



**SOFT.LAB**  
SOFTWARE PER L'EDILIZIA

***Analisi e verifica sismica  
di edifici in muratura:  
punto della situazione  
e recenti evoluzioni***

***STATI GENERALI  
DELLA MURATURA***



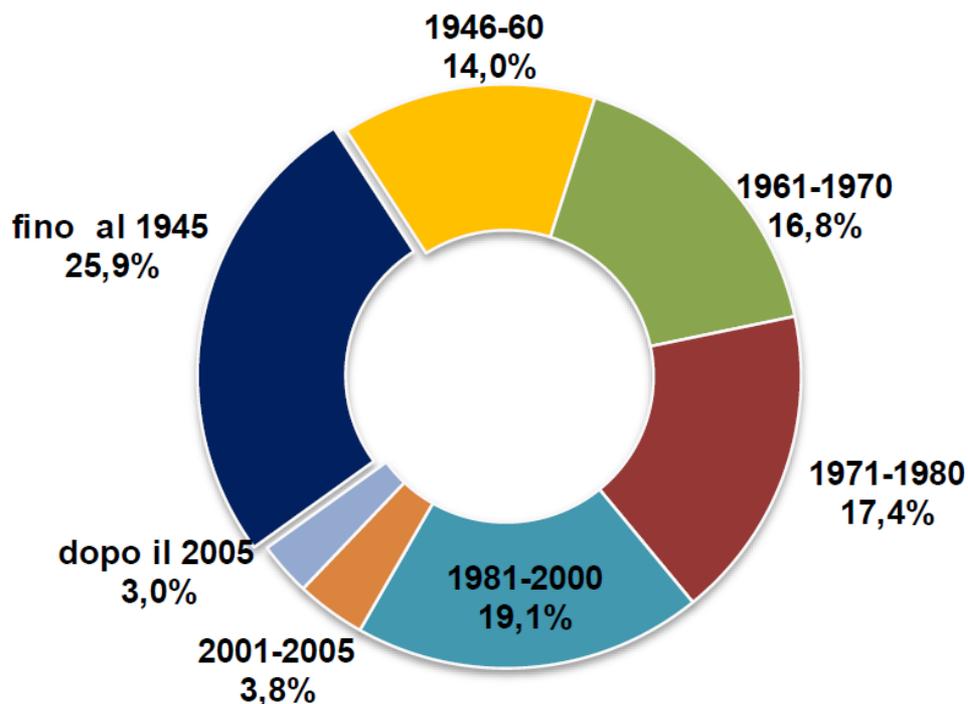
**PROF. ING.**  
**ENZO MARTINELLI**

**Sull'analisi sismica  
degli edifici in muratura  
finalizzata alla valutazione  
dell'effetto di interventi  
di rinforzo.**

# Sommario

- ✓ Introduzione
- ✓ Tecniche di intervento
- ✓ Evidenze sperimentali
- ✓ Analisi strutturali
- ✓ Commenti conclusivi

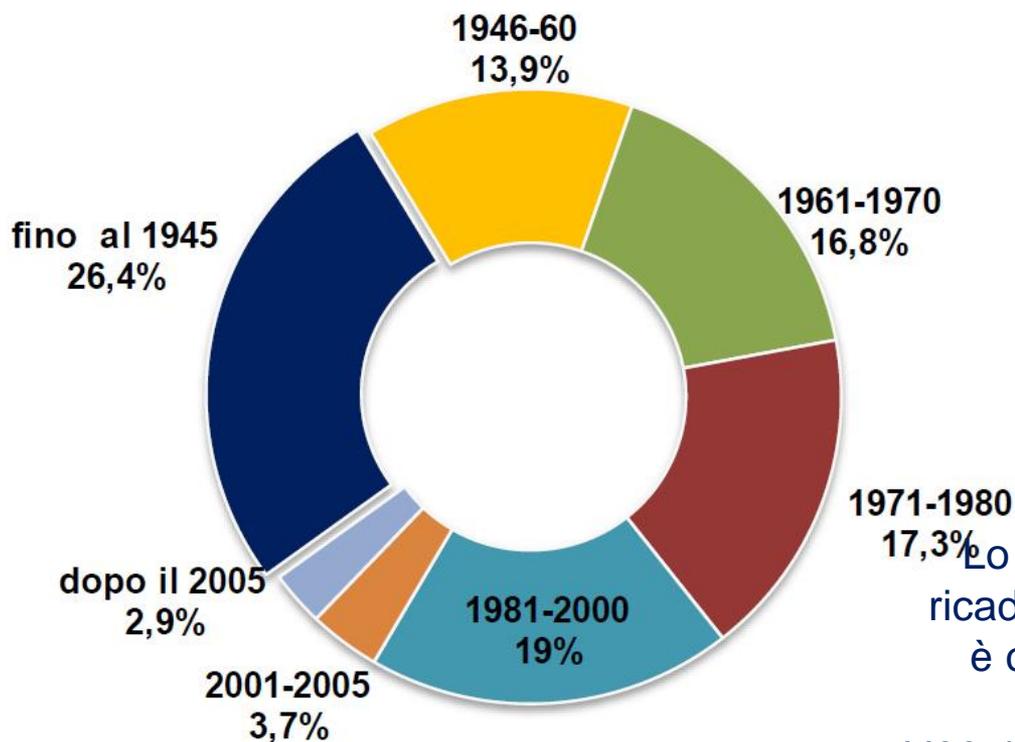
# Introduzione



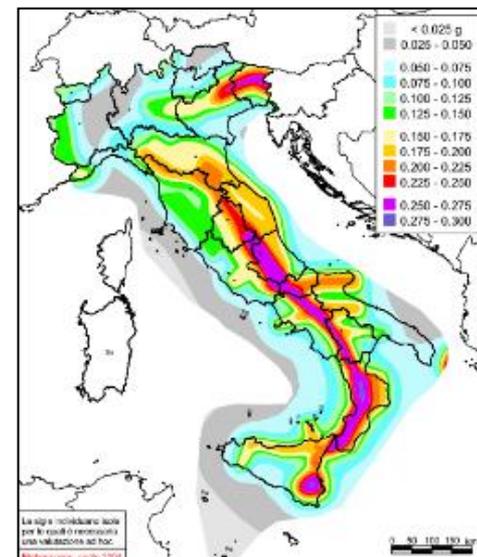
Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

Lo stock edilizio residenziale italiano è costituito da **12.2 milioni di edifici** (per 31.2 milioni di abitazioni).

# Introduzione



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

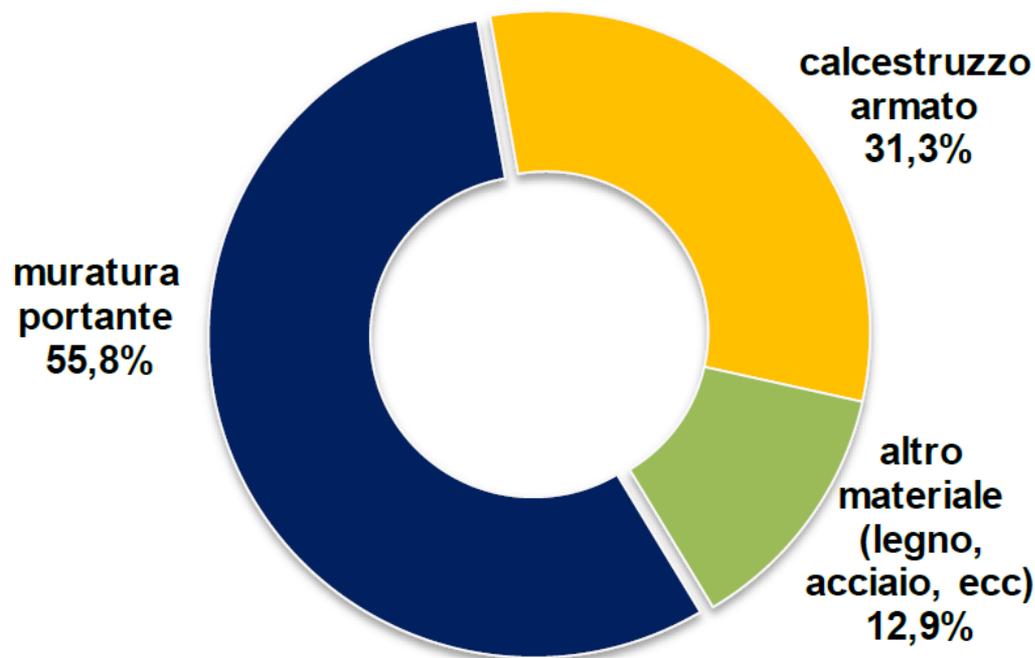


1971-1980  
17,3%

Lo stock edilizio presente in comuni ricadenti in Zona 1, 2 o 3 (circa 5800) è costituito da 11.1 milioni di edifici.

L'88.4% degli edifici è ad uso abitativo: si tratta di circa 9.3 milioni di immobili.

# Introduzione



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

Circa **5.3 milioni di edifici residenziali** ricadenti in zone sismiche 1, 2 o 3 sono costituiti da strutture in muratura.

# Introduzione

## Muratura

**fino al 1945:** muratura di buona qualità e buona concezione;

**1945-80:** edifici con prima evoluzione normativa Post Belice (1968);

**1981-00:** edifici con seconda evoluzione normativa Post Irpinia (1981 e 1987);

**> 2000:** edifici con terza evoluzione normativa (1996, 2003).

**fino al 1945:** edifici spesso misti con calcestruzzo comunque di buona qualità;

**1945-80:** particolarmente vulnerabili;

**1981-00:** edifici con prima evoluzione normativa (1974);

**> 2000:** edifici con seconda evoluzione normativa (1996-2003).

## Cemento armato

(ANCE, 2017)

# Introduzione



Zaccaria (2015)

# Introduzione



L'Aquila (2006)

# Introduzione



# Introduzione



Croazia (1880)

# Tecniche di intervento

Proprietà dei materiali (D.M. 17/01/2018)

Tipologia di muratura	f (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.,: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

# Tecniche di intervento

Fattori modificativi (Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP)

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 quadrati	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.

# Tecniche di intervento

Definizioni (D.M. 17/01/2018)

D.M. 17/01/2018 (punto 8.4)

*Si individuano le seguenti categorie di intervento:*

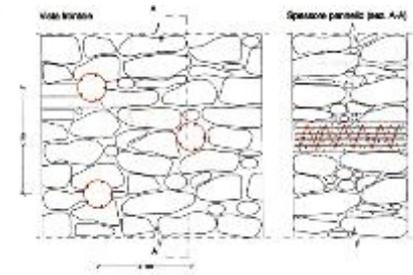
- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;*
- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;*
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.*

Nel prosieguo si parlerà genericamente di **Interventi di Rinforzo** i quali, caso per caso, potranno classificarsi all'interno di una delle categorie di cui sopra

# Tecniche di intervento

Soluzioni tradizionali (Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP)

- ✓ Consolidamento con iniezioni di miscele leganti;
- ✓ Consolidamento con intonaco armato;
- ✓ Consolidamento con diatoni artificiali o tirantini antiespulsivi;
- ✓ Consolidamento con ristilatura armata e connessione dei paramenti.



# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative

- ✓ Consolidamento con sistemi reticolati in acciaio;
- ✓ Consolidamento con materiali compositi a matrice polimerica (FRP);
- ✓ Consolidamento con materiali compositi a matrice cementizia (FRCM o TRM).



# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: FRP

## Leggerezza

*Facilità di utilizzo*

*Riduzione delle masse strutturali*

## Alta resistenza

**Sistemi FRP**

## Resistenza alla corrosione

*Durabilità*

## Versatilità



# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: FRP



Fibra di Carbonio



Fibre naturali (juta)



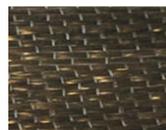
Fibra di Vetro



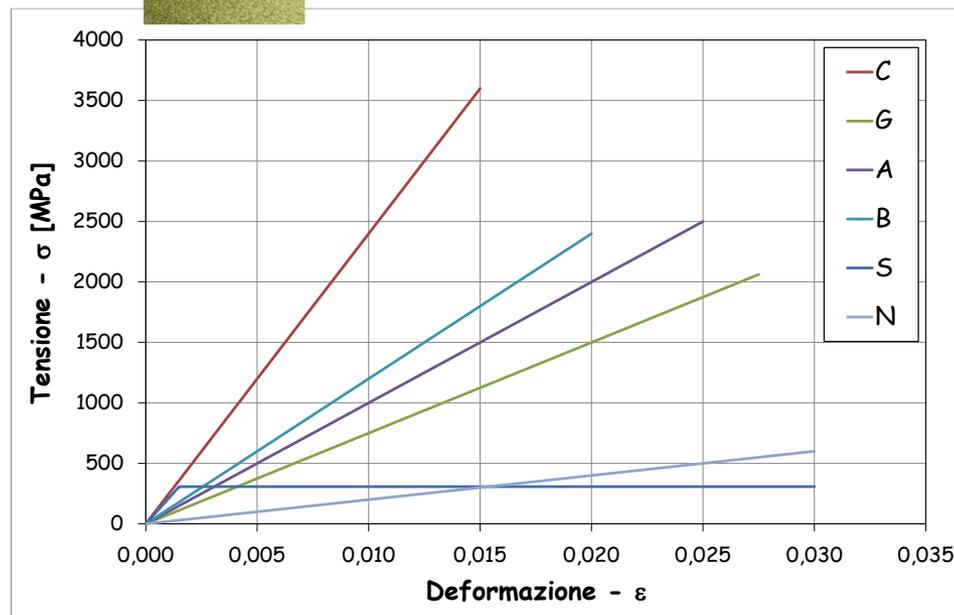
Fibre metalliche



Fibra di Aramide

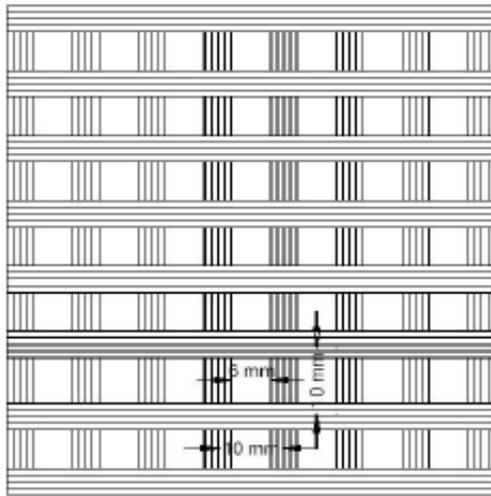


Fibra di Basalto

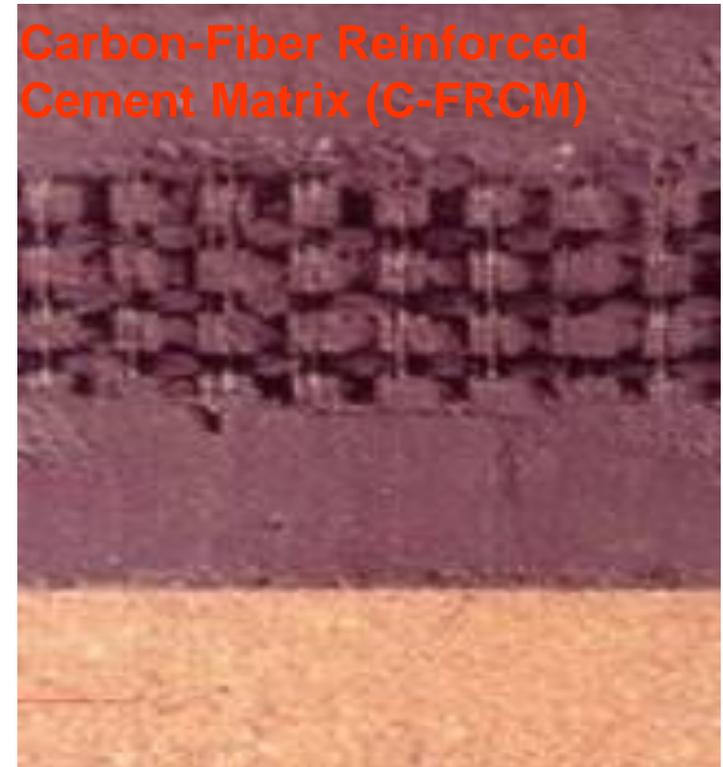


# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: FRCCM/TRM



**Carbon-Fiber Reinforced  
Cement Matrix (C-FRCCM)**



Fiber density [g/m <sup>2</sup> ]	168
Nominal thickness [mm]	0.047
Strength (for a width of 1 cm) [N/cm]	1600
Young modulus [GPa]	240

# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: FRCCM/TRM



# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza

Le **modalità di crisi** dei materiali costituenti la struttura muraria rinforzata con FRP sono:

- fessurazione per trazione della muratura;
- schiacciamento della muratura;
- taglio-scorrimento della muratura;
- rottura del composito fibrorinforzato;

} **Muratura**

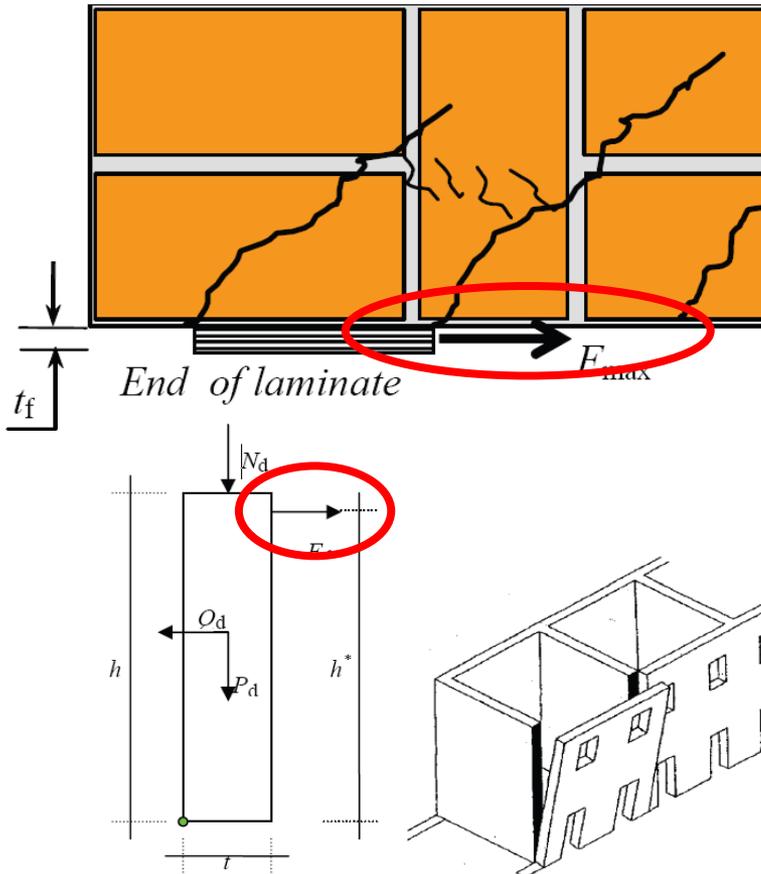
**Rimforzo**

- distacco del rinforzo di FRP dal supporto murario.

**Interfaccia**

# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



Quale che sia la finalità dell'intervento, l'azione  $F_{max}$  prevista all'interno del rinforzo in FRP deve trovare un opportuno **ancoraggio**.

In generale, tale ancoraggio può avvenire secondo una delle seguenti soluzioni tecnologiche:

- Sovrapposizione lamina-lamina quando è possibile realizzare fasciature chiuse;
- Ancoraggio con sistemi meccanici;
- Ancoraggio basato sull'aderenza FRP-muratura.

# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



cohesive fracture

**Frattura coesiva:** si sviluppa all'interno del substrato in muratura quando l'adesivo non presenta difetti.

**Frattura adesiva:** si sviluppa all'interno dello strato adesivo o all'interfaccia tra adesivo e la lamina, evidenziando difetti nell'applicazione del Sistema FRP.



adhesive fracture

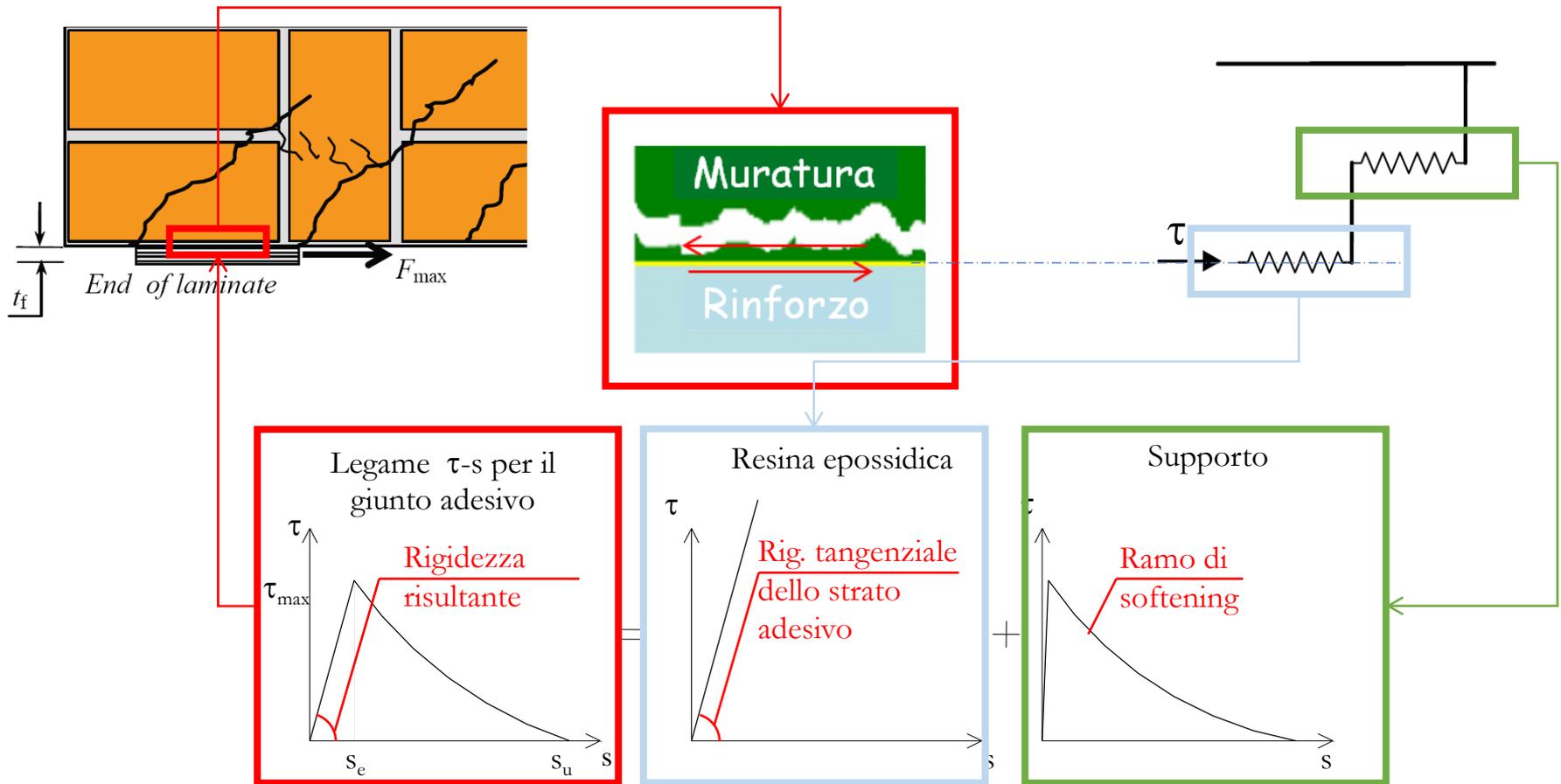


mixed fracture

**Frattura mista:** rappresenta la situazione intermedia.

# Tecniche di intervento

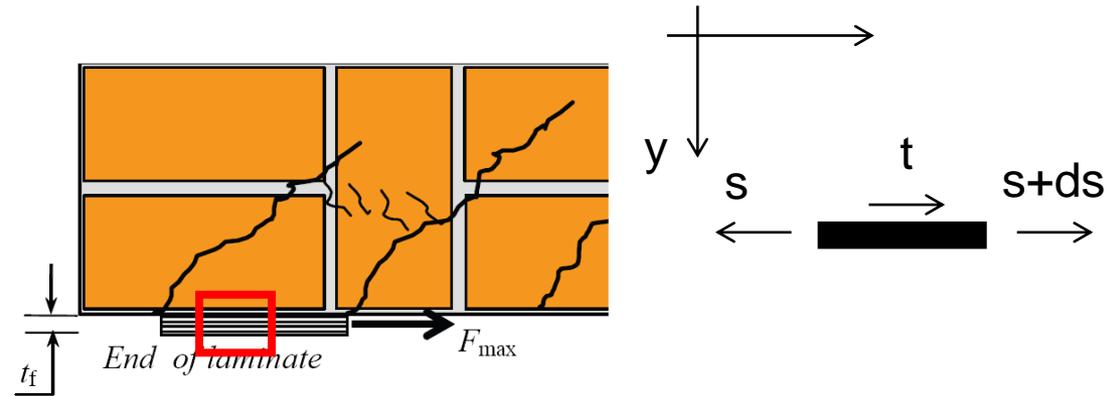
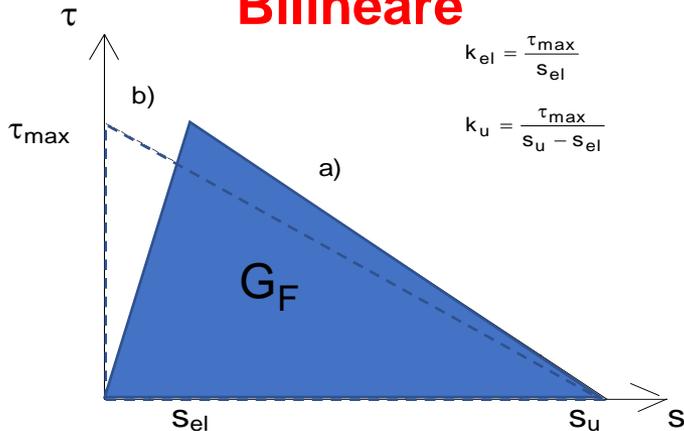
Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



# Tecniche di intervento

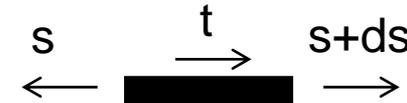
Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza

## Legame d'aderenza Bilineare



## Equazione di equilibrio

$$t_f d\sigma + \tau dz = 0$$



## Legami tensione-deformazione

rinforzo  $\sigma = E_f \varepsilon$

interfaccia  $\tau = \tau(s)$

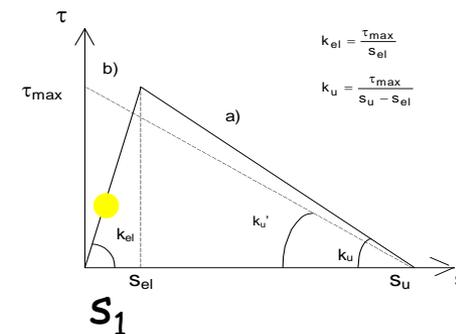
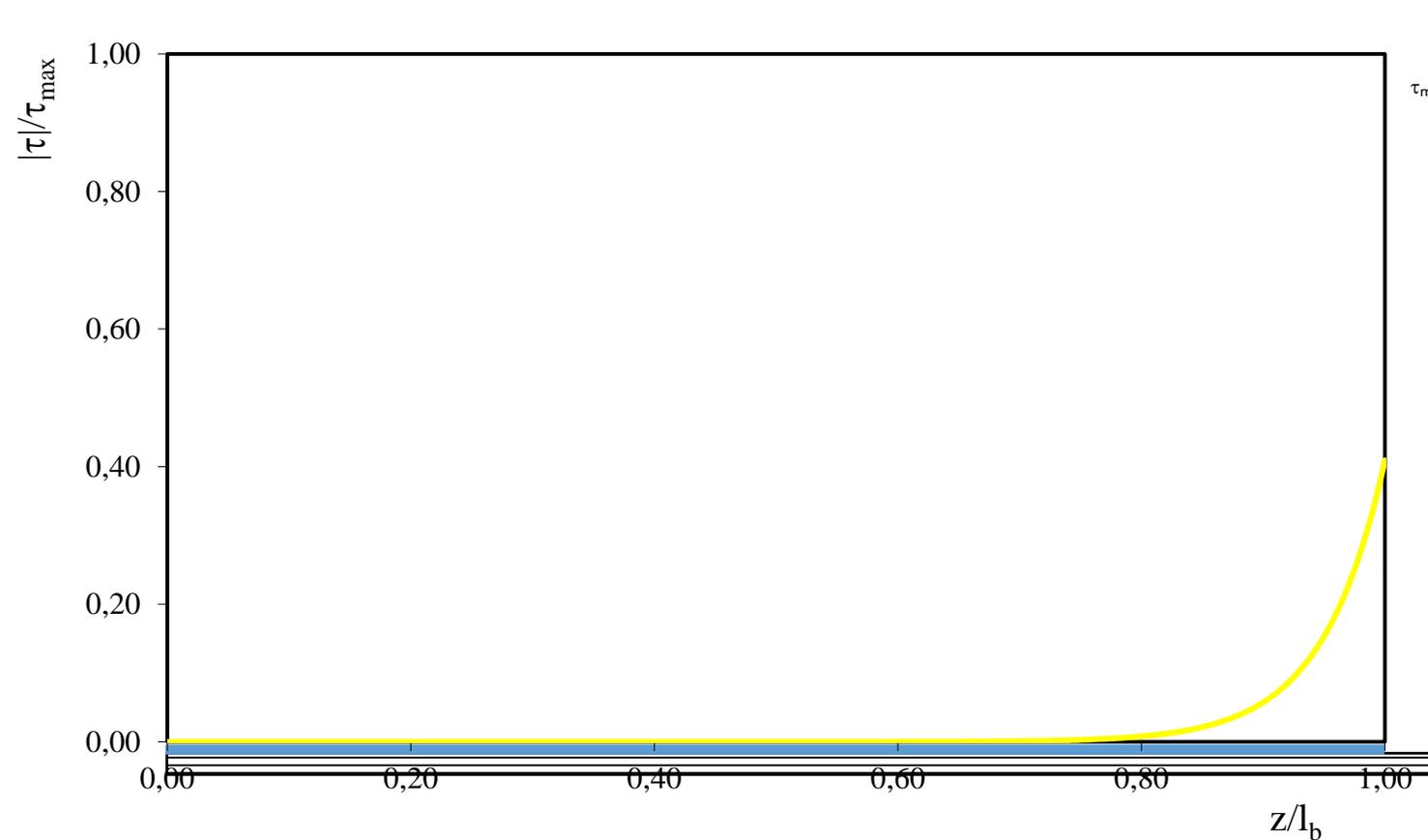
## Equazione di congruenza

$$dw = ds = \varepsilon dz$$



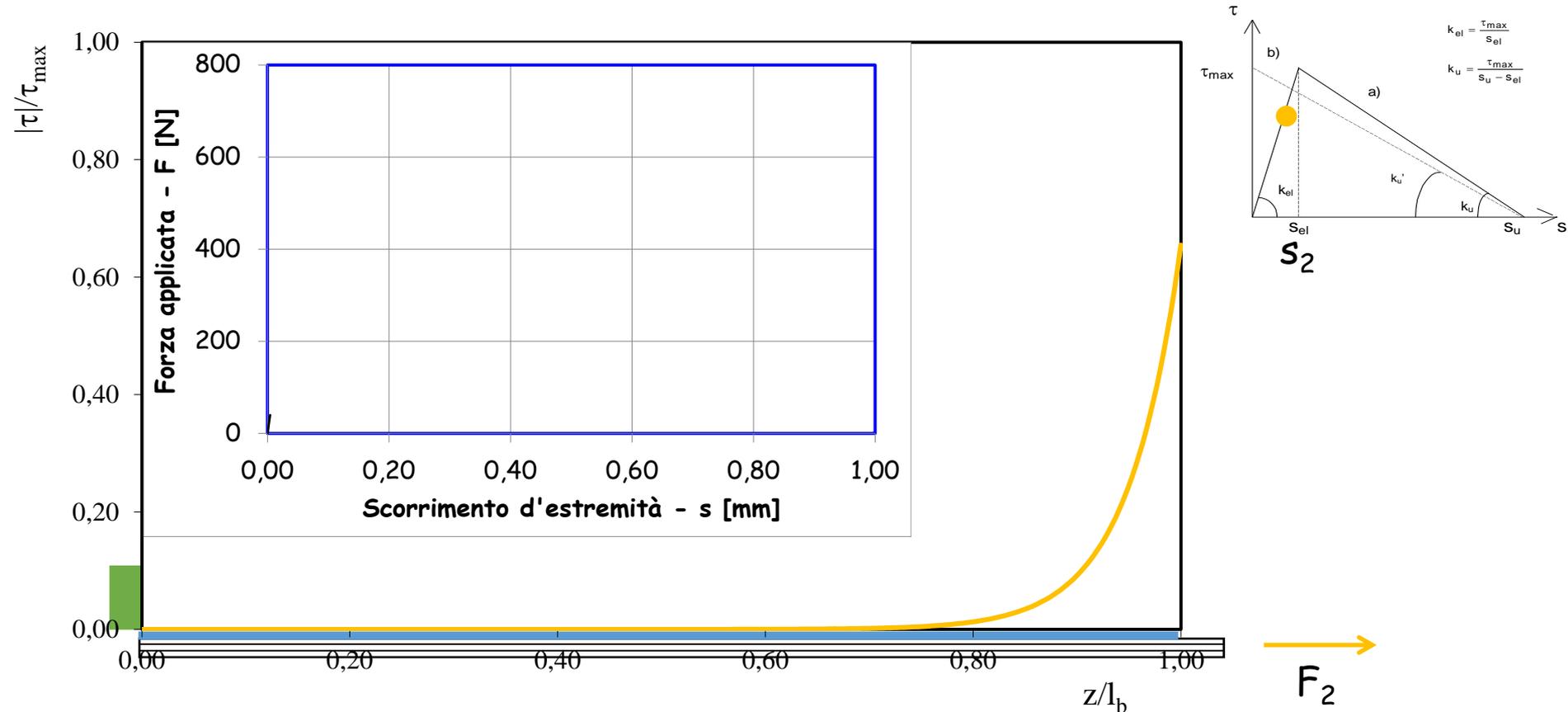
# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



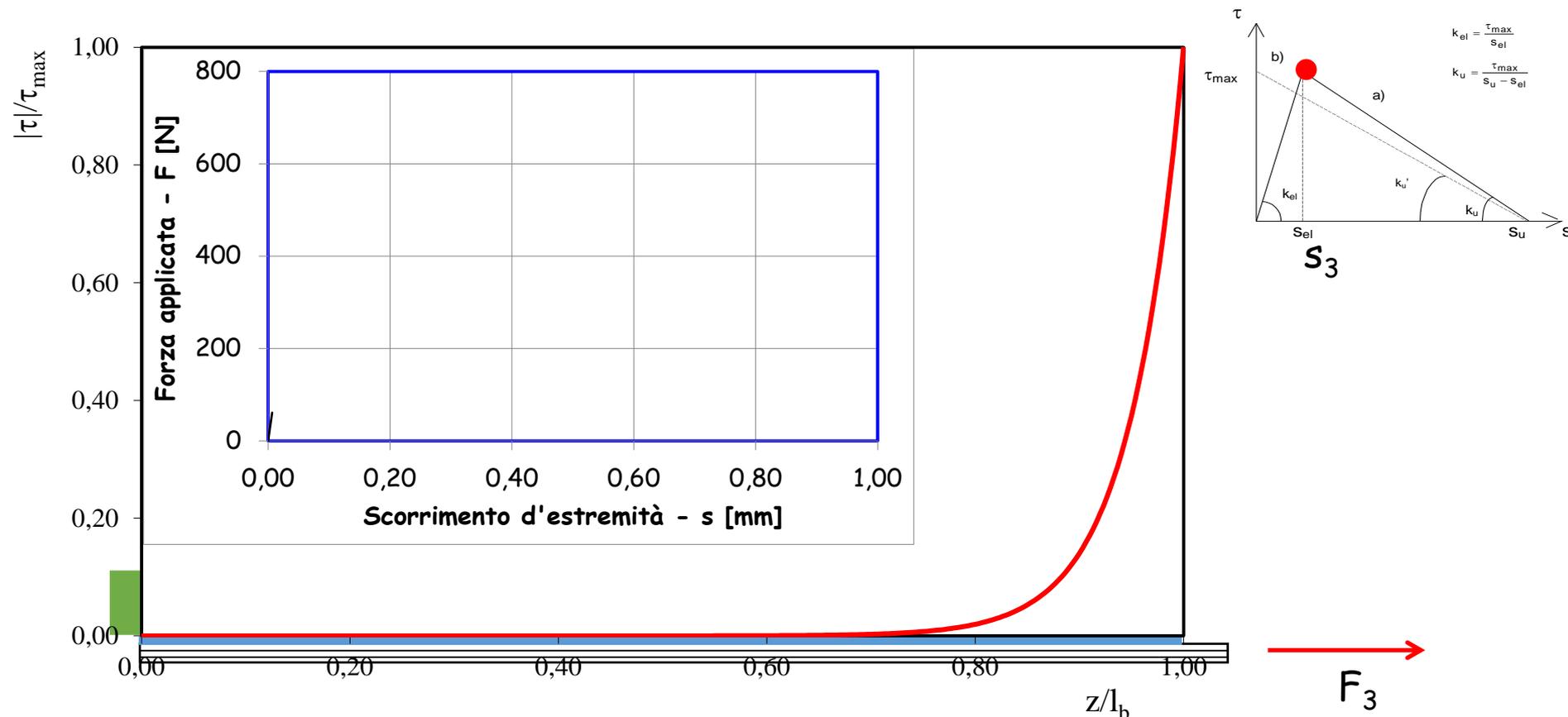
# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



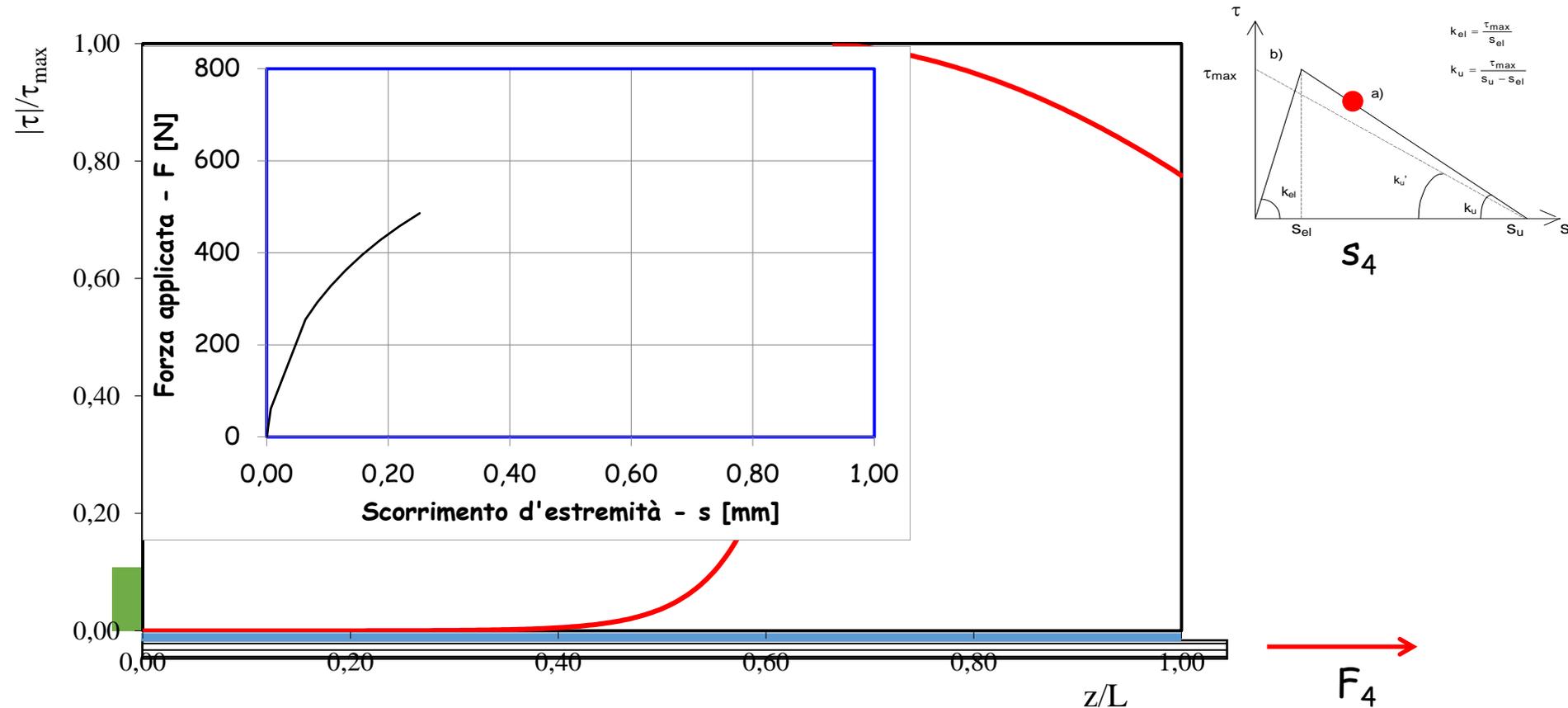
# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



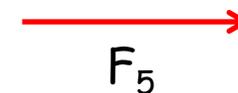
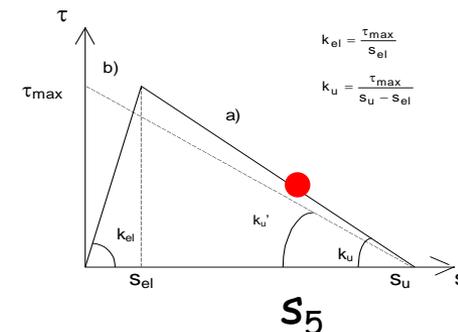
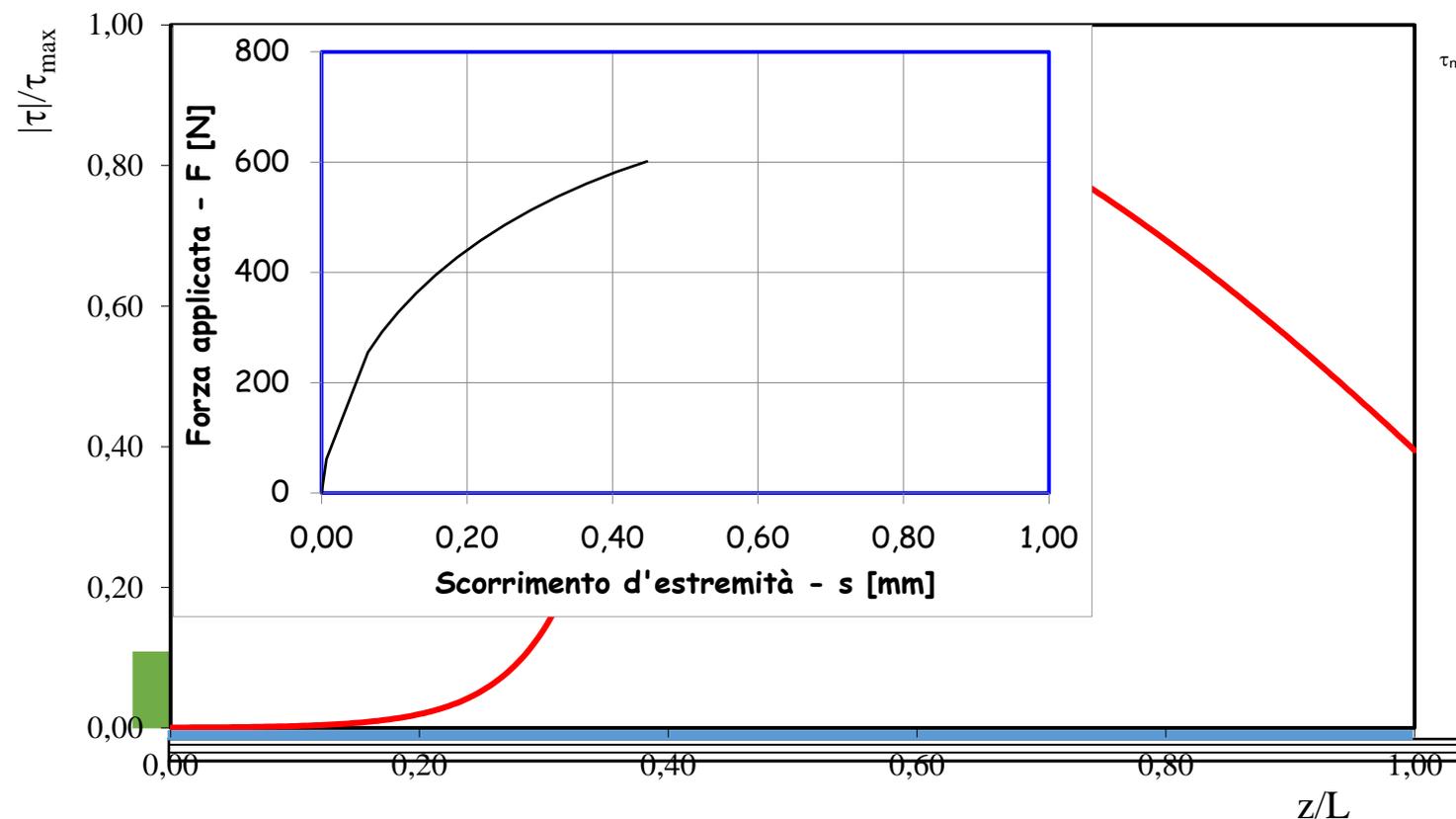
# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



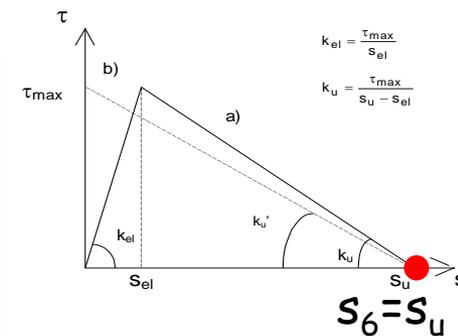
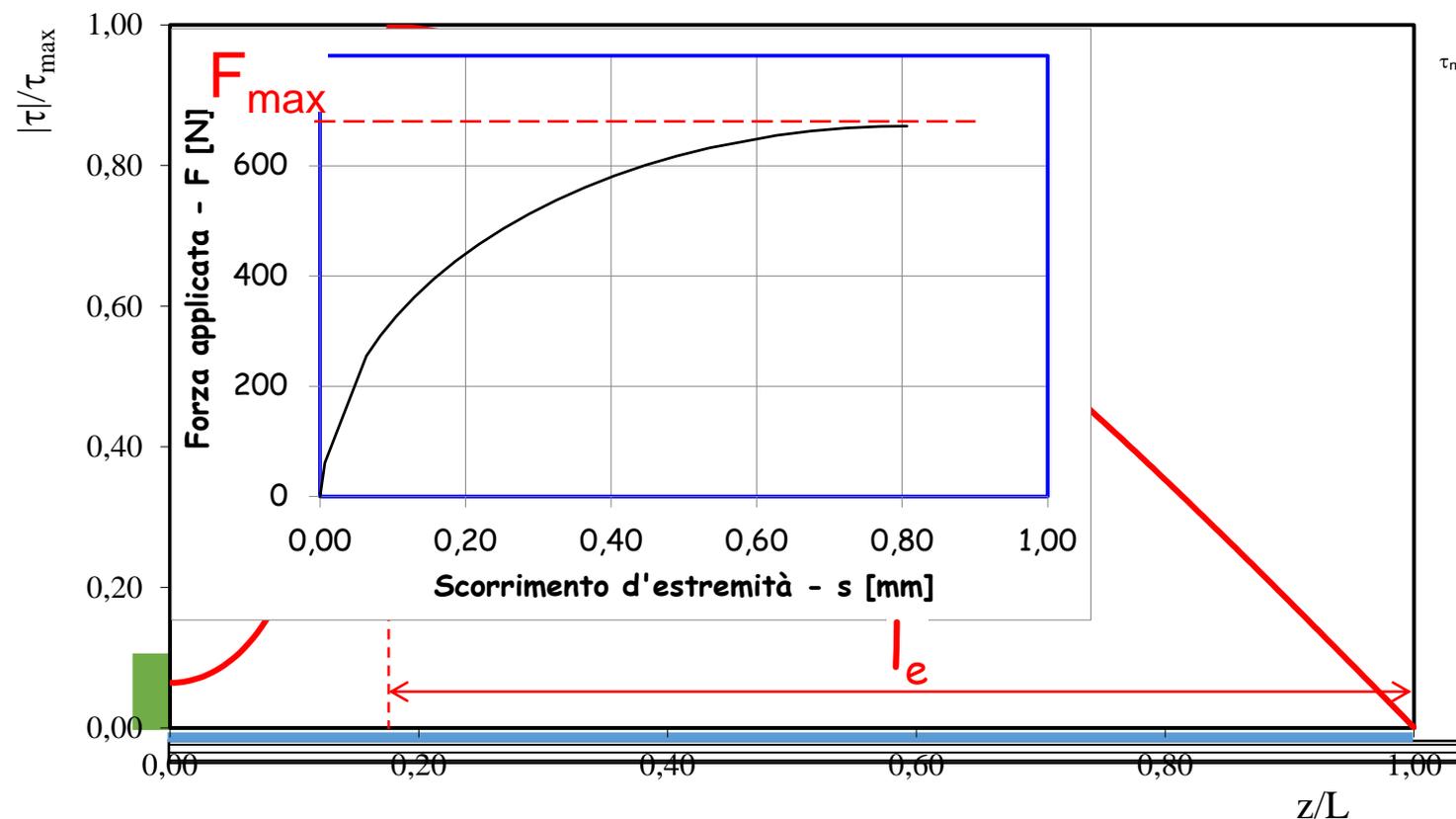
# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



# Tecniche di intervento

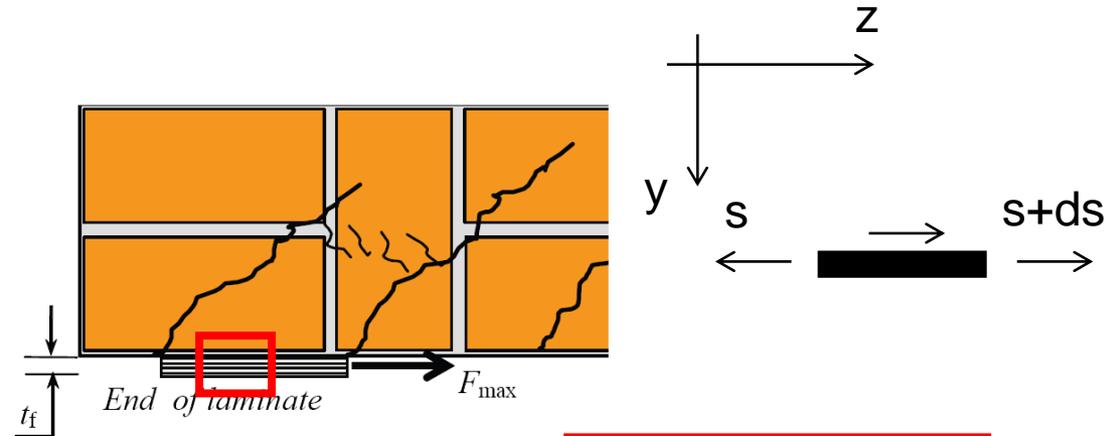
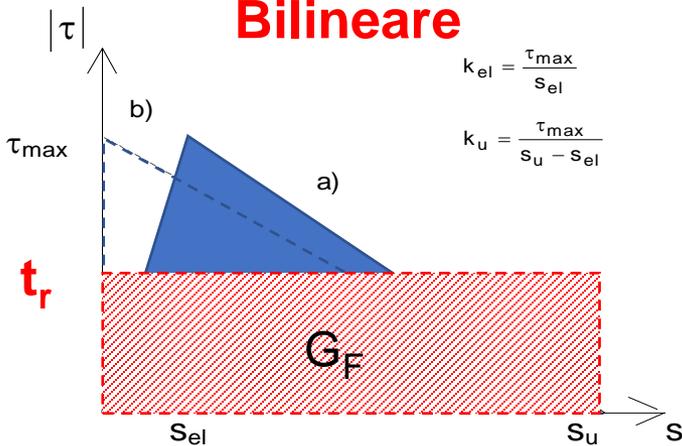
Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza



# Tecniche di intervento

Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza

## Legame d'aderenza Bilineare



$$l_e = \sqrt{\frac{2E_f t_f \cdot s_u}{\tau_r}}$$

$$F_{max} = \sqrt{2E_f t_f G_F \cdot b_f}$$

$$F_{max} = l_e b_f \tau_r = \sqrt{2E_f t_f \cdot \tau_r s_u \cdot b_f}$$

## Equazione differenziale

$$\frac{d^2 s}{dz^2} = -\frac{\tau(s)}{E_f t_f} \quad \rightarrow \quad \frac{d^2 s}{dz^2} = \frac{\tau_r}{E_f t_f} \quad \rightarrow \quad s(z) = s_u - \frac{\tau_r}{2E_f t_f} \cdot (L^2 - z^2)$$

# Tecniche di intervento

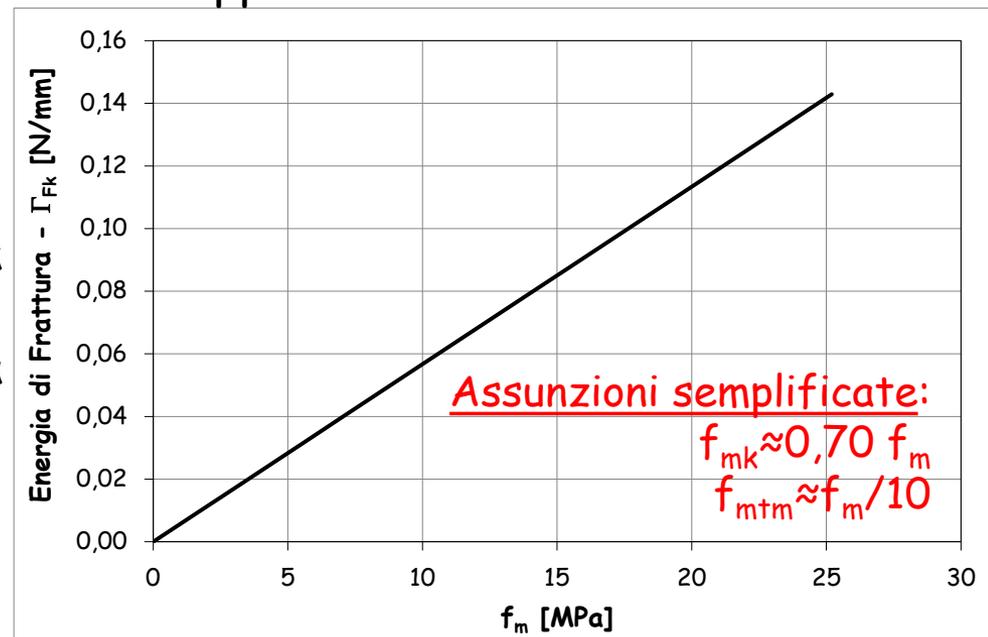
Soluzioni innovative con materiali compositi: il problema dell'aderenza

Le Linee Guida Italiane per il rinforzo di elementi in C.A., C.A.P. e muratura con materiali compositi (CNR-DT 200/2004) prescrive la seguente definizione di **Energia Specifica di Frattura** (valore caratteristico) in funzione delle caratteristiche meccaniche della muratura di supporto:

$$\Gamma_{FK} = c_1 \cdot k_b \cdot \sqrt{f_{mk} f_{mtm}}$$

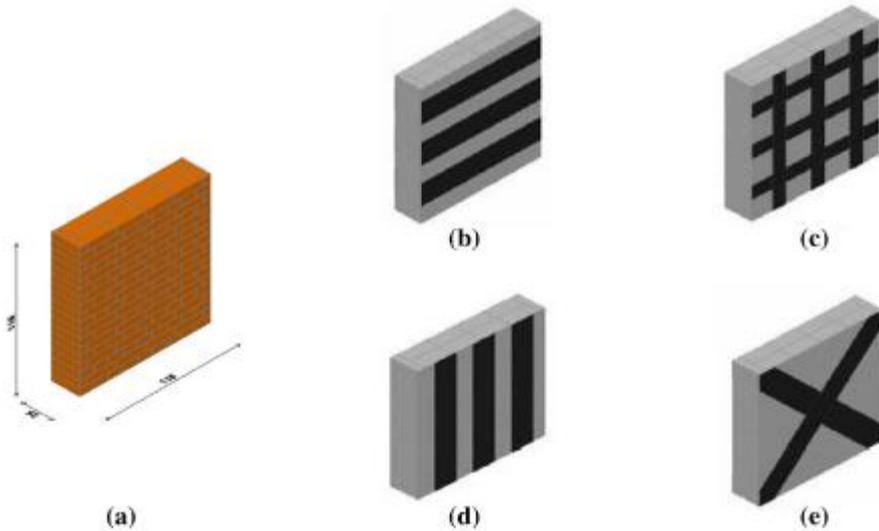
- $f_{mk}$  valore caratteristico della resistenza a compressione;
- $f_{mtm}$  valore medio della resistenza a trazione.

**Value suggerito**  
 **$c_1 = 0.015$**



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRP



# Evidenze sperimentali

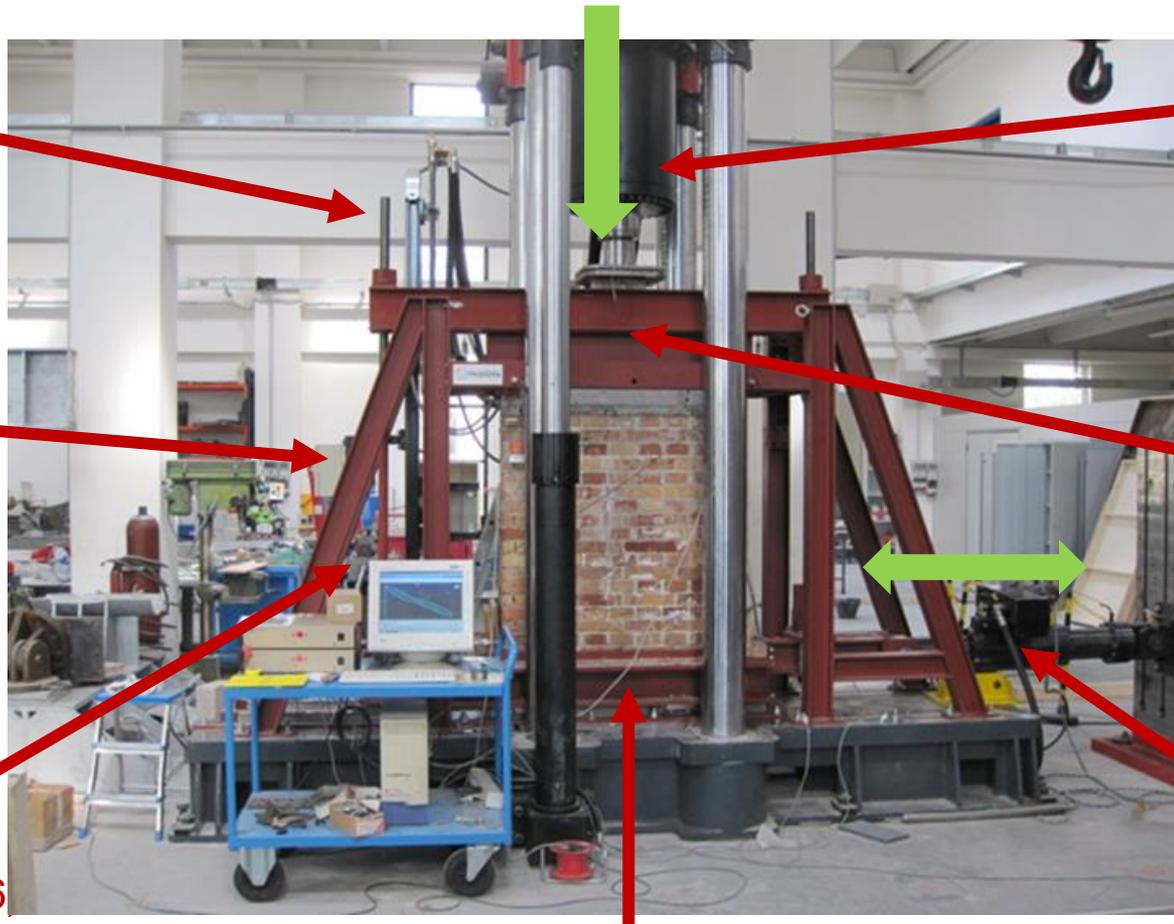
Pannelli rinforzati con FRP

Pendolo di collegamento  
slitta-traversa

Telaio ausiliario  
di contrasto per  
la base  
superiore del  
provino

Strumentazione  
di controllo e  
monitoraggio

Martinelli & al (2016)



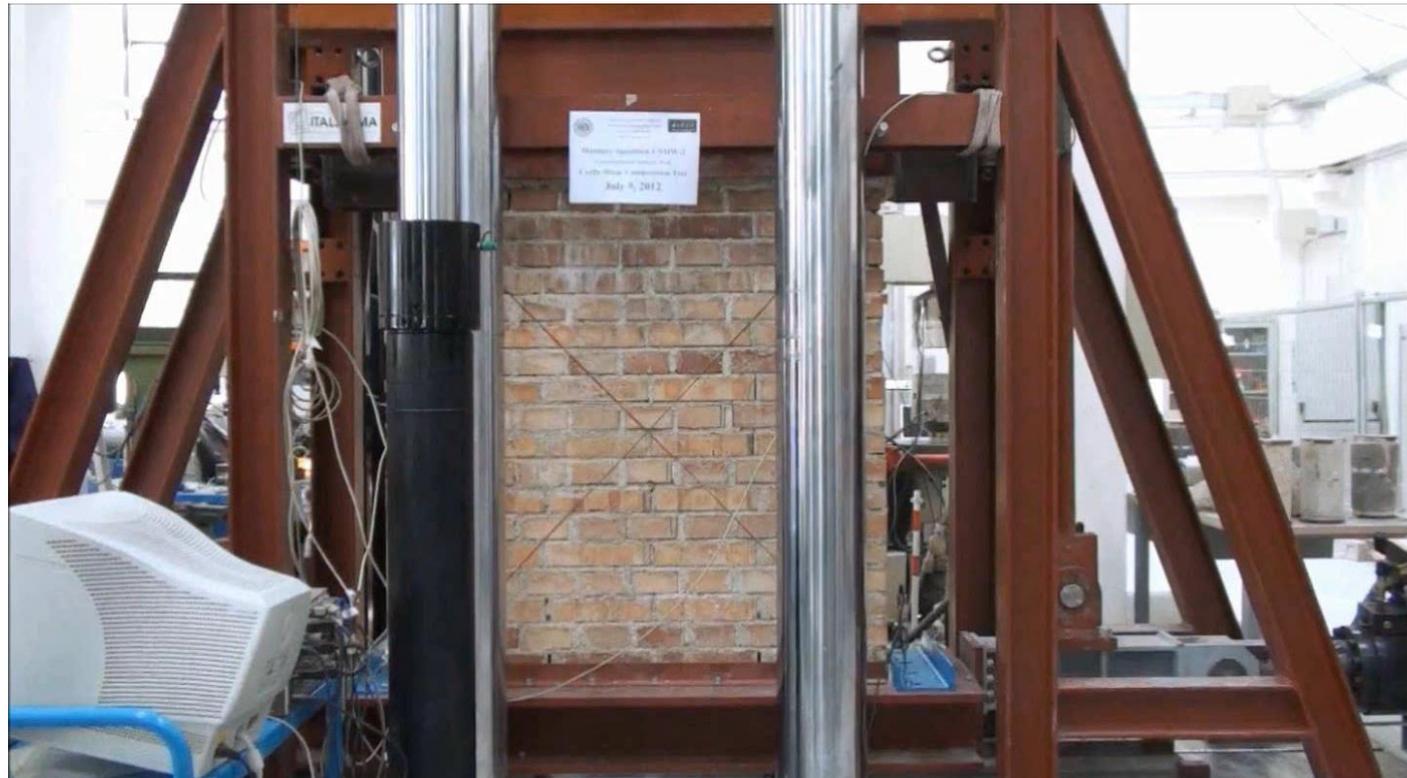
Attuatore  
verticale per il  
carico di  
compressione

Doppia traversa  
rigida per  
distribuire  
uniformemente  
il carico  
verticale

Attuatore  
orizzontale  
per la forza  
di taglio

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRP

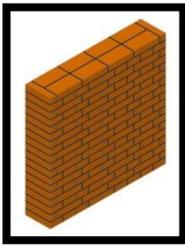


Martinelli & al (2016)

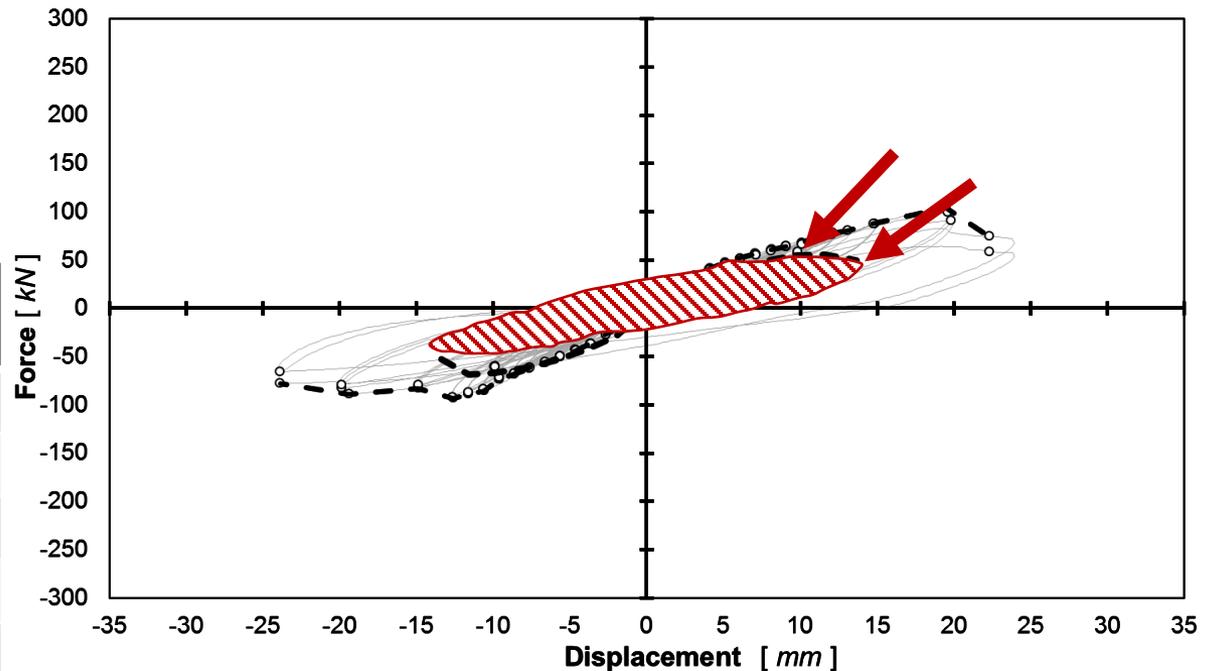


# Tecniche di intervento

## Rinforzo a taglio con C-FRP: provino non rinforzato



Provino	US #1	US #2	US #3
$F_{max}$ [ kN ]		56.1	
$d_{max}$ [ mm ]	102.7	12.0	93.1
$F_u$ [ kN ]	16.0	44.8	13.0
$d_u$ [ mm ]	81.9	14.0	77.9
$E$ [ kJ ]	18.0	8.27	24.0
	16.6		16.0



Martinelli & ai (2016)

# Evidenze sperimentali

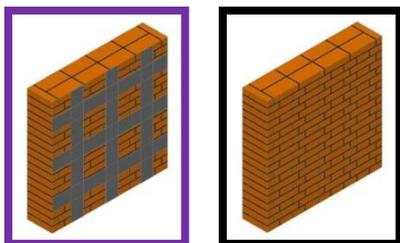
Pannelli rinforzati con FRP



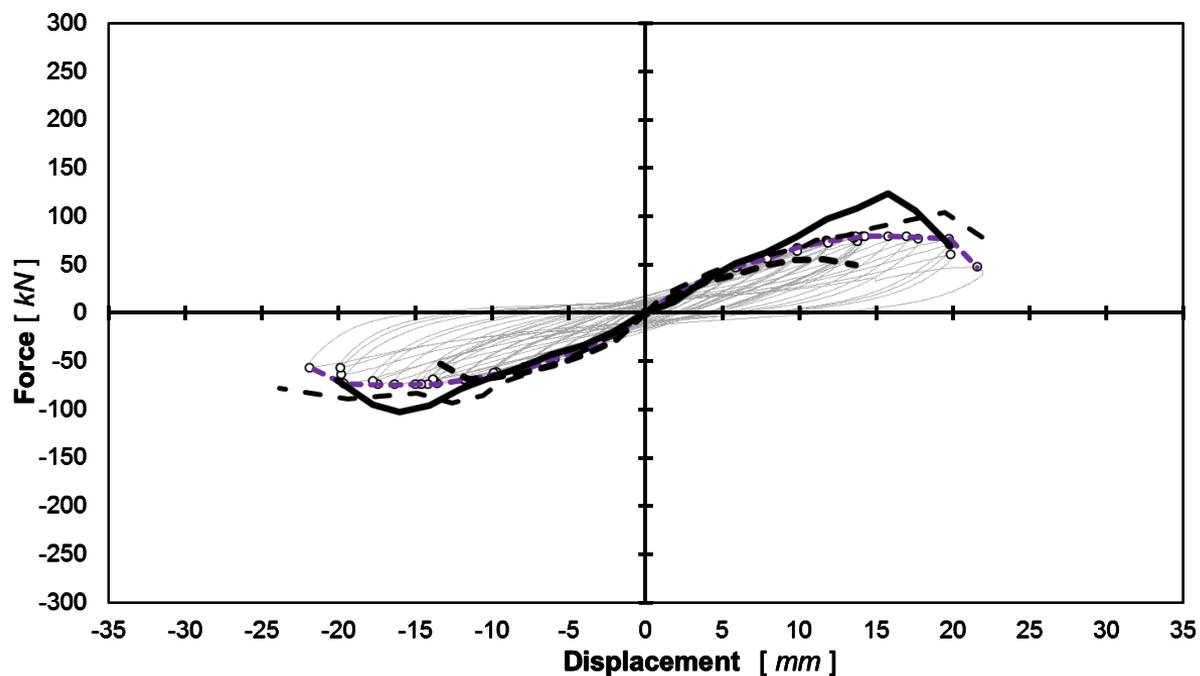
Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRP



Provino	G #1	G #2
$F_{max}$ [ kN ]	126.8	74.2
$d_{max}$ [ mm ]	16.0	16.0
$F_u$ [ kN ]	100.3	57.1
$d_u$ [ mm ]	22.0	20.0
$E$ [ kJ ]	26.2	15.8



Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

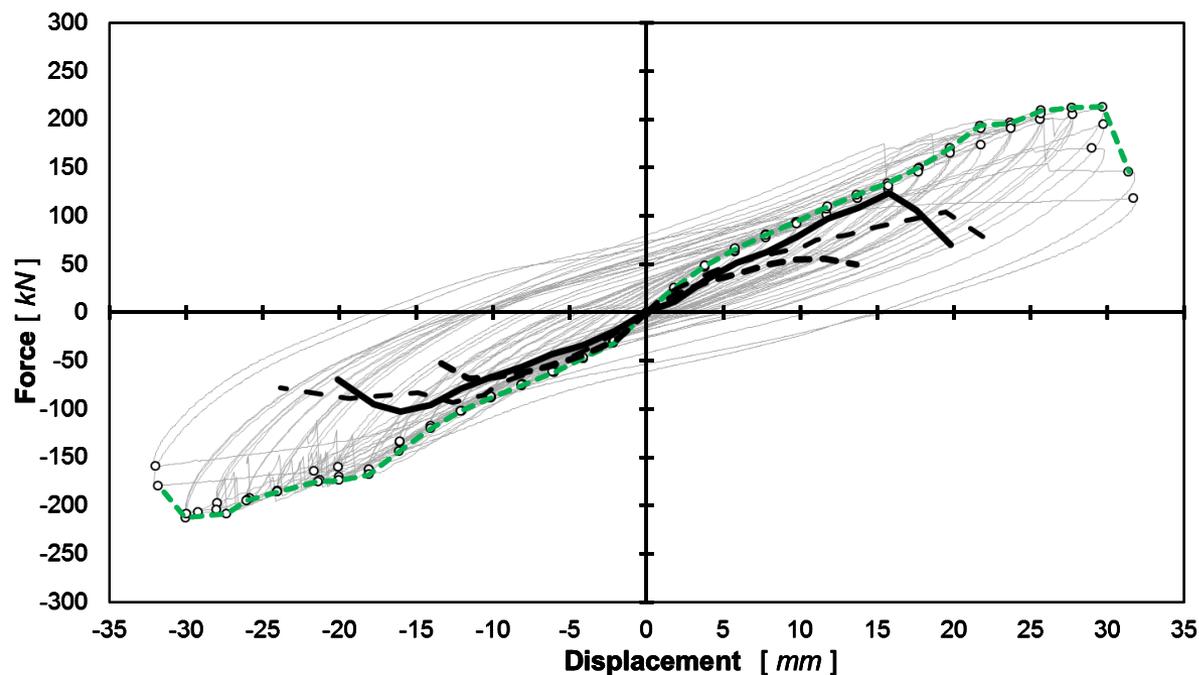
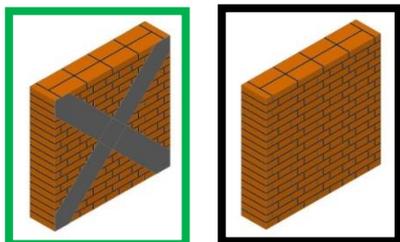
Pannelli rinforzati con FRP



Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRP

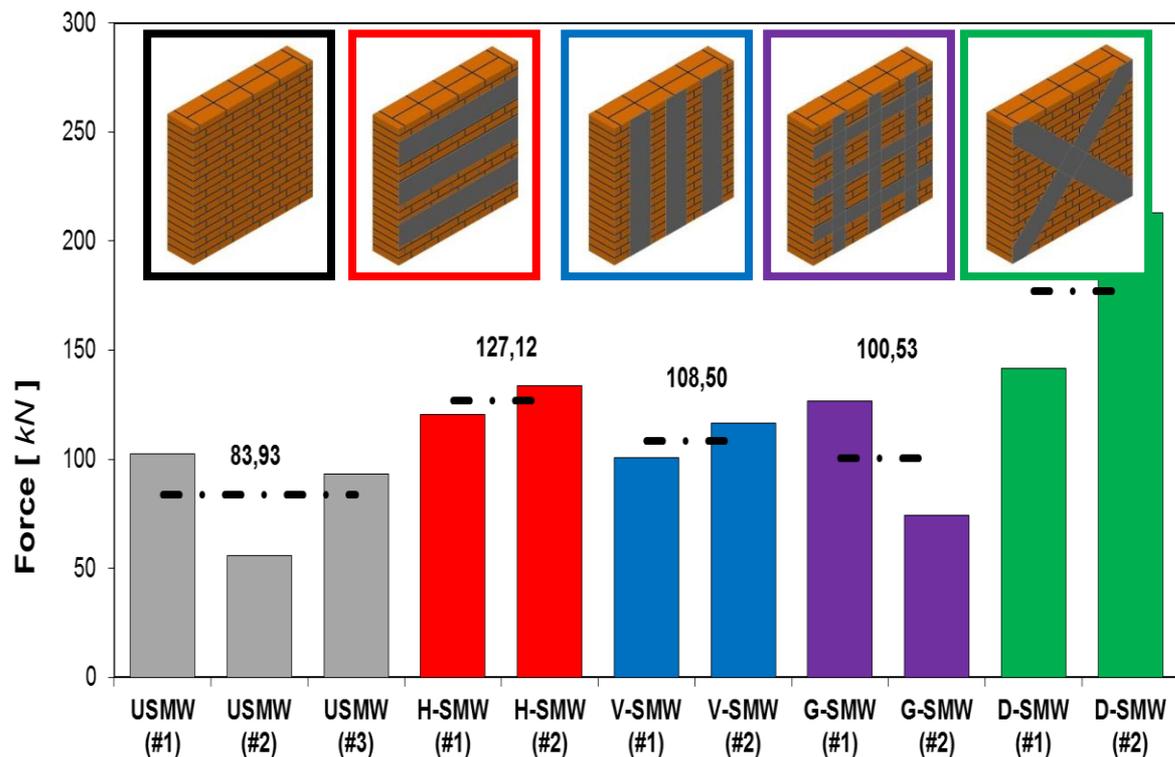


Provino	D #1	D #2
$F_{max}$ [ kN ]	141.7	212.8
$d_{max}$ [ mm ]	24.0	30.0
$F_u$ [ kN ]	88.2	169.9
$d_u$ [ mm ]	26.0	32.0
$E$ [ kJ ]	51.6	94.14

Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

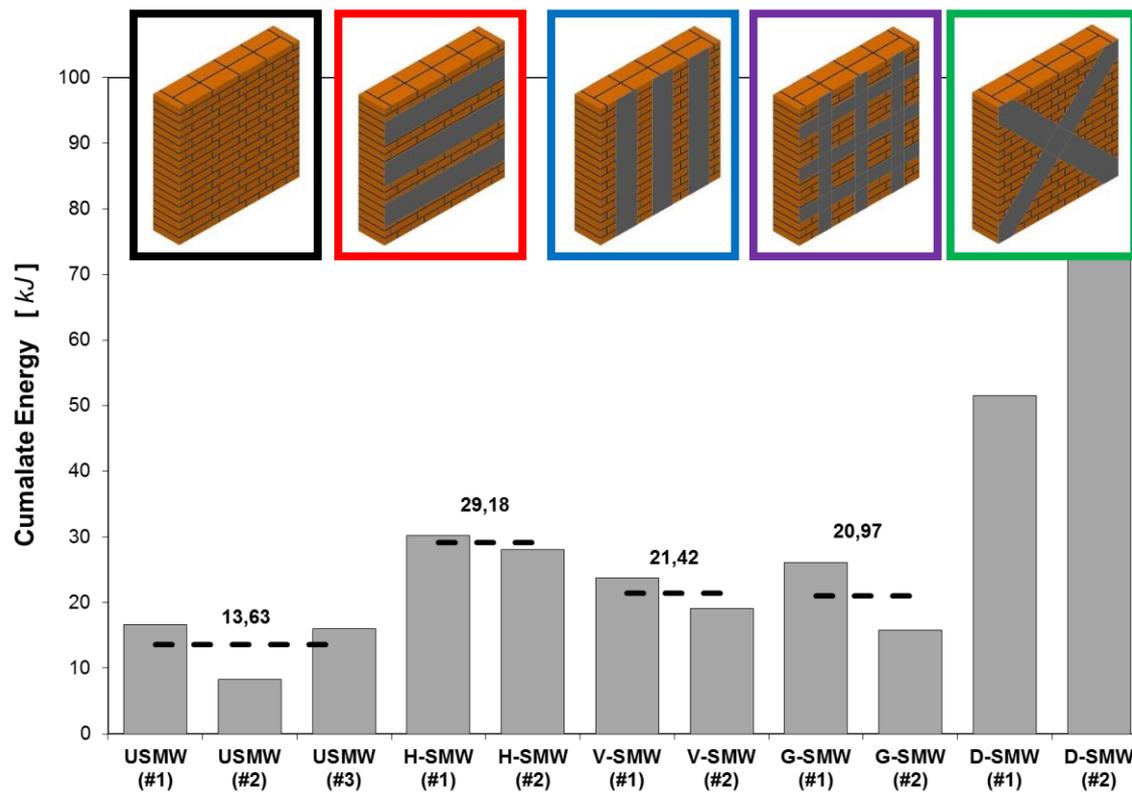
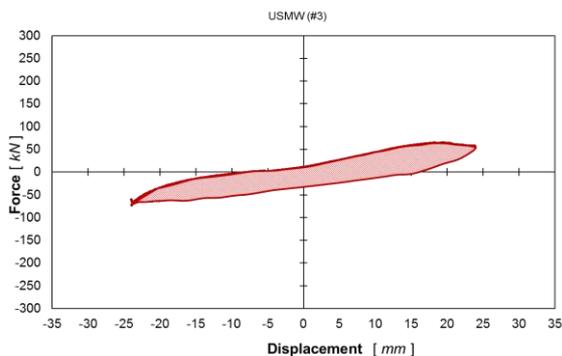
Pannelli rinforzati con FRP



Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRP



Martinelli & al (2016)

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

Fiber-Reinforced Cementitious Matrix	(FRCM)
Textile-Reinforced Mortars	(TRM)
Textile Reinforced Concrete	(TRC)
Fabric Reinforced Mortar	(FRM)
Inorganic Matrix-Grid Composites	(IMG)

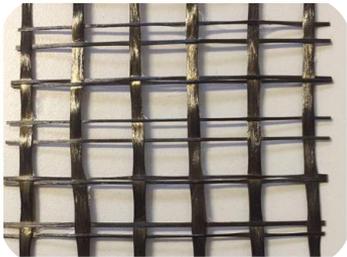


## Vantaggi

- Permeabilità al vapore
- Compatibilità con il substrato
- Resistenza al fuoco
- Reversibilità
- Tempi e costi di installazione

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



Tradizionali:

- Carbonio
- Vetro
- PBO
- Basalto



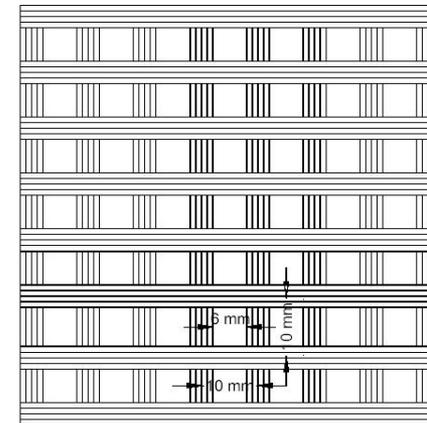
A base di fibre vegetali

- Iuta
- Lino
- Sisal
- Coir
- Canapa
- Curaua



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



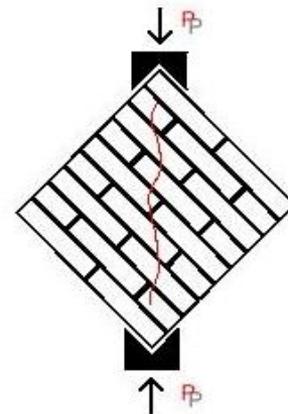
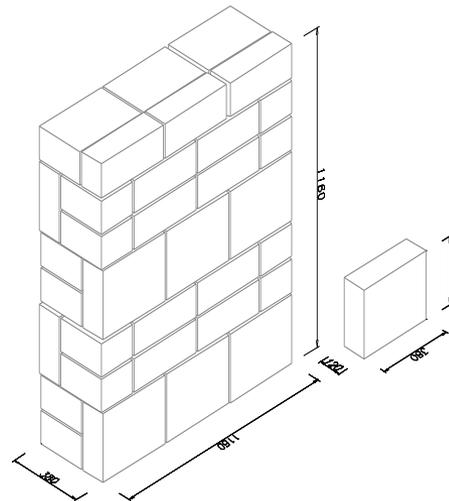
# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



Designation E 519 – 02

Standard Test Method for  
Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages



Faella & al (2010)

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



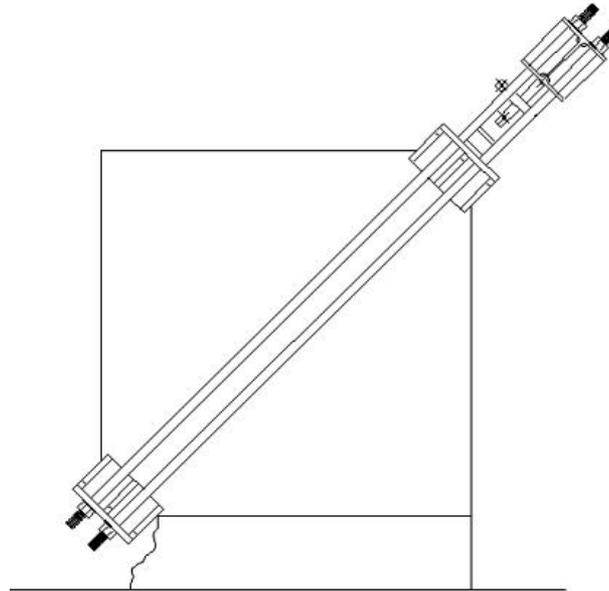
Resistenza a compressione [MPa]	38
Res. a trazione (flessione) [MPa]	7.5
Modulo di Young [MPa]	15000



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

*Tiranti*



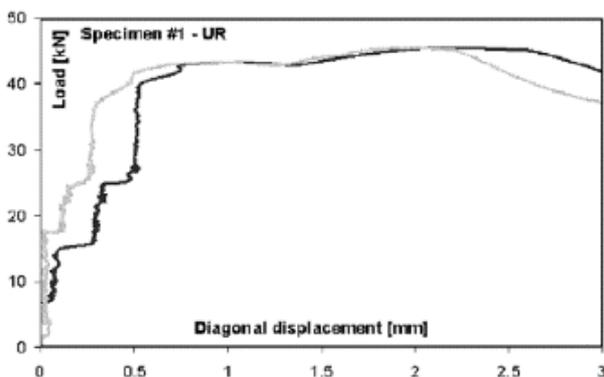
# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

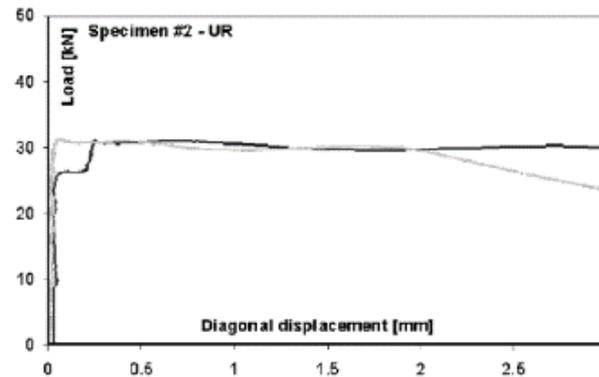


# Evidenze sperimentali

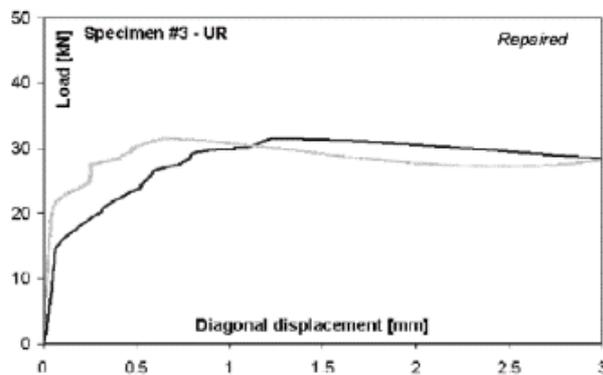
Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



a) specimen #1;



b) specimen #2;



c) specimen #3;



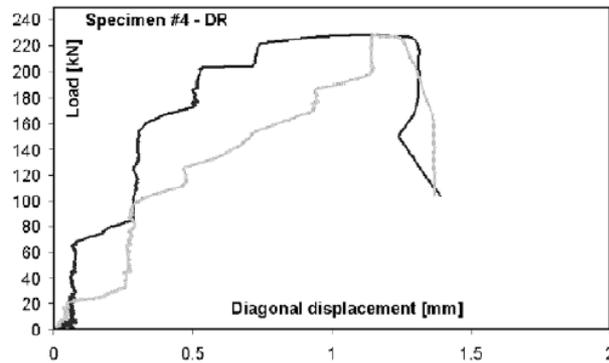
# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

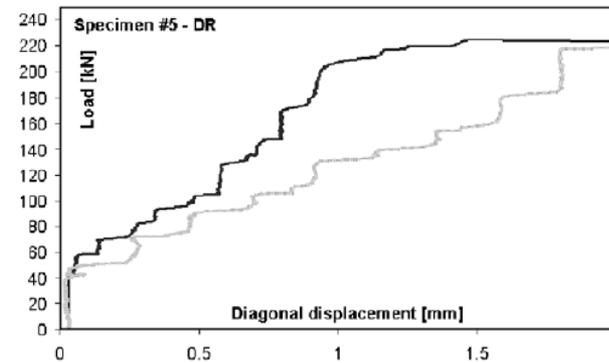


# Evidenze sperimentali

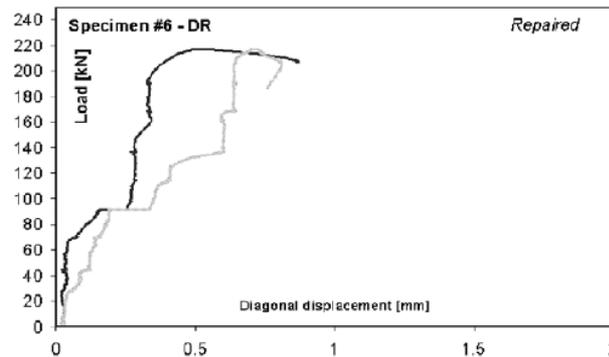
## Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



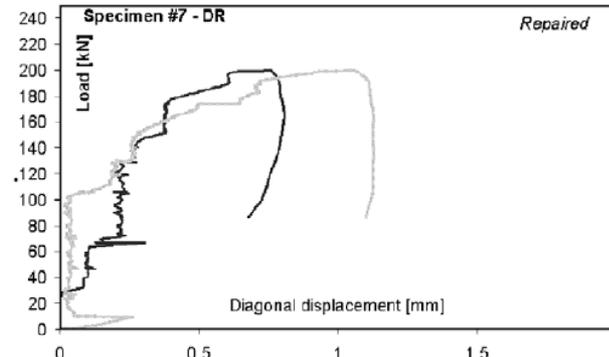
a) specimen #4;



b) specimen #5;



c) specimen #6;



d) specimen #7;



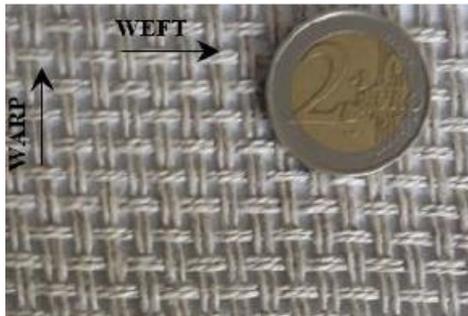
# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



# Evidenze sperimentali

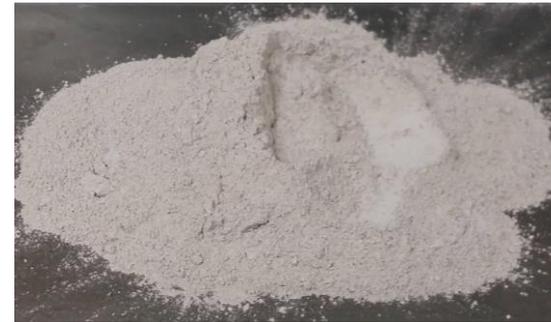
Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



*Tensile strength 354 MPa*

*Strain to failure 3.85 %*

*Young's Modulus 9.4 GPa*



*Flexural strength 3.13 MPa*

*Compression strength 11.13 MPa*

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

Sequenza di applicazione



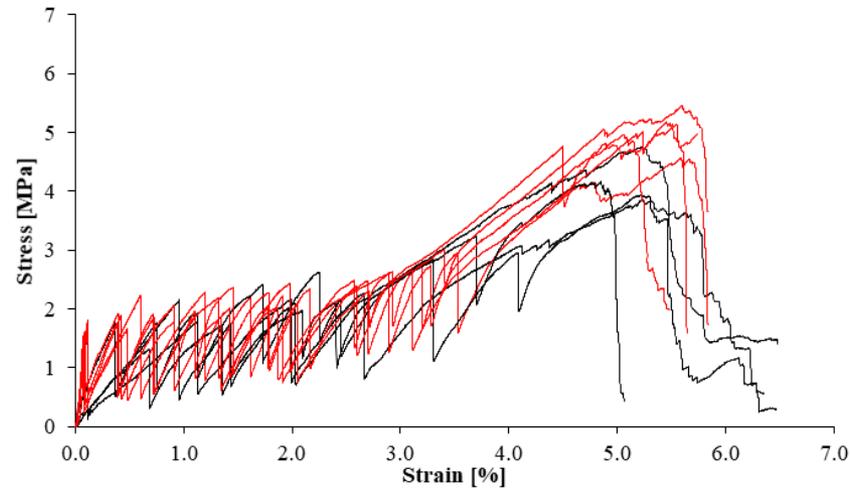
Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

FLAX-TRM: Comportamento a trazione



DISCUSSION

Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

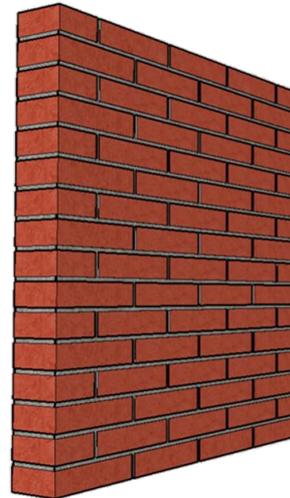
Volumetric % reinf.

Thickness of the reinf.

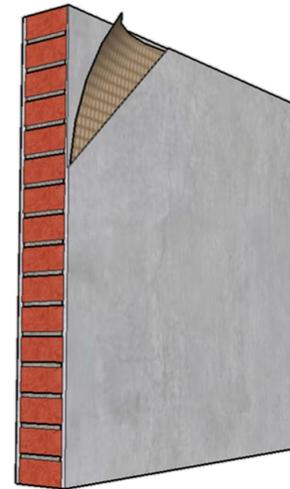
2 Reinforcing  
configurations



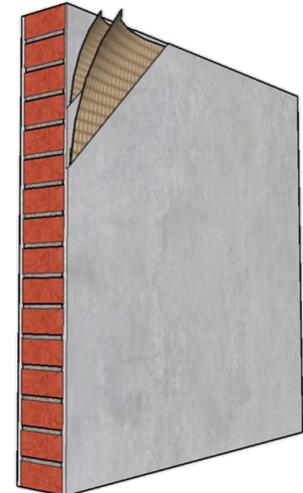
	<u>Volumetric % reinf.</u>	<u>Thickness of the reinf.</u>
1 Flax textile ply (1F-TRM)	2.04 %	2F-TRM 5 mm
2 Flax textile plies (2F-TRM)	2.55 %	Strengthened 8 mm



3 x USW



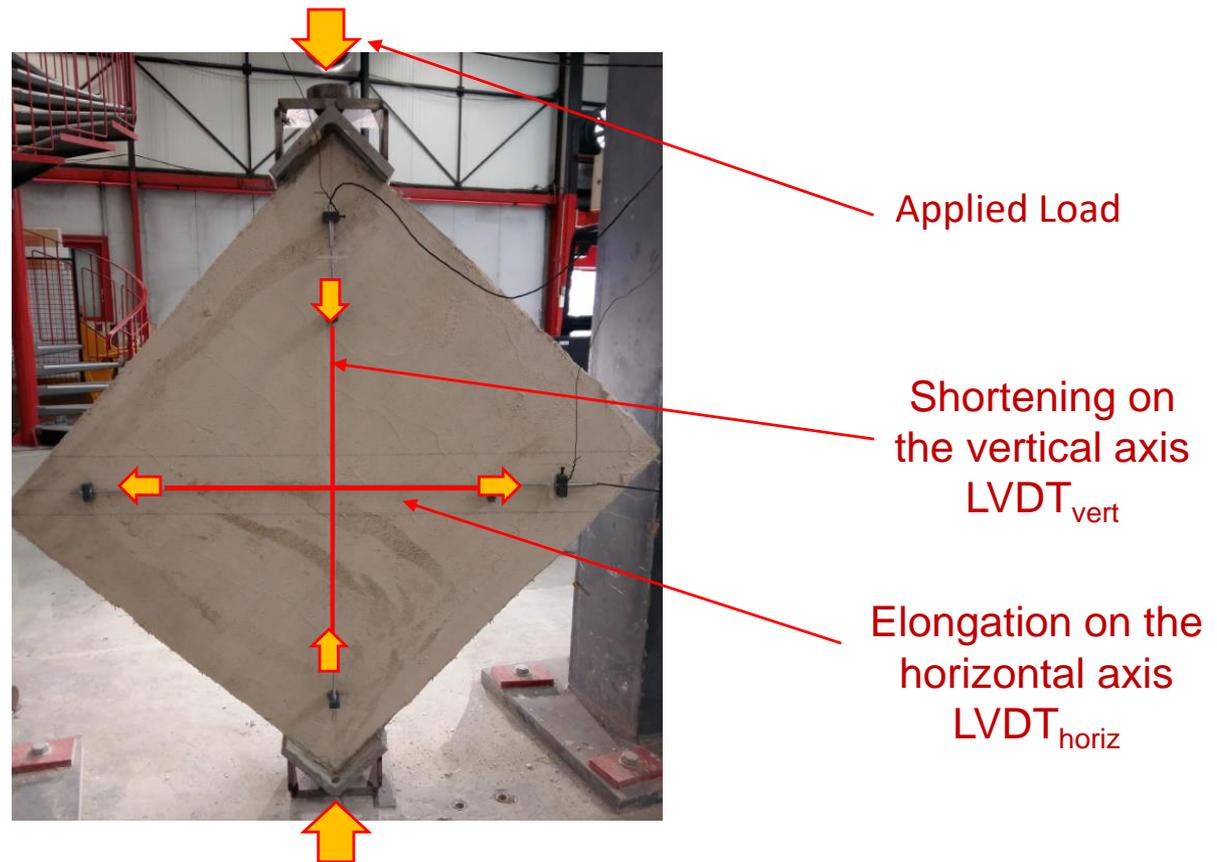
3 x SW-1F



3 x SW-2F

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

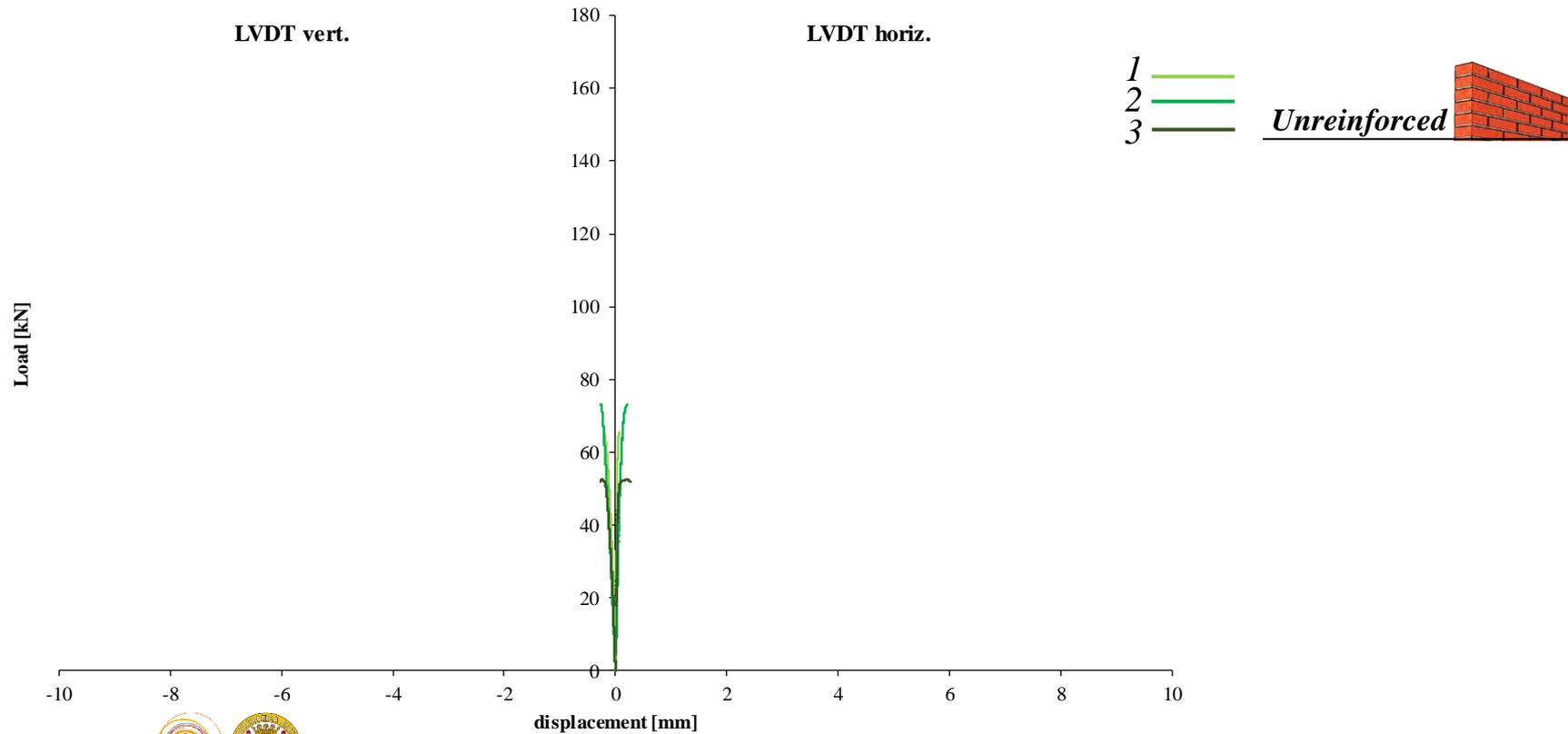


Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

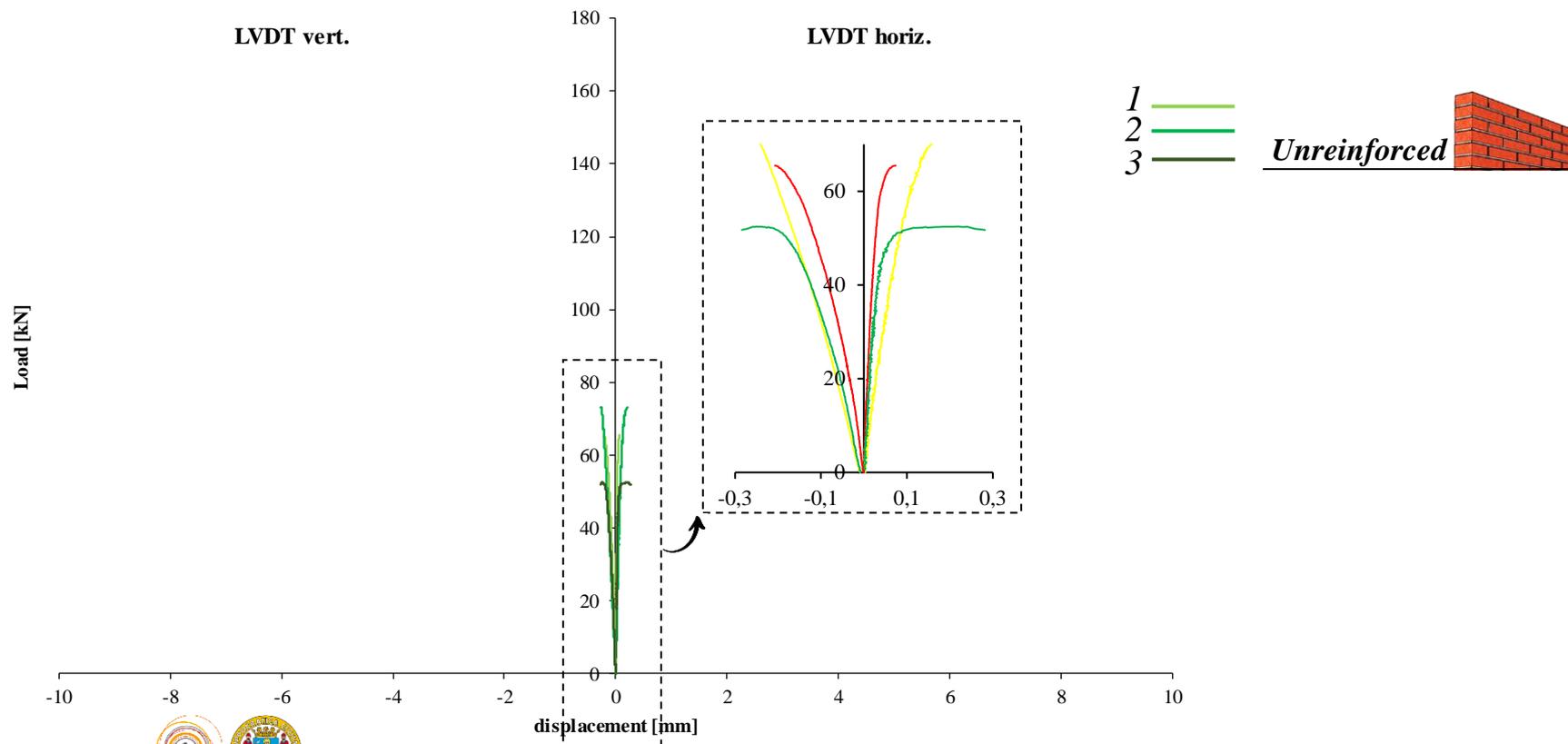


Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

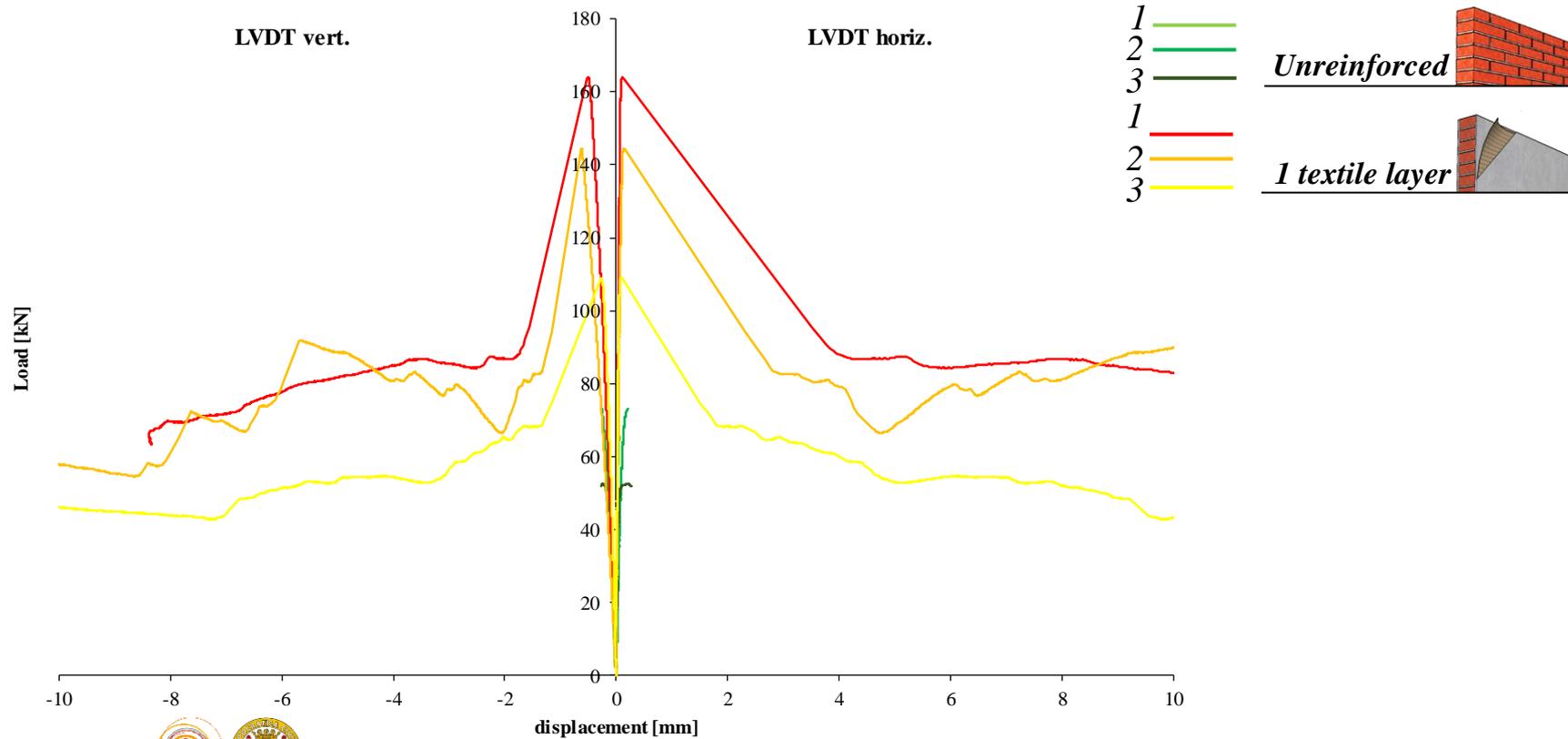


Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



*Unreinforced*



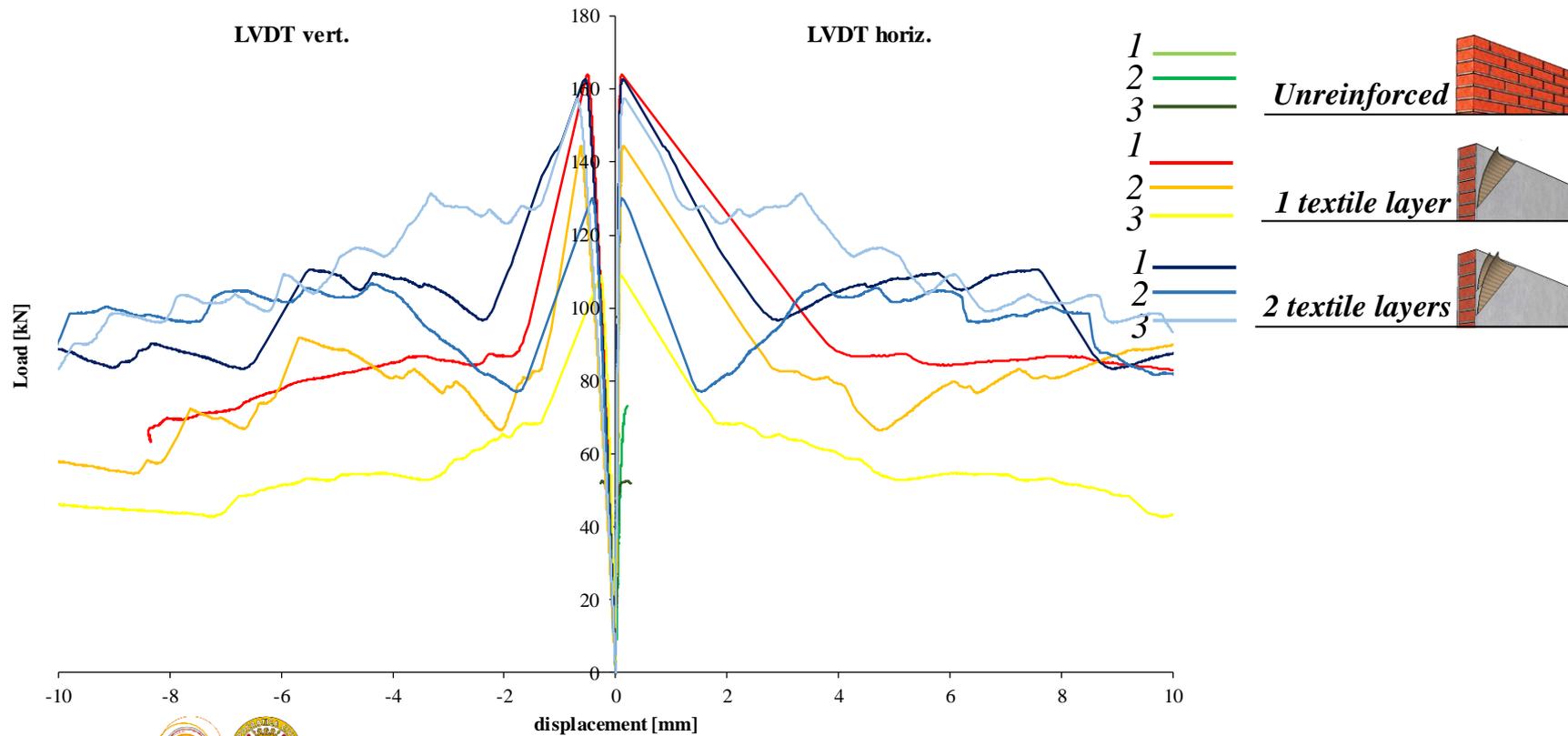
*1 textile layer*

Ferrara & al (2019)



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

Unreinforced



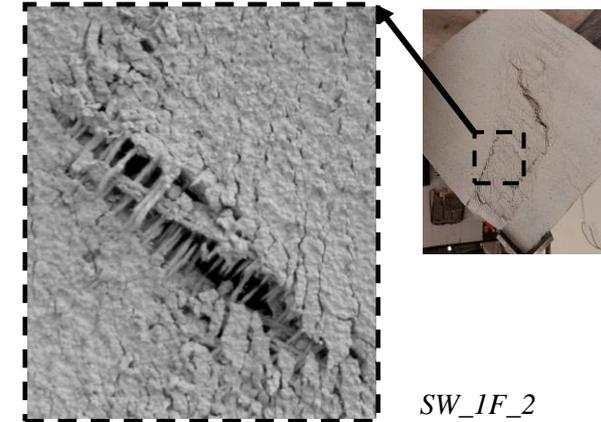
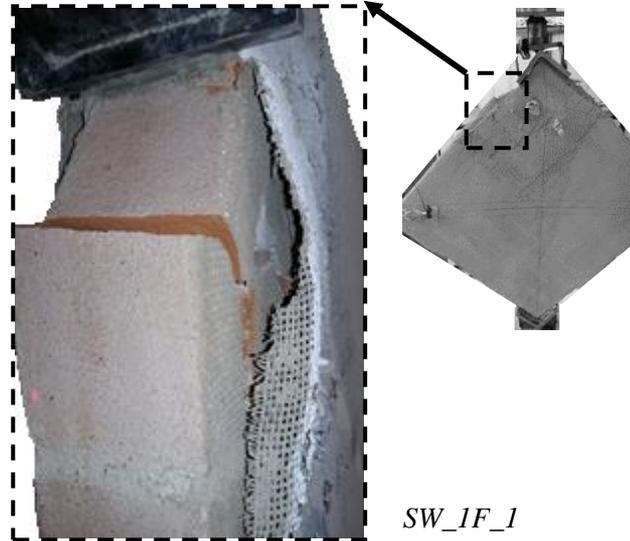
Ferrara & al (2019)



USW\_2

# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM

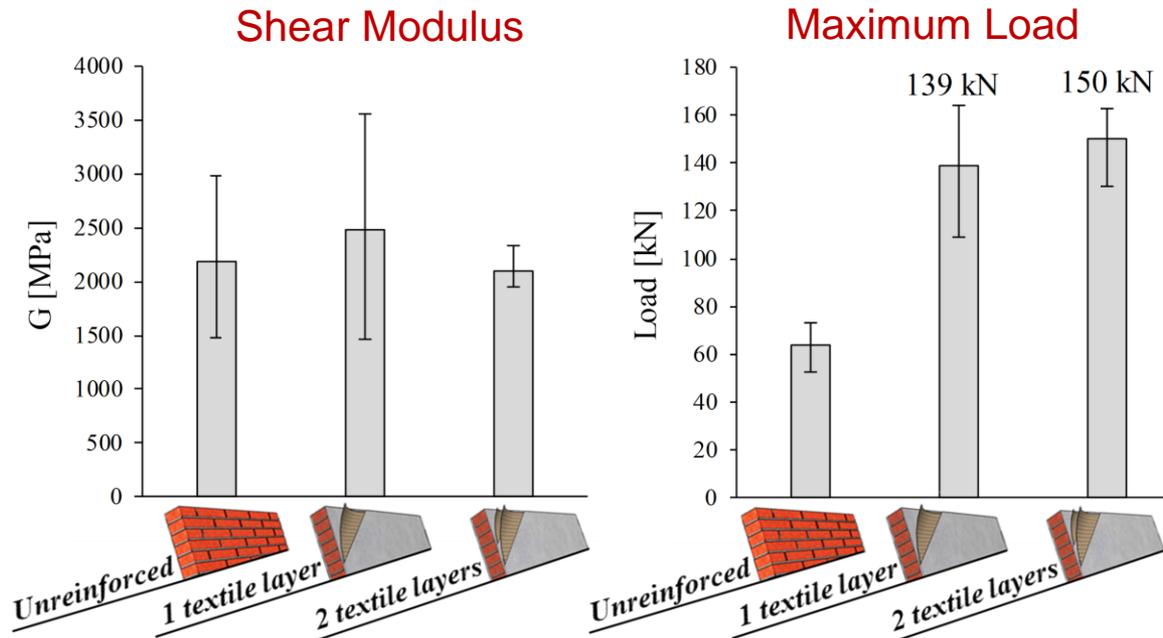


SW\_2F\_1



# Evidenze sperimentali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



# Analisi strutturali

Pannelli rinforzati con FRP

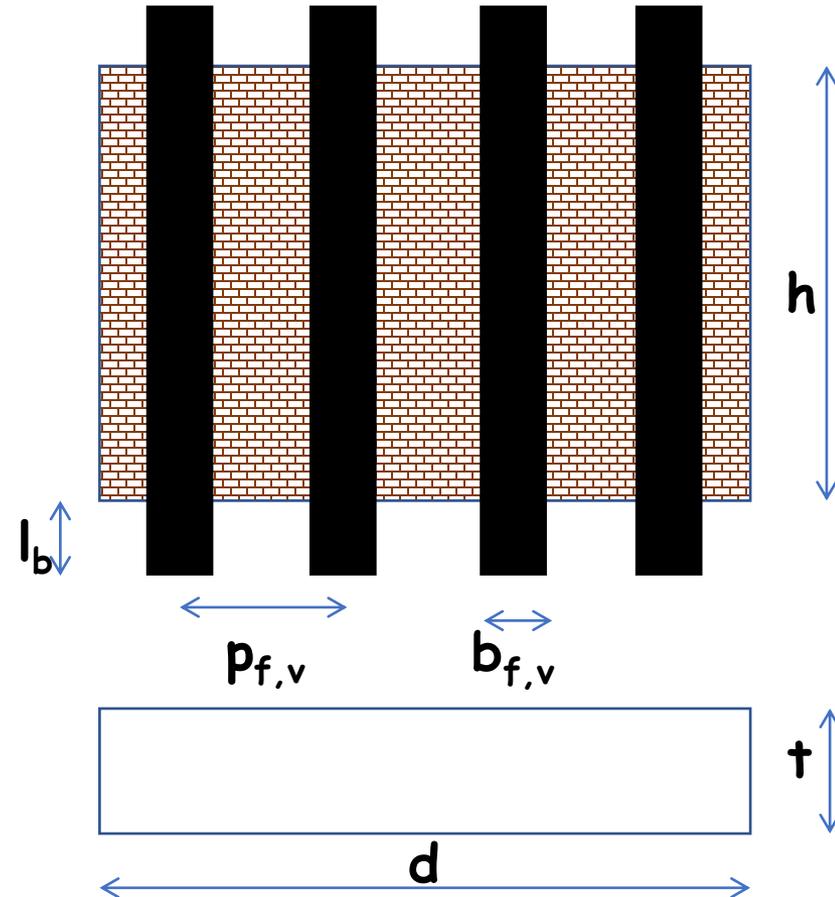
$$f_{f,d} = \min(f_{fu,d}, f_{f,dd})$$

Strappo della lamina

$$f_{fu,d} = \eta_a \frac{f_{fu}}{\gamma_f}$$

Delaminazione d'estremità

$$f_{f,dd} = \begin{cases} \frac{1}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\frac{2E_f \Gamma_{Fd}}{t_f}} & l_b \geq l_e \\ \frac{1}{\gamma_{f,d}} \sqrt{\frac{2E_f \Gamma_{Fd}}{t_f}} \cdot \frac{l_b}{l_e} \cdot \left(2 - \frac{l_b}{l_e}\right) & l_b < l_e \end{cases}$$



# Analisi strutturali

Pannelli rinforzati con FRP

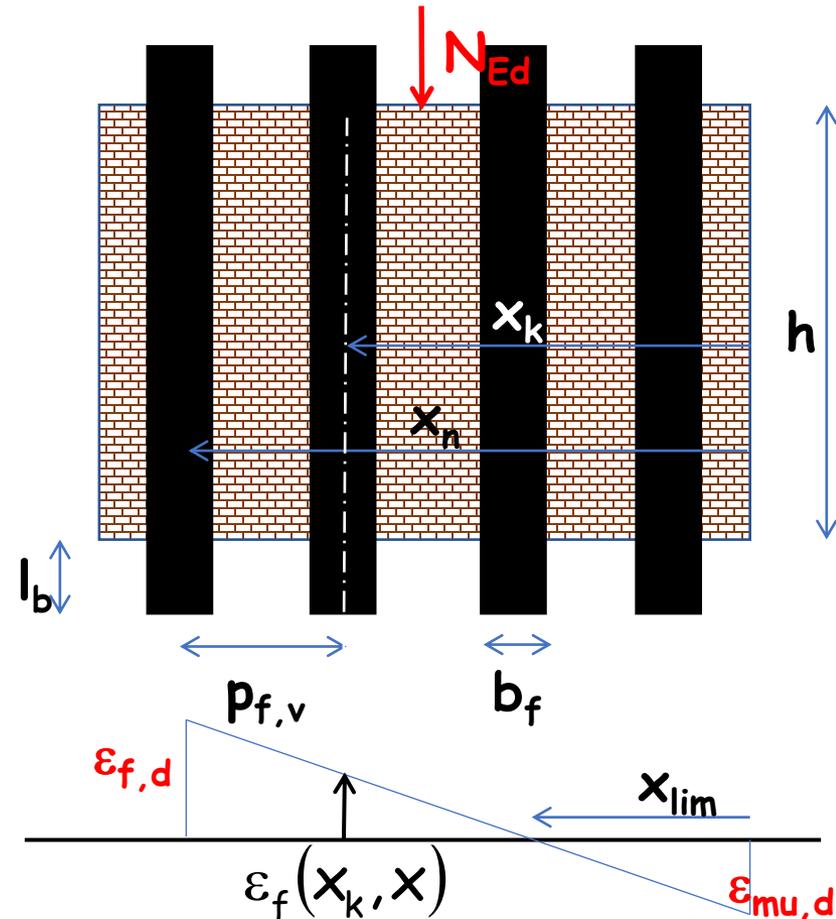
$$\varepsilon_{f,d} = \frac{f_{f,d}}{E_f} \quad x_{lim} = \frac{\varepsilon_{mu,d}}{\varepsilon_{f,d} + \varepsilon_{mu,d}} \cdot x_{f,n}$$

$$N_{Rd}(x) = 0,85 f_{cm} t \cdot \psi x - 2 \cdot \sum_{k=1}^n E_f b_f t_f \sigma_f(x_k, x)$$

$$M_{Rd}(x) \approx 0,85 f_{cm} t \cdot \psi x \cdot \left( \frac{d}{2} - \frac{\psi x}{2} \right) +$$

$$+ 2 \cdot \sum_{k=1}^n E_f b_f t_f \sigma_f(x_k, x) \cdot \left( \frac{d}{2} - x_k \right)$$

$$\sigma_f(x_k, x) = E_f \cdot \max\{\varepsilon_f(x_k, x); 0\}$$



# Analisi strutturali

Pannelli rinforzati con FRP

$$\sigma_f(x_k, x) = E_f \cdot \max\{\varepsilon_f(x_k, x); 0\}$$

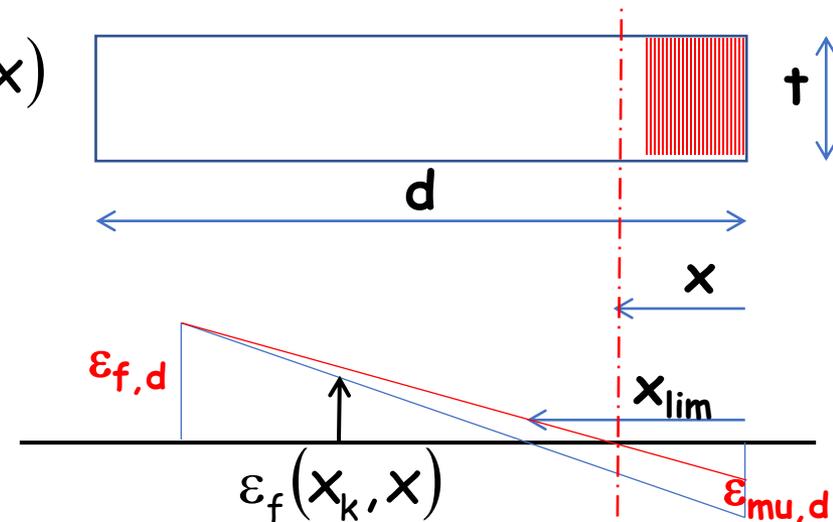
$$x \leq x_{lim} \rightarrow \varepsilon_f(x_k, x) = \frac{\varepsilon_{f,d}}{x_n - x} \cdot (x_k - x)$$

$$x > x_{lim} \rightarrow \varepsilon_f(x_k, x) = \frac{\varepsilon_{mu,d}}{x} \cdot (x_k - x)$$

$$N_{Rd}(x) = 0,85 f_{cm} t \cdot \psi x - 2 \cdot \sum_{k=1}^n E_f b_f t_f \sigma_f(x_k, x)$$

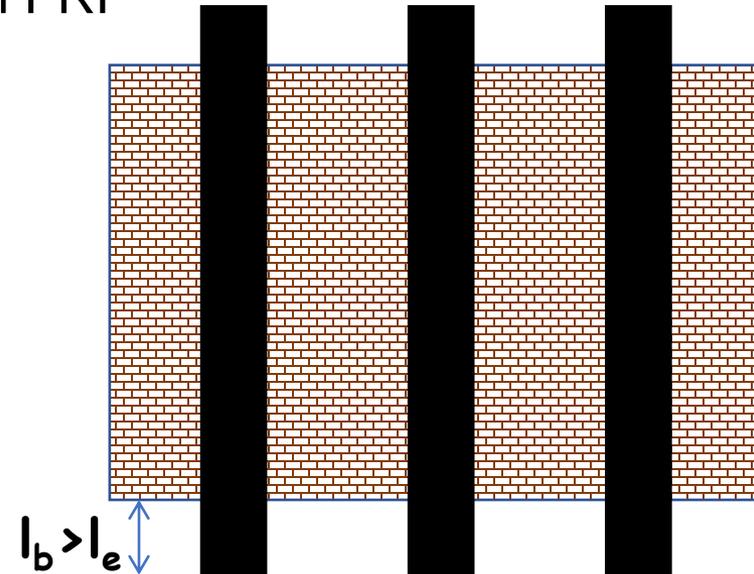
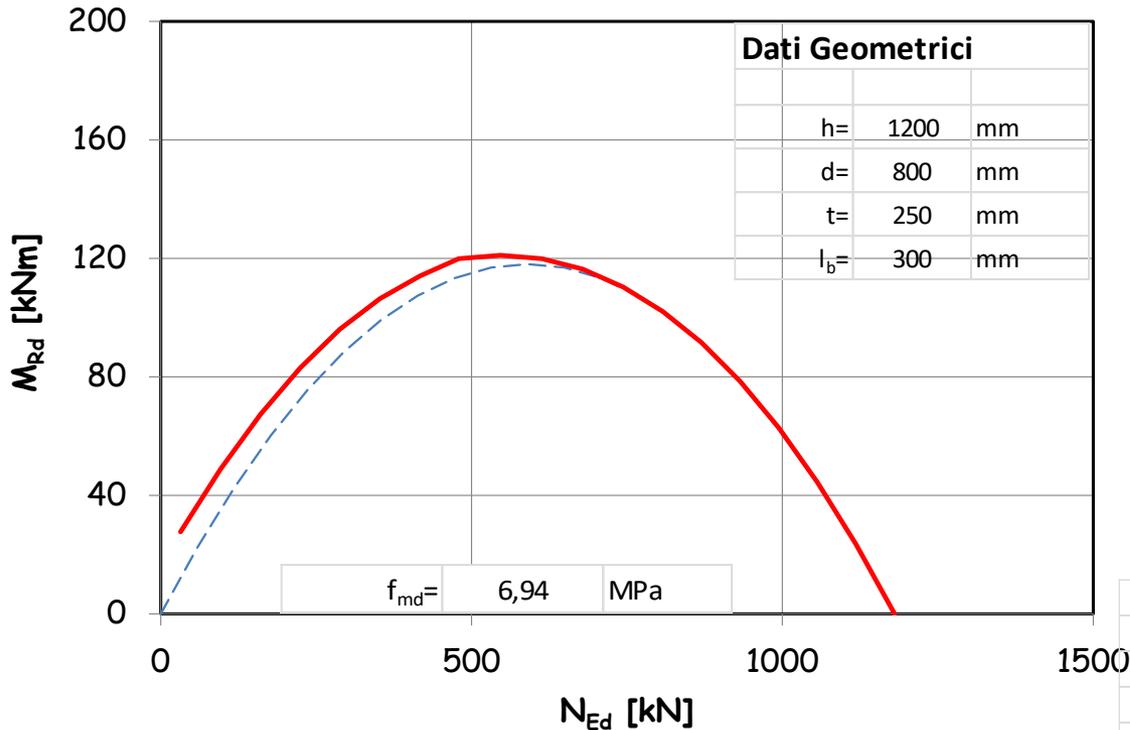
$$M_{Rd}(x) \approx 0,85 f_{cm} t \cdot \psi x \cdot \left( \frac{d}{2} - \frac{\psi x}{2} \right) +$$

$$+ 2 \cdot \sum_{k=1}^n E_f b_f t_f \sigma_f(x_k, x) \cdot \left( \frac{d}{2} - x_k \right)$$



# Analisi strutturali

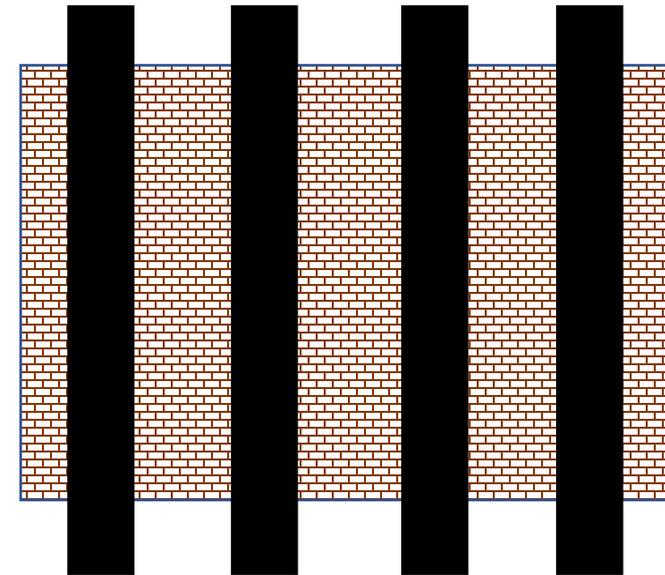
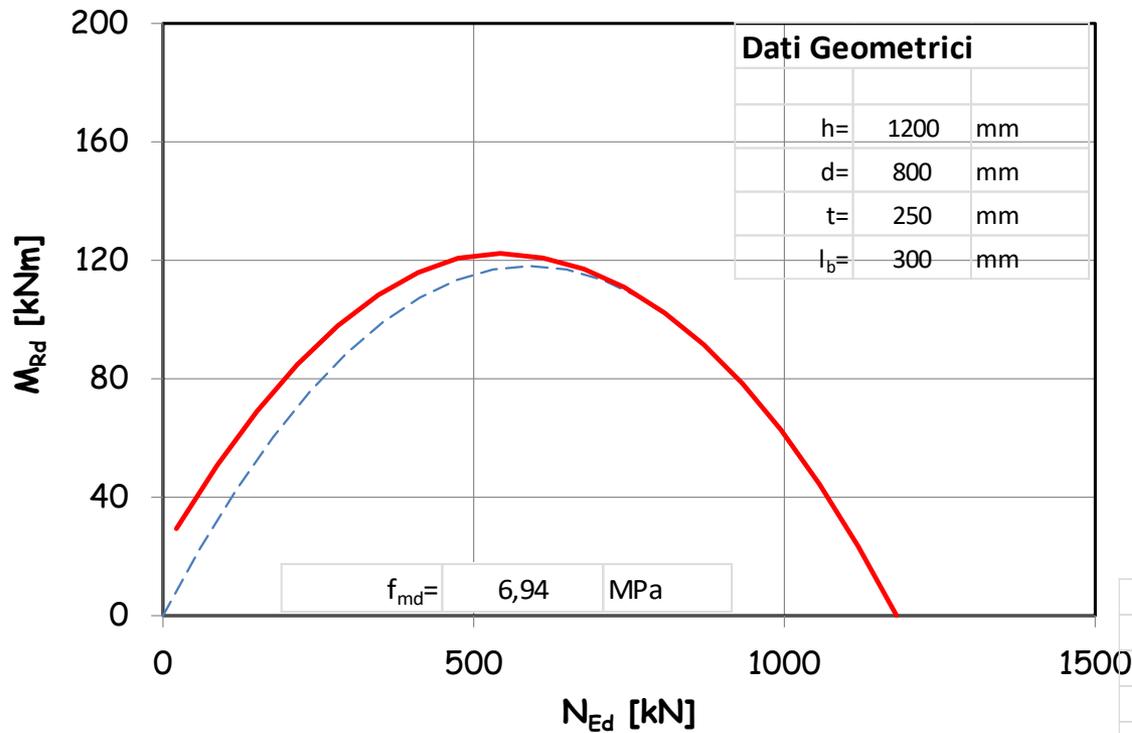
## Pannelli rinforzati con FRP



$b_f =$	100	mm	$b_{brick} =$	250	mm		
$t_f =$	0,167	mm	$\varepsilon_{f_u} =$	0,015		$\varepsilon_{m_u,d} =$	0,0040
$E_f =$	230000	MPa					
$k_G =$	0,108		$\Gamma_{fd} =$	0,134	N/mm	$\varepsilon_{f_u,d} =$	0,0106
$k_b =$	1,36		$l_e =$	150,0	mm	$\varepsilon_{fd,d} =$	0,0026
$s_u =$	0,3	mm	$f_{fd,d} =$	607,08	MPa	$\varepsilon_{f,d} =$	0,0026
$\psi =$	0,8		$f_{fd,2} =$	607,08	MPa		

# Analisi strutturali

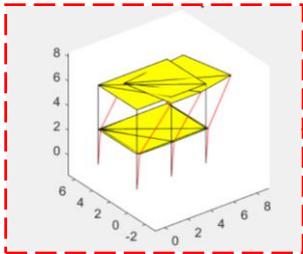
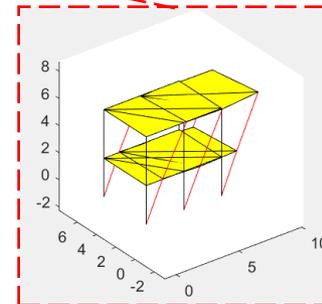
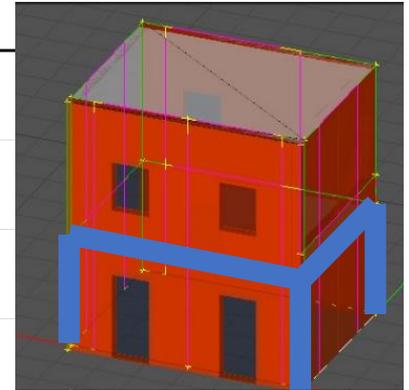
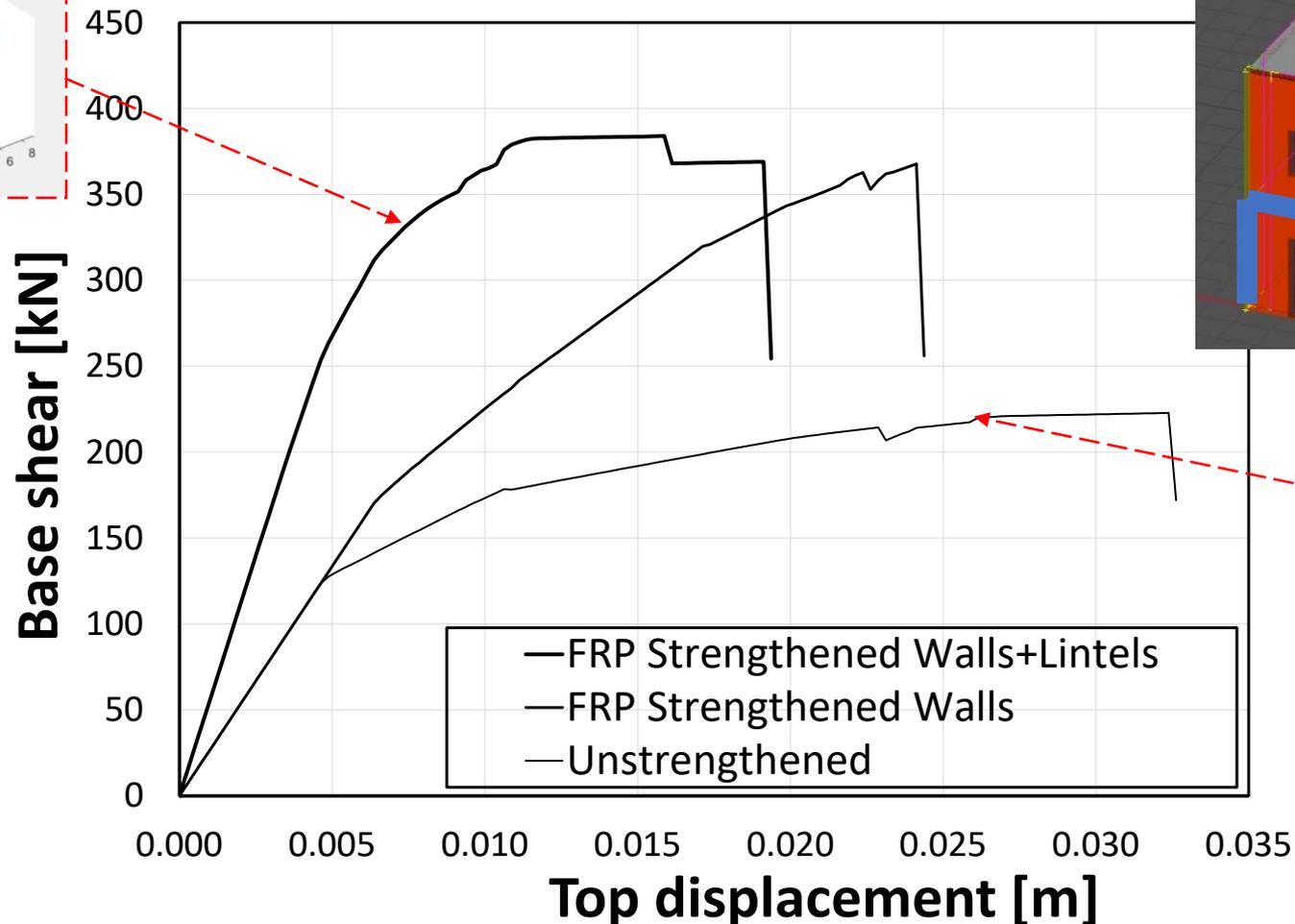
## Pannelli rinforzati con FRP



$b_f =$	100	mm	$b_{brick} =$	250	mm		
$t_f =$	0,167	mm	$\varepsilon_{fu} =$	0,015		$\varepsilon_{mu,d} =$	0,0040
$E_f =$	230000	MPa					
$k_G =$	0,108		$\Gamma_{fd} =$	0,134	N/mm	$\varepsilon_{fu,d} =$	0,0106
$k_b =$	1,36		$l_e =$	150,0	mm	$\varepsilon_{fd,d} =$	0,0026
$s_u =$	0,3	mm	$f_{fd} =$	607,08	MPa	$\varepsilon_{f,d} =$	0,0026
$\psi =$	0,8		$f_{fd,2} =$	607,08	MPa		

# Analisi strutturali

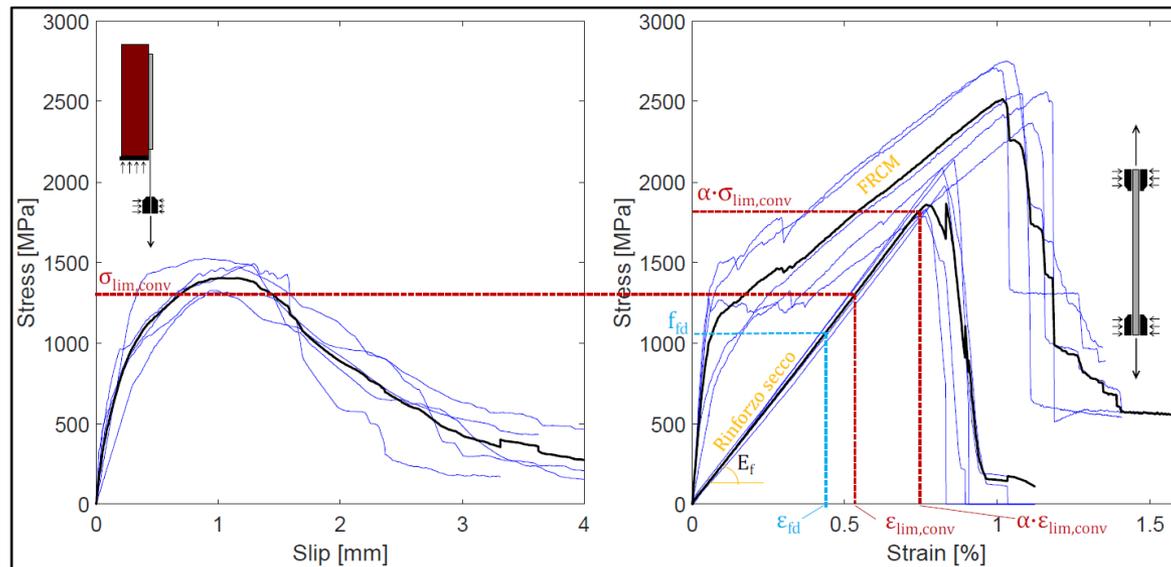
Pannelli rinforzati con FRP



# Analisi strutturali

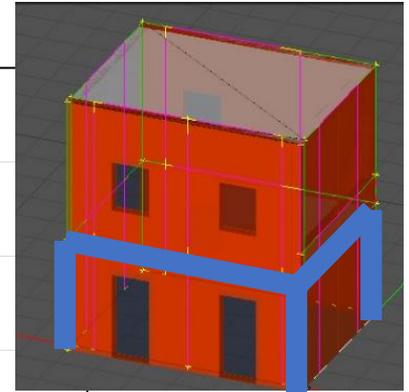
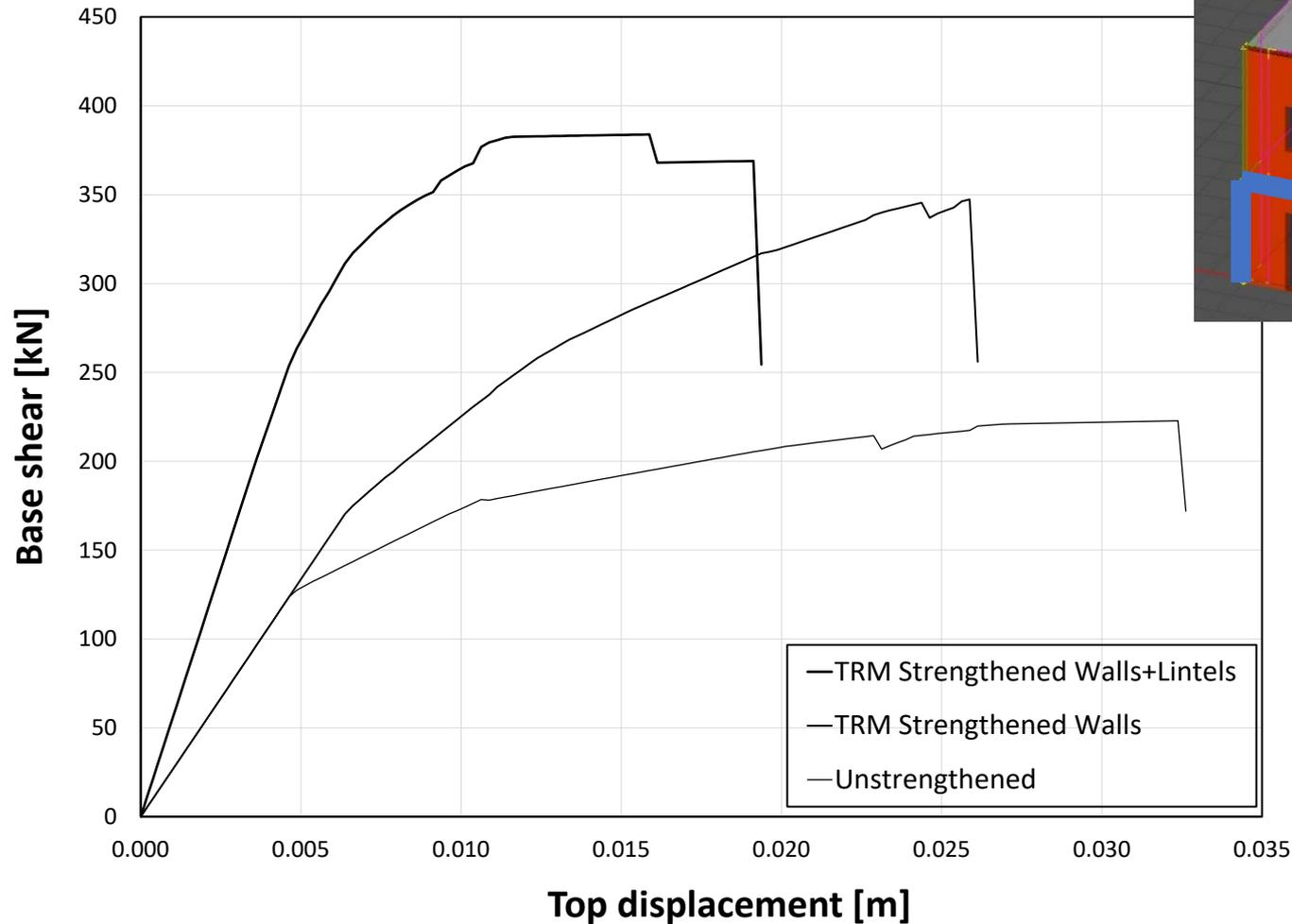
## Pannelli rinforzati con FRCM/TRM (CNR DT 215/208 – Esempio 11.2)

- $E_f = 242.2$  GPa (modulo elastico del rinforzo secco)
- $\sigma_{u,f} = 1601.3$  MPa (valore caratteristico tensione ultima di rottura del tessuto secco)
- $\varepsilon_{u,f} = 0.66\%$  (valore caratteristico deformazione ultima di rottura del tessuto secco)
- $\sigma_u = 2233$  MPa (valore caratteristico tensione a rottura del rinforzo FRCM)
- $\varepsilon_u = 0.91\%$  (valore medio deformazione a rottura del rinforzo FRCM)
- $\sigma_{lim,conv} = 1270$  MPa (valore caratteristico resistenza al distacco)
- $\varepsilon_{lim,conv} = 0.52\%$  (deformazione corrispondente a  $\sigma_{lim,conv}$  sulla curva di trazione del tessuto secco)



# Analisi strutturali

Pannelli rinforzati con FRCM/TRM



# Commenti Conclusivi

## Riferimenti bibliografici

- ✓ Faella C., **Martinelli E.**, Nigro E., Paciello S. (2010), *Shear Capacity of Masonry Walls Externally Strengthened by a Cement-Based Composite Material: an Experimental Campaign*, Construction and Building Materials 24(1), 84-93 (doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.019);
- ✓ Faella C., **Martinelli E.**, Paciello S., Camorani G., Aiello M.A., Micelli F., Nigro E. (2011), *Masonry columns confined by Composite materials: experimental investigation*, Composites Part B, 42(4), 692-704 (doi:10.1016/j.compositesb.2011.02.001);
- ✓ Faella C., **Martinelli E.**, Camorani G., Aiello M.A., Micelli F., Nigro E. (2011), *Masonry columns confined by Composite materials: design formulae*, Composites Part B, 42(4), 705-716 (doi:10.1016/j.compositesb.2011.02.024);
- ✓ Faella C., Camorani G., **Martinelli E.**, Paciello S.O., Perri F. (2012), *Bond behaviour of FRP strips glued on masonry: Experimental investigation and empirical formulation*, Construction and Building Materials, 31, 353-363 (doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.12.100);
- ✓ **Martinelli E.**, Perri F., Sguazzo C., Faella, C. (2016), *Cyclic shear-compression tests on masonry walls strengthened with alternative configurations of CFRP strips*, Bulletin of Earthquake Engineering, 14(6), 1695-1720 (doi: 10.1007/s10518-016-9895-6);
- ✓ Ferrara G., Caggegi C., Gabor A., **Martinelli E.** (2019), *Shear strengthening of masonry walls with Flax Textile Reinforced Mortar composite systems*, Proc. of the 5<sup>th</sup> International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, 27-29 August 2019 in Potsdam (DE).



**SOFT.LAB**  
SOFTWARE PER L'EDILIZIA

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE.**

***STATI GENERALI  
DELLA MURATURA***

**Prof. Ing. Enzo Martinelli**

**e.martinelli@unisa.it; e.martinelli@tesis-srl.eu**



**SpinOff**

