioni di malte, reti e connettori della gamma Ruregold**.

La finalità della ricerca è la valutazione dell'**effetto positivo dei diversi sistemi di rinforzo CRM applicati alla muratura di partenza non rinforzata**, nei termini di resistenza e modalità di rottura.

LA MURATURA

Al fine di ricreare il più possibile le condizioni di una muratura esistente, sono stati realizzati quattro muri (lunghezza 13 m e spessore 30 cm) successivamente tagliati regolarmente con strumento a sega circolare ottenendo così 48 campioni (1x1 m spessore 30 cm) da sottoporre a prova.

I campioni sono stati realizzati con **pietre irregolari disposte su due paramenti con strati di malta di spessore variabile** così da formare corsi orizzontali non regolari. Le irregolarità dei blocchi hanno creato un interstizio variabile tra i due paramenti, riempito con malta e schegge di pietra.



Muri (n.4) lunghezza 13 m e sp. 30 cm per i test.

I CAMPIONI

I campioni di muratura sono stati rinforzati con i sistemi CRM, differenziati per tipologia di malta, rete e connettori come meglio specificato di seguito.

MALTE

- **MX-CP Calce**, a base calce idraulica naturale NHL e classe di resistenza M15;
- **MX-15 Intonaco**, a base cemento, classe di resistenza M15;
- **MX-RW Alte Prestazioni**, malta a elevata pozzolanicità rinforzata con fibre di polipropilene, resistenza 49,5 MPa.

RETI IN FIBRA DI VETRO GRFP

- **G-MESH 490**, maglia 80 x 80 mm e grammatura 490 g/m²;
- **G-MESH 400**, maglia 80 x 120 mm e grammatura 400 g/m².

CONNETTORI

- **Connettore Elicoidale**, barra elicoidale in acciaio inox;
- **G-MESH Connettore**, connettore a L in GFRP.

Il sistema si completa con **G-MESH Fazzoletto**, in grado di assorbire le concentrazioni di sforzo in corrispondenza dei sistemi di connessione.

Campioni di muratura sottoposti a test



LE PROVE SPERIMENTALI

Ogni sistema di rinforzo, come descritto al paragrafo precedente, è stato applicato su **tre campioni provenienti da tre differenti muri** al fine di rendere il risultato finale delle prove il più realistico possibile.

I campioni sono assimilabili a muratura a conci sbazzati con paramenti di spessore disomogeneo, secondo la tabella Tab. C8.5.I della Circolare 21-2-2019 delle NTC 2018.

L'obiettivo principale della campagna sperimentale è **determinare l'incremento di resistenza fornito dai sistemi CRM di Ruregold**, rispetto al campione originario, da confrontare con le indicazioni di tabella Tab. C8.5.II della Circolare alle NTC 2018 (coefficiente migliorativo 2).

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.

Durante la prova sono stati applicati **cicli di carico e scarico**, mantenendo i carichi massimi e nulli di ogni ciclo costanti per circa dieci secondi al fine di stabilizzare lo stato di tensione.

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, disponibile su Ruregold.it).



Scansiona il QR Code
e scarica
il Report di prova.



Prova di compressione diagonale.

5

G-MESH 400 + MX-CP
+ 5 Connettori Elicoidali



6

G-MESH 490 + MX-15
+ 5 Connettori Elicoidali



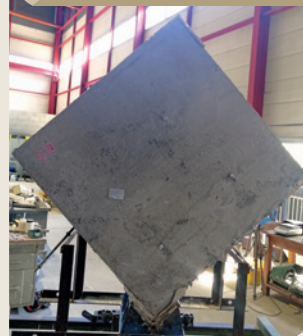
7

G-MESH 490 + MX-RW
+ 5 Connettori Elicoidali



8

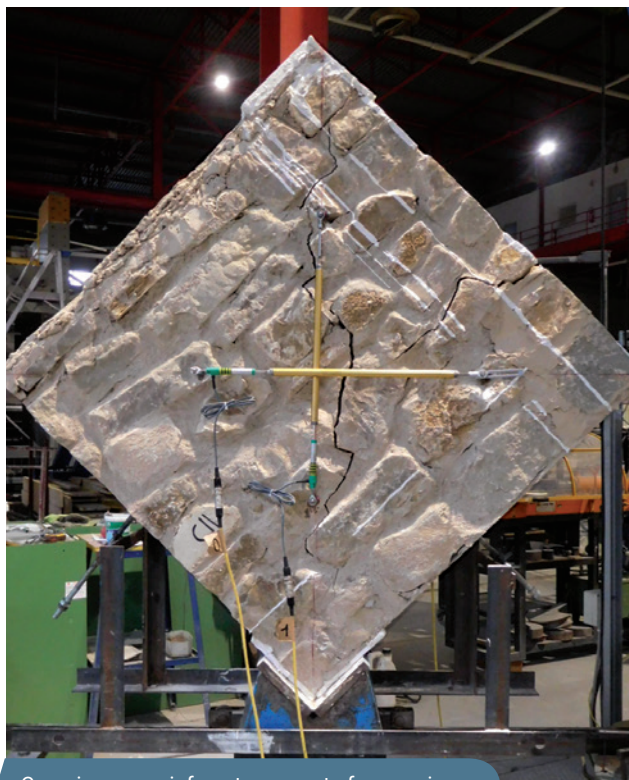
G-MESH 400 + MX-RW
+ 5 Connettori Elicoidali



INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Prove sperimentali - Università Pavia

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**.



Campione non rinforzato: marcata fessurazione.

I sistemi di rinforzo CRM, in particolare quelli con cinque connettori, hanno permesso di **confinare efficacemente la muratura** e **limitare e/o ritardare la separazione dei paramenti**.



Campione rinforzato post prova: fessurazione lieve.

Questo effetto benefico è stato parzialmente perso nel caso dei campioni aventi **un solo connettore centrale**, nei quali sono stati osservati il **distacco del rinforzo** e la **separazione dei paramenti**.



Dettaglio della fessurazione del campione non rinforzato.



Rinforzo con un connettore centrale (a sinistra) e rinforzo con 5 connettori (a destra).

I RISULTATI

Le prove sperimentali, condotte su un'ampia combinazione e casistica di tipologie, hanno permesso di comprendere al meglio gli **effetti benefici del rinforzo applicato in funzione dei diversi componenti del sistema CRM**.

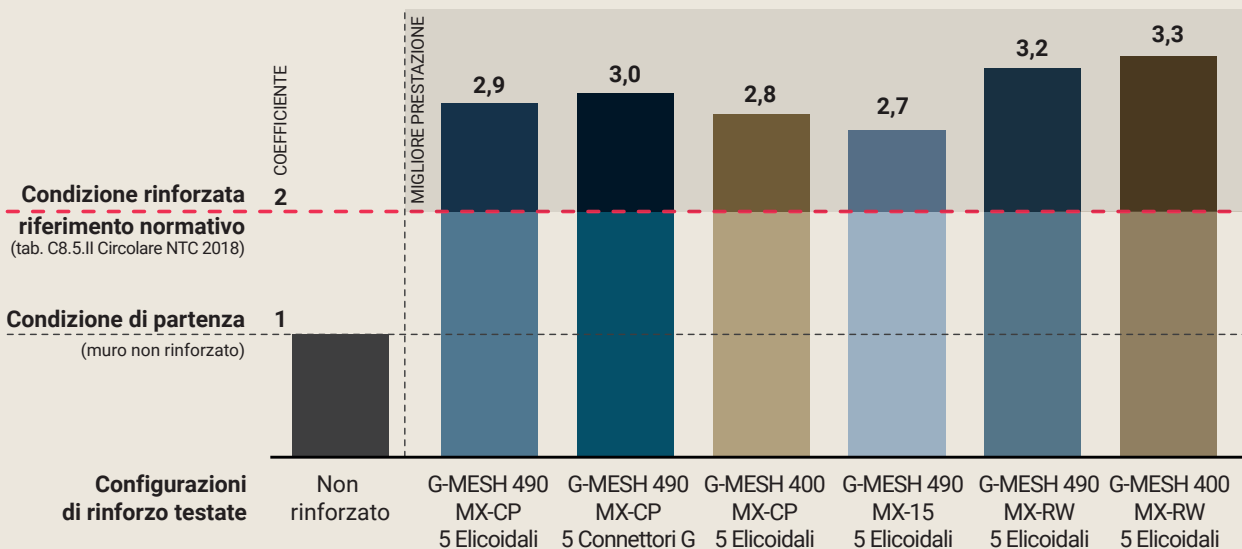
Come meglio evidenziato nella tabella e grafici seguenti, **i sistemi CRM Ruregold hanno ottenuto carichi massimi ($P_{MAX,MEDIO}$) pari a circa 3 volte quelli ottenuti nei campioni non rinforzati.**

Nello specifico, i **valori ottenuti** (rapporto tra il carico ottenuto nella configurazione rinforzata e quello nella configurazione non rinforzata) sono compresi nell'intervallo tra **2,7 e 3,3**.

Tali valori, decisamente superiori al coefficiente 2 (cfr. pag. 16 "Riferimenti normativi di progettazione", tab. C8.5.11 Circolare NTC 2018), **dimostrano l'efficacia dei sistemi di rinforzo CRM di Ruregold e la perfetta rispondenza di questi alle indicazioni fornite dalla normativa.**

	RETE G-MESH	MALTA	CONNETTORE	$P_{MAX,MEDIO}$ [kN]	COEFFICIENTE
NON RINF.	–	–	–	83,02	1
1	490	MX-CP	5 CONNETTORI ELICOIDALI	239,00	2,9
2	490	MX-CP	1 CONNETTORE ELICOIDALE	246,00	3,0
3	490	MX-CP	5 G-MESH CONNETTORE	246,33	3,0
4	490	MX-CP	1 G-MESH CONNETTORE	242,33	2,9
5	400	MX-CP	5 CONNETTORI ELICOIDALI	231,67	2,8
6	490	MX-15	5 CONNETTORI ELICOIDALI	221,33	2,7
7	490	MX-RW	5 CONNETTORI ELICOIDALI	263,00	3,2
8	400	MX-RW	5 CONNETTORI ELICOIDALI	270,67	3,3

Prestazioni CRM Ruregold



Le prove sperimentali evidenziano che il miglioramento offerto dal sistema di rinforzo va valutato con un **approccio globale**, considerando sia l'**incremento di resistenza** che il **comportamento a rottura**:

- **la resistenza della malta influenza l'incremento di prestazione ottenuto dal sistema**: i campioni rinforzati con MX-CP e MX-15 (15 MPa) hanno raggiunto rapporti compresi tra 2,7 e 3,0 mentre quelli con MX-RW (49,5 MPa) fino a 3,3 volte (si rimanda agli approfondimenti di pag.24-25 utili alla scelta della malta);
- **la variazione di grammatura delle reti in fibra di vetro non influenza significativamente il coefficiente migliorativo**:

tuttavia la rete G-MESH 490 (490 g/m²) presenta una maggiore resistenza a trazione rispetto alla G-MESH 400 (400 g/m²), caratteristica che potrebbe conferire una maggiore distribuzione degli sforzi a livello globale favorendo quindi un migliore comportamento dell'edificio;

- **il numero di connettori a metro quadro influenza il comportamento a rottura dell'elemento in maniera significativa**: la presenza di un adeguato numero di connessioni (4-5/m²) favorisce infatti il corretto confinamento della muratura (nei campioni con un solo connettore centrale si sono verificati fenomeni di separazione dei paramenti).

INTONACO ARMATO - SISTEMA CRM

Le malte strutturali

La gamma Ruregold è composta da **tre malte strutturali**, dotate di marcatura CE (UNI EN 998), impiegate nelle prove sperimentali condotte dall'Università di Pavia:

- **MX-CP Calce.**
- **MX-15 Intonaco.**
- **MX-RW Alte Prestazioni.**

Di seguito un approfondimento utile a orientare al meglio la **scelta della malta strutturale più idonea per l'intervento di rinforzo**, in relazione alla muratura sulla quale si interviene, alla compatibilità con il supporto e alle prestazioni offerte.

MX-CP CALCE E MX-15 INTONACO

Le malte **MX-CP Calce** e **MX-15 Intonaco** sono caratterizzate da una **resistenza a compressione di 15 MPa** e da due tipologie di leganti: la prima è a base di **calce idraulica naturale NHL**, la seconda a **base cemento**.

La prima distinzione è quindi strettamente legata alla **compatibilità con il supporto murario esistente**, ovvero la capacità della malte di possedere **caratteristiche fisiche, meccaniche e termo-igrometriche simili** al supporto murario su cui viene posata. Non si devono creare reazioni chimiche negative indotte dall'accoppiamento dei due materiali né tantomeno creare eccessive differenze di rigidità tra il materiale di ripristino e la muratura originaria. La **calce idraulica naturale NHL**, rispetto al cemento, presenta una **maggiore traspirabilità** favorendo il passaggio di acqua sotto forma di vapore e un **basso contenuto di sali solubili**, potenzialmente pericolosi all'interno delle murature poiché se assorbiti potrebbero creare distacchi o efflorescenze sulla struttura.

In sintesi **ogni supporto murario storico**, reso unico dalla sua tecnica costruttiva e dal diversificato livello di degrado, **richiede la malta specifica** da ripristino e/o rinforzo più adatta alle condizioni originarie.

Ciò significa che è opportuno scegliere un **prodotto a base cemento (MX-15 Intonaco)** quando la malta utilizzata nella muratura esistente è a base cemento e, analogamente, a **base calce (MX-CP Calce)** quando la malta utilizzata nella muratura esistente è a base calce.

In assenza di un'analisi sulle caratteristiche della malta presente nella muratura oggetto di intervento, di seguito una linea di indirizzo per la scelta di MX-CP Calce e MX-15 Intonaco:

- **MX-CP Calce** risulta particolarmente idonea in presenza di **murature di medio e basso spessore, di maggior valore storico-monumentale e di pregio**;
- **MX-15 Intonaco** è consigliata in presenza di **murature ordinarie di medio e basso spessore**.

MX-RW ALTE PRESTAZIONI

MX-RW Alte prestazioni è caratterizzata da una **resistenza a compressione di 45 MPa**, superiore a oltre il triplo rispetto alle altre due malte Ruregold e alla media delle malte presenti sul mercato.

La **superiore resistenza** si è tradotta, grazie alla campagna sperimentale condotta presso l'Università di Pavia, in **coefficienti migliorativi più elevati sempre superiori al valore 3**.

La **campagna sperimentale ha così dimostrato come le prestazioni della malta influenzino il miglioramento ottenibile dal sistema di rinforzo**.

È utile ricordare che ad oggi per i sistemi CRM, in accordo alle NTC 2018 e Circolare, è necessario riferirsi al metodo tabellare (cfr. pag. 16 "Riferimenti normativi di progettazione" ovvero tab. C8.5.II della Circolare alle NTC 2018).

Facendo tesoro delle evidenze sperimentali ottenute e in attesa di specifiche indicazioni normative in merito, si suggerisce l'impiego di **MX-RW Alte Prestazioni** ogni qualvolta **si voglia fornire alla struttura muraria di partenza un più elevato incremento di resistenza** rispetto a quello ottenibile da malte di classi inferiori.

In altra analisi si ritiene che MX-RW sia particolarmente idonea per **murature a elevato spessore quali, ad esempio, in mattoni pieni o blocchi di pietra**.



Pompaggio MX-CP Calce.

MX-RW Alte Prestazioni

MX-RW Alte Prestazioni è un premiscelato a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità e basso contenuto di sali, inerti selezionati, additivi e fibre di polipropilene

- Elevate prestazioni meccaniche.
- Ottima aderenza alla muratura.
- Additivata con fibre di polipropilene.
- Alta pozzolanicità e basso contenuto di sali.
- Facilità di posa in opera.
- Pompabile con le tradizionali intonacatrici (PFT G4 e simili) e impastabile in betoniera.



Per
approfondimenti
scansiona
il QR code

Resistenza a compressione 28 gg	≥ 45 MPa
Marcatura CE	UNI EN 998-1/2

MX-CP Calce

Premiscelato a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5. La porosità del prodotto finito è tale da consentire una sufficiente permeabilità al vapore d'acqua. La malta presenta un'elevata durabilità agli agenti aggressivi.

- Elevata compatibilità con le murature storiche.
- Ottima aderenza alla muratura.
- Elevata traspirabilità.
- Facilità e rapidità di posa e di finitura.
- Pompabile con le tradizionali intonacatrici (PFT G4 e simili) e impastabile in betoniera.



Per
approfondimenti
scansiona
il QR code

Resistenza a compressione 28 gg	≥ 15 MPa
Marcatura CE	UNI EN 998-1/2

MX-15 Intonaco

Premiscelato a base di legante idraulico cementizio, sabbie silicee (al posto delle più comuni calcaree) in grado di offrire una superiore qualità finale all'impasto e durabilità.

- Buona resistenza meccanica a compressione.
- Ottima aderenza alla muratura.
- Facilità e rapidità di posa e finitura.
- Pompabile con le tradizionali intonacatrici (PFT G4 e simili) e impastabile in betoniera.



Per
approfondimenti
scansiona
il QR code

Resistenza a compressione 28 gg	≥ 15 MPa
Marcatura CE	UNI EN 998-1/2

INTONACO FIBRORINFORZATO

Descrizione

L'impiego della malta **MX-PVA Fibrorinforzata**, caratterizzata da elevate prestazioni meccaniche e comportamento duttile, **consente di evitare l'utilizzo di armature diffuse** tipiche della tradizionale tecnica dell'intonaco armato e/o più innovativa dei sistemi CRM.

Nell'adozione dei **coefficienti migliorativi** da utilizzare nell'impiego della malta **MX-PVA Fibrorinforzata** si dovrà tener conto delle caratteristiche meccaniche ottenute dall'**importante campagna di prove sperimentali eseguite dall'Università degli Studi di Perugia**; sarà comunque opportuno prevedere delle connessioni trasversali, realizzate ad esempio con sistemi in **CONNETTORE ELICOIDALE** oppure con barre pultruse in FRP **C-BAR o G-BAR** (e la malta **MX-JOINT** da inserire all'interno della perforazione).

In alternativa si possono impiegare anche i sistemi di connessione a fiocco del tipo **B-JOINT**.

Per comprendere il significativo contributo tecnico offerto dalla malta **MX-PVA Fibrorinforzata**, sono state realizzate prove di compressione diagonale su campioni di muratura non rinforzate a confronto con le stesse interessate da un rinforzo con 2,5-3 cm di malta **MX-PVA Fibrorinforzata** in assenza di connessioni trasversali.

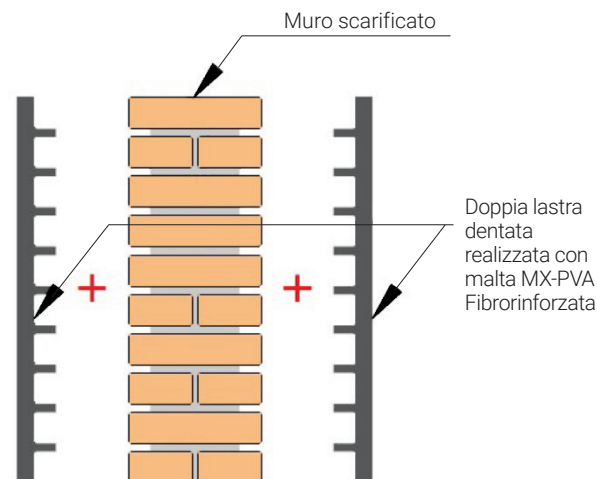
Leggendo i valori medi di resistenza ottenuti si rileva un **incremento della resistenza a taglio delle murature rinforzate con MX-PVA Fibrorinforzata pari a circa 1,85 volte rispetto a quello della muratura di partenza**.

Le modalità di crisi, anch'esse utili per valutare la bontà dell'intervento, si innescano rispettivamente:

- rottura diagonale per scorrimento sui giunti di malta, nei pannelli murari non rinforzati;
- **rottura diagonale omogenea, sia sul rinforzo che sul supporto, nel caso dei pannelli rinforzati.**



Modalità di rottura dei test a compressione diagonale di pannelli murari (a sx pannello non rinforzato, a dx pannello rinforzato con MX-PVA Fibrorinforzata) | Report Università degli studi di Perugia.



Impiego della malta MX-PVA Fibrorinforzata a elevata pozzolanicità e realizzazione della lastra dentata di basso spessore (2-3 cm).

L'**applicazione a lastra dentata** realizzata mediante malta ad alta pozzolanicità e prestazione come **MX-PVA Fibrorinforzata** comporta i seguenti **vantaggi**:

- eliminazione delle criticità date dall'ossidazione delle barre metalliche delle reti elettrosaldate;
- opportunità di realizzare spessori contenuti (2-3 cm) con nessuna necessità di copriferro;
- semplificazione delle fasi esecutive;
- prestazioni certificate della malta strutturale **MX-PVA Fibrorinforzata**.

PROVE SPERIMENTALI ENEA

L'impiego della malta **MX-PVA Fibrorinforzata** è stato inoltre misurato anche mediante delle prove su tavola vibrante, realizzando la sperimentazione 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 di MX-PVA Fibrorinforzata ad alta resistenza.**

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.

Il modello strutturale è stato sottoposto a input sismici con accelerazioni di picco crescenti, scalando opportunamente le storie temporali della **storia accelerometrica di riferimento**.



Struttura testata presso il Centro ENEA.

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 le seguenti osservazioni:

- **i paramenti murari danneggiati in maniera significativa prima del rinforzo strutturale non hanno mostrato alcun danno**, salvo microfessurazioni localizzate nelle zone generalmente più critiche (spigoli di aperture e fasce murarie);
- **il danneggiamento della struttura rinforzata si è concentrato esclusivamente al secondo livello**, il quale non presentava alcun tipo di danneggiamento in seguito ai primi test in assenza di rinforzo;
- **la struttura è stata in grado di sopportare input dinamici di maggiore intensità**, senza comunque arrivare al collasso.



Struttura rinforzata mediante MX-PVA.



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MX-PVA Fibrorinforzata

MX-PVA Fibrorinforzata è un premiscelato a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità e basso contenuto di sali, inerti selezionati, additivi e fibre di polivinilalcol ad alto modulo.

- Elevata capacità di assorbire energia dopo fessurazione.
- Aumento della resistenza a trazione e flessione anche dopo la fessurazione.
- Ottima resistenza ai carichi dinamici.
- Assenza di corrosione delle fibre in PVA.
- Ottima aderenza alla muratura.
- Elevata resistenza all'attacco di agenti chimici.



Per
approfondimenti
scansiona
il QR code

Resistenza a compressione 28 gg

≥ 45 MPa

Marcatura CE

UNI EN 998-2



Revisione 07/2024 • In vigore dal 15/7/2024 • Leca e CefiroStorico sono marchi registrati di Laterlite S.p.A. • Tutti i diritti riservati. Riproduzione anche parziale vietata. Sostituisce e annulla tutti i precedenti. • COD. 0055001.001



Assistenza Tecnica

02.48011962 | via Correggio, 3 | 20149 Milano
Leca.it