

# CNR-DT 200/2004

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il controllo di  
Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di  
Compositi Fibrorinforzati

---

Capitolo 4.3:

## RINFORZO A TAGLIO



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Giorgio Monti  
Università di Roma La Sapienza



# Contenuti

---

4.3.1 Generalità

4.3.2 Configurazioni per il rinforzo a taglio

4.3.3 Resistenza di progetto a taglio  
dell'elemento rinforzato con FRP

*4.3.3.1 Resistenza di progetto a taglio*

*4.3.3.2 Resistenza efficace di progetto del rinforzo*

*4.3.3.3 Limitazioni e dettagli costruttivi*



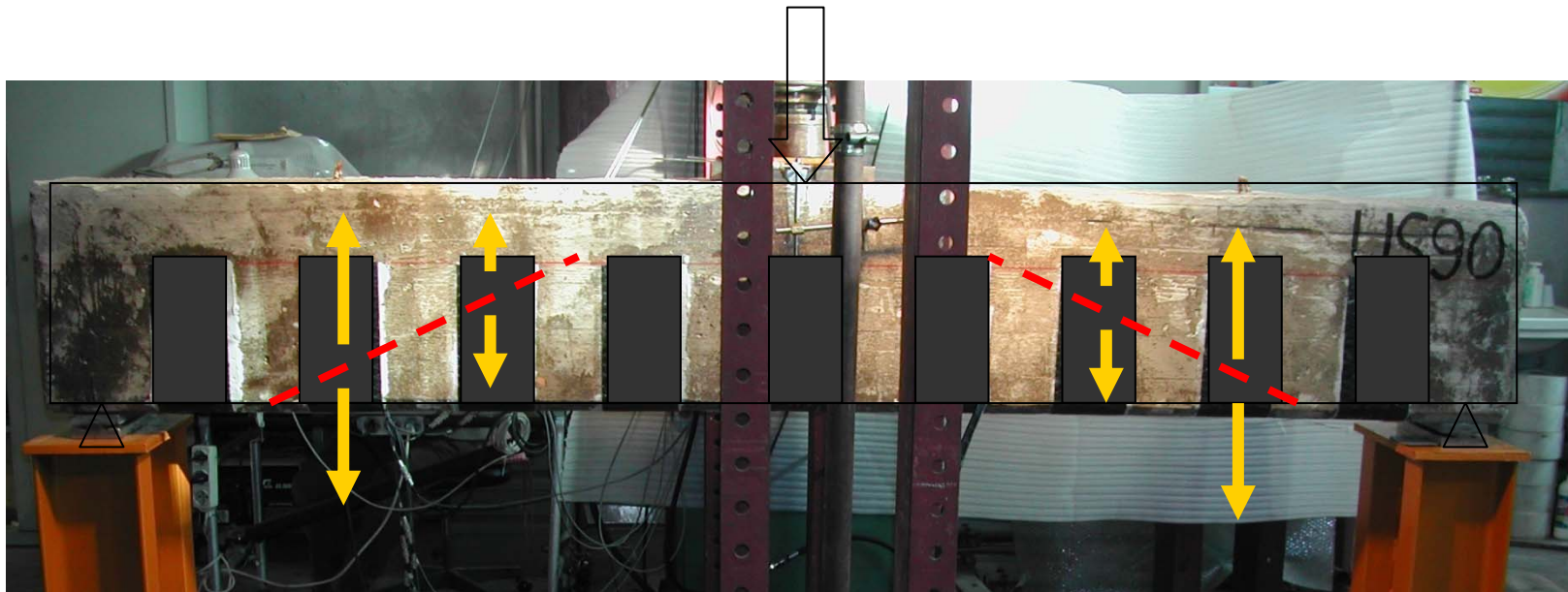
# Generalità

---

- Il rinforzo a taglio è necessario quando il taglio di calcolo è superiore alla corrispondente resistenza di calcolo
- Il rinforzo a taglio va verificato per il **solo SLU**.

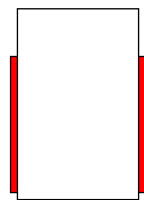
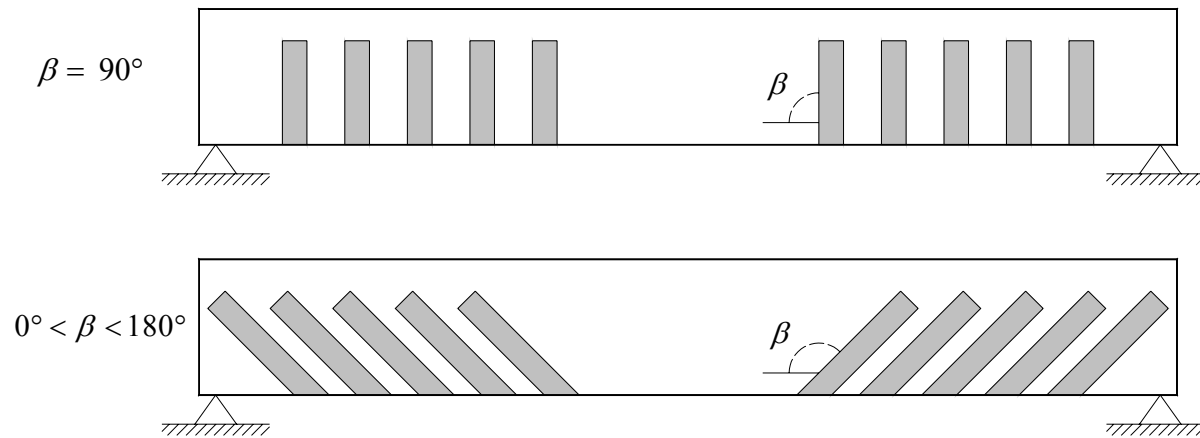
# Il problema del rinforzo a taglio

Travi con scarsa armatura a taglio

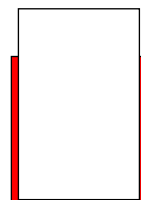


Quando si formano le fessure, ogni striscia si trova in una situazione differente, sia per la geometria sia per la tensione applicata

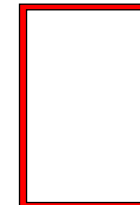
# Configurazioni per il rinforzo a taglio



**laterale**



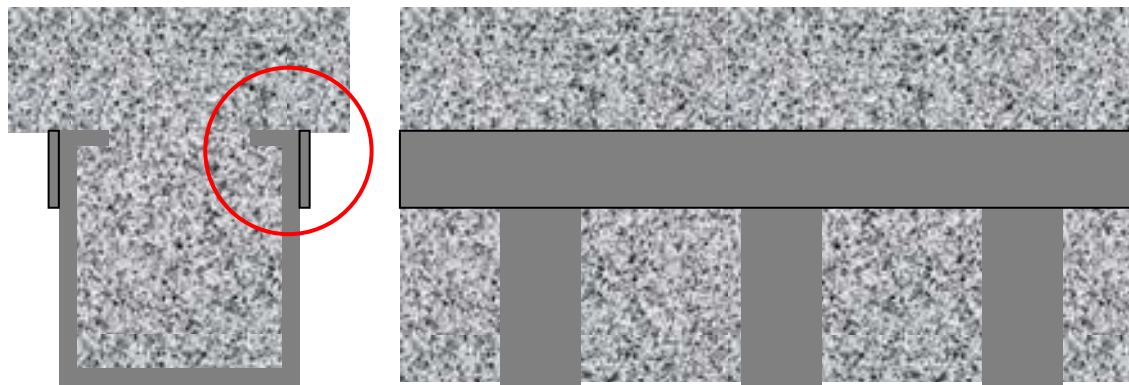
**ad U**



**in avvolgimento**

# Configurazioni per il rinforzo a taglio

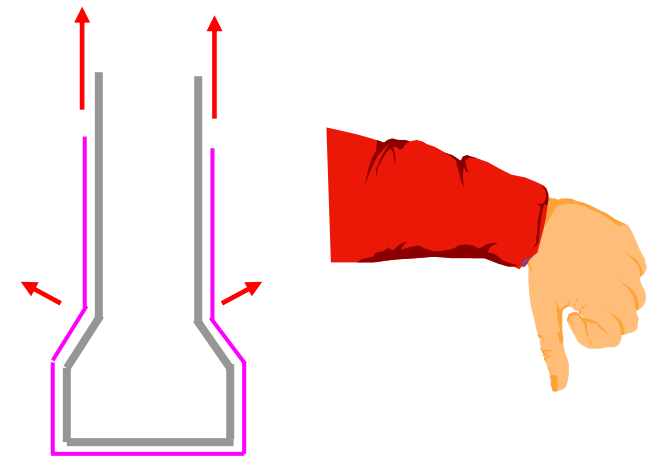
- Si possono adottare anche **altre tipologie** non contemplate nelle Istruzioni, purché ne sia dimostrata l'efficacia e ne sia quantificato il contributo resistente a taglio.



# Configurazioni per il rinforzo a taglio



# Esempi di applicazione ...

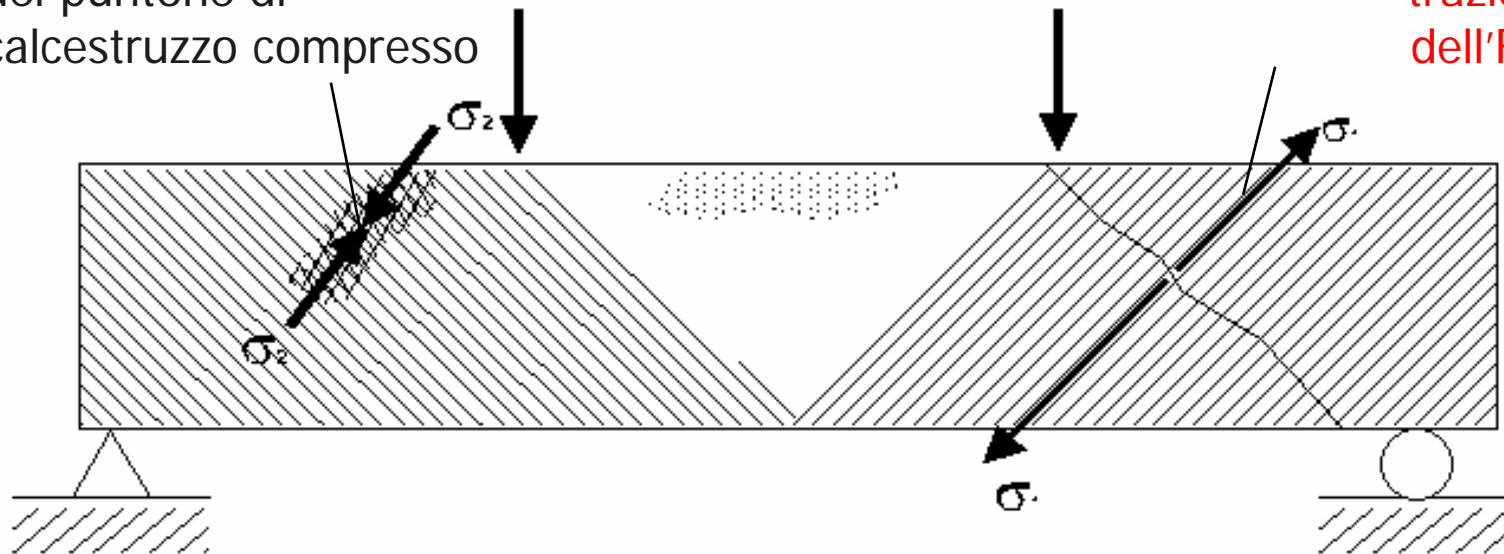


La concavità del rinforzo mai verso l'esterno della sezione



# Modi di collasso

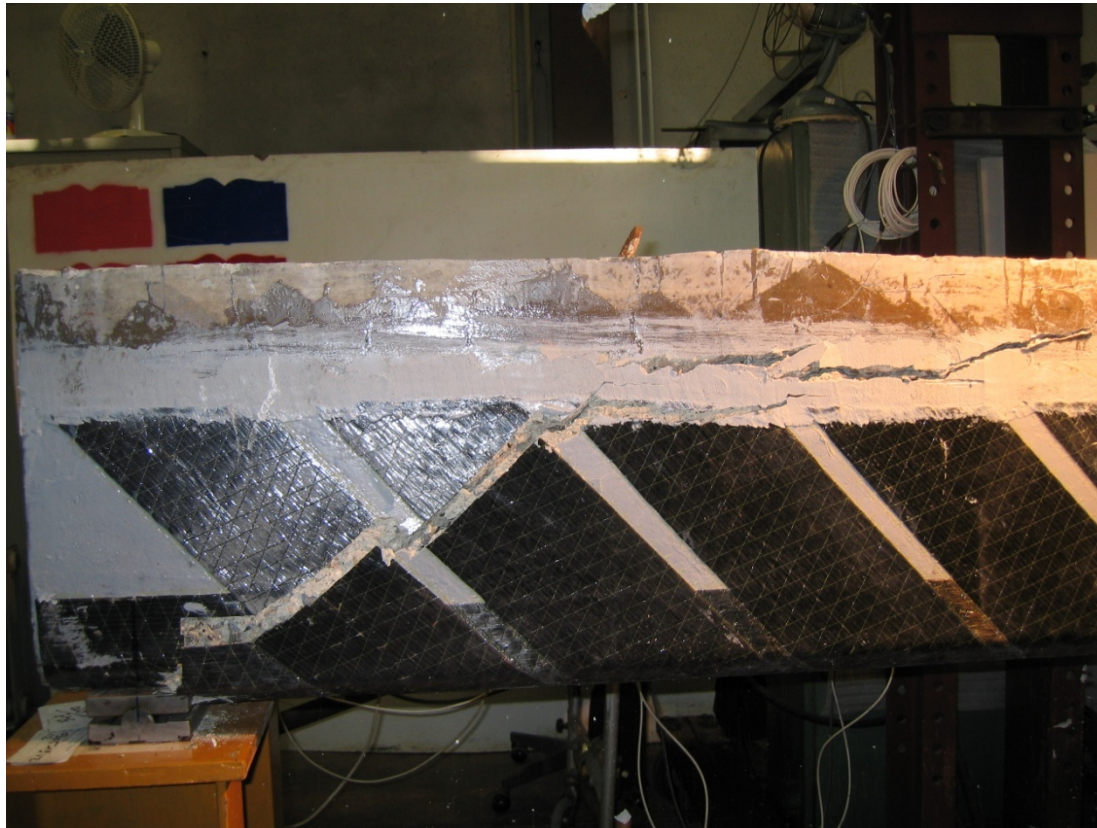
Rottura a compressione  
del puntone di  
calcestruzzo compresso



Rottura a  
trazione  
dell'FRP

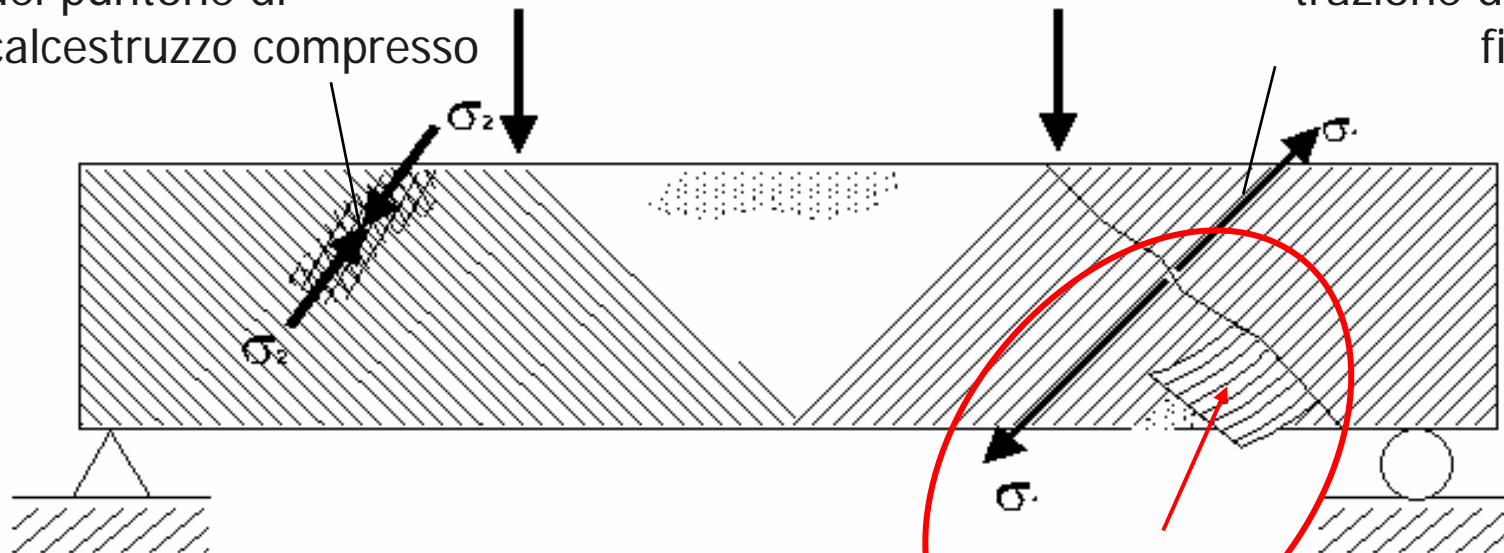
# Modi di collasso

## Rottura a trazione dell'FRP



# Modi di collasso

Rottura a compressione  
del puntone di  
calcestruzzo compresso



Rottura a  
trazione della  
fibra

Delaminazione

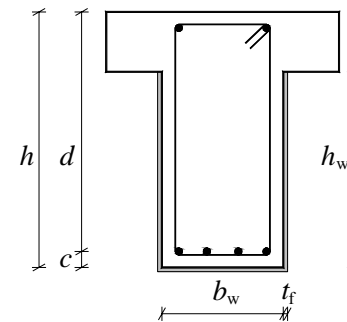
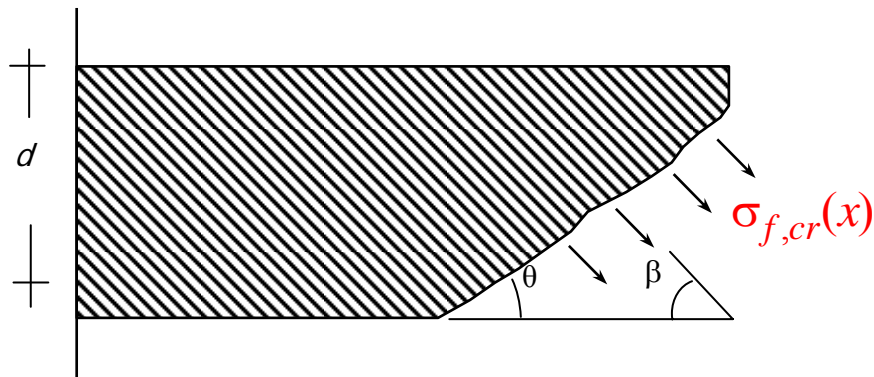
# Modi di collasso

## Delaminazione

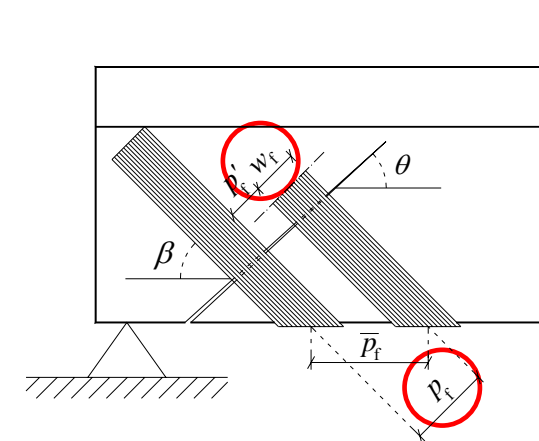


# Il contributo dell'FRP alla resistenza a taglio

- Il contributo alla resistenza a taglio del foglio in FRP applicato esternamente, dipende:
  - Dalla configurazione del rinforzo
  - Dalla modalità di collasso.



Notazione



$w_f$  = larghezza

$p_f$  = distanza

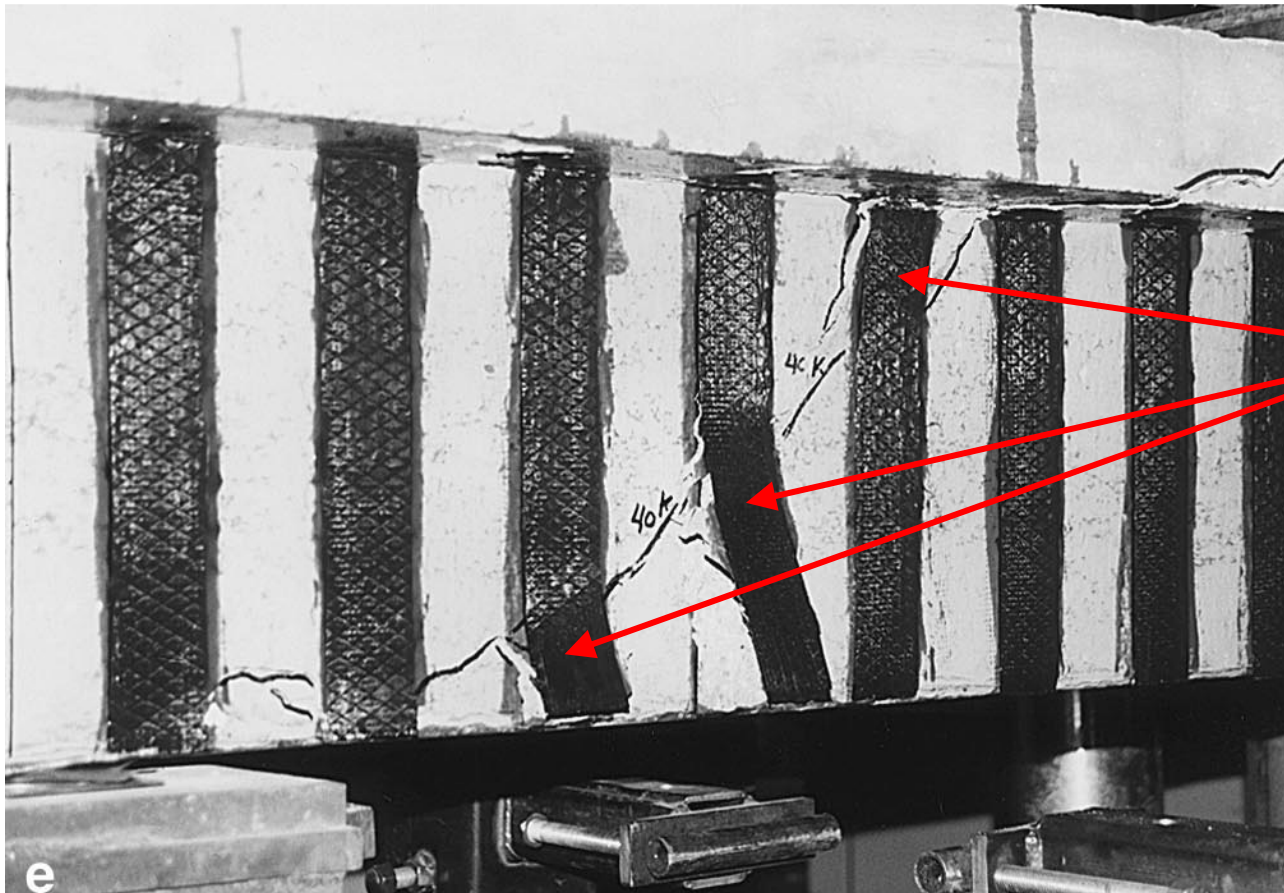
# Il ruolo dell'aderenza nella resistenza a taglio

**La resistenza della striscia dipende dalla capacità di aderenza**



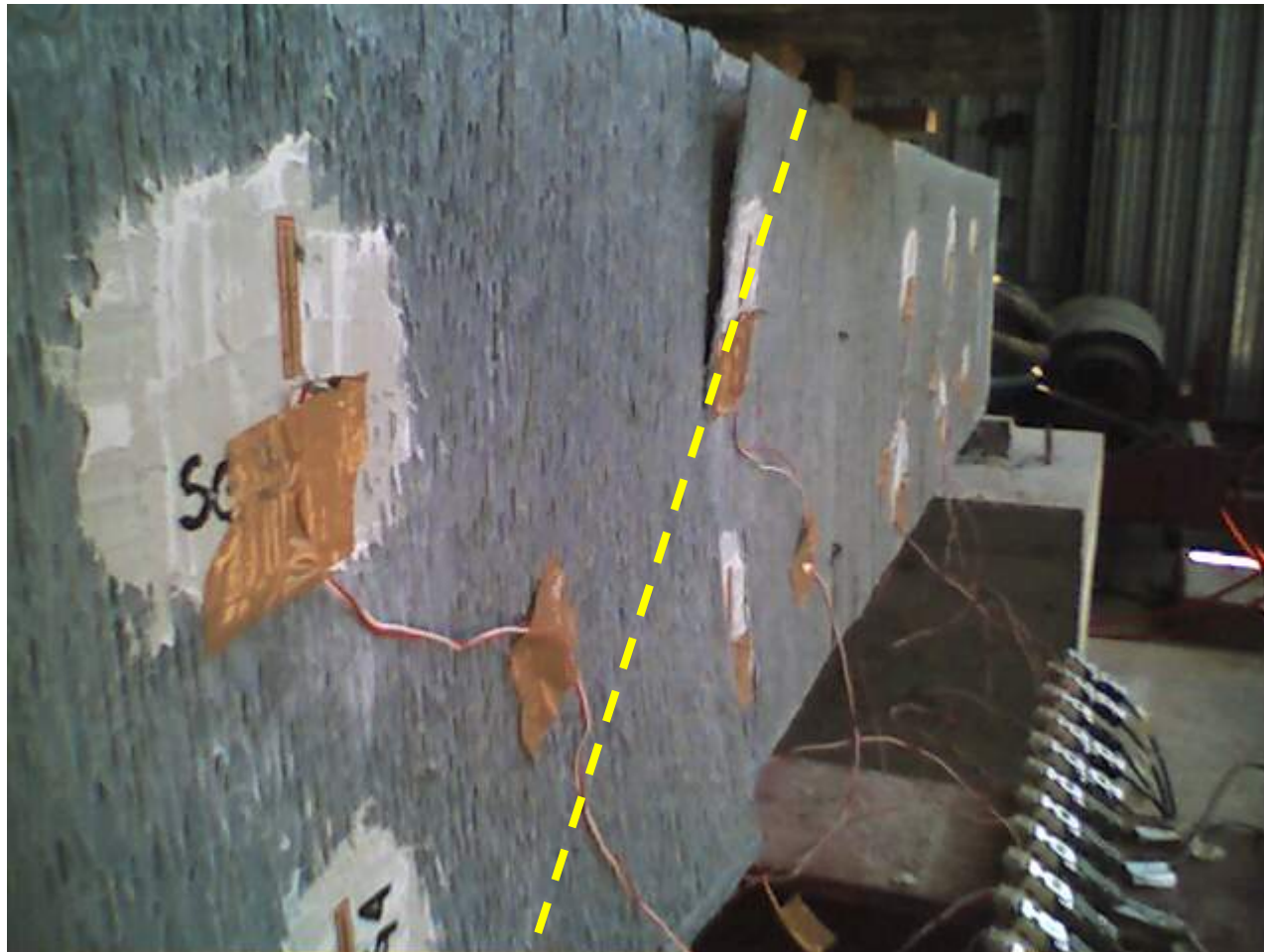
# Il contributo dell'FRP alla resistenza a taglio

Si noti che ogni striscia contribuisce in modo diverso



Diversa  
lunghezza  
di aderenza

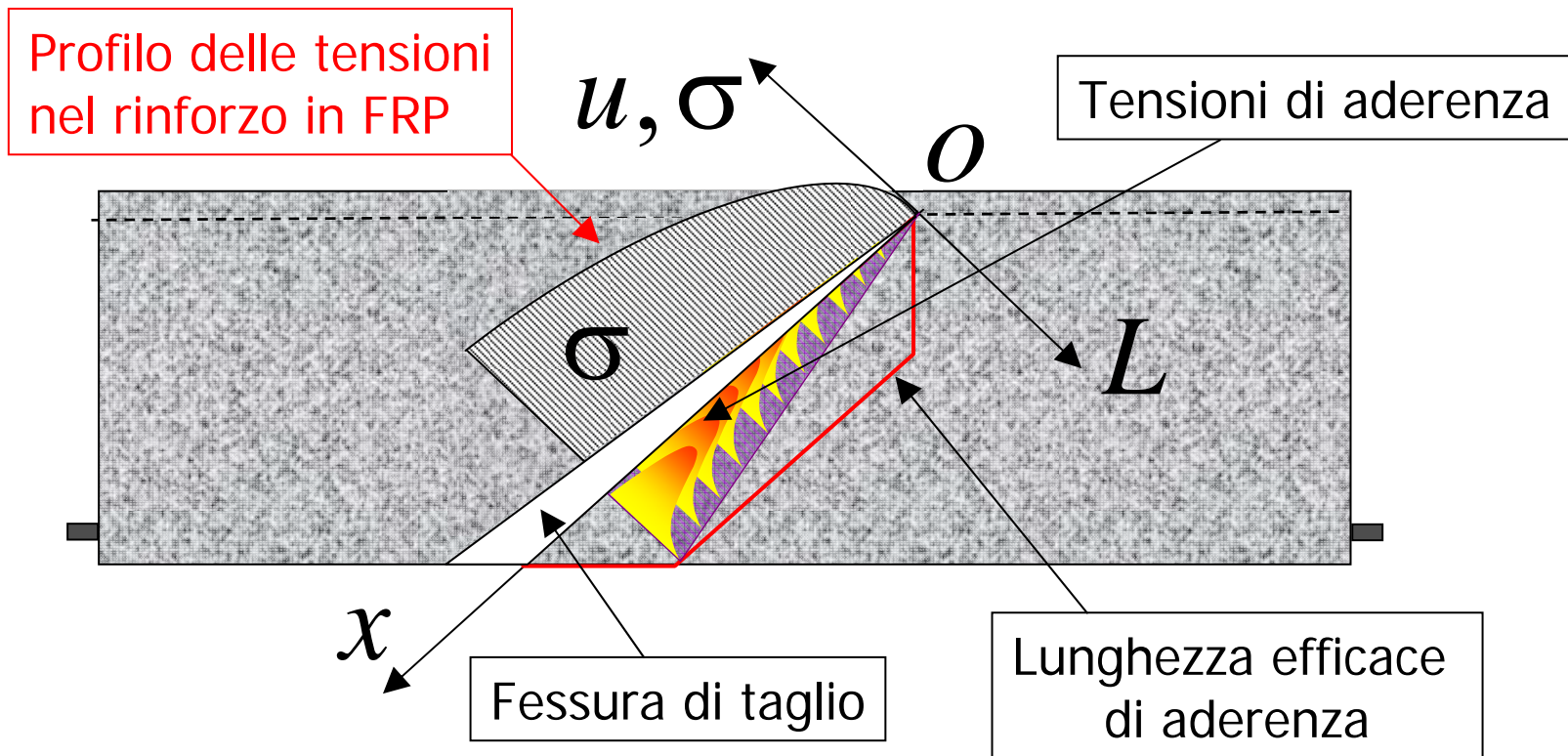
# Il ruolo dell'aderenza nella resistenza a taglio





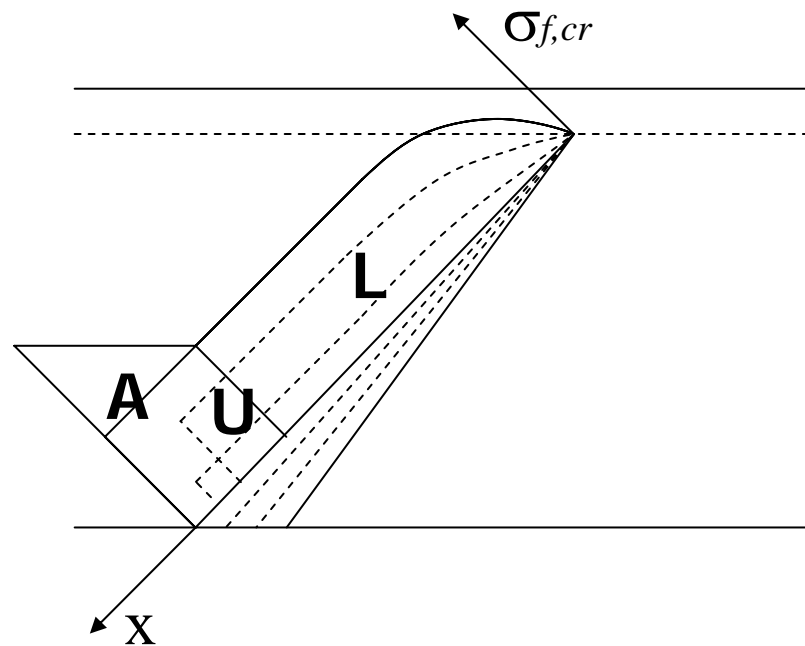
# La tensione nel rinforzo in FRP

Lungo la fessura di taglio, l'FRP ha tensione variabile



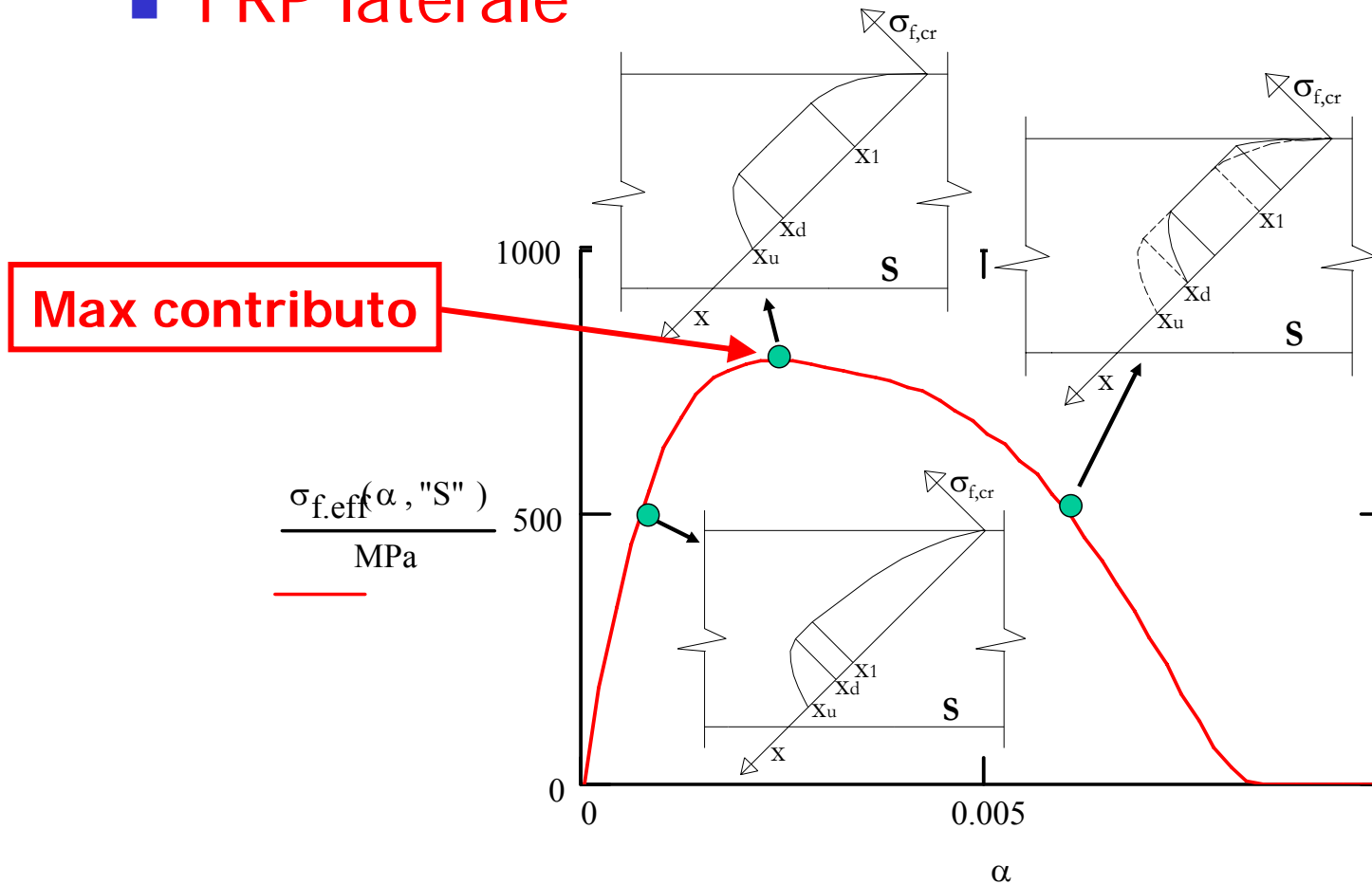
# La tensione nel rinforzo in FRP

- Ad esempio, per una data apertura della fessura di taglio



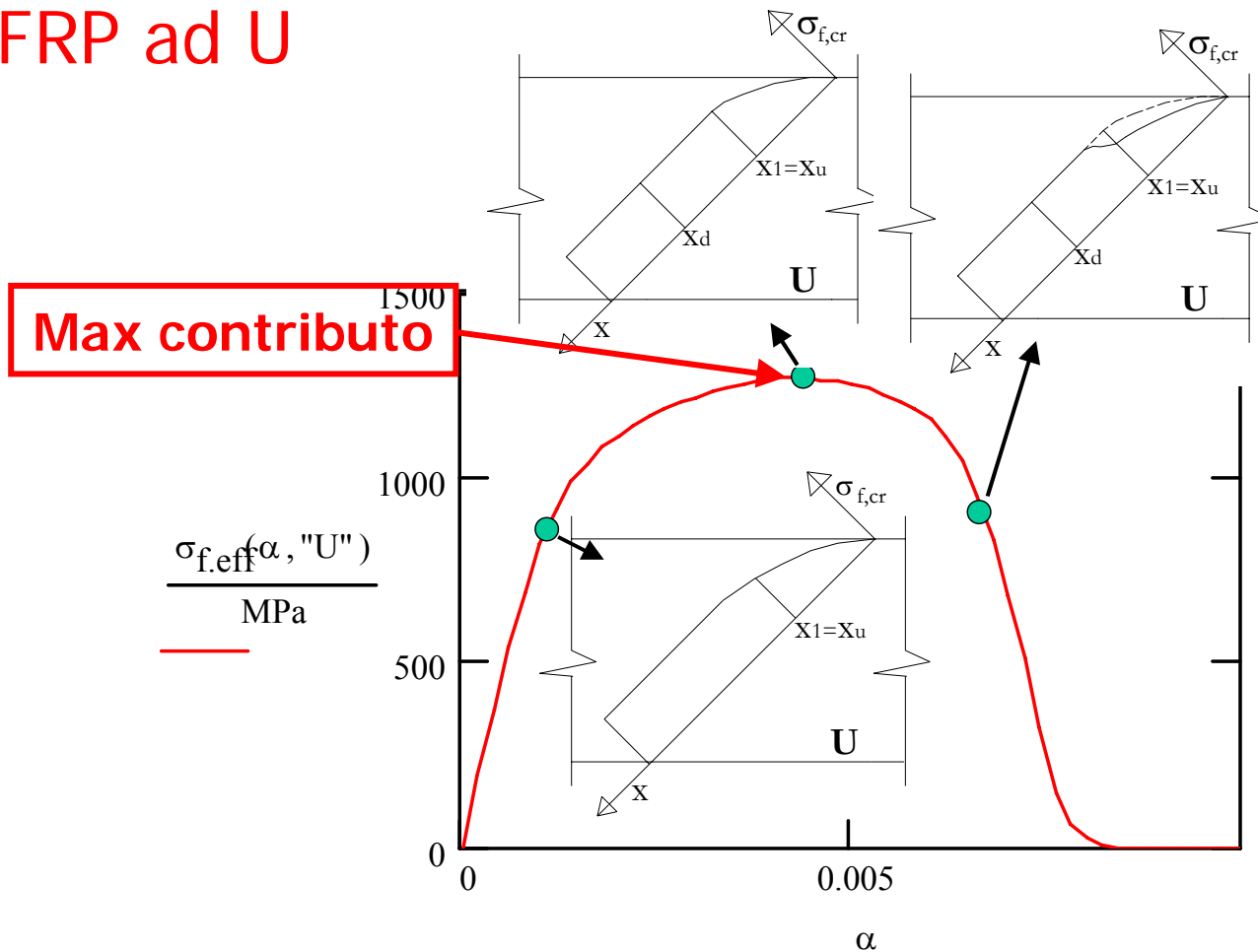
# Il contributo al taglio varia al crescere della fessura

## FRP laterale



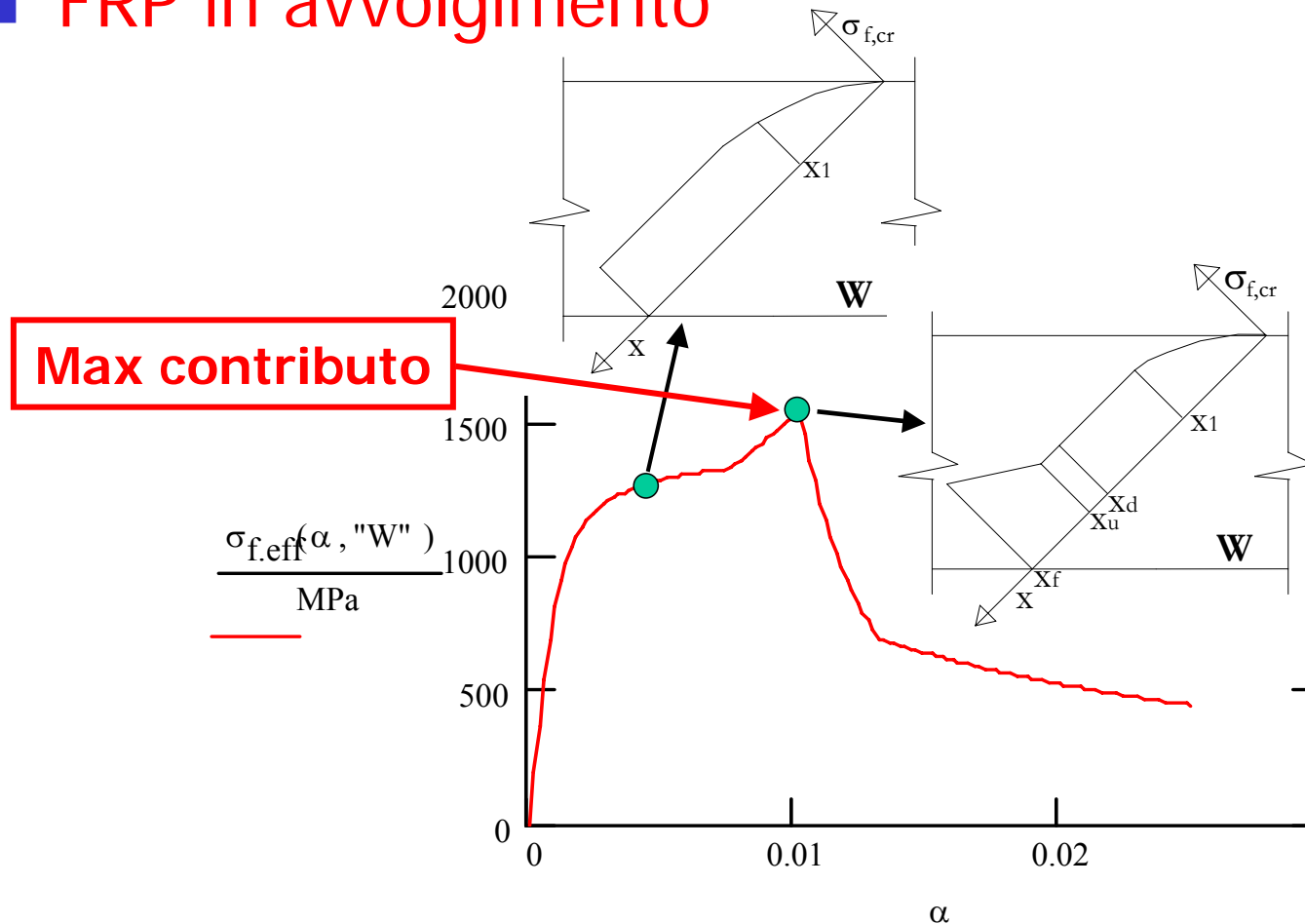
# Il contributo al taglio varia al crescere della fessura

## ■ FRP ad U



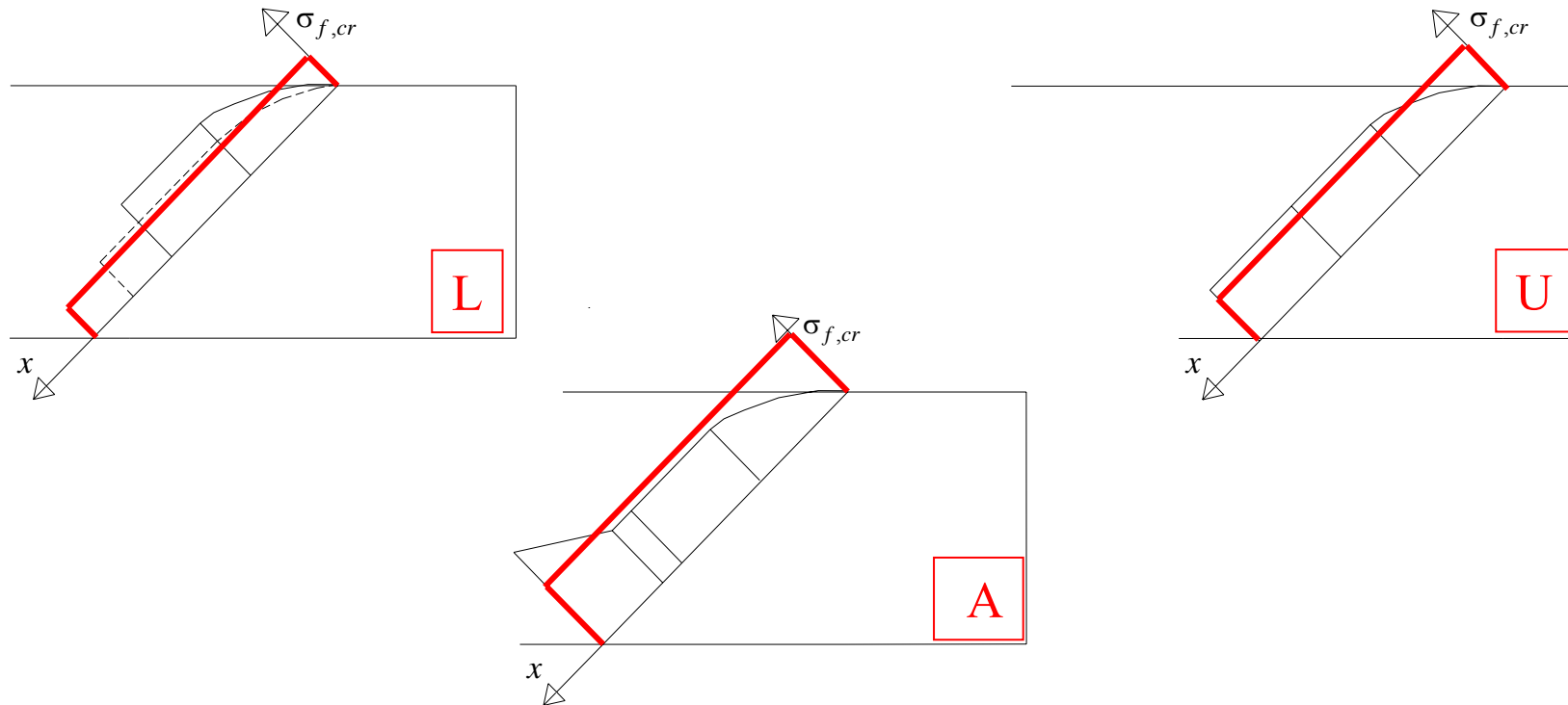
# Il contributo al taglio varia al crescere della fessura

- FRP in avvolgimento



# La resistenza efficace del rinforzo in FRP

- E' la tensione **equivalente**  $f_{fed}$  nell'FRP distribuita lungo la fessura, al max contributo



# La resistenza efficace del rinforzo in FRP

- FRP laterale:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \frac{z_{rid,eq}}{\min\{0.9d, h_w\}} \cdot \left(1 - 0.6 \sqrt{\frac{L_{eq}}{z_{rid,eq}}}\right)^2$$

$$z_{rid,eq} = z_{rid} + L_{eq}$$

$$z_{rid} = \min\{0.9d, h_w\} - L_e \cdot \sin\beta$$

$$L_{eq} = \frac{s_f}{\varepsilon_{fdd}} \cdot \sin\beta$$

- FRP ad U:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \frac{L_e \sin\beta}{\min\{0.9d, h_w\}}\right]$$

Resistenza a delaminazione

Si noti che le tre equazioni hanno la stessa forma  
Fattore correttivo che dipende dalla geometria

- FRP in avvolgimento:

$$f_{fed} = f_{fdd} \cdot \left[1 - \frac{1}{6} \frac{L_e \sin\beta}{\min\{0.9d, h_w\}}\right] + \frac{1}{2} (\phi_R \cdot f_{fd} - f_{fdd}) \cdot \left[1 - \frac{L_e \sin\beta}{\min\{0.9d, h_w\}}\right]$$

# Il contributo dell'FRP alla resistenza a taglio

- Con FRP **ad U** o **in avvolgimento**, si attiva il meccanismo di **Moersch** ed il taglio portato dall'FRP è:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 d \cdot f_{fed} \cdot 2 t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{w_f}{p_f}$$

- Con FRP **laterale** si ha la "**cucitura**" della fessura:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot \min \{ 0.9 d, h_w \} \cdot f_{fed} \cdot 2 t_f \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \theta} \cdot \frac{w_f}{p_f}$$

**E' la resistenza efficace**





# Il contributo dell'FRP alla resistenza a taglio

---

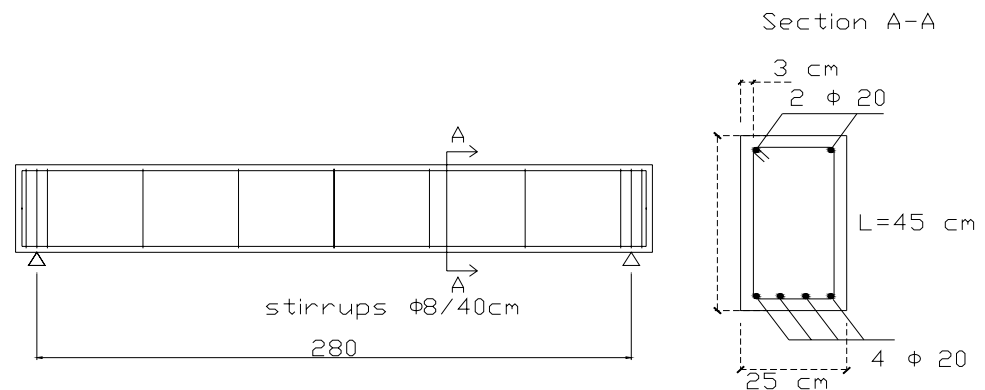
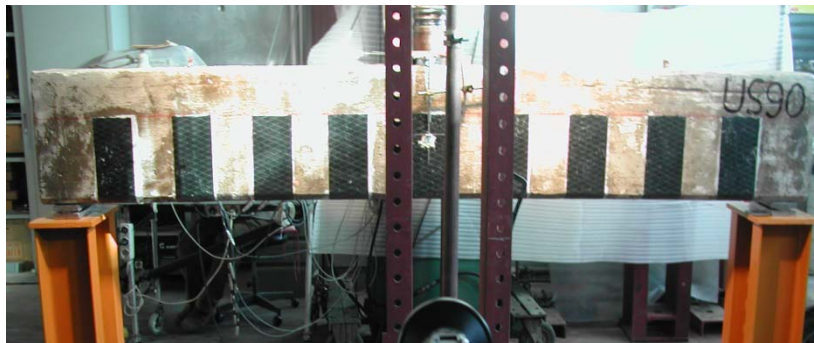
- La **resistenza a taglio totale** è data da:

$$V_{Rd} = \min \left\{ V_{Rd,ct} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f} ; V_{Rd,max} \right\}$$

- $V_{Rd,ct}$  = calcestruzzo
- $V_{Rd,s}$  = acciaio
- $V_{Rd,f}$  = FRP
- $V_{Rd,max}$  = biella.

# Validazione sperimentale delle equazioni predittive

- 40 test raccolti dalla letteratura
- Più 29 travi sperimentate
  - Appositamente progettate con poche staffe
  - Provate al DISG di Architettura "Valle Giulia"



- luce 2.80 m, sezione: 250 x 450 mm
- 4 $\phi$ 20 inf e 2 $\phi$ 20 sup
- staffe  $\phi$ 8/400 mm

$$R_{cm} = 13.5 \text{ MPa}$$
$$f_{ym} = 400 \text{ MPa}$$

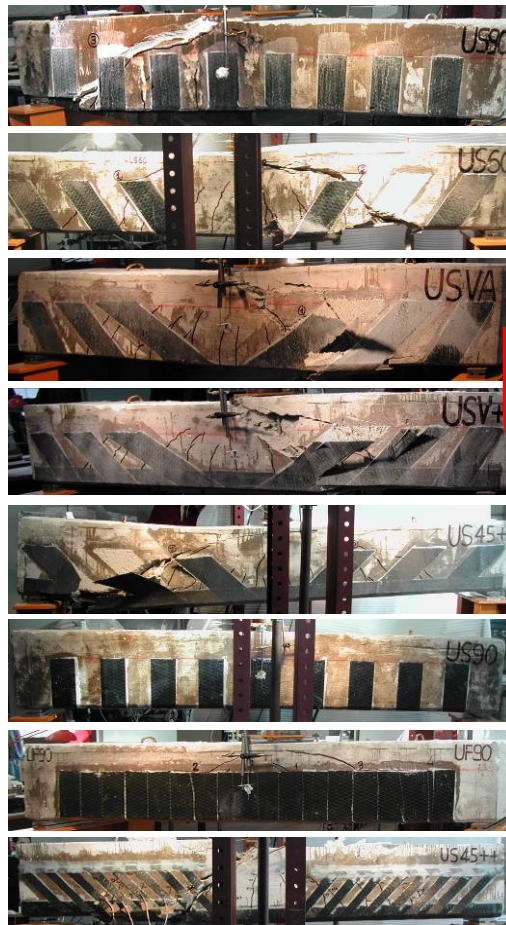
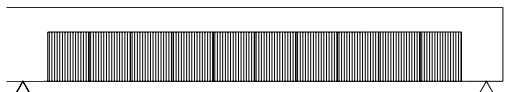
# Prove sperimentali



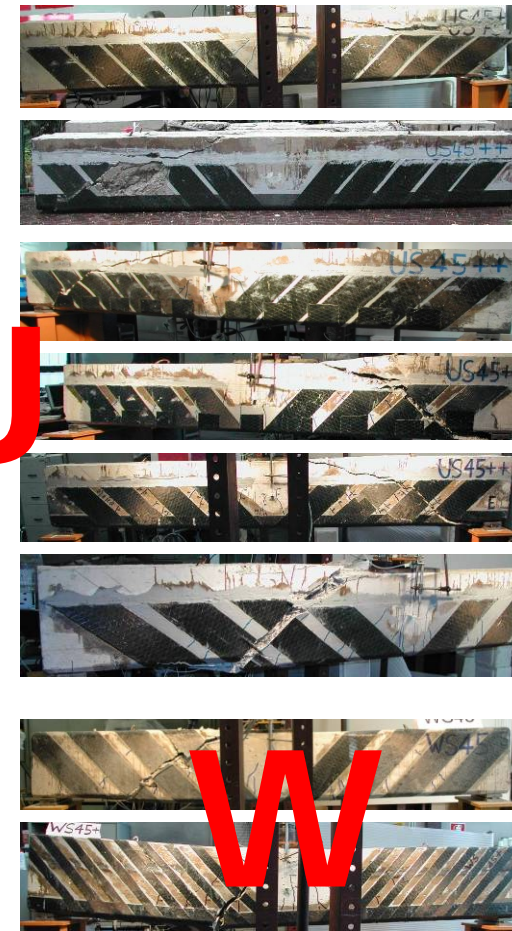
REF



S



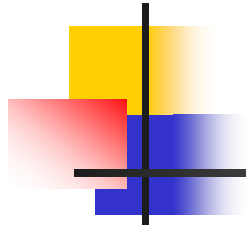
U



W

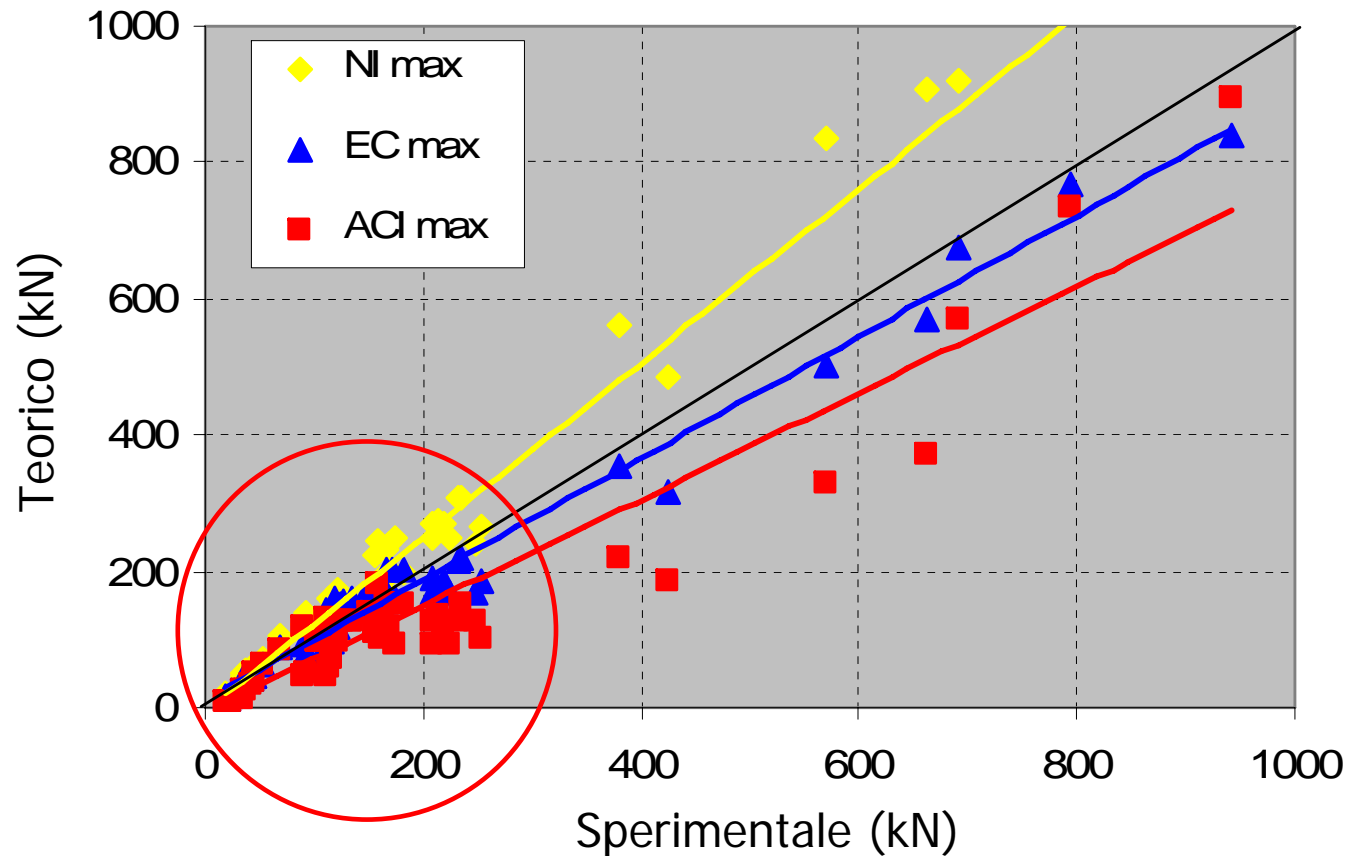


# Prove sperimentali

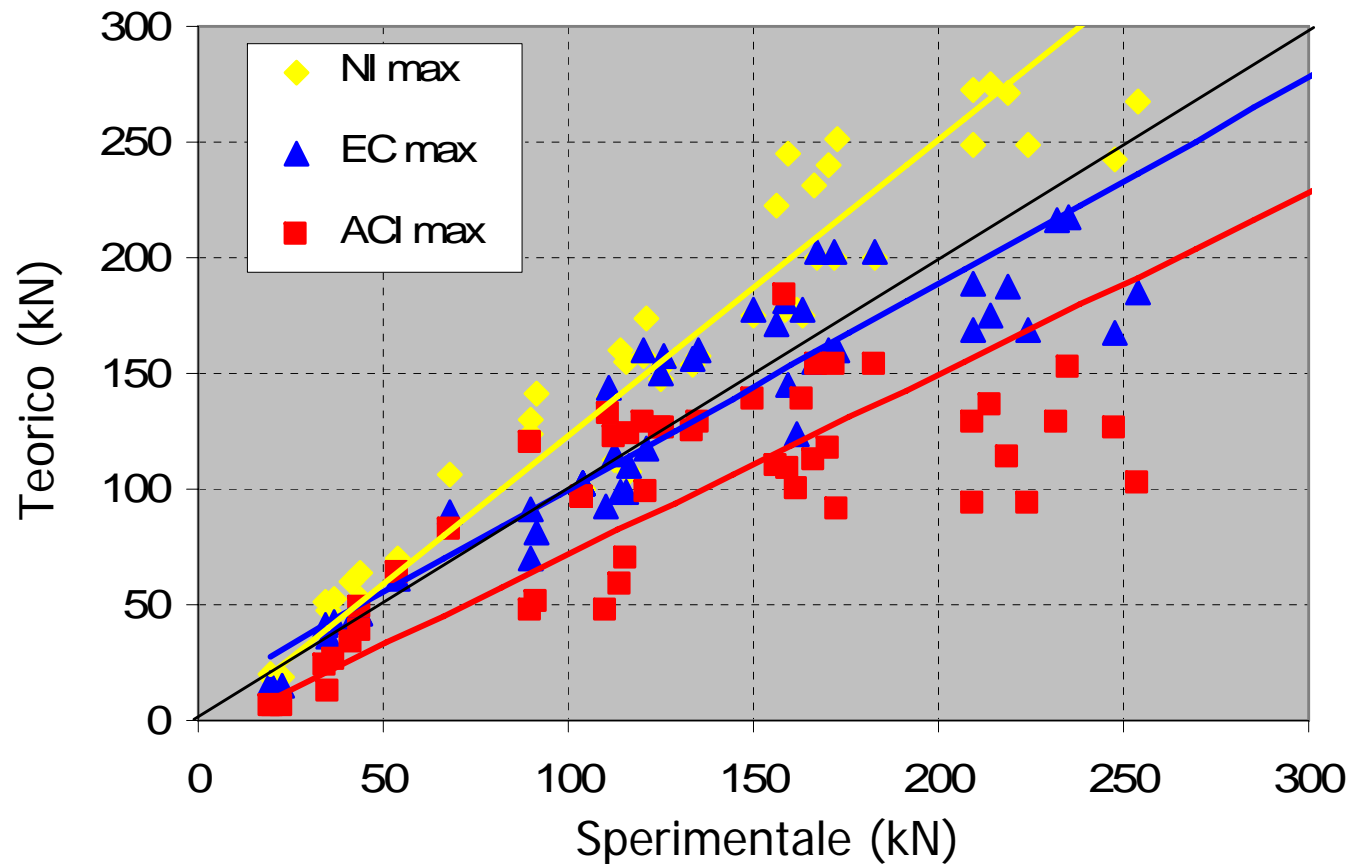


STRENGTHENING APPLICATION	STRENGTHENING TYPE	FIBRES ANGLE	NAME	STRENGTHENING CONFIGURATION	SHEAR CAPACITY (kN)
NONE / AS BUILT	NONE	-	REF 1 to 4		98.0 (average)
SIDE BONDING	STRIPS width 150 mm spacing 300 mm	90°	SS90*		100.0
		45°	SS45*		101.0
		60°, 45°, 30°	SSVA		105.0
	SHEETS	90°	SF90		112.5
U-JACKETING	STRIPS width 150 mm spacing 300 mm	90°	US90*		95.0
		60°	US60		111.0
		60°, 45°, 30°	USVA		120.0
		60°, 45°, 30°	USVA+		135.0
		45°	US45+		126.0
		45°	US45		155.0
		90°	US90(2)*		90.0
		90°	US90+		133.0
	STRIPS width 150 mm spacing 225 mm	45°	US45+ "D"		164.5
		45°	US45++ "E"		163.5
		45°	US45++ "F"		150.0
	STRIPS width 50 mm spacing 100 mm	45°	US45++		133.5
	SHEETS	45°	UF45+ "A"		167.0
		45°	UF45++ "B"		172.0
		45°	UF45+++ "C"		183.0
		45°	UF45		168.0
		90°	UF90		125.0
		90°	UF90+		163.0
WRAPPING	STRIPS width 150 mm spacing 300 mm	45°	WS45		177.3
	STRIPS width 50 mm spacing 100 mm	45°	WS45+		158.5
	SHEETS	45°	WF45		186.1

# Validazione sperimentale delle equazioni predittive



# Validazione sperimentale delle equazioni predittive





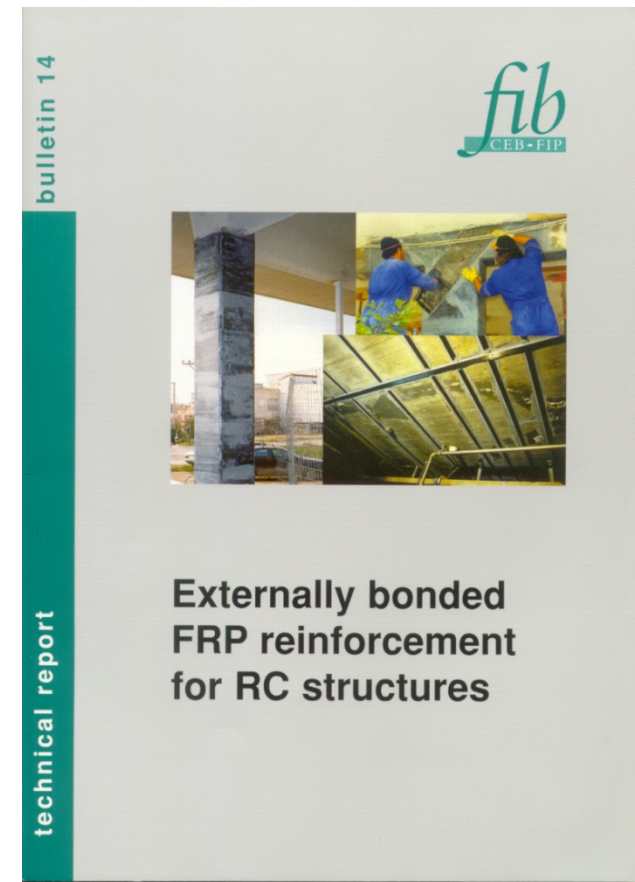
# $V_{rd,ct}$

	$V_{Rd,ct,max}$	$V_{Rd,ct,min}$
ACI	$0.165 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$	$0.50 \cdot 0.165 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$
EC	$0.18 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}} \leq 2\right) \cdot (100(\rho_s \leq 0.02) \cdot f_c)^{1/3} \cdot b_w \cdot d$	$0.056 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}} \leq 2\right)^{3/2} \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$
IT	$0.60 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d$	$0.25 \cdot f_{ctm} \cdot \max\{1.6m - d, 1\} \cdot (1 + 50\rho_s) \cdot b_w \cdot d$



# The *fib* Bulletin 14

- Issued September 2001
- Title:  
Externally bonded FRP reinforcement for RC structures
- TG 9.3 at work for next issue





# The Eurocode 8 – Part 3

- Approved March 2005
- Title:  
Assessment and retrofitting of buildings

Version for translation (Stage 49) Draft May 2004	Page 1 prEN 1998-3:200X
EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE EUROPÄISCHE NORM	prEN 1998-3
Doc CEN/TC250/SC8/N388A	
English version	
Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 3: Assessment and retrofitting of buildings	
<b>DRAFT No 7</b>	
Version for translation (Stage 49) May 2004	
CEN European Committee for Standardization Comité Européen de Normalisation Europäisches Komitee für Normung	
Central Secretariat: rue de Stassart 36, B1050 Brussels	
© CEN 2003 Copyright reserved to all CEN members	
RefNo: prEN 1998-3:200X	

# The CNR Code for FRP-strengthening

- Issued May 2005
- Title:  
Instructions for Design,  
Execution and Control of  
Strengthening  
Interventions by Means  
of Fibre-Reinforced  
Composites

