



**UNIVERSITÀ  
DEL SALENTO**

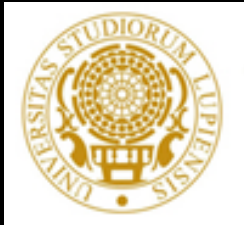
**Prof. Maria Antonietta Aiello**

**PRESTAZIONI MECCANICHE E DURABILITÀ NEL  
RINFORZO STRUTTURALE  
ESPERIENZE SU MURATURA IN PIETRA CALCAREA**

**TECNICHE DI RINFORZO STRUTTURALE DI EDIFICI ESISTENTI CON MATERIALI COMPOSITI**  
**Bari 26 OTTOBRE 2016**



# Chi parla?



## Francesco Micelli

**Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni**

Facoltà di Ingegneria – Università del Salento

Dip.to di Ingegneria dell’Innovazione - Edificio “La Stecca” piano 2°

Insegnamenti:

Complementi di Tecnica delle Costruzioni

Progetto di Strutture

(CdL Magistrale in Ingegneria Civile)

Conservazione e Recupero Strutturale

(CdL Magistrale in Scienze per la Conservazione ed il Restauro - BB.CC.)

Contatti:

**(+39) 0832 297 380**

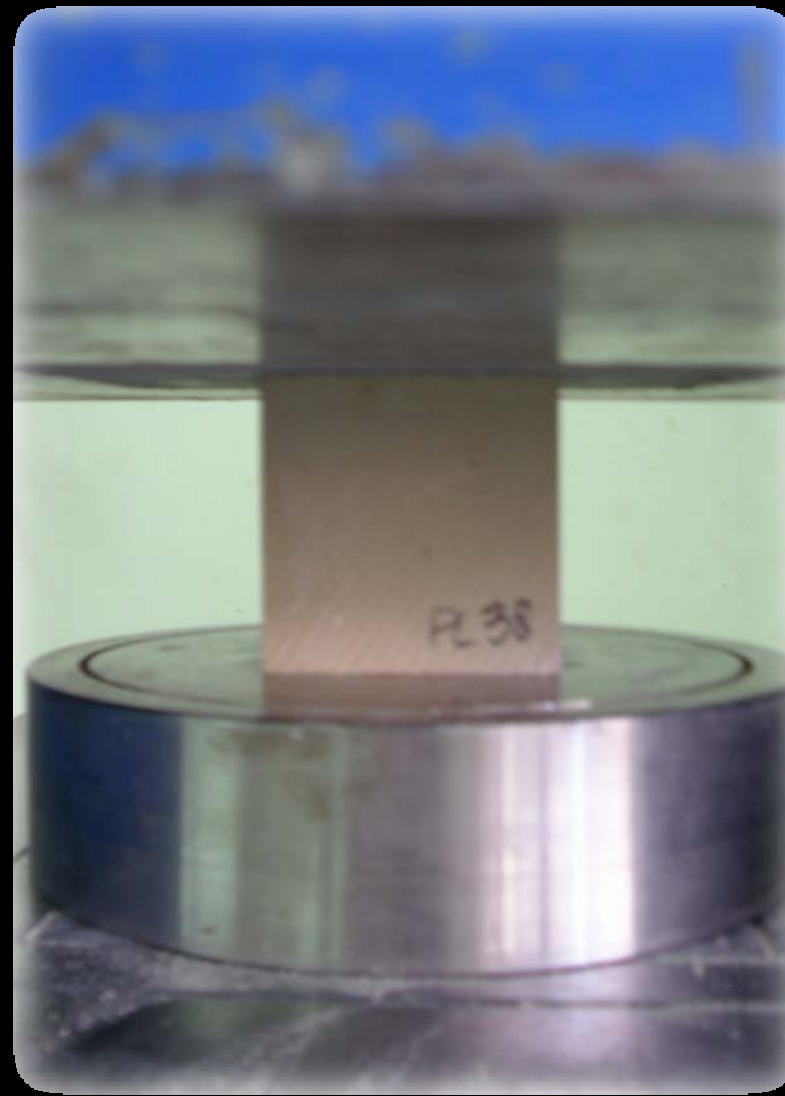
**francesco.micelli@unisalento.it**

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI SQUADRATI

**Tabella 7.8.II** – *Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma.*

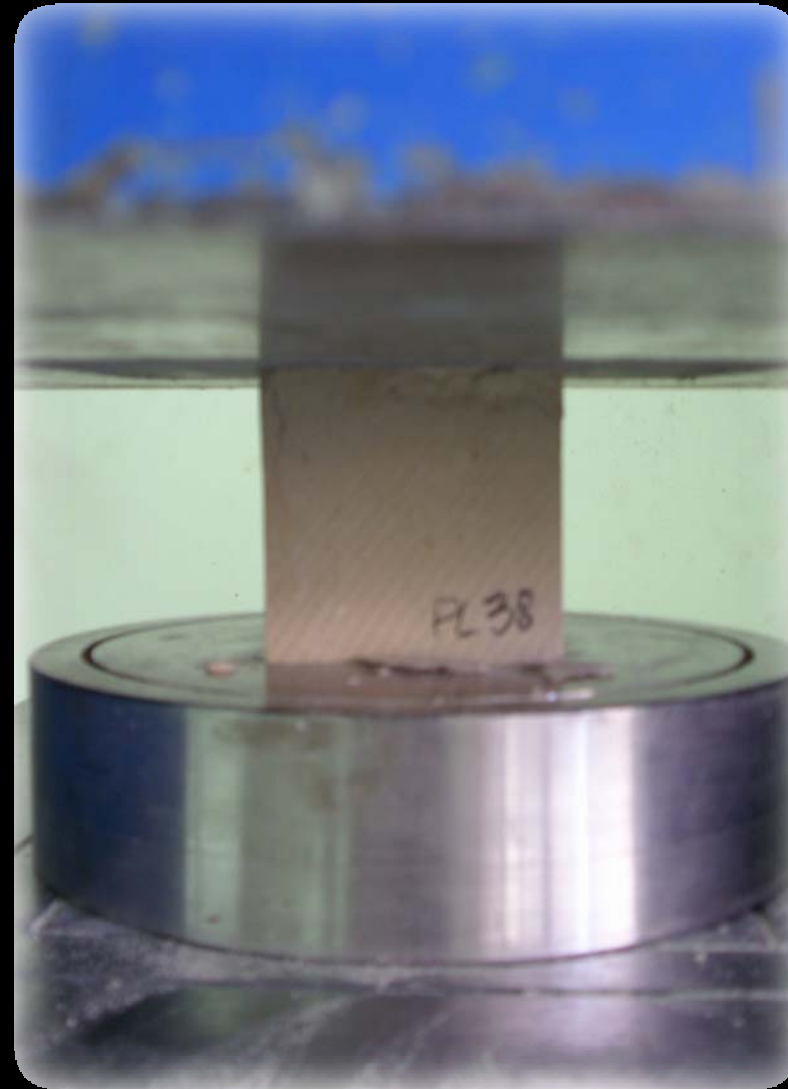
| Tipologie costruttive  | $t_{\min}$ | $(\lambda=h_o/t)_{\max}$ | $(l/h')_{\min}$ |
|--|------------|--------------------------|-----------------|
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata                                  | 300 mm     | 10                       | 0,5             |
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali  | 240 mm     | 12                       | 0,4             |
| Muratura armata, realizzata con elementi artificiali   | 240 mm     | 15                       | Qualsiasi       |
| Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti ricadenti in zona 3 e 4 | 240 mm     | 12                       | 0,3             |
| Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti ricadenti in zona 4              | 200 mm     | 20                       | 0,3             |
| Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti ricadenti in zona 4                  | 150 mm     | 20                       | 0,3             |

**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



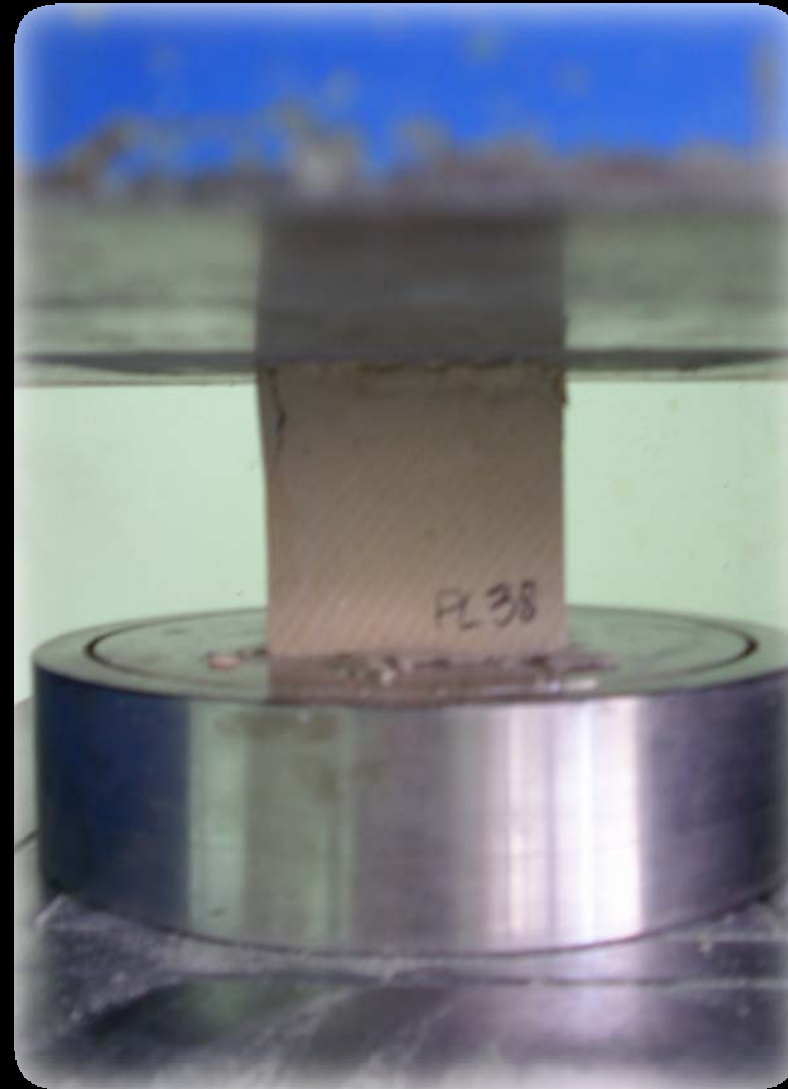
**Inizio della fase di carico**

**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



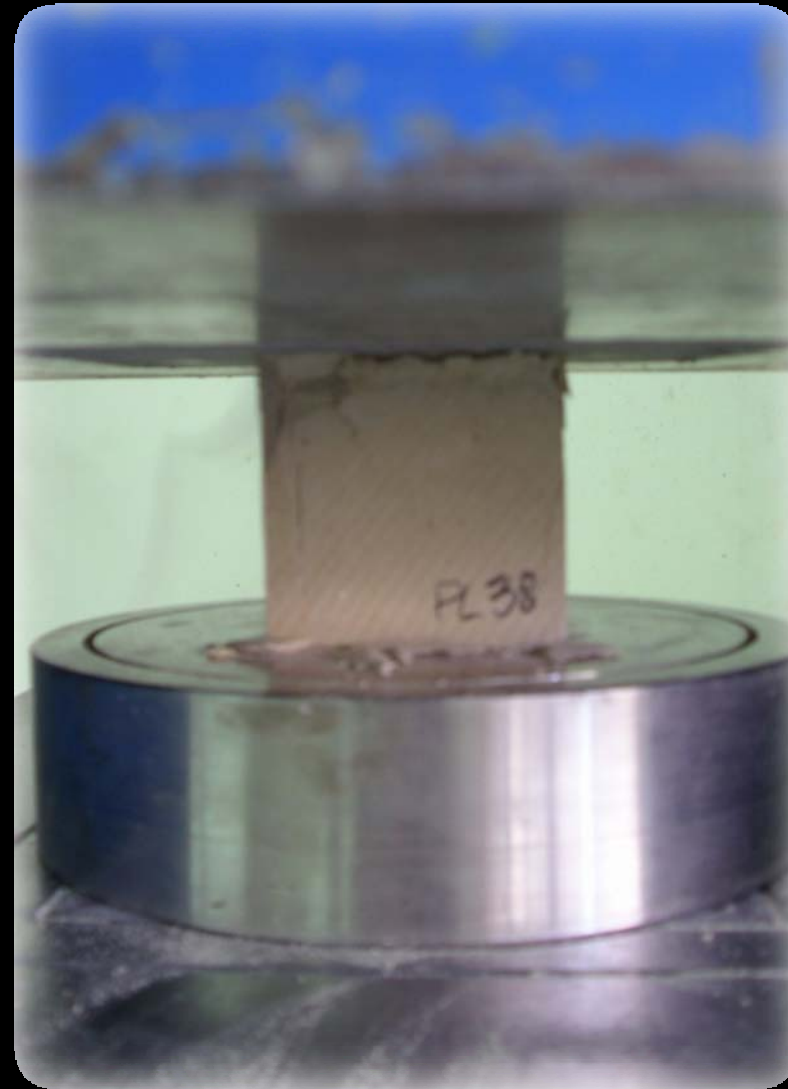
***Iniziale frattura del provino in corrispondenza dei bordi superiori***

**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



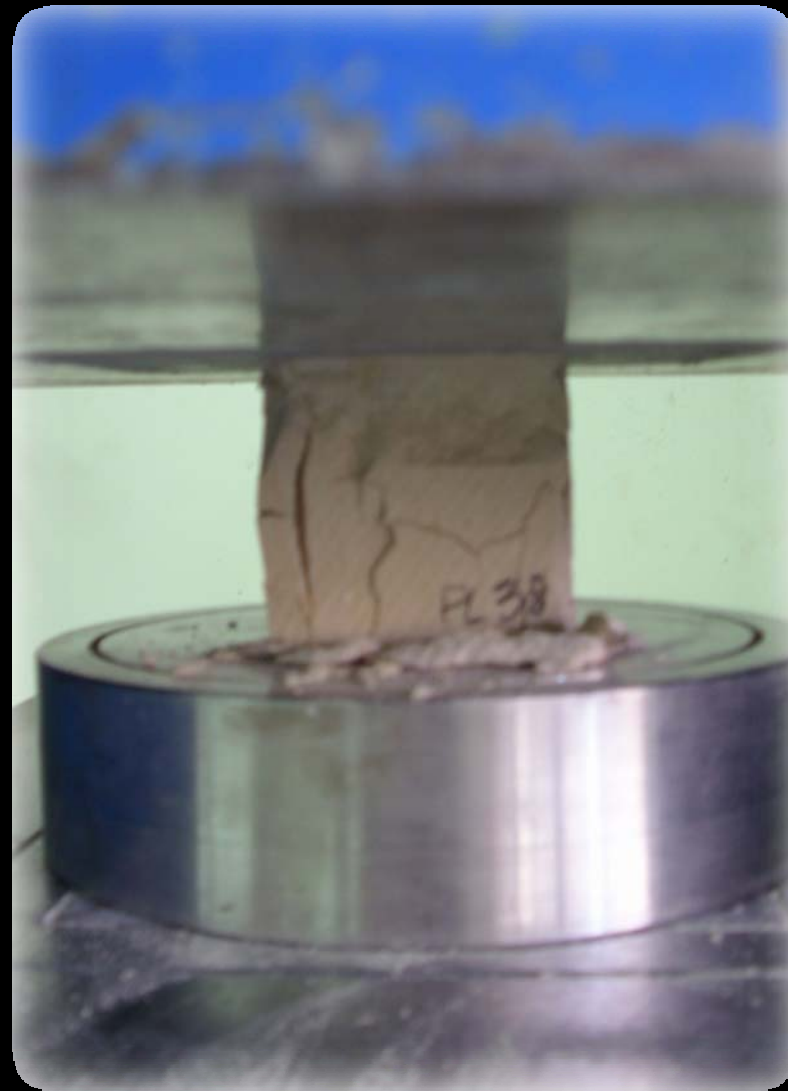
**Iniziali segni di frattura verticale**

**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



**Avanzamento continuo del danno e comparsa delle prime lesioni diffuse**

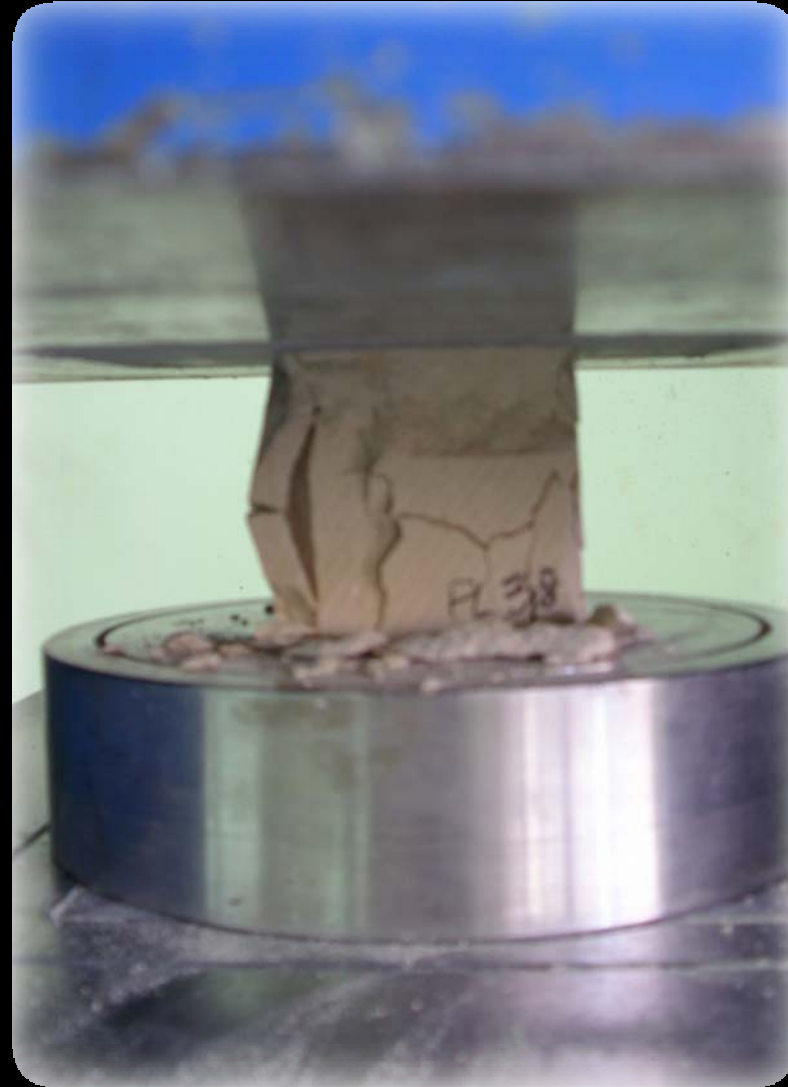
**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



**Iniziale sintomo di "spandimento" del provino**

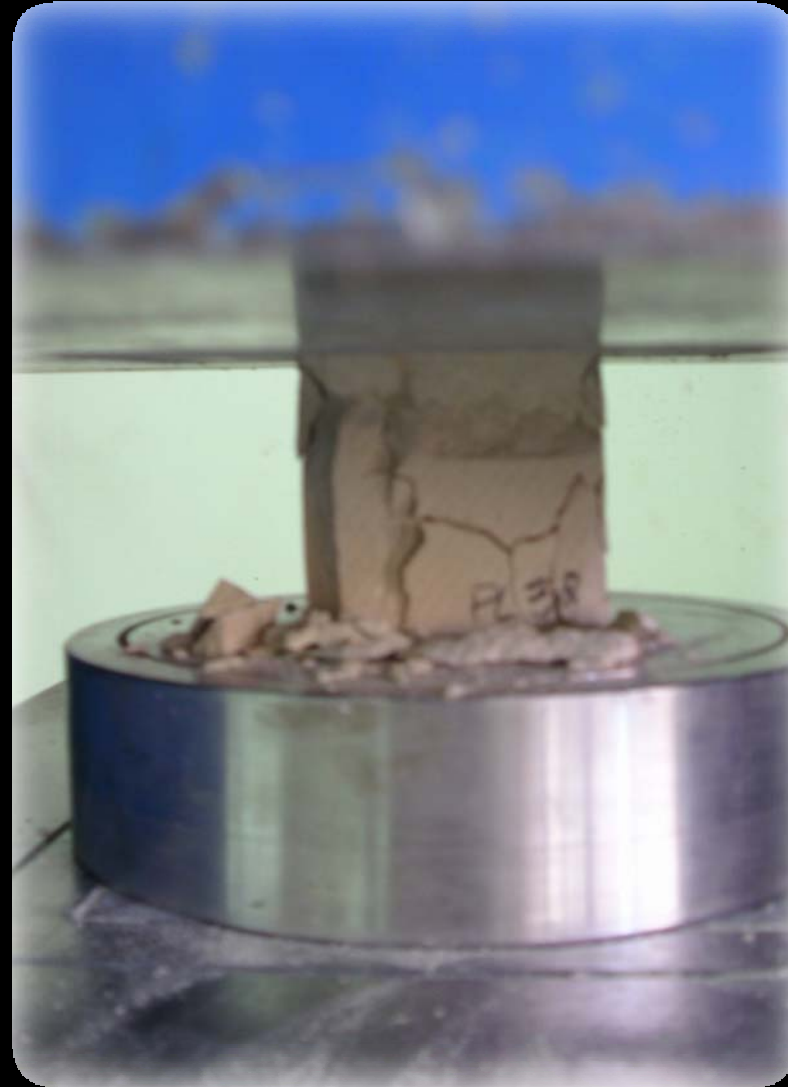


**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



**“Spanciamento” evidente con progressivo e globale collasso**

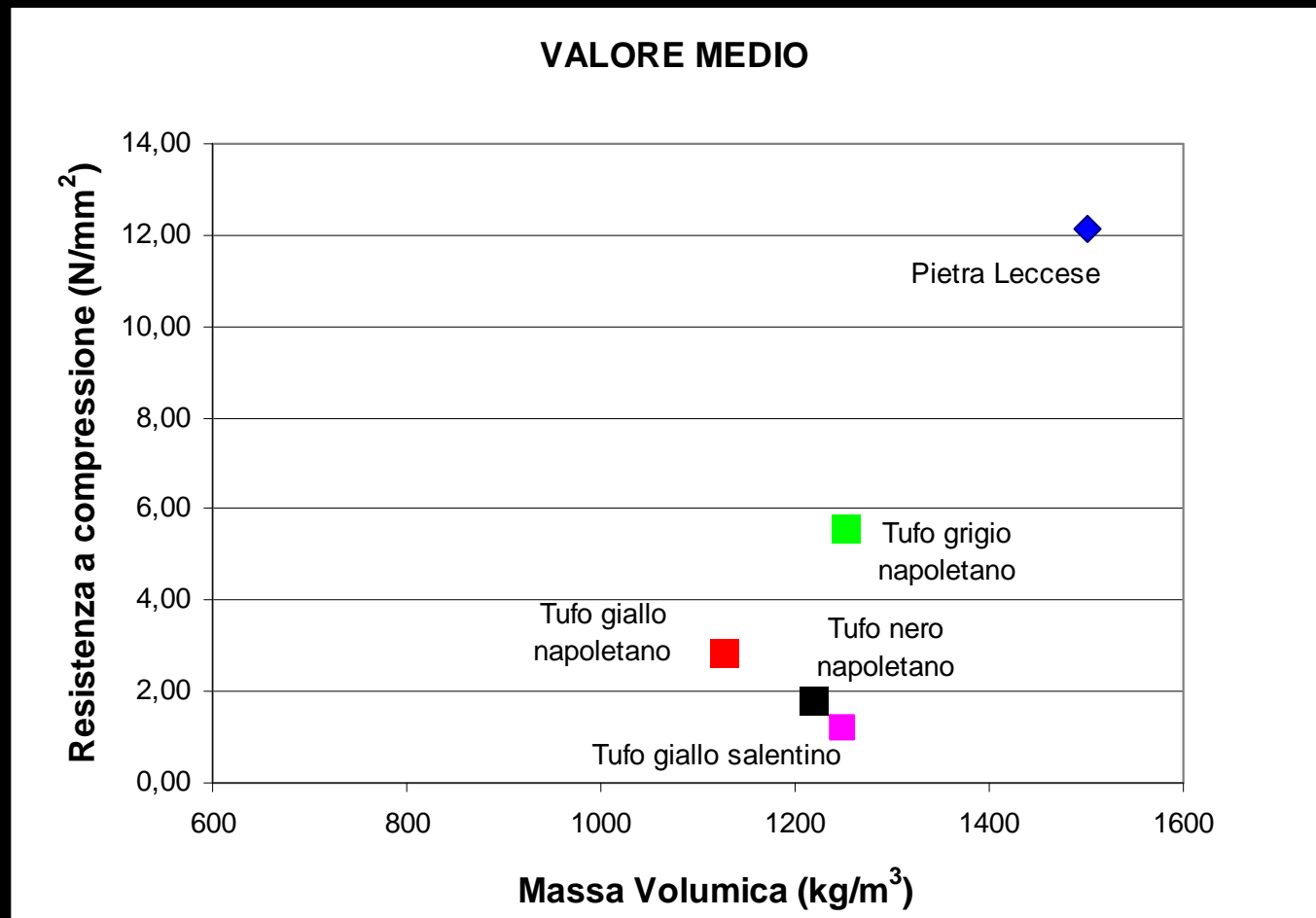
**Modalità di rottura di provino in pietra leccese (cubo 70 mm)  
soggetto a prova di compressione centrata uniassiale**



**Il provino è giunto a rottura**

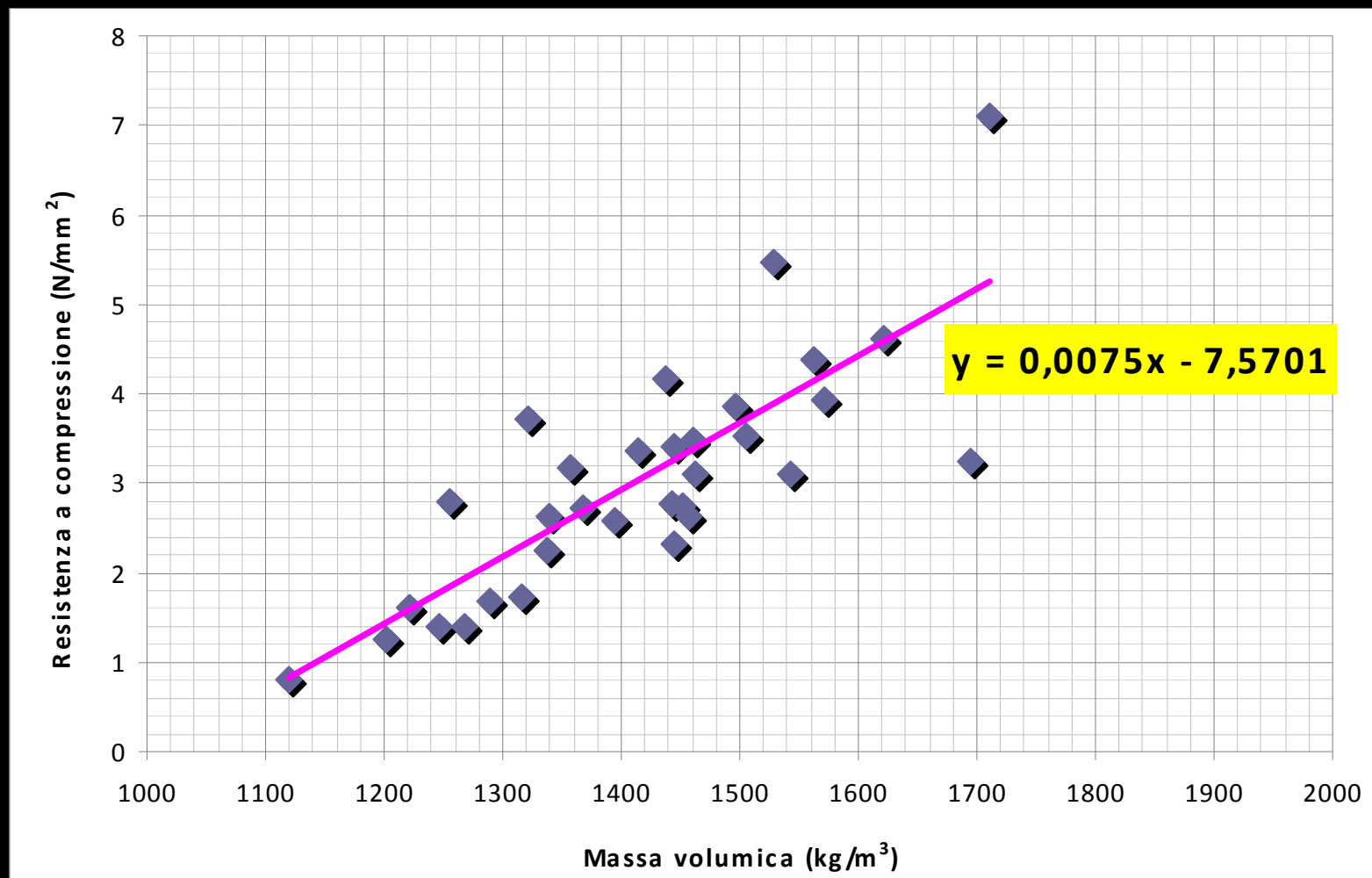
# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PIETRA A NATURALE  
CORRELAZIONE TRA RESISTENZA E PESO SPECIFICO (UNISALENTO)



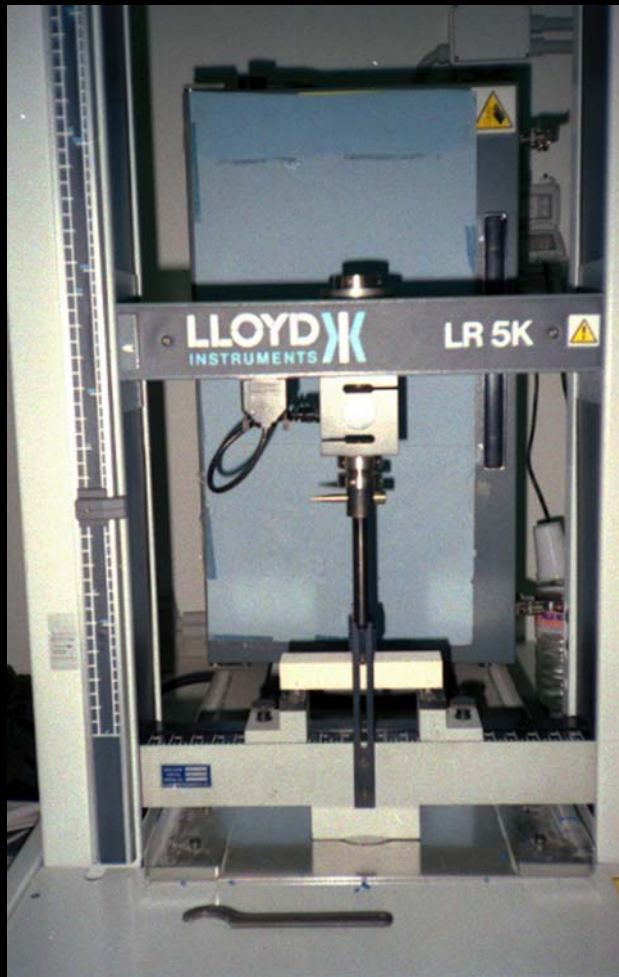
# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PIETRA NATURALE CAVE PUGLIESI  
CORRELAZIONE TRA RESISTENZA E PESO SPECIFICO (CNR)



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## PROVE DI FLESSIONE SU PIETRA LECCESE (UNISALENTO)



| <i>Provino<br/>N°</i>                     | <i>Carico a<br/>rottura<br/>N</i> | <i>Resistenza a<br/>flessione<br/>MPa</i> |
|---|-----------------------------------|---|
| 1   | 426.7                             | 5.3                                       |
| 2   | 479.0                             | 6.0                                       |
| 3   | 534.0                             | 6.7                                       |
| 4   | 487.6                             | 6.1                                       |
| 5   | 497.0                             | 6.2                                       |
| <i>Media [MPa]</i>                        |                                   | 6.0                                       |
| <i>Deviazione Standard<br/>[MPa]</i>      |                                   | 0,5                                       |
| <i>Coefficiente di<br/>variazione [%]</i> |                                   | 8   |

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## DETERMINAZIONE DEL MODULO "ELASTICO" - PIETRA LECCESE (UNISALENTO)



| <i>Provino<br/>N°</i>                                  | <i>Modulo Elastico [MPa]</i> |
|--|------------------------------|
| 1  | 5393,00                      |
| 2  | 2870,00                      |
| 3  | 6025,00                      |
| 4  | 5621,00                      |
| <i>Media: modulo elastico<br/>[MPa]</i>                | 4977,25                      |
| <i>Deviazione standard :<br/>modulo elastico [MPa]</i> | 1429,93                      |
| <i>Coefficiente di variazione<br/>[%]</i>              | 28,70                        |

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

Tabella 11.10.VII- Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali  $f_{vk0}$  (valori in  $N/mm^2$ )

| Tipo di elemento resistente   | Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento | Classe di malta       | $f_{vk0}$ ( $N/mm^2$ ) |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| Laterizio pieno e semipieno   | $f_{bk} > 15$   | $M10 \leq M \leq M20$ | 0,30                   |
|   | $7,5 < f_{bk} \leq 15$  | $M5 \leq M < M10$     | 0,20                   |
|   | $f_{bk} \leq 7,5$   | $M2,5 \leq M < M5$    | 0,10                   |
| Calcestruzzo; Silicato di calcio; Cemento autoclavato; Pietra naturale squadrata. | $f_{bk} > 15$   | $M10 \leq M \leq M20$ | 0,20                   |
|   | $7,5 < f_{bk} \leq 15$  | $M5 \leq M < M10$     | 0,15                   |
|   | $f_{bk} \leq 7,5$   | $M2,5 \leq M < M5$    | 0,10                   |

Edilizia storica

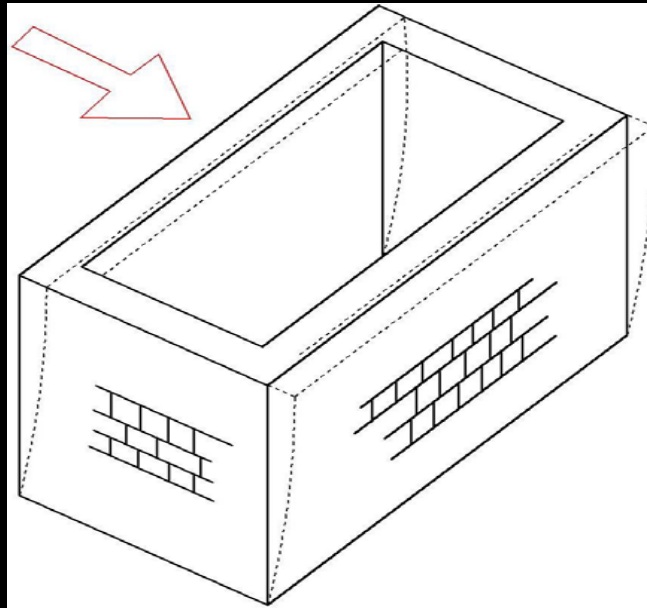
# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

**Edilizia storica  
(Lecce, Ex Caserma Roasio – oggi Rettorato)**

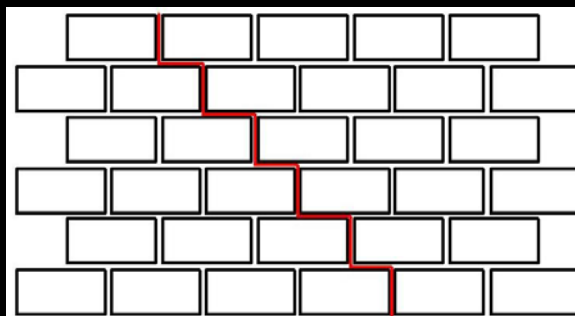
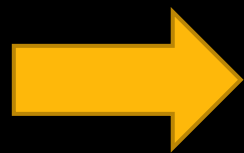




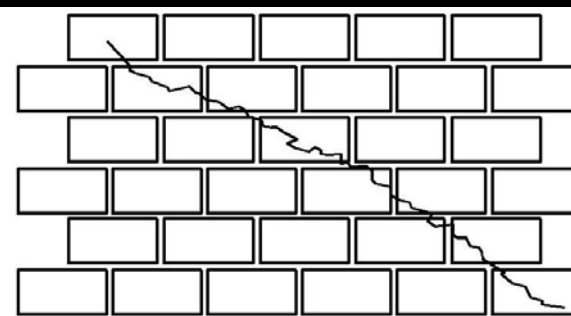
# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI



Malte di scarse  
proprietà fisico  
meccaniche



Fessurazione diagonale con giunti deboli

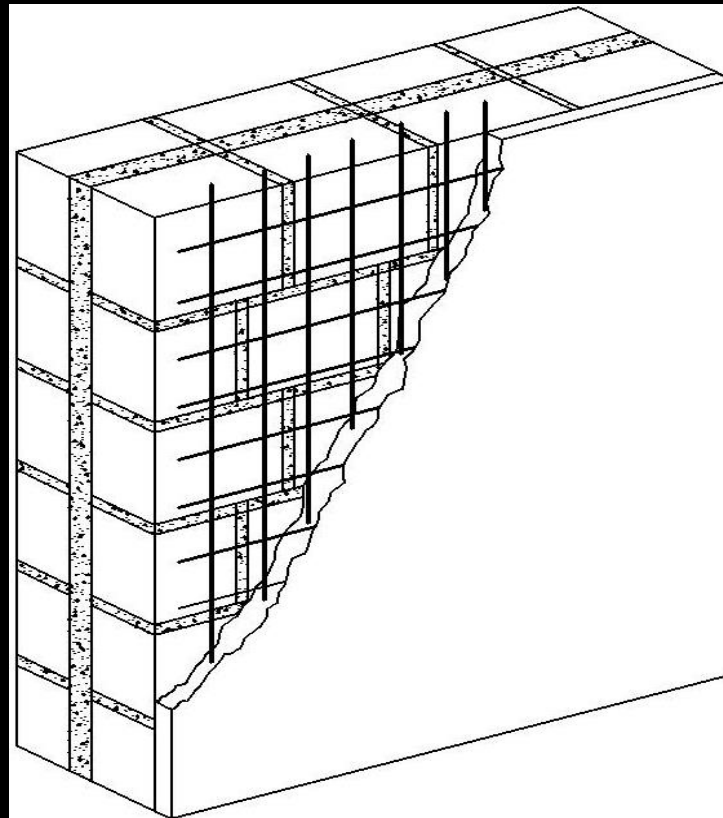


Fessurazione diagonale con giunti resistenti

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI SQUADRATI

## TECNICHE DI RINFORZO TRADIZIONALI

### Intonaco armato



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI

FRP

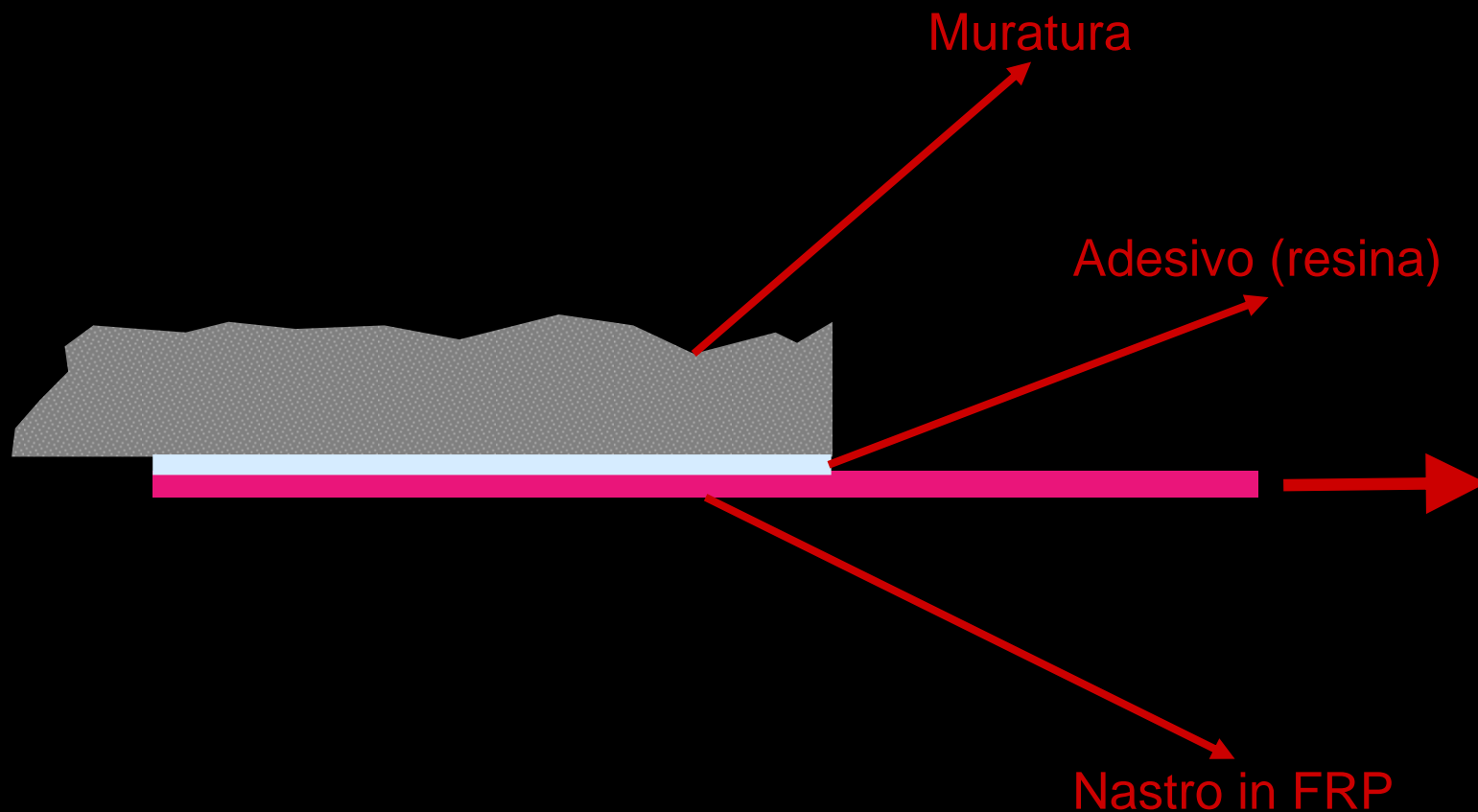


**MANUFATTI SOTTO TUTELA BB.CC.**  
***NO ADESIVO POLIMERICO***

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

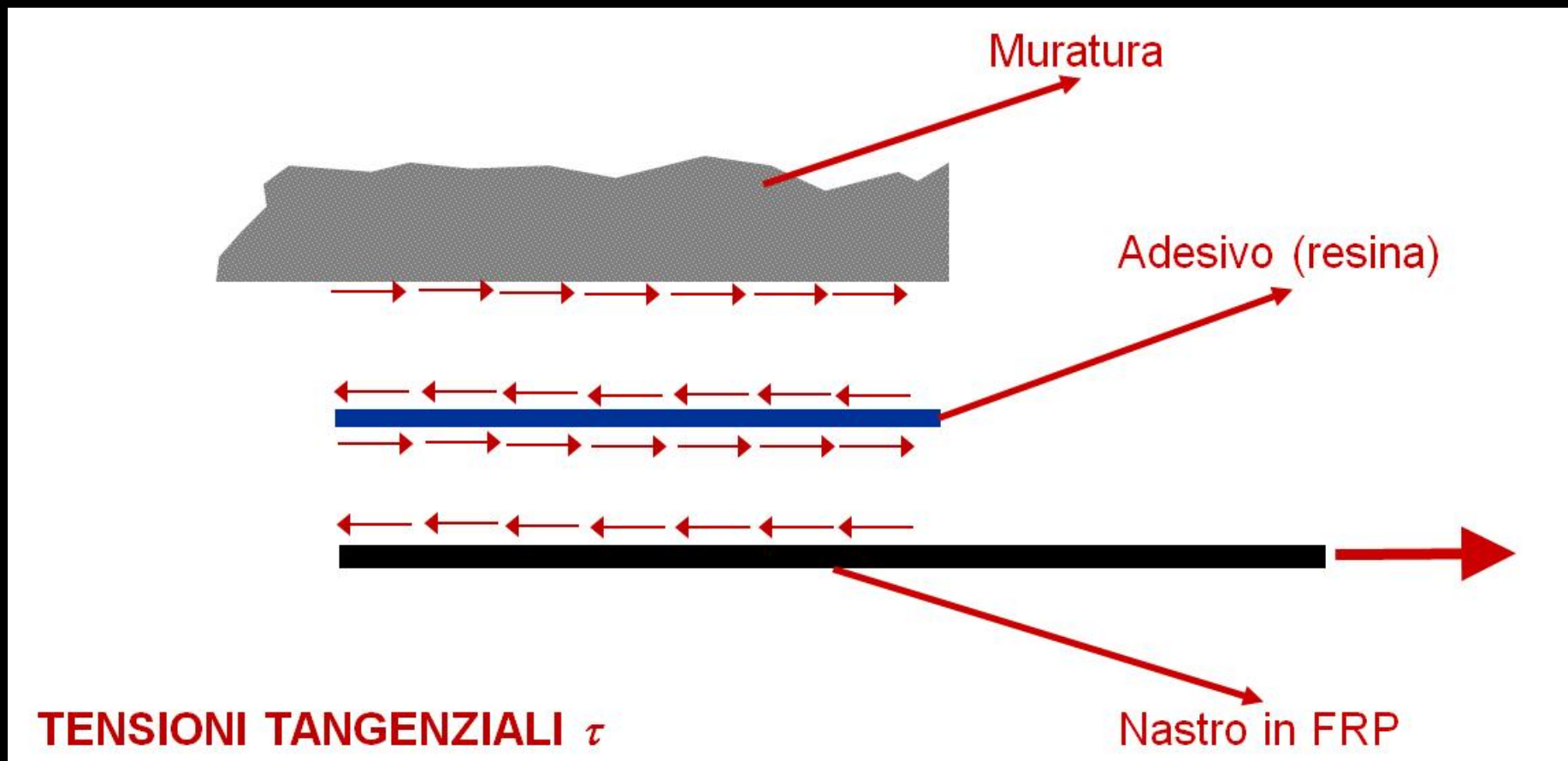
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI SQUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

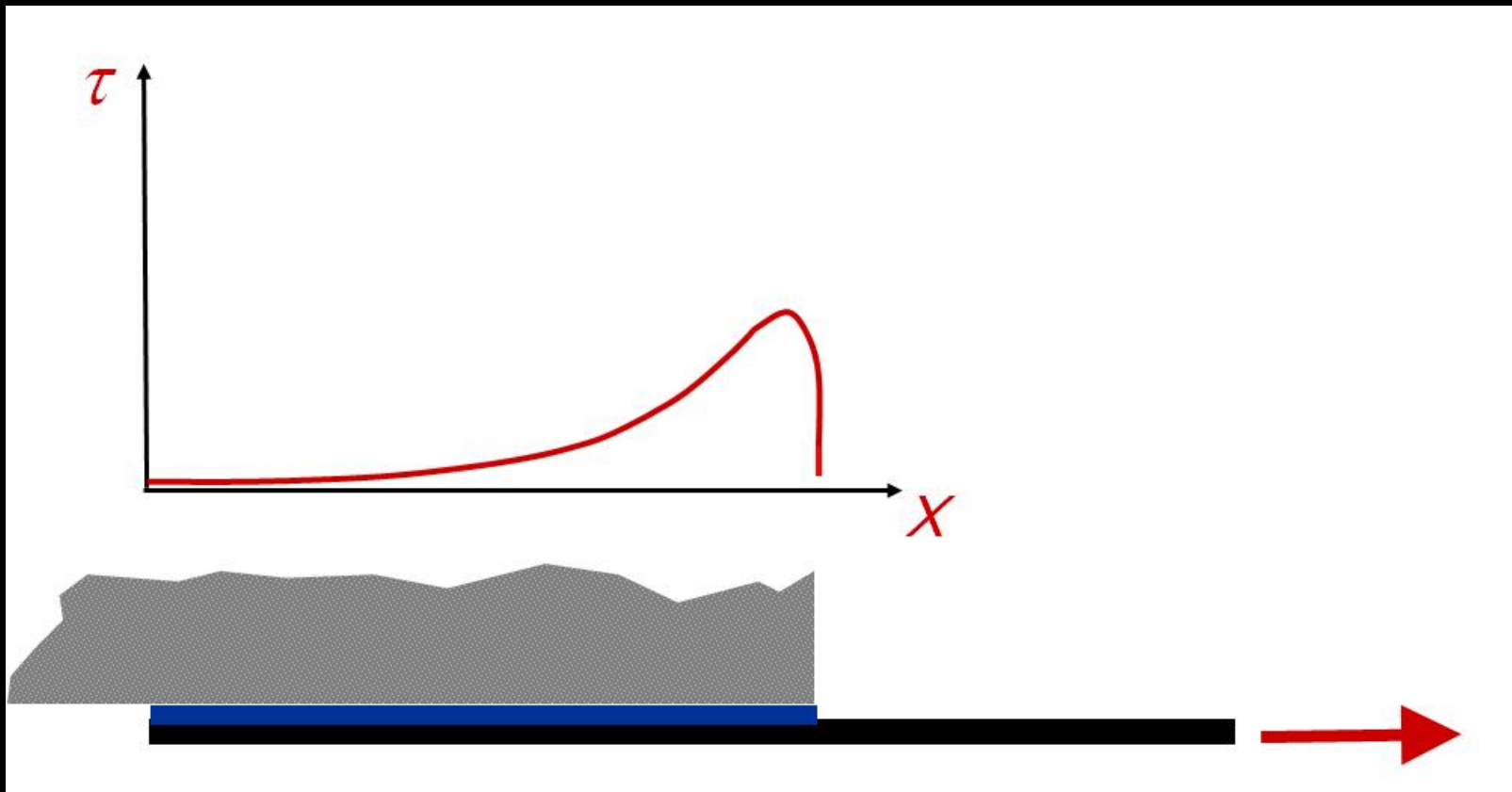
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

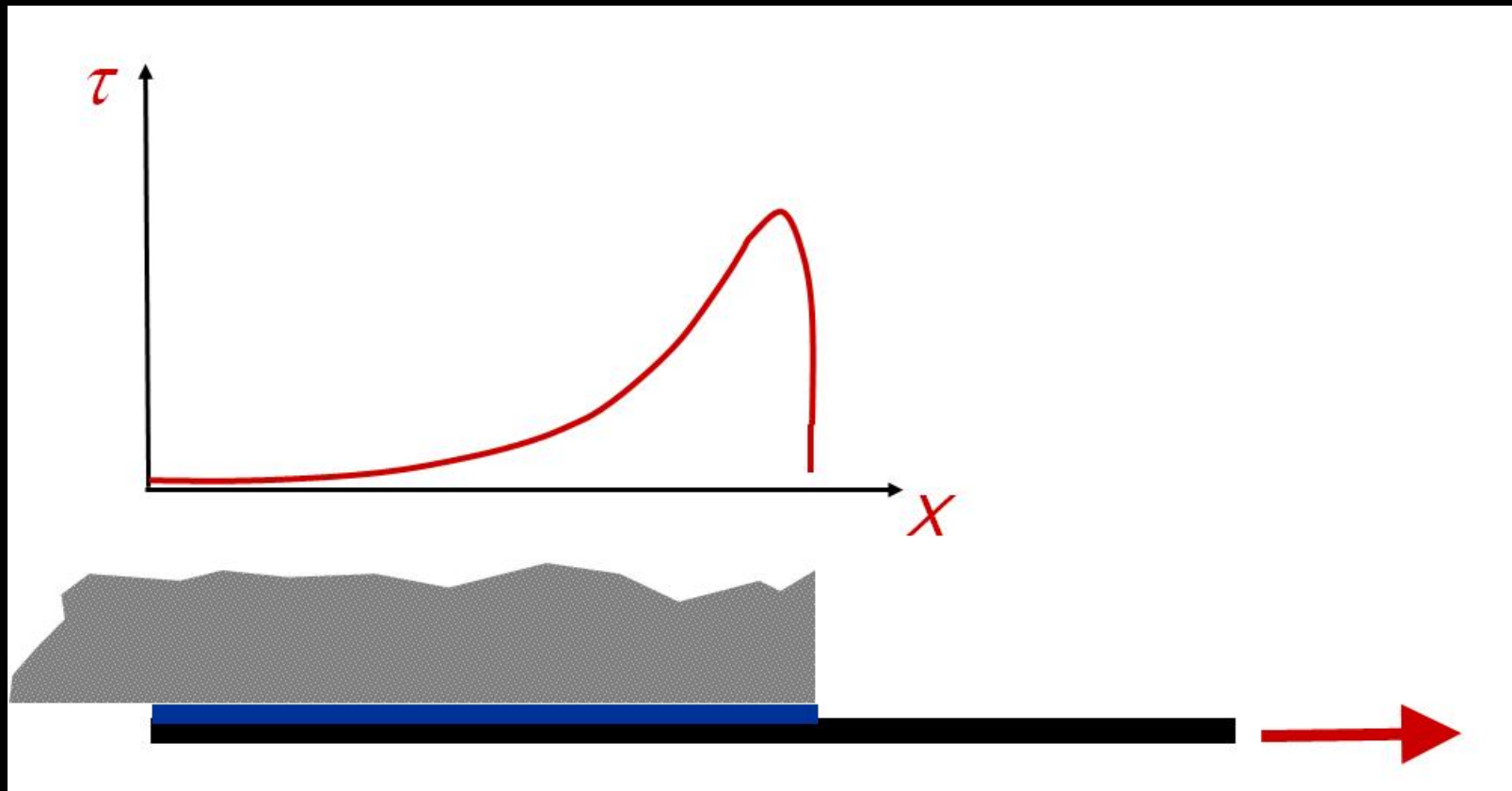
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

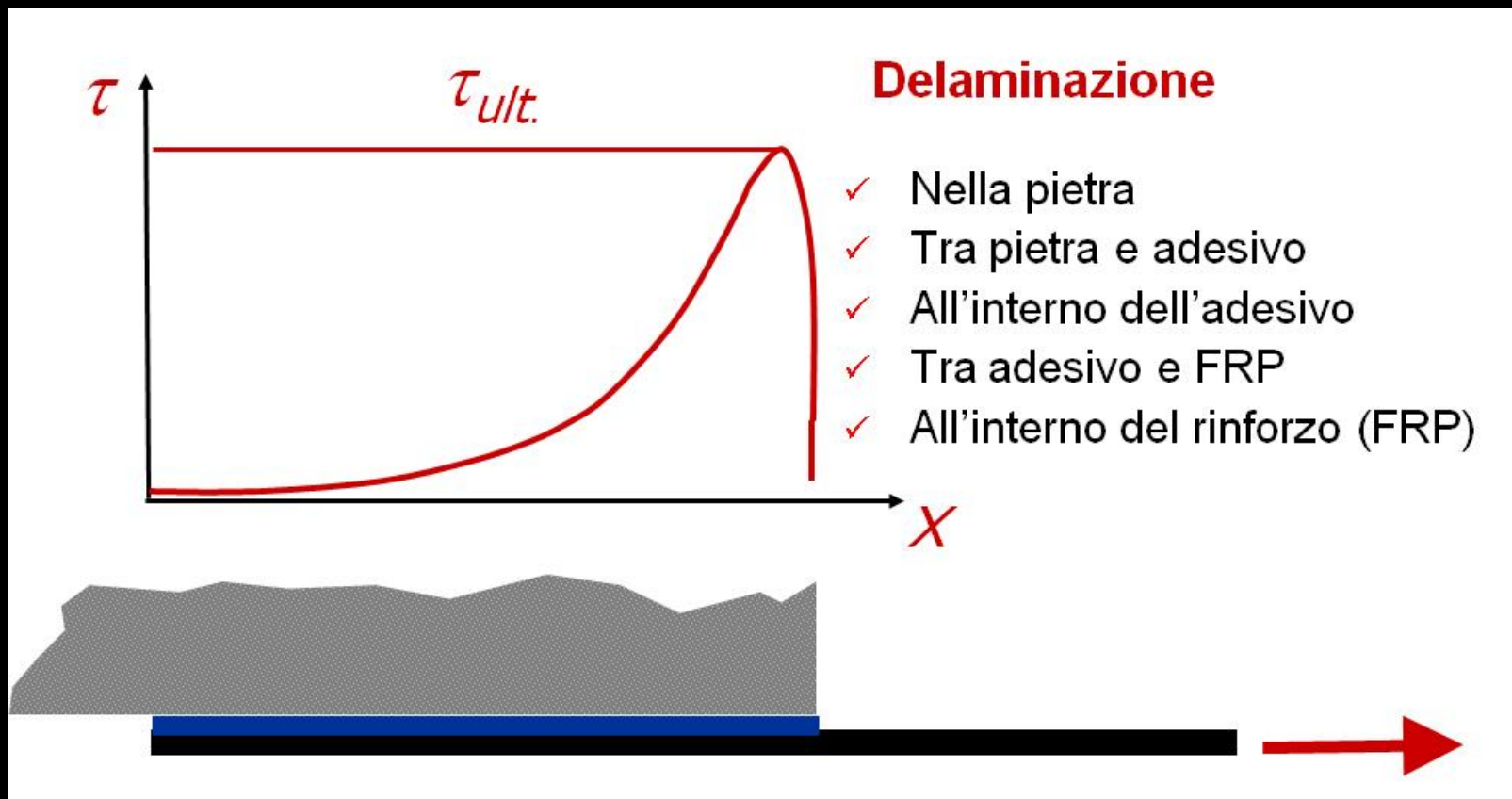
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### Problema dell'aderenza

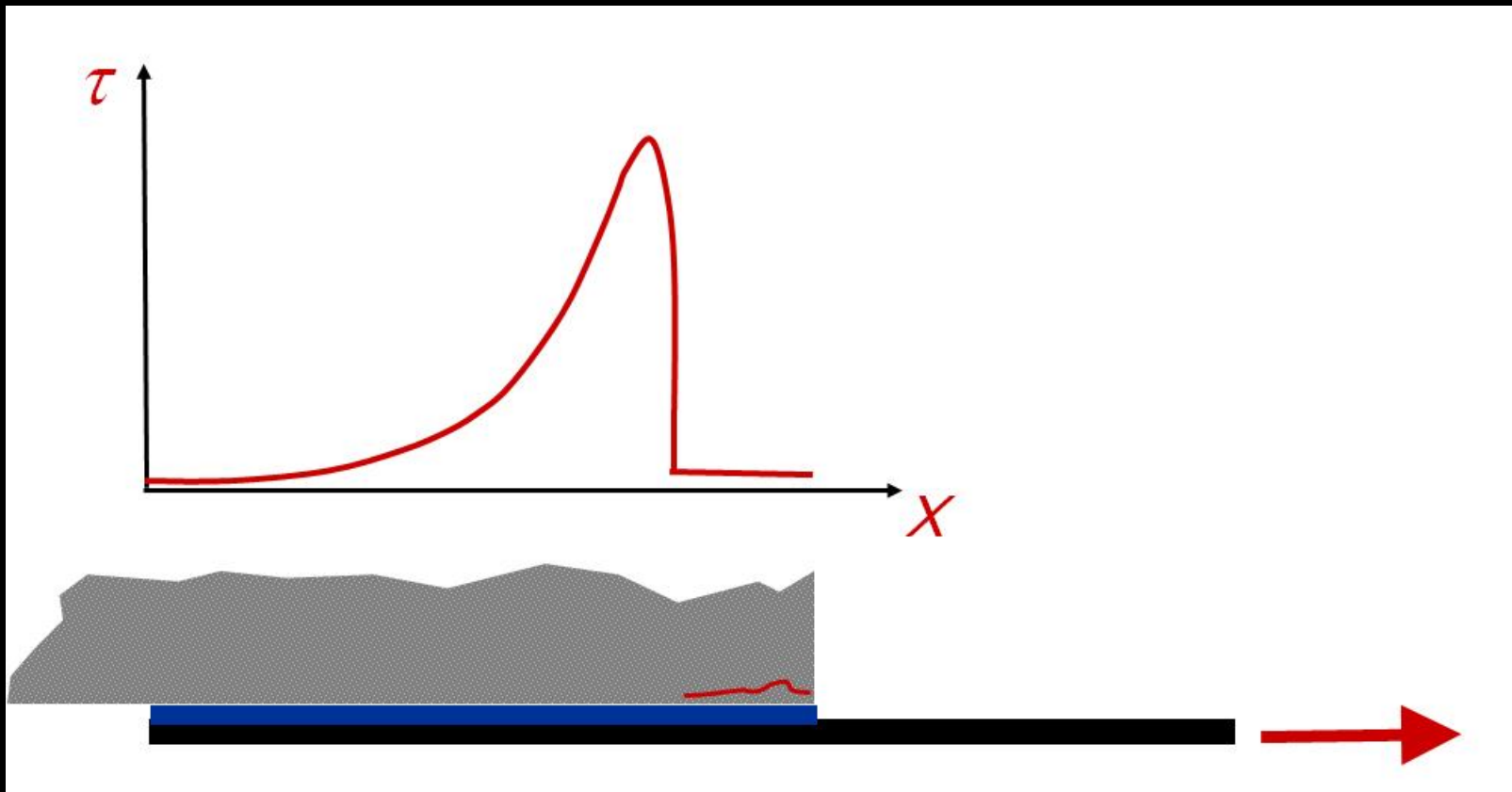




# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

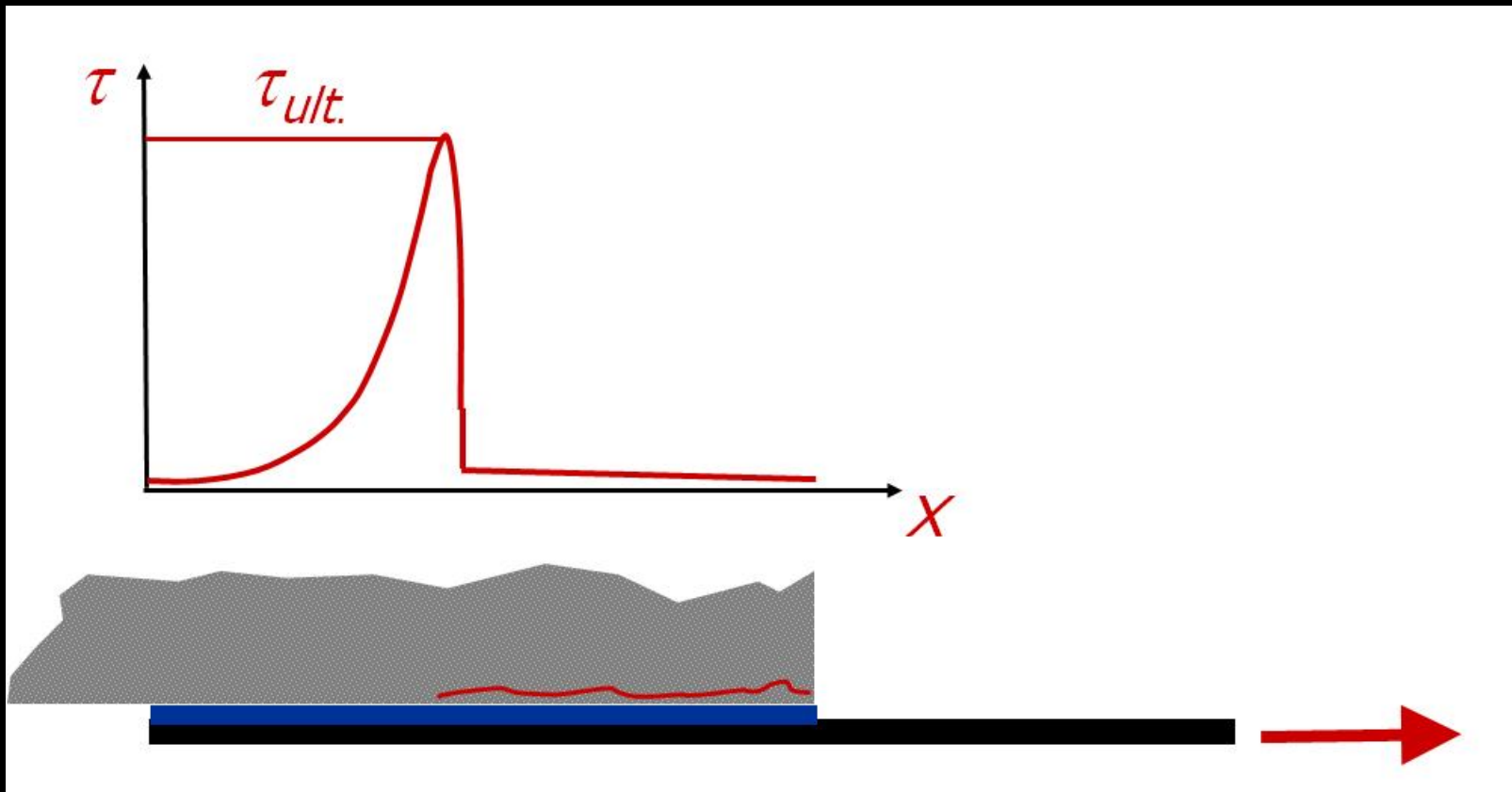
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

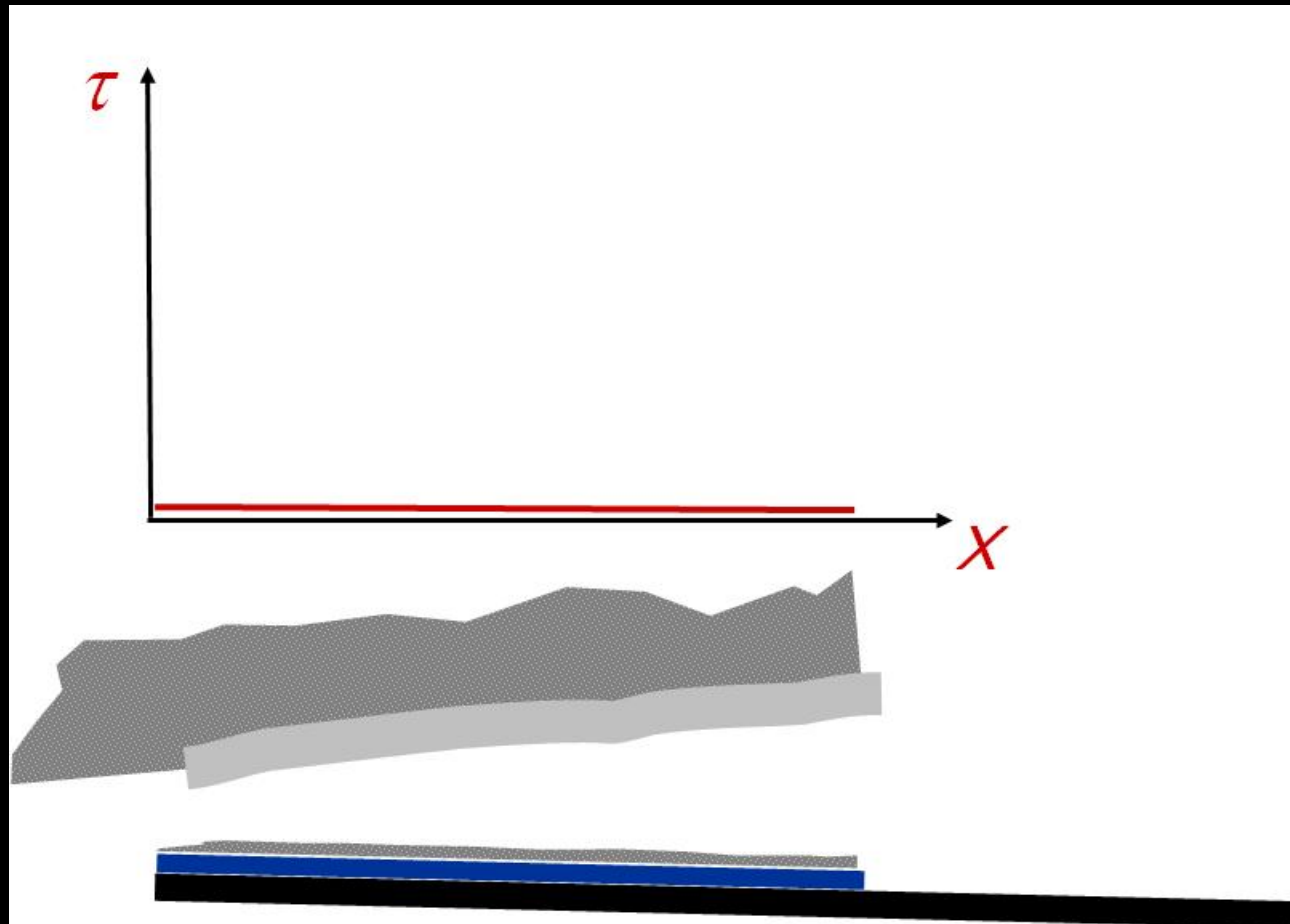
### Problema dell'aderenza



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### Problema dell'aderenza



# **LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI**

## **MATERIALI INNOVATIVI - FRM (Fiber Reinforced Mortar)**

**Nuove soluzioni tecnologiche basate sul principio di applicare un rinforzo esterno diffuso costituito da fibre lunghe immerse in una matrice non epossidica (malte/cementi).**

**Rinforzo fibroso sottoforma di:  
maglia bidirezionale (foglio secco)  
rete pre-curata (FRP)**

**Matrice sotto forma di:  
Intonaco cementizio  
Intonaco a base calce  
Rasanti polimerici su base cementizia  
Rasanti polimerici su base calce**

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM (Fiber Reinforced Mortar)

Rinforzo fibroso sottoforma di:  
rete pre-curata (FRP)



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM (Fiber Reinforced Mortar)

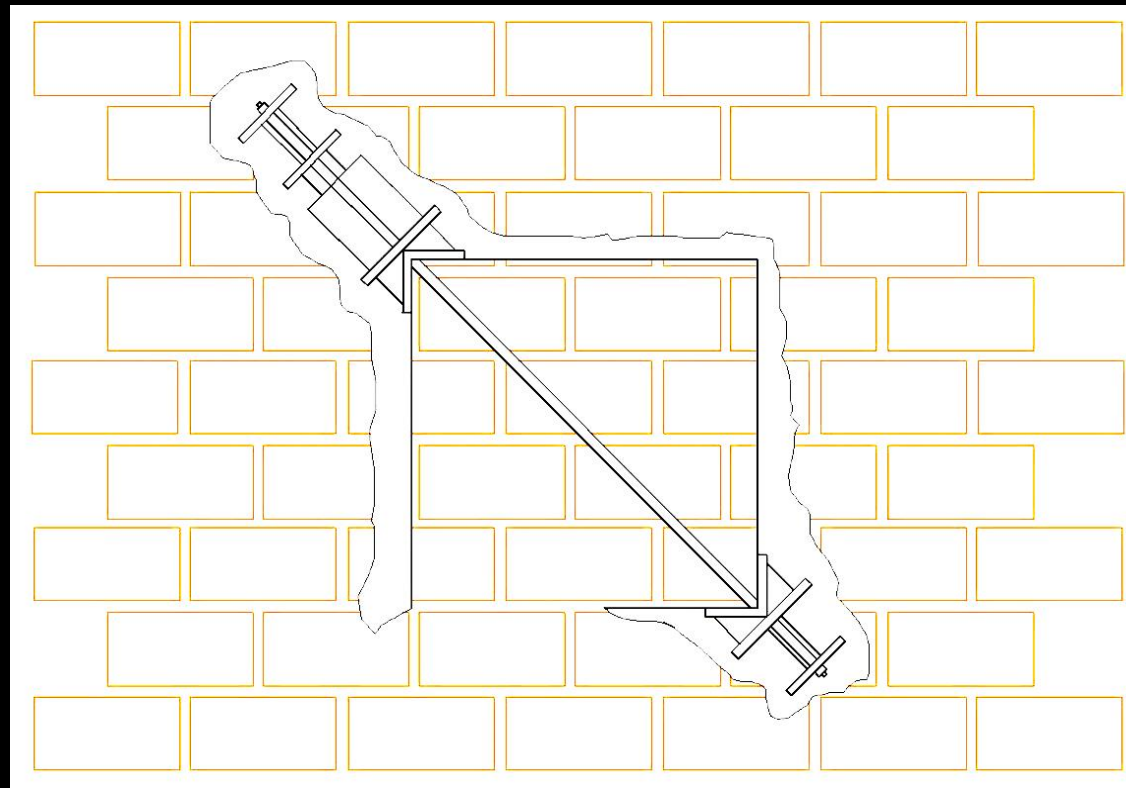
Rinforzo fibroso sottoforma di:  
maglia bidirezionale (foglio secco)



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

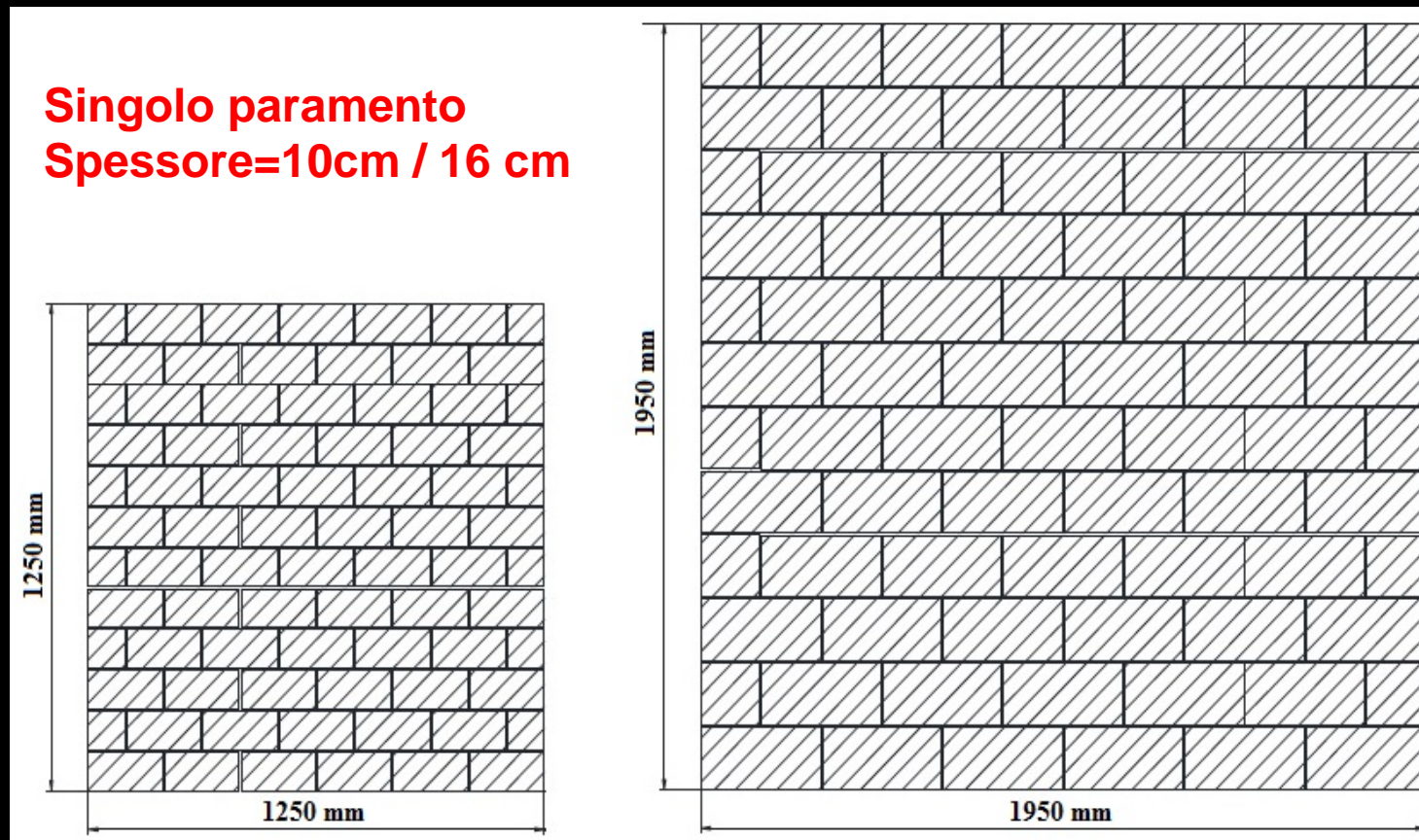
PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP

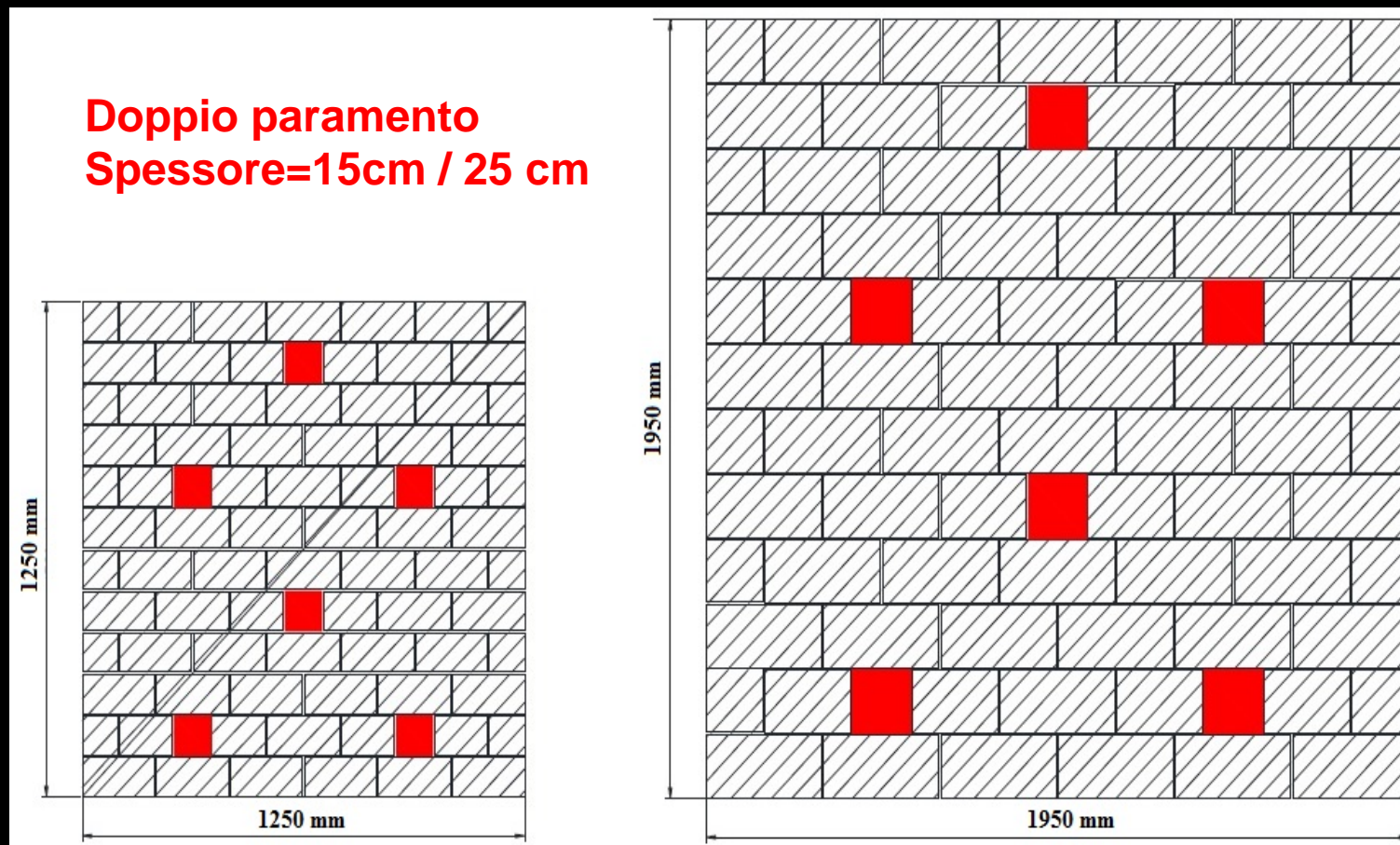




# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI SQUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI SQUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP

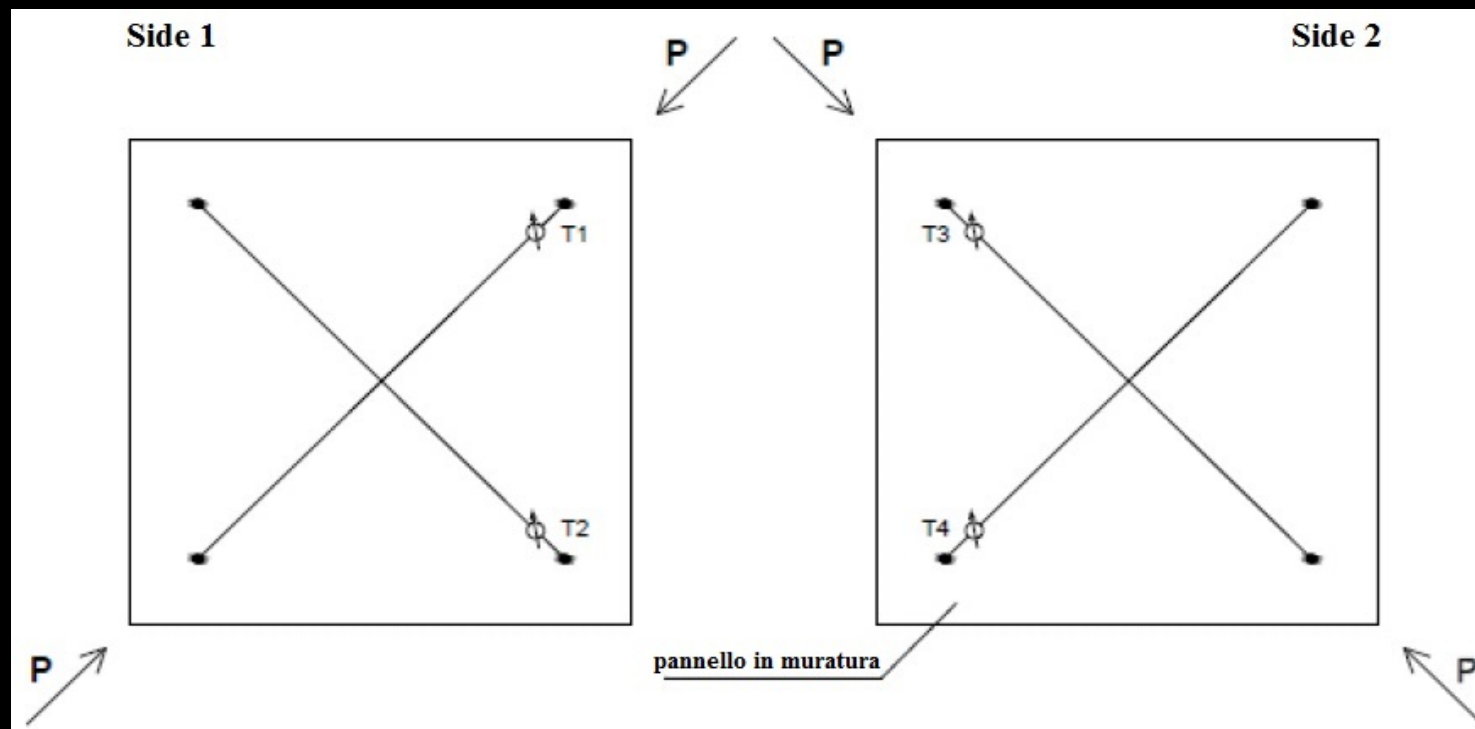


# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP

### TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO

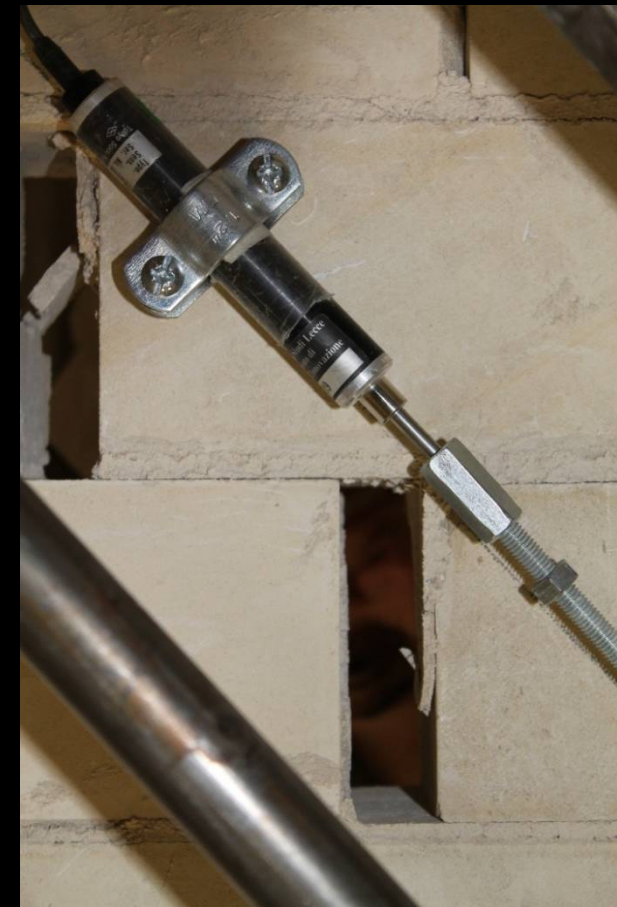
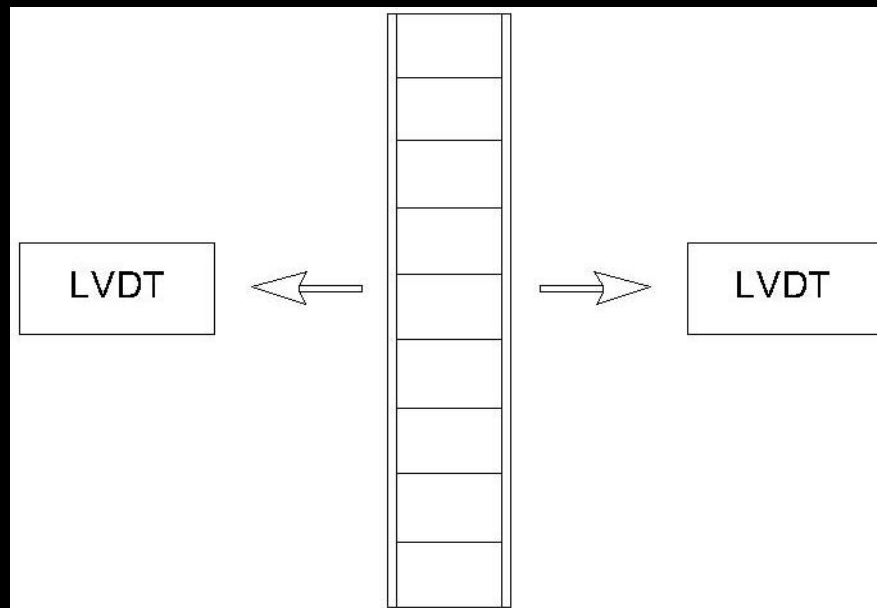


# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP

### TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO



# **LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI**

## **MATERIALI INNOVATIVI - FRM**

**PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP**

**MODALITA' DI RAGGIUNGIMENTO DELLO SLU**

**CAMPIONI NON RINFORZATI**

































**PIRELLA GÖTTSCHE LOWE**  
Gruppo internazionale di lavoro di consulenza globale in servizi di piano creativo (GOL)  
Complesso **S2-NR-1**

4  
701  
↓ LE



ALFA  
S2-NR-2





# **LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI**

## **MATERIALI INNOVATIVI - FRM**

**PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA  
MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP**

**MODALITA' DI RAGGIUNGIMENTO DELLO SLU**

**CAMPIONI RINFORZATI**

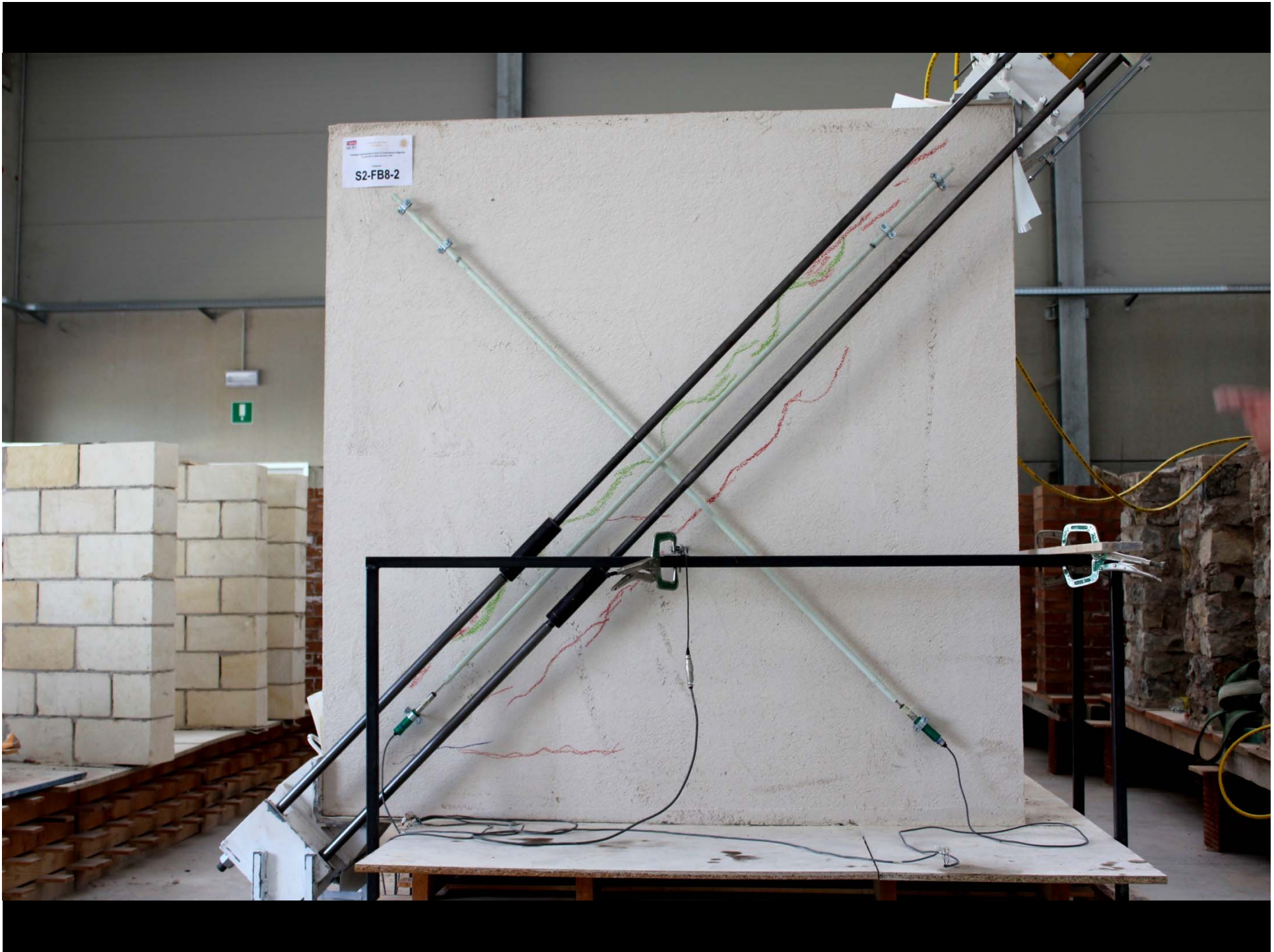


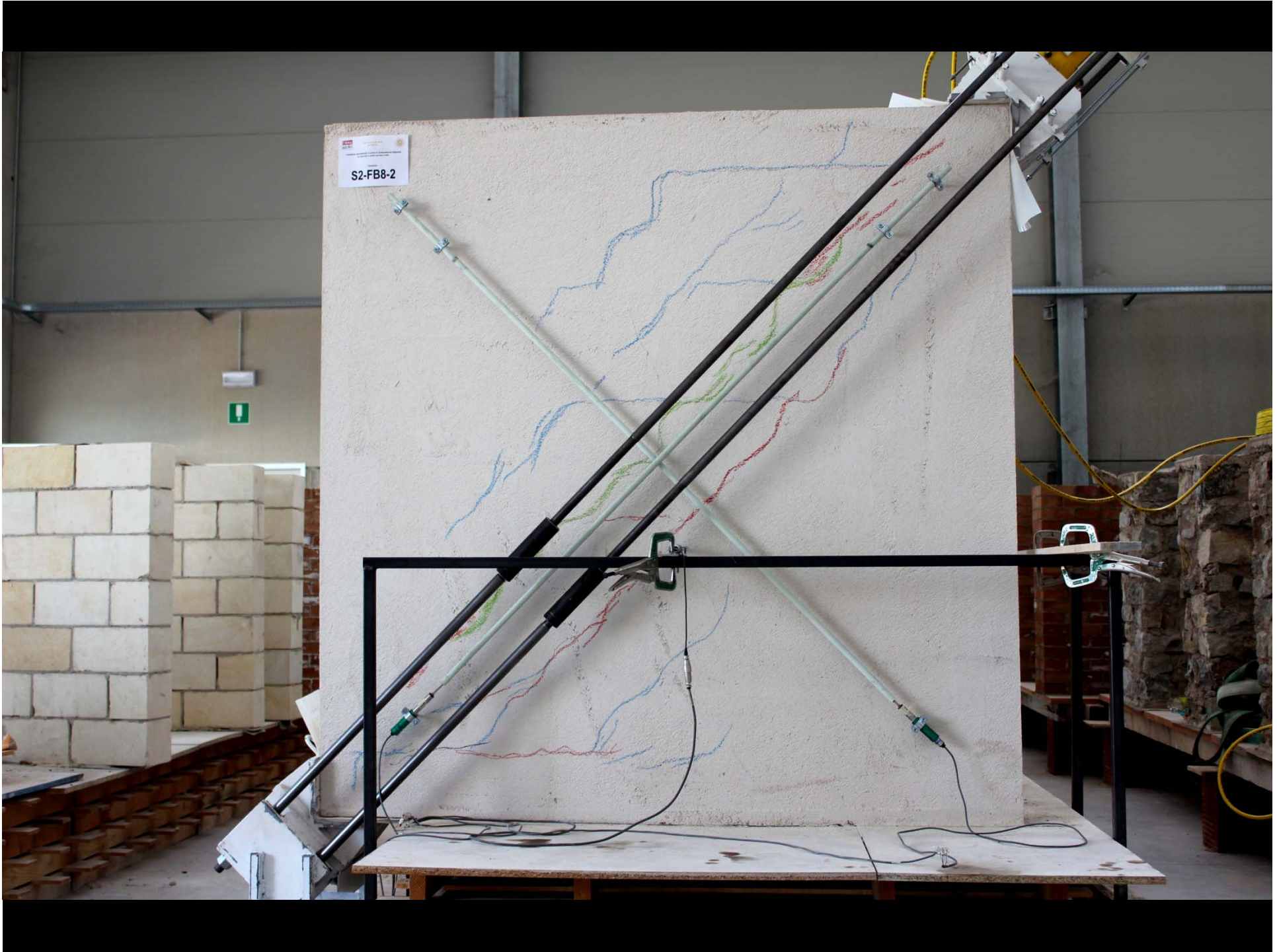






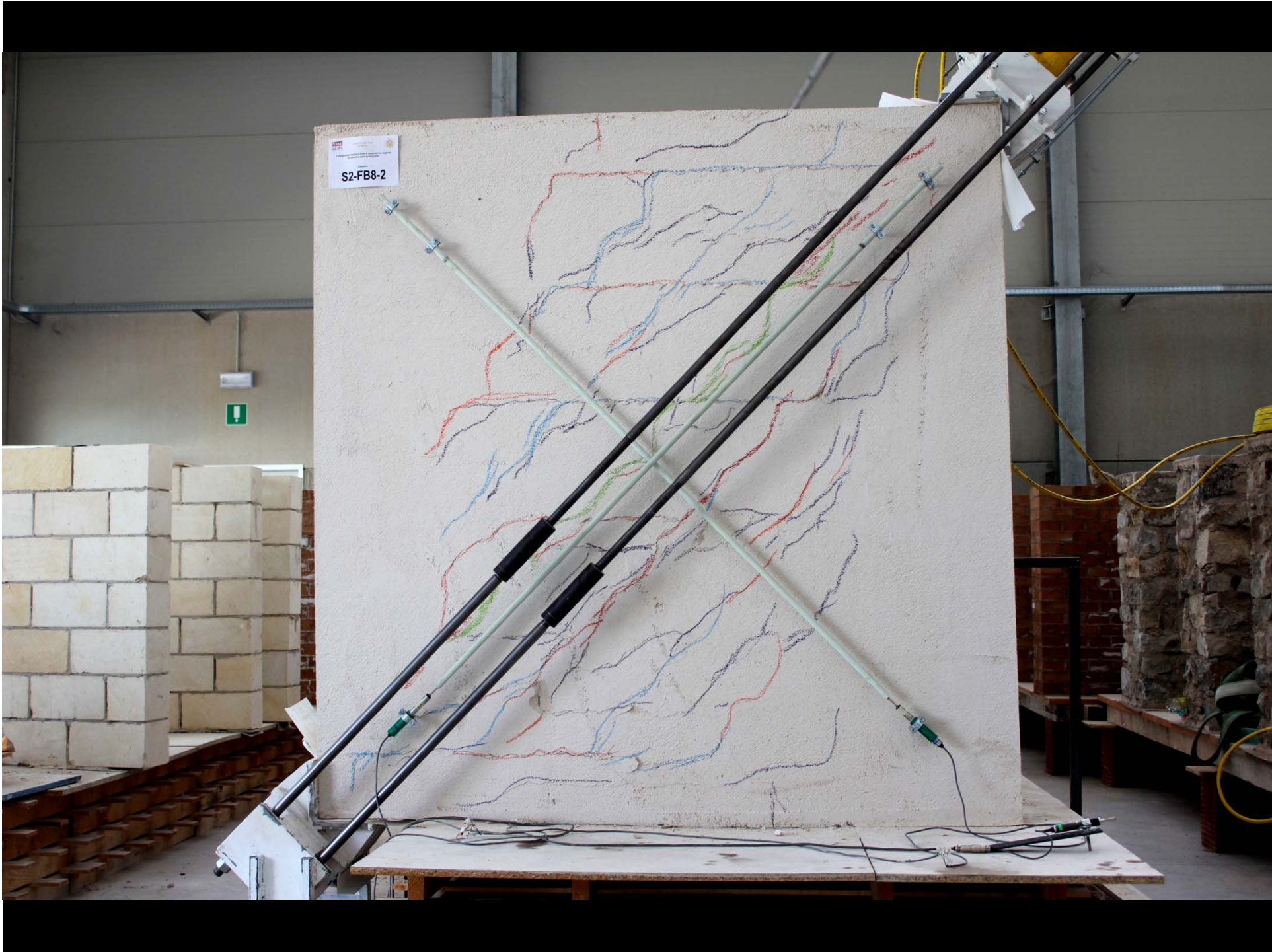








S2-FB8-2

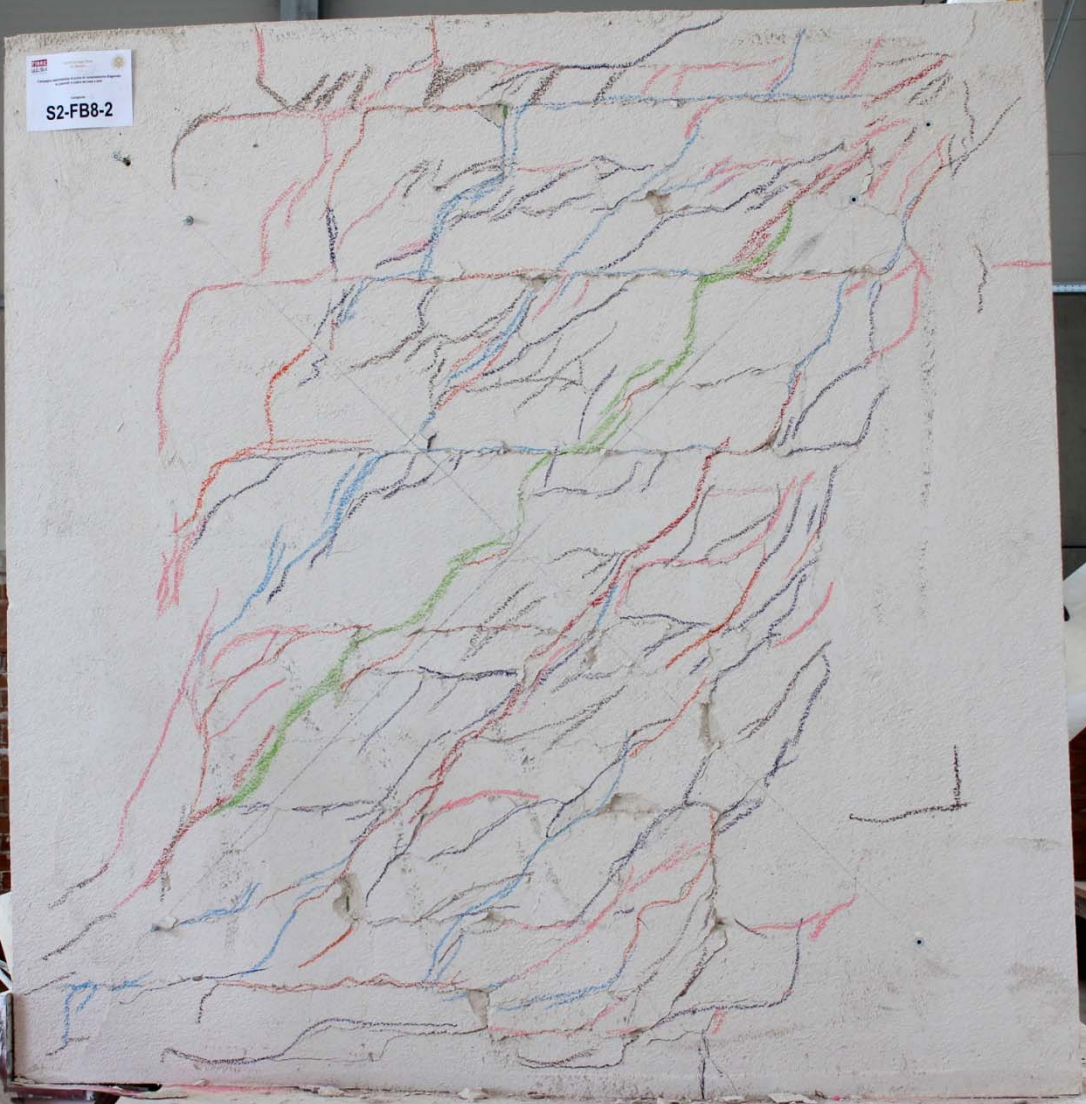








S2-FB8-2





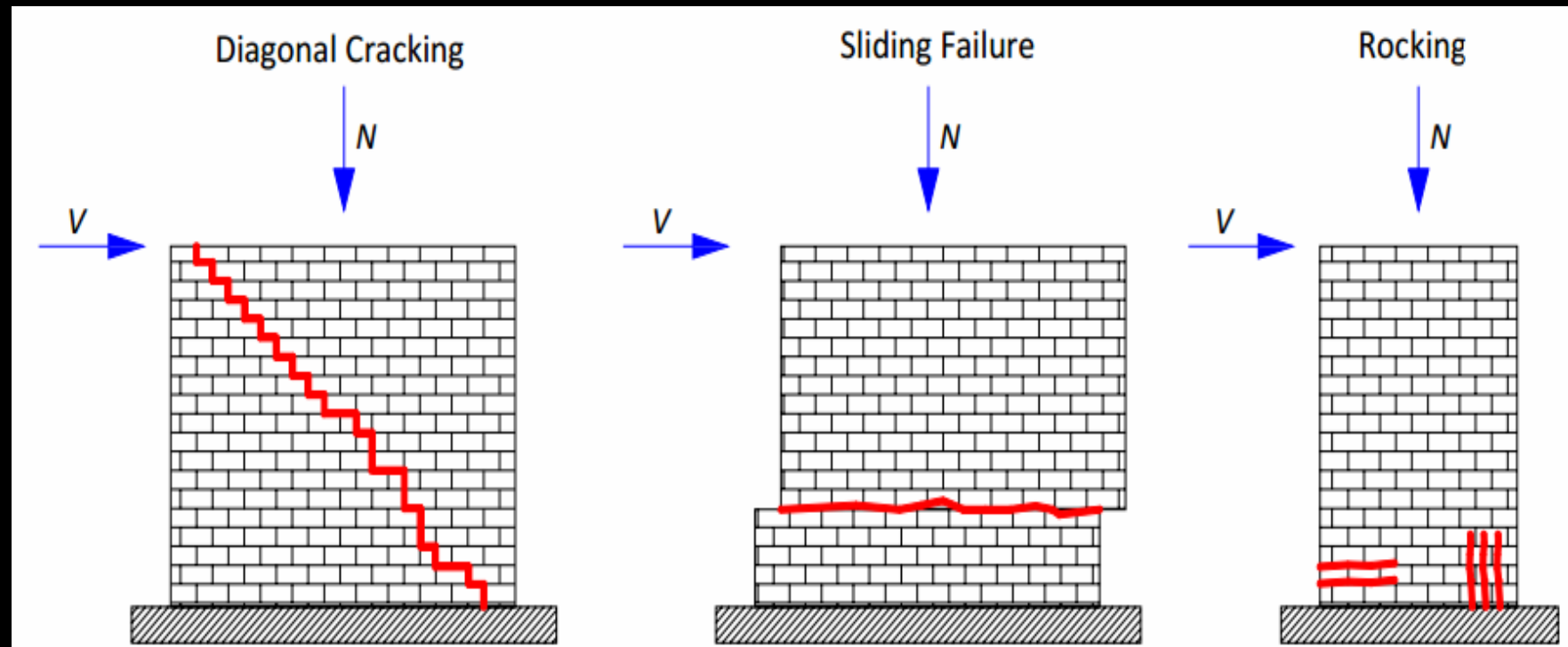




# COMPORTAMENTO MODIFICATO DAL SISTEMA FRM

## VULNERABILITÀ PER SFORZI DI TAGLIO

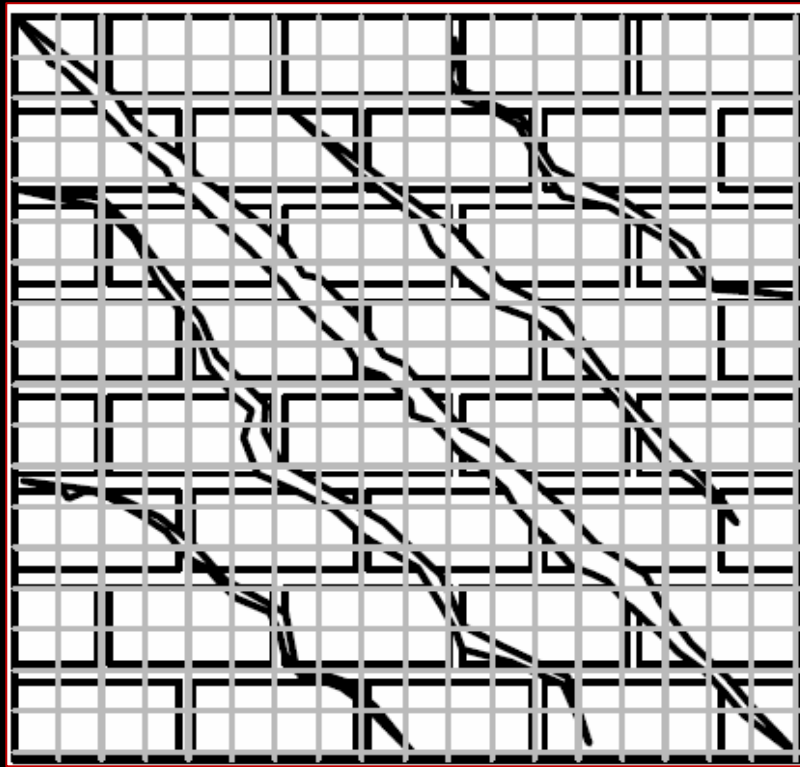
TIPICA ROTTURA A TAGLIO DEI PARAMENTI NON RINFORZATI



# COMPORTAMENTO MODIFICATO DAL SISTEMA FRM

## VULNERABILITÀ PER SFORZI DI TAGLIO

TIPICA ROTTURA A TAGLIO DEI PARAMENTI  
**RINFORZATI CON INTONACO FRM**

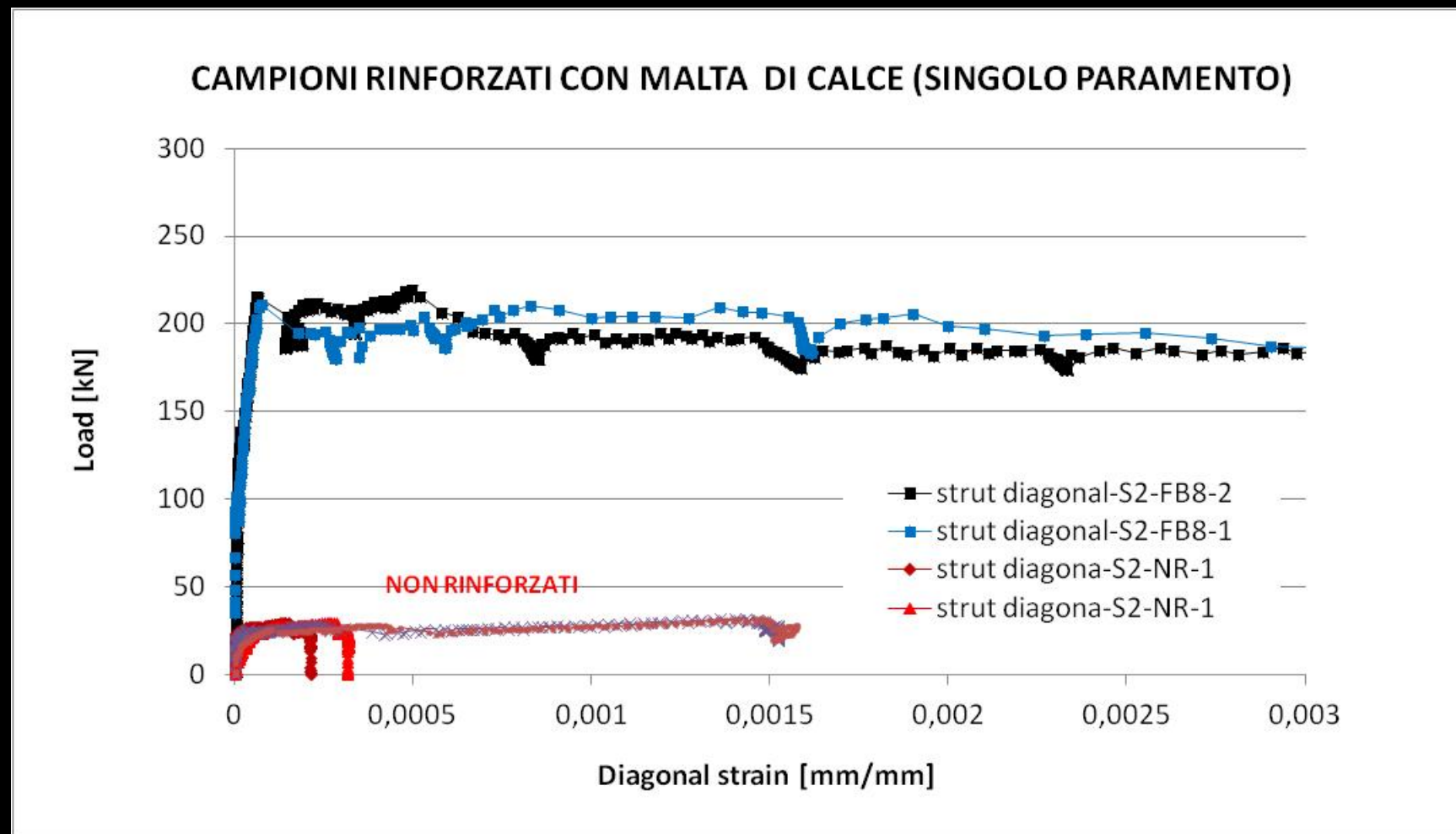




# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

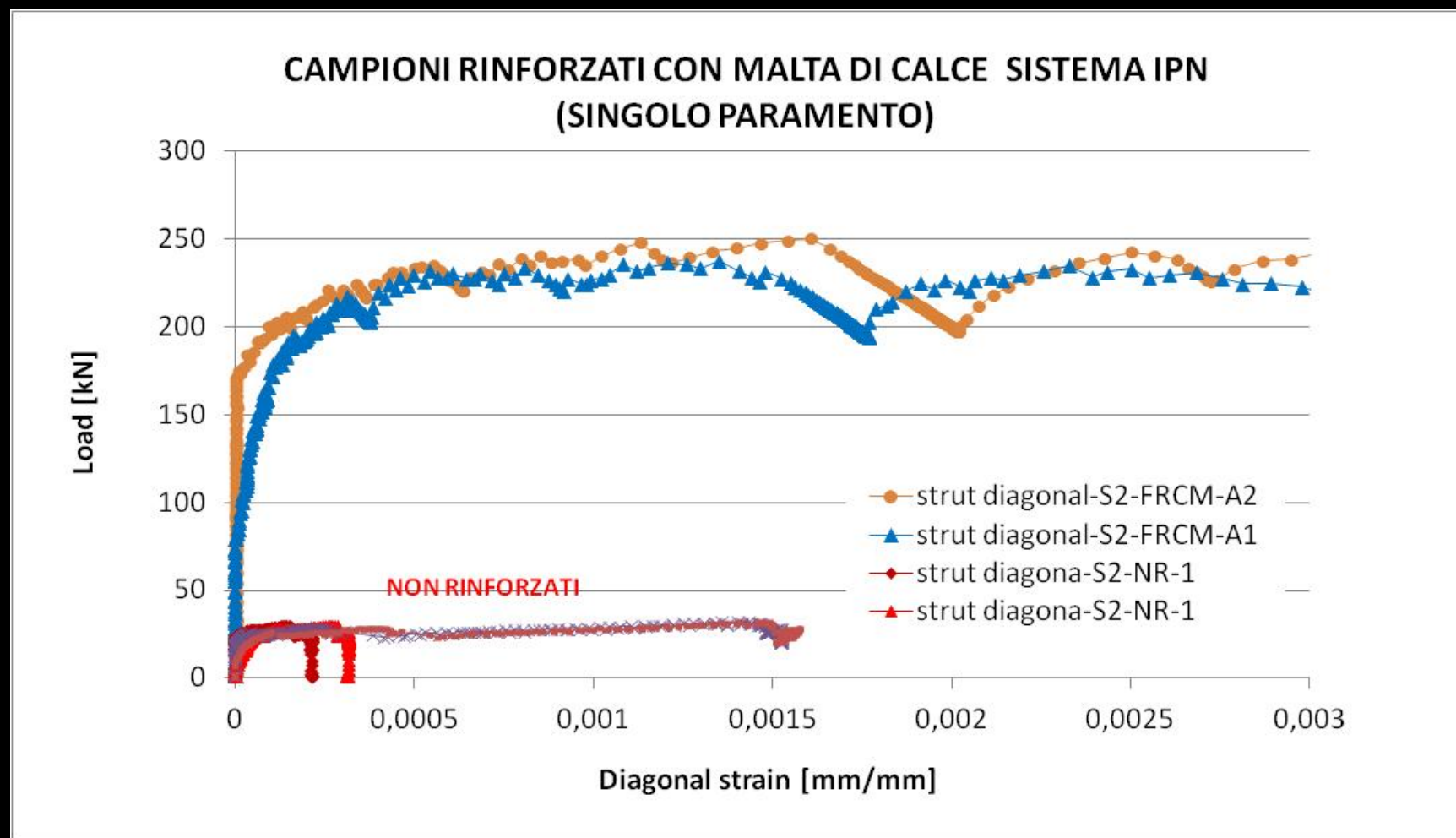
PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP – COMPORTAMENTO MECCANICO E CONFRONTI



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

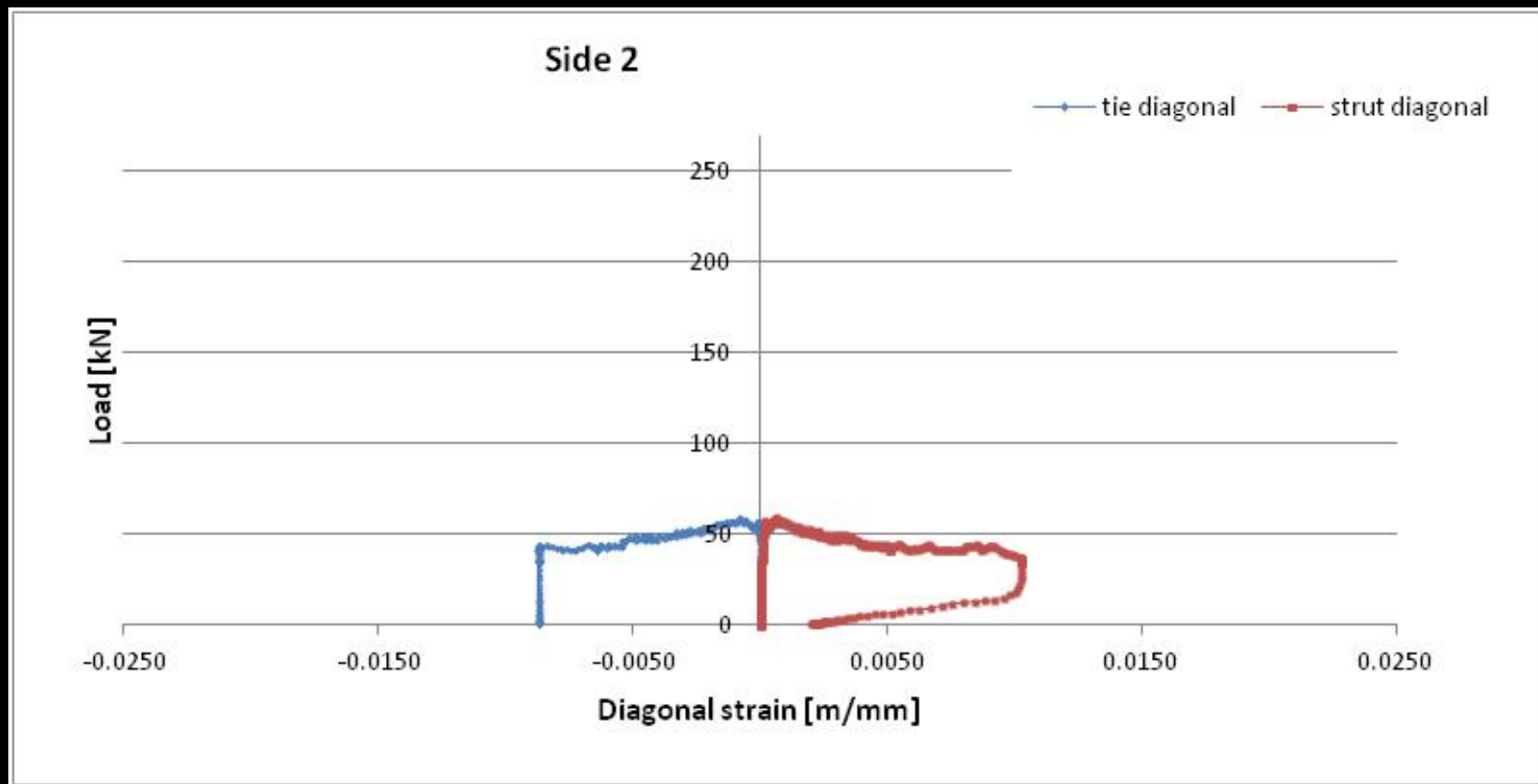
PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP – COMPORTAMENTO MECCANICO E CONFRONTI



# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP – COMPORTAMENTO MECCANICO E CONFRONTI

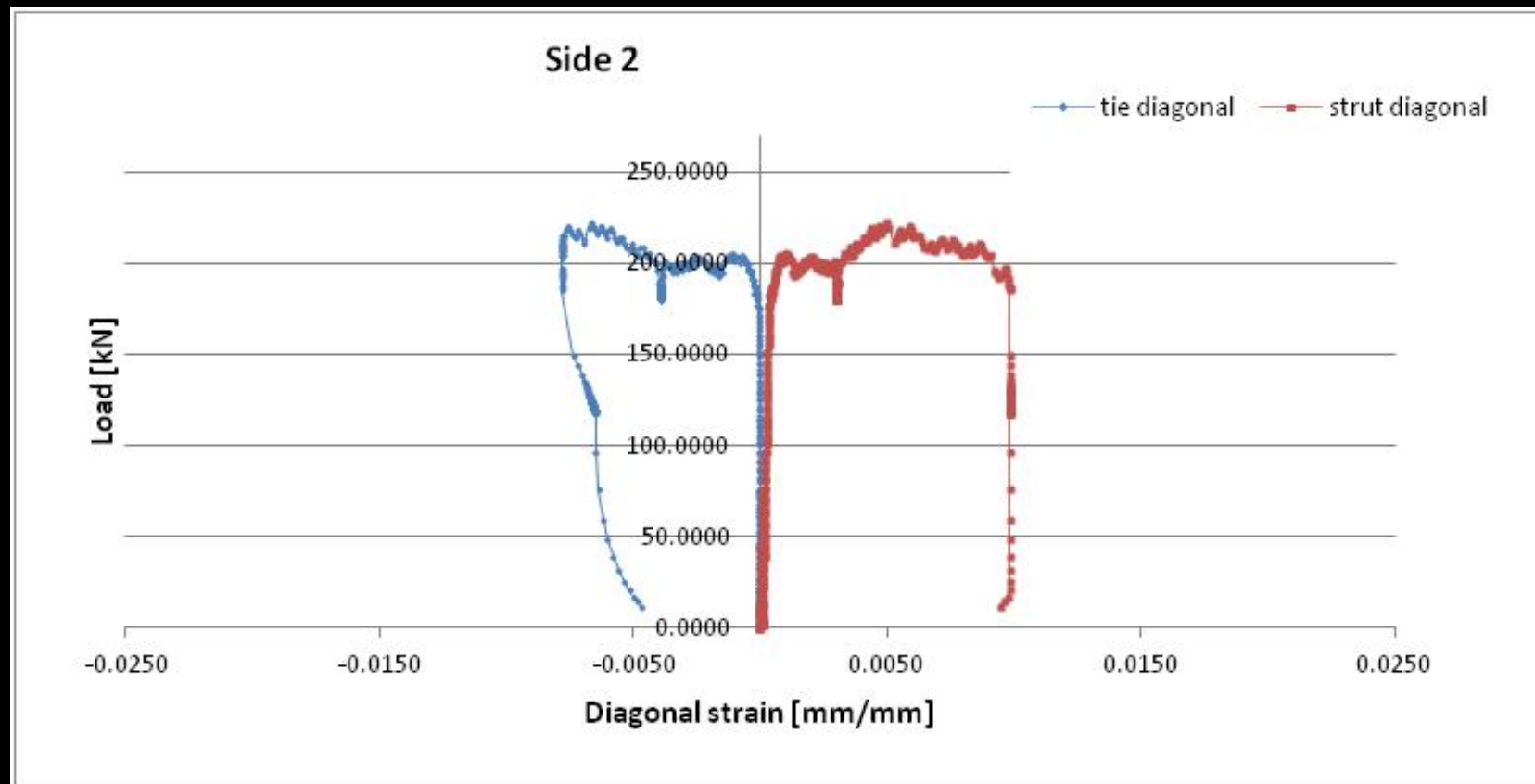


**CAMPIONI DOPPIO PARAMENTO NON RINFORZATI**

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP – COMPORTAMENTO MECCANICO E CONFRONTI

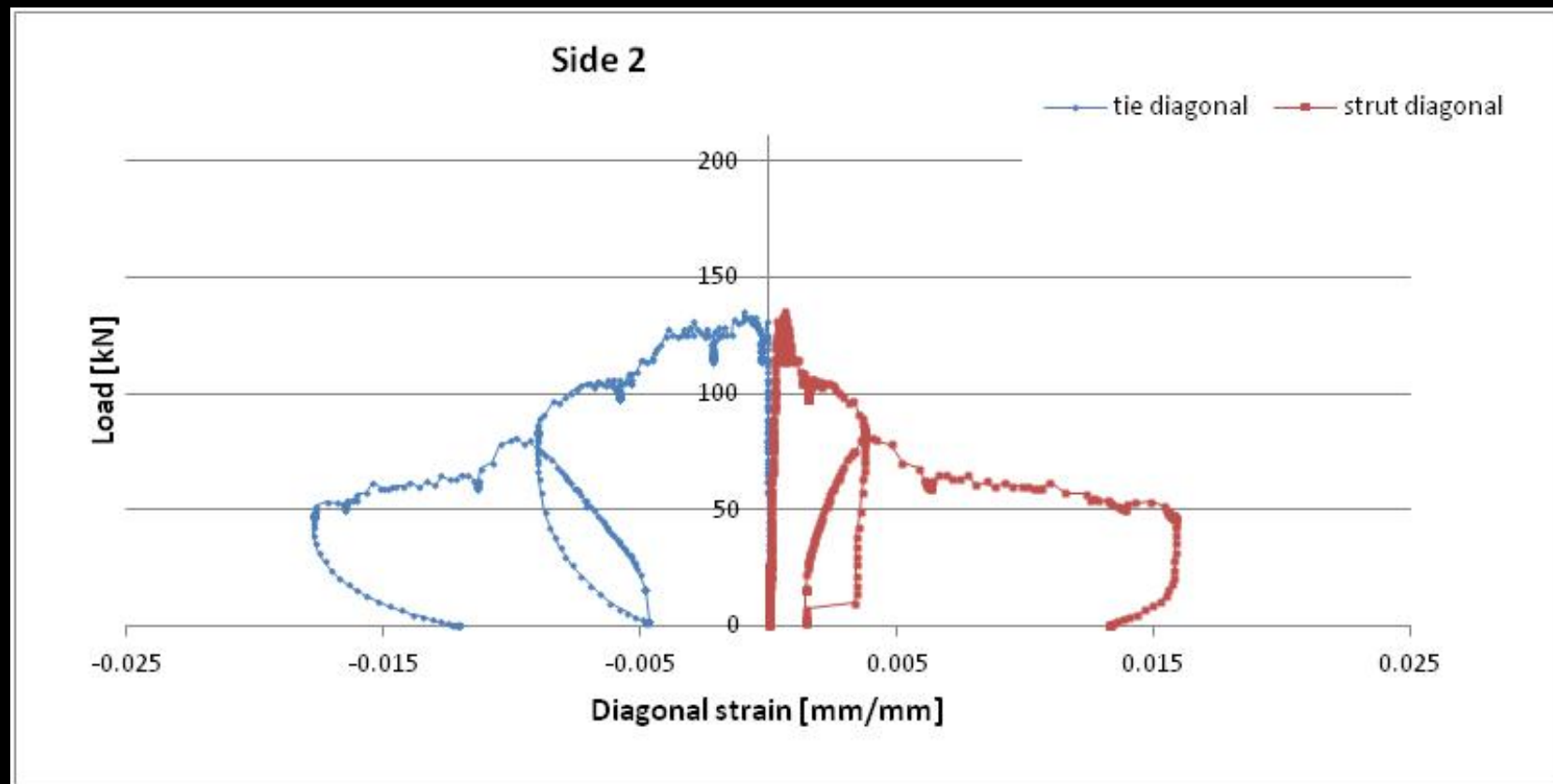


**CAMPIONI DOPPIO PARAMENTO RINFORZATI**

# LA MURATURA IN BLOCCHI LAPIDEI QUADRATI

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM

PROVE DI TAGLIO DIAGONALE SU MURATURA RINFORZATA MEDIANTE INTONACO ARMATO GFRP – COMPORTAMENTO MECCANICO E CONFRONTI



**CAMPIONI SINGOLO PARAMENTO RINFORZATI  
MALTA ECOSOSTENIBILE CON FILLER DA SCARTI DI LAVORAZIONE DELLA PIETRA**

# PREVISIONE TEORICA DA NORMATIVE

## MURATURA RINFORZATA

| RESISTENZA A TAGLIO NOMINALE FORNITA DALLA MURATURA SECONDO L' APPROCCIO REINFORCED |   |
|---|---|
| BS 5628:2005<br>[16]  | $V_{Rd2} = (0,35 + 0,6 \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}) V_{Rd1}$  |
| CSA S304.1-04<br>[17]   | $V_{Rd2} = V_{Rd1} (\frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}} + 0,25 \cdot \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}) V_{Rd1}$  |
| EC6<br>[18]   | $V_{Rd2} = \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}} V_{Rd1}$ $V_{Rd2} = V_{Rd1} + 0,4 \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}$ <p>or</p> $V_{Rd2} = 0,65 V_{Rd1}$                          |
| FEMA 356<br>[12]  | $V_{Rd2} = \left( 4 - 1,75 \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}} \right) V_{Rd1} \sqrt{\frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}} + 0,25 V_{Rd1}$   |
| MSJC<br>[13]  | $V_{Rd2} = \left( 4 - 1,75 \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}} \right) V_{Rd1} \sqrt{\frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}} + 0,25 V_{Rd1}$   |
| NZS 4230<br>[19]  | $V_{Rd2} = V_{Rd1} V_{Rd1} V_{Rd1}$ $V_{Rd2} = V_{Rd1} + V_{Rd1}$ $V_{Rd2} = (V_{Rd1} + V_{Rd1}) V_{Rd1}$ $V_{Rd2} = 0,9 \frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}} V_{Rd1}$ |
| UBC WSD<br>[20]   | $V_{Rd2} = V_{Rd1} V_{Rd1} \sqrt{\frac{V_{Rd1}}{V_{Rd2}}} \leq 63 \cdot V_{Rd1} V_{Rd1}$  |

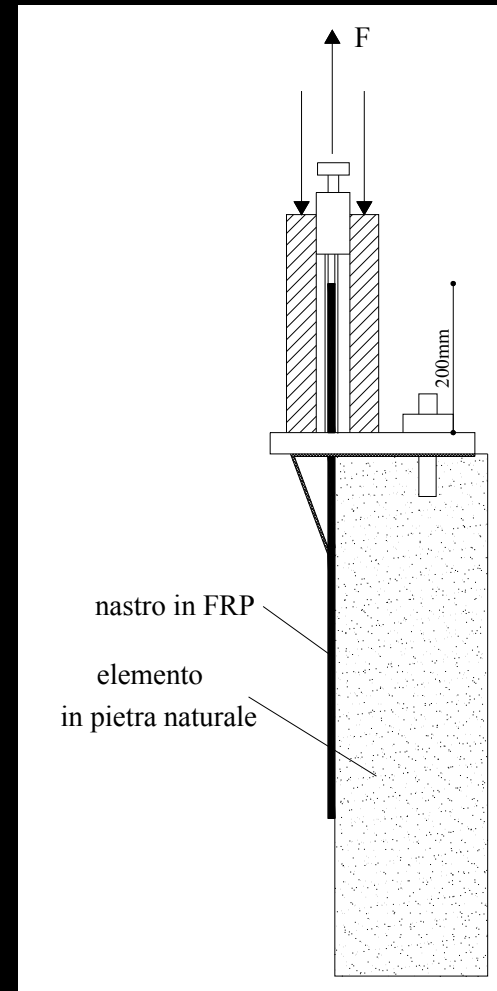
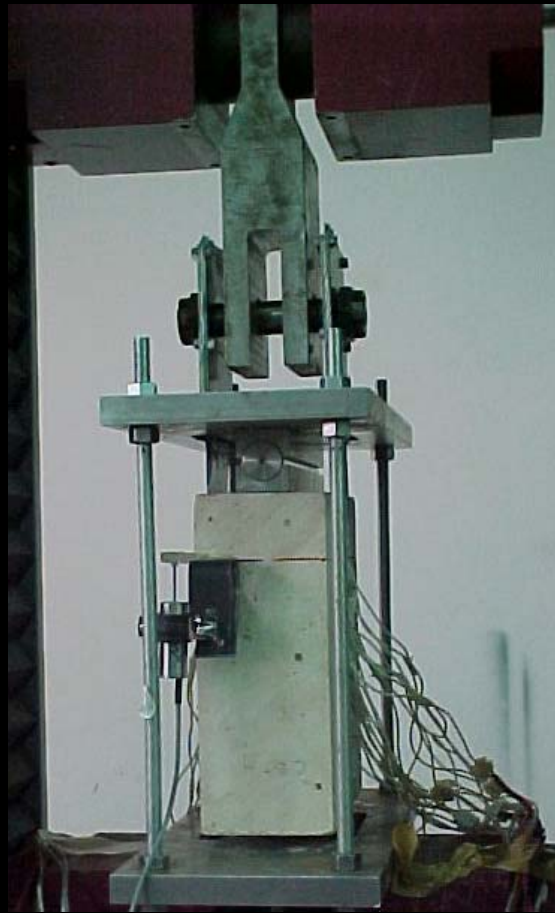
# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

MATERIALI INNOVATIVI - FRP / FRM



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA





# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

permanenza per cinque mesi in camera climatica, in condizioni di umidità pari a 90% e temperatura di 40°C

Campioni non condizionati



Campioni condizionati

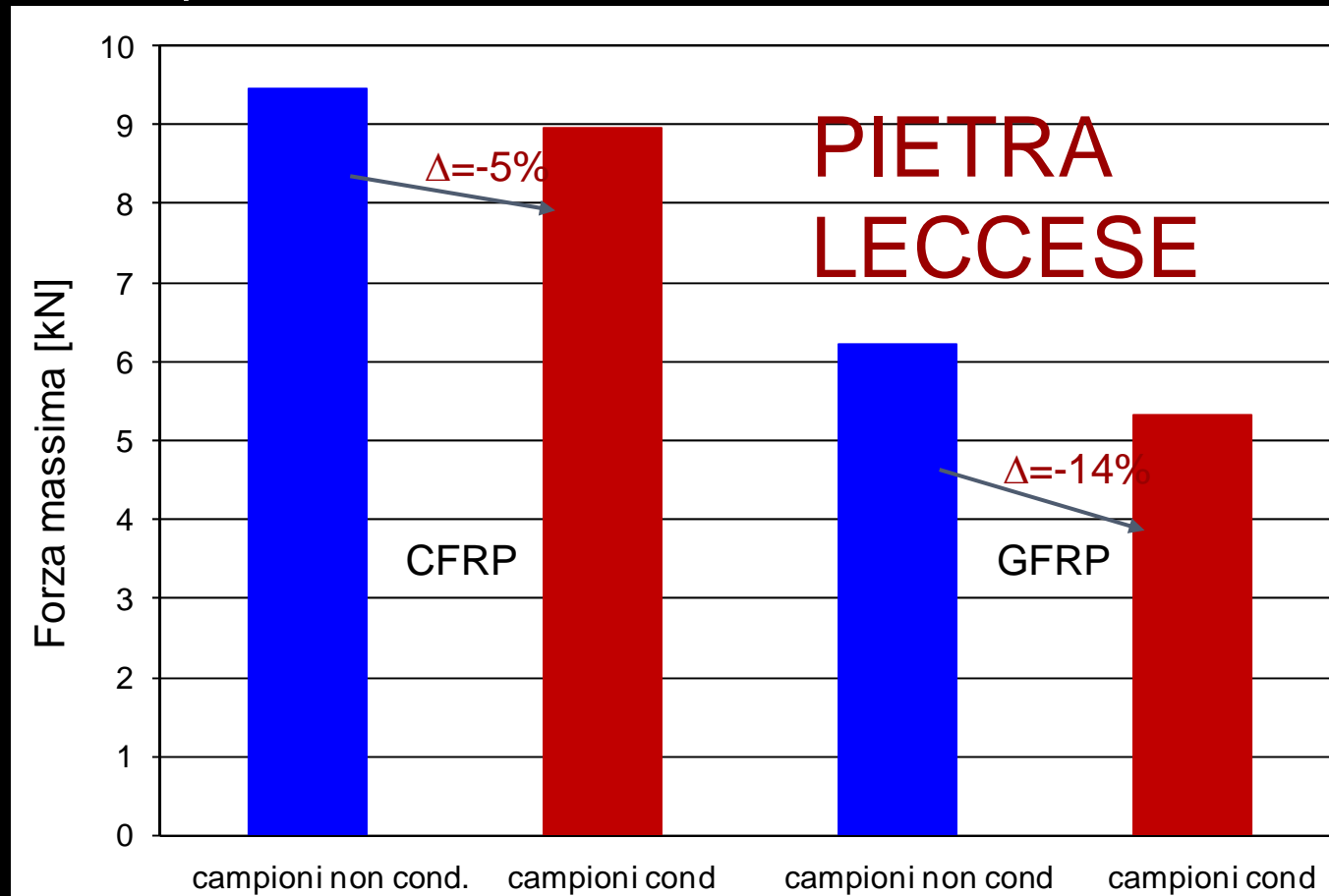


# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

permanenza per cinque mesi in camera climatica, in condizioni di umidità pari a 90% e temperatura di 40°C – PIETRA LECCESE

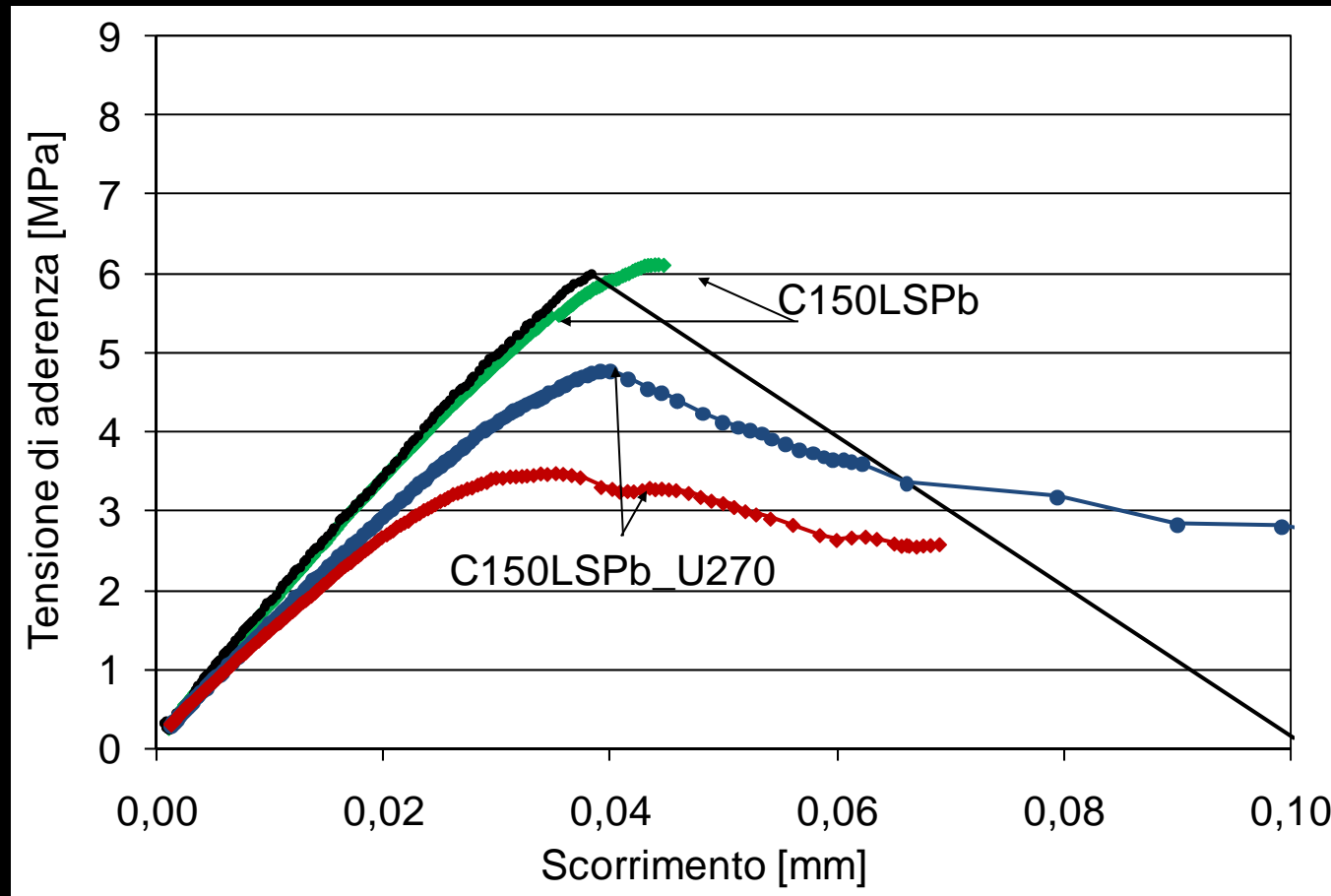


# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

permanenza per cinque mesi in camera climatica, in condizioni di umidità pari a 90% e temperatura di 40°C – PIETRA LECCESE

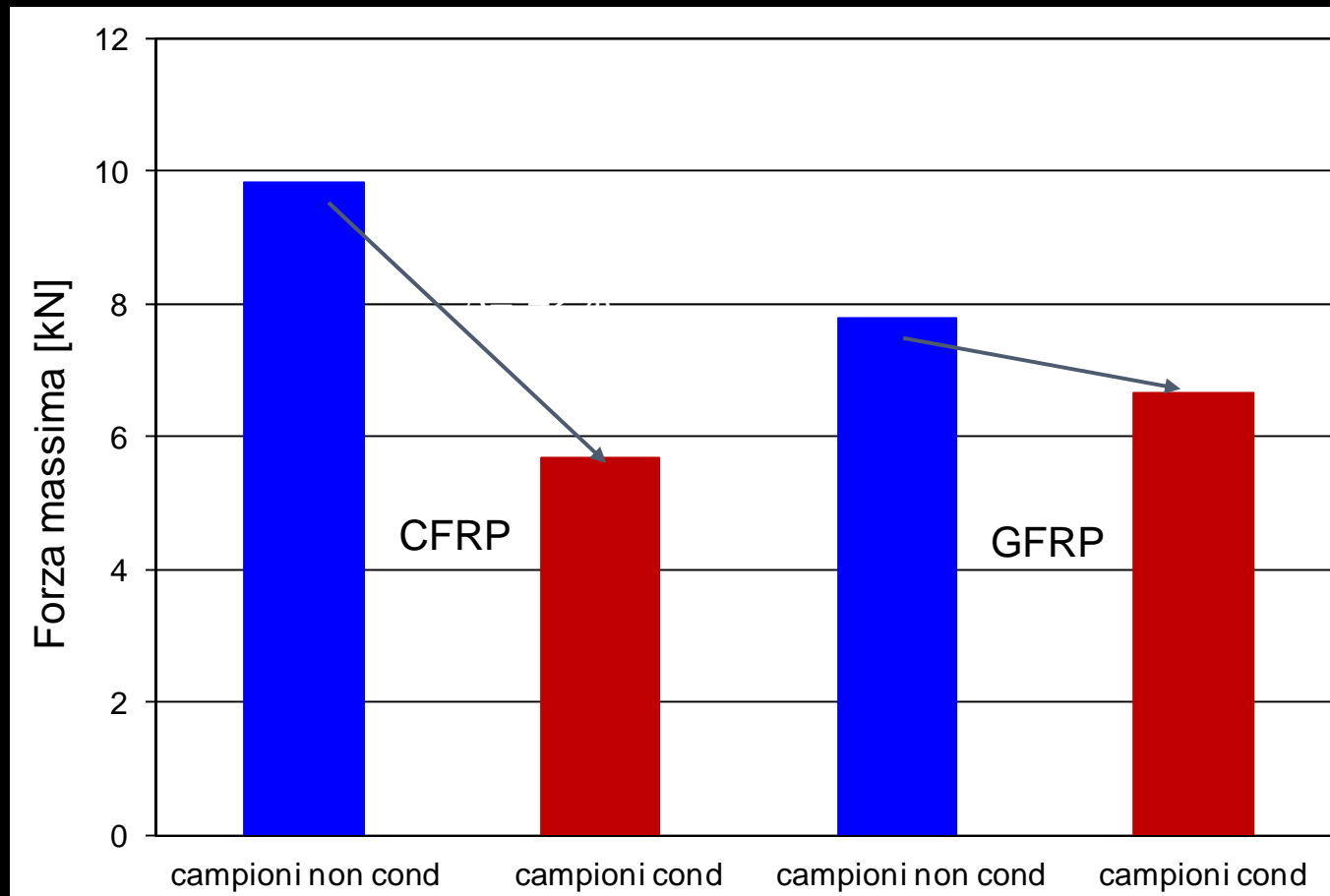


# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

permanenza per cinque mesi in camera climatica, in condizioni di umidità pari a 90% e temperatura di 40°C – TUFO GIALLO DI NAPOLI

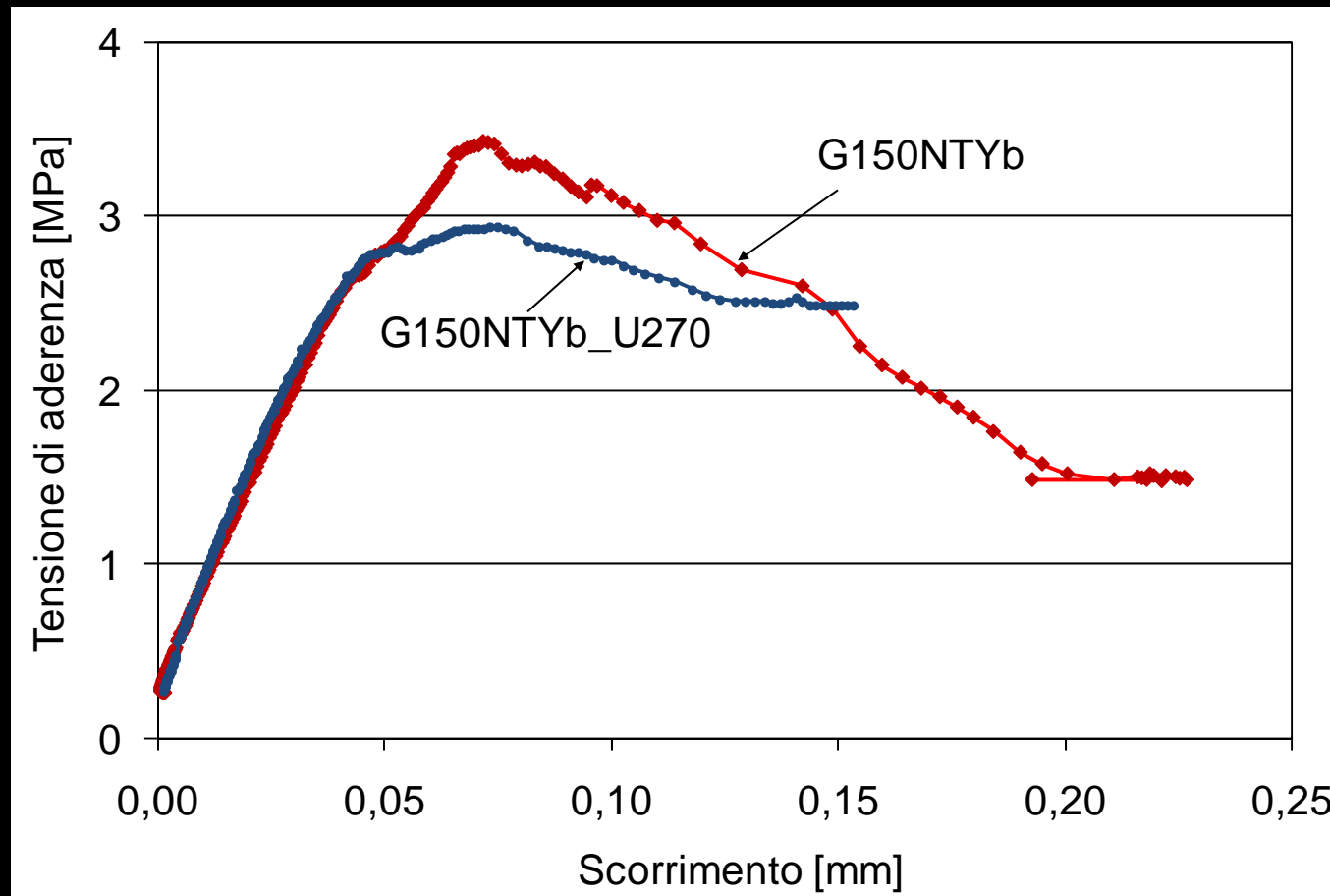


# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

permanenza per cinque mesi in camera climatica, in condizioni di umidità pari a 90% e temperatura di 40°C – TUFO GIALLO DI NAPOLI



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

Immersione in acqua 50 gg e 176gg– PIETRA LECCESE

|              | $P_{max}(COV\%)$ | $\tau_{med}(COV\%)$ | $\tau_{max}(COV\%)$ | $L_e(COV\%)$ |
|--------------|------------------|---------------------|---------------------|--------------|
|              | kN               | MPa                 | MPa                 | mm           |
| C150LSa      | 9,52(8)          | 0,79(8)             | 3,00(24)            | 129(11)      |
| C150LSa_I50  | 7,58(2)          | 0,63(2)             | 2,34(23)            | 127(17)      |
| C150LSa_I176 | 7,28(3)          | 0,61(4)             | 2,07(8)             | 104(6)       |

$-\Delta=23\%$

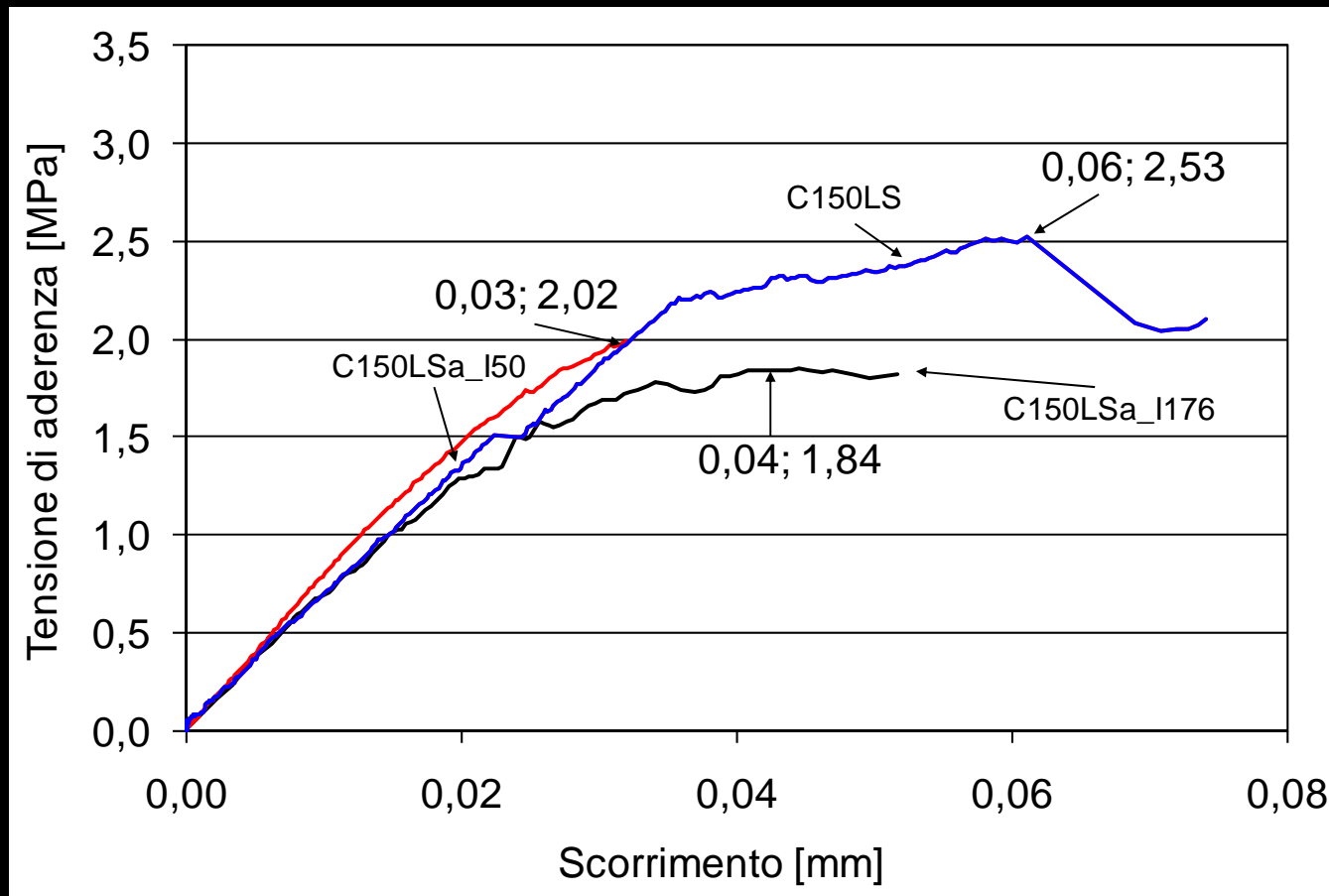
$-\Delta=31\%$

# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRP

### INFLUENZA DEL CONDIZIONAMENTO SUL LEGAME DI ADERENZA GFRP , CFRP – Substrato in TUFO / PIETRA TENERA

Immersione in acqua 50 gg e 176gg– PIETRA LECCESE



# **IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'**

**MATERIALI INNOVATIVI - FRM  
INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)**



**IN MOLTI CASI LE FIBRE SI TROVANO DIRETTAMENTE ESPOSTE  
ALL'AMBIENTE AGGRESSIVO IN QUANTO NON VI E' LA PROTEZIONE  
DELLA RESINA**

**LA SUSCETTIBILITA' AL DEGRADO CHIMICO-FISICO DELLE FIBRE  
DIPENDE DALLA NATURA DELLA FIBRA STESSA**

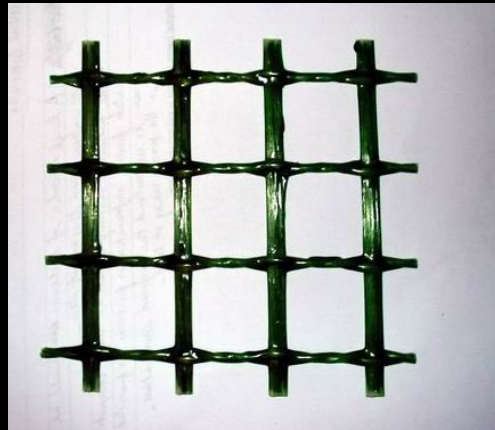


# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Differenti tipologie di fibre e di sistemi

- Fibra di vetro AR
- Fibra di vetro EC-R
- Fibra di vetro E
- Fibra di carbonio
- Fibra di basalto
- Fibra di PBO
- Fibra di acciaio
- Fibra aramidica
- Fibra di Twaron
- Fibra di poliestere
- Fibre naturali
  - canapa
  - lino
  - bamboo o altro



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

L'ambiente alcalino provoca un sensibile degrado chimico delle fibre di vetro *E-glass*, pertanto un numero elevato di ricerche è stato dedicato allo studio di questo problema. Si è visto che la presenza di soluzioni alcaline, che si formano naturalmente all'interno dei leganti cementizi ( $\text{pH} \approx 13.5$ ), riduce sensibilmente nel tempo l'efficacia del rinforzo con in fibra di vetro E a causa di un infragilimento delle fibre di vetro e di un danneggiamento all'interfaccia fibra-matrice.

# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

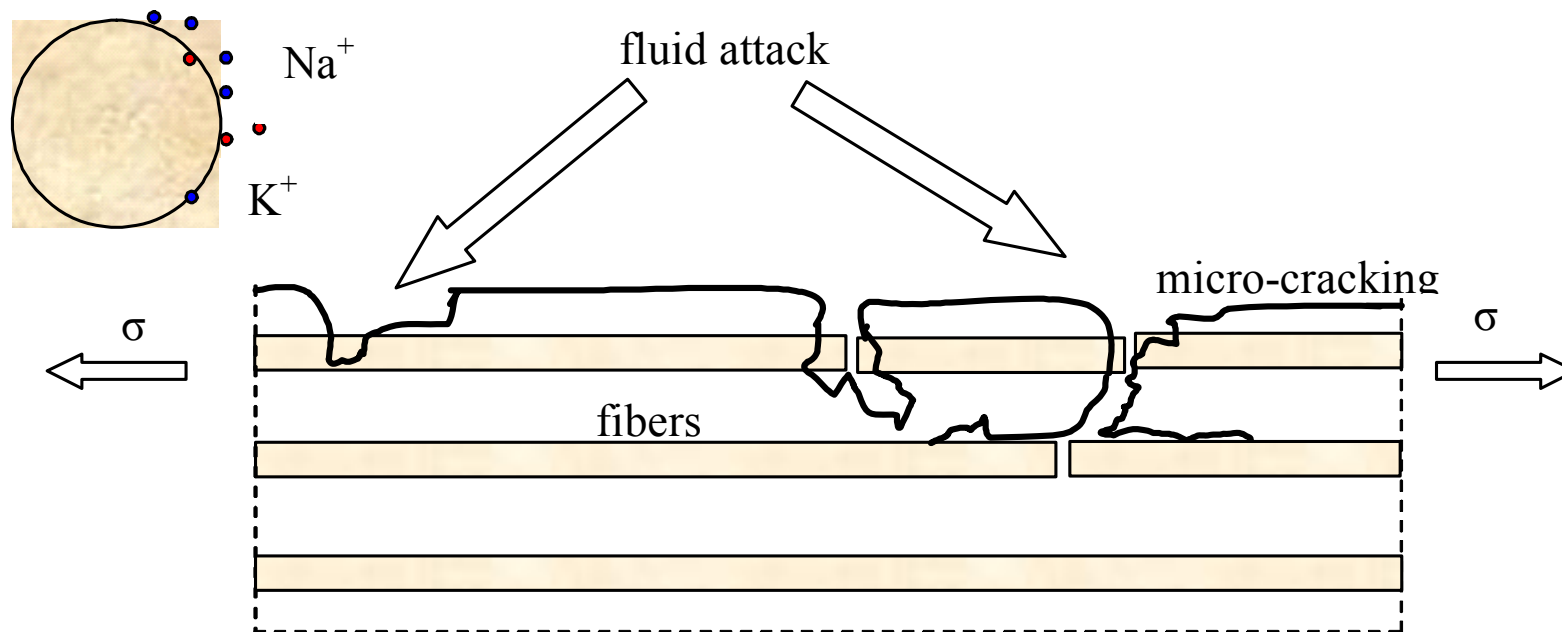
L'infragilimento delle fibre è legato alla nucleazione di particelle di  $\text{Ca(OH)}_2$  sulla superficie, inoltre la presenza degli ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  provoca ulteriori meccanismi di dissoluzione delle fibre di vetro con formazione di silicati ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ad es.) come osservato da Adams (1984).

Il risultato che emerge come più importante conseguenza di questi fenomeni di idrolisi è la sensibile perdita di proprietà meccaniche che può arrivare fino al 70% dopo prolungata esposizione a soluzioni alcaline

# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

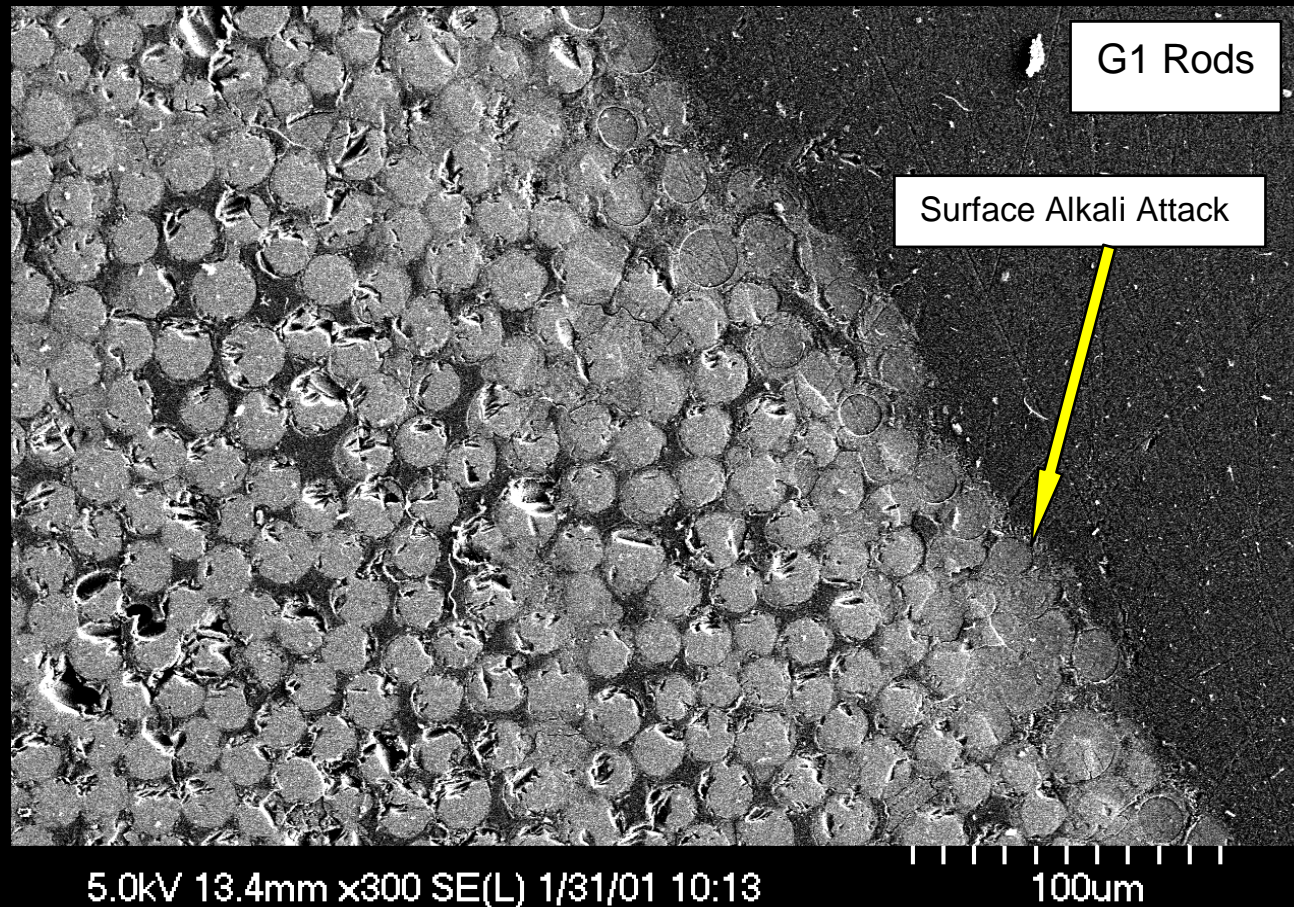
Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

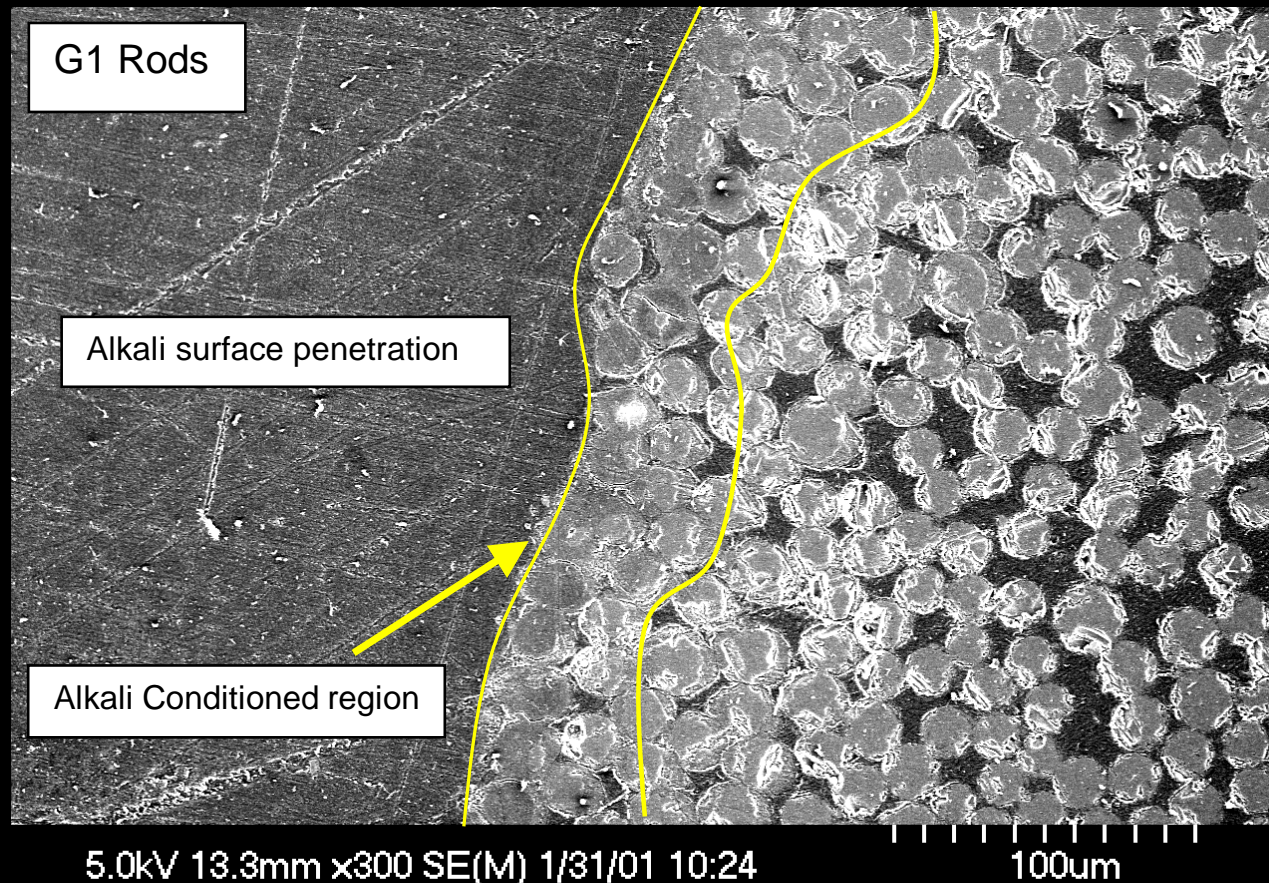
Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**BUONA** protezione della resina



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

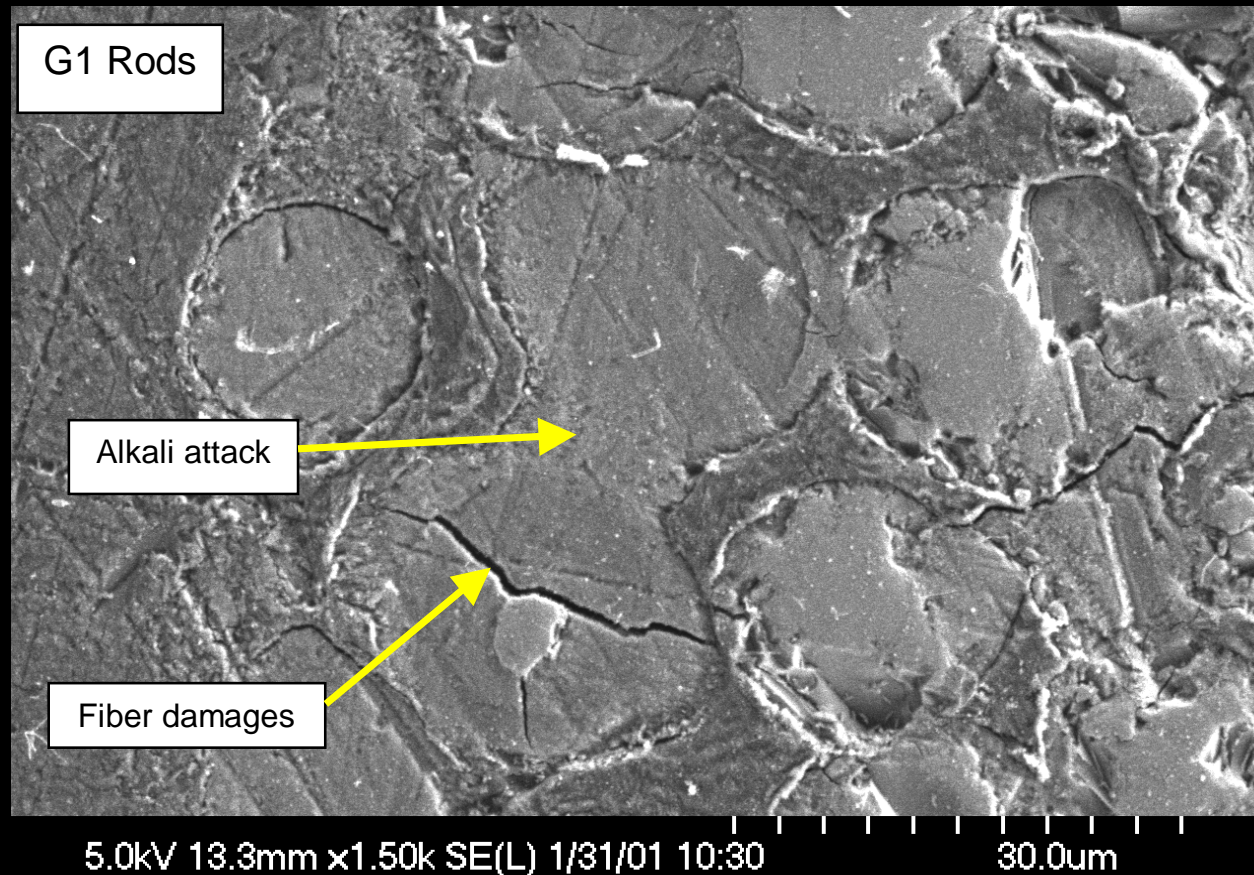
Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**BUONA** protezione della resina



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**BUONA** protezione della resina



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**BUONA** protezione della resina

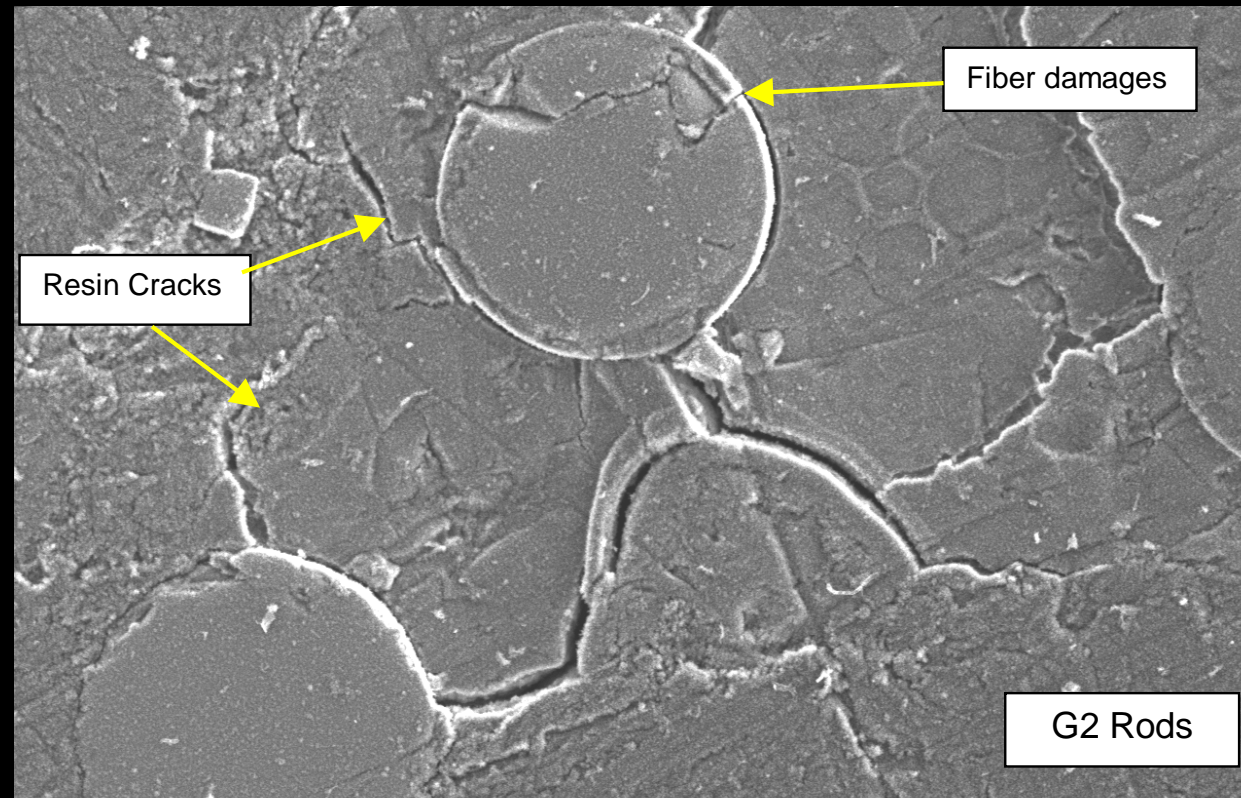




# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**SCARSA** protezione della resina



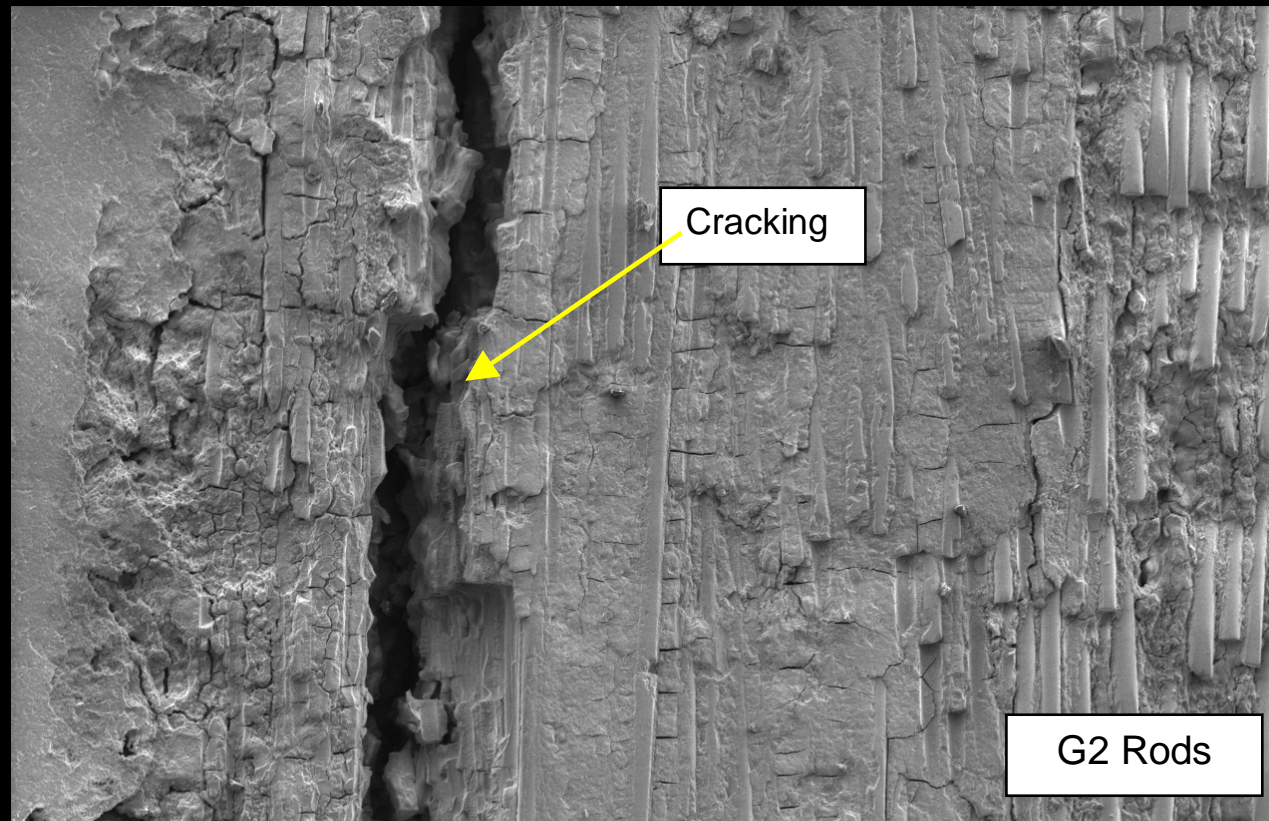
5.0kV 12.8mm x1.50k SE(M) 2/5/01 10:02

30.0um

# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**SCARSA** protezione della resina



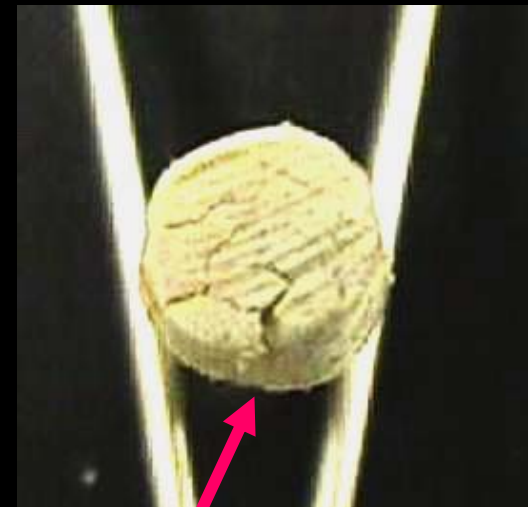
5.0kV 18.1mm x90 SE(M) 2/5/01 11:14

500um

# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

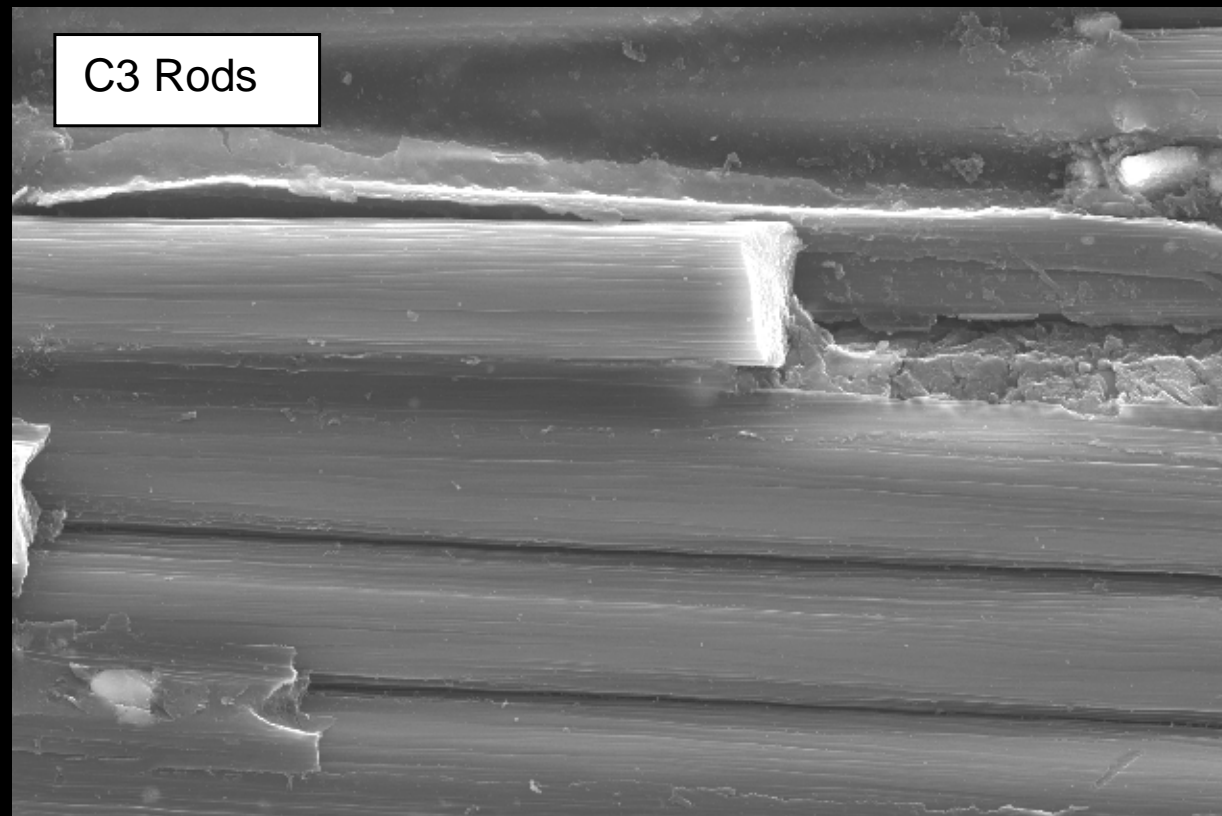
Compositi in fibra di vetro E in ambiente alcalino –  
**SCARSA** protezione della resina



# IL PROBLEMA DELLA DURABILITA'

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Compositi in fibra di carbonio in ambiente alcalino –  
**SCARSA** sensibilità e **OTTIMA** durabilità'



10μm 1500X

# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Ambiente alcalino, quali prove accelerate?



# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Ambiente alcalino, quali prove accelerate?



# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Ambiente alcalino, quali prove accelerate?

- **Ambiente calcestruzzo: 0,16% Ca(OH)<sub>2</sub> + 1%NaOH + 1,4% KOH    pH=12,5–13,5**
- **Ambiente calce: 0,16% Ca(OH)<sub>2</sub>                                  pH=12,5–13**
- **Ambiente in accordo a Norma ASTM E 2098: 5% NaOH; pH=14**
- **Ambiente in accordo Norma ETAG 049 (per ancoranti in matrici cementizie): 0,17 %  
K(OH); pH = 12,5**

$$N/C = 0.098 \exp(0.0558 T)$$

N = age in natural days

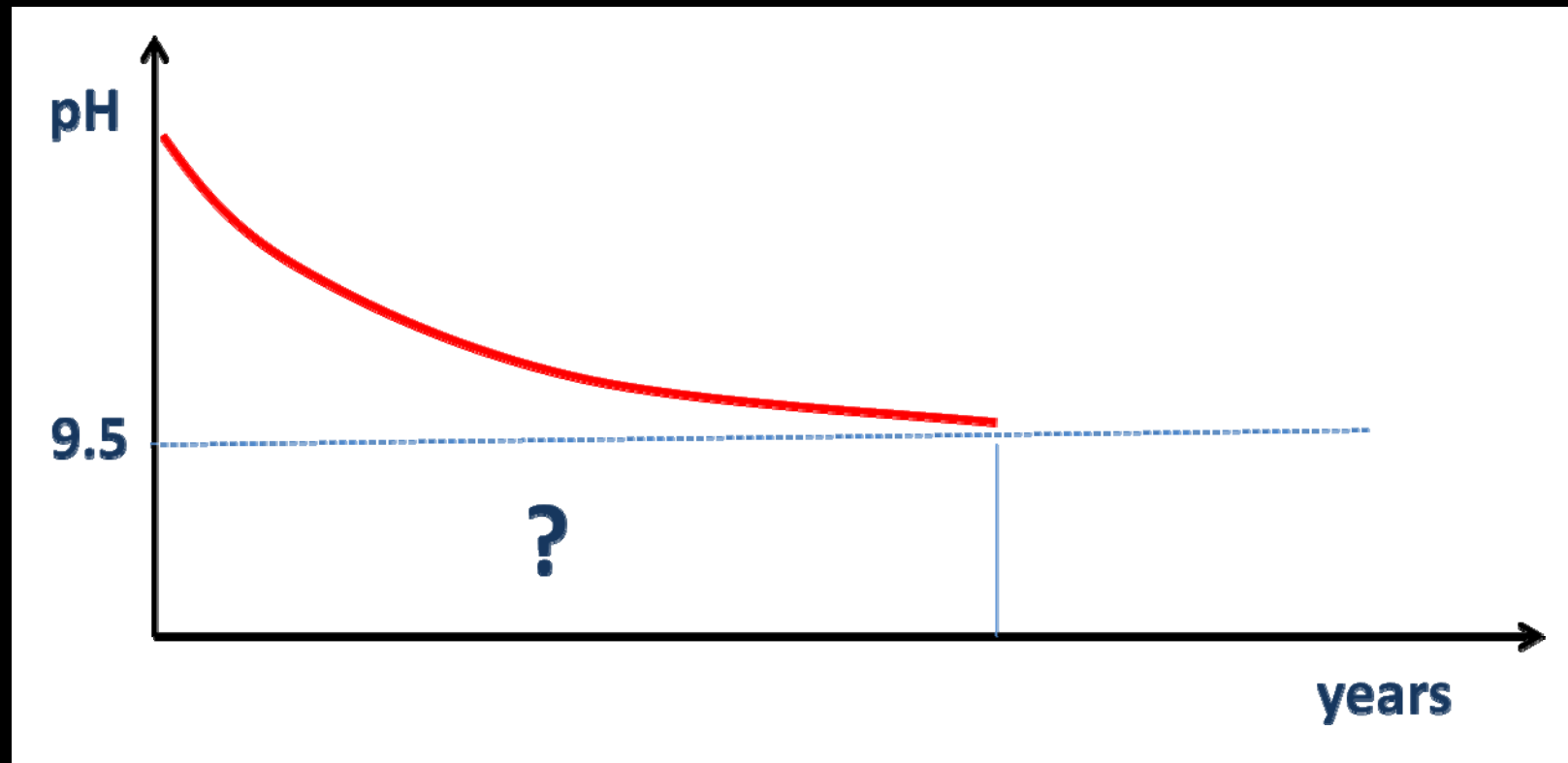
T = conditioning temperature in °F

C = days of accelerated exposure at temperature T

# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

Ambiente alcalino, quali prove accelerate?



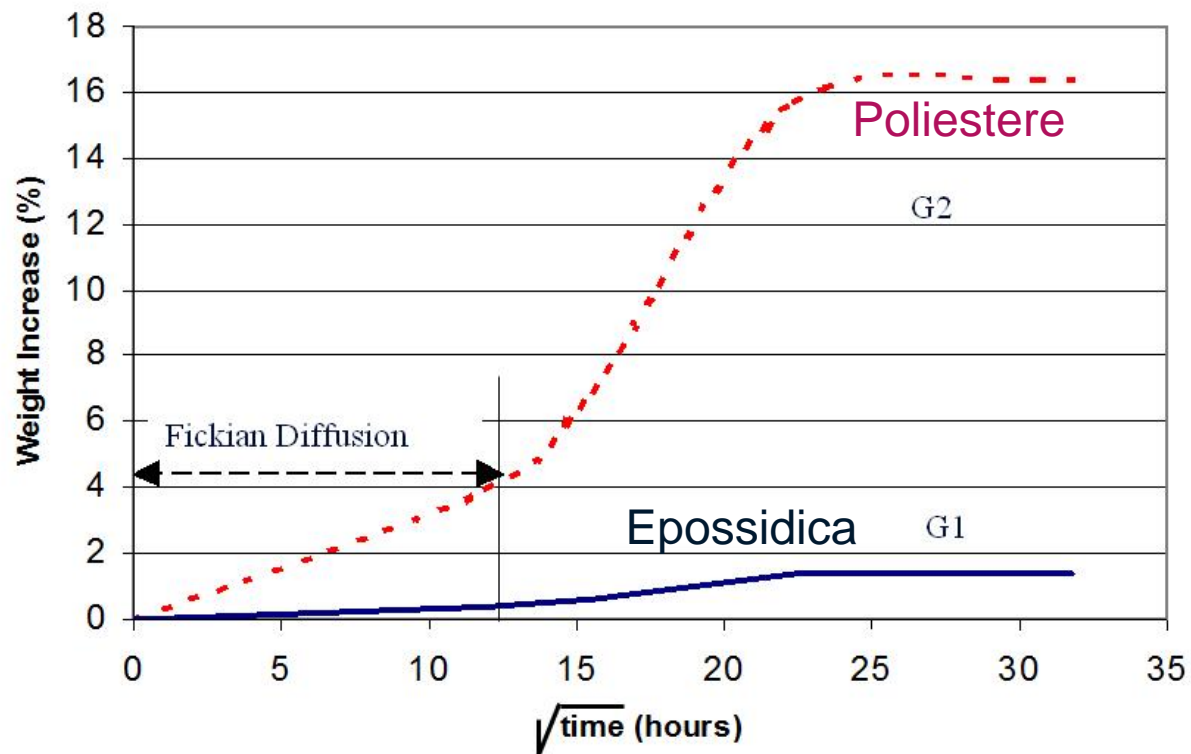


# COME STUDIARE LA DURABILITA' ?

## MATERIALI INNOVATIVI - FRM INTERAZIONE FIBRA MATRICE (CALCE / CEMENTIZIA)

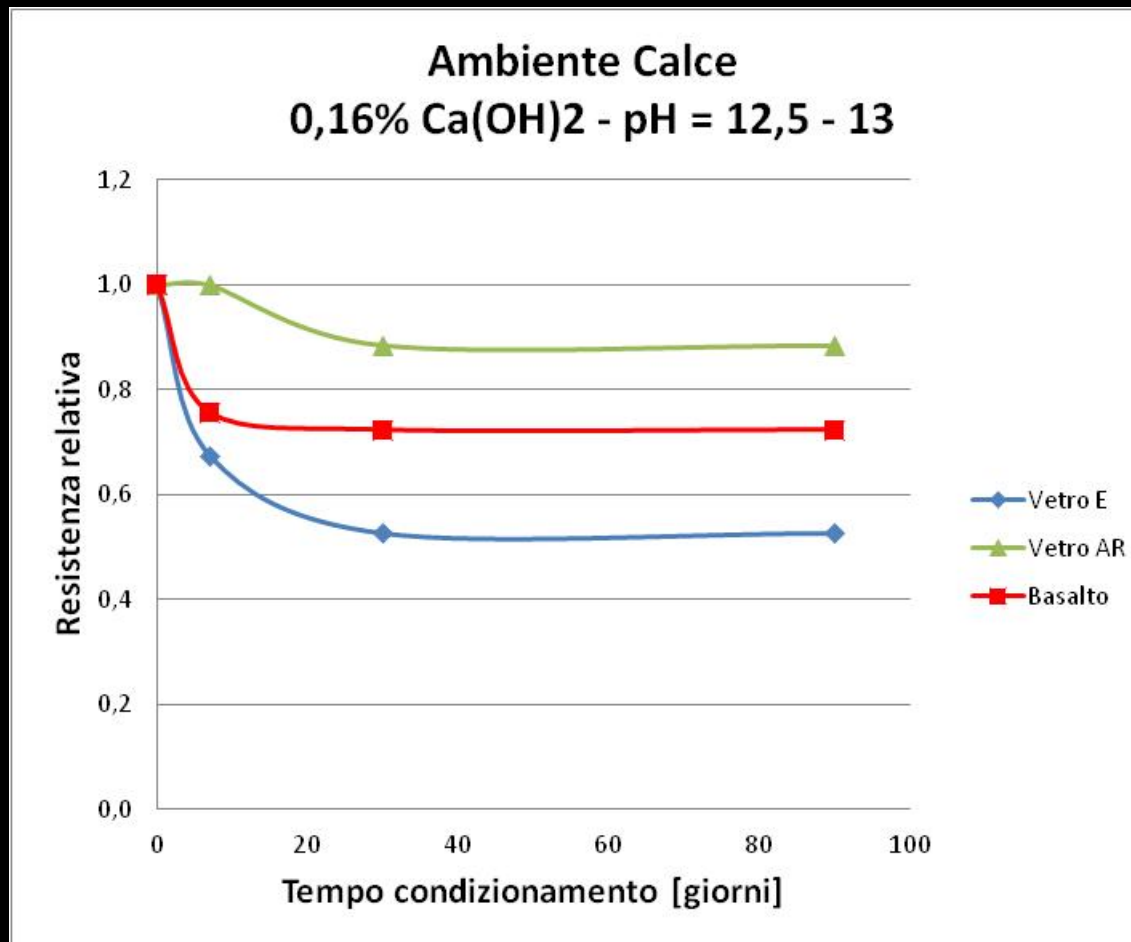
Ambiente alcalino, quali prove accelerate?

La protezione offerta dalla resina nei sistemi curati FRP



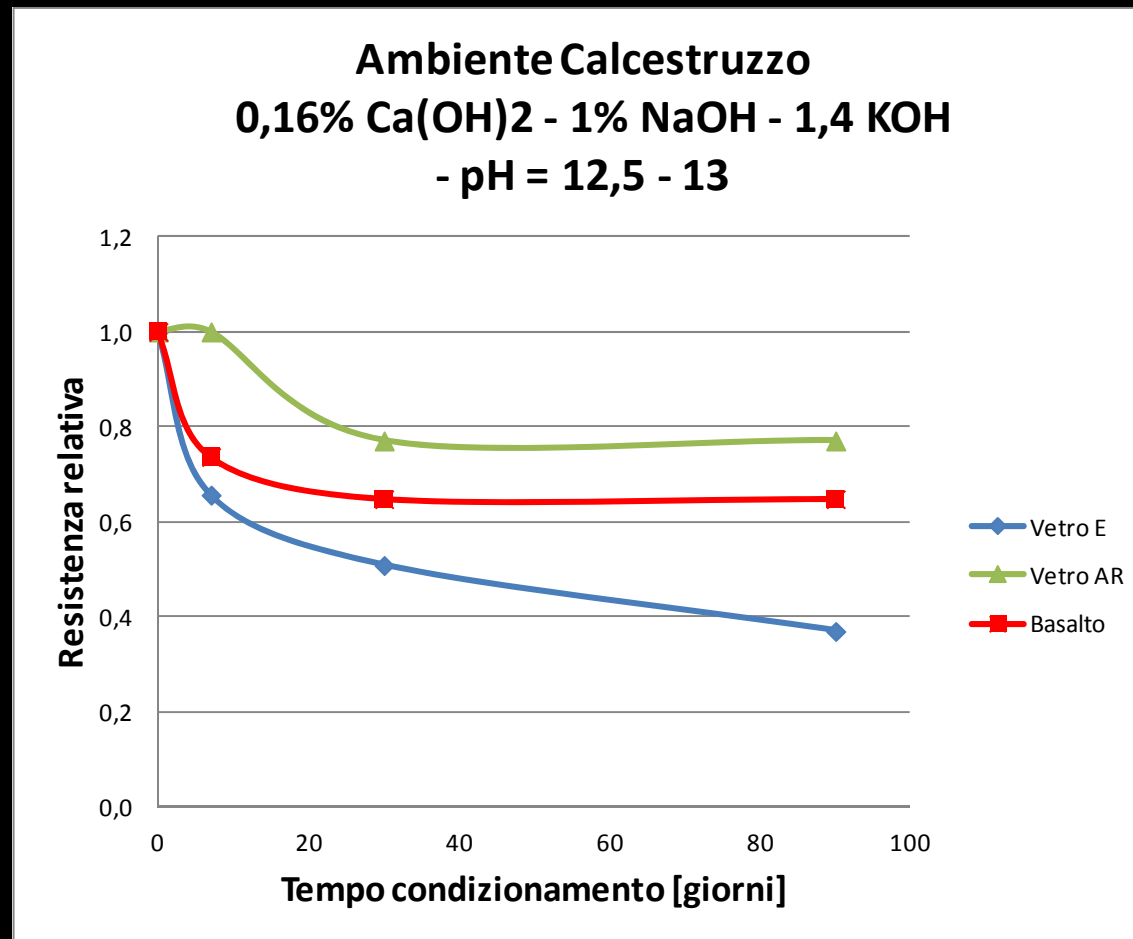
# RESISTENZA RESIDUA A CONFRONTO

## PROVE SU FIBRE NON IMPREGNATE RESISTENZA A TRAZIONE RESIDUA



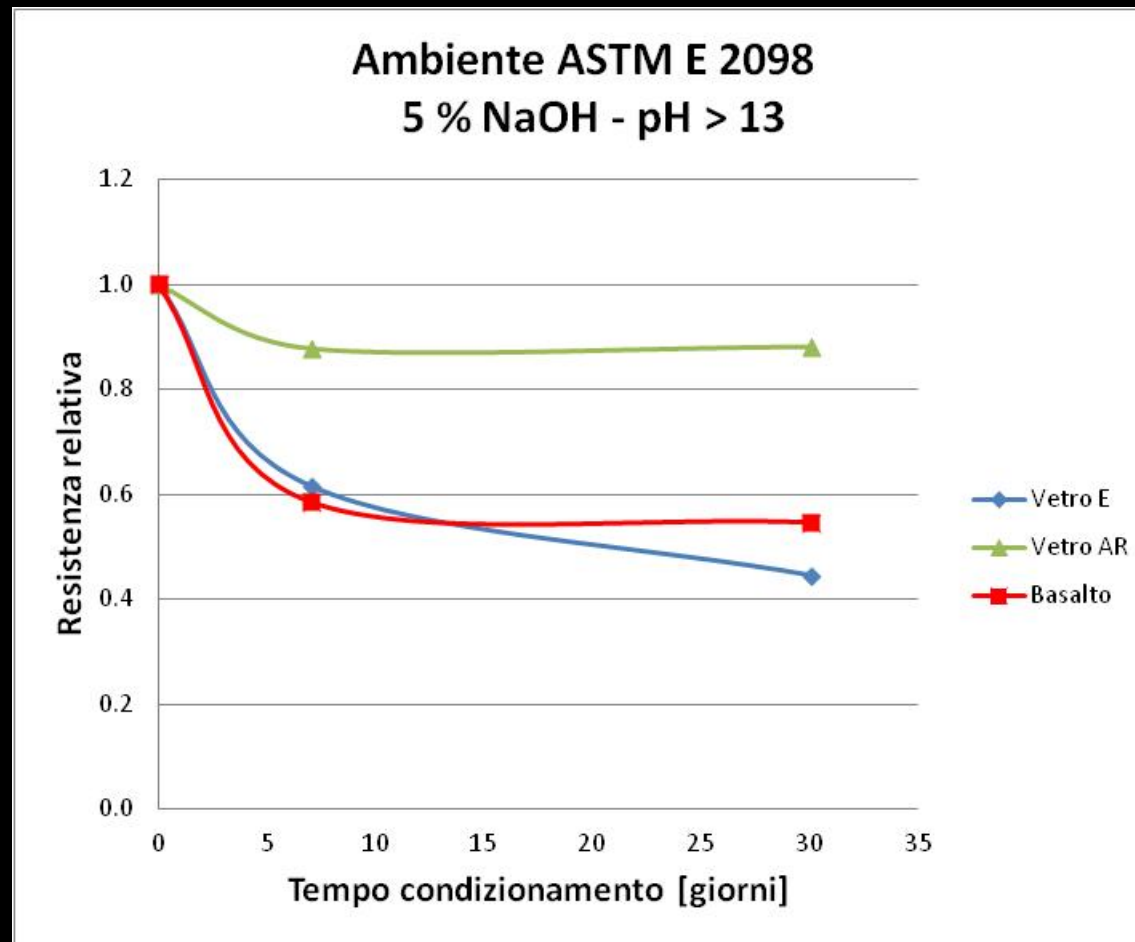
# RESISTENZA RESIDUA A CONFRONTO

## PROVE SU FIBRE NON IMPREGNATE RESISTENZA A TRAZIONE RESIDUA



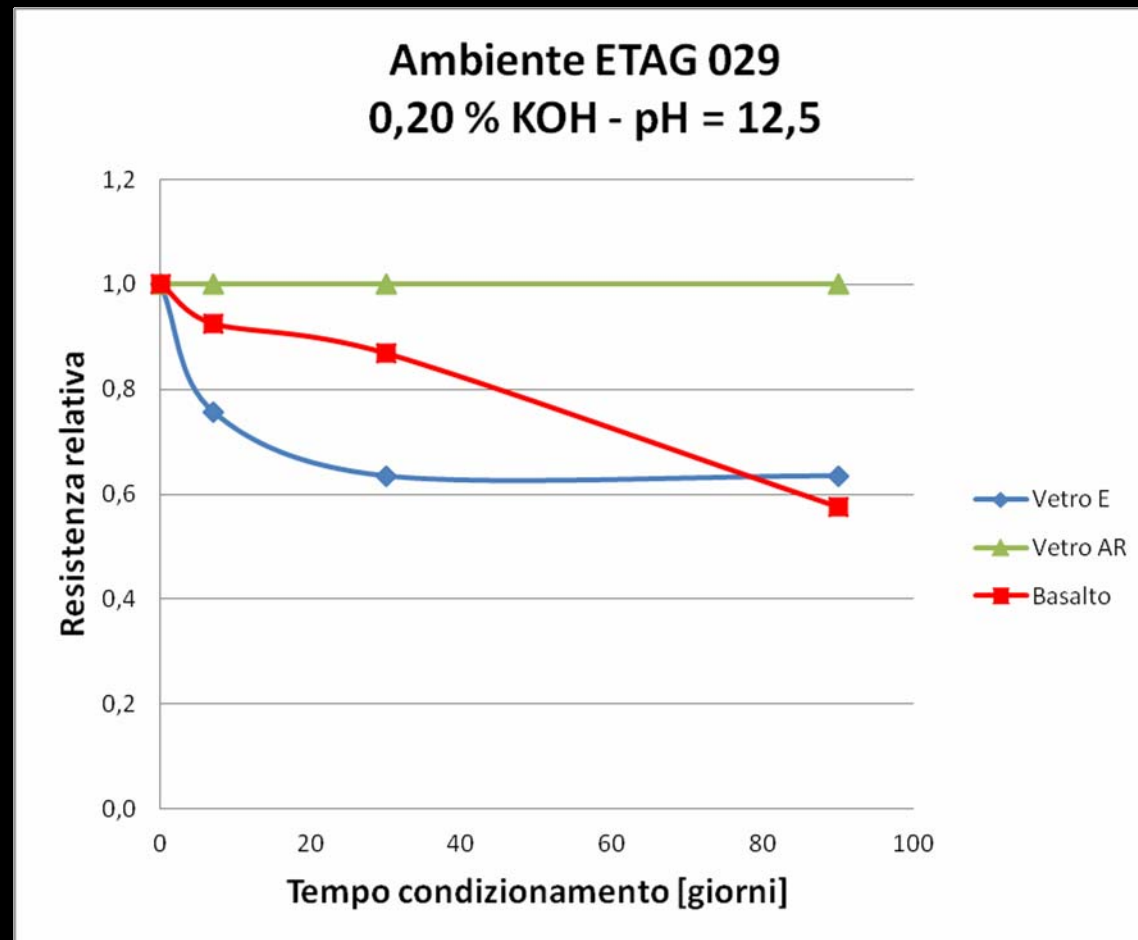
# RESISTENZA RESIDUA A CONFRONTO

## PROVE SU FIBRE NON IMPREGNATE RESISTENZA A TRAZIONE RESIDUA



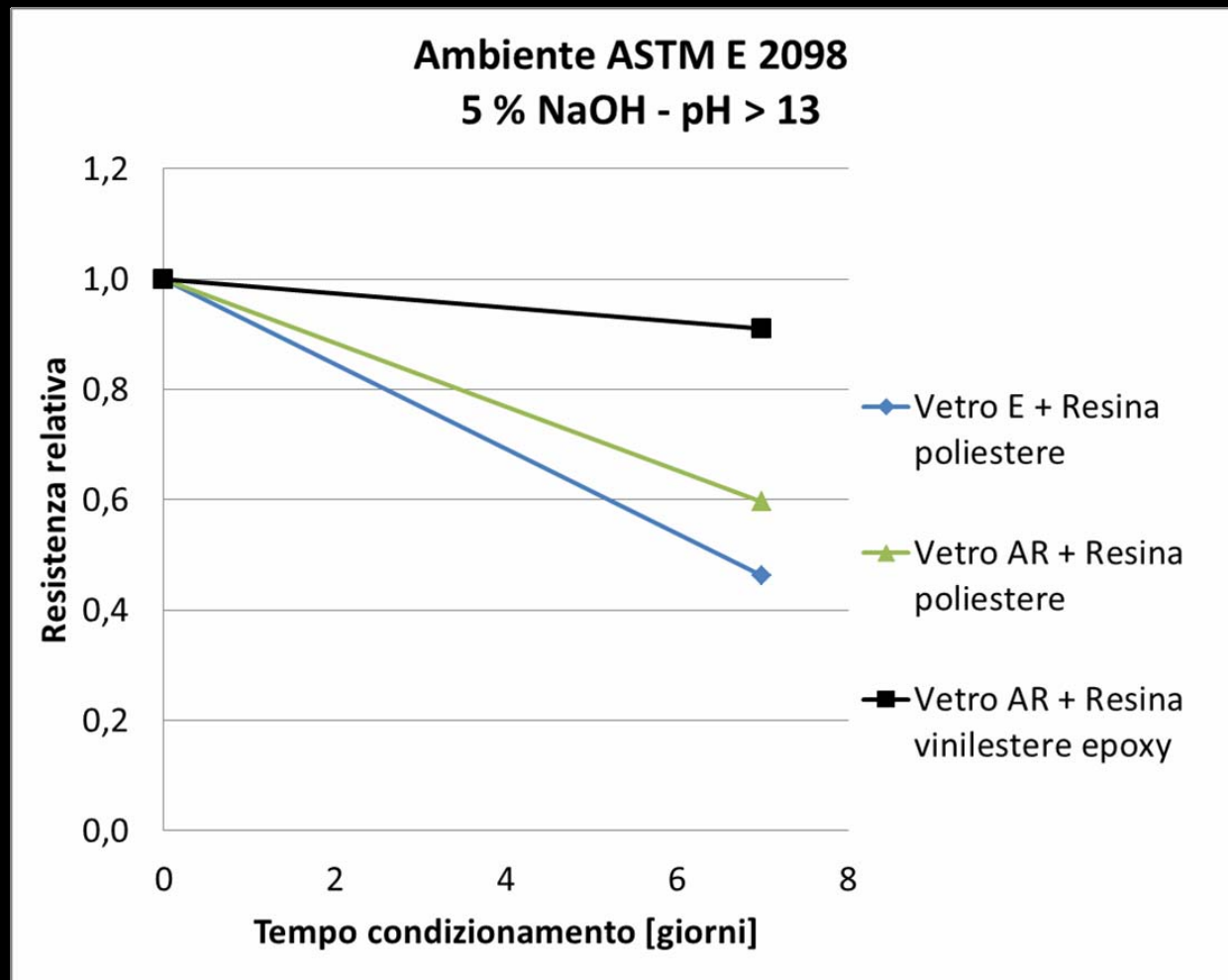
# RESISTENZA RESIDUA A CONFRONTO

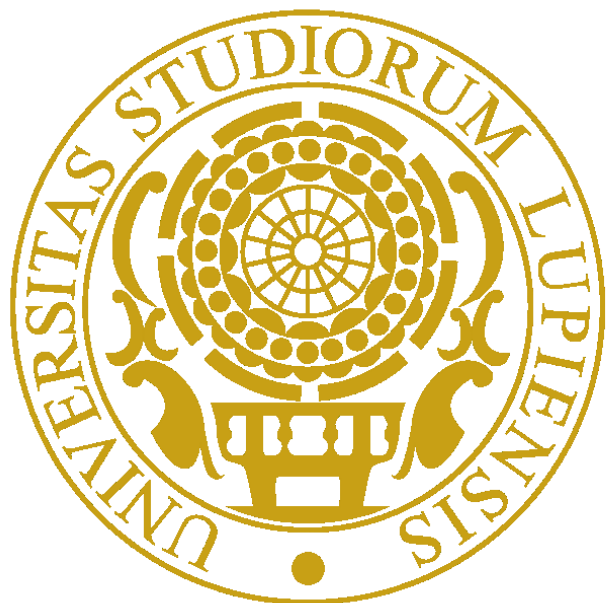
## PROVE SU FIBRE NON IMPREGNATE RESISTENZA A TRAZIONE RESIDUA



# RESISTENZA RESIDUA A CONFRONTO

## PROVE SU FIBRE IMPREGNATE RESISTENZA A TRAZIONE RESIDUA





# UNIVERSITÀ DEL SALENTO

***francesco.micelli@unisalento.it***

