



SAIE 2021

7 – 9 Ottobre, 2021, Bari, Italia



Ordine degli Architetti,
Pianificatori, Paesaggisti e
Conservatori della Provincia di Bari

Col patrocinio di



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO
L'Università dei due mari



ORDINE
INGEGNERI della PROVINCIA
BARLETTA
ANDRIA
TRANI

In collaborazione con



Media Partner



Le nuove normative e Linee Guida Ministeriali per i materiali compositi innovativi FRP-FRCM-

CRM Criteri di intervento per un corretto impiego nel rinforzo strutturale ed antisismico.

Il SuperSismaBonus.

Saie Bari

Centro Congressi - Sala 8

Venerdì 8 ottobre 2021

Ore 09.30-13.00

Il quadro normativo nazionale e le linee guida di progettazione dei materiali compositi **FRP-FRCM-CRM** a matrice organica ed inorganica

Prof.ssa Maria Antonietta AIELLO

Università del Salento
Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione
antonietta.aiello@unisalento.it



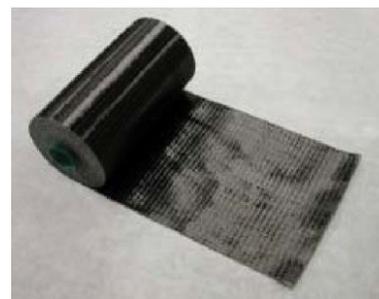
**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**
L'Ateneo tra i due mari

INTERVENTI CON MATERIALI INNOVATIVI – NTC 2018

8.6. MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al Capitolo 12.

MATERIALI INNOVATIVI REALIZZATI CON FIBRE LUNGHE AD ALTE PRESTAZIONI PER IL RINFORZO DI COSTRUZIONI ESISTENTI



CAPITOLO 12.

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

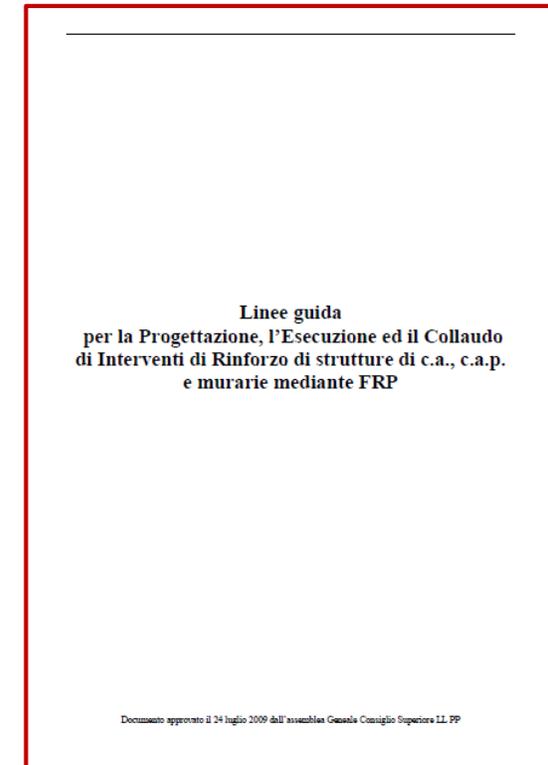
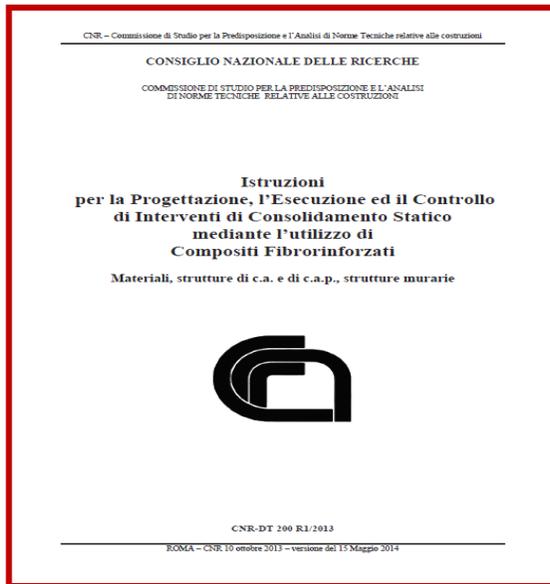
Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopra elencati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predispone e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme tecniche per le costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoga procedura sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma.

RIFERIMENTI NORMATIVI PER LA PROGETTAZIONE

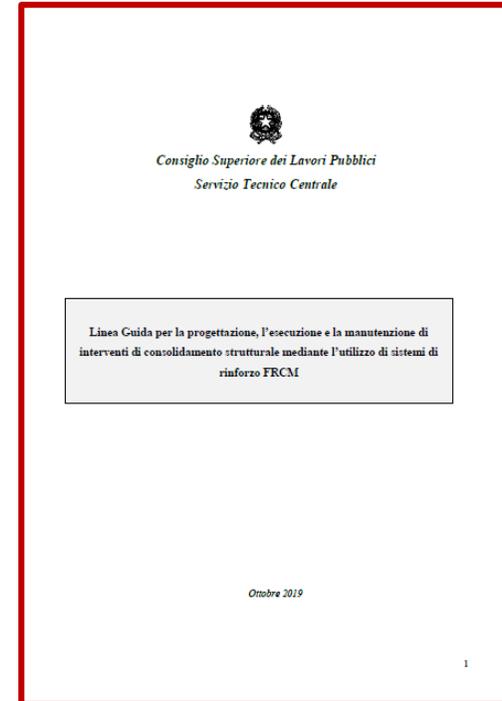
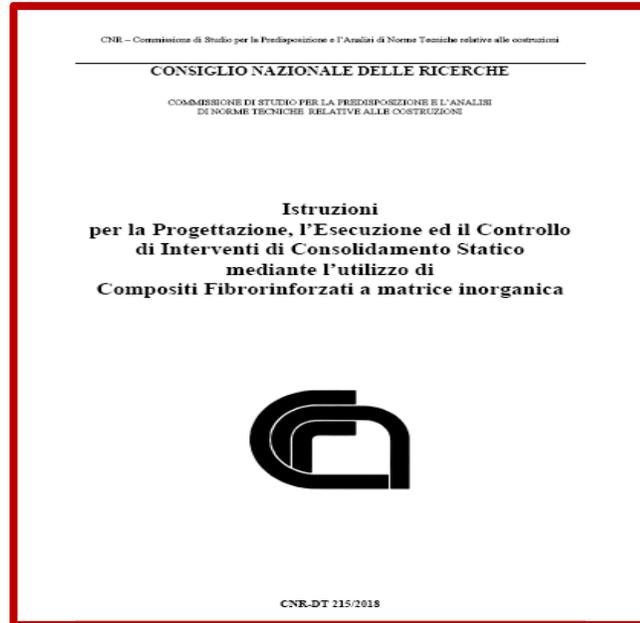
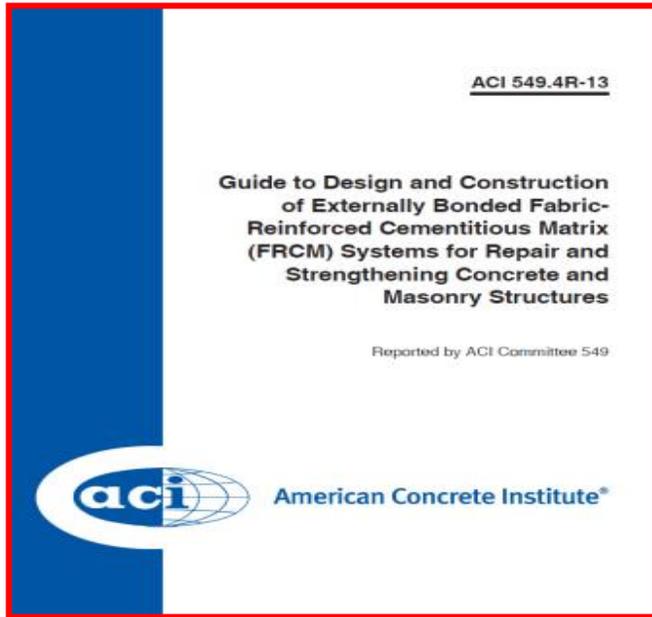
F.R.P. = Fiber reinforced Polymer

DISPONIBILI LINEE GUIDA NAZIONALI ED INTERNAZIONALI



RIFERIMENTI NORMATIVI PER LA PROGETTAZIONE

F.R.C.M. = Fabric Reinforced Cementitious Mortar



ACI 549 – RILEM TC 250 Liaison Subcommittee

QUALE TIPO DI INTERVENTO?

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.

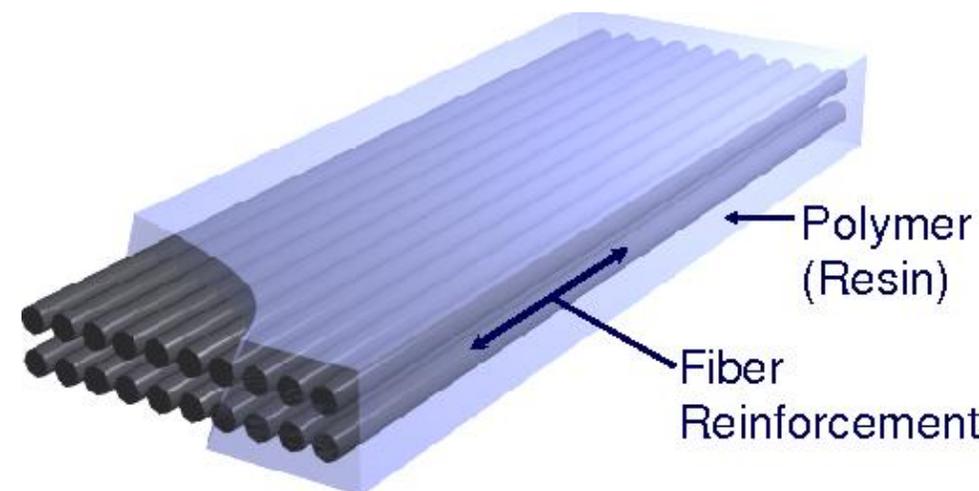
**ADEGUAMENTO
GLOBALE**

**MIGLIORAMENTO
GLOBALE**

**RIPARAZIONE
LOCALE**

Fiber Reinforced Polymer (FRP)

- ***Elevata Resistenza e Rigidezza***
- ***Incrementi di Massa strutturale trascurabili***
- ***Resistenza alla corrosione elettrochimica***
- ***Facilità di trasporto ed installazione, senza interruzione di servizio***
- ***Conservazione della geometria originaria dell'elemento rinforzato***



FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Mortar)

Il concetto non è competamente nuovo....



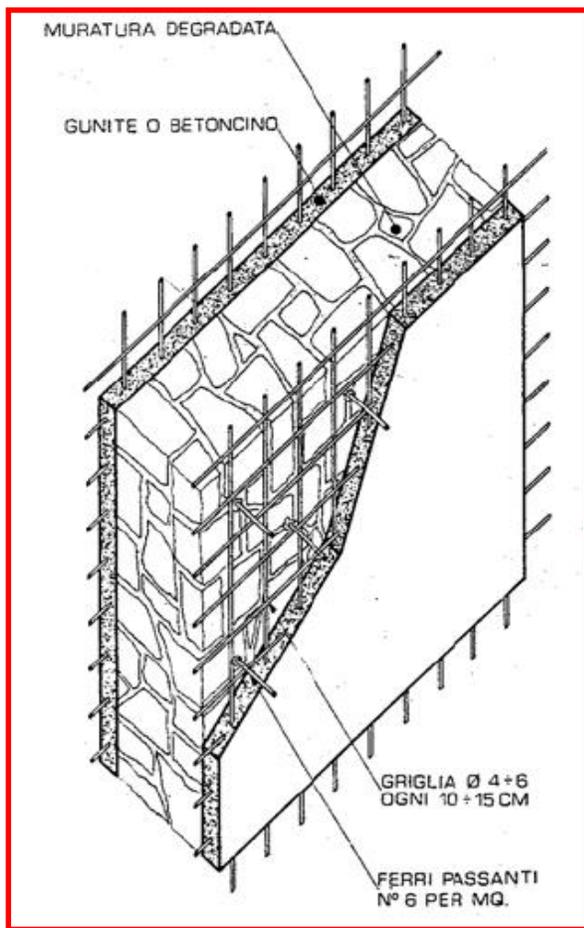
Nicaragua '*taquezal*' :
Una muratura realizzata con fibre di
pannocchie a "doppia orditura"



...o El Salvador '*bahareque*' :
una maglia di bambù impregnata con una
miscela di fango, letame e paglia.



CRM (Composites Reinforced Mortar)



KEEP
CALM
IT'S
NOTHING
NEW

I SISTEMI A MATRICE ORGANICA: VANTAGGI

- Elevata Compatibilità con il substrato
- Traspirabilità
- Applicabilità in condizioni di umidità e temperature usuali
- Maggiore resistenza alla temperatura
- Più simili alle tecniche tradizionali
- Più facili da rimuovere



I SISTEMI A MATRICE ORGANICA: SVANTAGGI

- Proprietà meccaniche, in alcuni casi, inferiori
- Conoscenza meno consolidata

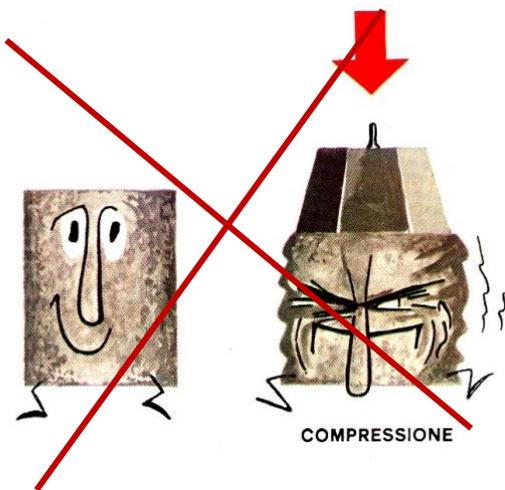


PROPRIETA' MECCANICHE

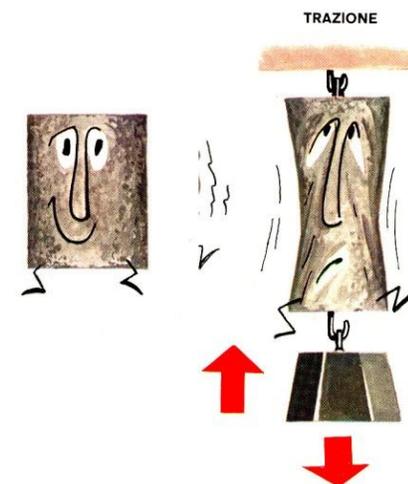
HOW
DOES IT
WORK

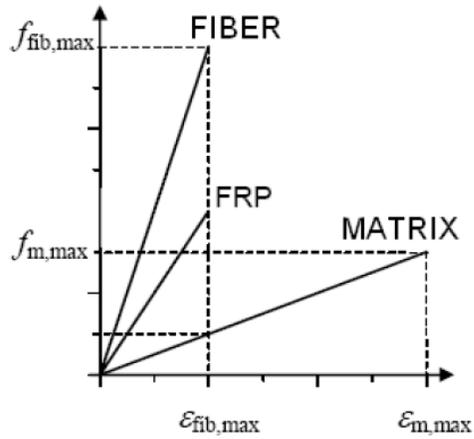


I materiali compositi sono utilizzati per far fronte a tensioni di trazione

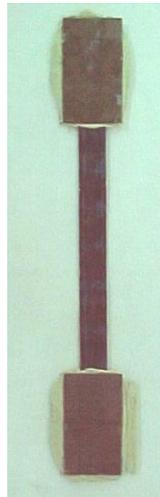
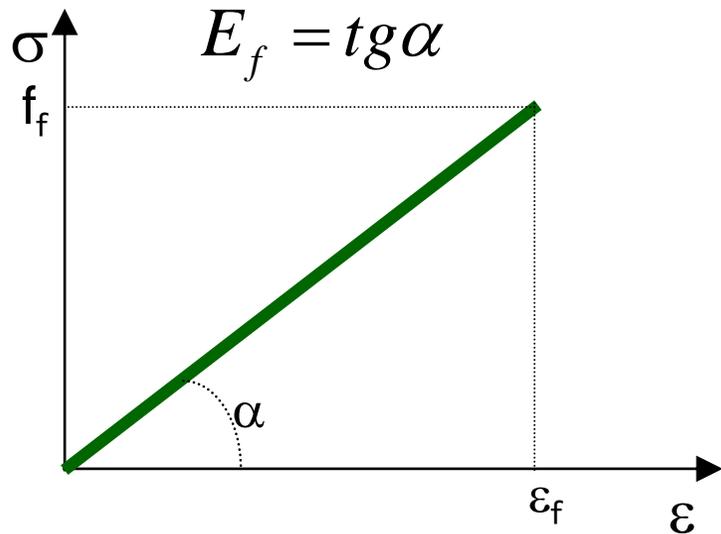
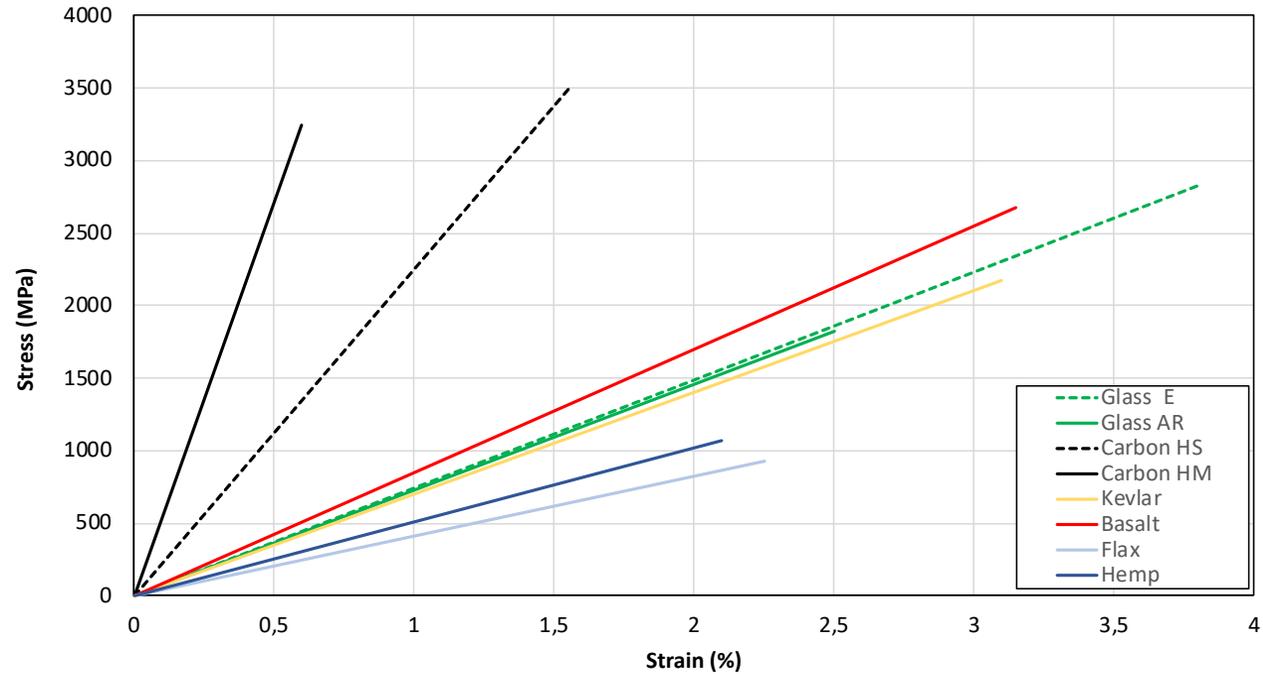


**COMPORAMENTO A BREVE TERMINE
COMPORAMENTO A LUNGO TERMINE**



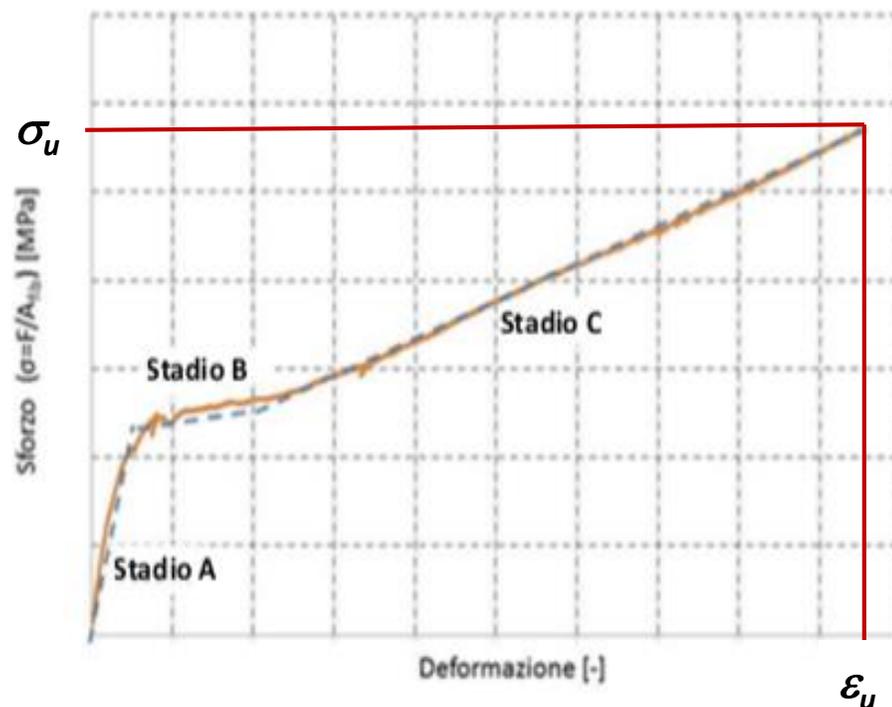


FRP



LEGAME COSTITUTIVO DEL MATERIALE FRCM

- Modulo Elastico del primo tratto (stadio A), E_1 (Valore Medio)
- Tensione Ultima σ_u (Valore Caratteristico)
- Deformazione Ultima ϵ_u

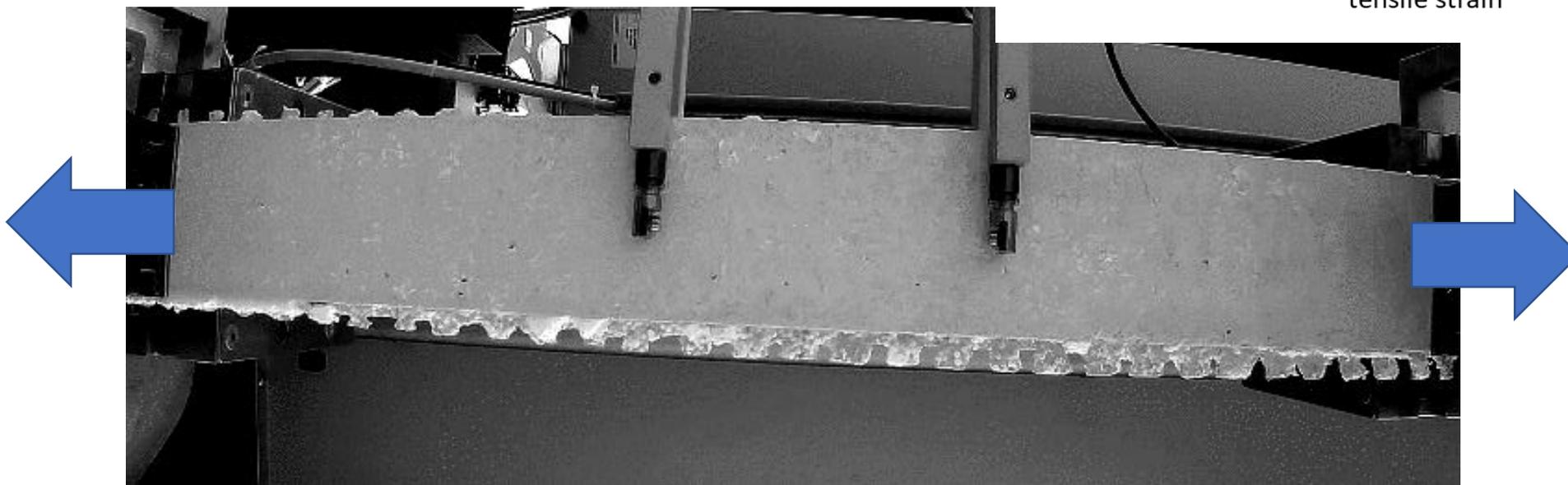
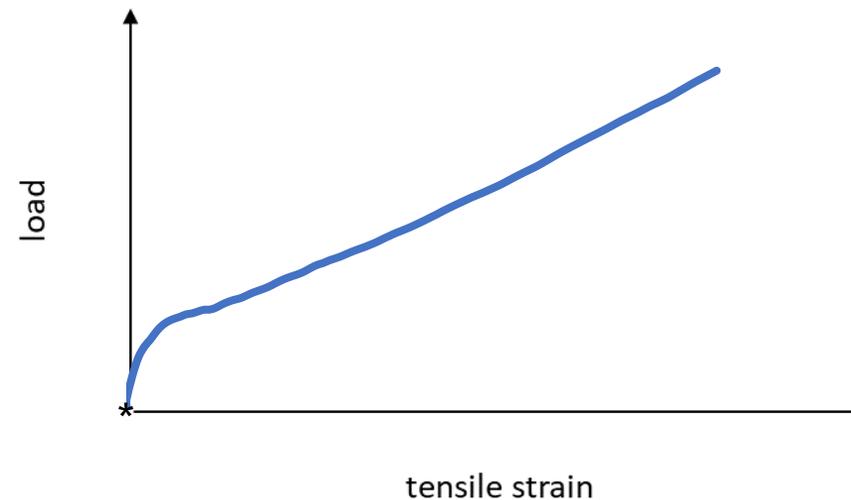


RILEM TC 250-CSM
Composites for the Sustainable
Strengthening of Masonry

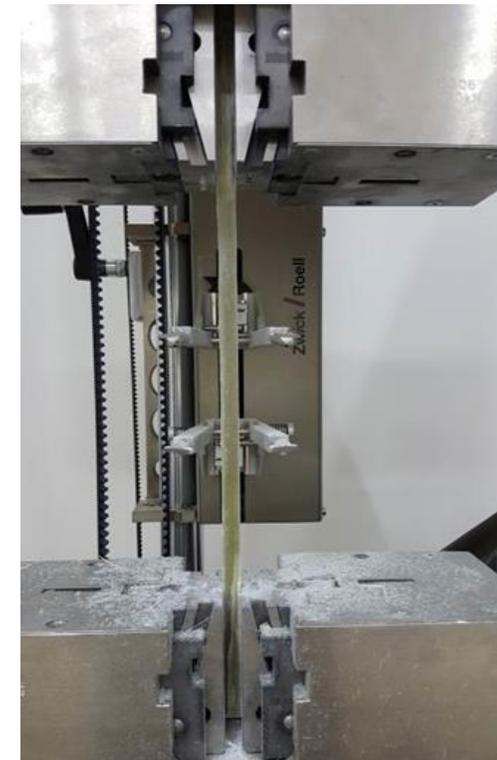
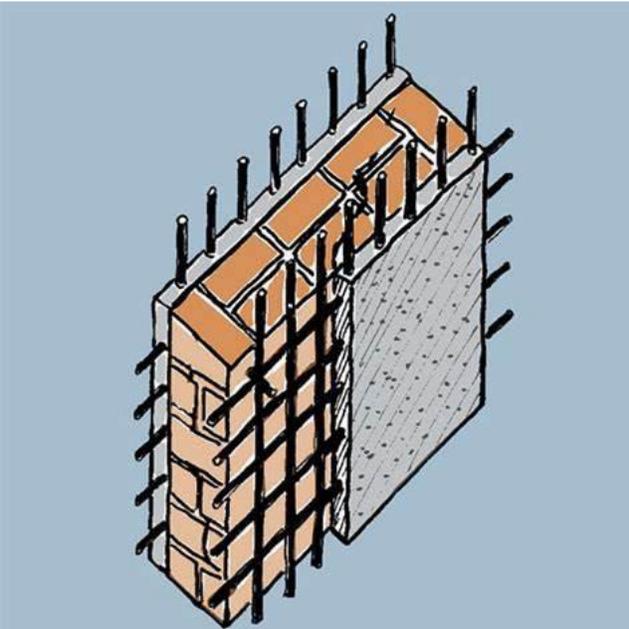


Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)

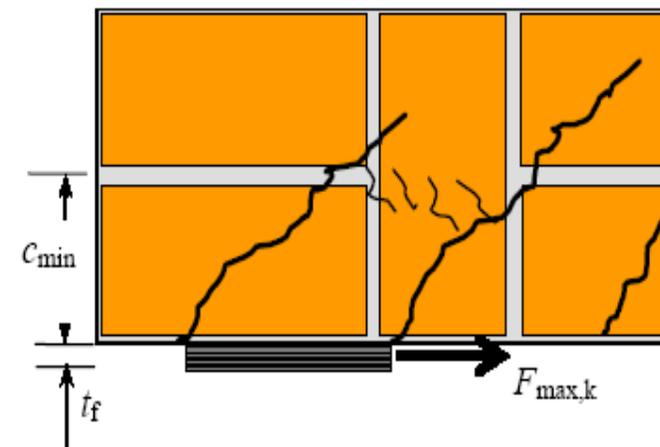
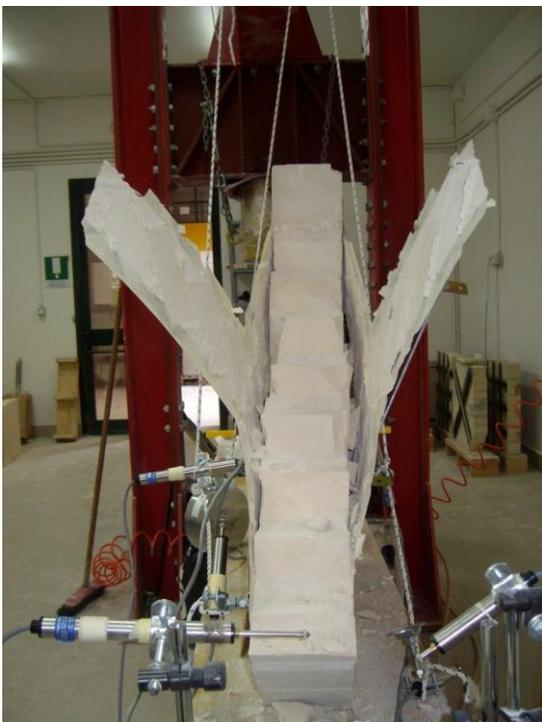
FRCM tensile direct test:



CRM (Composite Reinforced Mortar)

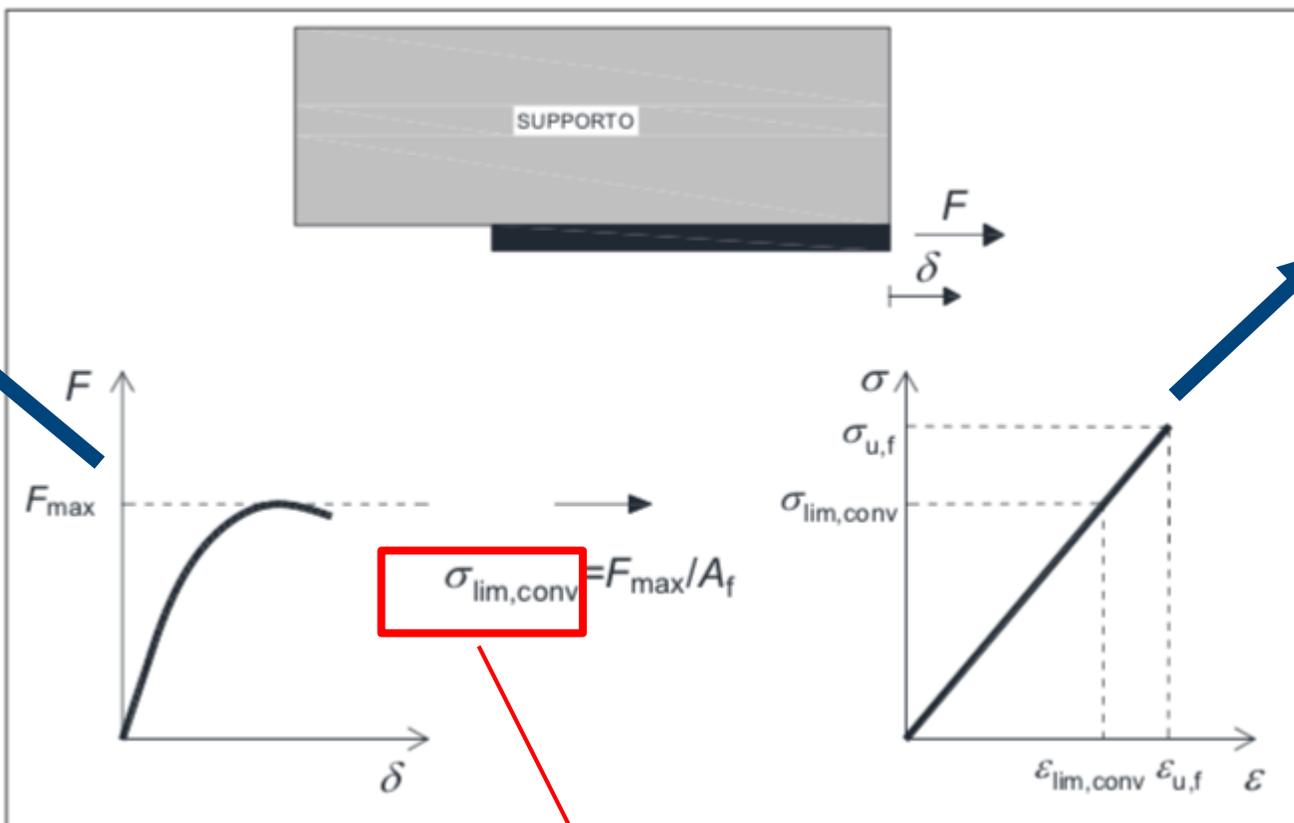


RESISTENZA ALLA DELAMINAZIONE -FRP



La resistenza alla delaminazione è determinata mediante relazioni analitiche definite sulla base di ampia ricerca teorico-sperimentale (CNR DT 200 R1/2013)

LA TENSIONE LIMITE CONVENZIONALE



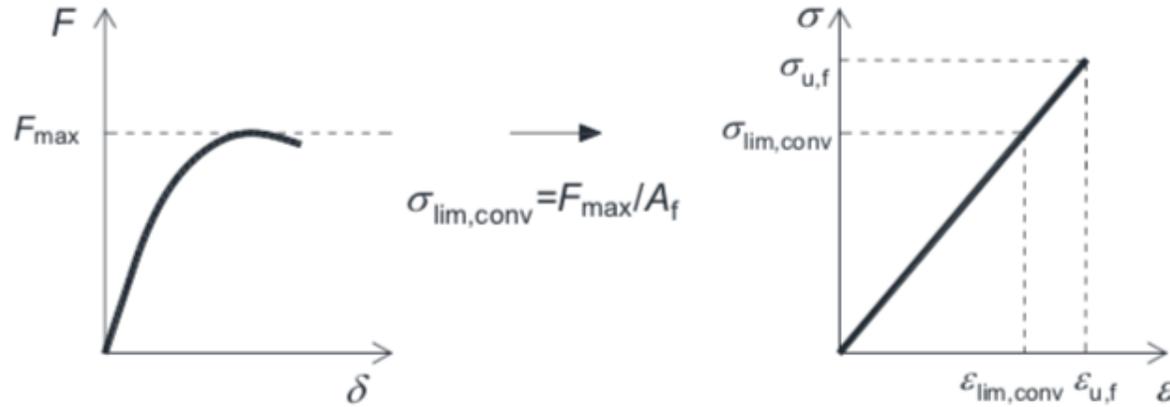
RETE



ADERENZA

Valore Caratteristico

LA TENSIONE LIMITE CONVENZIONALE



- Al fine di evitare la crisi per aderenza all'estremità saranno utilizzate le seguenti proprietà meccaniche del composito FRCM: $\sigma_{lim,conv}$, $\epsilon_{lim,conv}$
- Al fine di evitare la crisi di aderenza intermedia saranno

utilizzate le seguenti proprietà : $\epsilon_{lim,conv}^{(a)} = \alpha \cdot \epsilon_{lim,conv}$ e $\sigma_{lim,conv}^{(a)} = E_f \cdot \epsilon_{lim,conv}^{(a)}$

dove $\alpha=1.0-1.5$

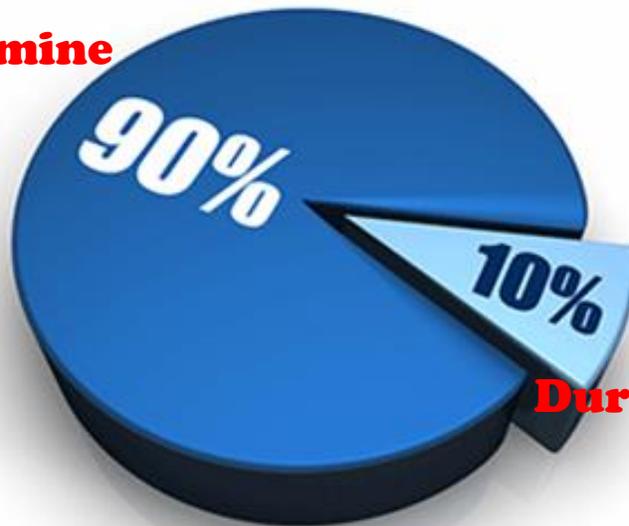


COMPORTAMENTO A LUNGO TERMINE: DURABILITA'



Breve Termine

Step	Pause	Temp. (°C)	Hum. (XRH)	Time (hh:mm)	Ref.
1		→ +40.0	→ 90	15:00	AUTO
2		→ -20.0	OFF	1:00	AUTO
3		→ -20.0	OFF	2:00	AUTO
4		→ +70.0	→ 50	1:00	AUTO
5		→ +70.0	→ 50	4:00	AUTO
6		→ +40.0	OFF	1:00	AUTO

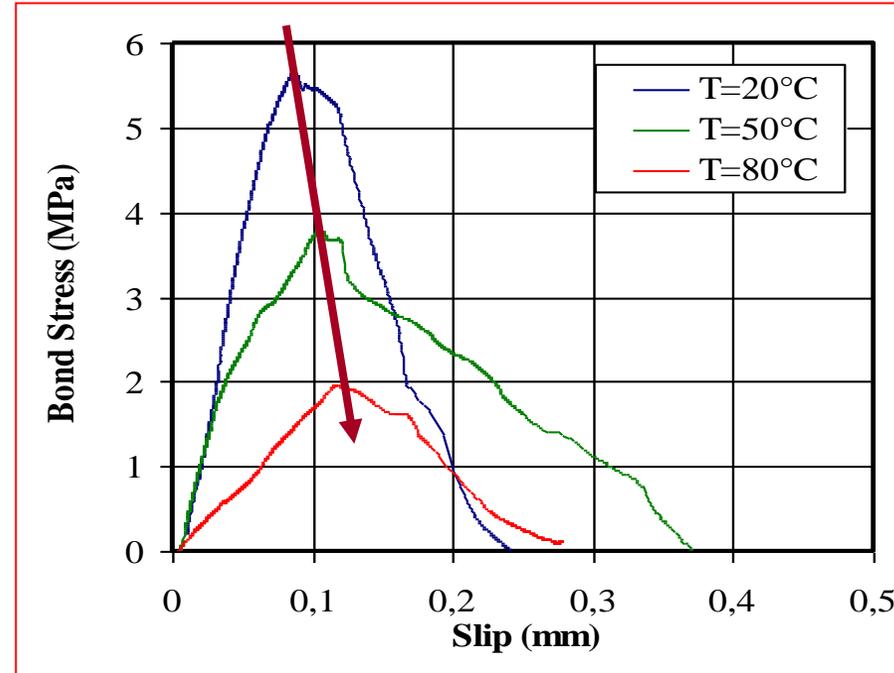
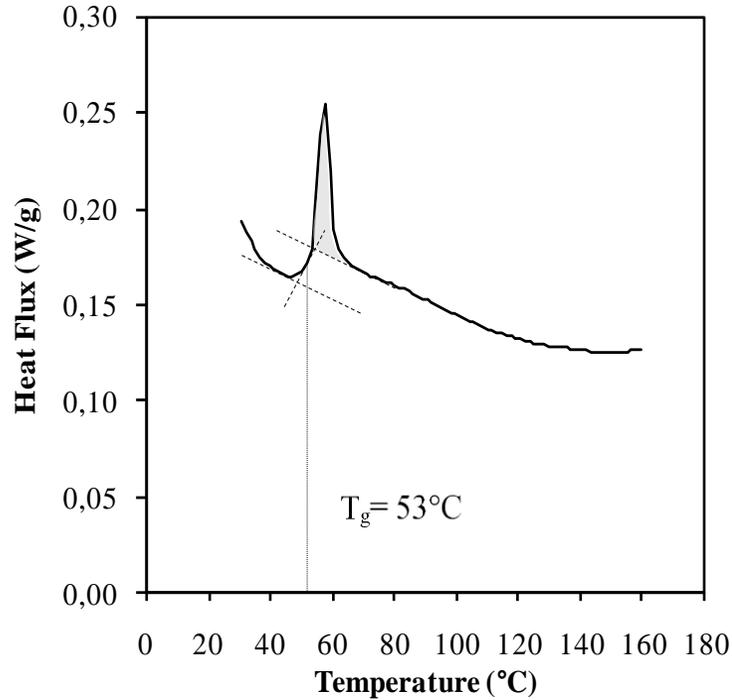


Durabilità

- Moisture / Solution
- Alkaline Environment
- Thermal Effects
- Fatigue
- Creep / Relaxation
- UV Exposure
- Fire



CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE

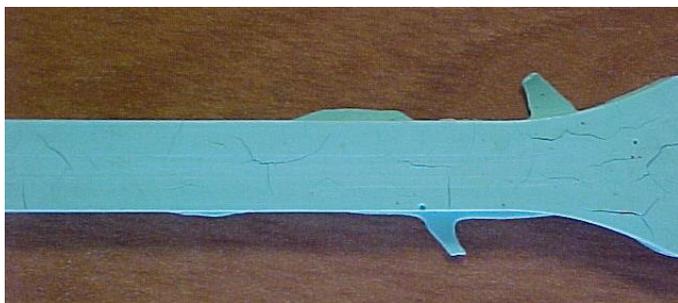


Il degrado della resina può comportare:

- **Una disuniforme distribuzione tensionale nelle fibre, conducendo ad una crisi prematura del composito**
- **Una crisi prematura dell'aderenza**

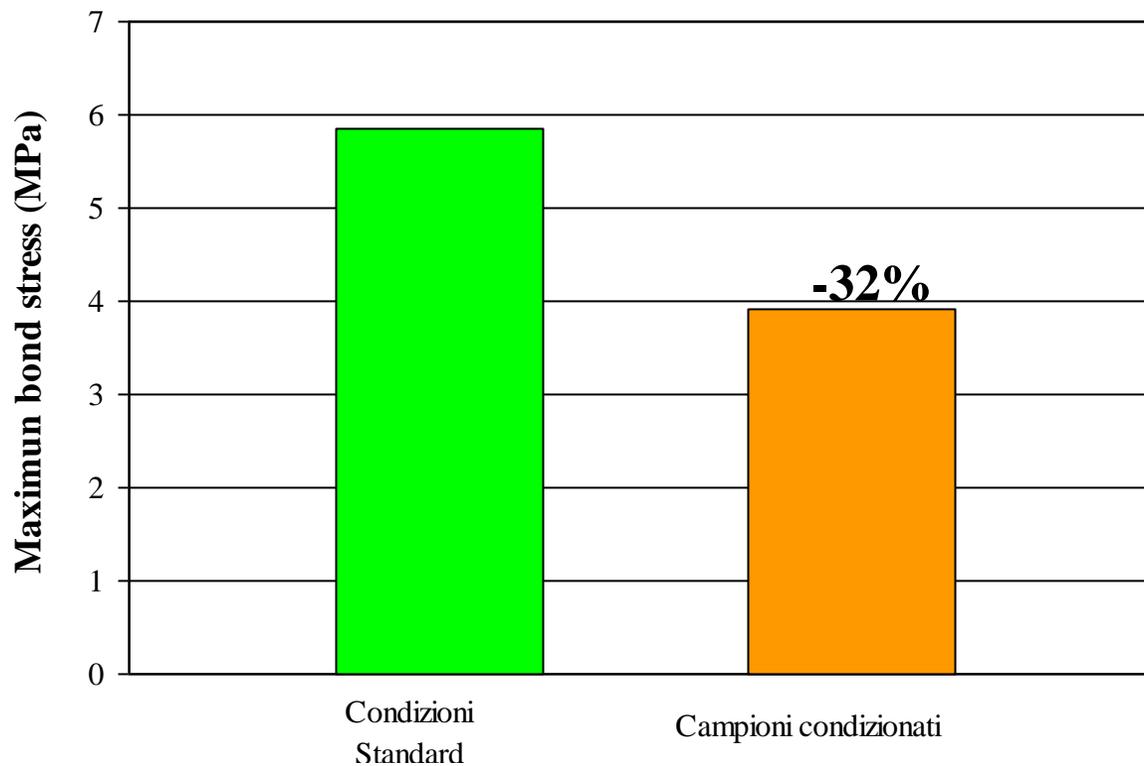
EFFETTO DELL'UMIDITA' (100%) SULLA Tg

GIORNI DI IMM. (gg)	Tg (°C)	ΔH_{rilas}
0	50,48	23,16
38	34,14	8,07
72	33,26	10,02
99	32,91	9,80
170	33,78	11,44
205	31,12	4,06



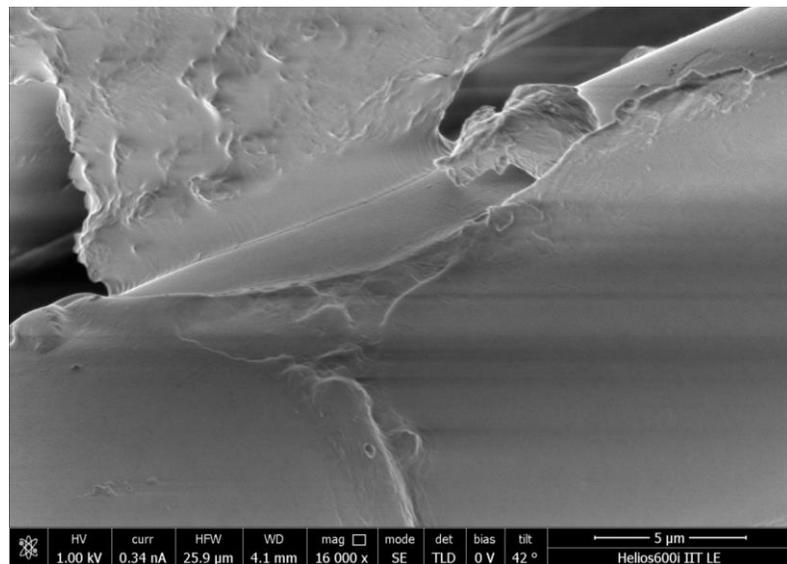
Aderenza FRP-muratura

Permanenza in camera climatica a 40°C e 90% di umidità per 6 mesi

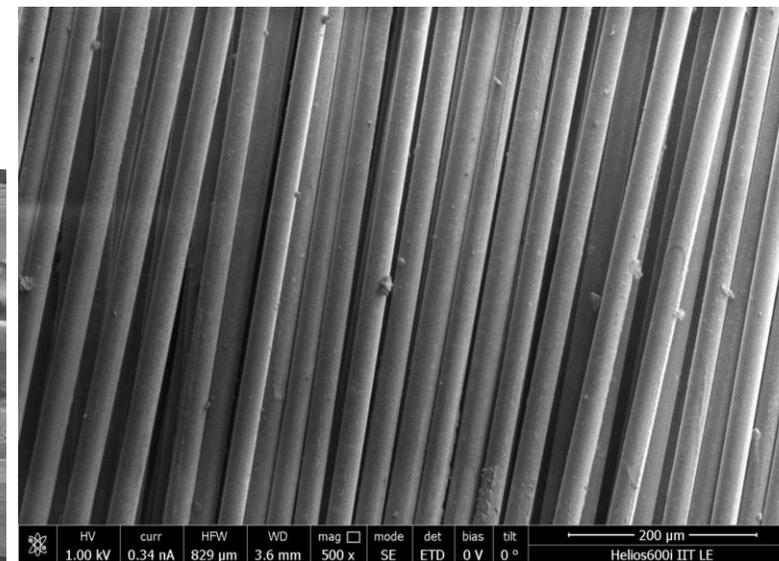


EFFETTO DELL'AMBIENTE ALCALINO

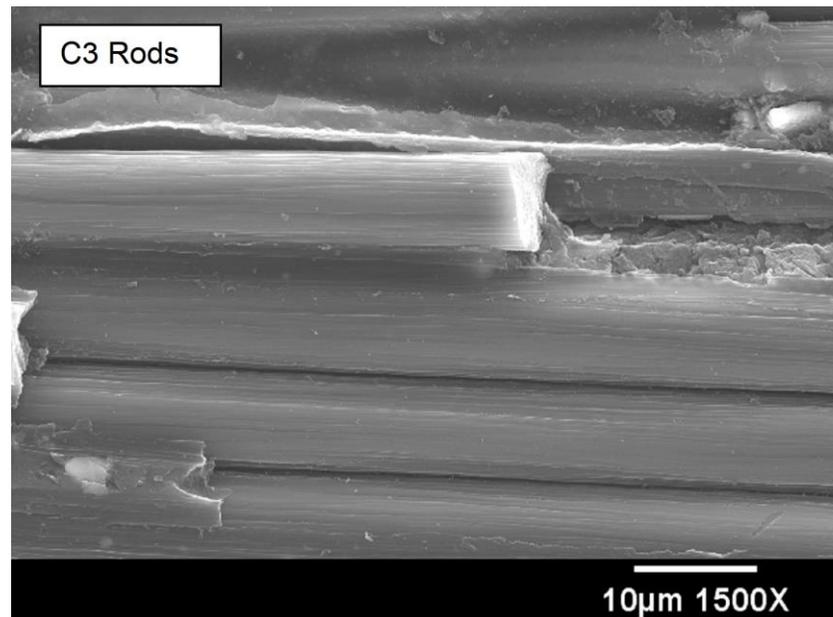
FIBRE DI VETRO E



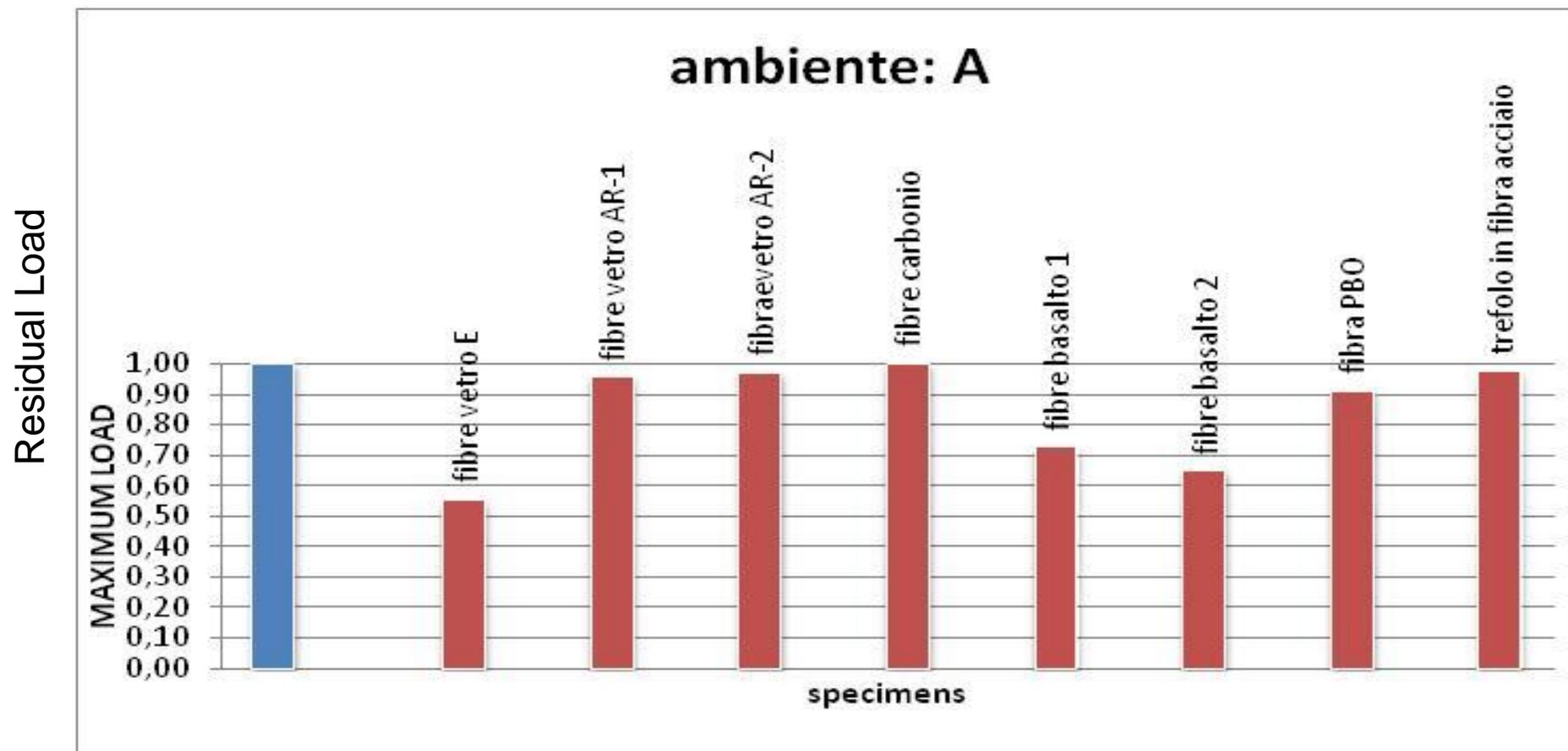
FIBRE DI VETRO AR



FIBRE DI CARBONIO



Durabilità di fibre secche di rinforzo in ambiente alcalino (calce)



COMPORAMENTO A LUNGO TERMINE



**RILEM TC-IMC: DURABILITY OF
INORGANIC MATRIX COMPOSITES USED
FOR STRENGTHENING OF MASONRY
CONSTRUCTIONS**

Chair: Prof. Dr. Maria Antonietta AIELLO

Co-chair: Dr. Catherine PAPANICOLAOU

Activity started in 2019, ending in 2023

**First TC 290-IMC Meeting
Bologna, 26 Giugno 2019**

Second Meeting : 9 July 2020 Krakow

Third Meeting

Mechanics of Masonry Structures Strengthened with Composite Materials
November 24-26 2021

MuRiCo
7
online

LE PROPRIETA' MECCANICHE A LUNGO TERMINE

Fase di Qualificazione: decadimento delle proprietà meccaniche

ACCETTABILE

~~NON ACCETTABILE~~

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

← Valore di Progetto della resistenza o della deformazione

Il valore di progetto, X_d , della resistenza o della deformazione di un materiale FRCM

Condizione di esposizione	Tipo di fibra	η_a
Interna	Vetro A.R./Basalto	0.90
	Arammide/PBO	0.90
	Acciaio UHTSS	0.90
	Carbonio	0.90
Esterna	Vetro A.R./Basalto	0.80
	Arammide/PBO	0.80
	Acciaio UHTSS	0.80
	Carbonio	0.80
Ambiente aggressivo	Vetro A.R./Basalto	0.70
	Arammide/PBO	0.70
	Acciaio UHTSS	0.70
	Carbonio	0.80

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

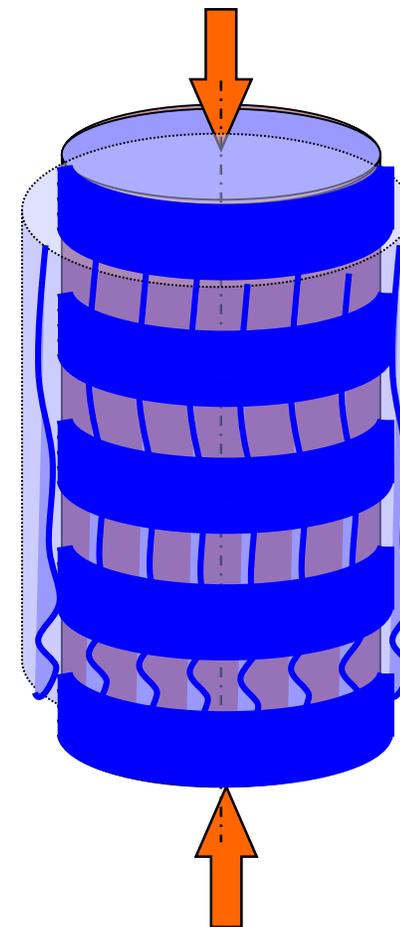
Tabella 3.1 – Fattori di conversione ambientale.

- 1.5 per SLU
- 1.0 per SLE

Confinamento di elementi compressi

Per limitare la dilatazione trasversale

Confinamento con materiali resistenti a trazione



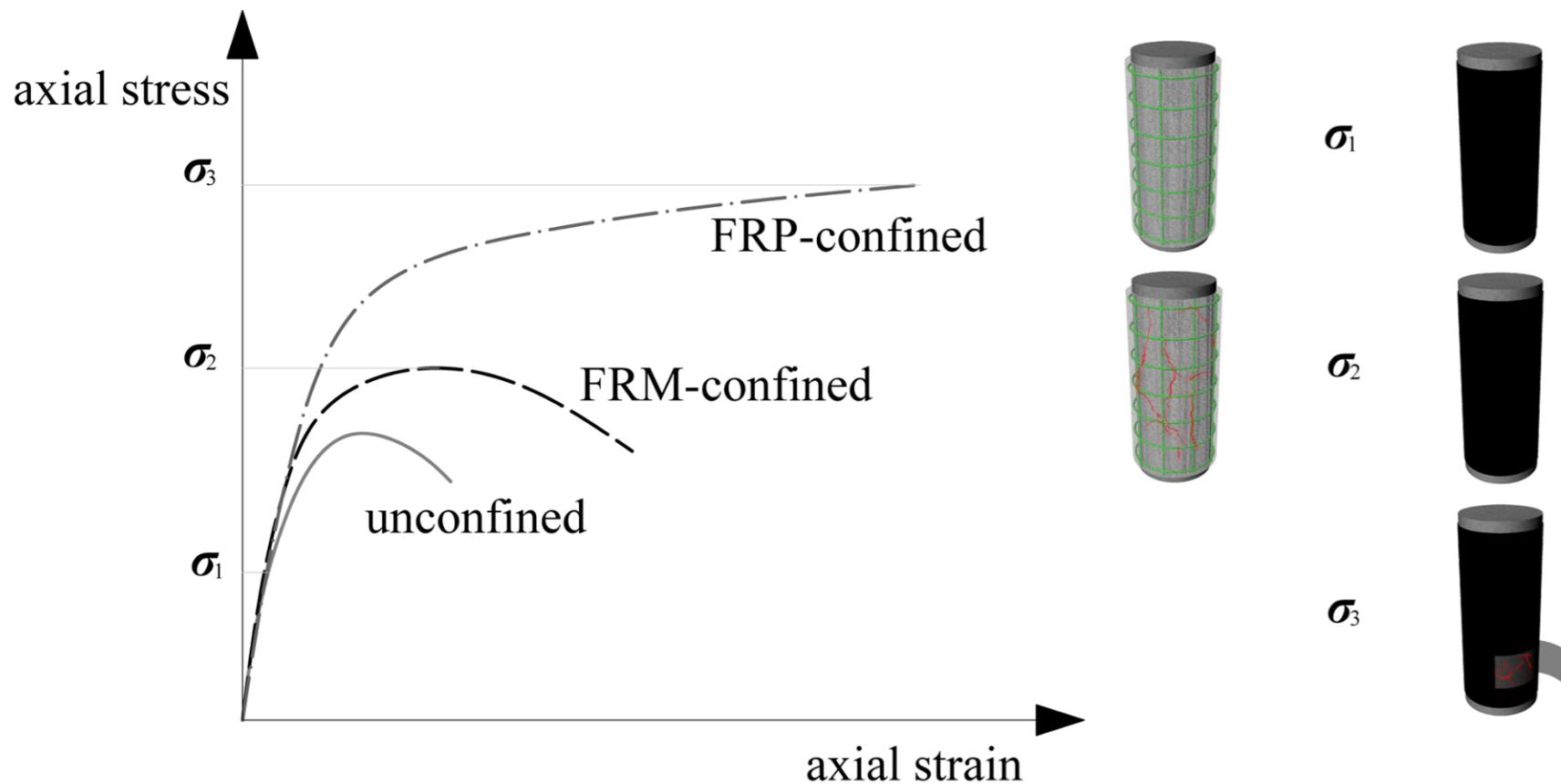
CONFINAMENTO DI COLONNE

KEEP
CALM
IT'S
NOTHING
NEW



La necessità di migliorare la capacità portante degli elementi strutturali verticali è stata sempre considerata fondamentale. Le tecniche di confinamento tradizionali si basano principalmente sull'uso dell'acciaio. La disponibilità di nuovi materiali consente di ottenere elevate prestazioni e di superare, in alcuni casi, gli svantaggi legati all'utilizzo dell'acciaio (peso, dimensioni, durabilità, ecc.).

FRCM/FRP

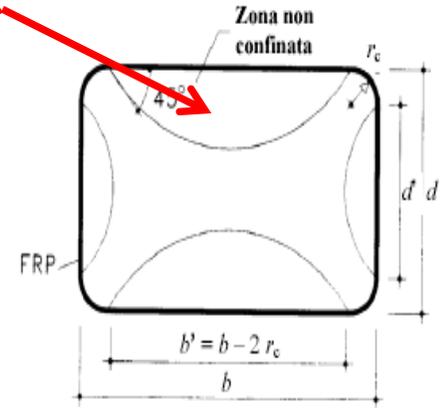


RELAZIONI PROGETTUALI

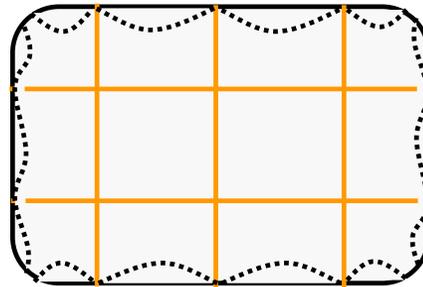
La capacità assiale dell'elemento rinforzato in FRP, N_{Sd} , deve superare la forza assiale di progetto a causa dei carichi applicati calcolati secondo l'attuale normativa edilizia, $N_{Rmc,d}$, come di seguito riportato:

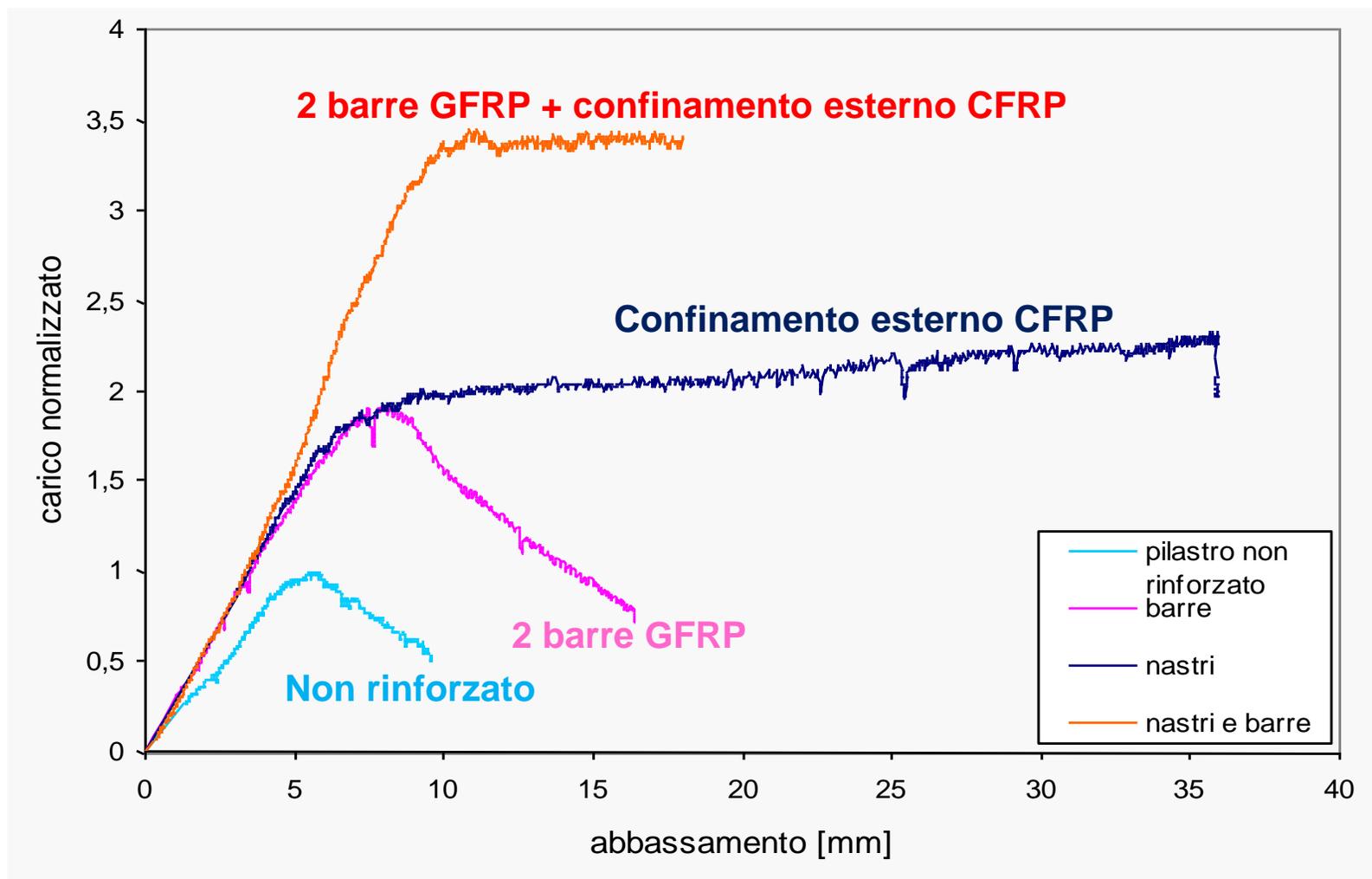
$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md}$$

$$\frac{f_{mcd}}{f_{md}} = 1 + k' \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_1}$$



FRP bars





Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



FRCM-M4

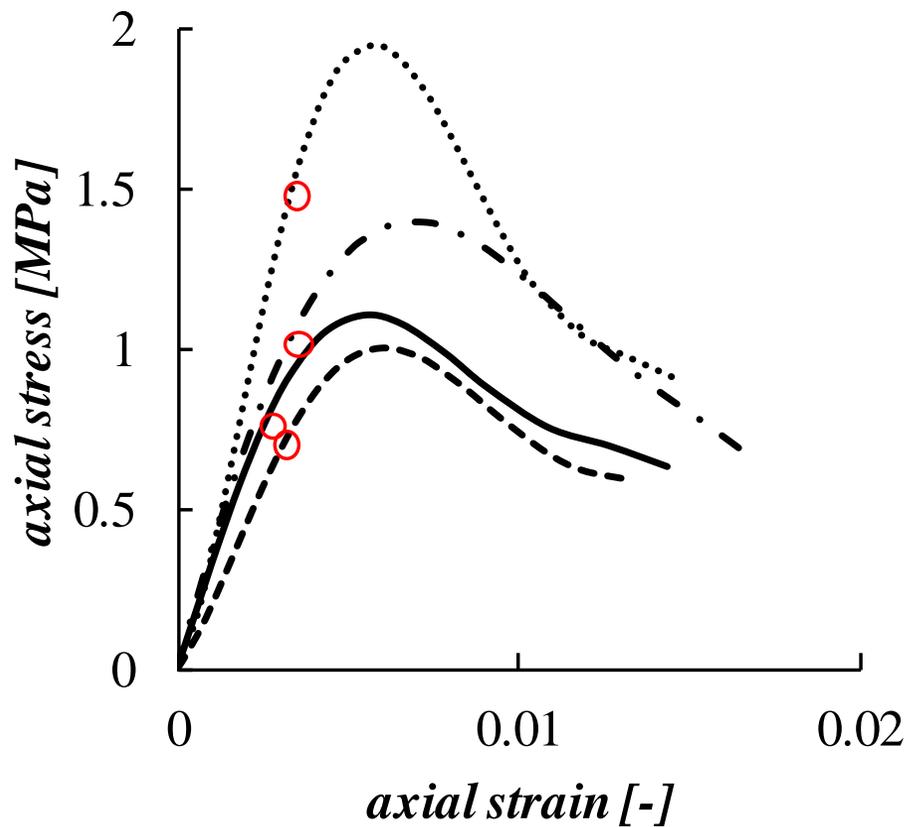


FRCM-M7



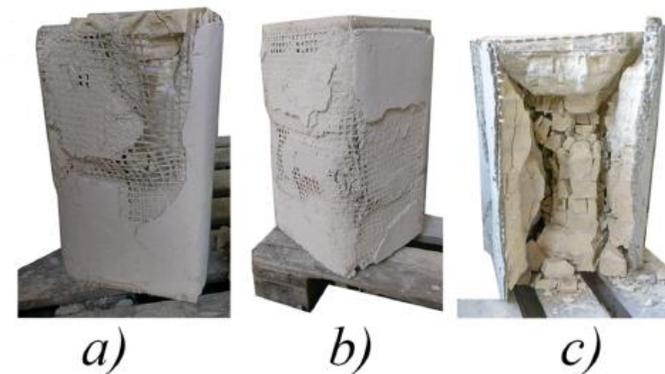
FRCM-M23

Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



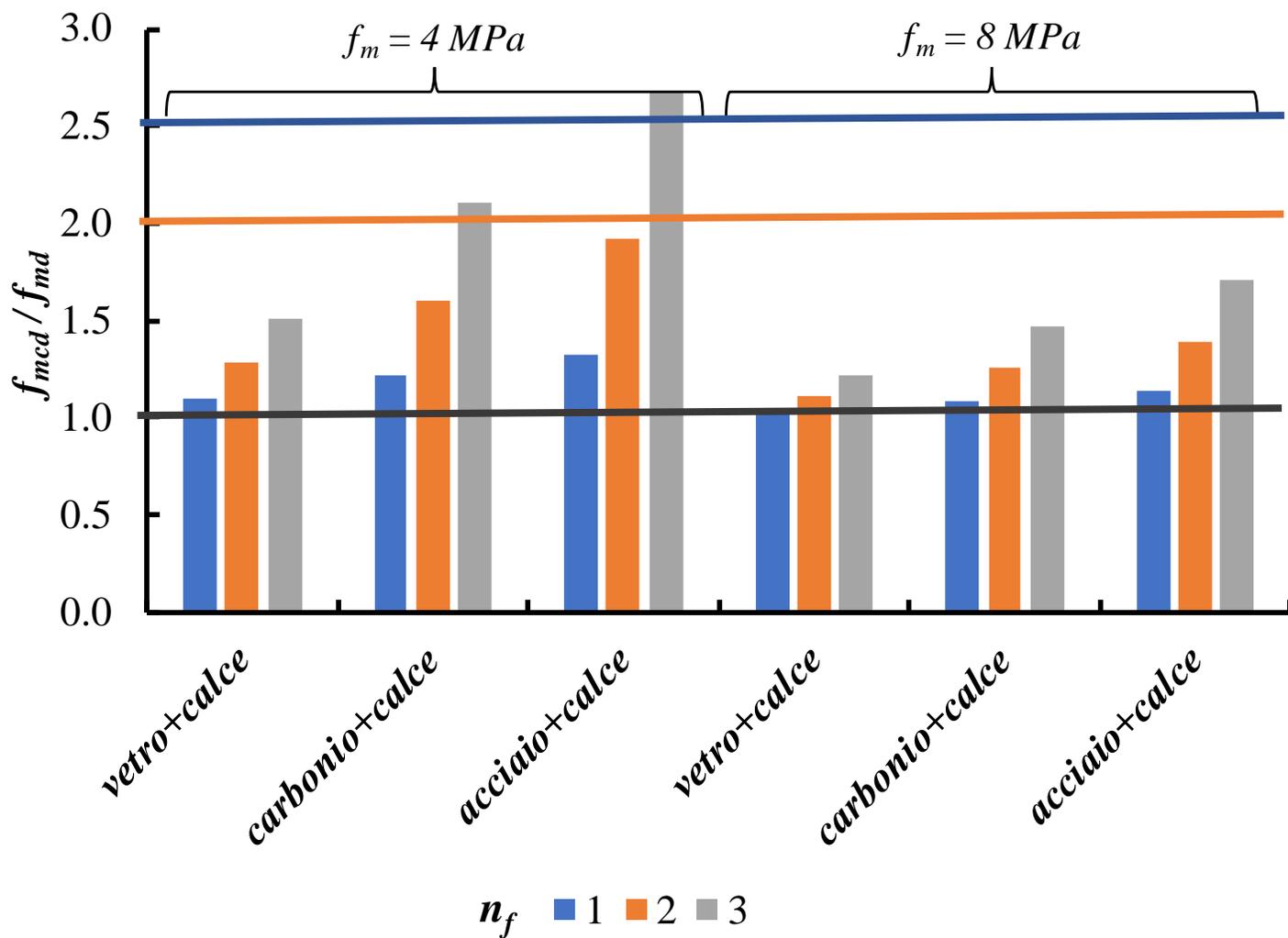
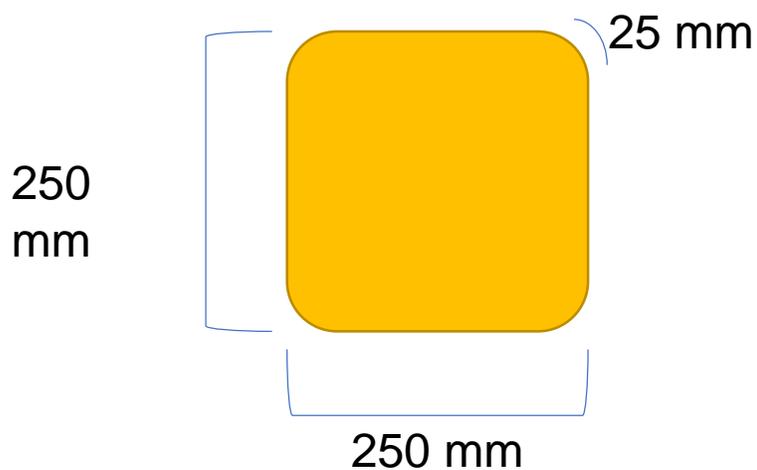
first crack

- U_{Av}
- $FRCM_{M4}_{Av}$
- · - $FRCM_{M7}_{Av}$
- $FRCM_{M23}_{Av}$



Esempi di progettazione su colonne in MURATURA

* Valore riferito ad un singolo strato di FRCM



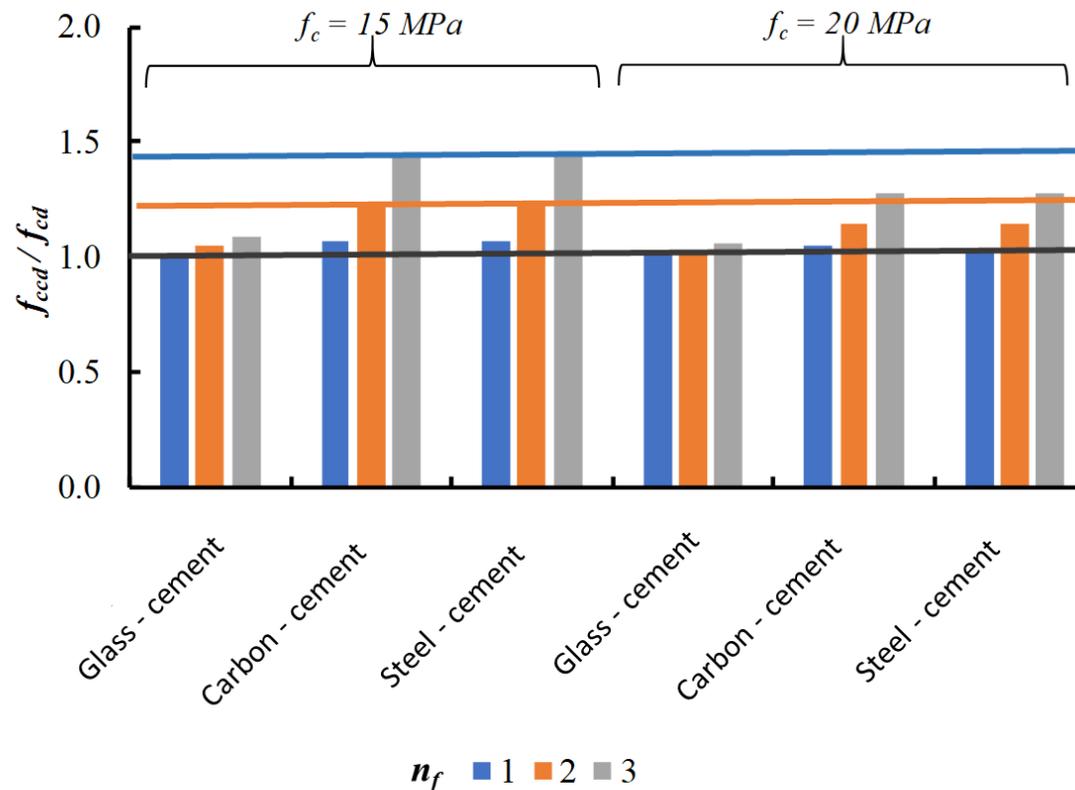
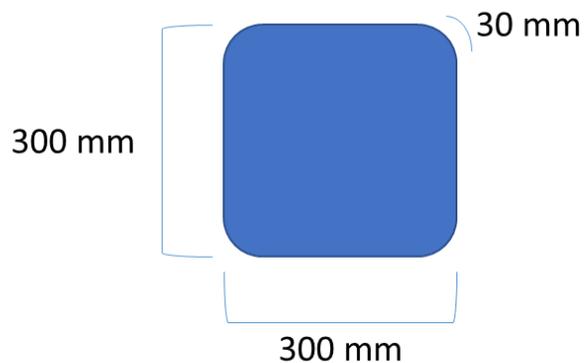
vetro+calce
 $f_{cmat} = 8 \text{ MPa}$
 $t_{mat} = 10 \text{ mm} *$
 $E_f = 95 \text{ GPa}$
 $t_f = 0.03 \text{ mm}$

carbonio+calce
 $f_{cmat} = 13 \text{ MPa}$
 $t_{mat} = 10 \text{ mm} *$
 $E_f = 242 \text{ GPa}$
 $t_f = 0.047 \text{ mm}$

acciaio+calce
 $f_{cmat} = 10 \text{ MPa}$
 $t_{mat} = 10 \text{ mm} *$
 $E_f = 186 \text{ GPa}$
 $t_f = 0.084 \text{ mm}$

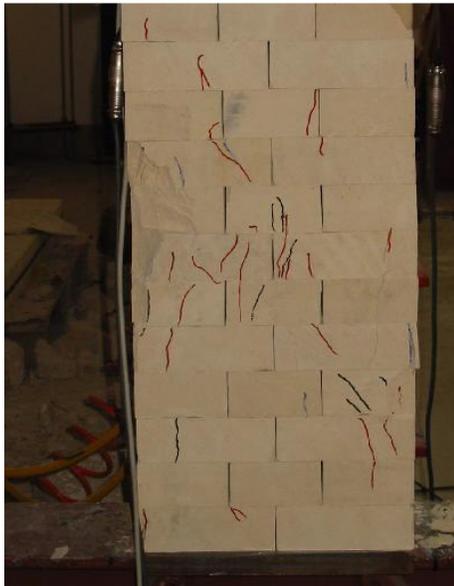
Design examples for RC columns

* Value referred to the single layer of FRCM.



Glass - cement	Carbon - cement	Steel - cement
$f_{cmat} = 30 \text{ MPa}$	$f_{cmat} = 50 \text{ MPa}$	$f_{cmat} = 40 \text{ MPa}$
$t_{mat} = 10 \text{ mm} *$	$t_{mat} = 10 \text{ mm} *$	$t_{mat} = 10 \text{ mm} *$
$E_f = 95 \text{ GPa}$	$E_f = 255 \text{ GPa}$	$E_f = 200 \text{ GPa}$
$t_f = 0.03 \text{ mm}$	$t_f = 0.048 \text{ mm}$	$t_f = 0.084 \text{ mm}$

Si vuole incrementare del 30% la capacità portante longitudinale di una colonna in muratura mediante la realizzazione un confinamento con materiale composito



SDC

$$g_m := 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

peso specifico muratura
(pietra leccese)

$$b := 250\text{mm}$$

base della sezione trasversale

$$h := 300\text{mm}$$

altezza della sezione trasversale

$$D := \sqrt{b^2 + h^2} = 390.512 \text{ mm}$$

diagonale della sezione trasversale

$$A_m := b \cdot h = 7.5 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

area della sezione trasversale

$$Y_M := 2$$

fattore parziale di sicurezza per la muratura
(tab. 4.5.II - NTC-'08)

$$FC := 1.2$$

Fattore di Confidenza (Livello di Conoscenza 2)

$$f_m := 4.5\text{MPa}$$

resistenza caratteristica a
compressione della muratura

$$f_{\text{md}} := \frac{f_m}{\gamma_M \cdot FC} = 1.875 \text{ MPa}$$

resistenza di progetto a compressione della muratura

$$N_{\text{Rmd}} := A_m \cdot f_{\text{md}} = 140.625 \text{ kN}$$

forza assiale massima

$$i := 1.3$$

incremento di capacità

$$N_{\text{Rmd2}} := N_{\text{Rmd}} \cdot i = 182.813 \text{ kN}$$

target del progetto

Al fine di incrementare la resistenza a compressione della colonna si decide di eseguire un intervento benefico con l'ausilio di sistema FRP realizzato con fibra di vetro e matrice epossidica.

2) Calcolo della resistenza a compressione della muratura confinata

$$k := \frac{\varepsilon_m}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1.5$$

coefficiente adimensionale

$$f_{mcd} := f_{md} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{f_{leff}}{f_{md}} \right)^{0.5} \right] = 2.472 \text{ MPa}$$

resistenza di progetto a compressione della muratura confinata

3) Calcolo dello sforzo normale resistente della muratura confinata

$$N_{Rmcd3} := A_m \cdot f_{mcd} = 185.435 \text{ kN}$$

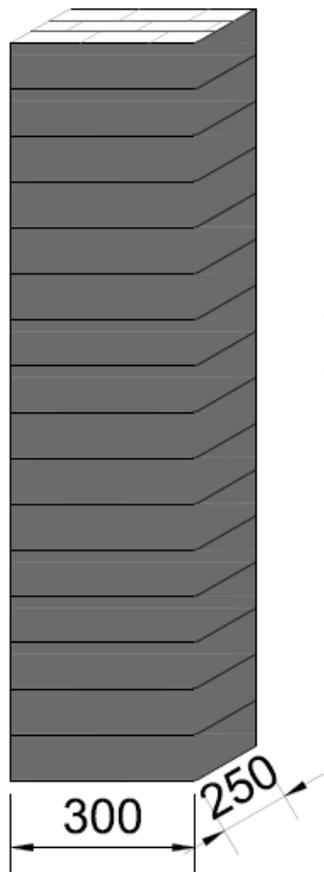
$$\text{verifica} := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \frac{N_{Rmcd3}}{N_{Rmd}} > 1.3 \\ \text{"rinforzo insufficiente"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\zeta = 1.30$$



verifica = "ok"

Confinamento con FRP Fasciatura Continua



2) Calcolo della resistenza a compressione della muratura confinata

$$k := \frac{g_m}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1.5$$

coefficiente adimensionale

$$f_{mcd} := f_{md} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{f_{leff}}{f_{md}} \right)^{0.5} \right] = 2.845 \text{ MPa}$$

resistenza di progetto a compressione della muratura confinata

3) Calcolo dello sforzo normale resistente della muratura confinata

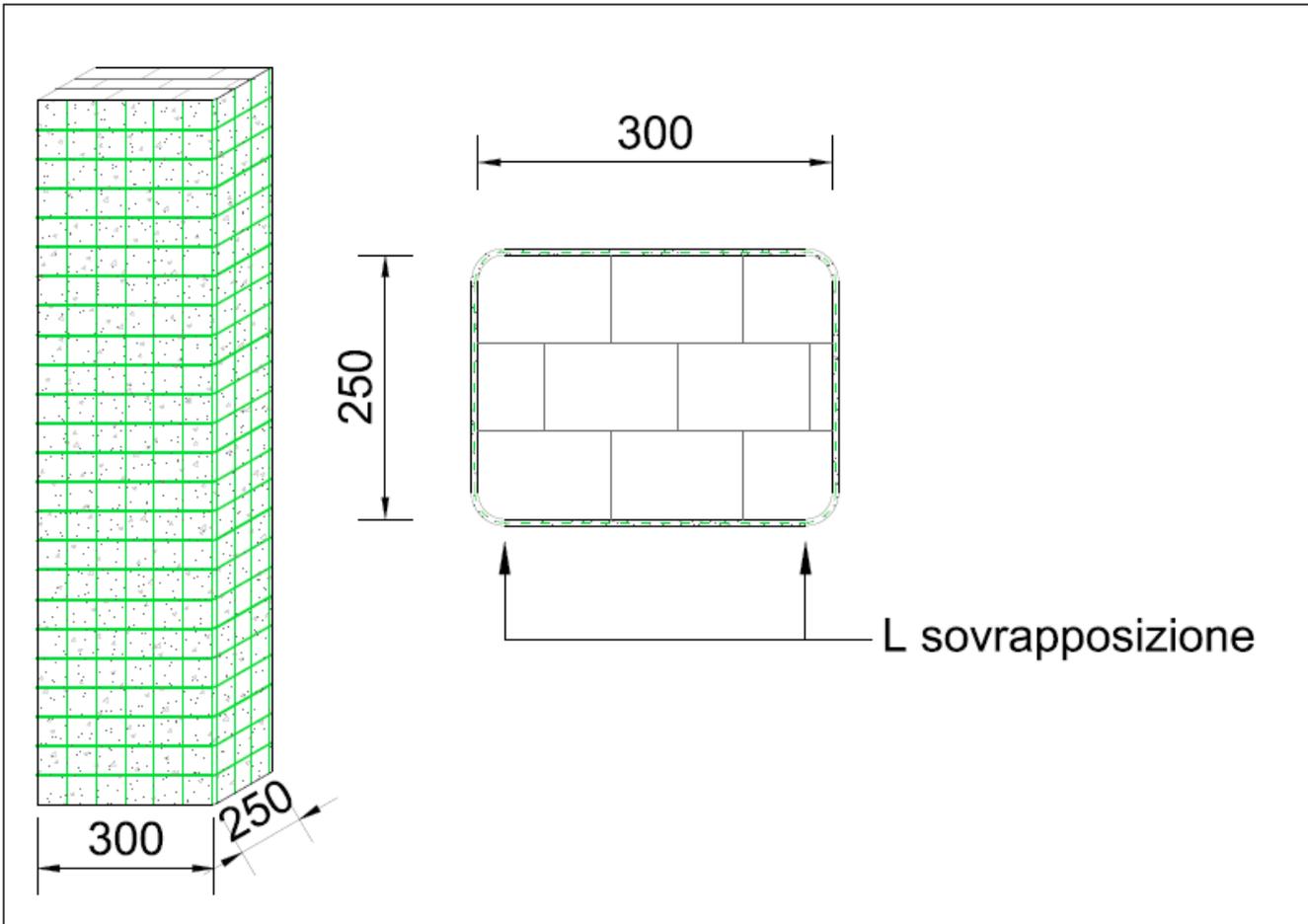
$$N_{Rmcd3} := A_m \cdot f_{mcd} = 213.382 \text{ kN}$$

$$\text{verifica} := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \frac{N_{Rmcd3}}{N_{Rmd}} > 1.3 \\ \text{"rinforzo insufficiente"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\zeta = 1.52$$

verifica = "ok"

Confinamento muratura con FRCM



caratteristiche del rinforzo

$r := 25\text{mm}$

raggio di curvatura dell'arrotondamento degli spigoli

$f_{\text{cmat}} := 5.5\text{MPa}$

resistenza caratteristica a compressione della matrice del FRCM

$t_{\text{mat}} := 15\text{mm}$

spessore totale della matrice di FRCM

$n := 1$

numero di strati di fibra

$t_f := 0.25\text{mm}$

spessore della rete di fibra

$E_f := 75000\text{MPa}$

Modulo elastico longitudinale medio della fibra

$\varepsilon_{\text{uf}} := 0.02$

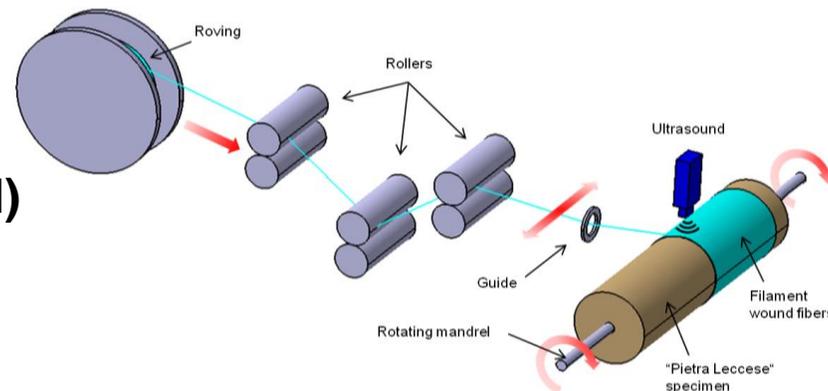
deformazione di rottura della fibra a trazione

$\zeta = 1.45$

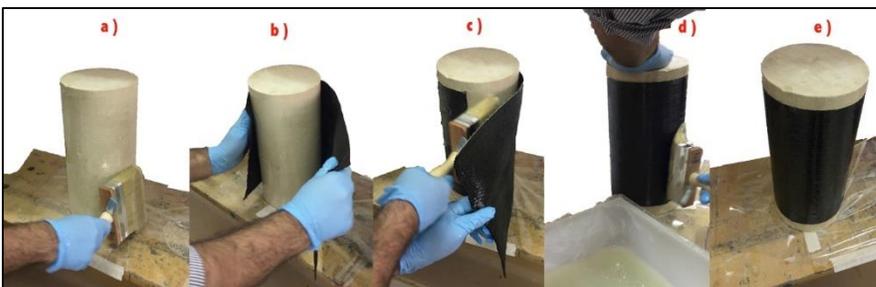
OBIETTIVO: confinamento di colonne con compositi di tipo FRP in maniera reversibile



Interposizione di un foglio di Mylar (IM)



Filament Winding (FW)



Inibitore di adesione liquido (IAL)



5.4.1.2.2 Taglio

(2) Qualora sia garantita la formazione del traliccio resistente, la resistenza di progetto a taglio della muratura rinforzata, V_{Rd} , può essere calcolata come somma del contributo dovuto all'attrito della muratura, $V_{Rd,m}$, e di quello del rinforzo di FRP, $V_{Rd,f}$, fino al valore limite $V_{Rd,max}$ che provoca la rottura delle bielle compresse del traliccio:

$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,m} + V_{Rd,f}; V_{Rd,max} \}. \quad (5.20)$$

Nel caso in cui il rinforzo a taglio sia disposto parallelamente ai corsi di malta, i contributi sopra definiti possono essere valutati come segue:

$$V_{Rd,m} = x \cdot t \cdot f_{vd}, \quad (5.21)$$

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.6 \cdot d \cdot (E_f \cdot \varepsilon_{fd}) \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{p_f}, \quad (5.22)$$

4.1.1 Capacità a Taglio

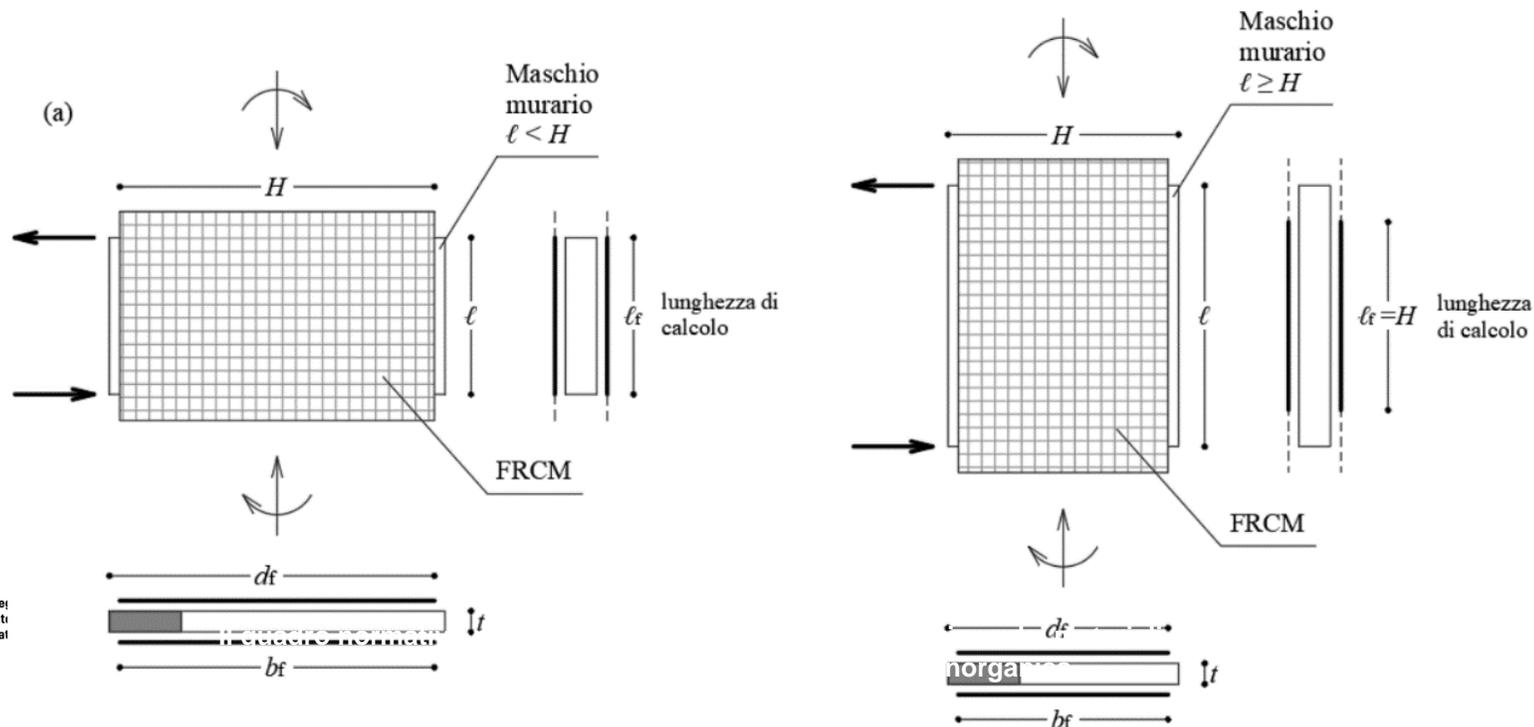
$$V_{t,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot n_f \cdot t_{VF} \cdot \ell_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

Resistenza a trazione del rinforzo fibroso

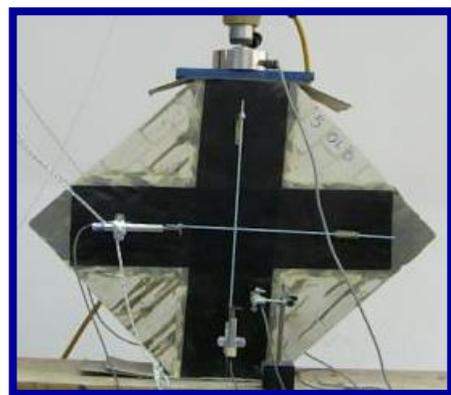
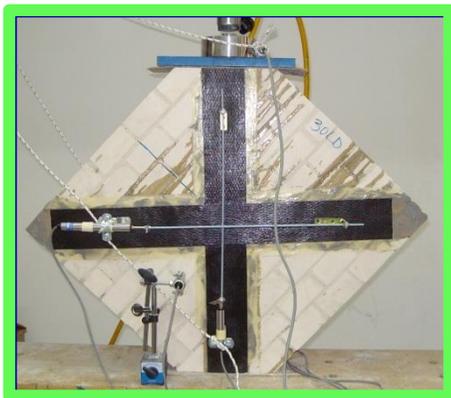
Fattore parziale di sicurezza assunto pari a 2.0

Area netta del rinforzo

Coefficiente che tiene conto della ridotta resistenza a trazione delle fibre sotto sforzo di taglio



PANNELLI RINFORZATI CON FRP (FIBRE DI BASALTO) - RESISTENZA A TAGLIO



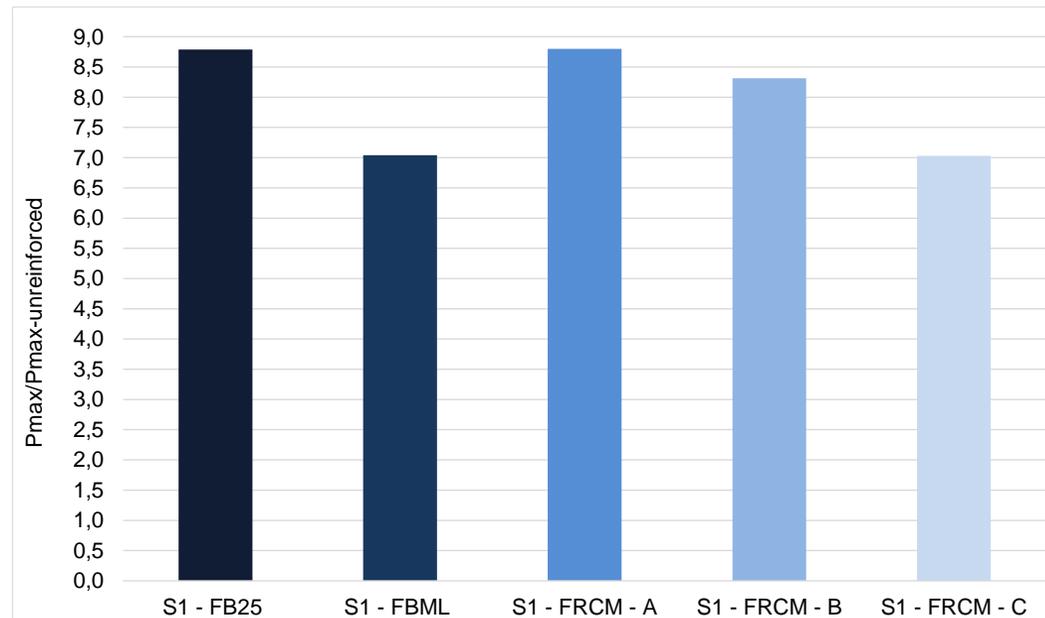
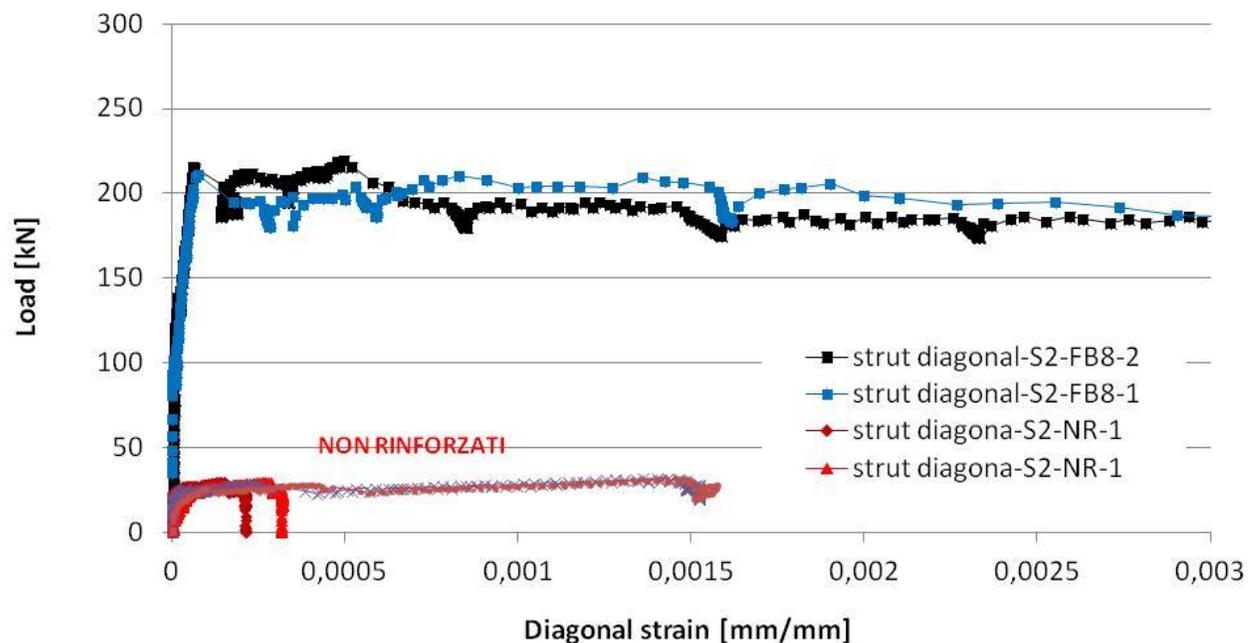
PANNELLI	T_{MAX} (MPa)	ΔT (%)	ΔT_{medio} (%)
PNR_1	0,246	-	-
PRDS_1	0,575	134%	120%
PRDS_2	0,506	106%	
PRGS_1	0,380	89%	107%
PRGS_2	0,516	124%	
PRDA_1	0,380	54%	82%
PRDA_2	0,516	110%	
PRGA_1	0,325	32%	41%
PRGA_2	0,369	50%	



PANNELLI RINFORZATI CON FRCM/CRM



CAMPIONI RINFORZATI CON MALTA DI CALCE (SINGOLO PARAMENTO)



S1: Glass-FRP (GFRP) grid made with AR glass fibers and vinylester matrix
 S1-B: A Dry 0°/90° grid made with PBO (Poly p-phenylene benzobisoxazole) fibers
 S1-C: 0°/90° glass grid
 S1-A: 0°/90° carbon grid

Allo scopo di incrementare la portanza a taglio nel piano di un pannello murario in pietra leccese e malta di calce si prevede l'applicazione di rinforzo con FRP disposto simmetricamente sui due lati del pannello

$d := 1200mm$

altezza del pannello

$b := 1200mm$

lunghezza del pannello

$t := 150mm$

spessore del pannello

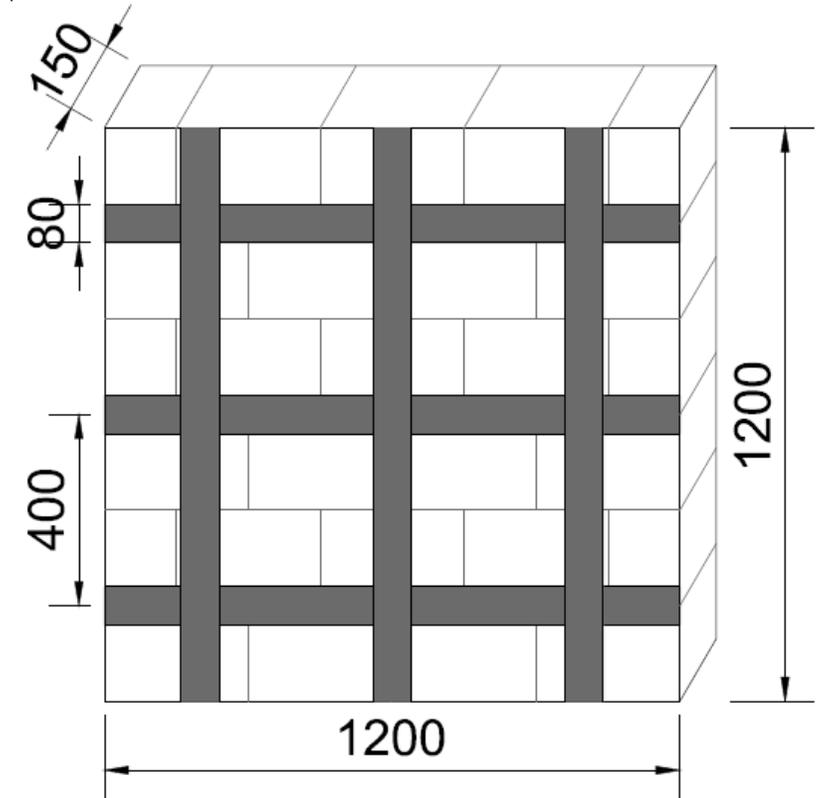
$FC := 1.2$

fattore di confidenza - LC2

$\gamma_M := 2$

fattore parziale sicurezza muratura

LC2: - Resistenze: i valori medi degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I



$$f_b := 12.43 MPa$$

resistenza caratteristica a compressione della pietra leccese

$$P := 100000 N$$

forza assiale sulla muratura

$$\sigma_0 := \frac{P}{b \cdot t} = 0.56 MPa$$

tensione media ultima di compressione

$$V_{tlim} := (d \cdot t) \cdot \left(0.01 \cdot \frac{f_b}{2.3} \right) \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{0.01 \cdot f_b}} = 22.75 kN$$

forza di taglio massima [C8.7.1.18]

$$x_{min} := 800 mm$$

minima distanza dall'asse neutro

$$f_{vd} := 0.7 \cdot \frac{V_{tlim}}{x_{min} \cdot t \cdot FC \cdot \gamma_M} = 0.06 MPa$$

resistenza di progetto a taglio

$$f_{mdh} := 2 MPa$$

resistenza di progetto a compressione della muratura nella direzione tagliante

$$E_f := 74000MPa$$

Modulo elastico della fibra di vetro

$$\varepsilon_{fk} := 0.03$$

deformazione caratteristica della fibra a rottura

$$\eta_a := 0.65$$

fattore ambientale (esterno)

$$\gamma_f := 1.5$$

coefficiente parziale sicurezza della fibra

$$\varepsilon_{fd} := \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f} = 0.01$$

deformazione ultima di progetto

$$t_f := 0.18mm$$

spessore della fibra

$$b_f := 80mm$$

larghezza delle strisce

$$p_f := 400mm$$

passo delle strisce

$$\gamma_{Rd} := 1.2$$

coefficiente parziale relativo al modello di resistenza

$$V_{Rdf} := \left(\frac{1}{\gamma_{Rd}} \right) \cdot 0.6 \cdot d \cdot (E_f \cdot \varepsilon_{fd}) \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{p_f} = 41.56 kN$$

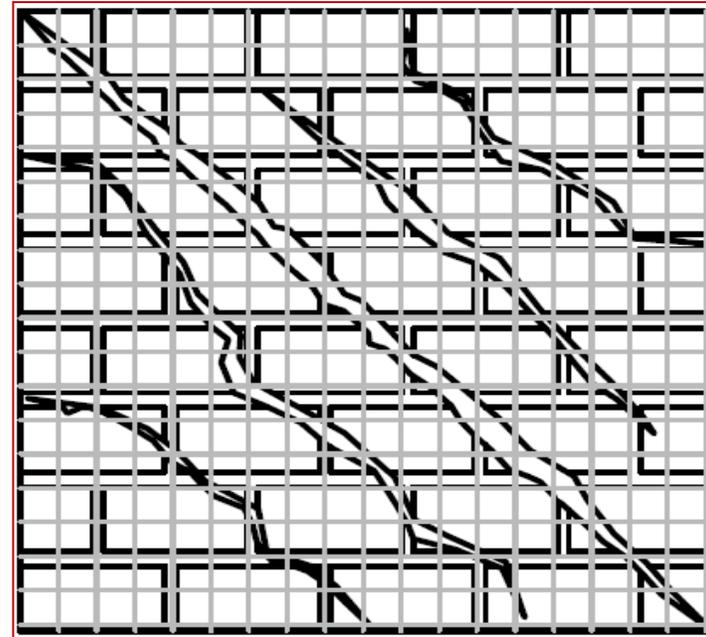
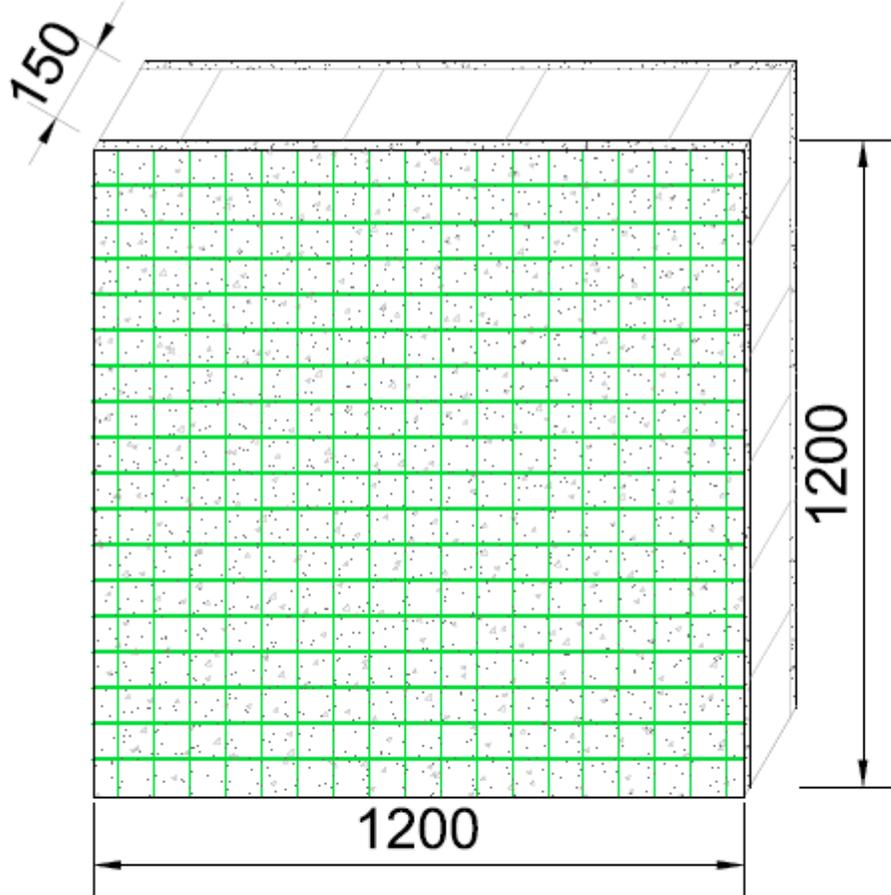
$$V_{Rdm} := x_{min} \cdot t \cdot f_{vd} = 6.64 kN$$

$$V_{Rdmax} := 0.3 \cdot f_{mdh} \cdot t \cdot d = 108 kN$$

$$V_{Rd} := \min(V_{Rdm} + V_{Rdf}, V_{Rdmax}) = 48.19 kN$$

$$\zeta = 2.12$$

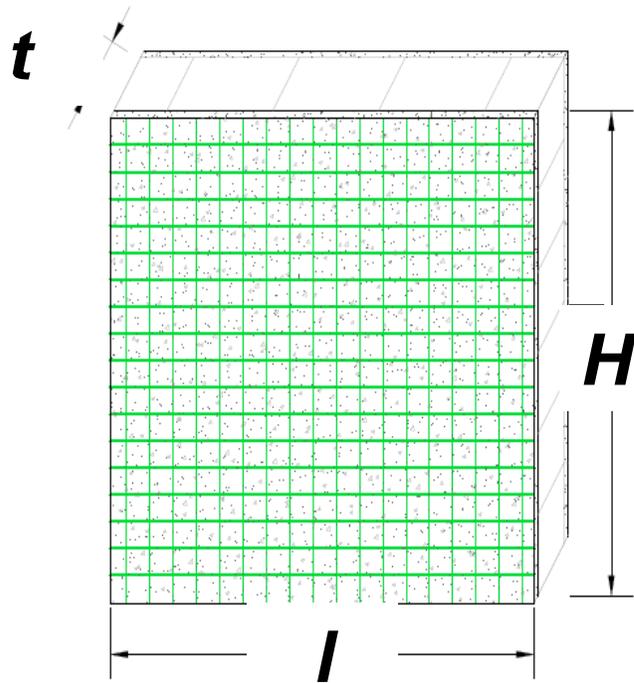
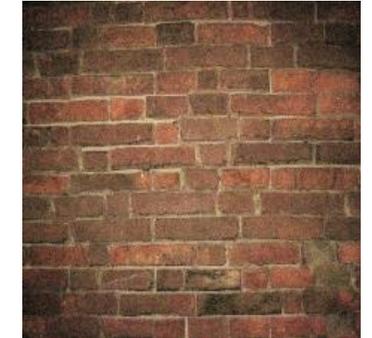
Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



$$\zeta=2.06$$

RINFORZO A TAGLIO DI PANNELLI MURARI

Si consideri un pannello murario realizzato con laterizi, di spessore pari a $t=250\text{mm}$, altezza $H = 1\text{ m}$ and larghezza $l = 2\text{ m}$. Per il rinforzo viene utilizzato un material FRCM in fibra di vetro con valore della tensione limite convenzionale pari a $\varepsilon_{lim,conv} \cdot E_f = 1000\text{ MPa}$ e spessore equivalente $t_f = 0.025\text{ mm}$, si tratta di un tessuto bilanciato applicato sull'intero pannello e su entrambe le facce a ($l_f = H$).



$$f_{md} = 2.5\text{ MPa}$$

Resistenza a compressione della muratura

$$\tau_0 = 0.05\text{ MPa}$$

Resistenza a taglio della muratura

$$\sigma_0 = 0.5\text{ MPa}$$

Tensione di compressione

RESISTENZA A TAGLIO DELLA MURATURA NON RINFORZATA

$$V_t = H \cdot t \cdot \frac{1.5\tau_{0d}}{p} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = 1000 \cdot 250 \cdot \frac{1.5 \cdot 0.05}{1.5} \sqrt{1 + \frac{0.5}{1.5 \cdot 0.05}} = 34.6 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{fd} = \eta \frac{\varepsilon_{\text{lim,conv}}^{(\alpha)}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{1.5 \cdot 1000 / E_f}{1.5} = \frac{800}{E_f} \quad \begin{array}{l} \alpha = 1.5 \\ \eta = 0.8 \end{array}$$

$$V_{t,f} = 0.5 \cdot n_f \cdot t_{vf} \cdot \ell_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f = 0.5 \cdot 2 \cdot 0.025 \cdot 1000 \cdot 0.8 \cdot 800 = 16.0 \text{ kN}$$

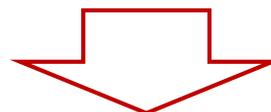
$$V_{t,R} = 34.6 \text{ kN} + 16.0 \text{ kN} = 50.6 \text{ kN}$$

Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)

$$\frac{V_{t,R}}{V_t} = \frac{50.6}{34.6} = 1.46$$

In alternativa.....

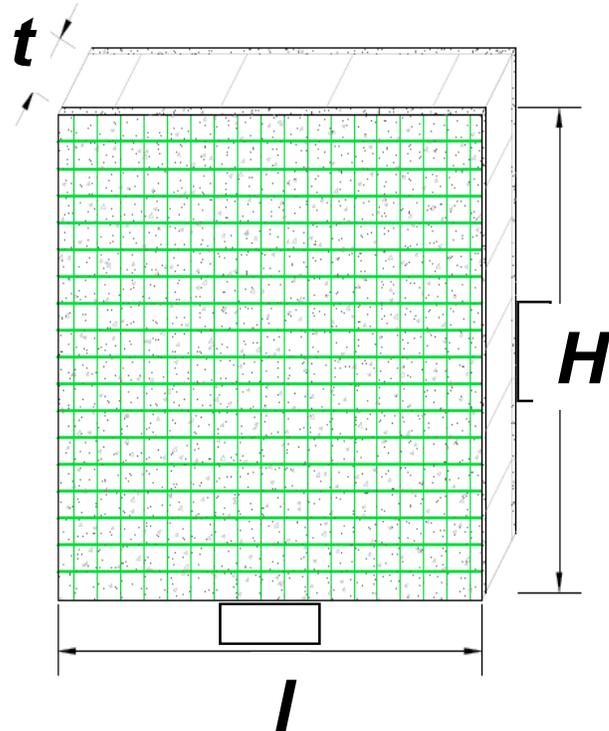
Tipo di muratura	Type of Masonry	Coefficiente
Muratura di mattoni pieni e malta di calce	Solid Bricks Masonry with lime based mortar	1.7



$$V_{t,R} = 1.7 * 0.8 * 34.6 = 47.06$$

$$\frac{V_{t,R}}{V_t} = \frac{47.1}{34.6} = 1.36$$

RINFORZO A TAGLIO DI PANNELLI MURARI



Si consideri un pannello murario realizzato in tufo, di spessore pari a $t=250\text{mm}$, altezza $H = 1\text{ m}$ and larghezza $I = 2\text{ m}$. Per il rinforzo viene utilizzato un material FRCM in fibra di vetro con valore della tensione limite convenzionale pari a $\epsilon_{lim,conv} \cdot E_f = 1000\text{ MPa}$ e spessore equivalente $t_f = 0.025\text{ mm}$, si tratta di un tessuto bilanciato applicato sull'intero pannello e su entrambe le face and covers the whole panels on both faces ($I_f = H$).



$$f_{md} = 1.5$$

Resistenza a compressione della muratura

$$\tau_0 = 0.03\text{ MPa}$$

Resistenza a taglio della muratura

$$\sigma_0 = 0.5\text{ MPa}$$

Tensione di compressione

Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)

$$V_t = 26.1 \text{ kN}$$

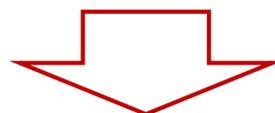
$$V_{t,f} = 16 \text{ kN}$$

$$V_{t,R} = 42.1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{t,R}}{V_t} = \frac{42.1}{26.1} = 1.61$$

In alternativa.....

Tipo di muratura	Type of Masonry	Coefficiente
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	Masonry with soft stone blocks (tuff, calcarenite, etc.)	2.0



$$V_{t,R} = 41.8$$

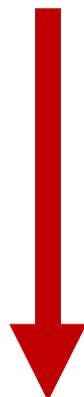
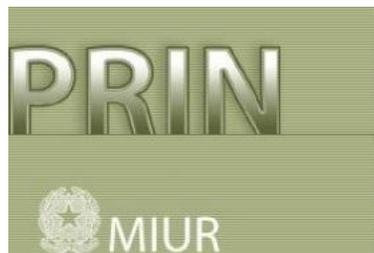
$$\frac{V_{t,R}}{V_t} = \frac{41.8}{26.1} = 1.6$$

RINFORZO DI PANNELLI MURARI MEDIANTE FRCM/CRM: MIGLIORAMENTO STATICO ED ENERGETICO

Il legante Geopolimerico sostituisce parzialmente o completamente il cemento o la calce. L'elevata resistenza del legante consente l'utilizzo di aggregate leggeri.

FRCM: Fabric Reinforced Cementitious Mortar

CRM : Composite Reinforced Mortar

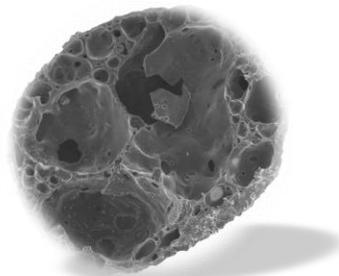


FRGM: Fabric Reinforced Geopolymer Mortar
CRGM: Composite Reinforced Geopolymer Mortar

Expanded glass (recycled)



Expanded Glass
Lightweight Aggregate



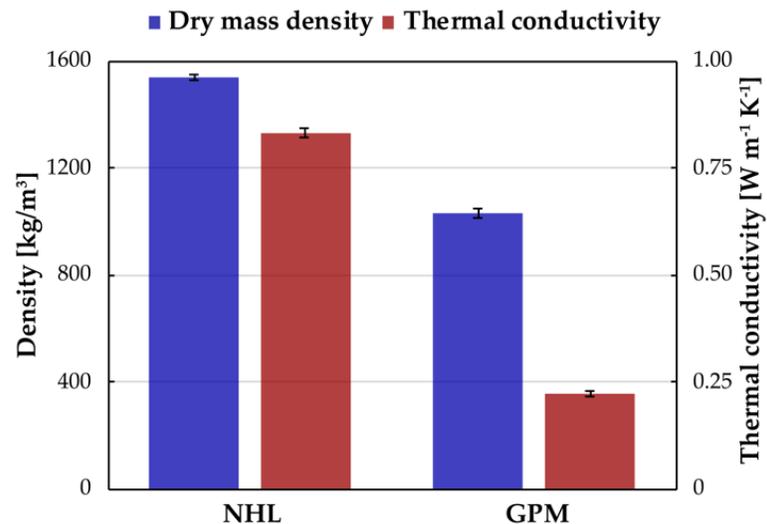
Fly ash (waste)



GEOPOLYMER MATRIX

Label	Dry mass density (ρ)			Thermal conductivity (λ)		
	Mean kg/m ³	CoV ¹ %	ρ_{GPM}/ρ_{NHL} %	Mean W m ⁻¹ K ⁻¹	CoV ¹ %	$\lambda_{GPM}/\lambda_{NHL}$ %
NHL	1540	0.5	66.95	0.830	1.5	26.75
GPM	1031	1.8		0.222	2.7	

¹ Coefficient of Variation.



La densità e la conducibilità termica della malta geopolimerica sono inferiori ai corrispondenti valori della malta di calce

Tabella C8.5.II - Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

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

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

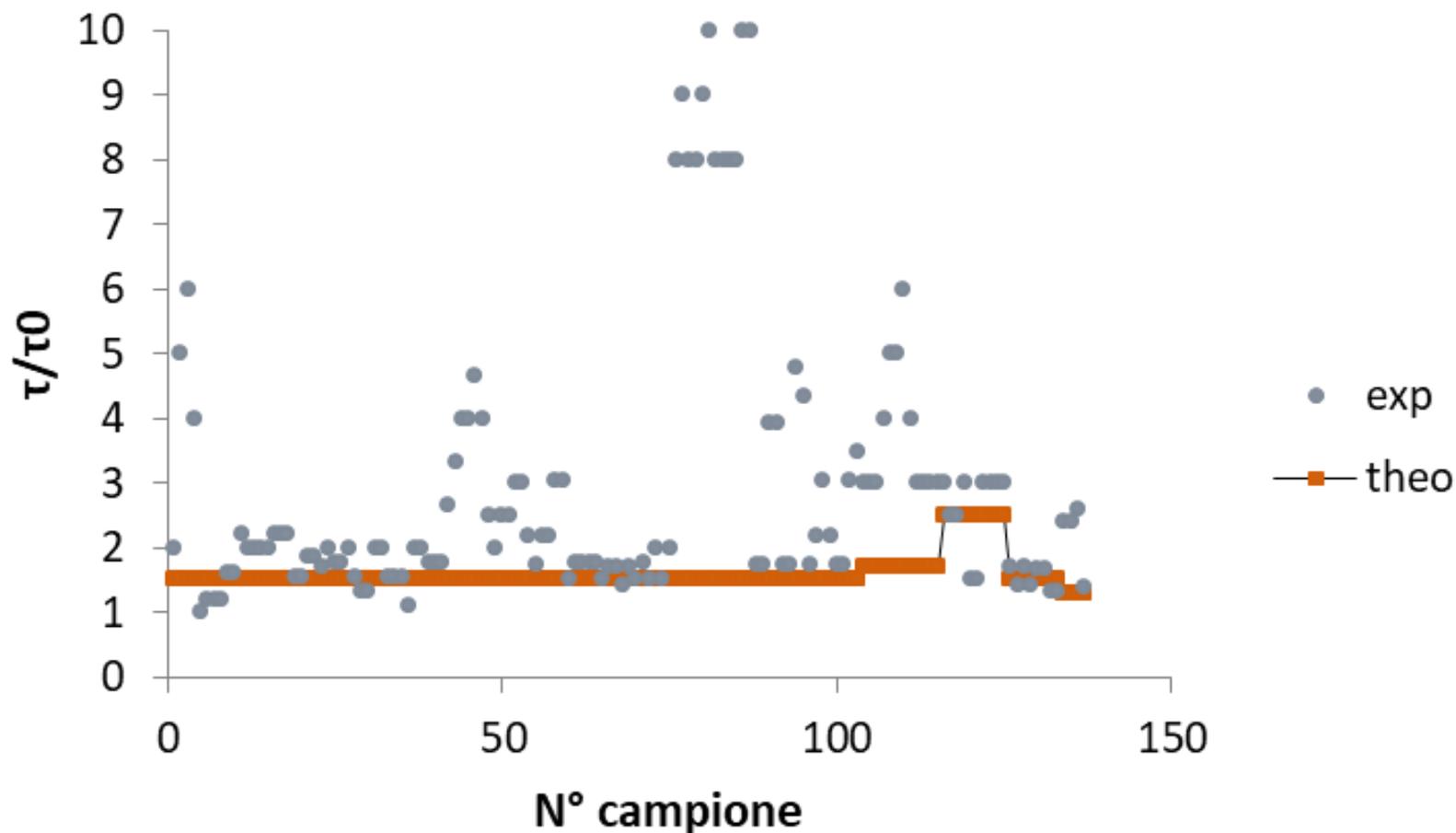
(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

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.

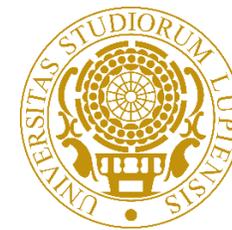
CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7
 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione
 «Aggiornamento delle "Norme tecniche
 e costruzioni"» di cui al decreto
 ministeriale 17 gennaio 2018.



L'INNOVAZIONE NEL SISTEMA DELLE COSTRUZIONI

Grazie per l'attenzione

contatti: antonietta.aiello@unisalento.it



**UNIVERSITÀ
DEL SALENTO**

L'Ateneo tra i due mari

