

# **FRP TRAINING COURSE**

## **MODULO 2: ADHERENCIA Y DISEÑO A FLEXIÓN**

**Ing. Giorgio Giacomini G&P Intech - Italy**

**PhD. Jaime Gonzalez University of Padua – Italy**

**Ing. Carlo Perinelli G&P Intech – Italy**

**Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)**



# CONTENIDO

## **MODULO 1 INTRODUCCIÓN**

- Necesidad de reforzamiento
- Qué son los materiales FRP?
- Propiedades mecánicas
- Introducción a la normativa

**05/02/2018**

---

## **MODULO 2 ADHERENCIA Y FLEXIÓN**

- Modos de falla
- Adherencia al substrato
- Reforzamiento a flexión
- Resultados de pruebas experimentales

**05/02/2018**

---

## **MODULO 3 CORTANTE**

- Configuraciones de reforzamiento
- Modos de falla
- Diseño a cortante
- Resultados de pruebas experimentales

**05/02/2018**

---

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# **CONTENIDO**

## **MODULO 4 CONFINAMIENTO Y REFORZAMIENTO SÍSMICO**

- Confinamiento
- Resultados de pruebas experimentales
- Daños típicos en caso de sismo
- FRP en zonas sísmicas

**06/02/2018**

---

## **MODULO 5 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**

- Aplicaciones del FRP en mampostería
- Consideraciones de diseño
- Adherencia
- Diseño

**06/02/2018**

---

## **MODULO 6 NUEVAS TECNOLOGÍAS (FRCM)**

- Què son los materiales FRCM?
- Adherencia
- Diseño a flexión
- Diseño a cortante
- Confinamiento

**06/02/2018**

---

**Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)**



# CONTENIDO

## **MODULO 7 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN**

- Preparación de la superficie/sustrato
  - Procedimiento de aplicación
  - Control y monitoreo
- 07/02/2018**

---

## **MODULO 8 INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LOS MATERIALES**

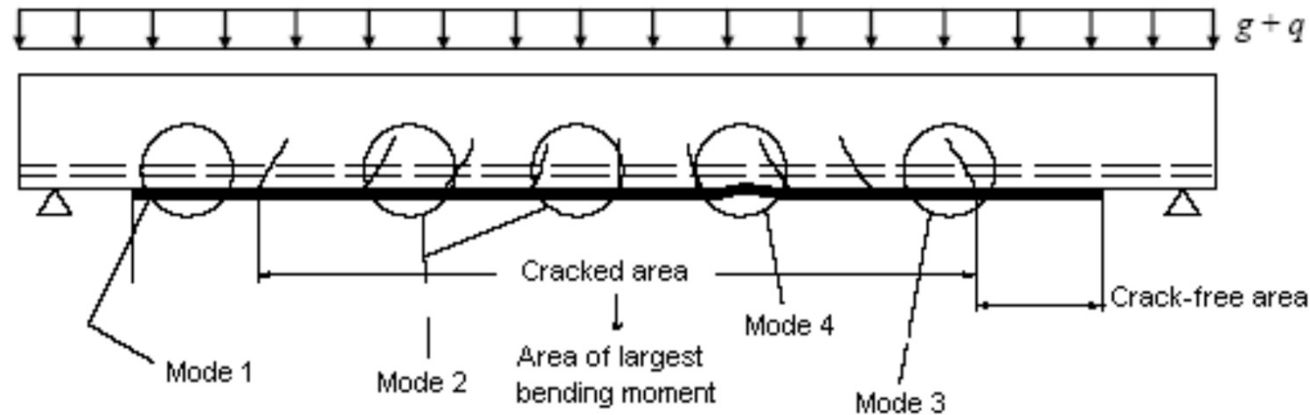
- Información técnica sobre los materiales FRP y FRCM disponibles en G&P INTECH
- 07/02/2018**

---

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# MECANISMOS DE FALLA



- Modo 1 (separación del FRP en el extremo)
- Modo 2 (separación del FRP tipo intermedio, causado por fisuras debidas a la flexión en la viga)
- Modo 3 (separación del FRP causado por fisuras diagonales de cortante en la viga)
- Modo 4 (separación del FRP causado por irregularidades y rugosidades de la superficie de concreto)

## VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

- Modo 1 (separación del FRP en el extremo)

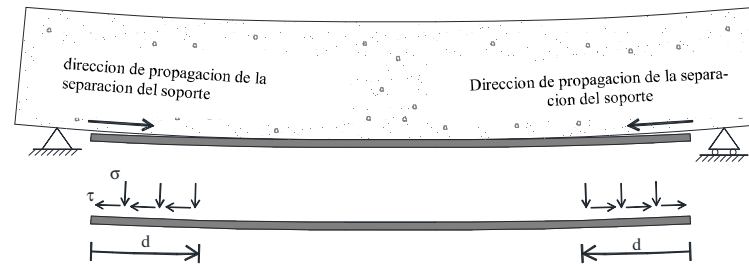


Figura 10-1 – Despegamiento del borde

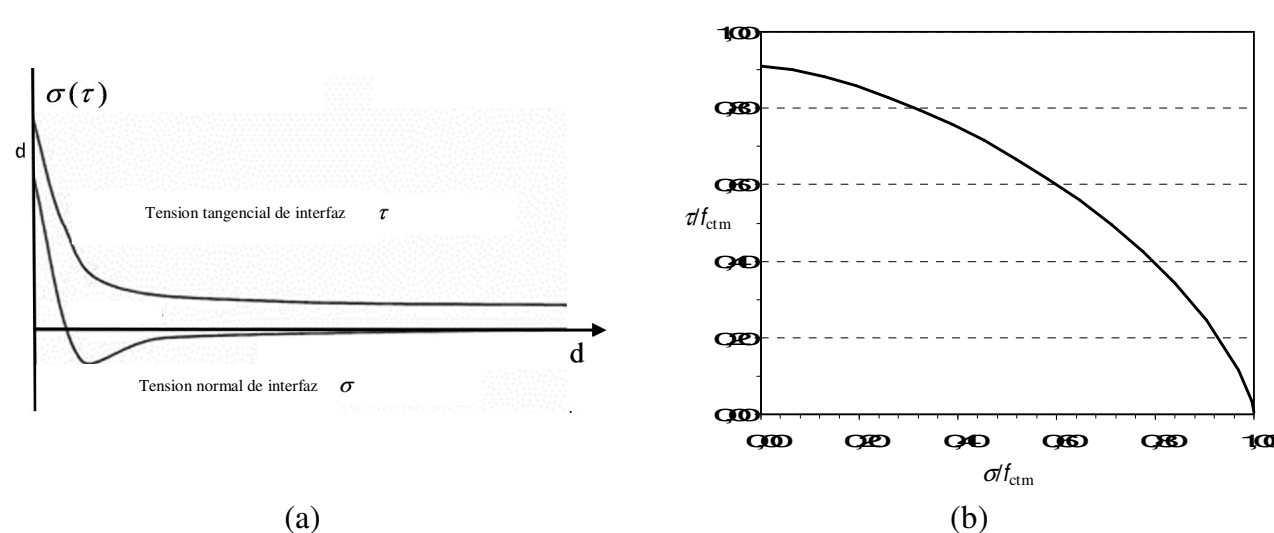
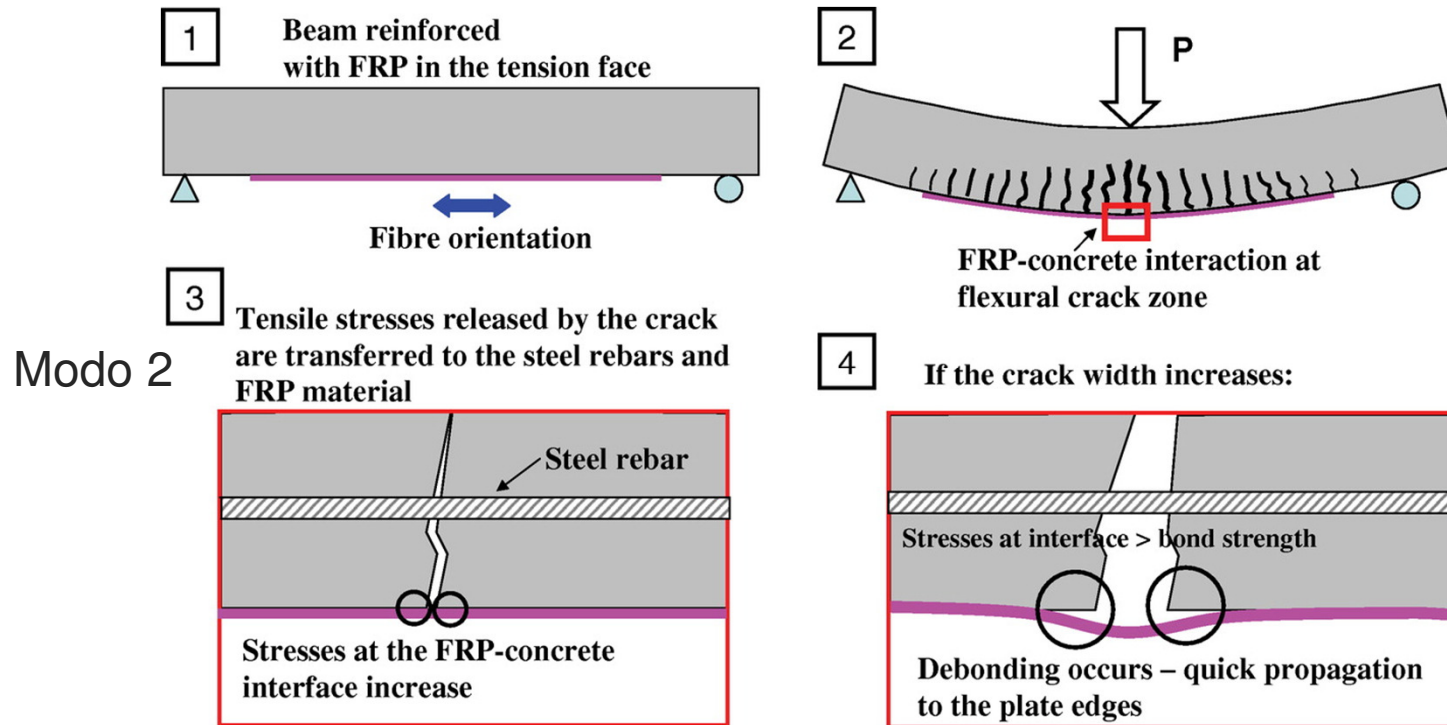


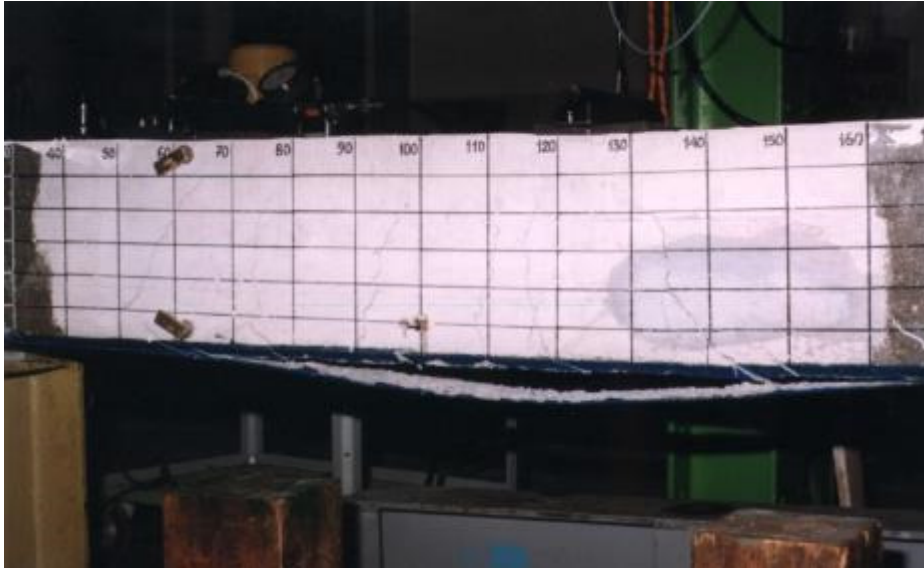
Figura 10-2 – (a) Corte en el área de contacto y esfuerzos normales a lo largo de la longitud de una lámina FRP pegada (análisis lineal-elástico); (b) Dominio de la resistencia representado por un corte en el área de contacto y esfuerzos normales.

# MECANISMOS DE FALLA

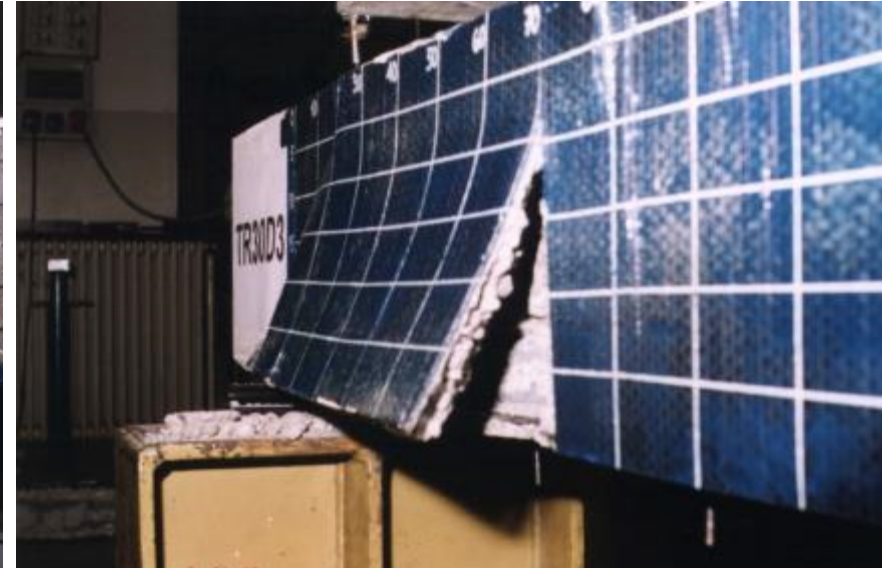


Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

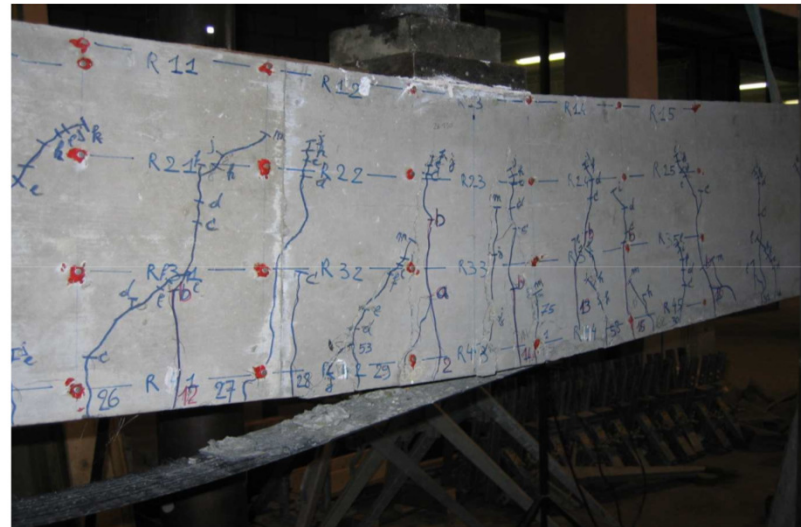
# MECANISMOS DE FALLA



(a) Flexural strengthening (Univ. Padova)

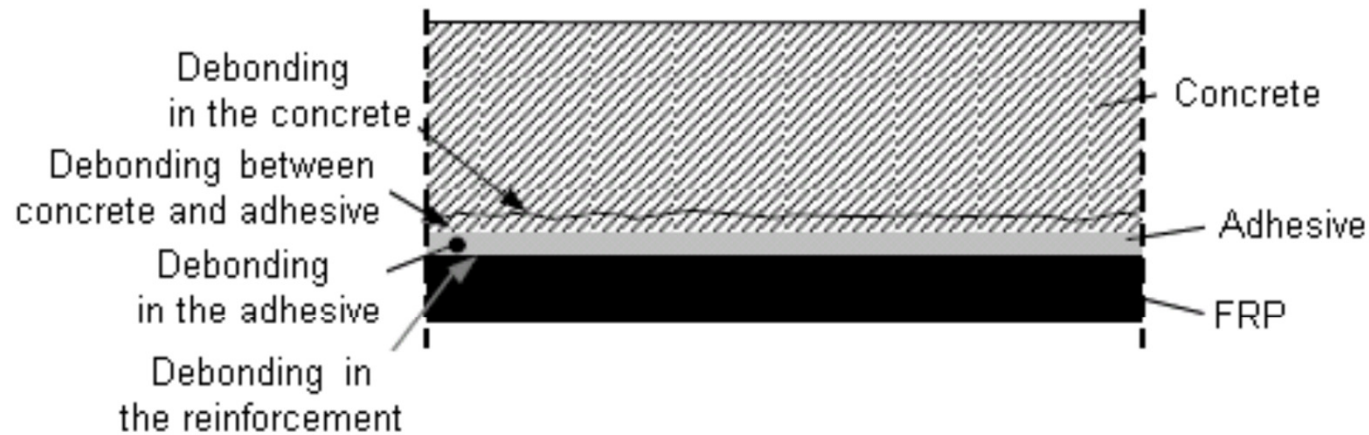


(b) Shear strengthening (Univ. Padova)

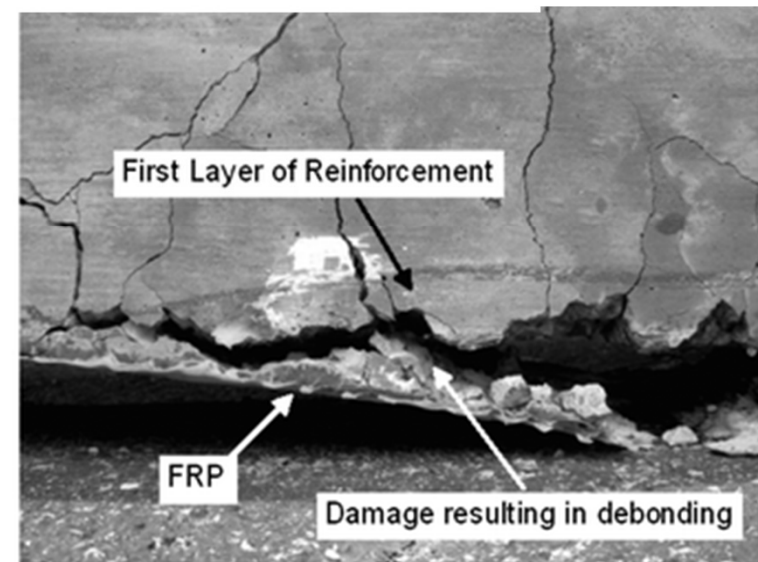




# MECANISMOS DE FALLA



- Despegue en el concreto próximo a la superficie o en una capa de espesor limitado
- Despegue entre el concreto y el adhesivo (interfaz)
- Despegue en el adhesivo
- Despegue dentro del FRP (e.g., entre dos capas)



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

## TIPOS DE ENSAYOS

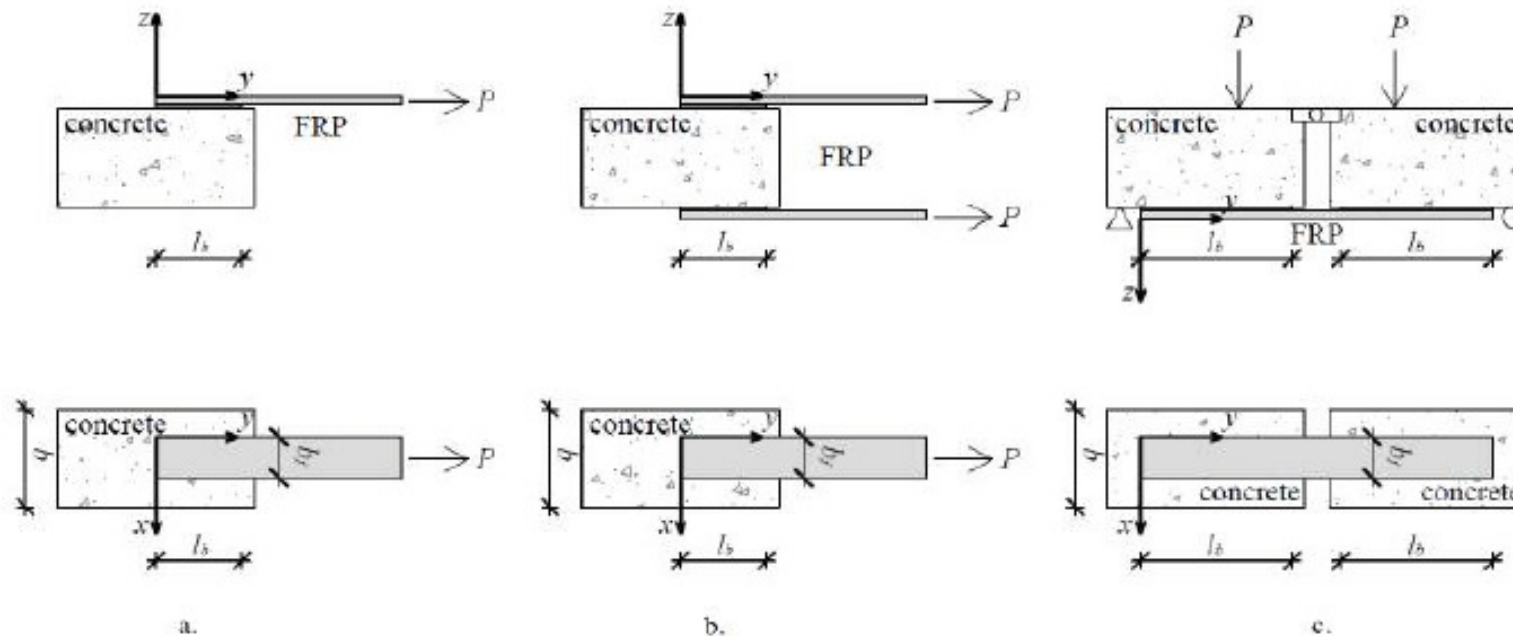


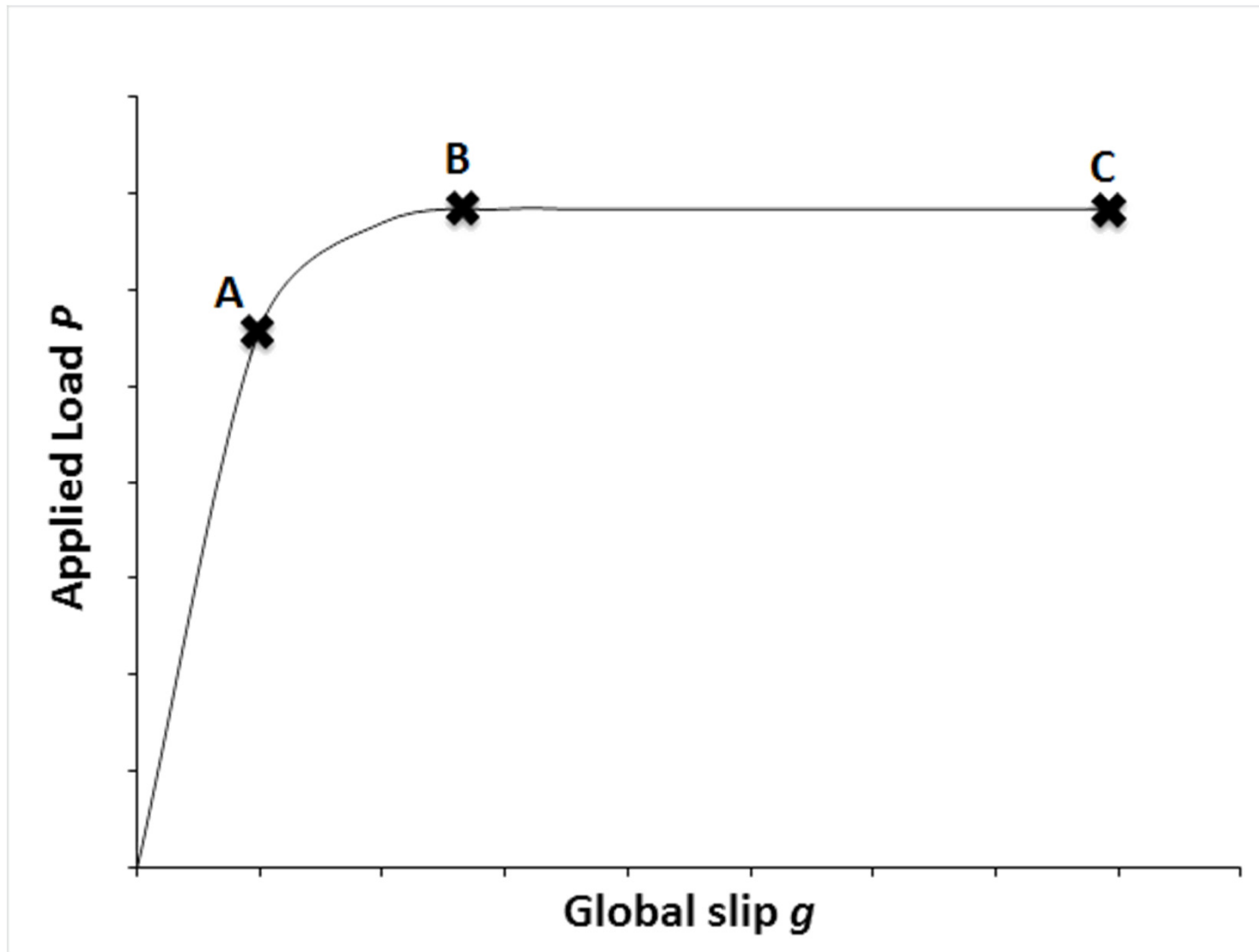
Figure 2. Test set-ups for the evaluation of the FRP-concrete bond strength. a) Single-lap direct-shear test set-up. b) Double-lap direct-shear test set-up. c) Small-scale flexural beam test-set-up.

© D'Antino 2014 (PhD. Thesis)

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

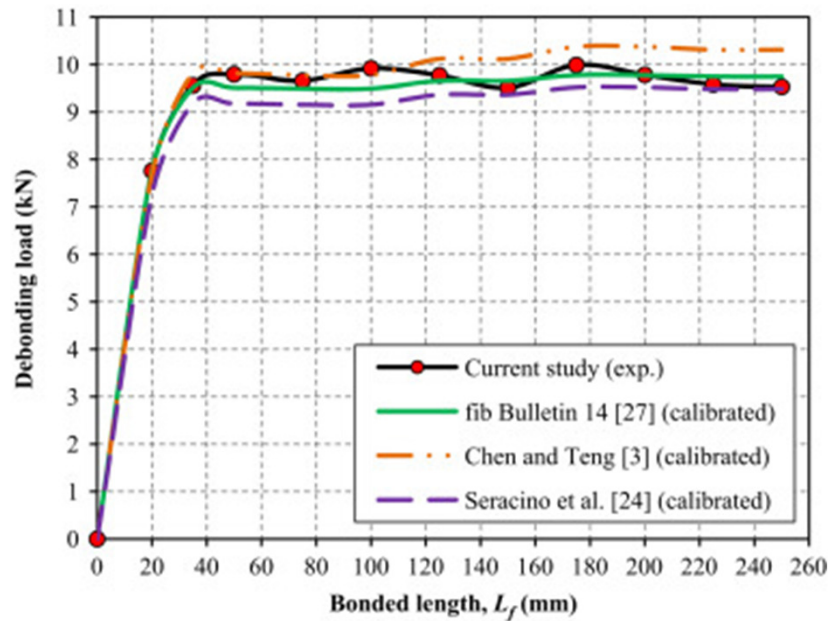
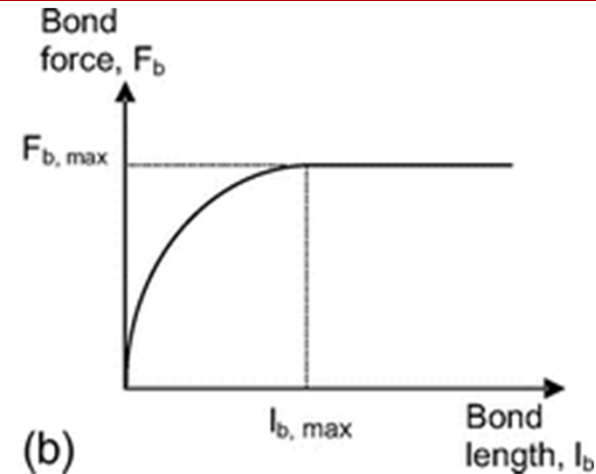
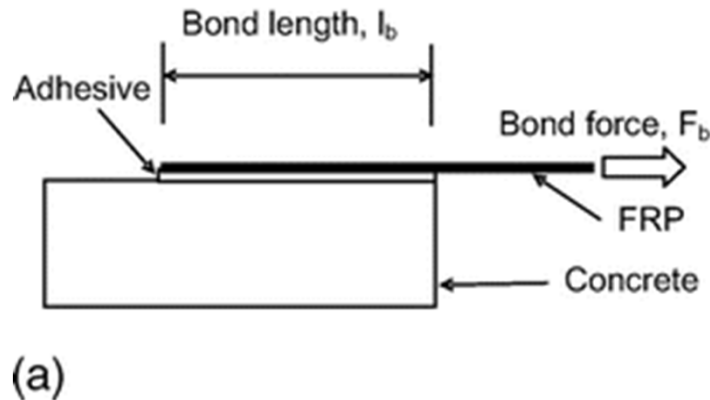
# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

## COMPORTAMIENTO IDEALIZADO DE LA ADHERENCIA



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# LONGITUD EFECTIVA DE ADHERENCIA



## Longitud efectiva de adherencia

Longitud despues de la cual un aumento en la misma no supone un aumento en la carga de despegue.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# LONGITUD EFECTIVA DE ADHERENCIA

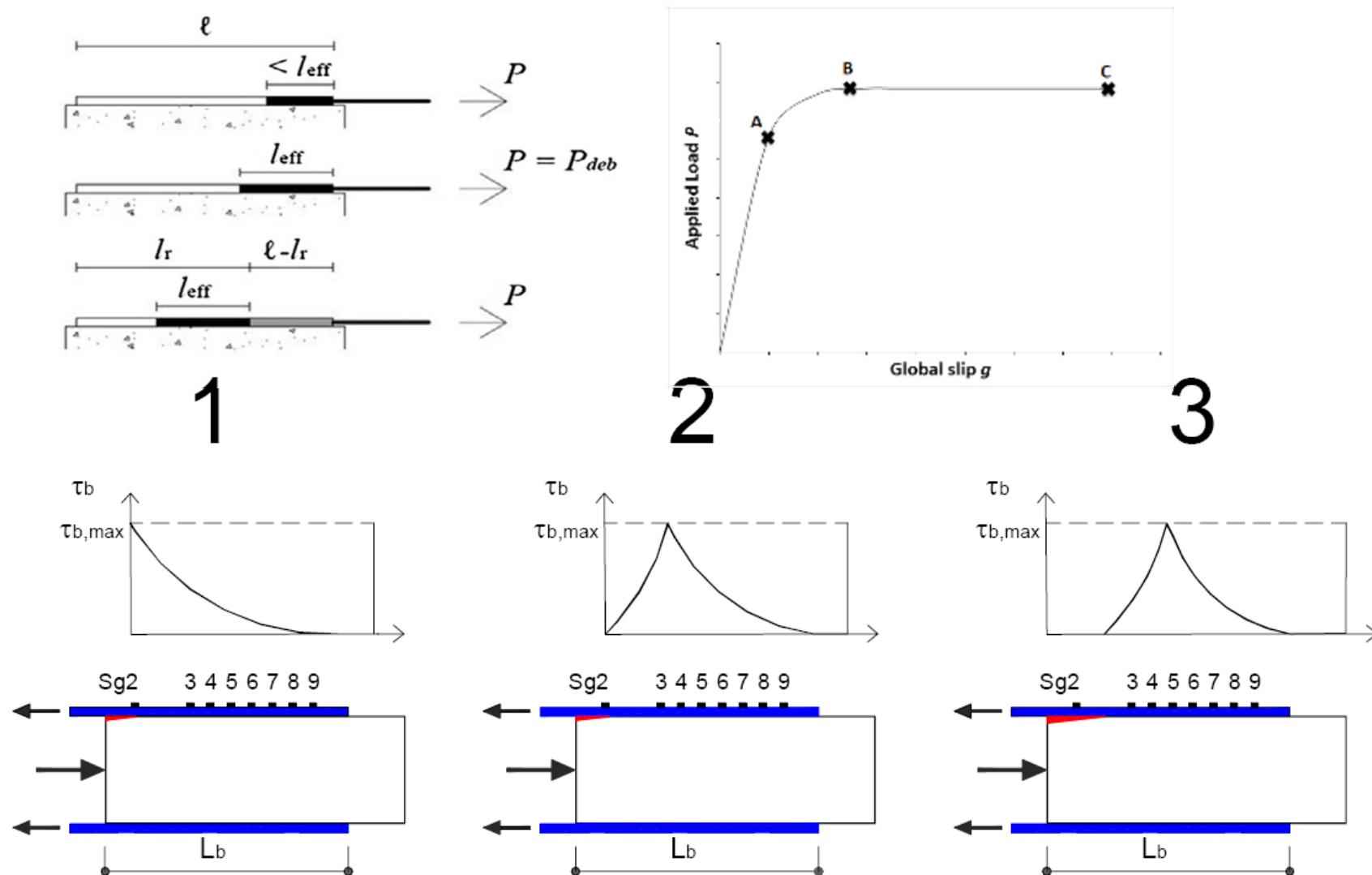
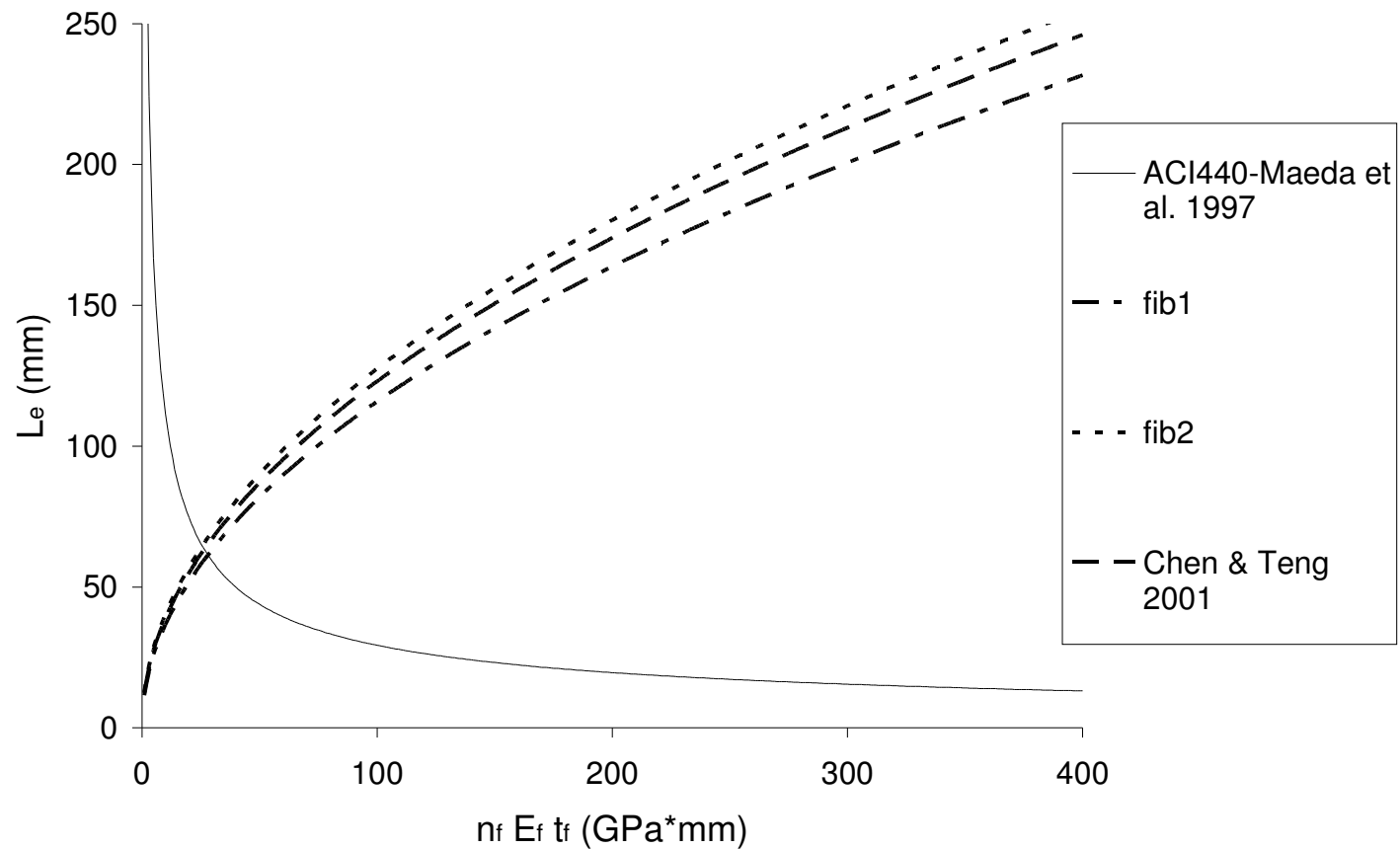


Fig. 1. Typical variation of the shear stress  $\tau$  along the position in a double shear test.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

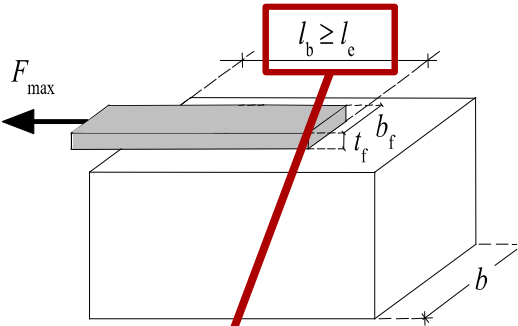
## COMPORTAMIENTO IDEALIZADO DE LA ADHERENCIA



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

## VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

- Antes de diseñar para flexión y corte, se requiere conocer la evaluación de la máxima fuerza transmisible desde el concreto al FRP.



Módulo elástico y espesor del FRP

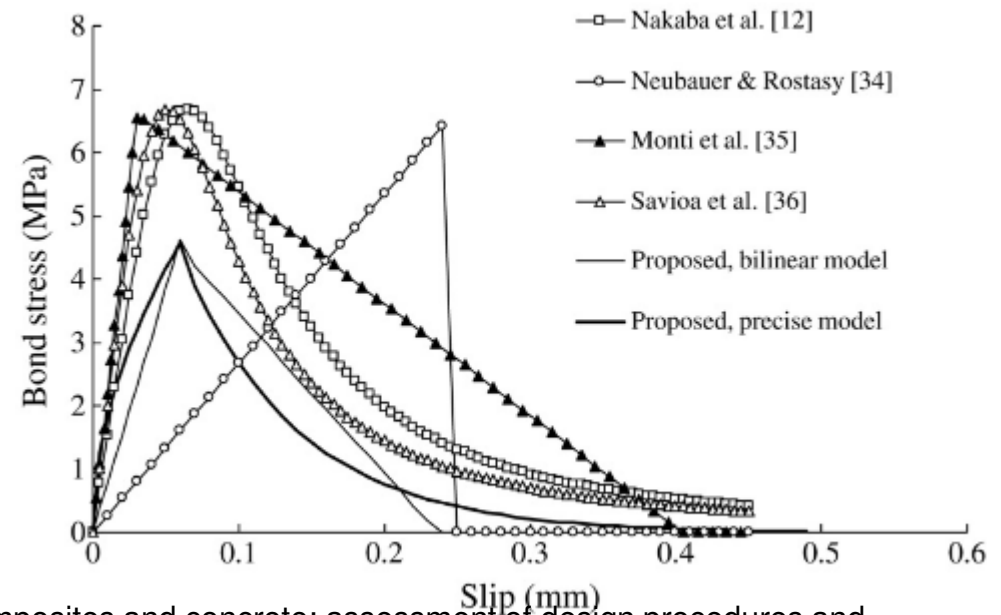
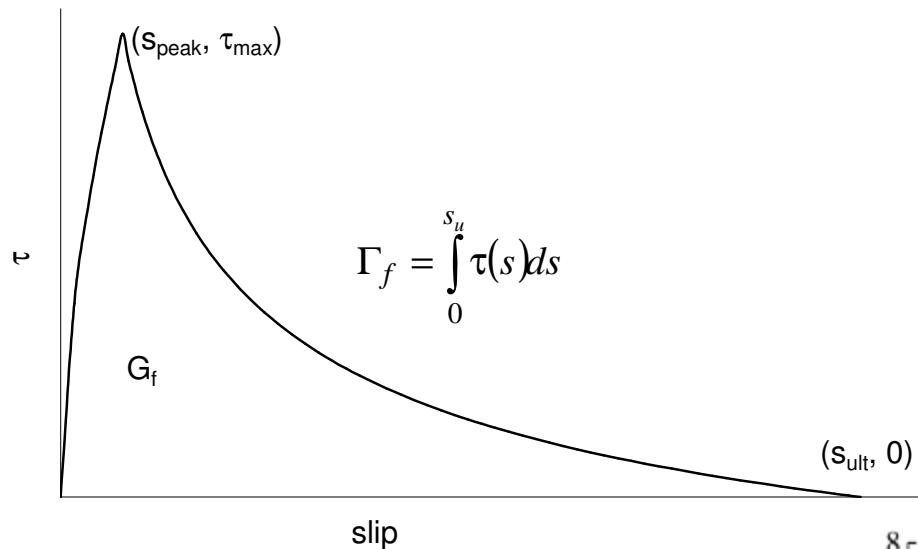
Valor de diseño de la energía específica de fractura

$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\}$$

Coeficiente correctivo = 1.25

$$f_{bd} = \frac{2 \cdot \Gamma_{Fd}}{s_u}, \text{ con } s_u = 0.25 \text{ mm}$$

# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP



D'Antino T., Pellegrino C. (2014). "Bond between FRP composites and concrete: assessment of design procedures and analytical models", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 60, pp. 440-456.

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

## VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

Valor de diseño de la energía específica de fractura

Factor de corrección geométrica

$$k_b = \sqrt{\frac{2 - b_f / b}{1 + b_f / b}} \geq 1$$

Factor correctivo adicional calibrado experimentalmente. igual a 0.023 mm o 0.037 mm para sistemas precurados o impregandos *in situ*, respectivamente

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}$$

Factor de confianza

Valores medios de las resistencias de compresión y tensión, respectivamente, evaluados *in situ*

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

## VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

- Modo 1 (separación del FRP en el extremo)

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

Esfuerzo último de diseño

Módulo elastico del FRP

Valor de diseño de la energía específica de fractura

Factor parcial que varia entre 1.20 a 1.50, dependiendo de la probabilidad de falla debida al despegue

Espesor del FRP

# ADHERENCIA DE LOS MATERIALES FRP

## VERIFICACION DEL DESPEGUE DEL FRP DEL SUBSTRATO

- Modo 2 (separación del FRP tipo intermedio, causado por fisuras debidas a la flexión en la viga)

1.25 para cargas distribuidas y 1.0 para todas las otras configuraciones de carga.

Módulo elastico del FRP

Factor de corrección geométrica

0.10mm

Valores medios de las resistencias de compresión y tensión, respectivamente, evaluados *in situ*

Esfuerzo último de diseño Modo 2

$$f_{fdd,2} = \frac{k_q}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{E_f}{t_f}} \cdot \frac{2 \cdot k_b \cdot k_{G,2}}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}$$

Factor de confianza

Espesor del FRP

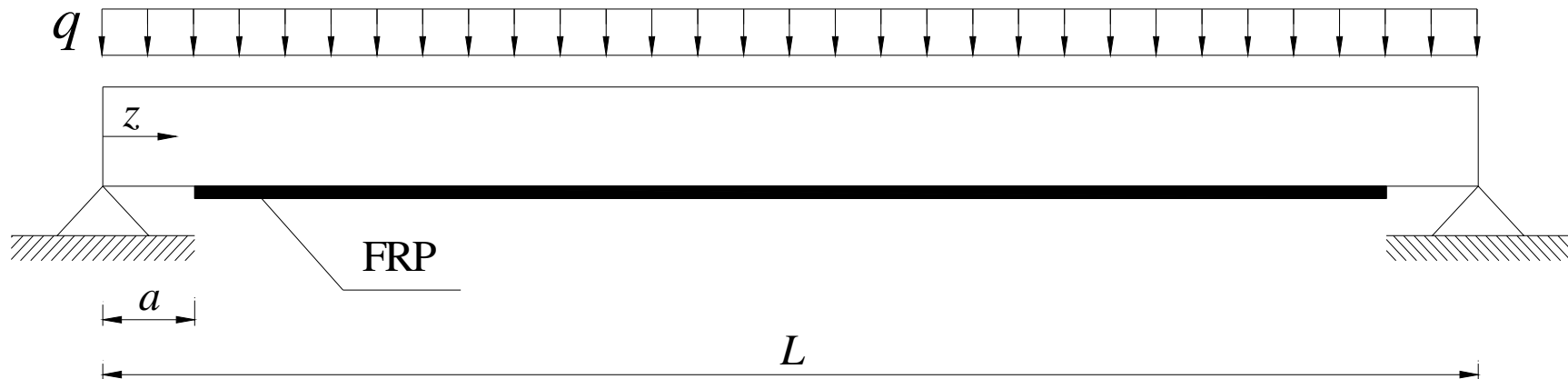
Factor parcial que varia entre 1.20 a 1.50, dependiendo de la probabilidad de falla debida al despegue

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXIÓN

El reforzamiento a flexión es necesario para miembros estructurales sometidos a momentos flexionantes mas grandes que su capacidad. En esta sección se tratará solamente el caso de flexión uniaxial.

El reforzamiento a flexión puede realizarse mediante la aplicación de materiales FRP en uno o mas estratos en la cara del elemento sometida a esfuerzos de tensión.



# REFORZAMIENTO A FLEXION



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION

## State I: uncracked

Homogeneous cross-section. Small deflection can be computed with flexural stiffness  $EJ^I$  (totally reacting cross-section).

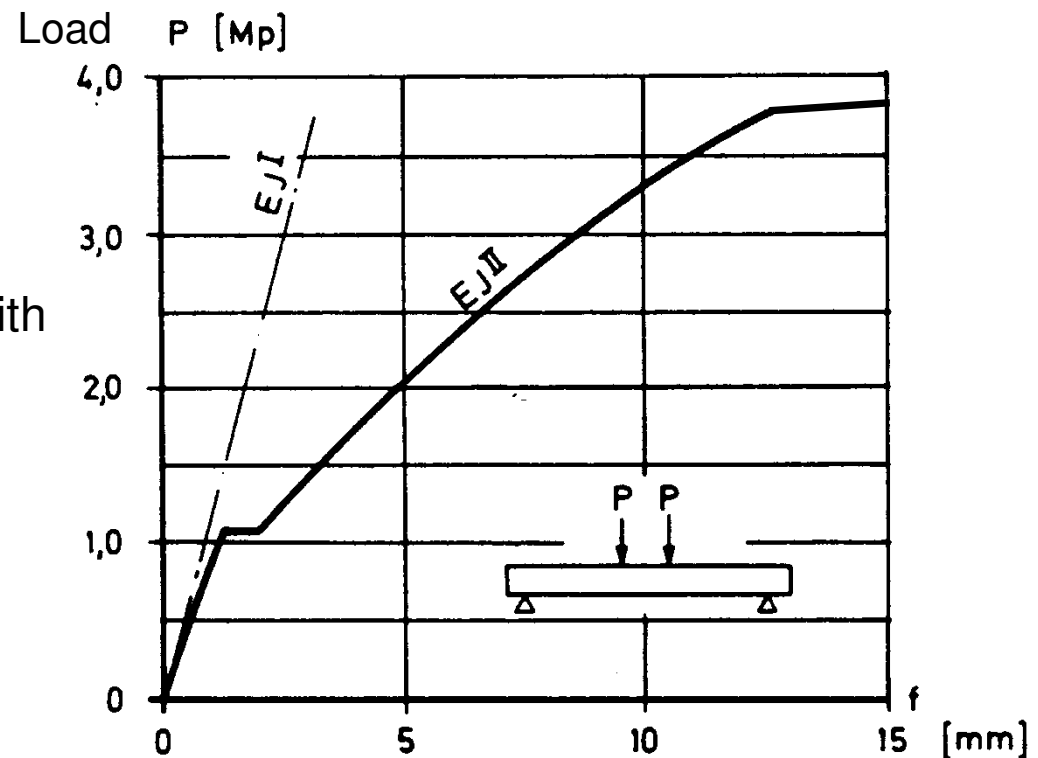
## State II: cracked

Stress redistribution and modification of structural behaviour occur.

Deflection can be computed with flexural stiffness  $EJ^{II}$  (partially reacting cross-section).

## State III: post-yielded

Load-displacement diagram becomes sub-horizontal.

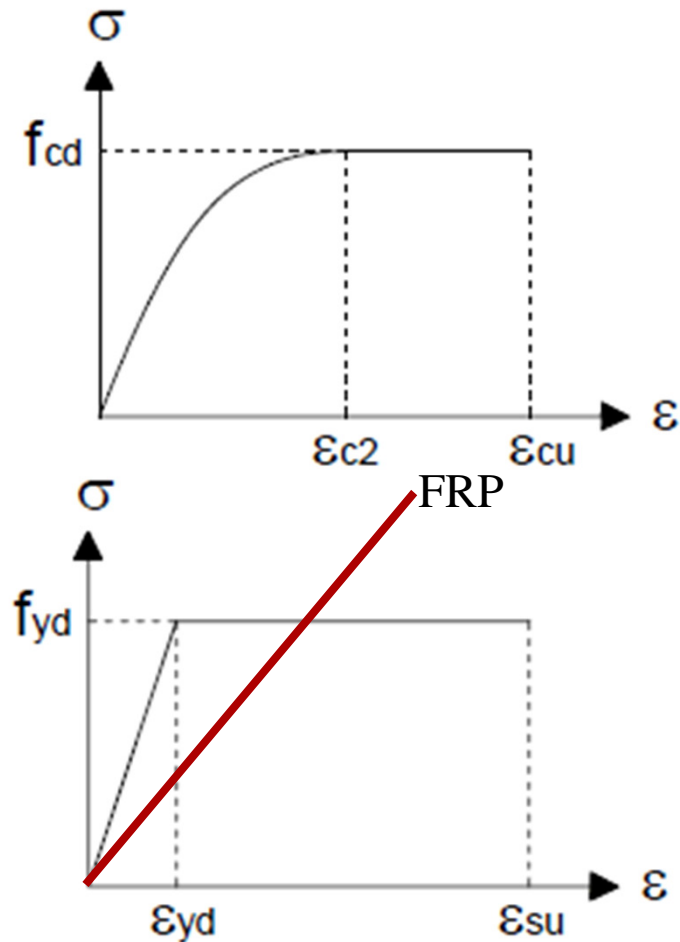


# REFORZAMIENTO A FLEXION

El momento resistente a flexión,  $M_{Rd}$ , debe ser mayor que el momento último de diseño,  $M_{Sd}$

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

- Las secciones planas permanecen planas hasta la rotura
- Existe una perfecta adherencia entre los materiales componentes (acero-concreto, **FRP- concreto**)
- El concreto no resiste a tracción
- Las leyes constitutivas para el concreto y el acero están de acuerdo al código de construcción
- El FRP es considerado un material elástico lineal hasta que falla.



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION

Se asume que la falla por flexión ocurre cuando se presentan una de las siguientes condiciones:

- Se alcanza la máxima deformación unitaria de compresión del concreto,  $\epsilon_{cu}$ ;
- Se alcanza la máxima deformación en el refuerzo FRP,  $\epsilon_{fd}$ :

$$\epsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\epsilon_{fk}}{\gamma_f}, \epsilon_{fdd} \right\}$$

Despegue del FRP

$$\epsilon_{fdd} = \frac{f_{fdd,2}}{E_f}$$

Rotura del FRP. Depende de las propiedades mecánicas del material

**Tabla 3-1** – Factores parciales  $\gamma_{Rd}$ .

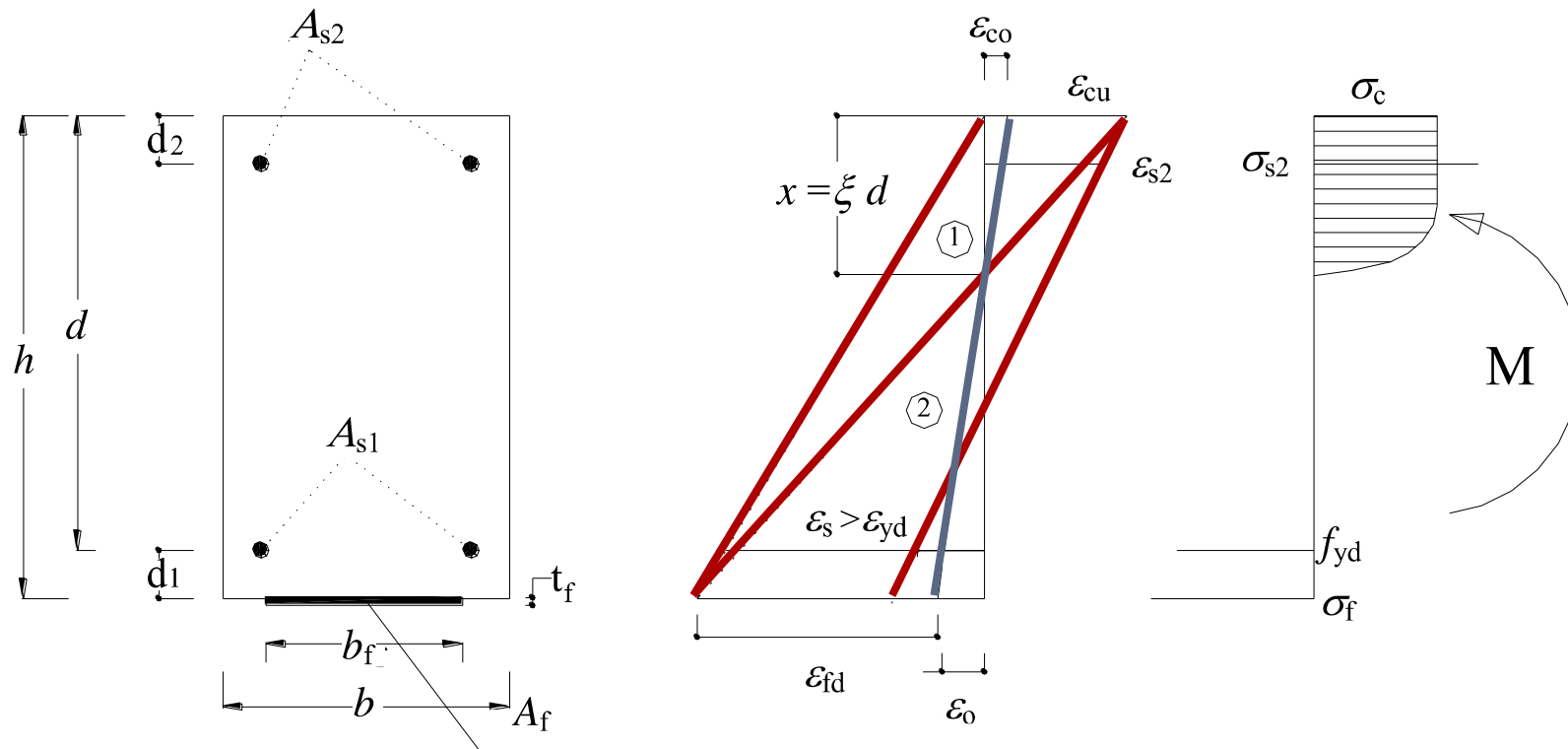
Modelo de resistencia	$\gamma_{Rd}$
Flexión y Flexo-compresión	1.00
Corte/Torsión	1.20
Confinamiento	1.10

**Tabla 3-2**– Factores de conversión ambiental  $\eta_a$  para varias condiciones de exposición y varios sistemas de FRP .

Condiciones de exposición	Tipo de fibra/resina	$\eta_a$
Internos	Vidrio/Epóxico	0.75
	Arámidico/Epóxico	0.85
	Carbón/Epóxico	0.95
Externos	Vidrio/Epóxico	0.65
	Arámidico/Epóxico	0.75
	Carbón/Epóxico	0.85
Medioambiente agresivo	Vidrio/Epóxico	0.50
	Arámidico/Epóxico	0.70
	Carbón/Epóxico	0.85



# REFORZAMIENTO A FLEXION



- 1: Fluencia del acero y falla del FRP;
- 2: Fluencia del acero y falla por compresion del concreto

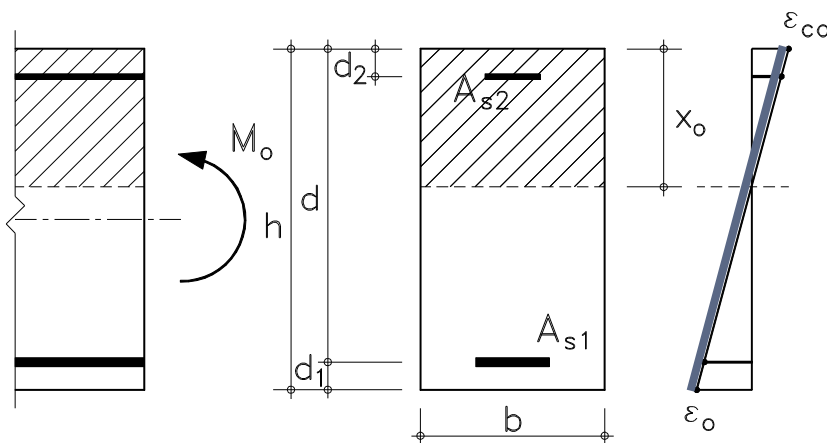
# REFORZAMIENTO A FLEXION

## CONDICION PREVIA AL REFORZAMIENTO

Cuando el momento aplicado debido a la carga existente,  $M_O$ , es más pequeño que el momento de fisuración, el estado deformado en la estructura inicial puede ser despreciado

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot h^2}{6} \quad f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$$

En caso contrario, el estado de deformacion de la estructura puede ser calculado asumiendo el comportamiento elástico lineal del concreto y el acero



$$\frac{b \cdot x_2^2}{2} + n \cdot A'_s \cdot (x_2 - c) - n \cdot A_s \cdot (d - x_2) = 0$$

$$\varepsilon_{co} = \frac{M_O \cdot x_O}{E_c I_{co}} \quad \begin{matrix} x_2 = x_O, \\ c = d_2 \end{matrix}$$

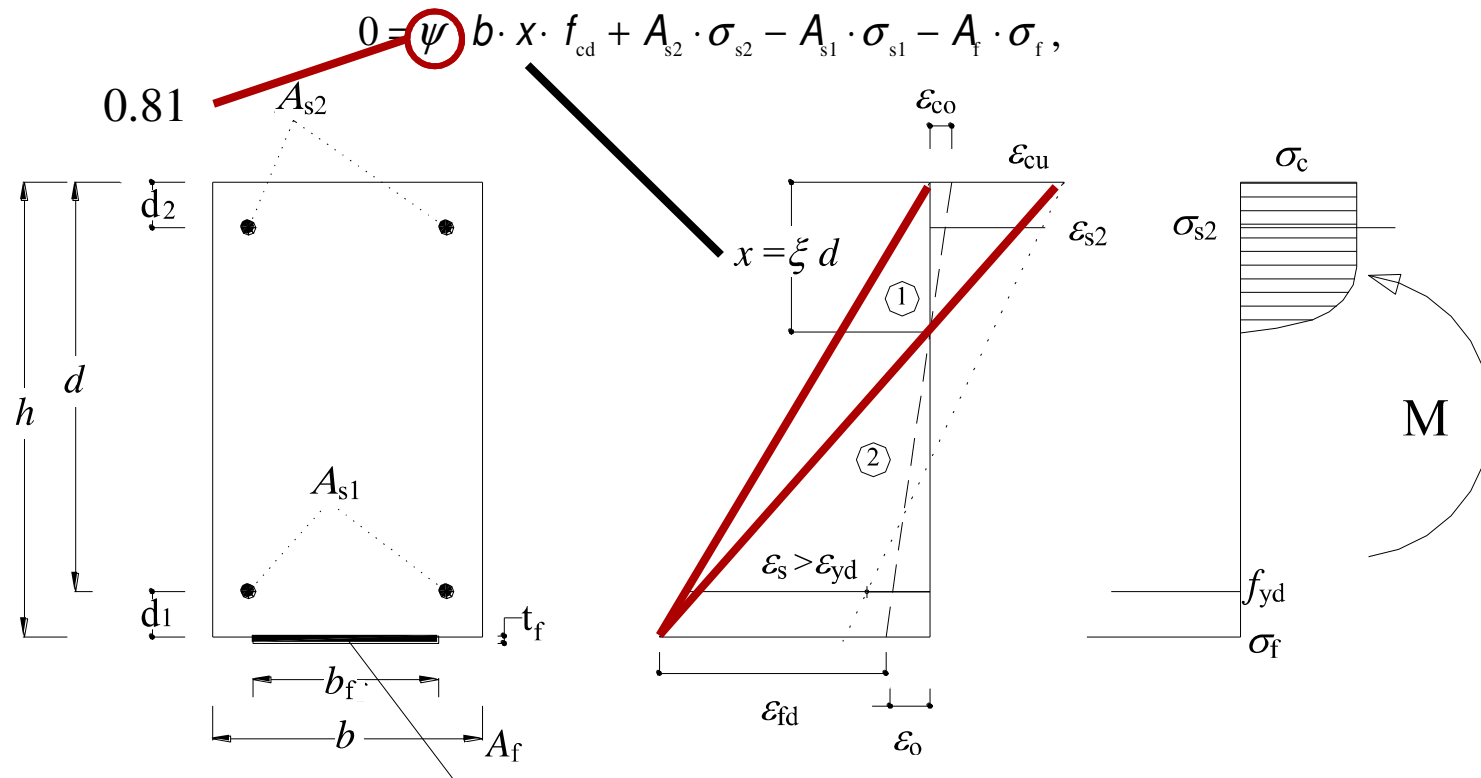
$$I_2 = \frac{b \cdot x_2^3}{3} + n \cdot A'_s \cdot (x_2 - c)^2 + n \cdot A_s \cdot (d - x_2)^2$$

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{co} \frac{h - x_O}{x_O}$$

# REFORZAMIENTO A FLEXION

## REGION 1

- (FRP)  $\varepsilon_f = \varepsilon_{fd}$ ,  $\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{fdd} \right\}$
- (concreto en compresión)  $\varepsilon_c = (\varepsilon_{fd} + \varepsilon_0) \cdot \frac{x}{(h-x)} \leq \varepsilon_{cu}$ ,
- (acero en compresión)  $\varepsilon_{s2} = (\varepsilon_{fd} + \varepsilon_0) \cdot \frac{x-d_2}{(h-x)}$ ,
- (acero en tensión)  $\varepsilon_{s1} = (\varepsilon_{fd} + \varepsilon_0) \cdot \frac{d-x}{(h-x)}$ ,

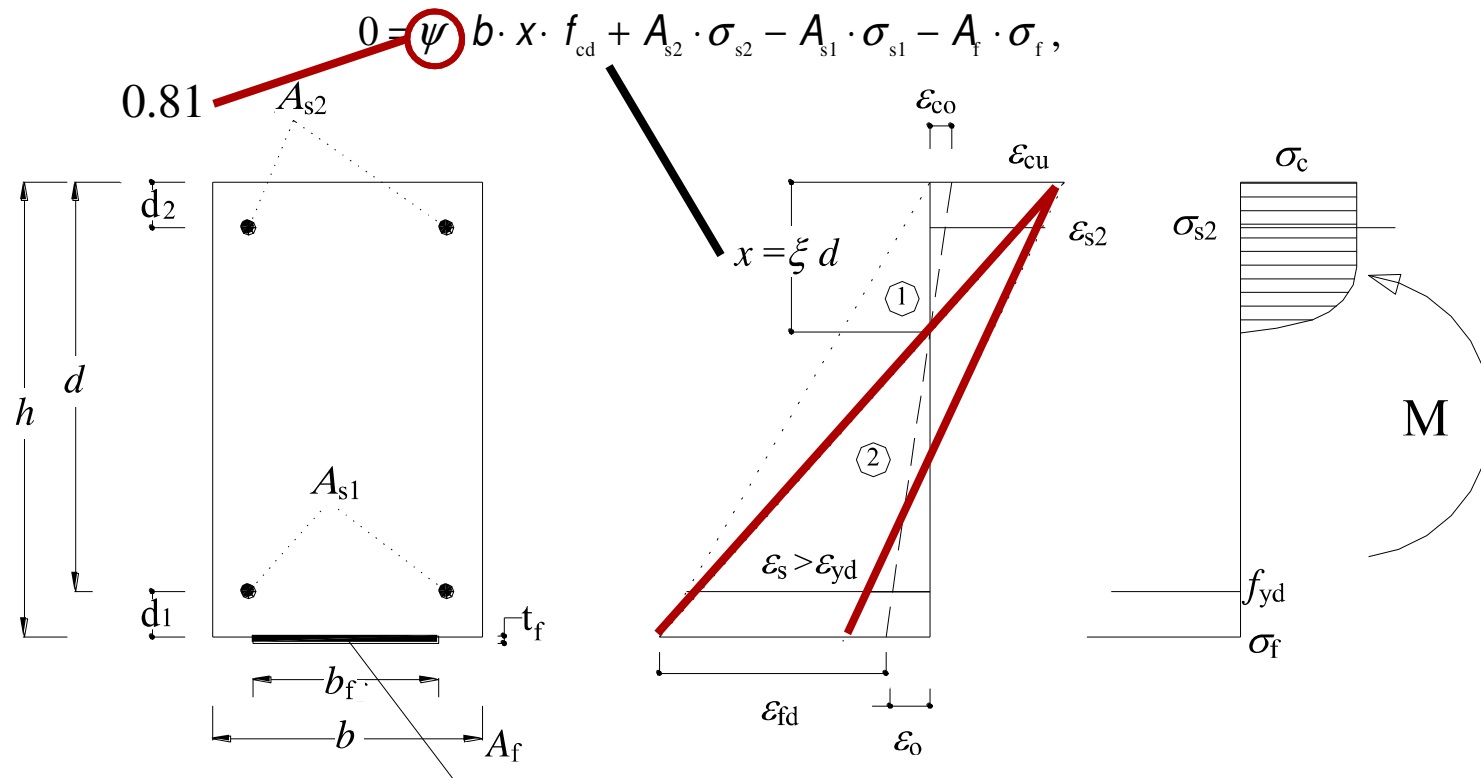


Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION

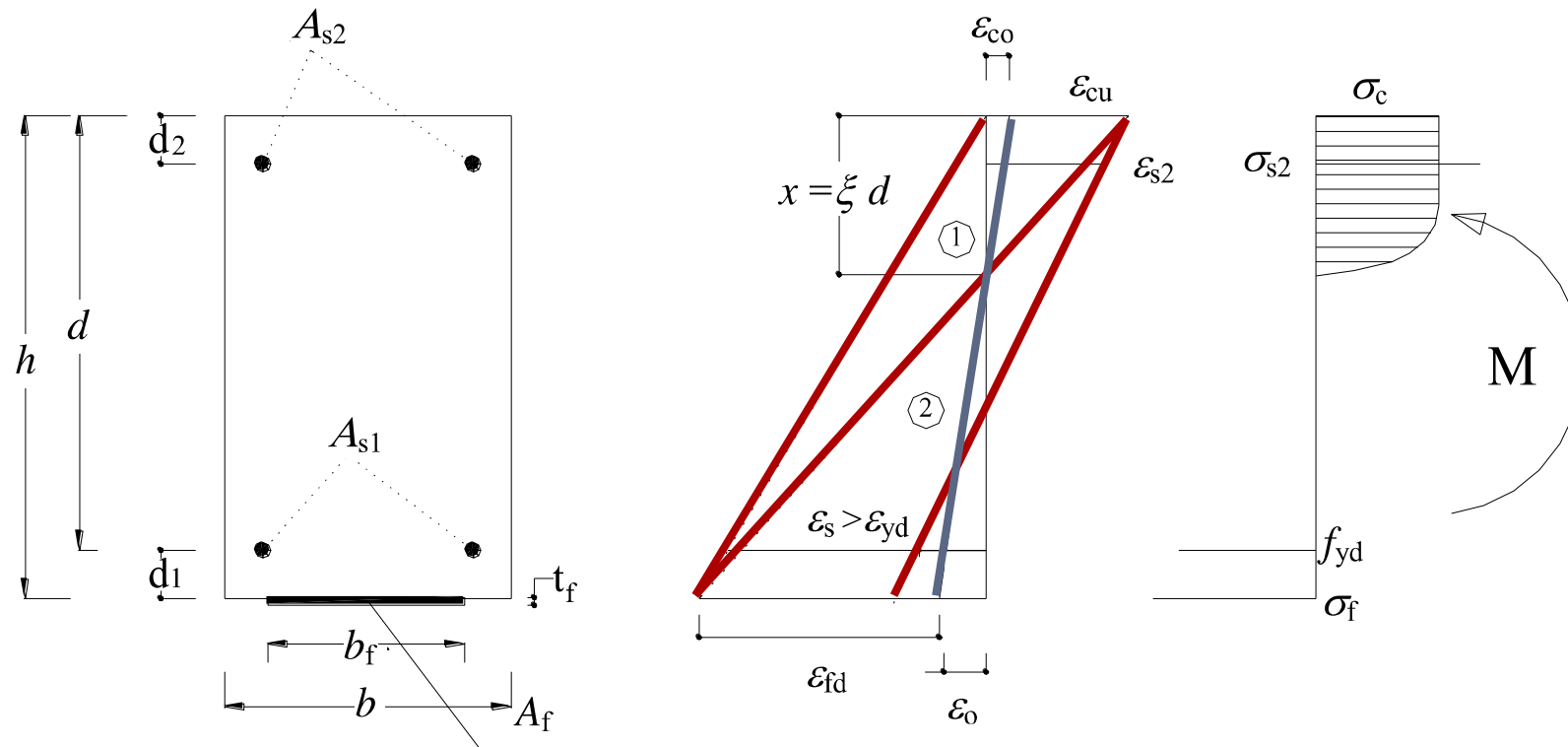
## REGION 2

- (FRP)  $\varepsilon_f = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (h - x) - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{fd}$ ,
- (concreto en compresión)  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ ,  $\underline{\hspace{2cm}}$  0.0035
- (acero en compresión)  $\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{x - d_2}{x}$ ,
- (acero en tensión)  $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{d - x}{x}$ .



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION



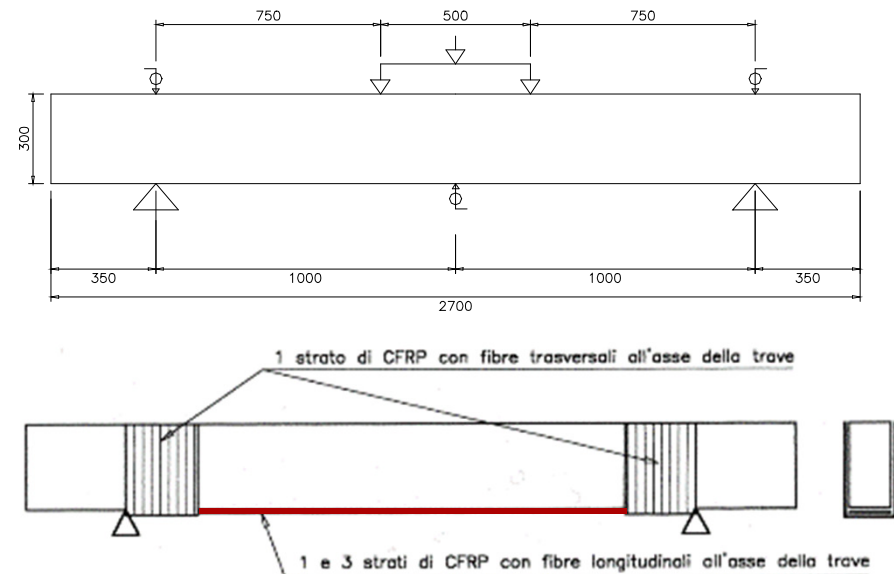
$$0 = \psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} - A_f \cdot \sigma_f,$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} [\psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot (d - d_2) + A_f \cdot \sigma_f \cdot d_1],$$

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION

## Reforzamiento a flexión\*



### FRP mechanical characteristics

Thickness (one layer)  $t_f = 0.165\text{mm}$

Elastic modulus  $E_f = 230000\text{ MPa}$

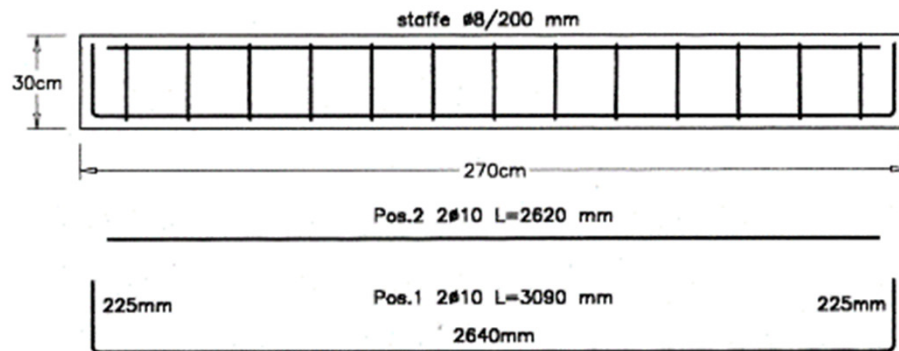
Ultimate strength  $f_{fu} = 3450\text{ MPa}$

Ultimate strain  $\epsilon_{fu} = 1.5\%$

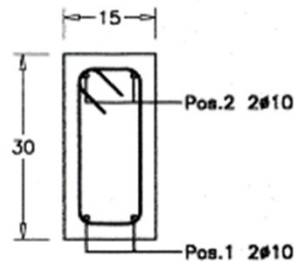
**\*Ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad de Padua (Italia)**

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

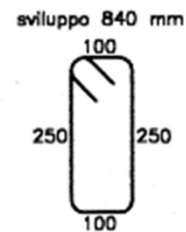
## EXPERIMENTAL INVESTIGATION



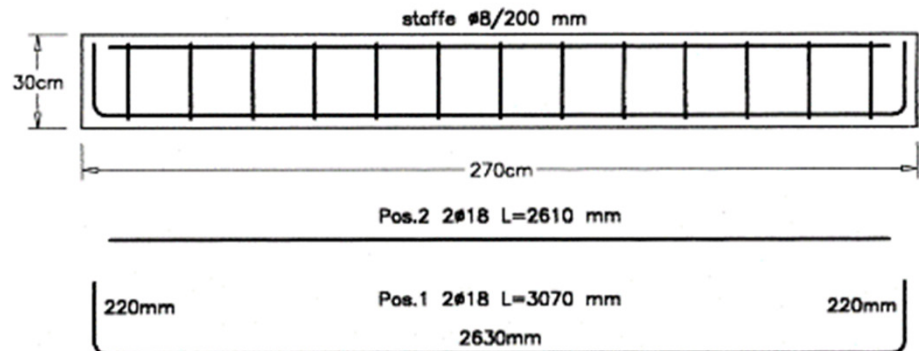
Sezione trasversale  
scala 1:10



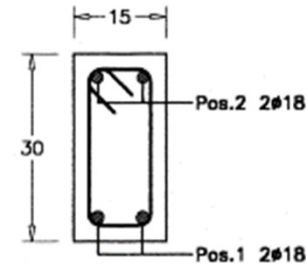
staffe  $\varnothing 8/200$  mm



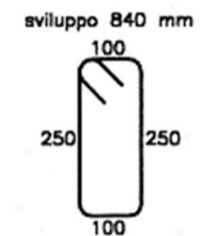
Baja cuantía



Sezione trasversale  
scala 1:10



staffe  $\varnothing 8/200$  mm



Alta cuantía

# REFORZAMIENTO A FLEXION

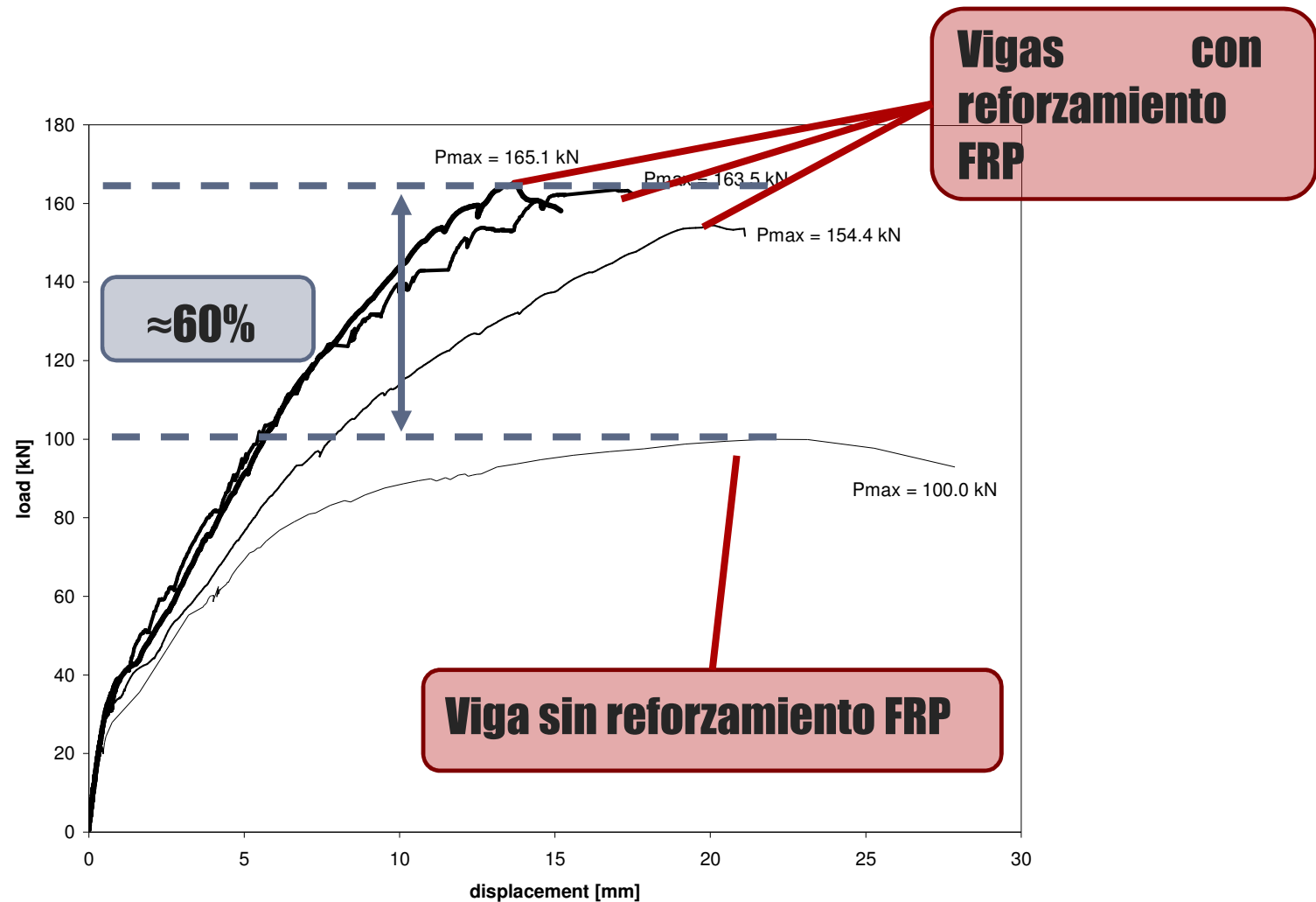
Trave	$f_{c,med}$ (MPa)	$f_{ct}$ (MPa)	$b_w$ (mm)	$d$ (mm)	$b_f$ (mm)	$t_{f,inf}$ (mm)	$t_{f,anchor}$ (mm)	$E_f$ (MPa)	$f_{fu}$ (MPa)	$\rho_s$	$\rho'_s$	$\rho_f$
TR30A1	27.5	2.41	150	262	120	-	-	-	-	0.0040	0.0040	-
TR30A2	27.5	2.41	150	262	120	0.330	0.330	235000	3550	0.0040	0.0040	0.00101
TR30A3	27.5	2.41	150	262	120	0.495	0.165	235000	3550	0.0040	0.0040	0.00151
TR30A4	27.5	2.41	150	262	120	0.495	0.495	235000	3550	0.0040	0.0040	0.00151
TR30B1	31.4	2.64	150	258	120	-	-	-	-	0.0131	0.0131	-
TR30B2	31.4	2.64	150	258	120	0.330	0.330	235000	3550	0.0131	0.0131	0.00101
TR30B3	31.4	2.64	150	258	120	0.165	0.165	235000	3550	0.0131	0.0131	0.00051
TR30B4	31.4	2.64	150	258	120	0.165	0.165	235000	3550	0.0131	0.0131	0.00051

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)



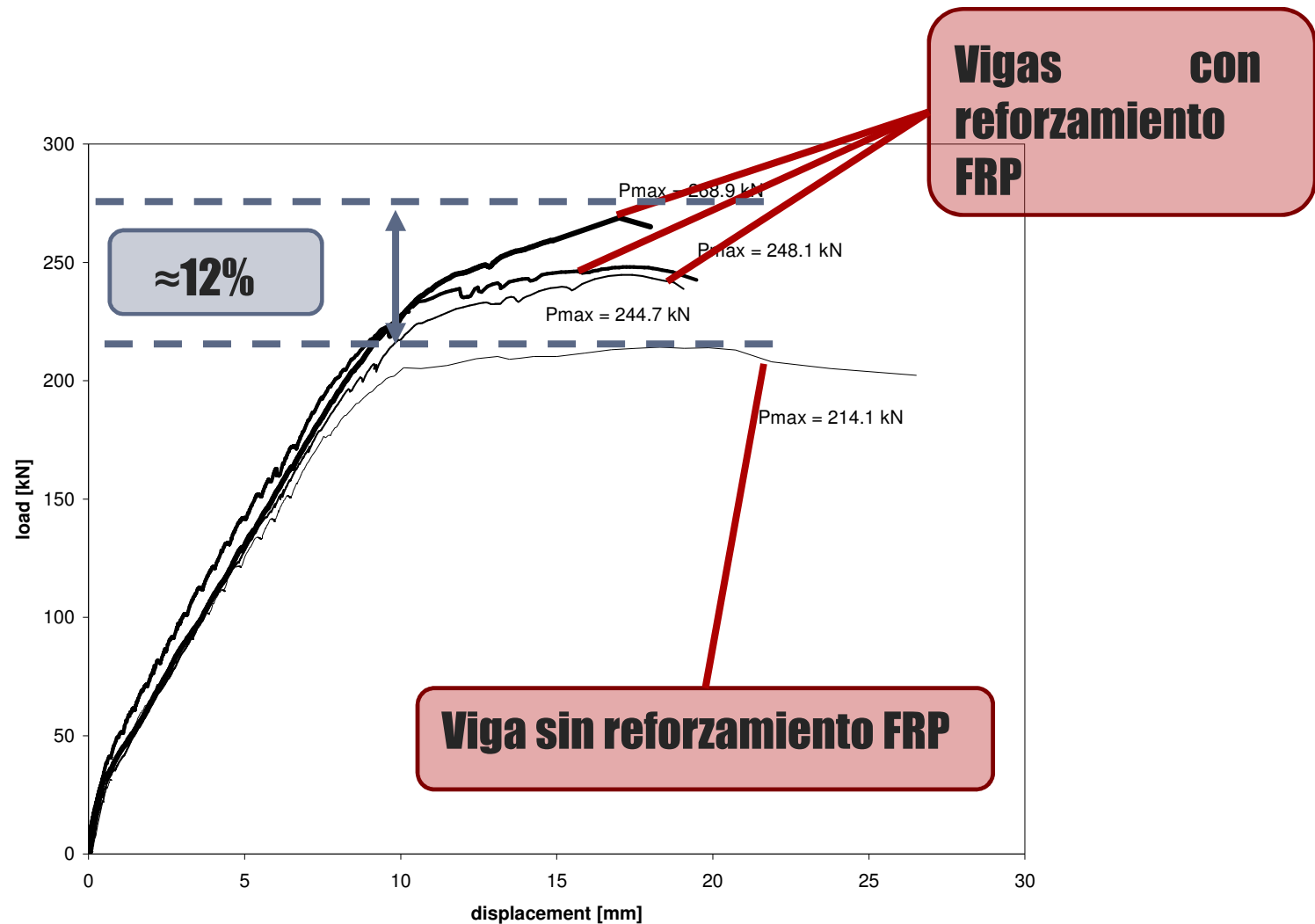


# REFORZAMIENTO A FLEXION



Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION

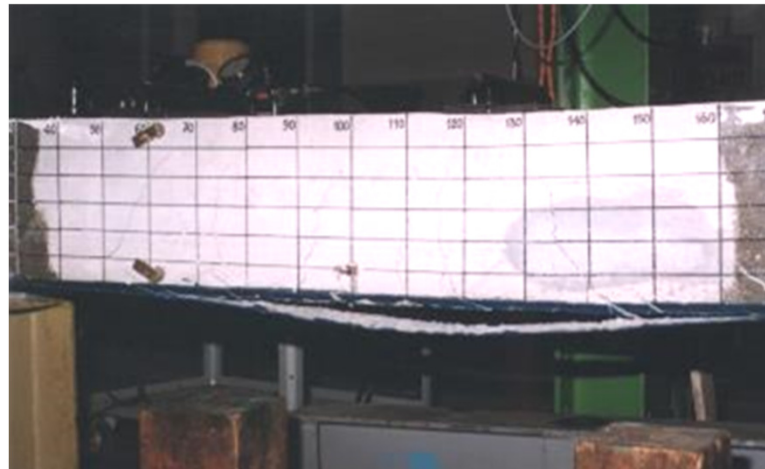


Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# REFORZAMIENTO A FLEXION



FRP rupture



FRP intermediate **delamination**



FRP rupture

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

# FRP TRAINING COURSE

## MODULO 2: ADHERENCIA Y DISEÑO A FLEXIÓN

Copyright 2018- Este curso de capacitación en formato electrónico con textos, fotos y dibujos es propiedad de la compañía italiana G & P intech y está protegida por derechos de autor y copyright 2018. Está prohibido imprimir, copiar, reproducir, incluso parcialmente, para difundir el documento por correo electrónico, internet sin el permiso expreso por escrito de los autores y G & P intech. Cualquier violación de lo anterior será castigada de acuerdo con las regulaciones nacionales e internacionales vigentes en materia de derechos de autor y copyright.

[www.gpintech.com](http://www.gpintech.com)

[info@gpintech.com](mailto:info@gpintech.com)

Febrero 5-9, 2018 (Vicenza, Italia)

