



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

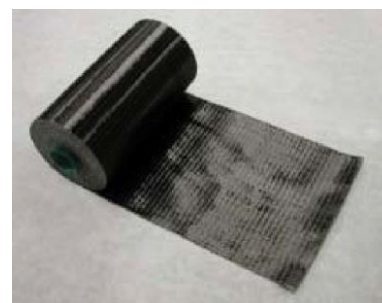


## INTERVENTI CON MATERIALI INNOVATIVI – NTC 2018

### 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.).

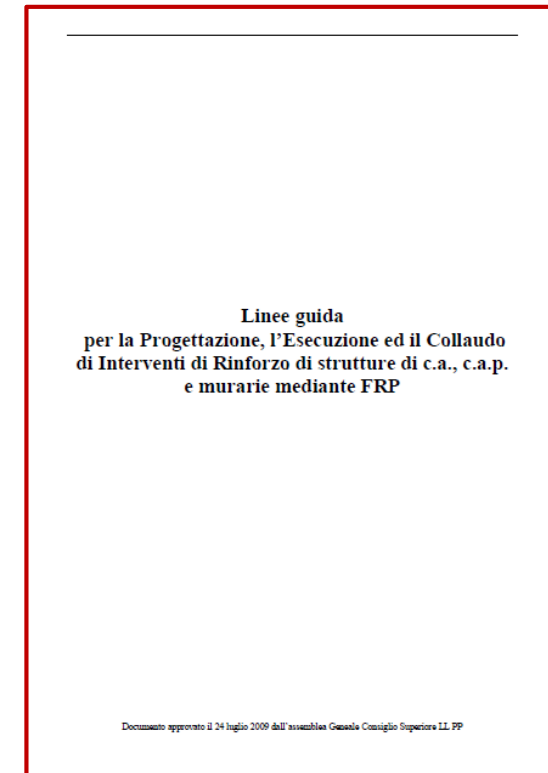
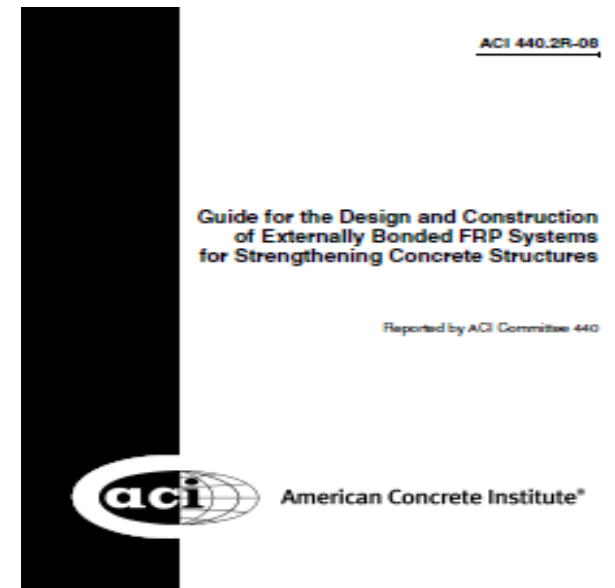
Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopra elencati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

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

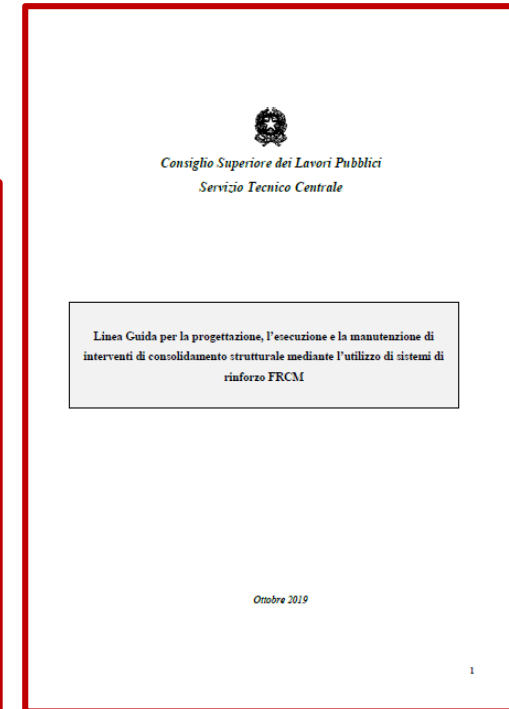
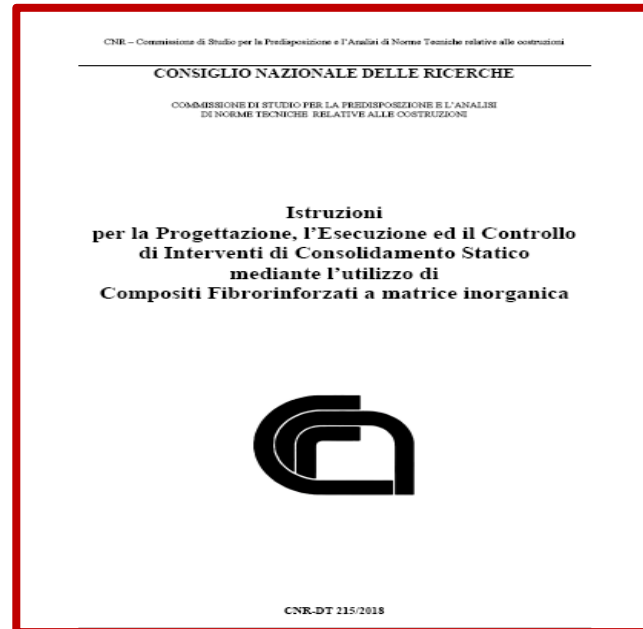
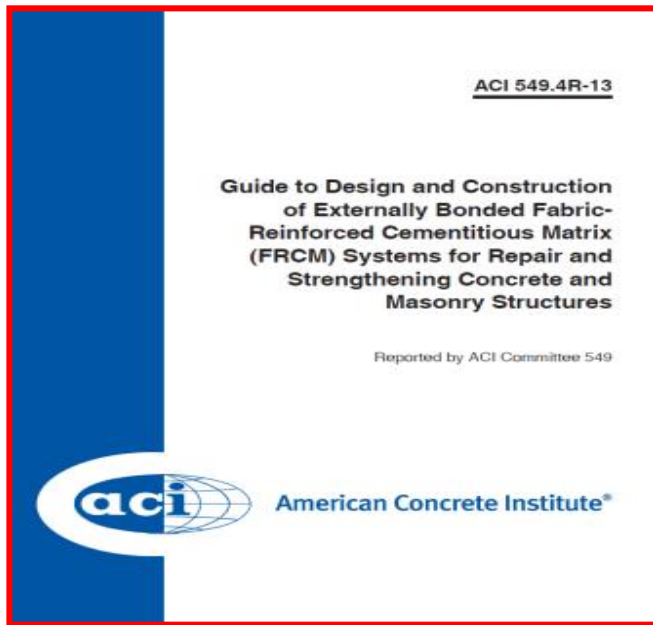
F.R.P. = Fiber reinforced Polymer

**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.

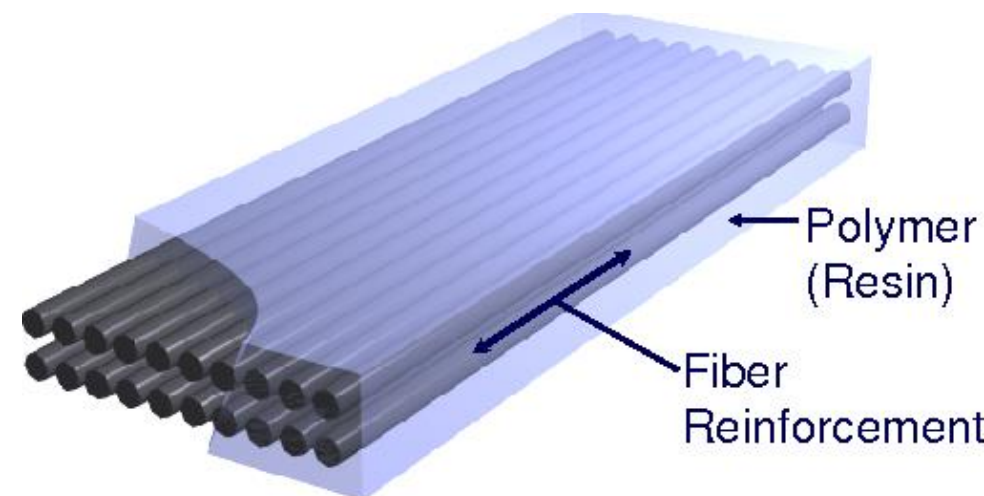
**ADEGUAMENTO  
GLOBALE**

**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....



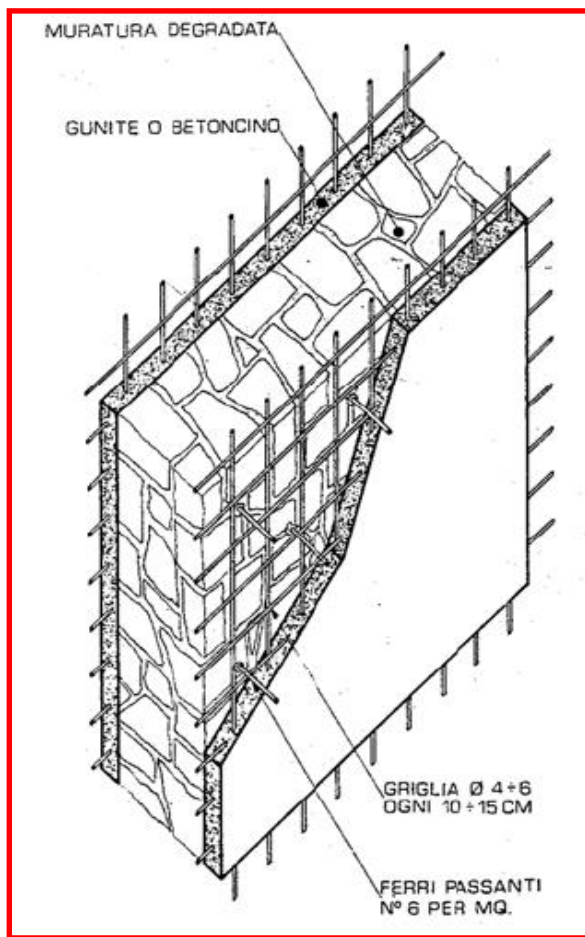
Nicaragua '*taquezal*' :  
Una muratura realizzata con fibre di  
pannocchie a "doppia orditura"



...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

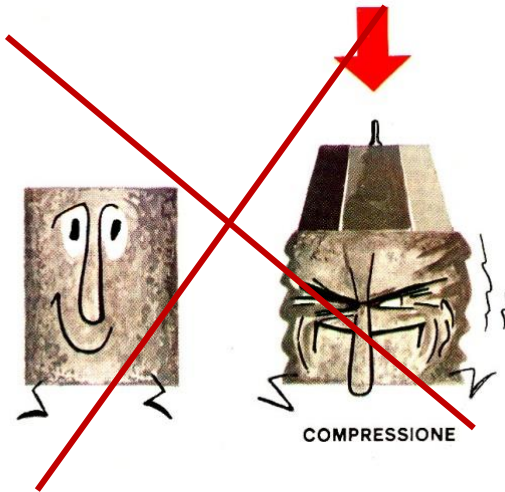


# PROPRIETA' MECCANICHE

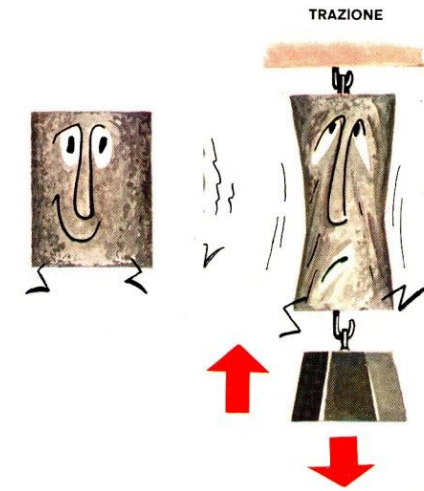
HOW  
DOES IT  
WORK

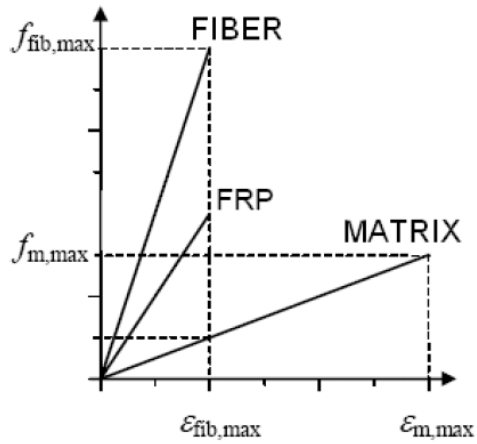


**I materiali compositi sono utilizzati per far fronte a tensioni di trazione**

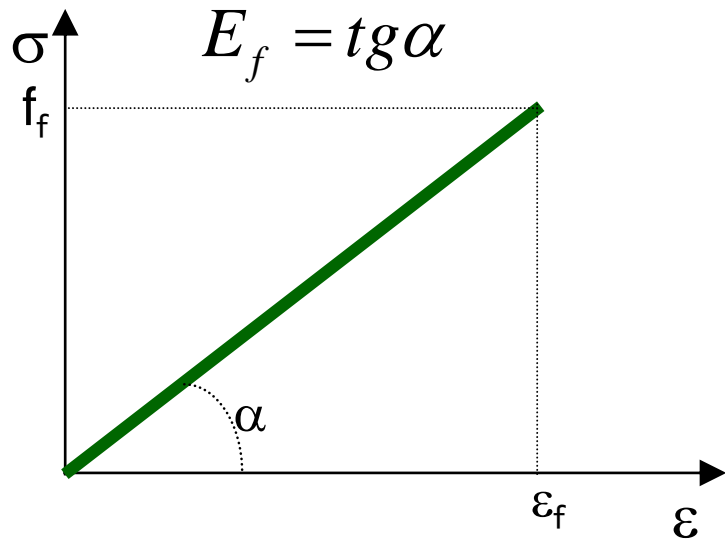
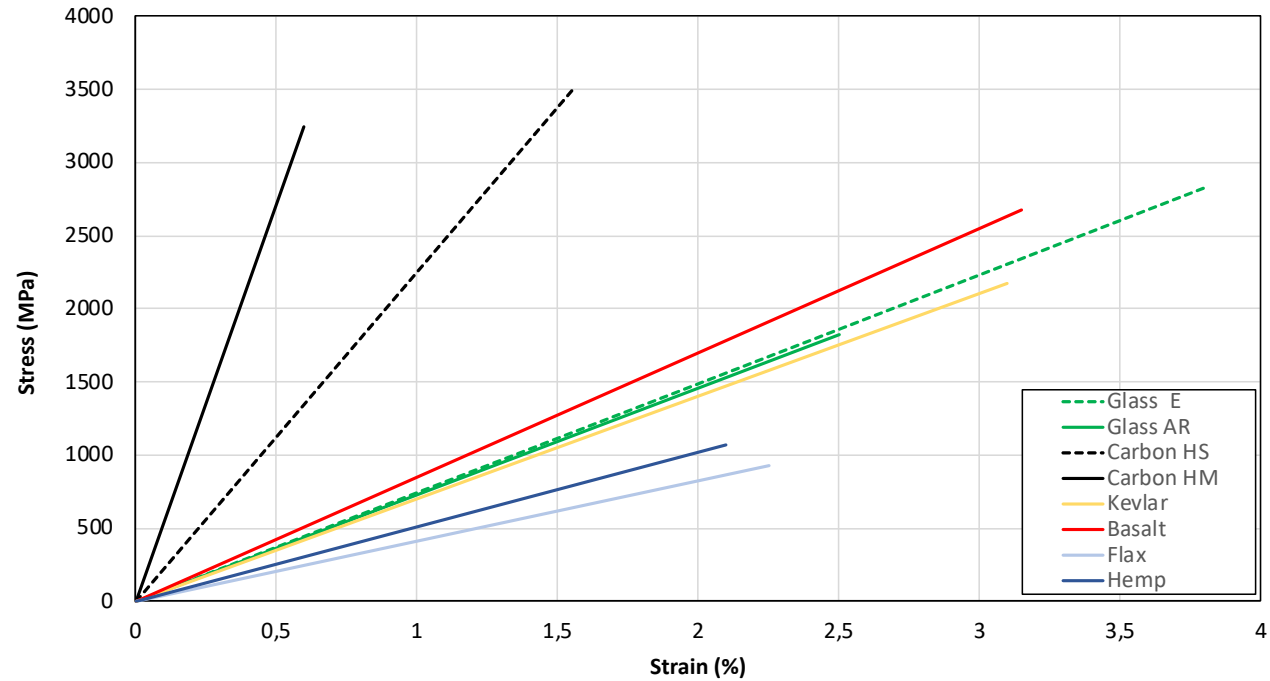


**COMPORAMENTO A BREVE TERMINE  
COMPORAMENTO A LUNGO TERMINE**



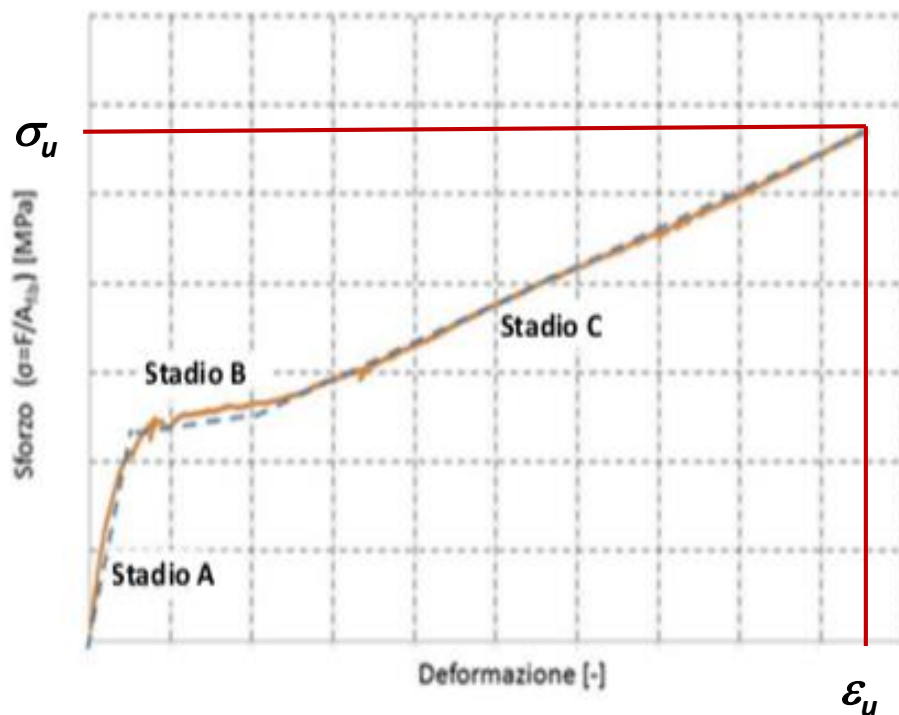


**FRP**



# LEGAME COSTITUTIVO DEL MATERIALE FRCM

- Modulo Elastico del primo tratto (stadio A),  $E_1$  (Valore Medio)
- Tensione Ultima  $\sigma_u$  (Valore Caratteristico)
- Deformazione Ultima  $\epsilon_u$

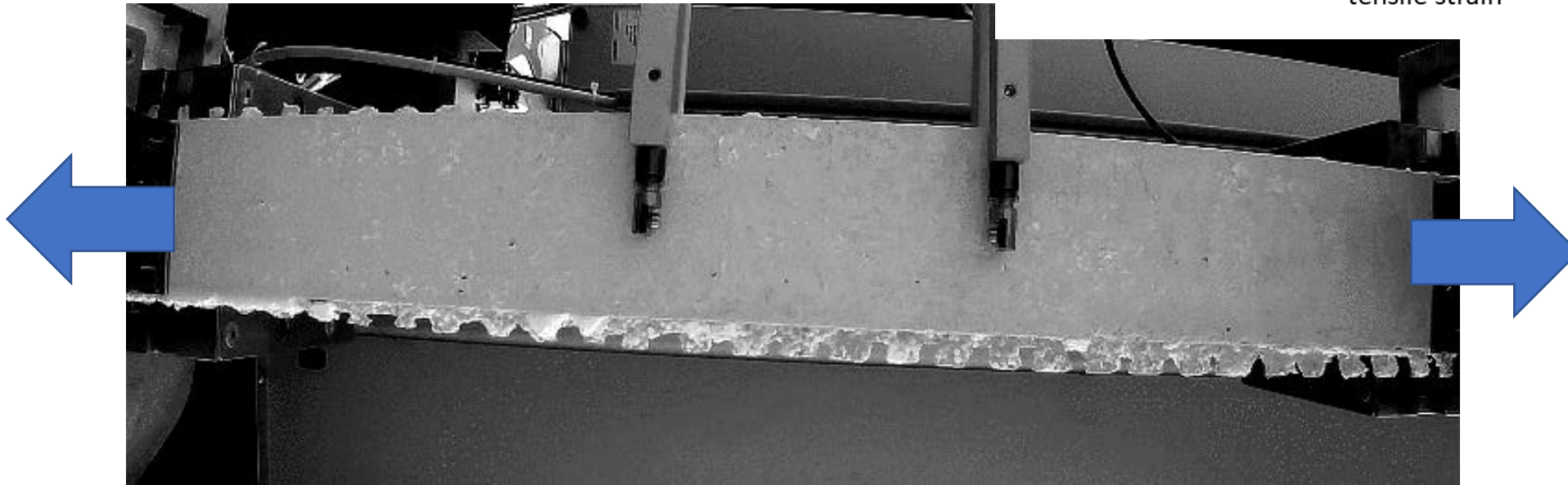
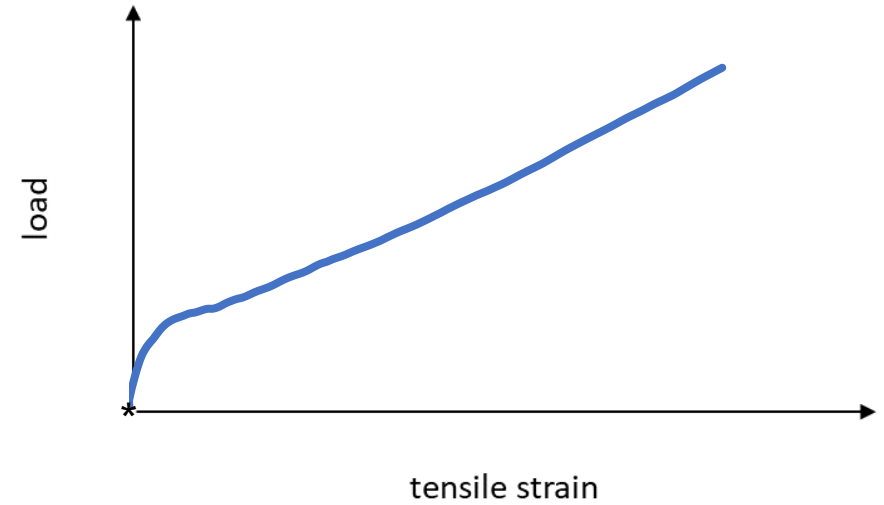


RILEM TC 250-CSM  
Composites for the Sustainable  
Strengthening of Masonry

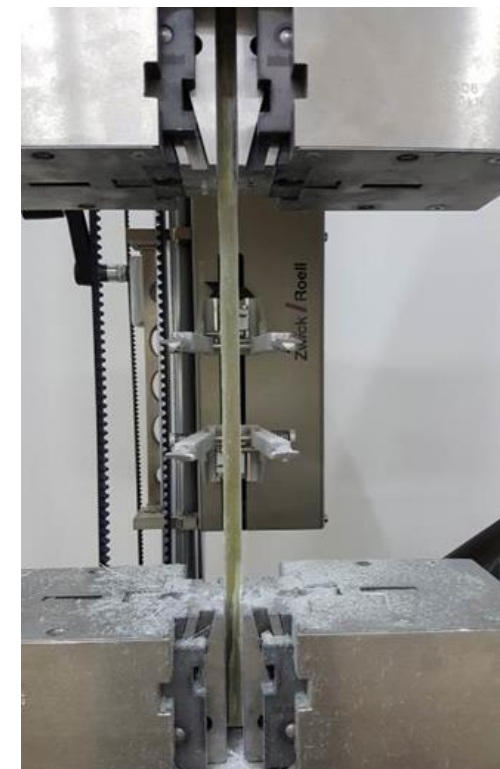
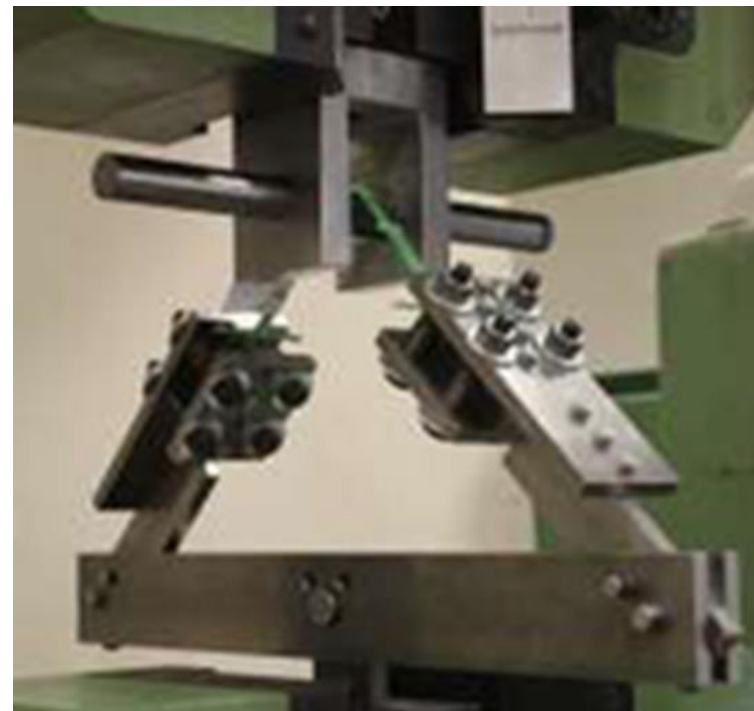
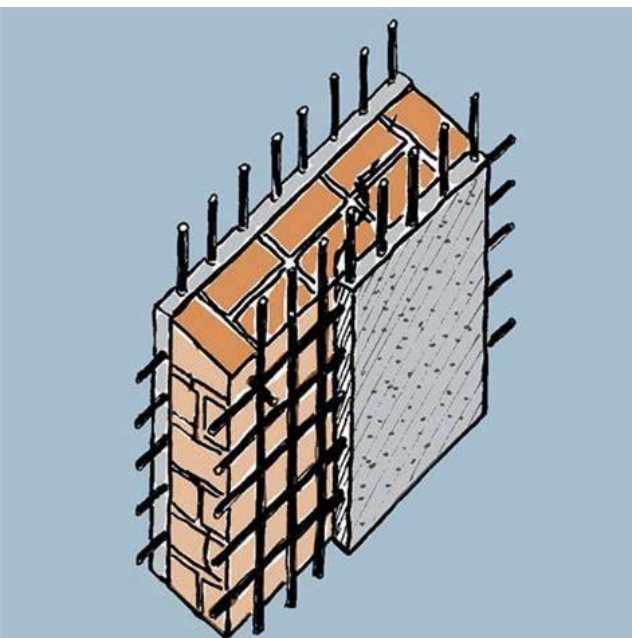


# Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)

*FRCM tensile direct test:*

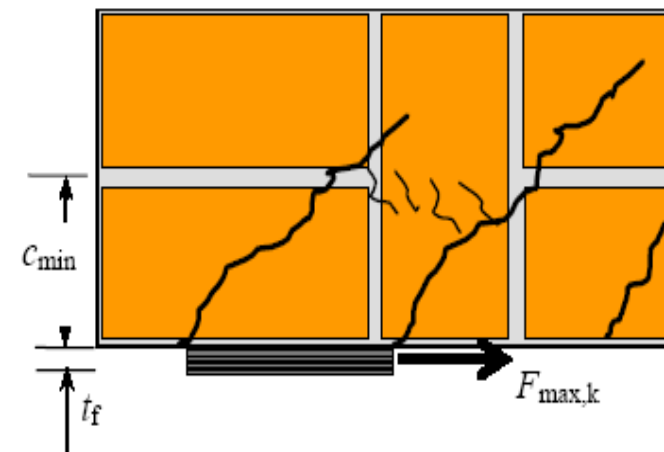
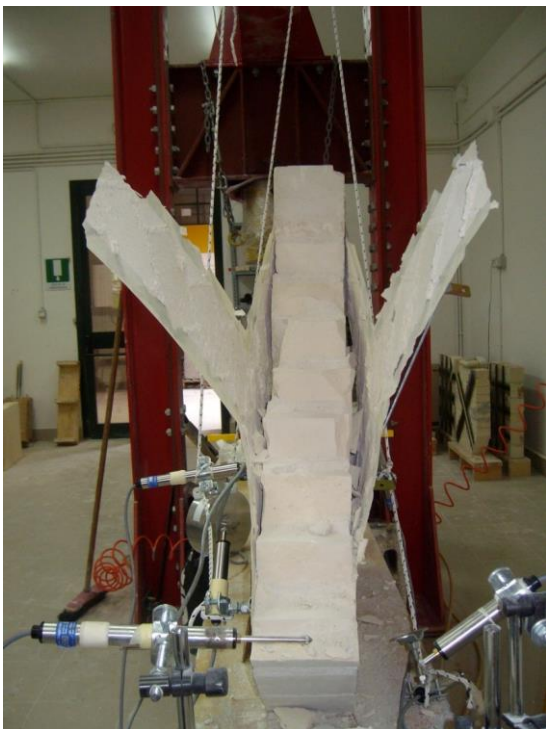


# CRM (Composite Reinforced Mortar)



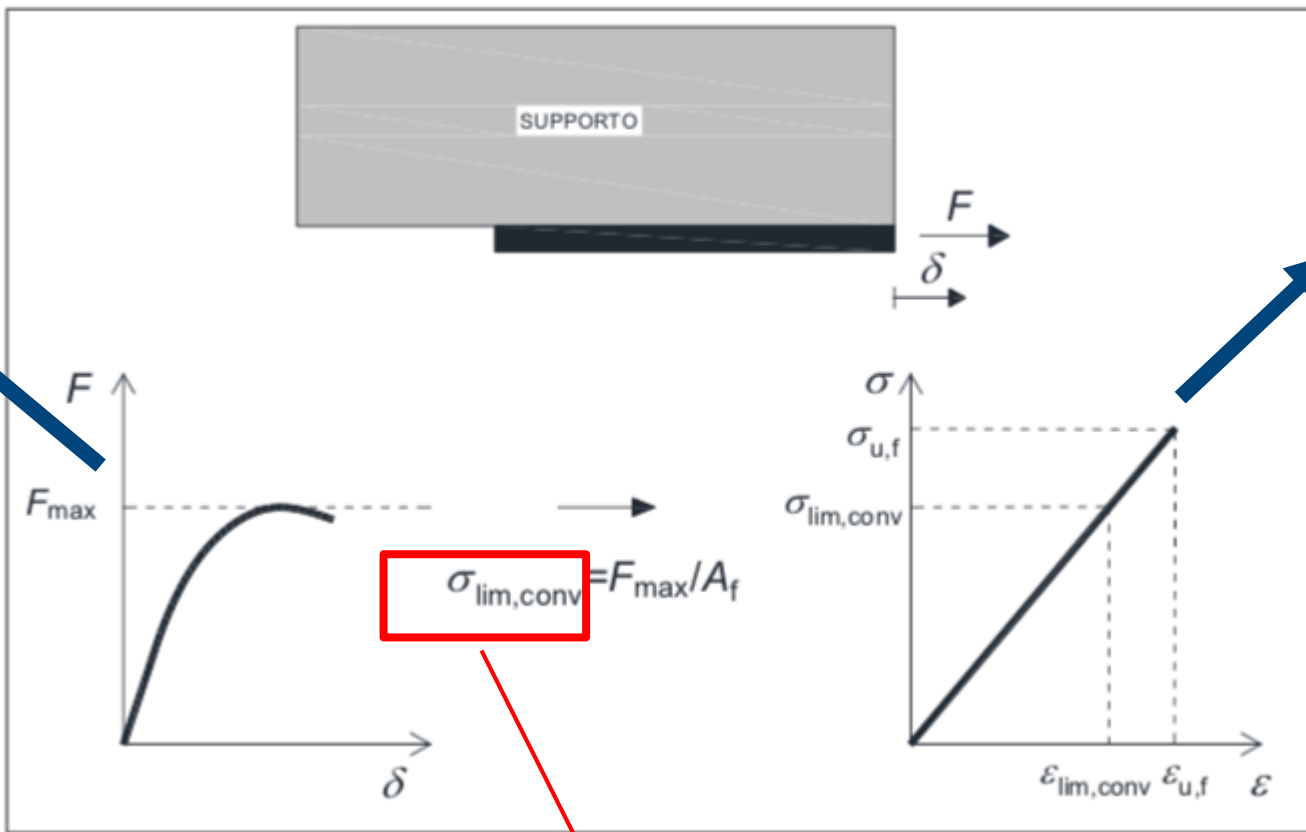


## RESISTENZA ALLA DELAMINAZIONE -FRP



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



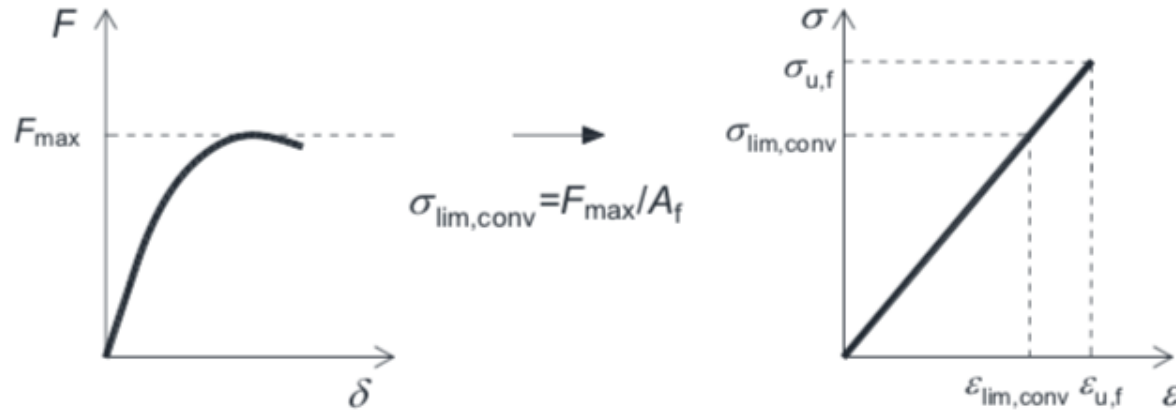
ADERENZA

RETE

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'



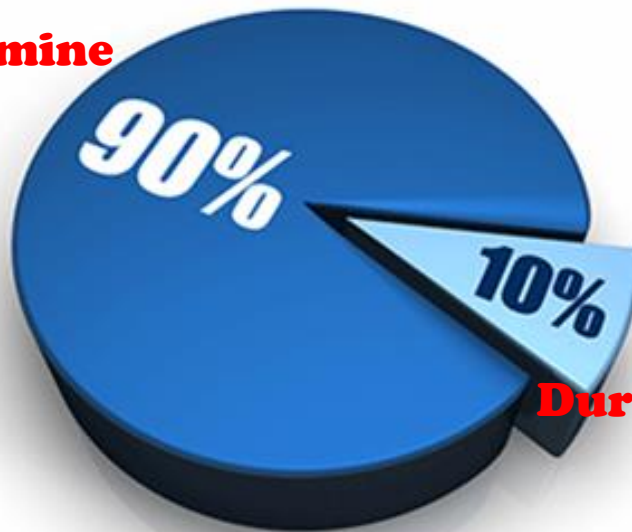
**Breve Termine**

STOP

Program View

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

Step

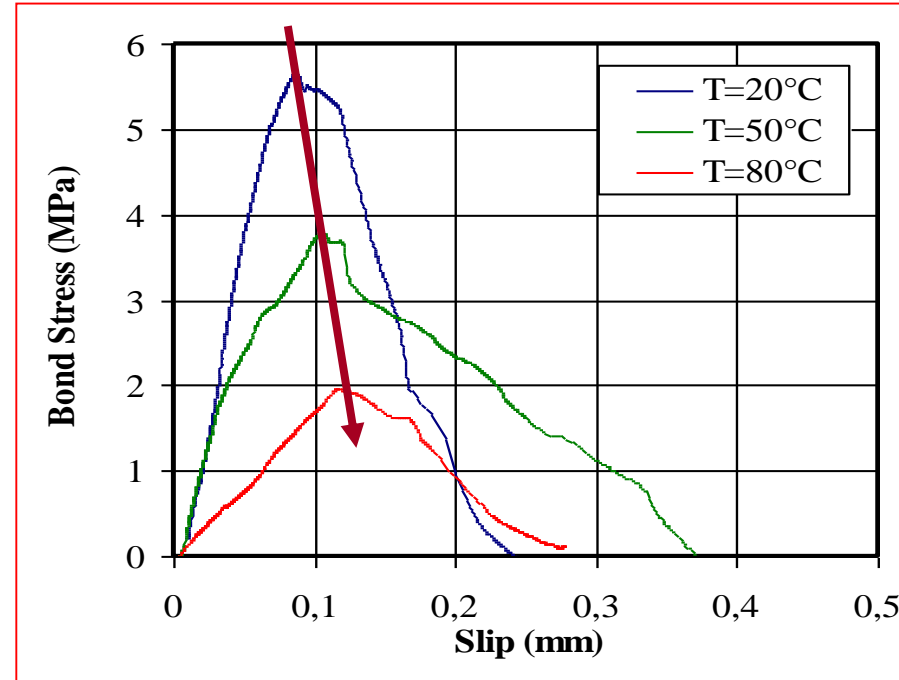
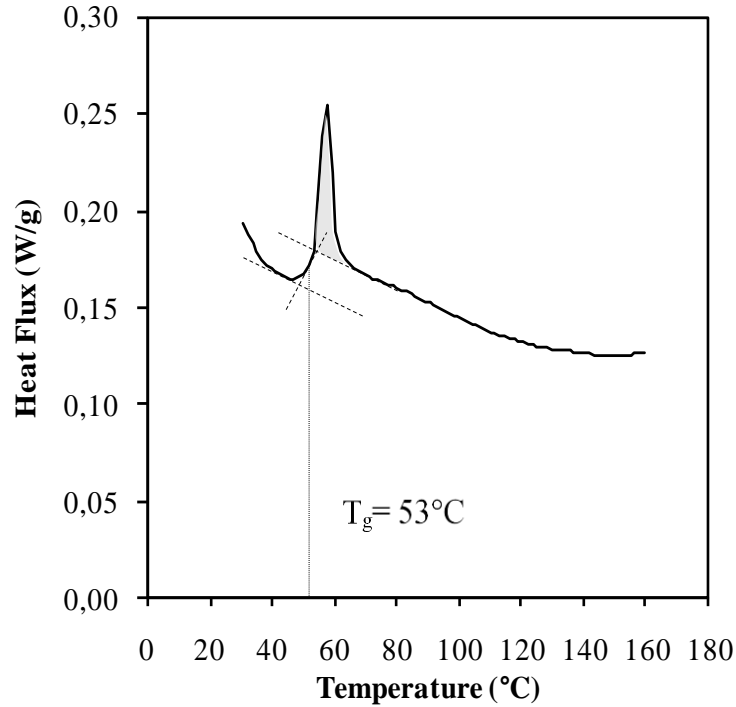


**Durabilità**

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



## CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE

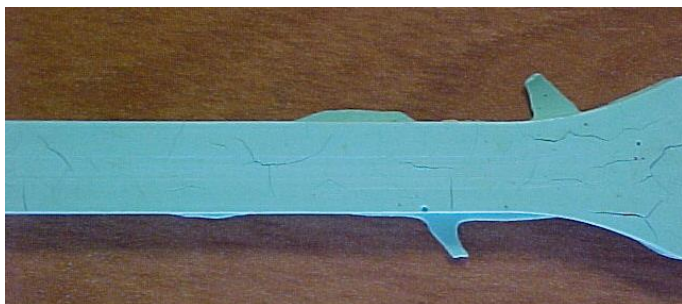


**Il degrado della resina può comportare:**

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

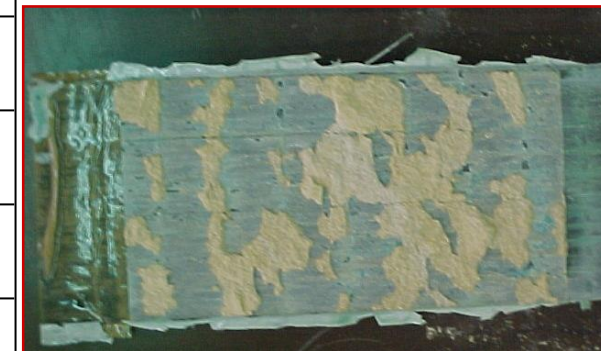
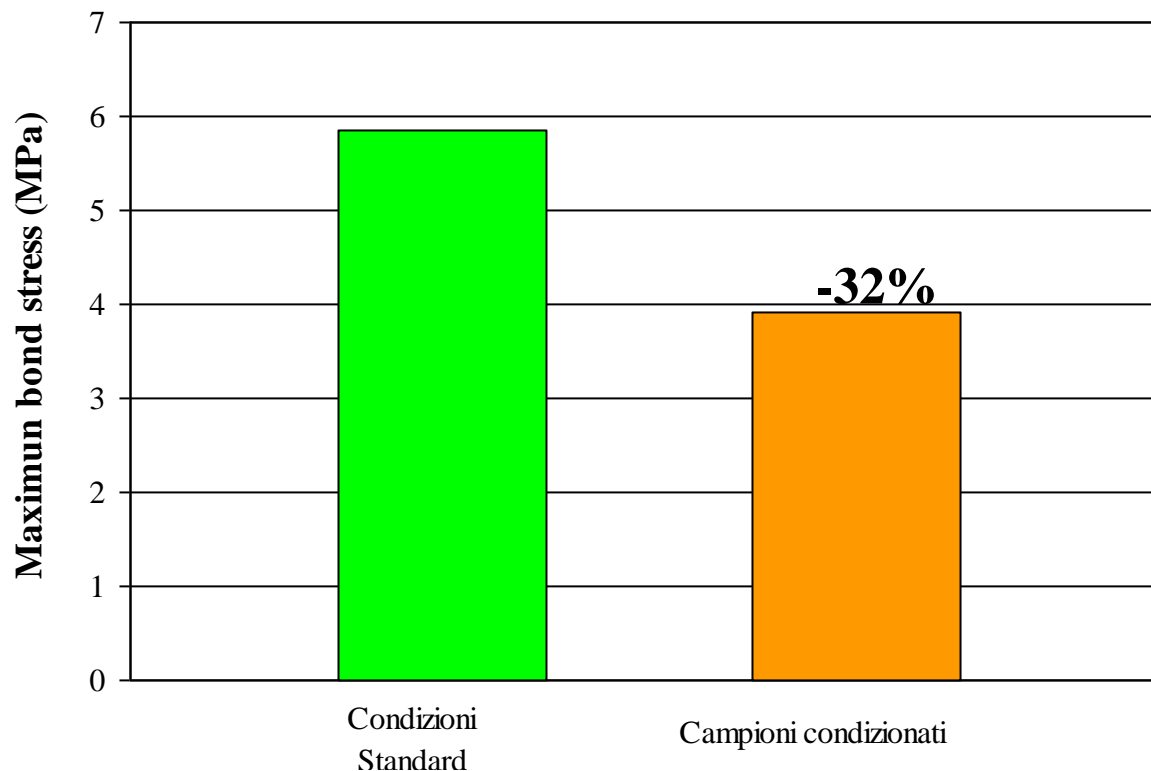
## EFFETTO DELL'UMIDITA' (100%) SULLA Tg

GIORNI DI IMM. (gg)	Tg (°C)	$\Delta H_{rilas}$
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



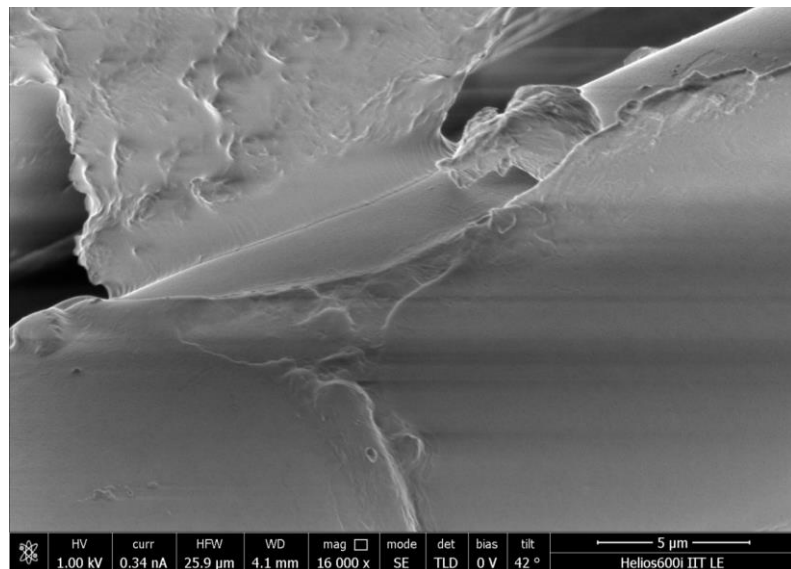
## Aderenza FRP-muratura

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

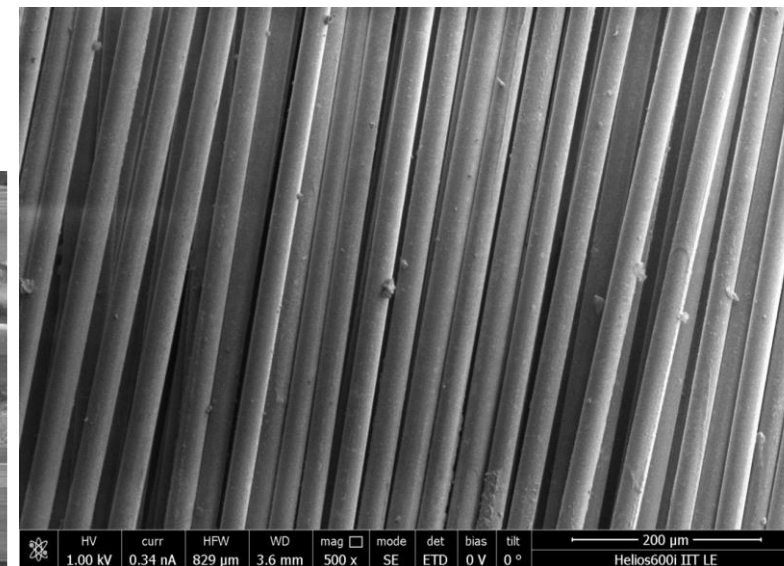


## EFFETTO DELL'AMBIENTE ALCALINO

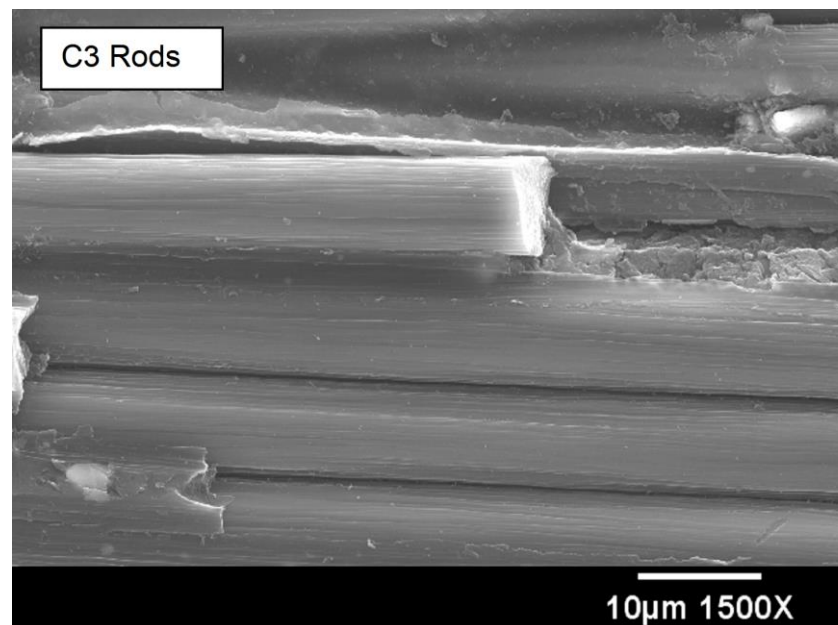
### FIBRE DI VETRO E



### FIBRE DI VETRO AR

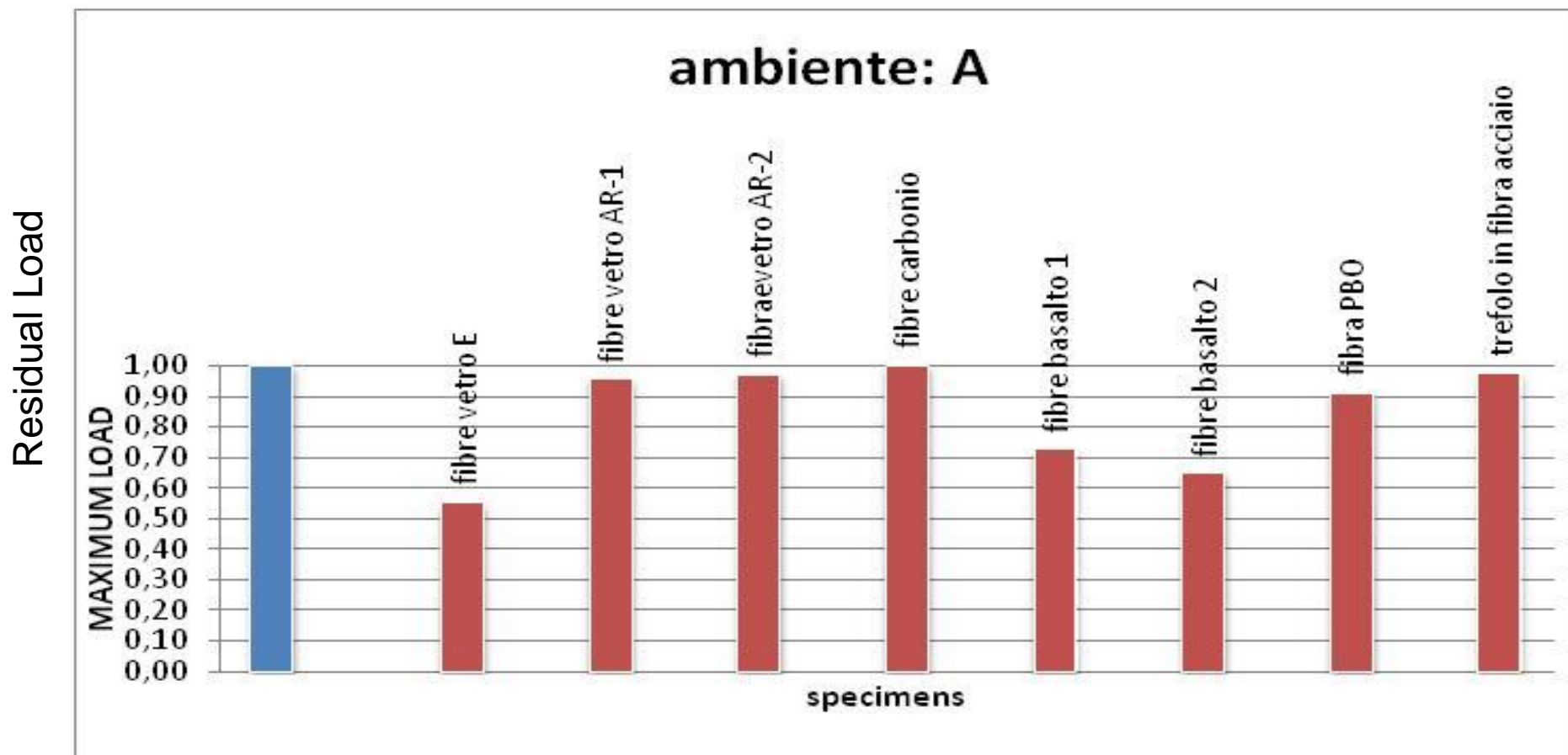


### FIBRE DI CARBONIO





## 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	$\eta_a$
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

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

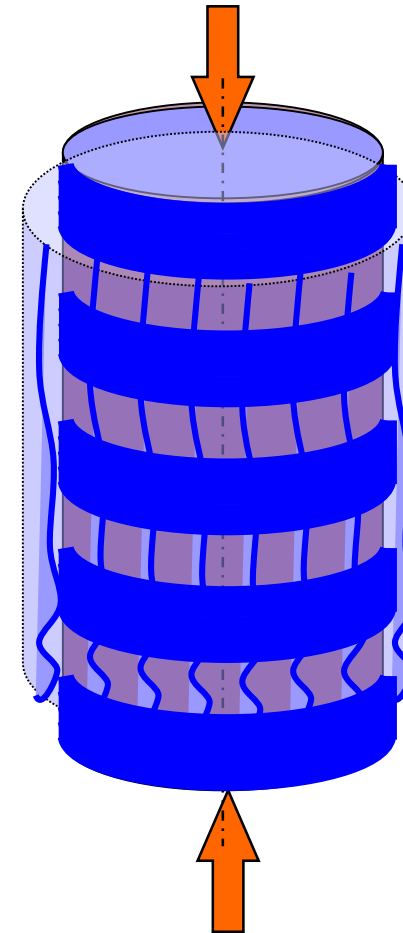
Tabella 3.1 – Fattori di conversione ambientale.

- 1.5 per SLU
- 1.0 per SLE

# Confinamento di elementi compressi

Per limitare la dilatazione trasversale

Confinamento con materiali resistenti a trazione



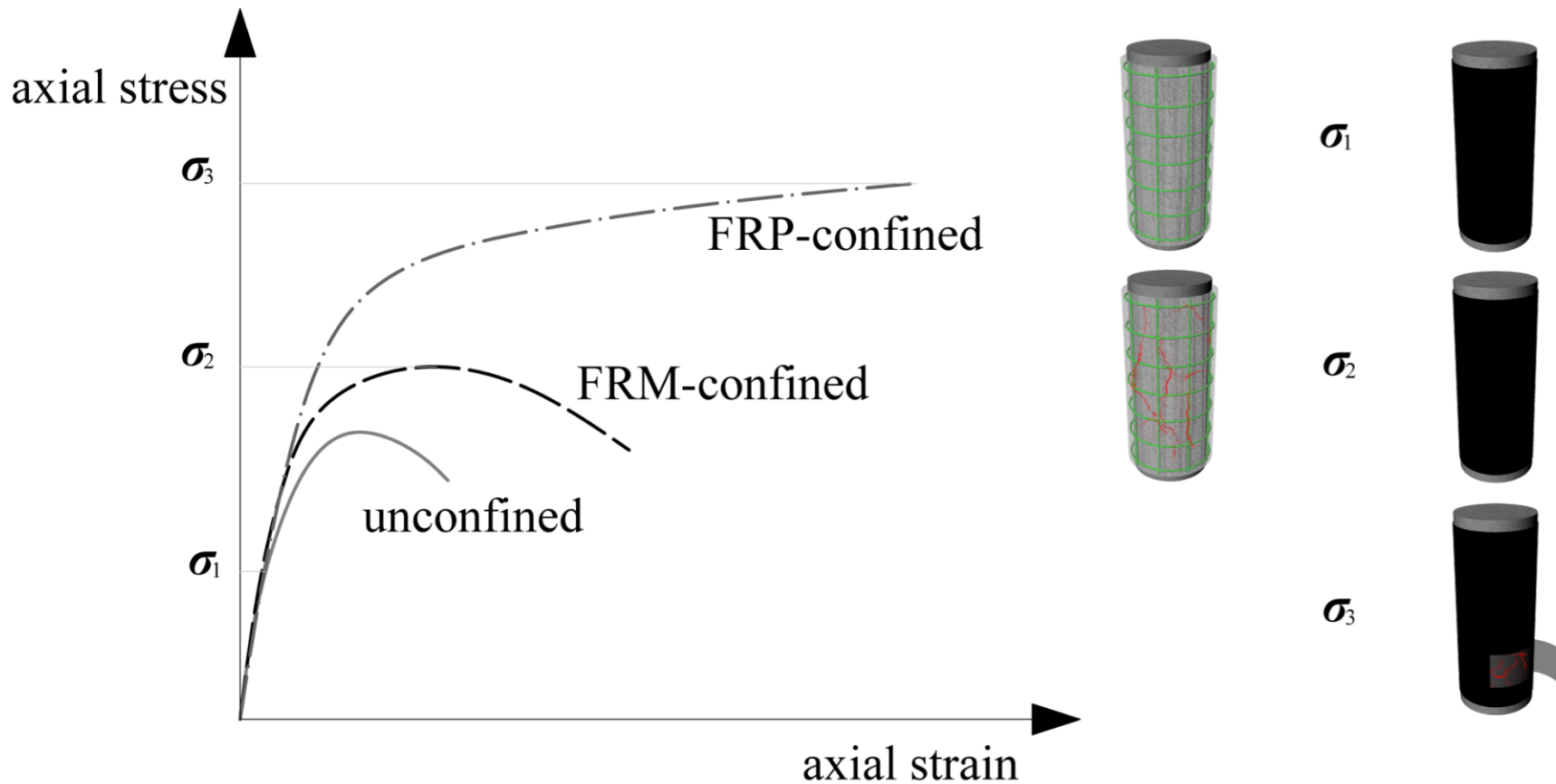
# CONFINAMENTO DI COLONNE

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



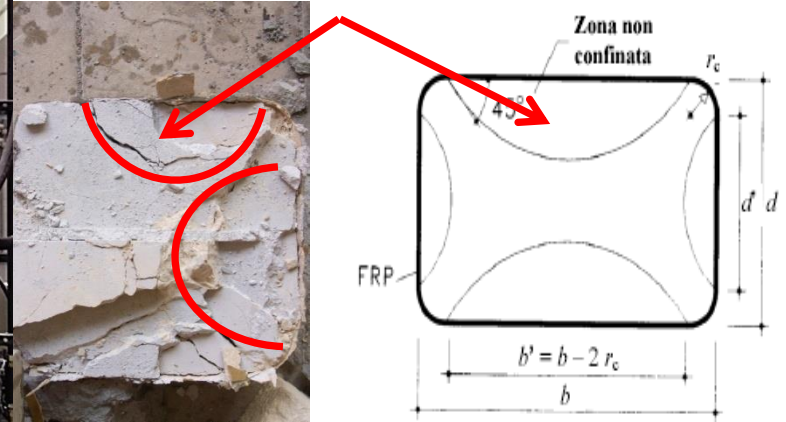
## RELAZIONI PROGETTUALI

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:

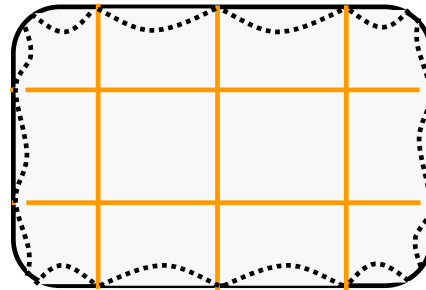
$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md}$$

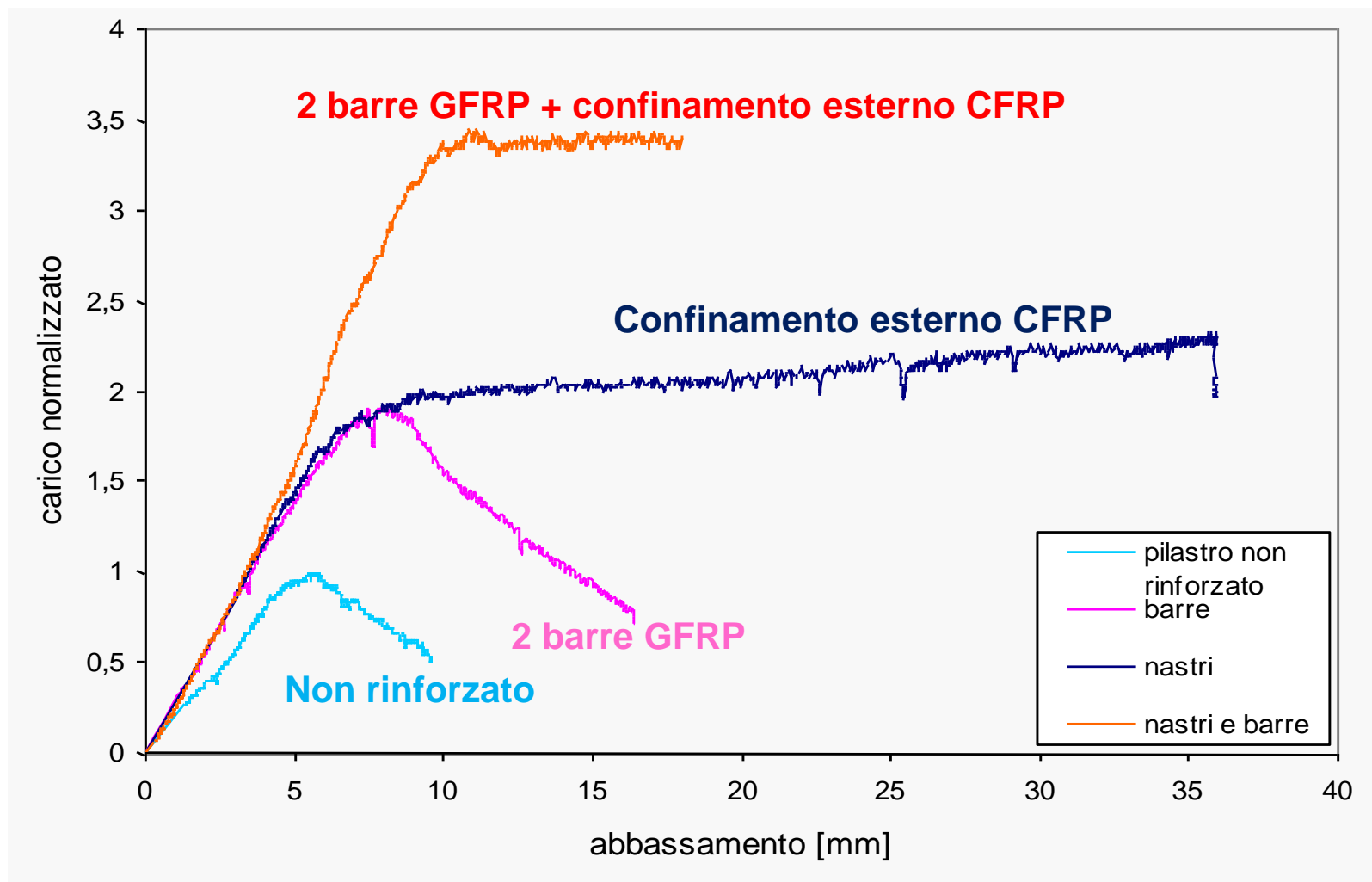
$$\frac{f_{mcd}}{f_{md}} = 1 + k' \left( \frac{f_{l,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_1}$$





FRP bars





# Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



**FRCM-M4**

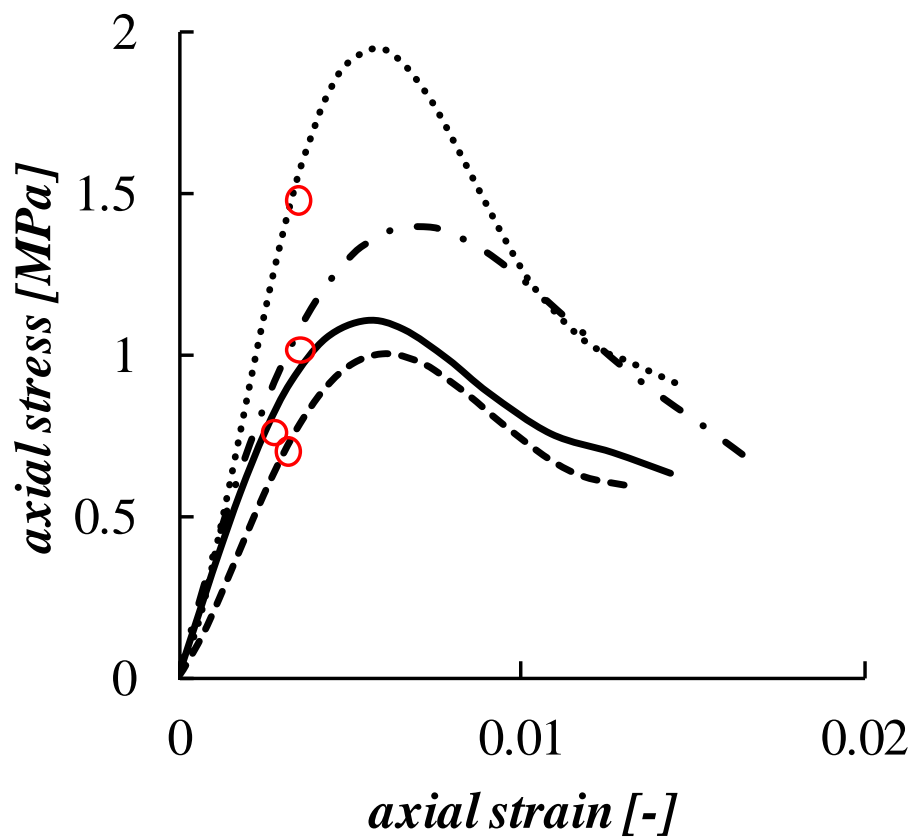


**FRCM-M7**



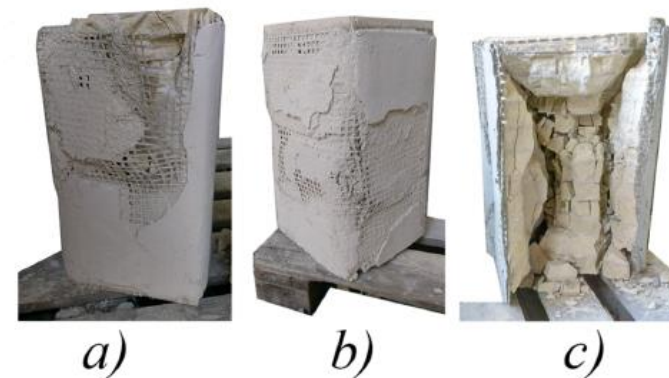
**FRCM-M23**

# Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



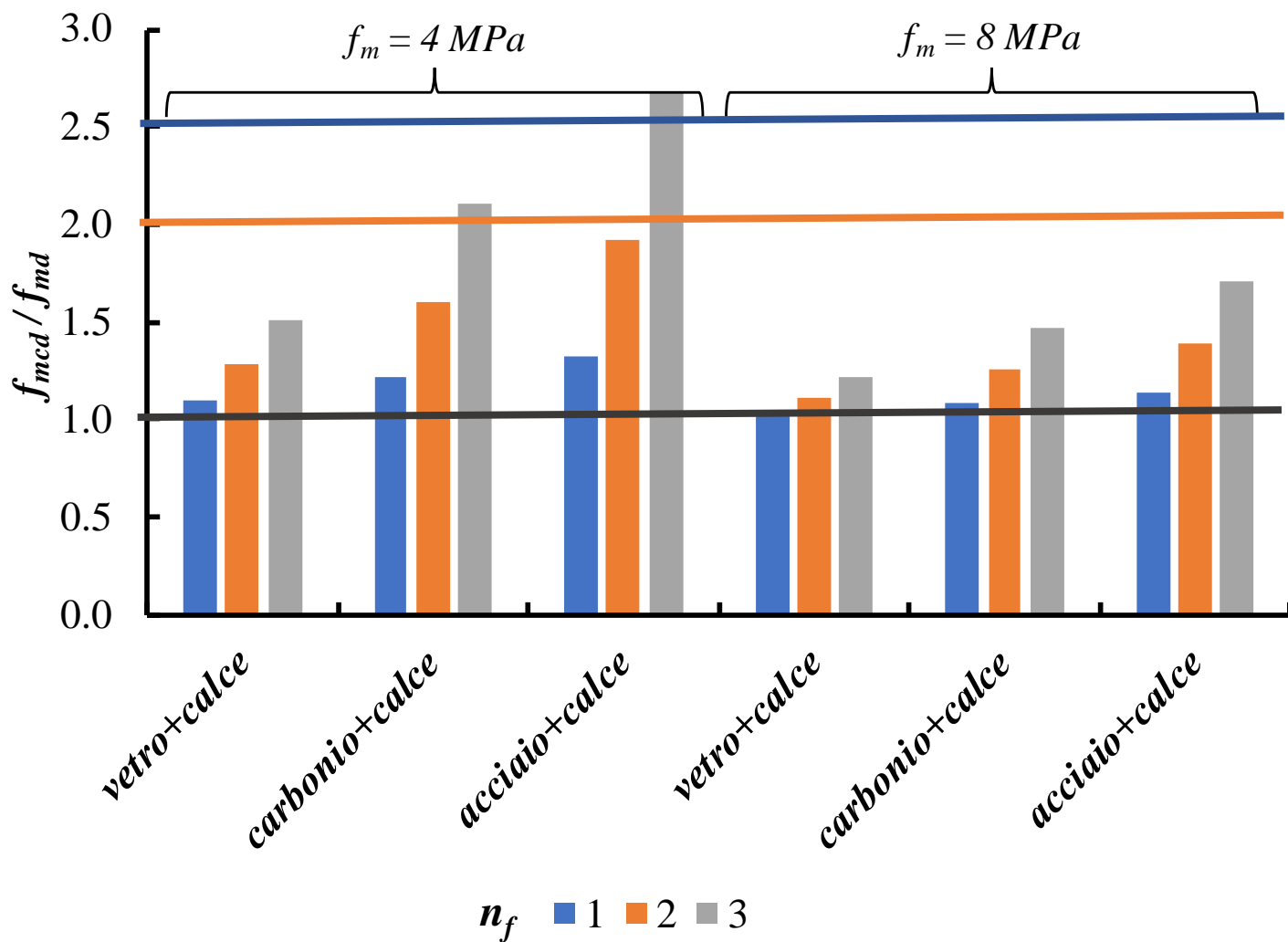
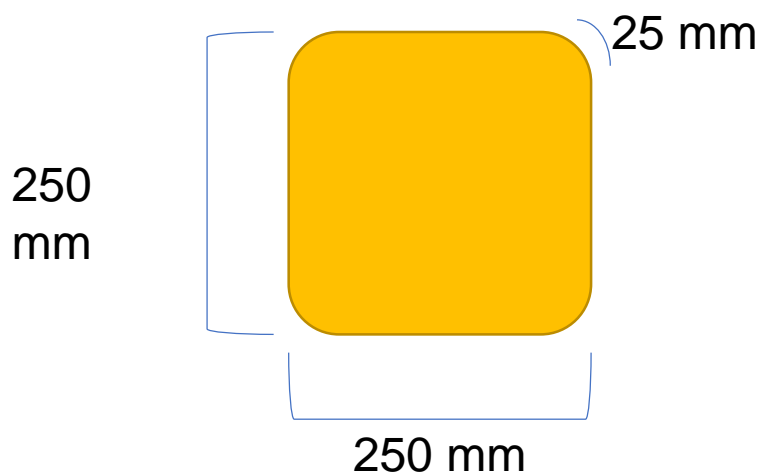
*first crack*

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



# Esempi di progettazione su colonne in MURATURA

\* Valore riferito ad un singolo strato di FRCM



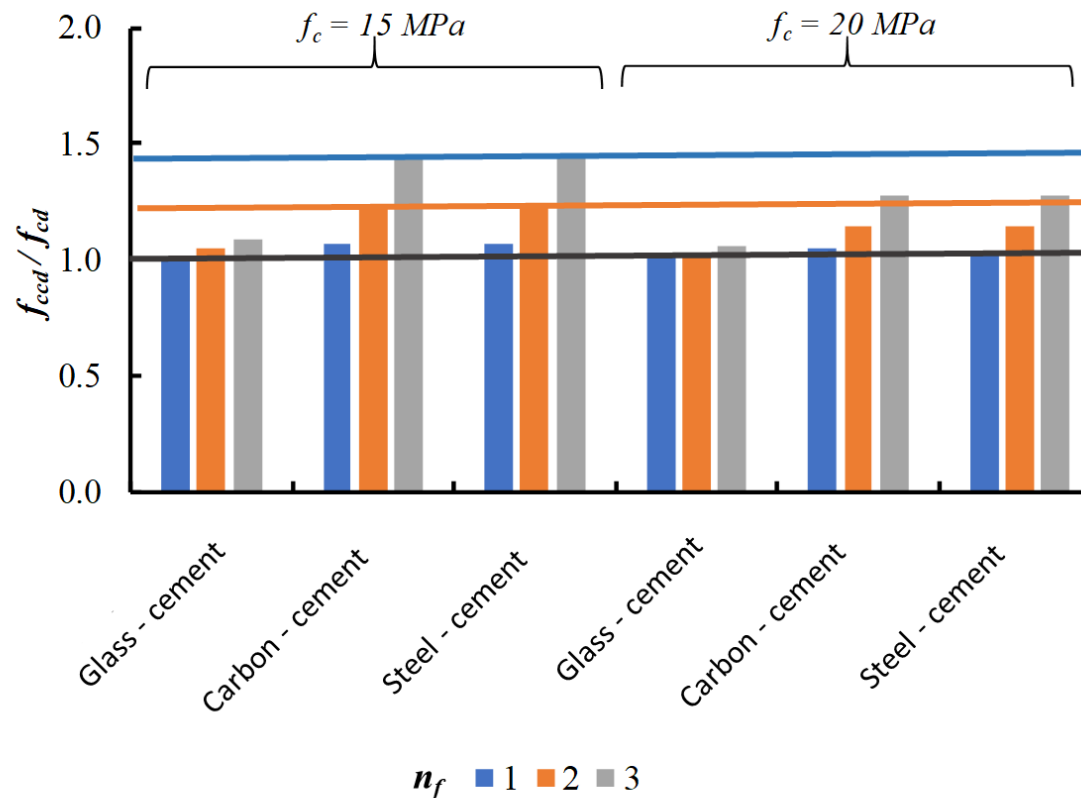
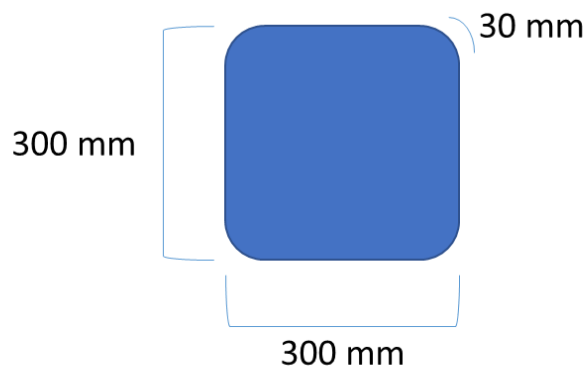
**vetro+calce**  
 $f_{cmat} = 8 \text{ MPa}$   
 $t_{mat} = 10 \text{ mm} *$   
 $E_f = 95 \text{ GPa}$   
 $t_f = 0.03 \text{ mm}$

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

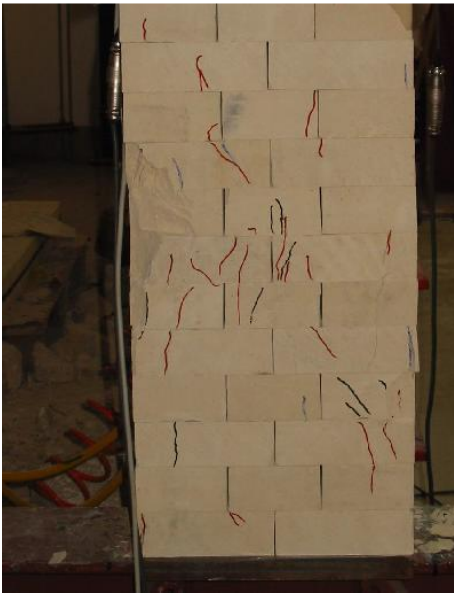
# Design examples for RC columns

\* 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

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

resistenza di progetto a compressione della muratura

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

forza assiale massima

$$i := 1.3$$

incremento di capacità

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

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

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

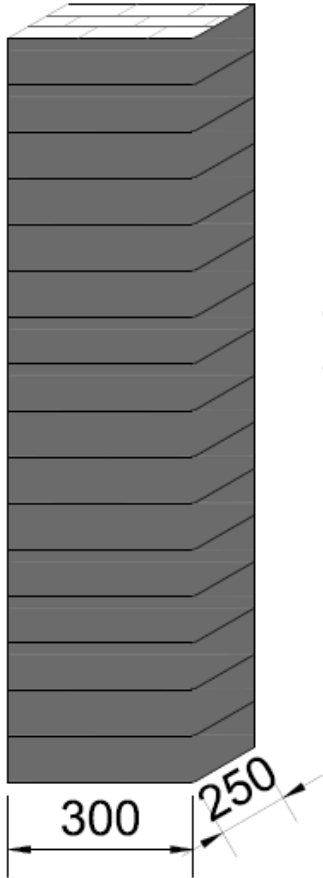
$$\text{verifica} := \begin{cases} \text{"ok"} & \text{if } \frac{N_{Rmcd3}}{N_{Rmd}} > 1.3 \\ \text{"rinforzo insufficiente"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\zeta = 1.30$$



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

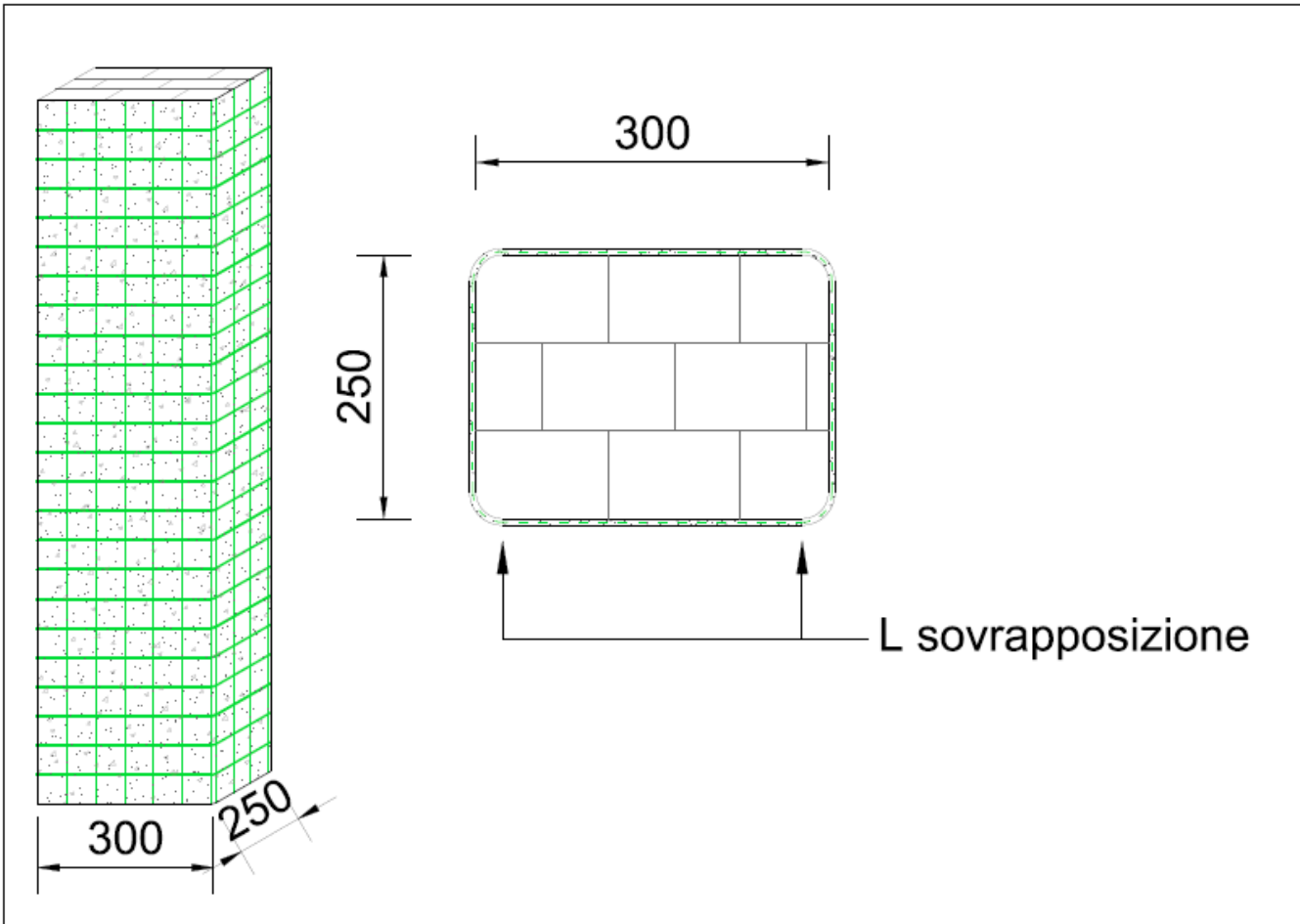
$$N_{Rmcd3} := A_m \cdot f_{mcd} = 213.382 \text{ kN}$$

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

$$\zeta = 1.52$$

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

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

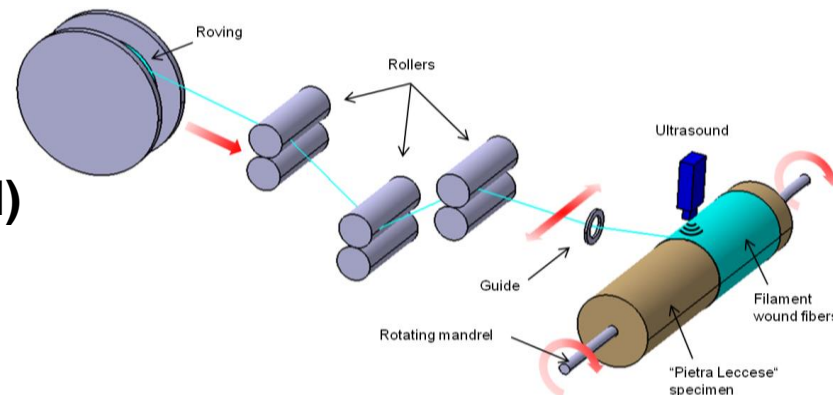
deformazione di rottura della fibra a trazione

$\zeta=1.45$

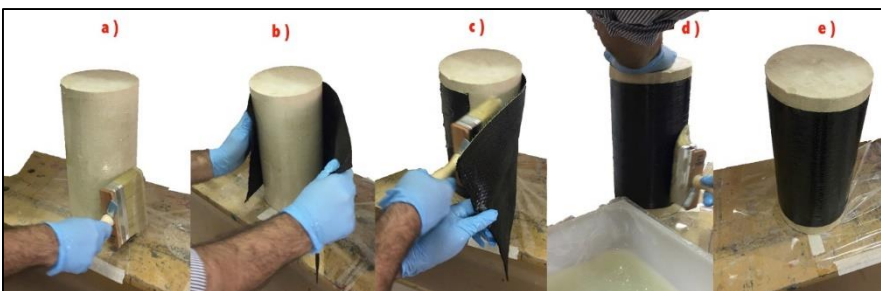
# OBIETTIVO: confinamento di colonne con compositi di tipo FRP in maniera reversibile



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

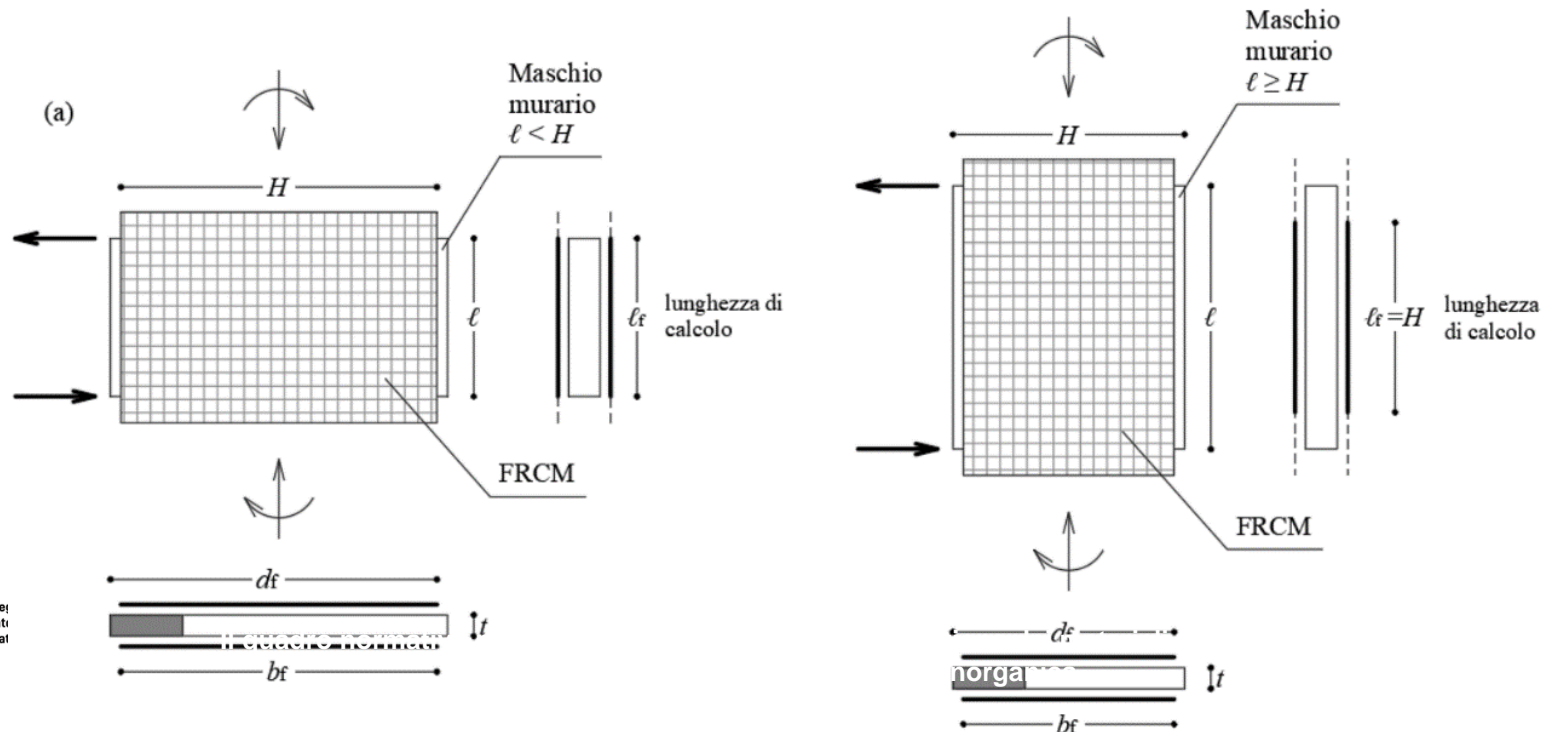
$$V_{t,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot n_f \cdot t_{VF} \cdot \ell_f \cdot \alpha_t \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_f$$

Resistenza a trazione del rinforzo fibroso

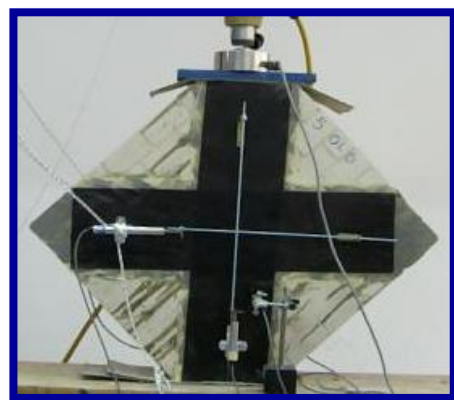
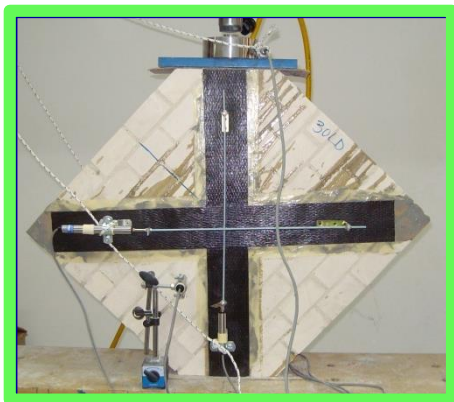
Fattore parziale di sicurezza assunto pari a 2.0

Area netta del rinforzo

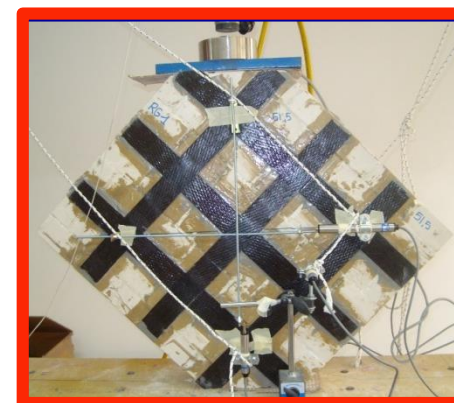
Coefficiente che tiene conto della ridotta resistenza a trazione delle fibre sotto sforzo di taglio



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



PANNELLI	$T_{MAX}$ (MPa)	$\Delta T$ (%)	$\Delta T_{medio}$ (%)
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%	

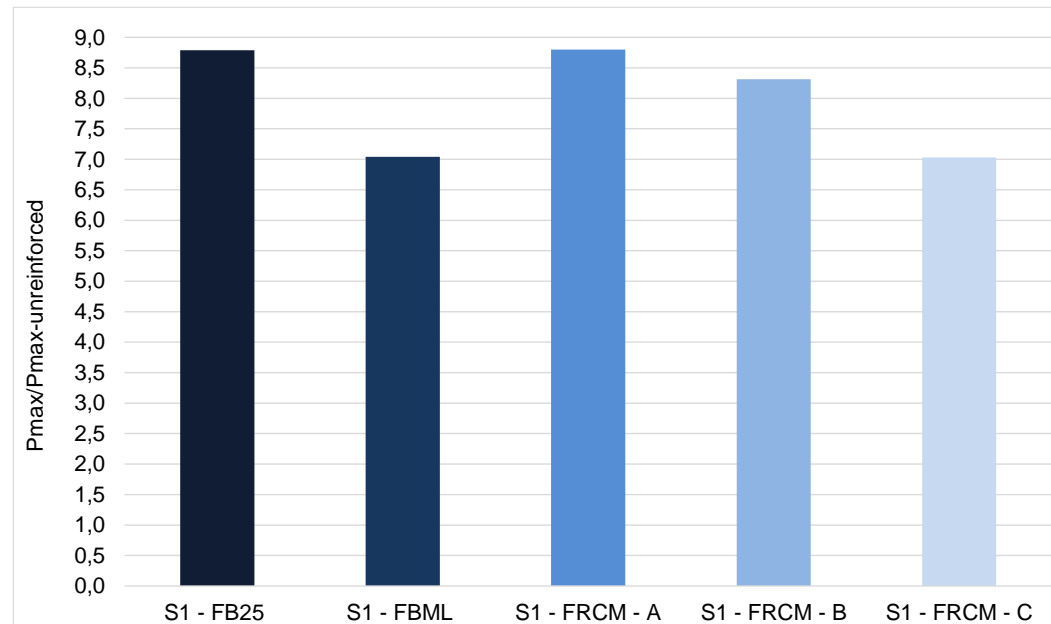
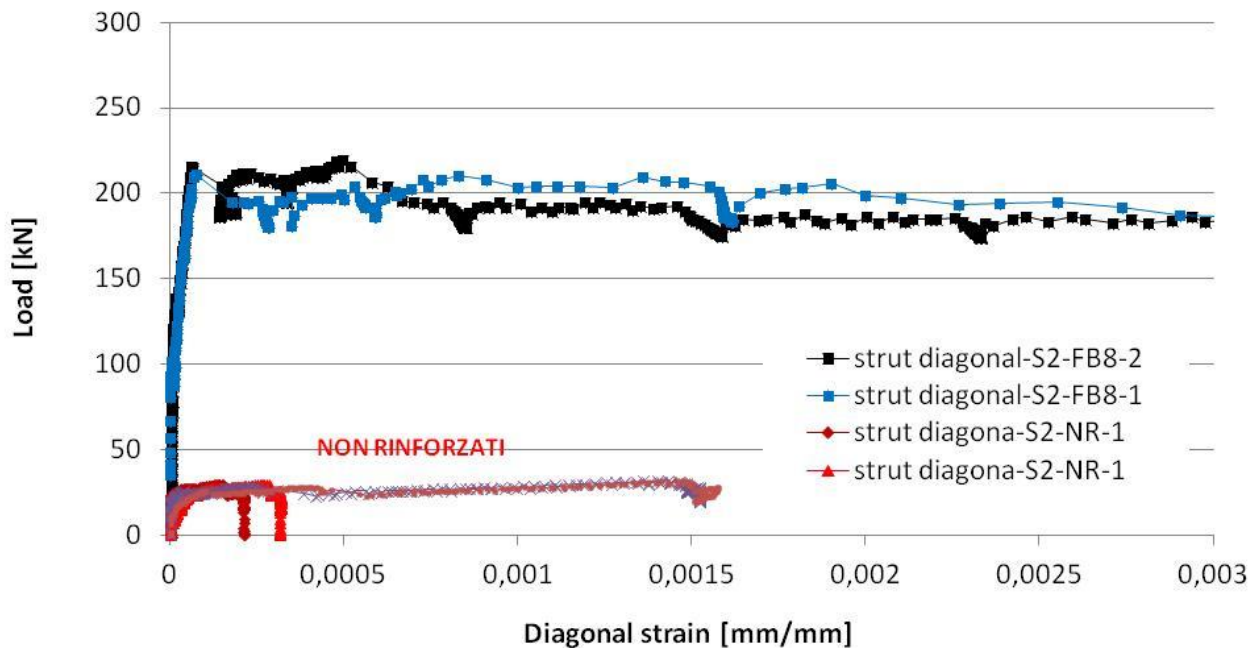


## PANNELLI RINFORZATI CON FRCM/CRM





**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

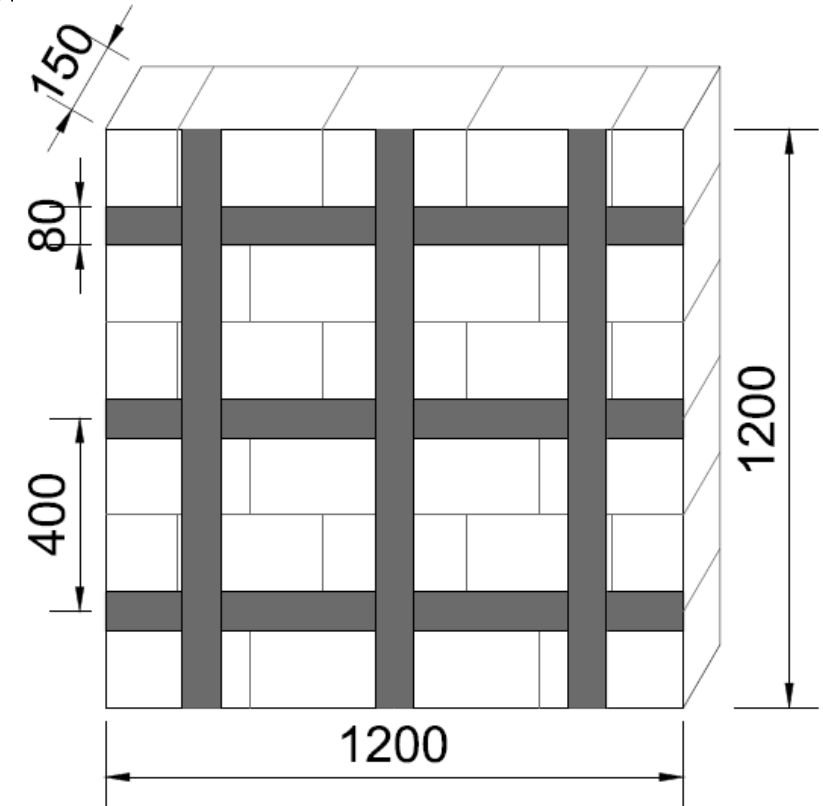
$FC := 1.2$

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

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

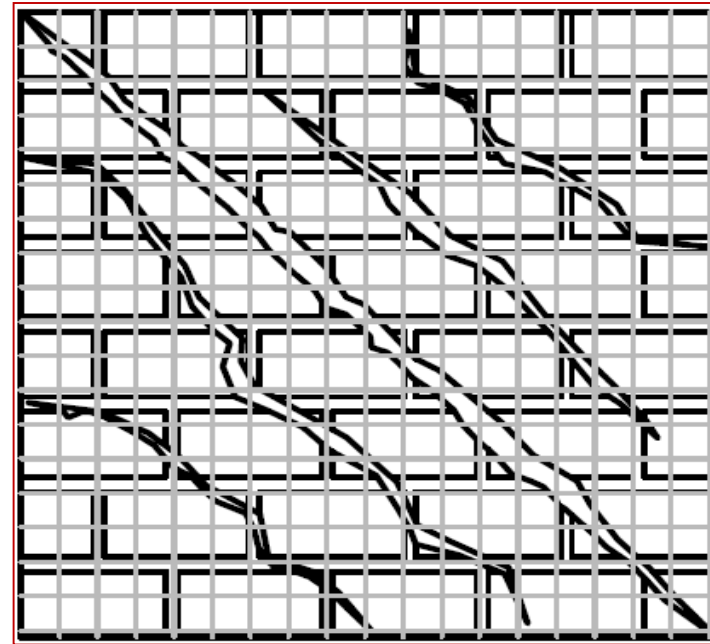
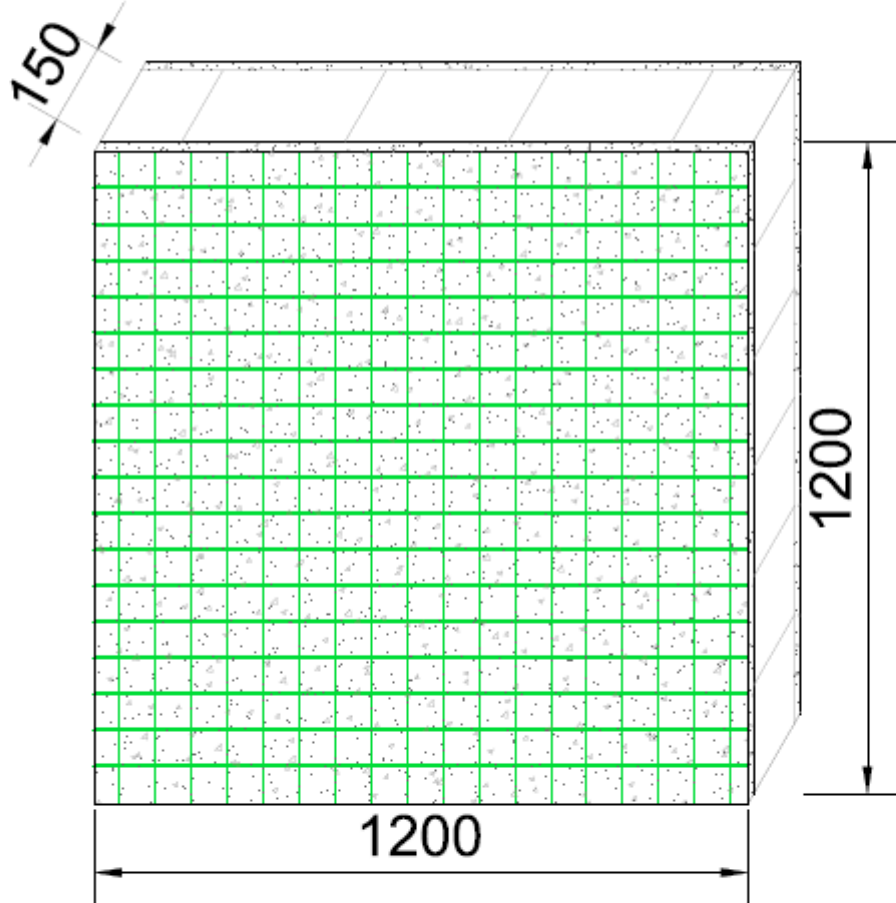
$$V_{Rdm} := x_{min} \cdot t \cdot f_{vd} = 6.64 kN$$

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

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

$$\zeta = 2.12$$

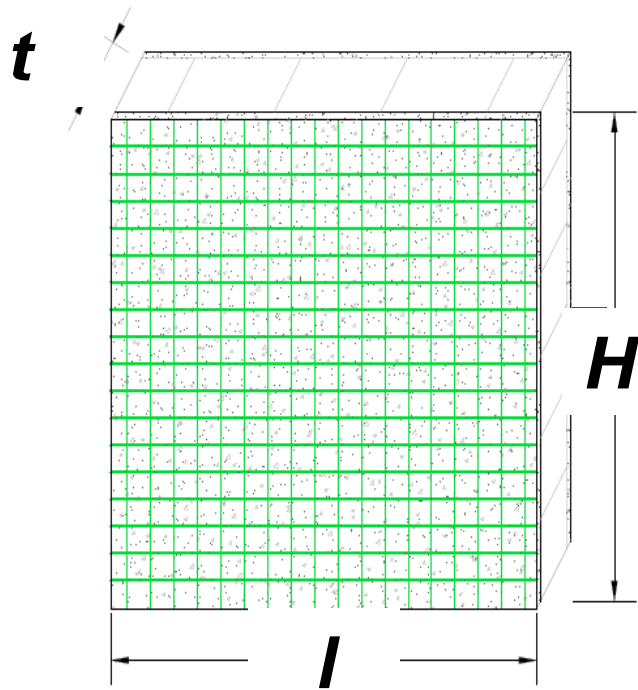
# Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM)



$\zeta=2.06$

## 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

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

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

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

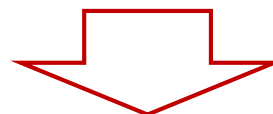
$$V_{t,R} = 34.6 \text{ kN} + 16.0 \text{ kN} = 50.6 \text{ kN}$$

# 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	<b>1.7</b>

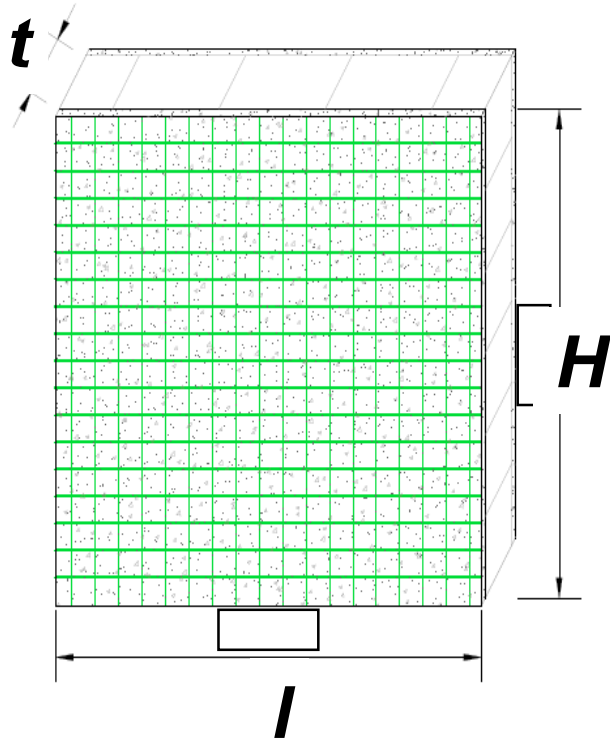


$$V_{t,R} = 1.7 * 0.8 * 34.6 = 47.06$$

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



## 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  $\varepsilon_{lim,conv} \cdot E_f = 1000\text{ MPa}$  e spessore equivalente  $t_f = 0.025\text{ mm}$ , si tratta di un tessuto bilanciato applicato sull'intero pannello e su entrambe le 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)

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

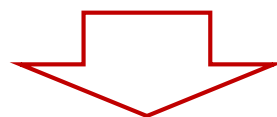
$$V_{t,f} = 16 \text{ kN}$$

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

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

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 FRCCM/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.

**FRCCM:** Fabric Reinforced Cementitious Mortar

**CRM :** Composite Reinforced Mortar



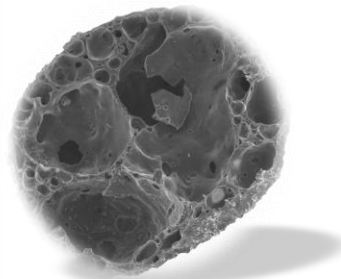
**FRGM:** Fabric Reinforced Geopolymer Mortar

**CRGM:** Composite Reinforced Geopolymer Mortar

**Expanded glass (recycled)**



Expanded Glass  
Lightweight Aggregate



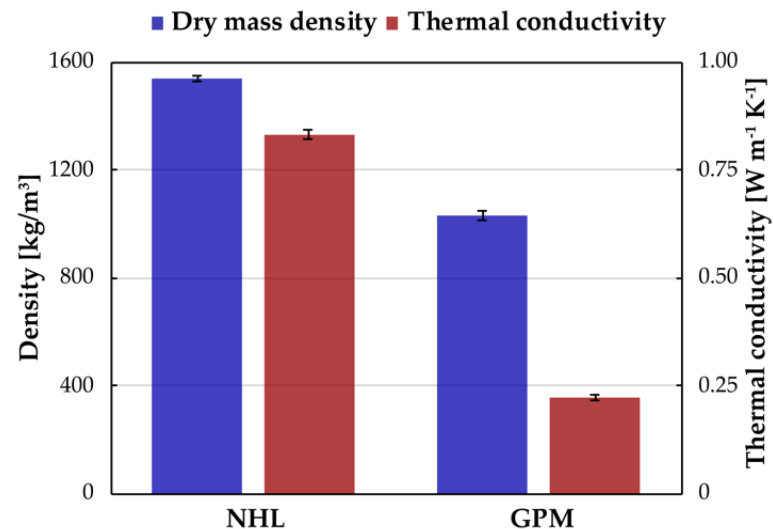
**Fly ash (waste)**



**GEOPOLYMER MATRIX**

Label	Dry mass density ( $\rho$ )			Thermal conductivity ( $\lambda$ )		
	Mean kg/m <sup>3</sup>	CoV <sup>1</sup> %	$\rho_{GPM}/\rho_{NHL}$ %	Mean W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	CoV <sup>1</sup> %	$\lambda_{GPM}/\lambda_{NHL}$ %
NHL	1540	0.5	66.95	0.830	1.5	26.75
GPM	1031	1.8		0.222	2.7	

<sup>1</sup> 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).

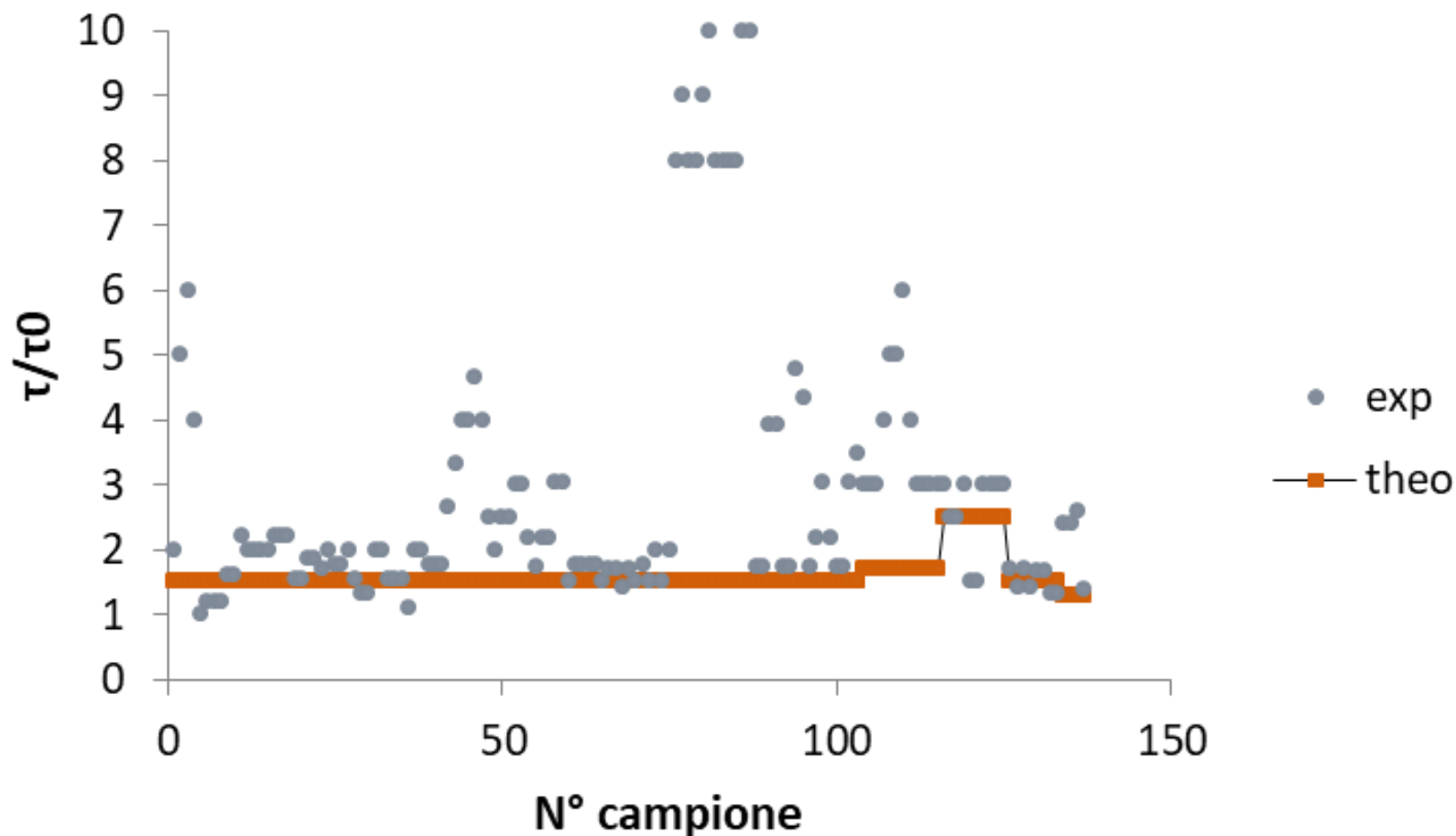
(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) 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.

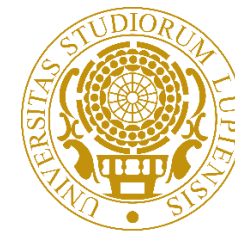
CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7  
 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione  
 «Aggiornamento delle "Norme tecniche  
 e costruzioni"» di cui al decreto  
 ministeriale 17 gennaio 2018.



# L'INNOVAZIONE NEL SISTEMA DELLE COSTRUZIONI

Grazie per l'attenzione

contatti: [antonietta.aiello@unisalento.it](mailto:antonietta.aiello@unisalento.it)



**UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO**

*L'Ateneo tra i due mari*

