

Miglioramento ed adeguamento sismico di strutture esistenti in muratura: dai tessuti FRP/FRCM alle miscele leganti

di S.T.A. DATA



Con il presente articolo si mira ad illustrare alcune delle principali tipologie di interventi di rinforzo applicabili alle strutture in muratura, con particolare focus sul supporto fornito dai software di calcolo e sulle peculiarità di 3Muri Project in merito all'argomento.

Nell'ambito di un edificio esistente in muratura, dal punto di vista strutturale, spesso lo scopo del progetto risiede nell'adeguamento o nel miglioramento statico e sismico della struttura (se quest'ultima non dispone del livello di sicurezza richiesto da normativa).

A tal proposito, è necessario intervenire con interventi di rinforzo sugli elementi strutturali danneggiati o poco resistenti.

Focalizzando l'attenzione nell'ambito dei rinforzi strutturali, possiamo citare l'utilizzo di rinforzi **FRP** (Fiber Reinforced Polymer) e dei rinforzi **FRCM** (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) i quali, grazie alle norme di riferimento che ne regolano l'impiego e al successo degli interventi realizzati sul campo, hanno subito una rapida diffusione.

Oltre a queste due tipologie di rinforzo, però, è possibile far riferimento ad altre modalità altrettanto efficaci ed altrettanto consolidate, come le **catene metalliche** o le **miscele leganti**.

L'utilizzo di sistemi innovativi: FRP e FRCM

I rinforzi **FRP** sono materiali costituiti da **fibre di rinforzo immerse in una matrice polimerica**. Vengono applicati sull'elemento da rinforzare mediante l'uso di resine che svolgono due diverse funzioni: da una parte fungono da elemento impregnante e dall'altra da adesivo al substrato interessato.

In questo tipo di compositi, le fibre svolgono il ruolo di elementi portanti (sia in termini di resistenza che di rigidità); la matrice, oltre che a svolgere la funzione di protezione nei confronti delle fibre, ha il compito di trasferire gli sforzi tra le fibre e l'elemento strutturale su cui è stato applicato il composito.

Le fibre maggiormente utilizzate per la produzione di compositi per il rinforzo strutturale sono quelle aramidiche, quelle in vetro e in carbonio.

I tessuti possono essere uniassiali, biassiali o multiassiali (a seconda della direzione di tessitura trama-ordito).

Invece, per la fabbricazione dei compositi fibro-rinforzati, in genere vengono utilizzate matrici polimeriche a base di resine termoindurenti. In questo caso è l'adesivo ad avere il compito di collegare e trasferire le forze tra l'elemento da rinforzare e il composito.

L'applicazione di un rinforzo FRP ad un elemento strutturale comporta inoltre un miglioramento globale della struttura in muratura (come l'intervento mediante catene metalliche) e non solo un miglioramento locale dell'elemento.

I compositi **FRCM** sono costituiti da fibre lunghe ad elevate resistenza a trazione, annegate all'interno di una matrice inorganica, la quale ha il compito di garantire l'aderenza al supporto.

A differenza degli FRP, i quali si presentano sotto forma di tessuti, i sistemi FRCM sono costituiti da reti a maglia aperta.

Questi sistemi hanno un'elevata durabilità e deformabilità, proprietà direttamente collegate all'efficacia finale del rinforzo in opera.

Oltre alle caratteristiche meccaniche del materiale in sé, il termine "durabilità" si riferisce anche a tutti gli aspetti che garantiscono l'efficacia dell'intervento nel tempo: affinché la capacità resistente venga preservata nel tempo, è essenziale che ci sia una collaborazione tra i materiali di cui è costituito l'elemento strutturale e il materiale utilizzato nell'intervento.

Questi concetti li troviamo espressi all'interno della circolare n°7/2019 al paragrafo C8.6, il cui testo normativo invita a soffermarsi sulla necessità di valutare gli effetti dovuti al comportamento termico, alle reazioni chimiche e al ritiro differenziale, evidenziando come questi aspetti possano compromettere l'efficacia dell'intervento a lungo termine.

Ulteriori sistemi di rinforzo per elementi in muratura: catene metalliche, catene (o fasce) in FRP/FRCM e miscele leganti

Come precedentemente anticipato, esiste un'ampia varietà di interventi di rinforzo applicabili agli elementi in muratura.

Le **catene metalliche** rappresentano un'efficace soluzione in casi di connessioni mancanti o deboli, per migliorare le prestazioni delle fasce murarie, prevenire il ribaltamento delle facciate oppure per bilanciare la spinta generata dagli orizzontamenti.

Le catene si presentano come tiranti metallici monodimensionali a sezione circolare (o rettangolare in casi particolari), corredati da elementi di ancoraggio che ne consentono la messa in opera, definiti capochiave.

Questa tipologia di intervento viene spesso preferita ad altre in quanto più economica e reversibile, condizione che aggiunge un notevole valore in caso di edifici in muratura esistente interessati da opere di restauro conservativo.

I materiali già analizzati **FRP** e **FRCM** possono anche essere utilizzati come **catene** al livello del solaio: ciò consente di ottenere non solo un miglioramento globale della struttura ma, se si effettua correttamente l'intervento, anche un miglioramento sismico lungo l'asse delle spinte orizzontali.

Affinché il miglioramento sismico venga considerato tale, la normativa impone un aumento di almeno 0,1 dell'indice di vulnerabilità dello stato di progetto rispetto allo stato di fatto.

Le catene (o fasce) in FRP e FRCM possono agilmente far fronte a questa necessità: un intervento di questo tipo prevede la scelta del materiale in relazione al blocco al quale andrà applicato. Questa specifica tipologia di catene trova la massima efficacia della sua funzione applicata alle pareti perimetrali della struttura, fungendo da supporto consolidante.

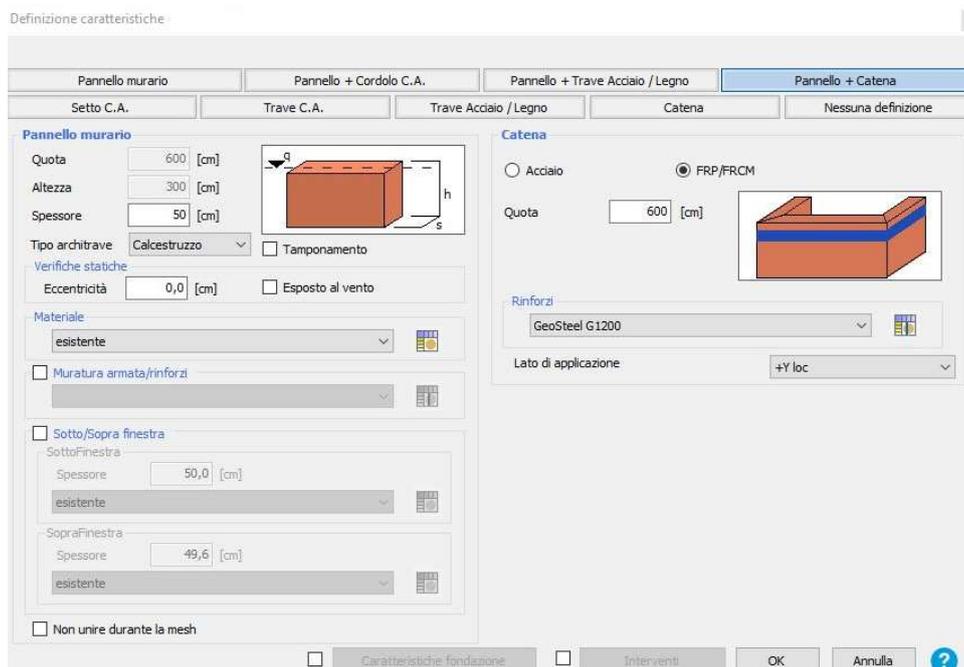


Figura 1 – Pannello di definizione delle caratteristiche, catene in FRP/FRCM, 3Muri Project

Un'ulteriore possibilità di intervento risiede nell'**iniezione di miscele leganti**: questa tipologia di rinforzo risulta ottimale per prevenire la disgregazione della muratura poiché non solo rafforza il legame tra le parti, ma contribuisce all'eliminazione dei vuoti ottenendo come risultato una muratura coesa e dal comportamento monolitico.

Questa operazione determina l'amplificazione dei parametri meccanici della muratura: le resistenze meccaniche e i moduli elastici.

Il coefficiente di amplificazione di tali parametri viene definito dalla normativa vigente in base alla tipologia di muratura.

Se, per esempio, operassimo su una muratura con un coefficiente di amplificazione pari a 2 i parametri meccanici della stessa raddoppierebbero.

Durante un intervento di questo tipo, è fondamentale selezionare la miscela con cura scrupolosa: è necessario porre attenzione soprattutto alla compatibilità chimico-fisicomeccanica tra la miscela e la tipologia muraria in oggetto, così da non incorrere in eventuali reazioni non previste.

L'operazione, in quanto discretamente invasiva e non reversibile, obbliga il professionista a prevederne in anticipo l'efficacia mediante una simulazione.

I rinforzi per il miglioramento e l'adeguamento sismico: l'importanza del software di calcolo

Data la rapida diffusione e l'elevato utilizzo di questi sistemi, esiste una grande varietà di prodotti presenti sul mercato; pertanto, è fondamentale per il progettista possedere piena padronanza di tutti i concetti espressi all'interno delle norme tecniche e del significato di tutti i parametri in essa contenuti.

Il dimensionamento di questa tipologia di rinforzi dipende da un elevato numero di parametri che lo rendono sensibilmente diverso da caso a caso.

È sufficiente pensare come, oltre alle caratteristiche meccaniche delle fibre, incidano sulle prestazioni anche parametri come la grammatura, la tessitura e le proprietà della matrice.

Non è mai sufficiente basare la scelta di un sistema di rinforzo sulle caratteristiche meccaniche - resistenza e deformabilità - del singolo rinforzo; l'elemento che va analizzato è il sistema finale, formato dal rinforzo applicato sull'unità strutturale.

In seguito a tali riflessioni, è immediato riconoscere **la fondamentale importanza dell'uso di un software di calcolo che vada in aiuto al progettista mettendo a disposizione un archivio contenente non solo gli elementi di rinforzo, ma anche i relativi parametri geometrici e meccanici.**

3Muri Project, il software di S.T.A. DATA per il calcolo sismico e statico delle strutture in muratura, consente la progettazione di interventi su edifici esistenti, fornendo un aiuto concreto al progettista.

Infatti, attraverso l'analisi *pushover*, consente di individuare le zone maggiormente interessate dall'evento sismico, mappando il danno che si manifesta all'interno degli elementi strutturali esistenti.

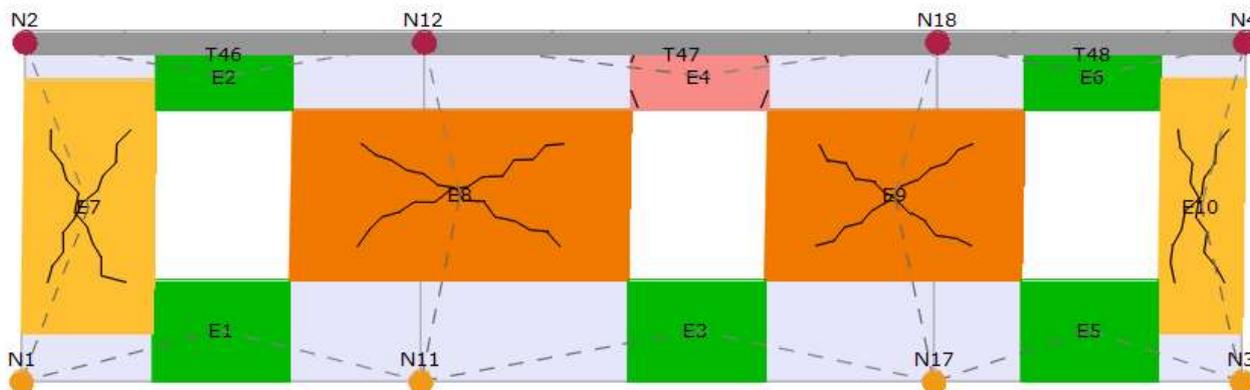


Figura 2 - Prospetto di danno, 3Muri Project

Attraverso l'esame degli elementi deteriorati, è possibile individuare le zone in cui intervenire posizionando i rinforzi adeguati.

La definizione delle caratteristiche del rinforzo può essere fatta all'interno dell'apposita *finestra di definizione* dalla quale è possibile accedere alle varie **librerie** presenti.

Proprietà rinforzo

Nome Tipo rinforzo FRCM Definizione utente Usa valori convenzionali

Muratura		Muratura	
Tipo muratura	Muratura di laterizio		
Definizione η_a	Automatica		
Classe di esposizione	Interna		
f_{bm} [N/mm ²]	4,4		
f_{btm} [N/mm ²]	0,4		
Dist. applicazione [cm]	0		

Rinforzo diffuso maschio		Rinforzo diffuso fascia	
Disposizione	Continua	Disposizione	Continua
b_f [mm]		b_f [mm]	
Passo [cm]		Passo [cm]	
t_f [mm]	0,062	t_f [mm]	0,062
N. strati singolo lato	1	N. strati singolo lato	1
Tipologia effetto	Taglio	Tipologia effetto	Taglio
Applicazione	Lato singolo	Applicazione	Lato singolo
Ancoraggio flessione	Efficace	Ancoraggio flessione	Efficace
η_a	0,90	η_a	0,90
E_f [N/mm ²]	60.000,00	E_f [N/mm ²]	60.000,00
ϵ_{fk} [%]	3,00000	ϵ_{fk} [%]	3,00000
ϵ_{fd} [%]	0,50588	ϵ_{fd} [%]	0,50588
f_{fdd} [N/mm ²]	202,35	f_{fdd} [N/mm ²]	202,35

Coefficienti di calcolo	
$\gamma_{f,d}$	1,20
α	1,50
γ_m	1,50
Drift taglio	0,0080
Drift pressoflessione	0,0160
β	0,60

Cordolo sommitale	
Numero strati	1
Larghezza b_f [cm]	0
t_f [mm]	0,000

CNR DT 215 /2018 - Tipologie FRCM; PBO; SRG
 Libreria verticale: FRP-FRCM Sample Interventi

Figura 3 – Pannello delle proprietà di rinforzo, 3Muri Project

Queste librerie vengono fornite direttamente dai produttori e contengono tutti i parametri - geometrici e meccanici - relativi alle diverse tipologie di rinforzo, nonché una serie di ulteriori parametri descrittivi che sono di supporto per effettuare una scelta oculata.

Tra questi ritroviamo: le modalità di applicazione del rinforzo, a quale materiale e a quali elementi è applicabile e quali sono i supporti convenzionali sui quali è stato testato.

Nel caso di rinforzi FRCM l'applicazione su un rinforzo conforme a quello convenzionale ci offre la possibilità di utilizzare, al posto dei classici parametri caratteristici, i parametri convenzionali ed evitare le verifiche nei confronti del fenomeno di distacco.

Come suggerito all'interno della CNR-DT 215/2018:

l'applicazione del rinforzo su un supporto convenzionale coerente a quello suggerito, permette di evitare la verifica esplicita nei confronti del distacco dal supporto o di scorrimento delle fibre nella matrice in corrispondenza delle estremità del rinforzo.

In merito all'inserimento di catene metalliche, **3MuriProject** permette di sostituire il pannello murario con il sistema composto dal pannello più la catena, definendo le caratteristiche della stessa e il tiro pre-carico.

L'applicazione delle catene è operabile sia in ambiente globale che in ambiente locale, così da intervenire in maniera mirata in base alle necessità di progetto.

In caso di applicazione in ambiente locale, il software consente di dimensionare le catene applicando un tiro che equivale alla forza che vogliamo venga esplicata dalla catena stessa per soddisfare la verifica dei meccanismi locali.

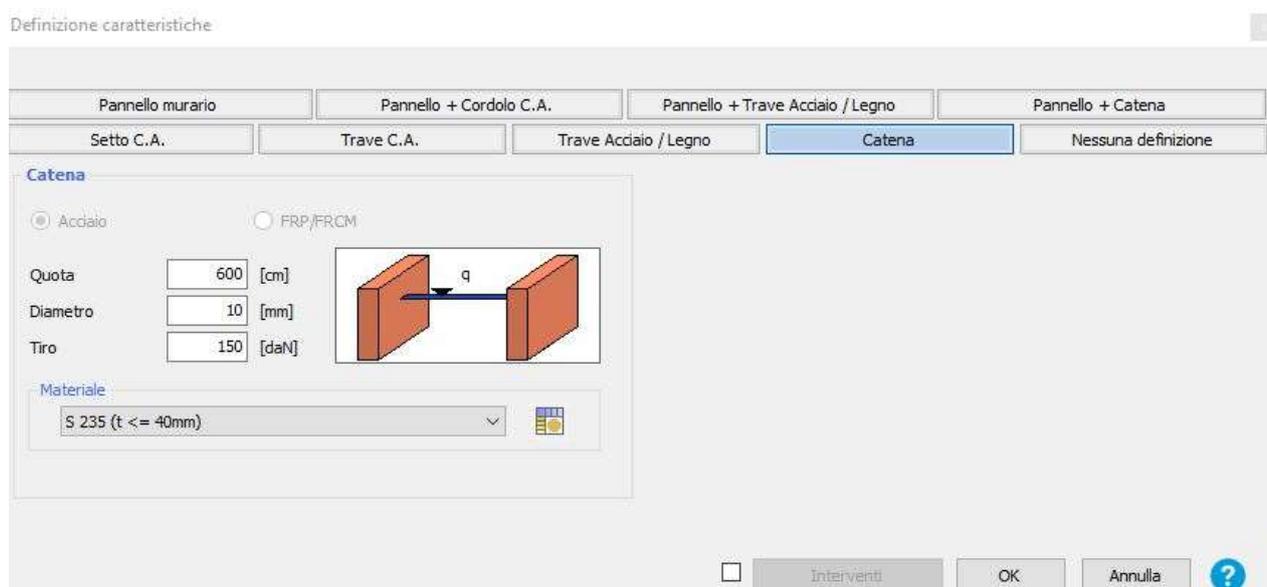
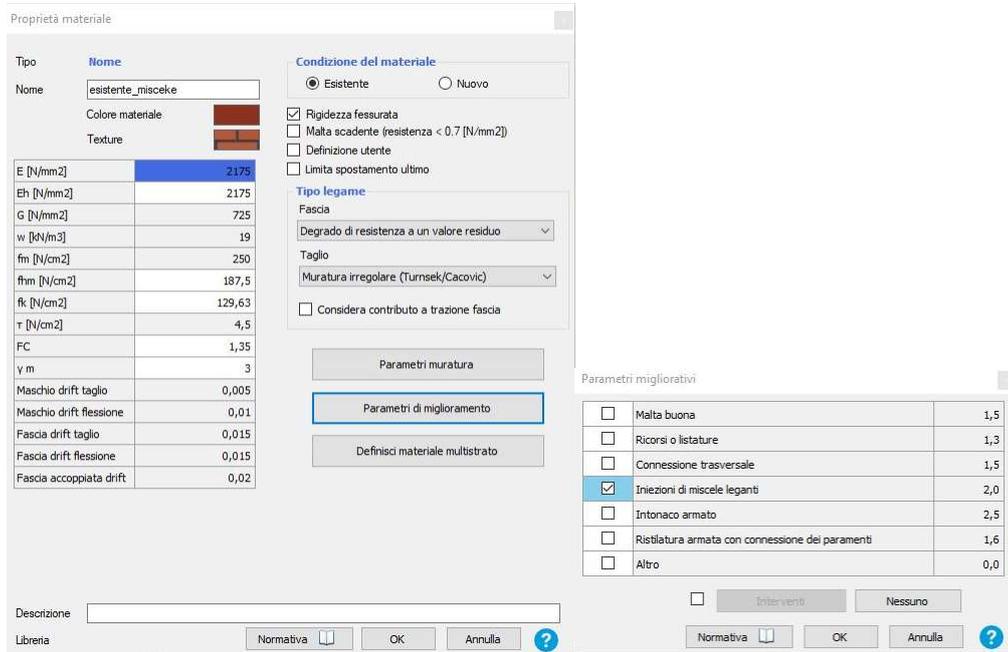


Figura 4 - Pannello di definizione delle caratteristiche, catene metalliche, 3Muri Project

Se, invece, si deve intervenire mediante l'iniezione di miscele leganti, **3MuriProject** permette di effettuare la simulazione dell'intervento partendo dalla definizione del materiale, per poi sostituirlo alla porzione di muratura interessata dall'operazione.



Proprietà materiale

Tipo **Nome**
Nome:
Colore materiale: 
Texture: 

Condizione del materiale
 Esistente Nuovo

Rigidezza fessurata
 Malta scadente (resistenza < 0.7 [N/mm²])
 Definizione utente
 Limita spostamento ultimo

Tipo legame
Fascia
Degradato di resistenza a un valore residuo
Taglio
Muratura irregolare (Turnsek/Cacovic)
 Considera contributo a trazione fascia

Parametri muratura
Parametri di miglioramento
Definisci materiale multistrato

E [N/mm ²]	2175
Eh [N/mm ²]	2175
G [N/mm ²]	725
w [kN/m ³]	19
fm [N/cm ²]	250
fhm [N/cm ²]	187,5
fk [N/cm ²]	129,63
r [N/cm ²]	4,5
FC	1,35
v, m	3
Maschio drift taglio	0,005
Maschio drift flessione	0,01
Fascia drift taglio	0,015
Fascia drift flessione	0,015
Fascia accoppiata drift	0,02

Parametri migliorativi

<input type="checkbox"/> Malta buona	1,5
<input type="checkbox"/> Ricorsi o listature	1,3
<input type="checkbox"/> Connessione trasversale	1,5
<input checked="" type="checkbox"/> Iniezioni di miscele leganti	2,0
<input type="checkbox"/> Intonaco armato	2,5
<input type="checkbox"/> Ristilatura armata con connessione dei paramenti	1,6
<input type="checkbox"/> Altro	0,0

Descrizione:
Libreria:

Figura 5 - Pannello di definizione delle proprietà del materiale, miscele leganti, 3Muri Project

Conoscere approfonditamente la natura dei rinforzi e la loro modalità di applicazione è una condizione imprescindibile per un intervento oculato e corretto. **L'uso di software di calcolo e librerie apposite** rappresenta, quindi, non solo **un grande vantaggio per il progettista in termini di qualità e tempi di realizzazione del lavoro**, ma anche **un supporto efficace per la scelta del rinforzo da applicare** e per il successivo riscontro ottenuto mediante l'intervento.