



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI **INGEGNERI**

Con il supporto scientifico di:



CONVEGNO ON LINE

LUNEDÌ 28 SETTEMBRE 2026, ORE 15.00 - 17.00

**Tecniche di intervento con malte storiche
per la salvaguardia del patrimonio in aree
di crisi e materiali compositi FRCM**

Focus per gli specialisti di ingegneria sulle soluzioni
sostenibili per il consolidamento delle murature storiche

Innovazione FRCM e Soluzioni Green: I principi di funzionamento dei sistemi di rinforzo FRCM per le strutture in muratura

Marco Pepe

*Dipartimento di Ingegneria Civile
Università degli Studi di Salerno*



Indice dei contenuti

- ❑ Introduzione
- ❑ Quadro Normativo
- ❑ Esempi di calcolo
- ❑ Applicazioni

Indice dei contenuti

- ☐ **Introduzione**
- ☐ Quadro Normativo
- ☐ Esempi di calcolo
- ☐ Applicazioni

Introduzione

I sistemi FRCM

*...ai compositi fibrorinforzati FRP (Fiber Reinforced Polymer), si affiancano, negli interventi di riabilitazione strutturale, i **compositi fibrorinforzati FRCM** (Fabric Reinforced Cementitious Matrix).*

Tali compositi sono il risultato dell'accoppiamento di reti (o tessuti), realizzate con fibre lunghe di acciaio ad alta resistenza, arammide, basalto, carbonio, (PBO), vetro alcali resistente, o altri materiali immersi in matrici polimeriche (quali le resine epossidiche), e di una matrice inorganica.

*La matrice inorganica, a base di malta cementizia o di calce può **risultare vantaggiosa rispetto a quella organica, soprattutto per le applicazioni alle fabbriche murarie**, attesa la sua maggiore affinità con questo tipo di supporti. Inoltre, per le sue caratteristiche di rimovibilità e traspirabilità, la rendono **adatta per le applicazioni su edifici di interesse storico ed artistico**...*

Estratto LG CSLLP ([link](#))

Introduzione

I sistemi FRCC

I sistemi compositi **FRCC** (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*) sono ottenuti utilizzando reti (o **tessuti**) combinati con **matrici inorganiche**, realizzate ad esempio con leganti a base di calce o di cemento, con eventuale aggiunta di additivi.



Tipologie di tessuti

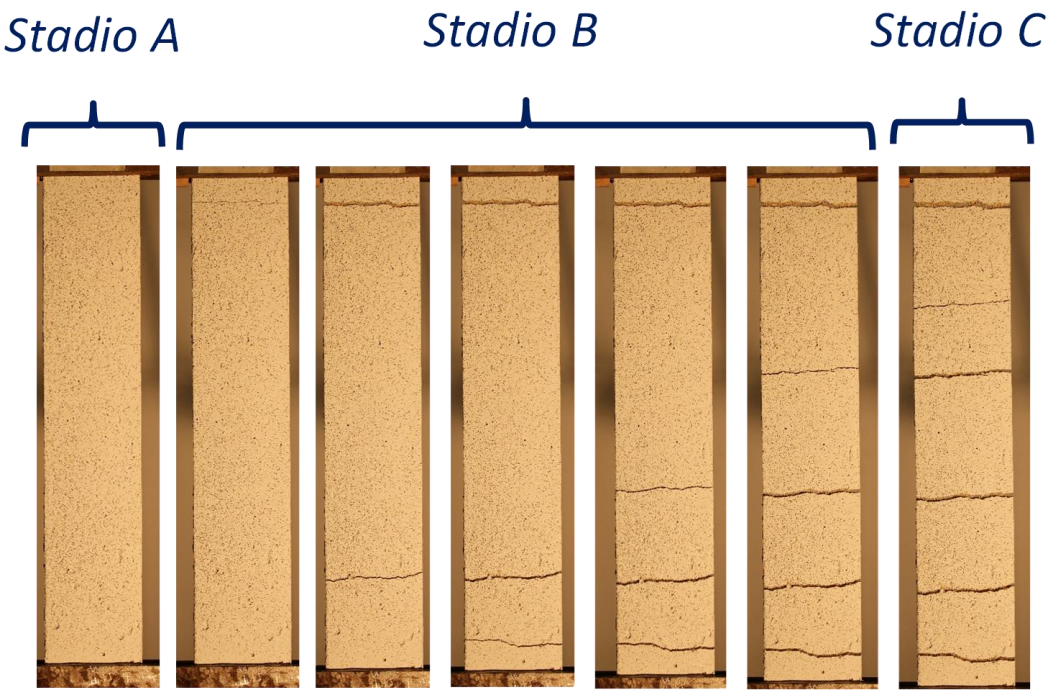
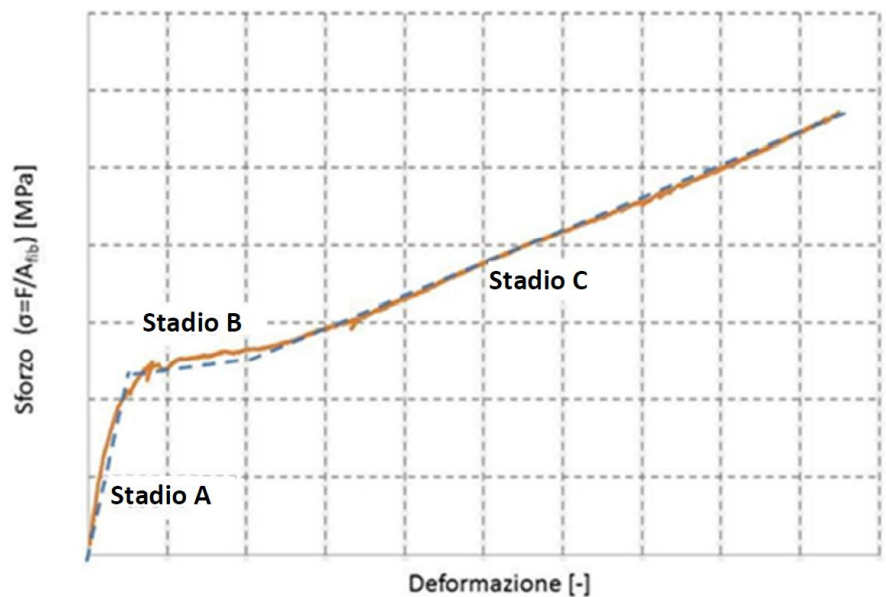
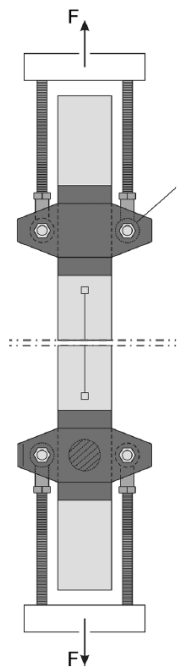
- Acciaio ad alta resistenza;
- Arammide;
- Basalto;
- Carbonio;
- PBO;
- Vetro AR.

Il loro **spessore** è compreso tra **5 mm** e **15 mm**, nel caso di una singola rete, e non supera i **30 mm** nel caso di **più reti**.

Introduzione

Comportamento a trazione dei compositi FRCM

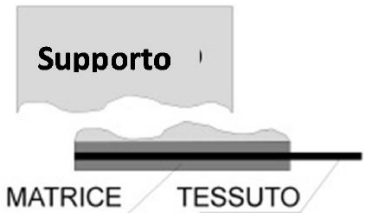
Il tipico legame costitutivo tensione - deformazione a trazione di un sistema FRCM è assimilabile ad una polilinea costituita da tre rami consecutivi: *Stadio A* (**non fessurato**); *Stadio B* (**fase di fessurazione**); *Stadio C* (**fessurato**).



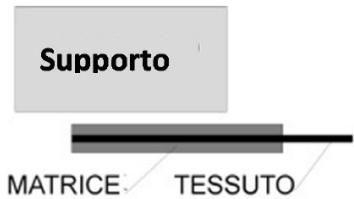
Tale legame non è sufficiente a caratterizzare il comportamento meccanico di un sistema FRCM, in quanto bisogna considerare i molteplici **meccanismi di crisi** che possono verificarsi in seguito all'interazione substrato-rinforzo.

Introduzione

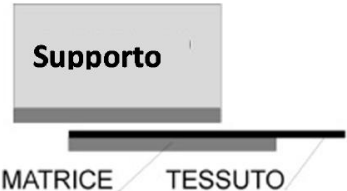
Meccanismi di crisi



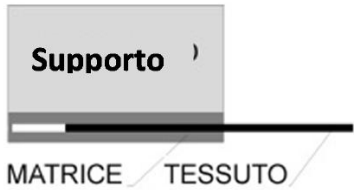
Distacco con rottura coesiva del supporto del sistema di rinforzo



Distacco all'interfaccia matrice-supporto



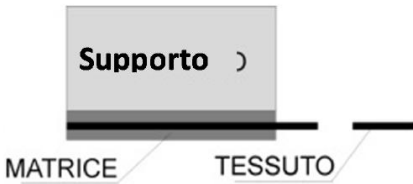
Distacco all'interfaccia matrice-tessuto/rete



Scorrimento del tessuto nella matrice



Scorrimento del tessuto e fessurazione dello strato di malta esterno



Rottura a trazione del tessuto/rete

La caratterizzazione meccanica degli FRCM, quindi, deve includere, oltre alla prova di trazione del sistema e del tessuto secco, anche **la prova di distacco dal supporto**, ed eventuali altre prove appropriate, in relazione alle caratteristiche specifiche del sistema.

Indice dei contenuti

☐ Introduzione

☐ **Quadro Normativo**

☐ Esempi di calcolo

☐ Applicazioni

Quadro Normativo

Panoramica

2018/2019 - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ([link](#) - [link](#))

Decreto 17/01/2018. Aggiornamento delle «*Norme tecniche per le costruzioni*».

Circolare 21/01/2019 (n.7 C.S.LL.PP.) Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”».

2019 - Consiglio Nazionale delle Ricerche ([link](#))

DT 215/2018: Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica

2019 - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale ([link](#))

Linea Guida per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di interventi di consolidamento strutturale mediante l'utilizzo di sistemi di rinforzo FRCM

2022 - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale ([link](#))

Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica(FRCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti

Quadro Normativo

NTC 2018 e Circolare esplicativa



N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

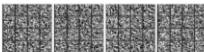


N. 5

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.



Capitolo 11

Materiali e prodotti ad uso strutturale

Le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (**NTC 2018**) prescrivono, al **§ 11.1**, che tutti i materiali e prodotti da costruzione, quando impiegati per uso strutturale, debbano essere **identificabili**, in possesso di specifica **qualificazione** all'uso previsto e debbano altresì essere oggetto di controllo in fase di **accettazione** da parte del Direttore dei lavori.

Quadro Normativo

NTC 2018 e Circolare esplicativa

A tal fine le norme predette prevedono che i materiali e i prodotti da costruzione per uso strutturale, quando non **marcati CE** ai sensi del Regolamento (UE) n.305/2011 sulla scorta di una norma armonizzata o di una **Valutazione Tecnica Europea** (ETA) ai sensi dell'art. 26 del Regolamento, debbano essere in possesso di un **Certificato di Valutazione Tecnica** rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili.

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Qualificazione ed accettazione FRCM



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

*Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di
accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica(FRCM)
da utilizzarsi per il consolidamento strutturale
di costruzioni esistenti*

Aggiornamento Febbraio 2022

1. *Scopo e campo di applicazione*
2. ***Caratteristiche del composito e dei relativi componenti***
3. ***Qualificazione del sistema***
4. *Procedura di qualificazione*
5. ***Procedure di accettazione in cantiere***
6. *Installazione*
7. *Riferimenti normativi*

Allegati: Prove di trazione; Prove di distacco dal supporto; Scheda tecnica tipo.

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Parametri caratterizzanti per FRCM

Tessuto

- $\sigma_{u,f}$ tensione ultima (*valore caratteristico*) per rottura per trazione;
- $\epsilon_{u,f}$ deformazione ultima a trazione (*valore medio*).
- E_f modulo elastico (*valore medio*);

Matrice/Malta

- $f_{c,mat}$ resistenza a compressione (*caratteristica o nominale*).

Spessore equivalente [mm]

$$t_{eq} = 1000 \cdot \frac{G}{g}$$

Grammatura dei soli **fili/trefoli** nella direzione della trama (ordito) [kg/m²]

Densità del materiale costitutivo della rete [kg/m³]

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Parametri caratterizzanti per FRCC

Composito FRCC

- $\sigma_{lim,conv}$ tensione limite convenzionale (*valore caratteristico*);
- $\epsilon_{lim,conv}$ deformazione limite convenzionale;

La $\sigma_{lim,conv}$ rappresenta la resistenza del sistema di rinforzo ricavata mediante **prove di distacco** da supporti convenzionali e come tale è dipendente dal tipo di supporto ed è pari a $\epsilon_{lim,conv} / E_f$.

- E_1 modulo di rigidezza a trazione (*valore medio*) nello stadio non fessurato;
- σ_u tensione ultima (*valore caratteristico*) per rottura a trazione;
- ϵ_u deformazione ultima (*valore medio*) per rottura a trazione.

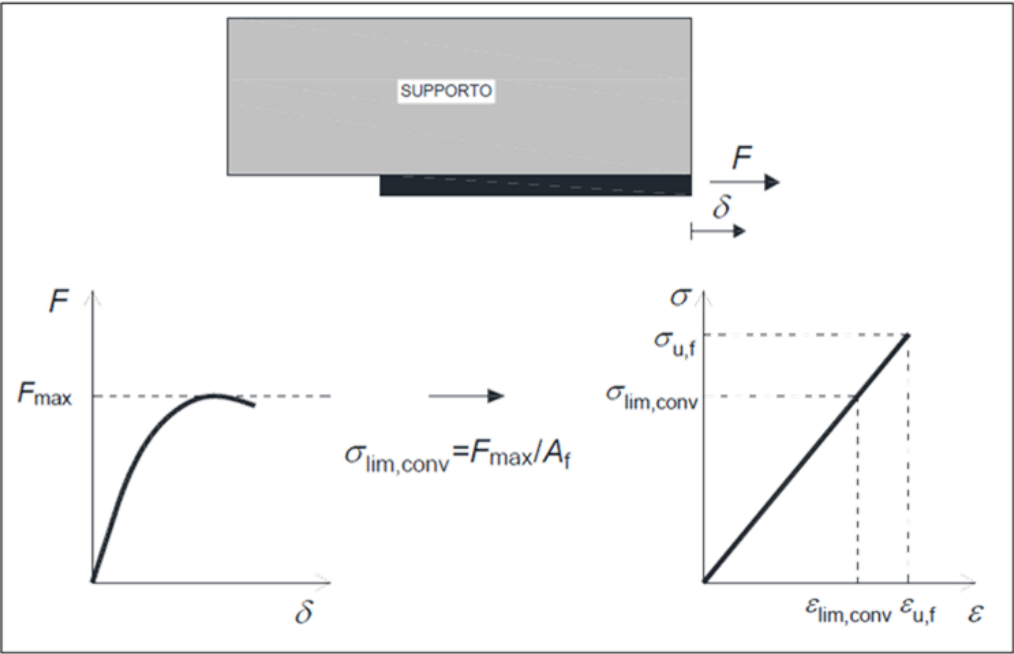
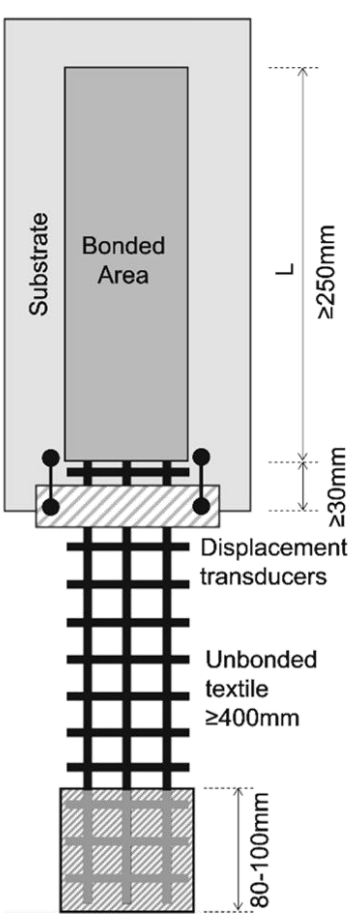
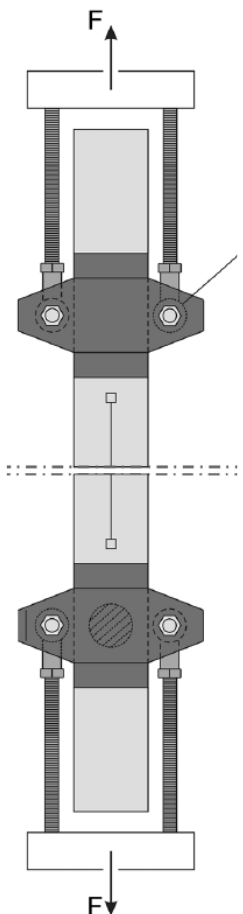
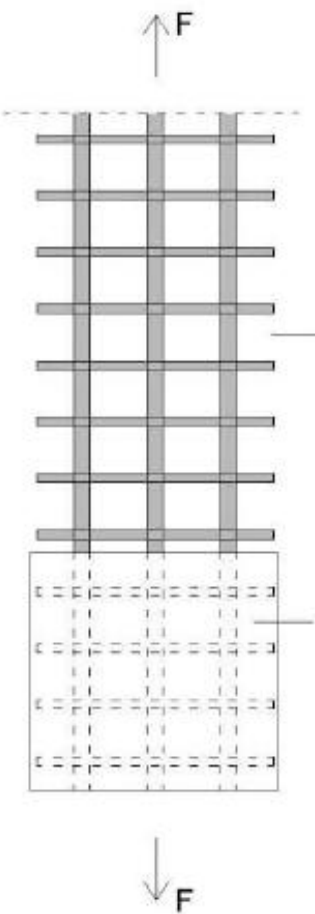


Figura 3- Determinazione della $\sigma_{lim,conv}$ e della $\epsilon_{lim,conv}$.

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Qualificazione del sistema FRCC

Tipo di prova	Numero di provini
Numero minimo di prove di tipo meccanico sul FRCC	
Prove di trazione su rete (tessuto)	9
Prove di trazione su provini di FRCC	9
Prove di trazione in presenza di sovrapposizione di reti	9
Numero minimo di prove di durabilità sul FRCC	
Provini non condizionati	5
Resistenza a cicli di gelo-disgelo	5
Resistenza all'umidità	2 x 5 = 10
Resistenza agli ambienti salini	2 x 5 = 10
Resistenza agli ambienti alcalini	2 x 5 = 10
Comportamento alle sollecitazioni termiche	5
Totale	72



Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Procedure di accettazione in cantiere

I **controlli** di accettazione in cantiere:

- sono **obbligatori** e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei lavori, previa acquisizione di copia del CVT relativo al prodotto fornito;
- devono essere eseguiti prima o contestualmente alla messa in opera del sistema di rinforzo dell'elemento strutturale da consolidare e su campioni confezionati, in condizioni standardizzate, nello stesso cantiere o, in alternativa, presso un Laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n. 380/2001, esplicitamente abilitato all'esecuzione delle prove di cui al presente capitolo. I campioni devono in ogni caso essere confezionati secondo la procedura prescritta dal Fabbricante, impiegando lo stesso personale del cantiere o, in alternativa, personale qualificato del laboratorio sotto la responsabilità del Fabbricante;
- I **campioni di composito FRCM** devono essere in numero di 6.

Sui campioni consegnati in laboratorio devono essere eseguite le **prove di trazione**, con determinazione del **valore medio della tensione ultima**. La prova si ritiene superata se: il valore medio della tensione ultima risulta non inferiore al valore caratteristico, come determinato nella fase di qualificazione del sistema *FRCM* di cui si effettua il controllo di accettazione, riportata sulla Scheda tecnica che accompagna il prodotto.

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Scheda tecnica tipo per sistemi FRCM

Caratteristiche del rinforzo interno

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
Nome commerciale rinforzo			
Tipo di rete			
Grammatura della rete in ordito	g/m ²		ISO 11667:1997
Grammatura della rete in trama	g/m ²		ISO 11667:1997
Spessore equivalente della rete di rinforzo in trama	mm		LG qualificazione FRCM
Spessore equivalente della rete di rinforzo in ordito	mm		LG qualificazione FRCM
Densità del materiale costituente la rete di rinforzo	g/cm ³		
Numero massimo di reti sovrapponibili	-		
Resistenza a trazione media	MPa		LG qualificazione FRCM
Resistenza a trazione caratteristica σ_{uf}	MPa		LG qualificazione FRCM
Modulo elastico medio E_f	GPa		LG qualificazione FRCM
Deformazione ultima media ($\epsilon_{uf} = \sigma_{uf} / E_f$)	%		LG qualificazione FRCM

Caratteristiche della matrice inorganica

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
Nome commerciale matrice			
Tipo di matrice			
Resistenza a compressione caratteristica	MPa		UNI EN 1015-11
Percentuale in peso delle componenti organiche	%		
Reazione al fuoco			EN 13501-1
Permeabilità al vapore acqueo			EN 1745

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Scheda tecnica tipo per sistemi FRCM

Caratteristiche dei connettori

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
Nome commerciale connettore			
Tipo di connettore			
Diametro nominale	mm		LG qualificazione CRM
Sezione nominale	mm ²		LG qualificazione CRM
Area resistente delle fibre	mm ²		LG qualificazione CRM
Peso specifico della fibra	g/cm ³		LG qualificazione CRM
Resistenza a trazione media	MPa		LG qualificazione CRM
Resistenza a trazione caratteristica	MPa		LG qualificazione CRM
Modulo elastico medio	GPa		LG qualificazione CRM
Deformazione ultima media	%		LG qualificazione CRM
Lunghezza di sovrapposizione dei connettori	mm		LG qualificazione CRM
Carico di crisi della giunzione per sovrapposizione dei connettori	kN		LG qualificazione CRM
Tipo di ancorante/ matrice di iniezione ed impregnazione			
Nome commerciale matrice di iniezione ed impregnazione			
Densità della matrice polimerica	g/cm ³		ISO 1183-1:2004(E)
Temperatura di transizione vetrosa della resina	°C		ISO 11537-2:2013
Temperatura limite di applicazione	°C		

Caratteristiche del sistema composito (per ogni diverso numero di reti e per ogni tipo di supporto convenzionale)

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di prova Normativa di riferimento
Nome commerciale sistema composito			
Tipo di supporto			LG qualificazione FRCM
Spessore nominale del sistema	mm		LG qualificazione FRCM
Intervallo temperature di esercizio	°C		LG qualificazione FRCM
Tensione limite convenzionale caratteristica $\sigma_{lim,conv}$	MPa		LG qualificazione FRCM
Deformazione limite convenzionale $\epsilon_{lim,conv}$	%		LG qualificazione FRCM
Modulo elastico medio del composito nello stadio A E_1	GPa		LG qualificazione FRCM
Tensione ultima caratteristica σ_u	MPa		LG qualificazione FRCM
Deformazione ultima media ϵ_u	%		LG qualificazione FRCM
Lunghezza minima di ancoraggio dei connettori	mm		LG qualificazione CRM
Forza di estrazione dei connettori media	kN		LG qualificazione CRM
Reazione al fuoco			EN 13501-1

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Progettazione



*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale*

Linea Guida per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di
interventi di consolidamento strutturale mediante l'utilizzo di sistemi di
rinforzo FRCM

Ottobre 2019

Premessa

- 1. Scopo e campo di applicazione*
- 2. Caratteristiche meccaniche del rinforzo*
- 3. Rinforzo di strutture murarie***
- 4. Rinforzo di strutture di calcestruzzo armato*
- 5. Dettagli costruttivi*
- 6. Manutenzione e riparazione*
- 7. Controllo*
- 8. Prove sperimentali su elementi strutturali*

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Progettazione: rinforzo di strutture murarie

Rinforzo di pareti sollecitate nel proprio piano {
✓ Capacità a taglio
✓ Capacità a pressoflessione

Rinforzo di pareti fuori del piano

Confinamento di colonne {
✓ Circolari
✓ Rettangolari

Strutture a semplice e doppia curvatura {
✓ Strutture a singola curvatura
✓ Volte a botte
✓ Strutture a doppia curvatura

Realizzazione di cordoli sommitali

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Progettazione: rinforzo di strutture murarie

La **capacità portante a taglio e a pressoflessione** di un maschio murario può essere incrementata applicando sulle superfici murarie il rinforzo con FRCM, che può prevedere la stesura del tessuto sia con continuità che per fasce



La fasciatura di elementi sottoposti a **compressione centrata** o in presenza di piccole eccentricità permette di aumentare la **duttilità** dell'elemento ed aumentarne la **capacità portante**.

Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Progettazione: rinforzo di strutture murarie

Volte ed archi murari possono essere rinforzati applicando gli FRCC sia al loro estradosso che all'intradosso. In entrambi i casi l'obiettivo è quello di **sopperire alla mancanza di resistenza a trazione** dell'apparecchio murario contrastando l'apertura di cerniere.



Quadro Normativo

Linea guida C.S.LL.PP. - Progettazione: rinforzo di strutture murarie

Per aumentare i moltiplicatori di collasso associati a cinematismi di ribaltamento di macroelementi murari è possibile realizzare una cordolatura esterna realizzata con fasce di tessuto che cingono l'edificio. Il tessuto FRCC è disposto in più strati allo scopo di fornire resistenza a trazione e a flessione del cordolo, senza variazione significativa della rigidezza della muratura.



Quadro Normativo

CNR-DT 215/2018

CNR – Commissione di studio per la predisposizione e l'analisi di norme tecniche relative alle costruzioni

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE DI STUDIO PER LA PREDISPOSIZIONE E L'ANALISI
DI NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI

Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica



CNR-DT 215/2018

ROMA – CNR 06.02.2019

1. *Premessa*
2. *Materiali FRCM per il rinforzo strutturale*
3. *Concetti basilari del progetto di rinforzo e problematiche speciali*
4. ***Rinforzo di strutture murarie***
5. *Rinforzo di strutture di calcestruzzo armato*
6. *Dettagli costruttivi*
7. *Manutenzione e riparazione*
8. *Controllo*
9. *Prove sperimentali su elementi strutturali*
10. *Riferimenti bibliografici*
11. *Esempi numerici*

Appendice 1: sul calcolo del momento resistente a pressoflessione nel piano

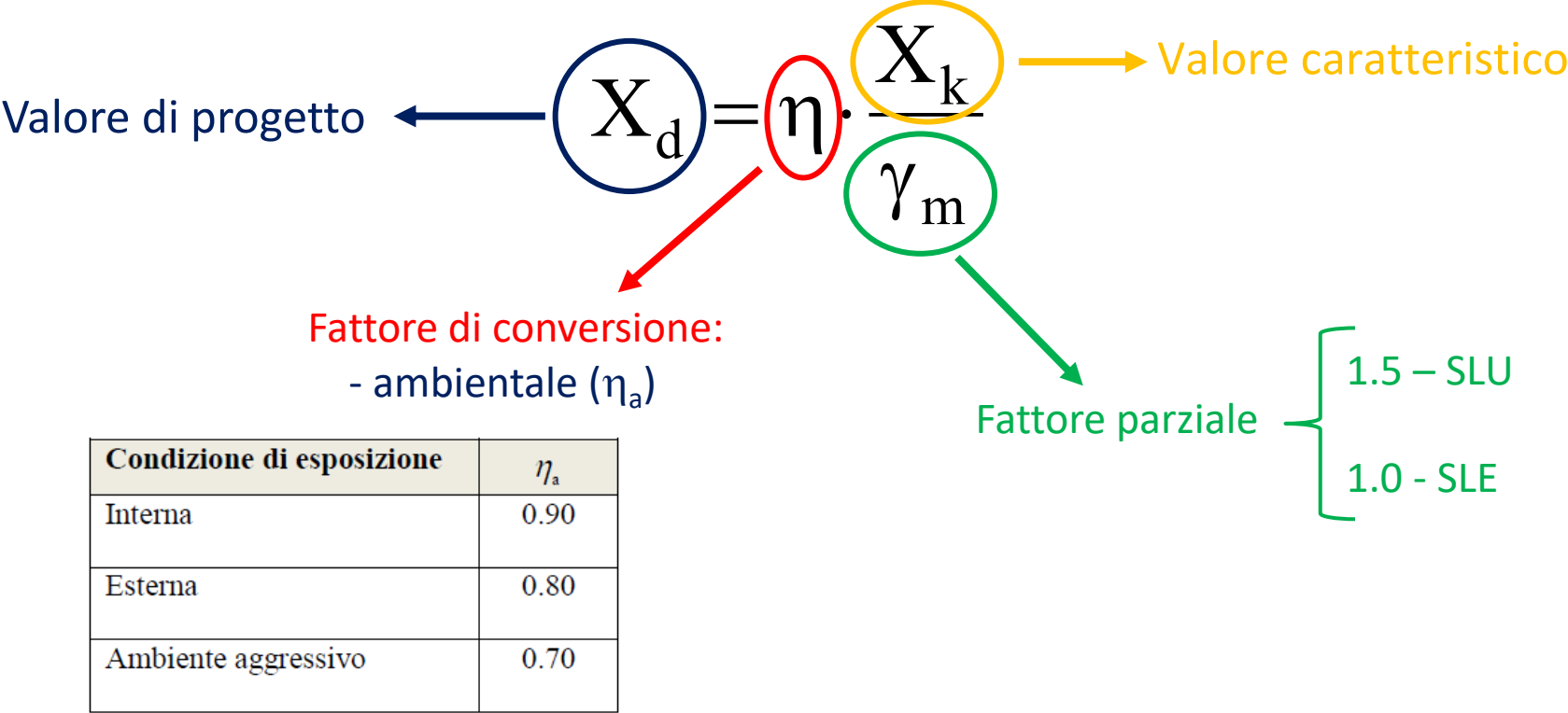
Appendice 2: sulla verifica della solidarietà tra rinforzo e struttura in caso di supporto curvo

Indice dei contenuti

- ❑ Introduzione
- ❑ Quadro Normativo
- ❑ Esempi di calcolo
- ❑ Applicazioni

Esempi di calcolo

Proprietà meccaniche: valori di progetto



Esempi di calcolo

Rinforzo di pareti sollecitate nel piano: Capacità a taglio

$$V_{t,R} = V_t + V_{t,f}$$

$$H \cdot t \cdot \frac{1.5\tau_{0d}}{p} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}}$$

NTC - Circolare n. 7 del 21/01/2019 - 8.7.1.16



$$\frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \underbrace{n_f \cdot t_{vf} \cdot l_f}_{\text{Area sezione equivalente del rinforzo efficace a taglio}} \cdot \alpha_t \cdot \epsilon_{fd} \cdot E_f$$

numero strati: n_f
spessore equivalente singolo strato: t_{vf}
dimensione di calcolo del rinforzo: l_f
 $\alpha_t = 0.80$
 $\gamma_{Rd} = 2.00$

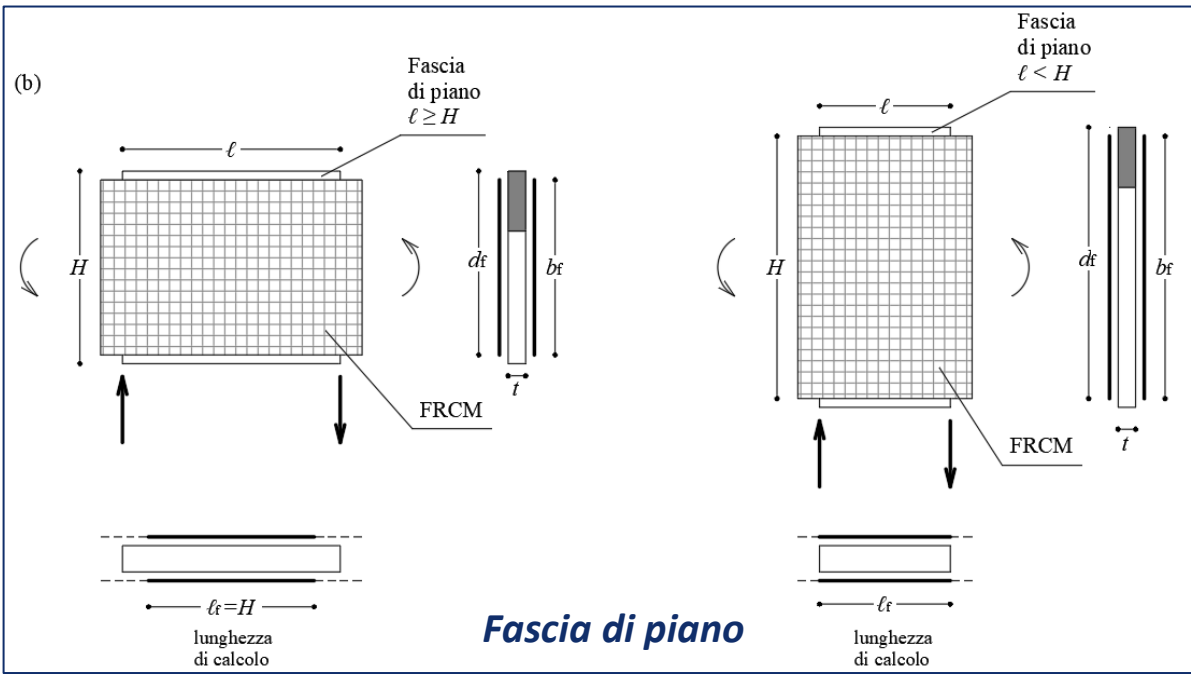
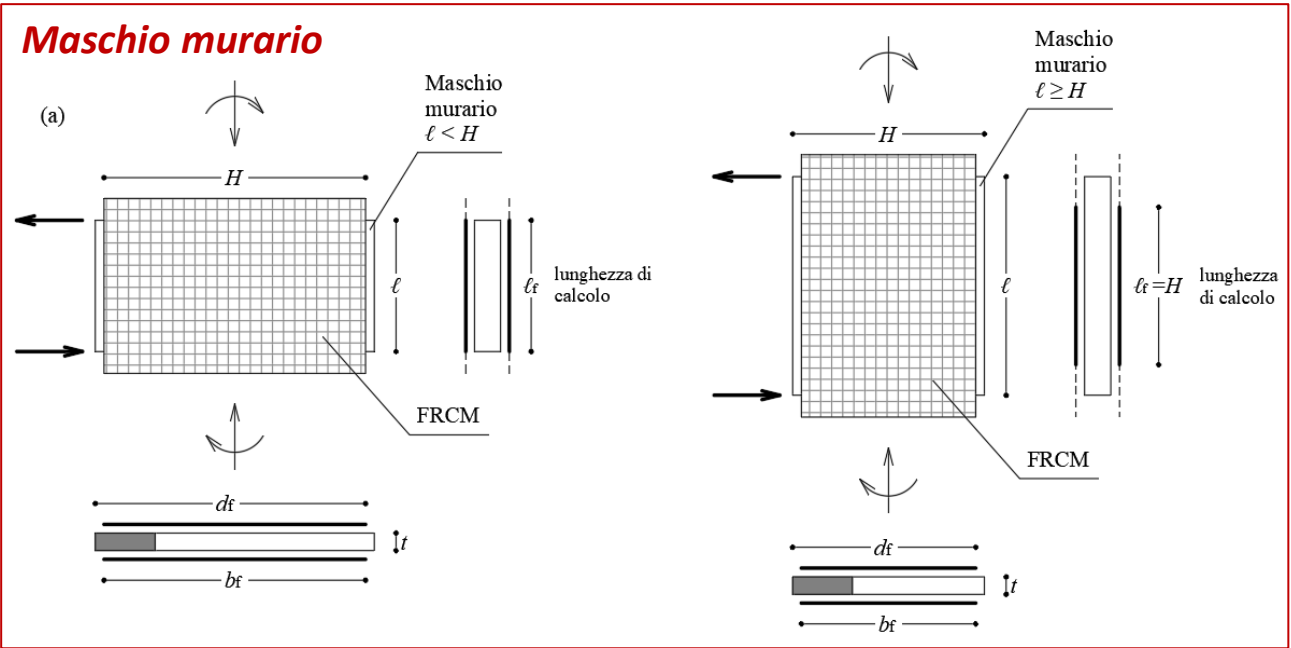
In presenza di fibre ortogonali alla direzione del taglio deve essere altresì verificato che il taglio agente non superi il valore di **schacciamento diagonale della muratura**

$$V_{t,c} = 0.25 \cdot f_{md} \cdot t \cdot d$$

Esempi di calcolo

Rinforzo di pareti sollecitate nel piano: Capacità a taglio

Maschio murario



Fascia di piano

Esempi di calcolo

Rinforzo di pareti sollecitate nel piano: Capacità a taglio

Muratura			
Tipologia muraria	Mattoni pieni		
Tipologia elemento	Maschio murario		
Esposizione	Esterna		
Resistenza a compressione	f_{md}	2.5	MPa
Spessore	t	250	mm
Altezza	l	2000	mm
Larghezza	H	1000	mm
Resistenza	τ_{0d}	0.05	MPa
Tensione verticale	σ_0	0.5	MPa
Coefficiente correttivo sforzi	p	1.5	
Capacità taglio non rinforzata	V_t	34.61	kN

Sistema FRCM			
Tipologia tessuto	Vetro		
Tensione limite	$\epsilon_{lim,conv} * E_f$	1000	MPa
Spessore rete	t_f	0.025	mm
Numero strati rinforzo	n_f	2	
Spessore equivalente singolo strato	t_{vf}	0.025	mm
Dimensione di calcolo del rinforzo	$l_f=H$	1000	mm
Fattore parziale (resistenza a taglio)	γ_{Rd}	2	
Fattore parziale (SLU)	γ_m	1.5	
Coefficiente per resistenza fibre a Taglio	α_T	0.8	
coefficiente amplificazione	α	1.5	
Fattore di esposizione	η_a	0.8	
	ϵ_{fd}	800 / E_f	
Contributo del rinforzo	$V_{t,f}$	16.00	kN



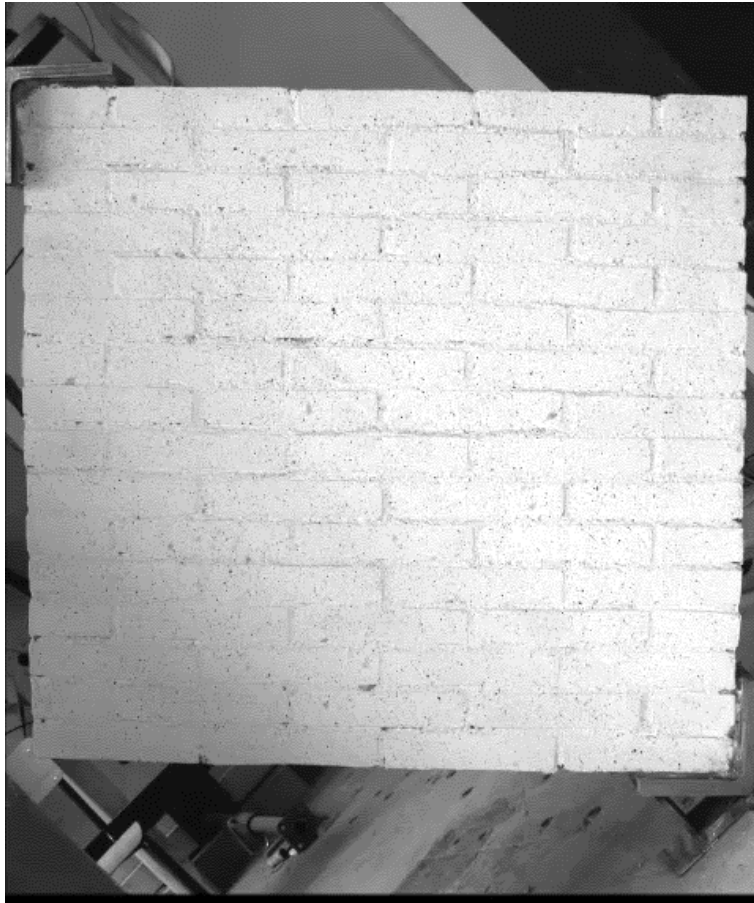
Esempi di calcolo

Rinforzo di pareti sollecitate nel piano: Capacità a taglio

Muratura				Sistema FRCM			
Tipologia muraria	Mattoni pieni			Tipologia tessuto	Vetro		
Tipologia elemento	Maschio murario			Tensione limite	$\epsilon_{lim,conv} * E_f$	1000	MPa
Spessore rete				Spessore rete	t_f	0.025	mm
Resistenza a taglio	Capacità a Taglio parete rinforzata				$V_{t,R}$	50.61 kN	
Altezza	Schiacciamento diagonale muratura				$V_{t,c}$	156.25 kN	
Larghezza	H	1000	mm	Coefficiente per resistenza fibre a Taglio	α_T	0.8	
Resistenza	τ_{0d}	0.05	MPa	coefficiente amplificazione	α	1.5	
Tensione verticale	σ_0	0.5	MPa	Fattore di esposizione	η_a	0.8	
Coefficiente correttivo sforzi	p	1.5			ϵ_{fd}	800 / E_f	
Capacità taglio non rinforzata	V_t	34.61	kN	Contributo del rinforzo	$V_{t,f}$	16.00	kN

Esempi di calcolo

Rinforzo di pareti sollecitate nel piano: Capacità a taglio





Esempi di calcolo

Confinamento di pilastri di muratura: verifica

Muratura				Sistema FRCM			
Tipologia muraria	Laterizio			Tipologia tessuto	Vetro		
Tipologia elemento	Colonna						
Esposizione	Interna						
Resistenza media a compressione	f_m	3.2	MPa	Modulo elastico longitudinale	E_f	95000	MPa
Fattore di confidenza (LC2)	FC	1.2		Raggio arrotondamento spigoli	r_c	30	mm
Resistenza di progetto a compressione	f_{md}	2.67	MPa	Spessore equivalente rete	t_f	0.03	mm
Densità muratura	g_m	1800	kg/m ³	Deformazione di rottura rete	ϵ_{uf}	0.0164	mm
Base sezione trasversale	b	250	mm	Fattore parziale (SLU)	γ_m	1.5	
Altezza sezione trasversale	h	250	mm	Fattore di esposizione (esterno)	η_a	0.8	
Area sezione trasversale	A_m	62500	mm ²	Spessore matrice	t_{mat}	10	mm
Diagonale sezione trasversale	D	354	mm	Resistenza a compressione matrice FRCM	$f_{c,mat}$	10	MPa
Altezza colonna	H	3000	mm				
Sforzo Normale progetto	N_{sd}	180	kN				
Valore progetto resistenza - non rinforzata	$N_{Rm,d}$	166.67	kN	Numero strati FRCM	n_f	1	

Esempi di calcolo

Confinamento di pilastri di muratura: verifica

Calcolo pressione efficace di confinamento			
Percentuale geometrica di matrice FRCM	ρ_{mat}	0.113	
Coefficiente di efficacia orizzontale	k_H	0.615	mm
Coefficiente di efficacia della matrice FRCM	k_{mat}	0.326	mm
Deformazione di calcolo del composito FRCM	$\epsilon_{ud,rid}$	0.00285	mm
Pressione di confinamento	f_1	0.0459	MPa
Pressione efficace di confinamento	$f_{1,eff}$	0.02825	MPa

Calcolo resistenza a compressione della muratura confinata			
Coefficiente di incremento di resistenza	k'	1.8	
Resistenza di progetto della colonna confinata	f_{mcd}	3.161	mm

Calcolo sforzo normale resistente della muratura confinata			
	$N_{Rmc,d}$	197.5	kN

$$\rho_{mat} = \frac{4 \cdot n_f \cdot t_{mat}}{D}$$

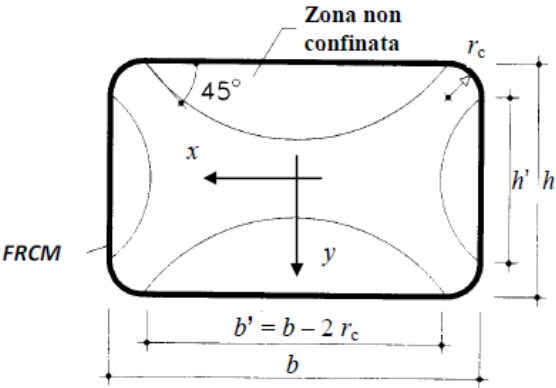
$$k_H = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3 \cdot A_m}$$

$$k_{mat} = \alpha_{4(=1.81)} \left(\rho_{mat} \cdot \frac{f_{c,mat}}{f_{md}} \right)^2 \leq 1$$

$$\epsilon_{ud,rid} = \min \left(k_{mat} \cdot \eta_a \cdot \frac{\epsilon_{uf}}{\gamma_m}; 0.004 \right)$$

$$f_1 = \frac{2 \cdot n_f \cdot t_f \cdot E_f \cdot \epsilon_{ud,rid}}{D}$$

$$f_{1,eff} = k_H \cdot f_1$$



$$k' = \alpha_{2(=1)} \cdot \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{\alpha_{3(=1)}}$$

$$f_{mcd} = f_{md} \cdot \left[1 + k' \cdot \left(\frac{f_{1,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_{1(=1)}} \right]$$

$$N_{S,d} \leq N_{Rcm,d} = A_m \cdot f_{mcd} (\geq A_m \cdot f_{md})$$

Esempi di calcolo

Confinamento di pilastri di muratura: progetto FRCM

Muratura				Sistema FRCM			
Tipologia muraria	Pietra naturale			Tipologia tessuto	Basalto		
Tipologia elemento	Colonna circolare			Modulo elastico longitudinale	E_f	85000	MPa
Esposizione	Interna			Spessore equivalente rete	t_f	0.089	mm
Resistenza media a compressione	f_m	5	MPa	Deformazione di rottura rete	ϵ_{uf}	0.02	mm
Fattore di confidenza (LC2)	FC	1.2		Fattore parziale (SLU)	γ_m	1.5	
Resistenza di progetto a compressione	f_{md}	4.17	MPa	Fattore di esposizione (esterno)	η_a	0.8	
Densità muratura	g_m	1700	kg/m ³	Resistenza a compressione matrice FRCM	$f_{c,mat}$	13	MPa
Diametro colonna	D	400	mm	Numero strati FRCM	n_f	1	
Area sezione trasversale	A_m	125664	mm ²	Progetto dello spessore			
Altezza colonna	H	3000	mm	Coefficiente di efficacia della matrice FRCM	$k_{mat,min}$	0.375	
Sforzo Normale progetto	N_{sd}	180	kN	Percentuale geometrica di matrice FRCM	$\rho_{mat,min}$	0.146	
Valore progetto resistenza - non rinforzata	$N_{Rm,d}$	523.60	kN	Spessore minimo della matrice FRCM	$t_{mat,min}$	14.6	mm
Incremento resistenza richiesta	in	30	%	Spessore di progetto della matrice FRCM	t_{mat}	15.0	mm
Target di progetto	$N_{Rmc,d}$	680.68	kN				

Esempi di calcolo

Confinamento di pilastri di muratura: progetto FRCM

Muratura			
Tipologia muraria	Pietra naturale		
Tipologia elemento	Colonna circolare		
Esposizione	Interna		
Resistenza media a compressione	f_m	5	MPa
Fattore di confidenza (LC2)	FC	1.2	
Resistenza di progetto a compressione	f_{md}	4.17	MPa
Densità muratura	g_m	1700	kg/m ³
Diametro colonna	D	400	mm
Area sezione trasversale	A_m	125664	mm ²
Altezza colonna	H	3000	mm
Sforzo Normale progetto	N_{sd}	180	kN
Valore progetto resistenza - non rinforzata	$N_{Rm,d}$	523.60	kN
Incremento resistenza richiesta	in	30	%
Target di progetto	$N_{Rmc,d}$	680.68	kN

Calcolo pressione efficace di confinamento			
Coefficiente di efficacia orizzontale	k_H	1.0	
Percentuale geometrica di matrice FRCM	ρ_{mat}	0.150	
Coefficiente di efficacia della matrice FRCM	k_{mat}	0.396	mm
Deformazione di calcolo del composito FRCM	$\epsilon_{ud,rid}$	0.004	mm
Pressione di confinamento	f_1	0.151	MPa
Pressione efficace di confinamento	$f_{1,eff}$	0.151	MPa
Calcolo resistenza a compressione della muratura confinata			
Coefficiente di incremento di resistenza	k'	1.7	
Resistenza di progetto della colonna confinata	f_{mcd}	5.52	MPa
Calcolo sforzo normale resistente della muratura confinata			
	$N_{Rmc,d}$	693.2	kN

Indice dei contenuti

- ☐ Introduzione
- ☐ Quadro Normativo
- ☐ Esempi di calcolo
- ☒ **Applicazioni**

Applicazioni

Interventi di sicurezza sismica



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO DELLA CULTURA



Diocesi: **Nocera Inferiore** – Sarno Comune: **Nocera Inferiore** Provincia: **SA** Data: **Gennaio 2026**

Progetto Esecutivo
Interventi di sicurezza sismica Basilica cattedrale di San Prisco,
parrocchia San Prisco, Nocera Inferiore (SA)
CUP F36J24000120006 – CIG B7EACBED10

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
MISSIONE 1 – DIGITALIZZAZIONE, INNOVAZIONE, COMPETITIVITÀ E CULTURA, COMPONENTE 3 – TURISMO E CULTURA 4.0 (M1C3), MISURA 2
“RIGENERAZIONE DI PICCOLI SITI CULTURALI, PATRIMONIO CULTURALE, RELIGIOSO E RURALE, INVESTIMENTO 2.4: “SICUREZZA SISMICA NEI
LUOGHI DI CULTO, RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE DEL FEC E SITI DI RICOVERO PER LE OPERE D’ARTE (RECOVERY ART)” –
LINEA D’AZIONE N. 1 “SICUREZZA SISMICA NEI LUOGHI DI CULTO, TORRI/CAMPANILI”

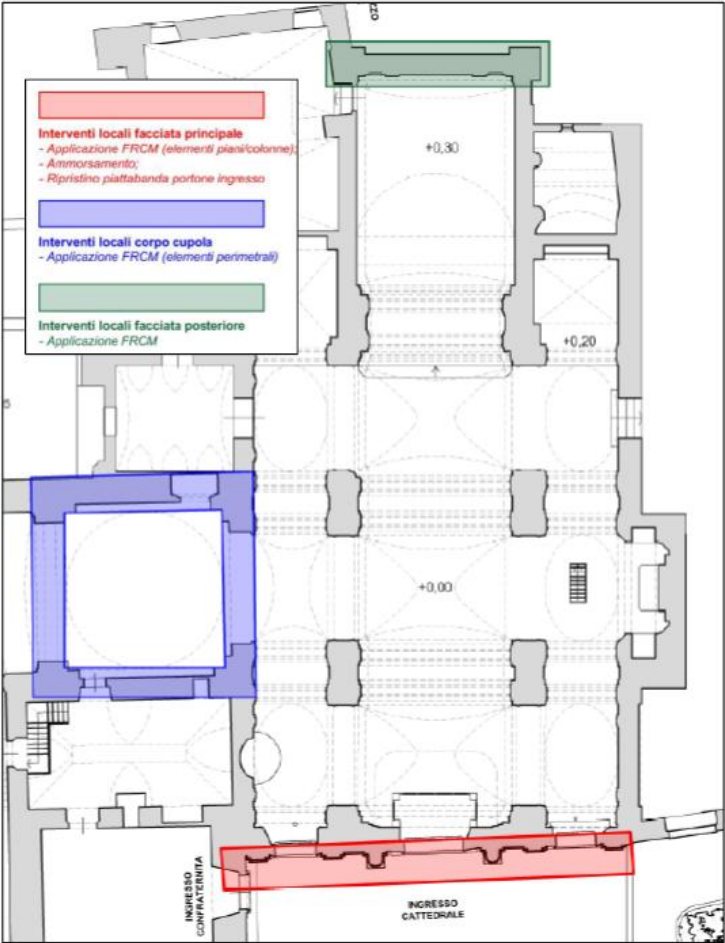


Figura 2. Identificazione interventi locali previsti in progetto - PLANIMETRIA

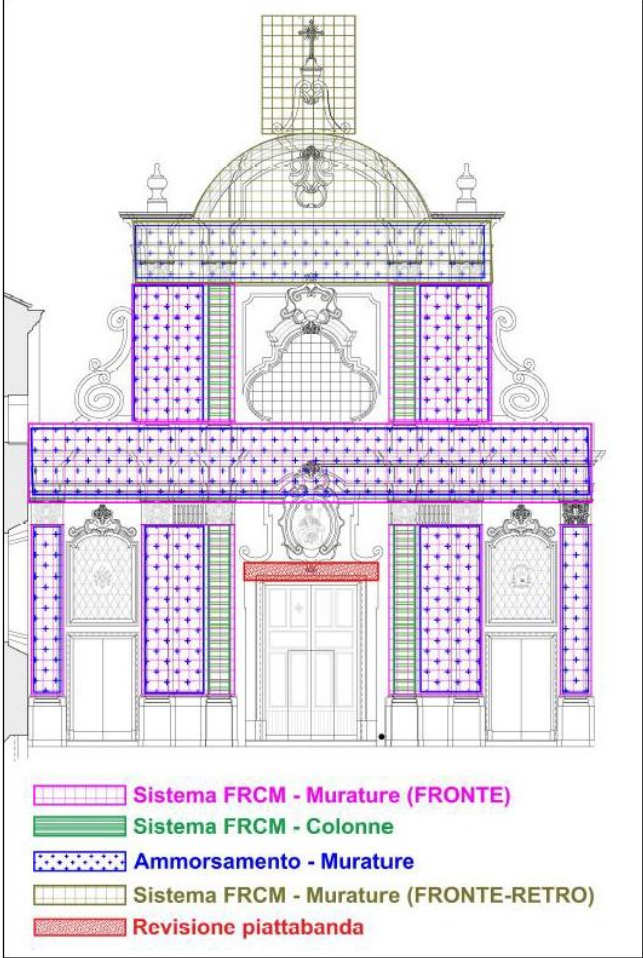


Figura 3. Identificazione interventi locali previsti in progetto - FACCIATA ANTERIORE

Applicazioni

Interventi di sicurezza sismica

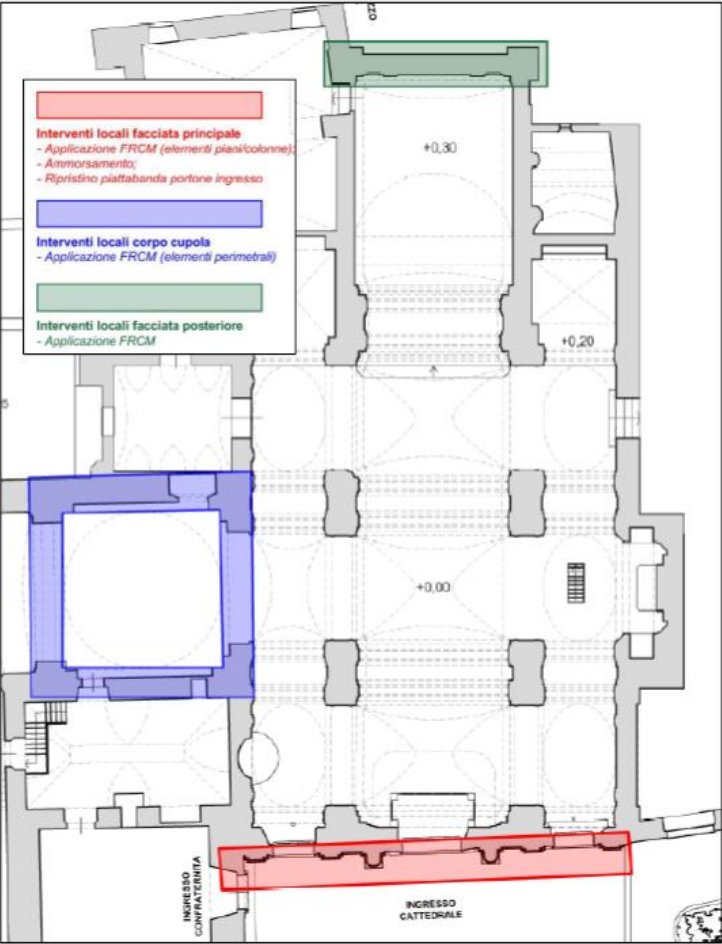
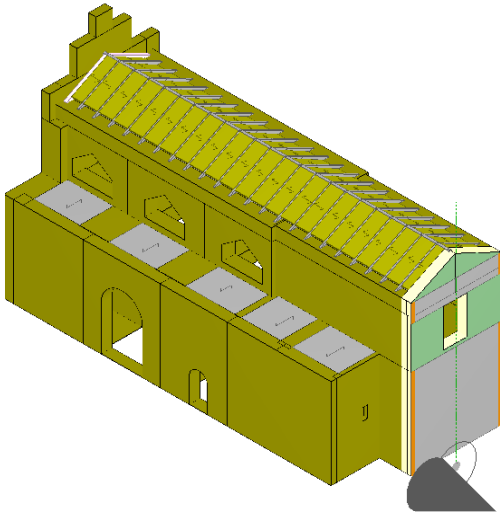
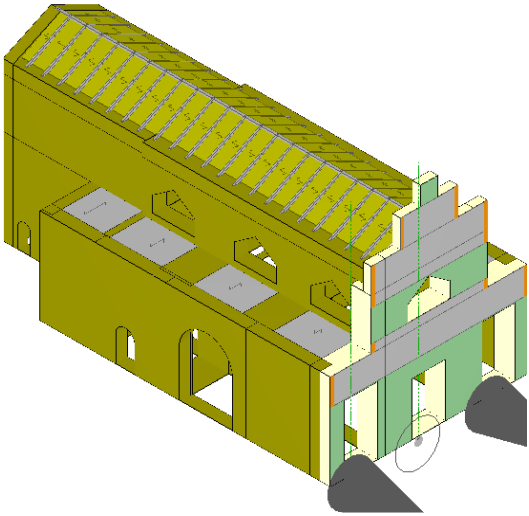


Figura 2. Identificazione interventi locali previsti in progetto - PLANIMETRIA

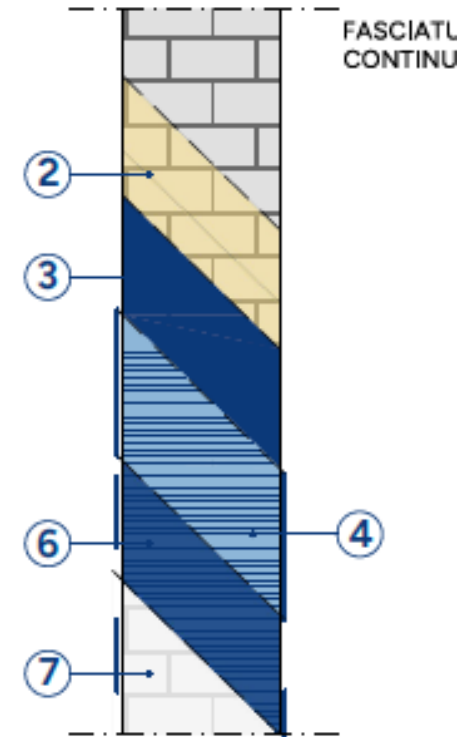


Indicatori di sicurezza -Rapporto fra le accelerazioni - analisi locale

Elementi oggetto di intervento	Obiettivi dell'intervento sul singolo elemento*	Stato limite di salvaguardia della vita	
		ante operam $\xi_{SLV,A}$	post operam $\xi_{SLV,P}$
Facciata ant./timpano (cinematismo ribaltamento)	L	0.35	4.81
Colonnato facciata ant.	L	0.00	1.22
Corpo cupola (cinematismo ribaltamento)	L	0.62	1.65
Facciata posteriore	L	0.51	0.79

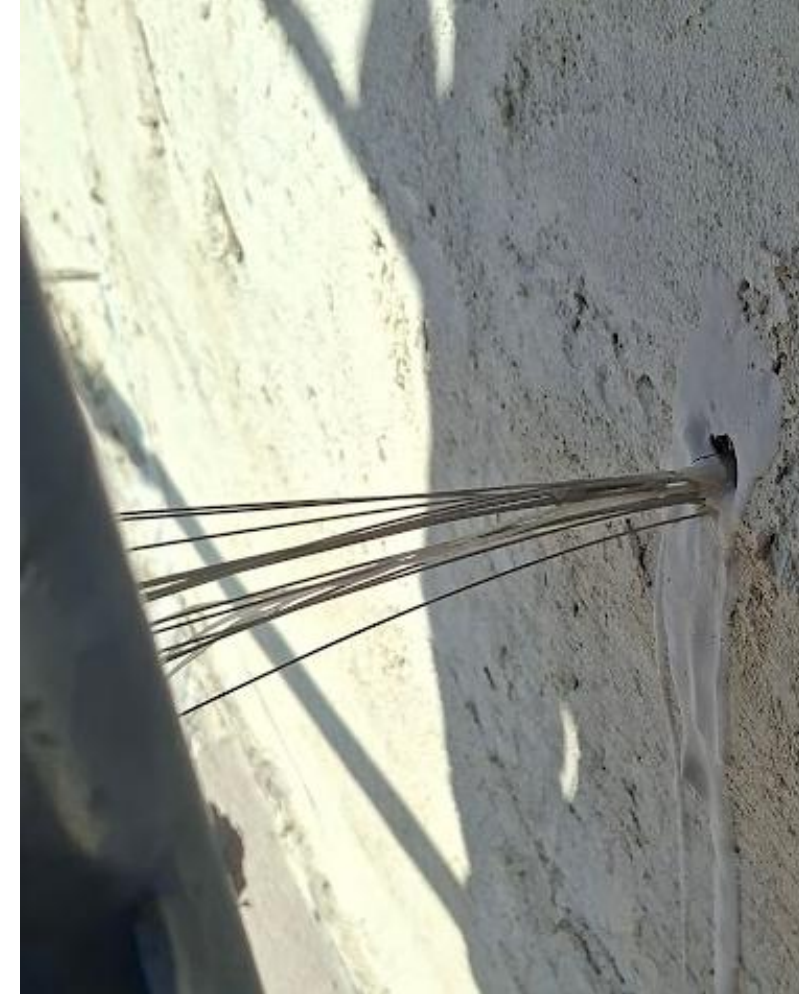
Applicazioni

Interventi di sicurezza sismica



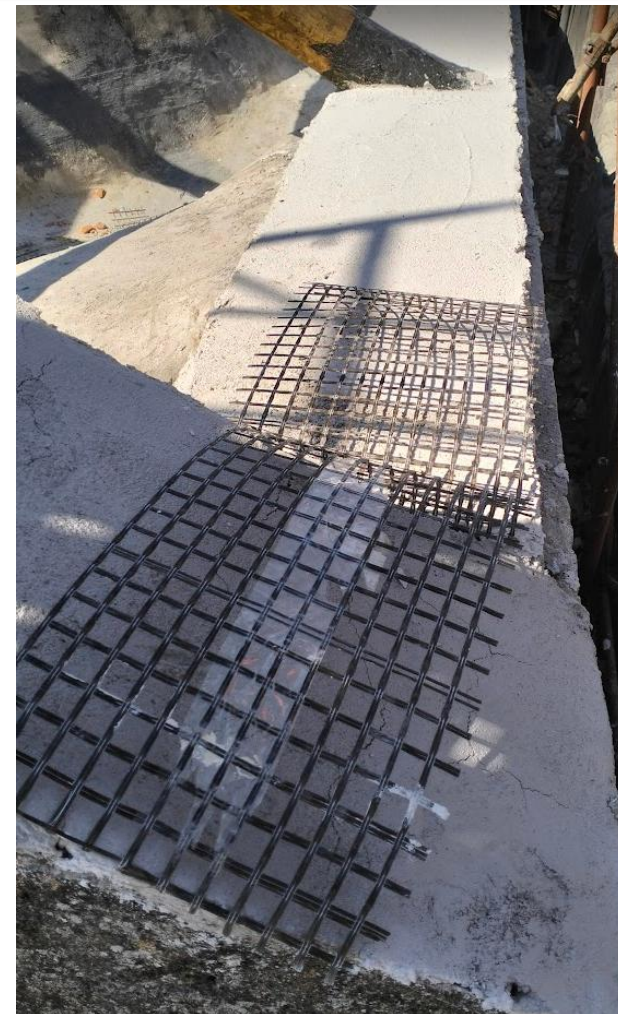
Applicazioni

Interventi di sicurezza sismica



Applicazioni

Interventi locali – cordoli in muratura



Applicazioni

Interventi locali – cordoli in muratura



Thanks for your attention