



*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la  
Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture  
Università degli Studi di Salerno – Consorzio ReLUIS, 12-13 Febbraio 2007*



# Analisi teorica di nodi travi- colonna esterni in c.a. rinforzati mediante FRP

M.A. Aiello, L. Ombres e E. Vincenti



  
Università della  
Calabria



# Introduzione



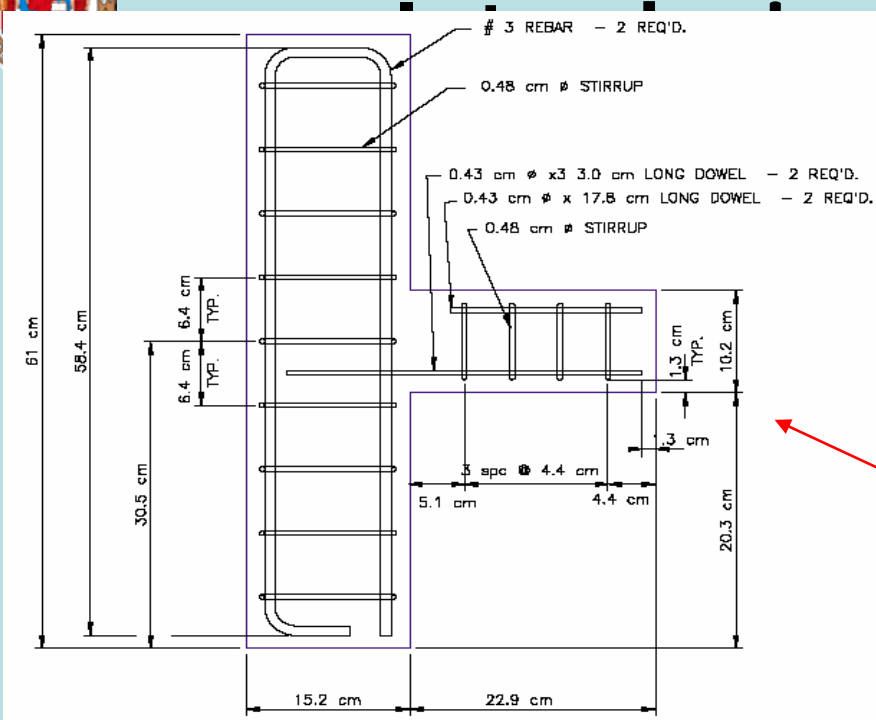
## *Obiettivo*

*Efficacia di rinforzi in FRP nell'adeguamento sismico di nodi trave-colonna in c.a.*

*Modellazione numerica di nodi trave-colonna in c.a.*

*Modellazione analitica*

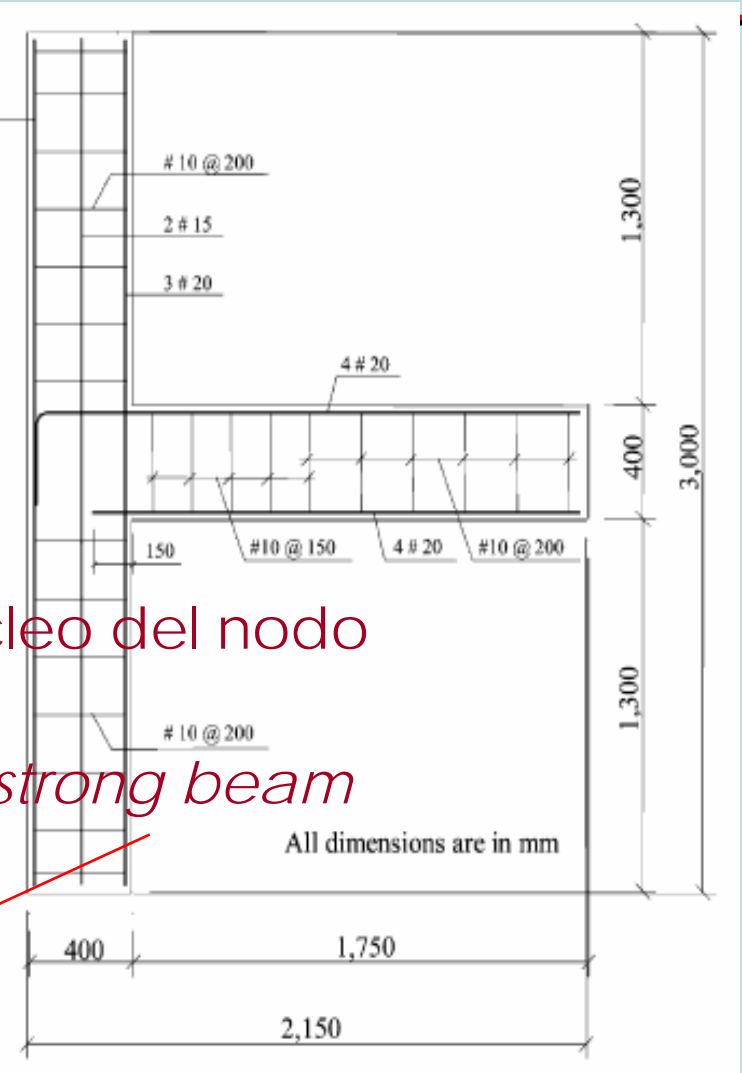
*Indagine sperimentale*



ne

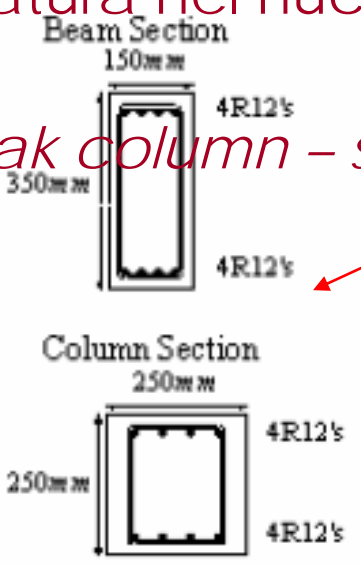
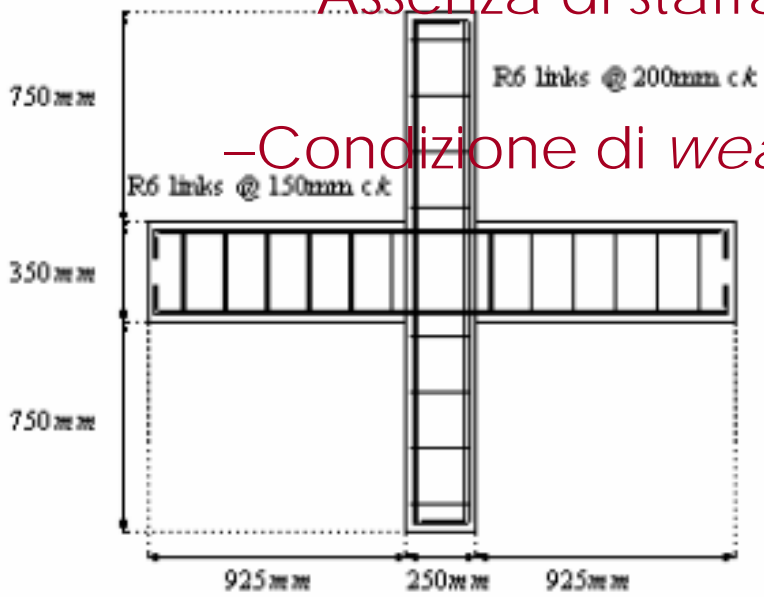
e di nor  
alle disp

e longitu



-Assenza di staffatura nel nucleo del nodo

-Condizione di *weak column - strong beam*

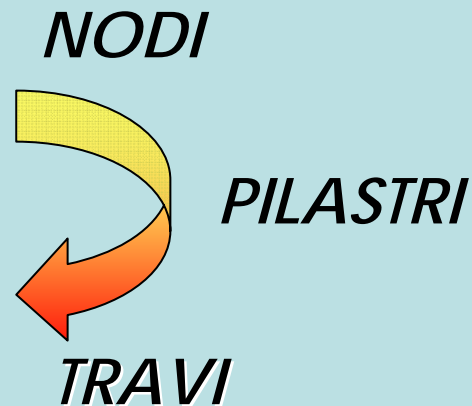




# Introduzione



## *Gerarchia delle resistenze*



La capacità di dissipare energia senza significative riduzioni di resistenza può essere ottenuta con un'adeguata progettazione, per favorire la formazione delle cerniere plastiche in corrispondenza delle travi



# Introduzione



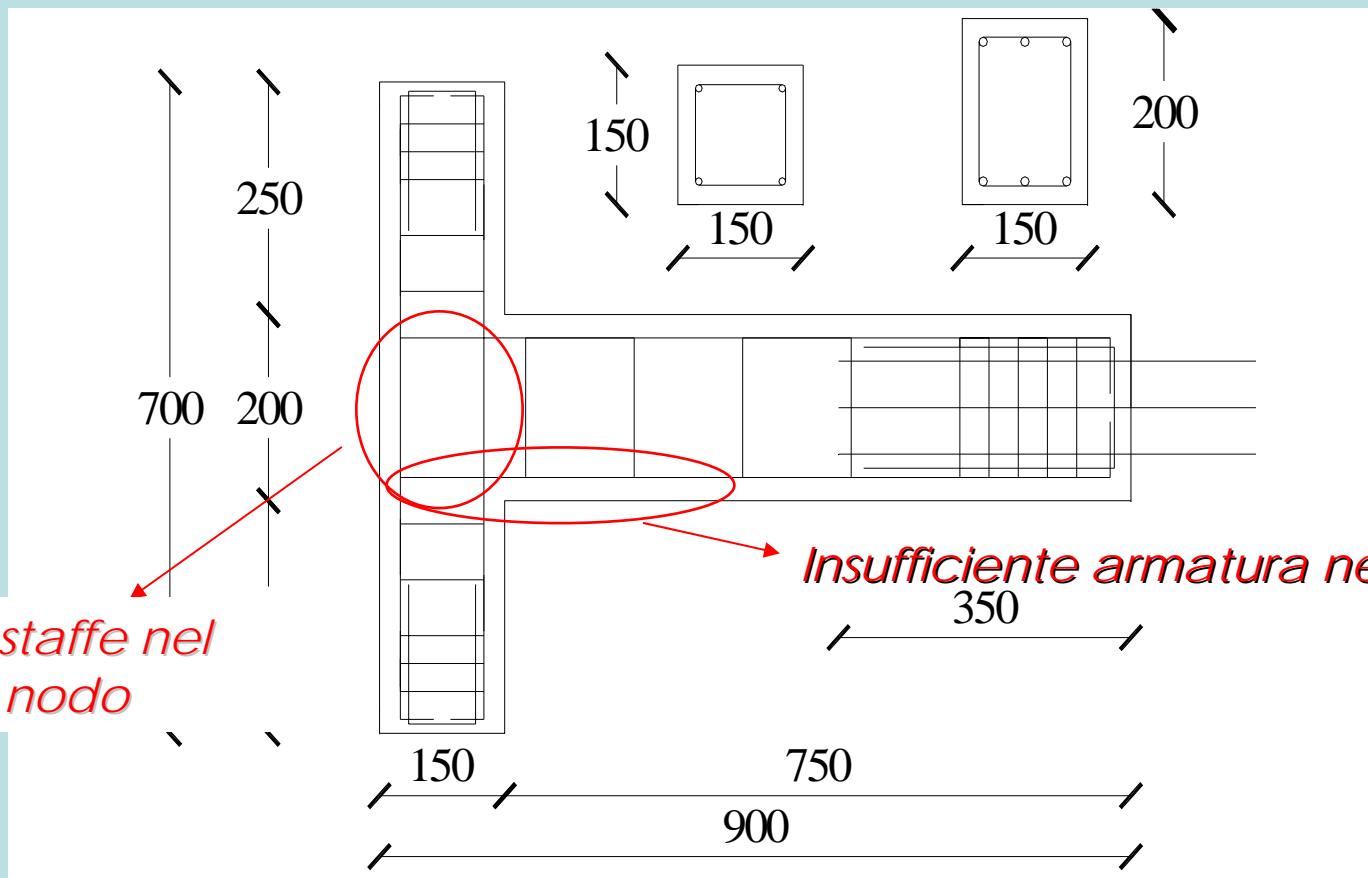
- Nel presente lavoro, è stato analizzato il comportamento dei nodi esterni trave-pilastro in c. a. rinforzati mediante l'applicazione di lamine in FRP.
  
- Nodi trave-colonna esterni di strutture progettate prescindendo dalla presenza di azioni sismiche:
  - **Insufficiente armatura a taglio**
  - **Armatura inferiore all'estremità della trave prevista per far fronte a sole tensioni di compressione.**



# Nodo trave - colonna



- Nodo non rinforzato esternamente



*Assenza di staffe nel nucleo del nodo*

*Insufficiente armatura nella trave*

*Geometria ed armature del nodo*



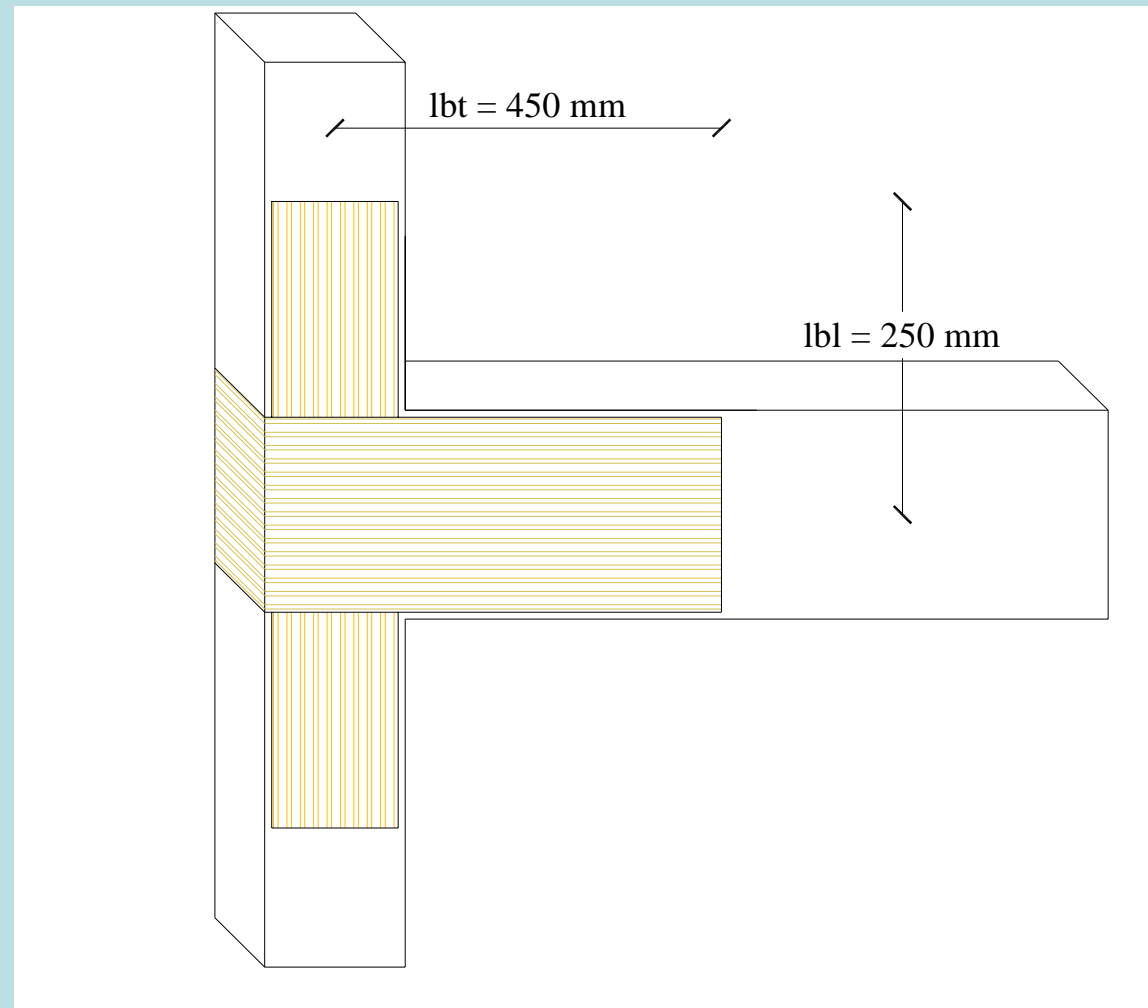
# Nodo trave - colonna



- Nodo rinforzato mediante FRP

Materiali:

- Nastro unidirezionale in fibre di carbonio ( $t_f = 0.165 \text{ mm}$ )
- Resina epossidica.





# Nodo trave - colonna



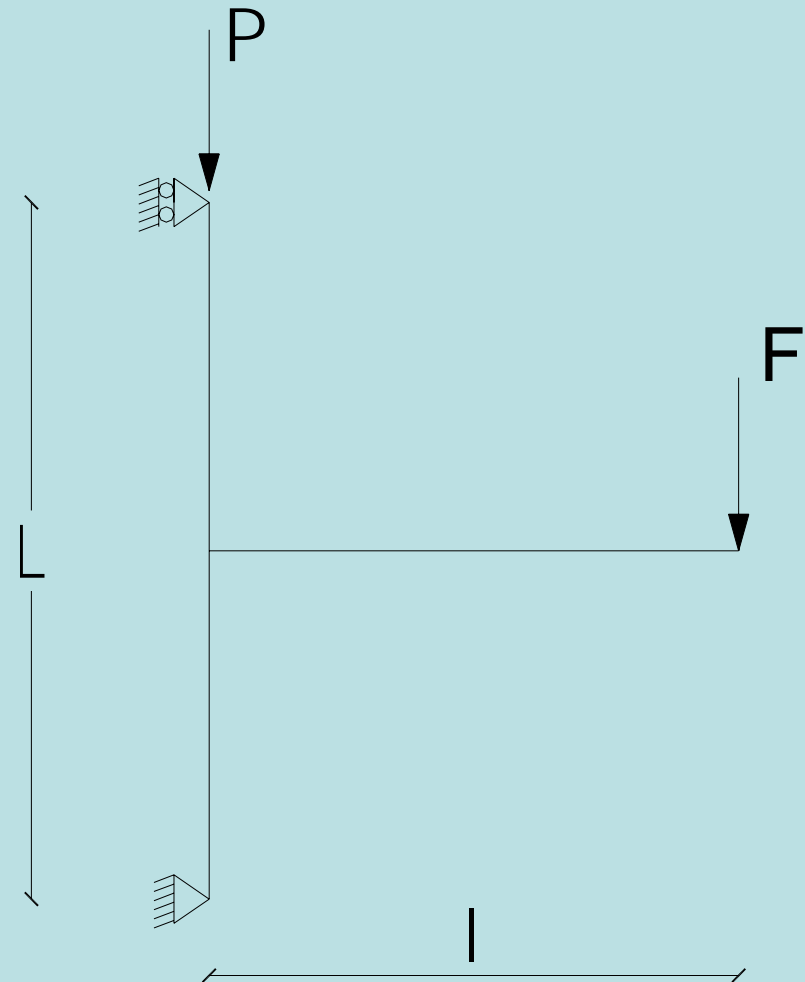
## ➤ Schema dei carichi

- Carico verticale sul pilastro
- Azione concentrata all'estremità della trave.



Stato di sollecitazione nel nodo:

- *Sforzo assiale*
- *Taglio*
- *Flessione*







# Nodo trave - colonna



- Il nodo non rinforzato è stato progettato affinché il collasso avvenga per rottura a taglio del nucleo.



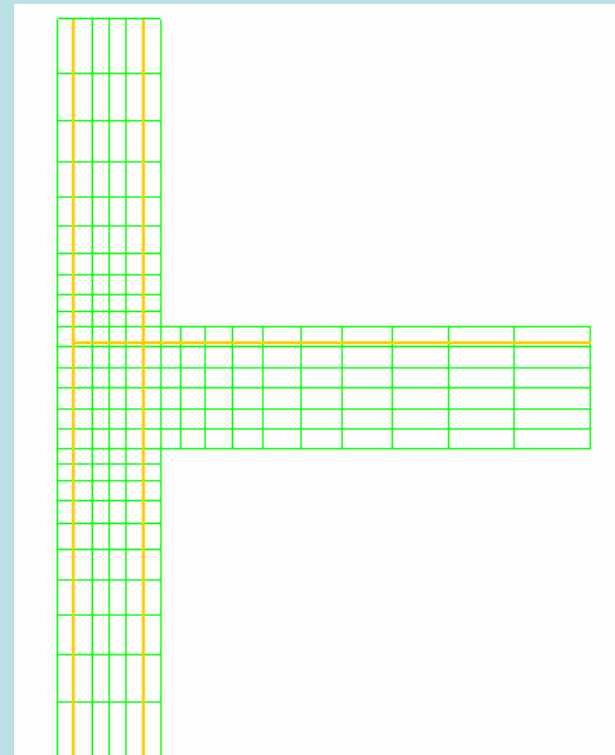
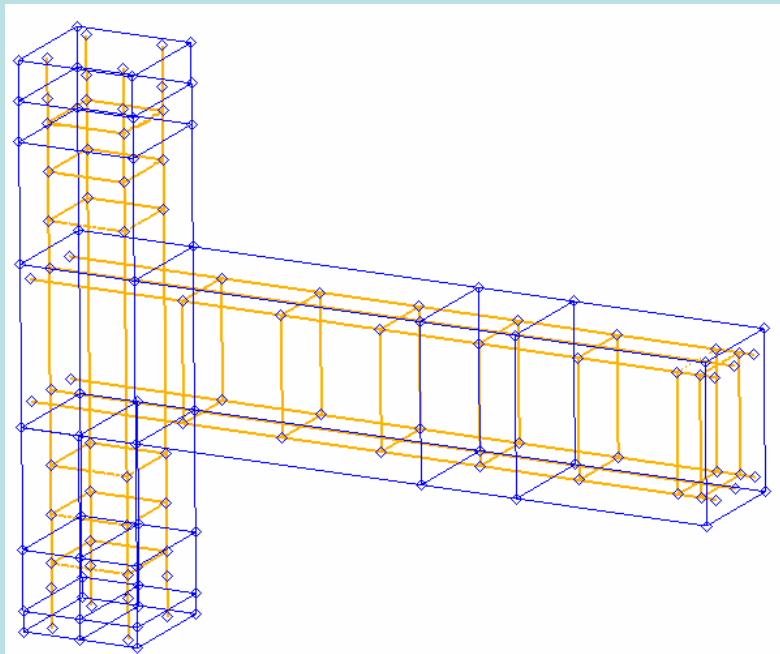


# Procedimento numerico

## Analisi preliminare



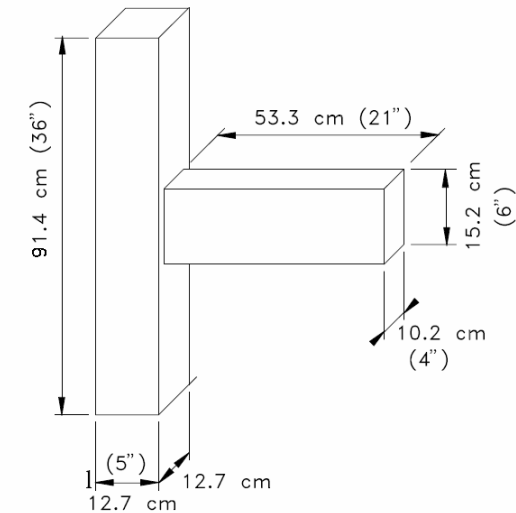
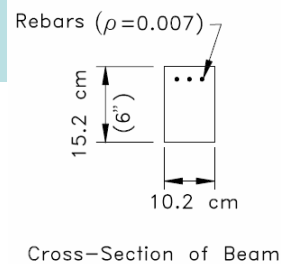
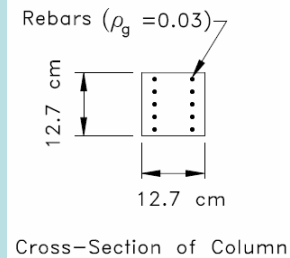
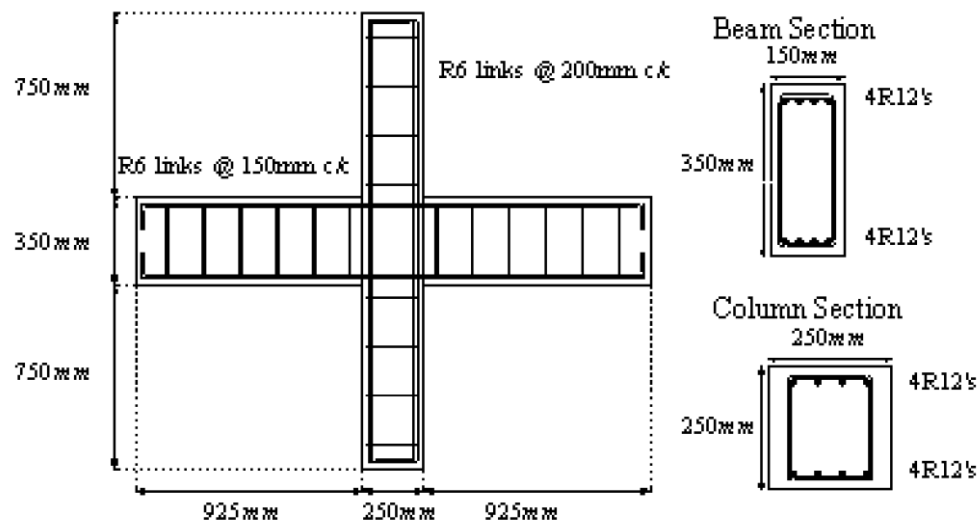
- L'analisi numerica (FEM) è stata sviluppata mediante il software DIANA 9
- Sono stati costruiti modelli bidimensionali e tridimensionali su nodi rinforzati e non





# Procedimento numerico

## Analisi preliminare



*Modello di nodo esterno in c.a.  
realizzato da Parvin et al.*

*Scarti massimi in termini di carico ultimo  
Inferiori al 3%*

*Modello di nodo interno in c.a.  
realizzato da D'Ayala et al.*

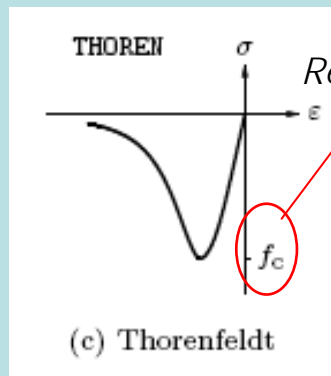


# Procedimento numerico

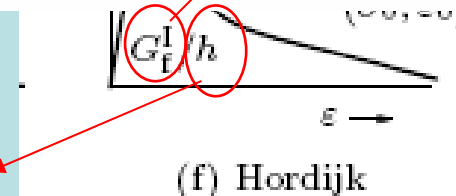
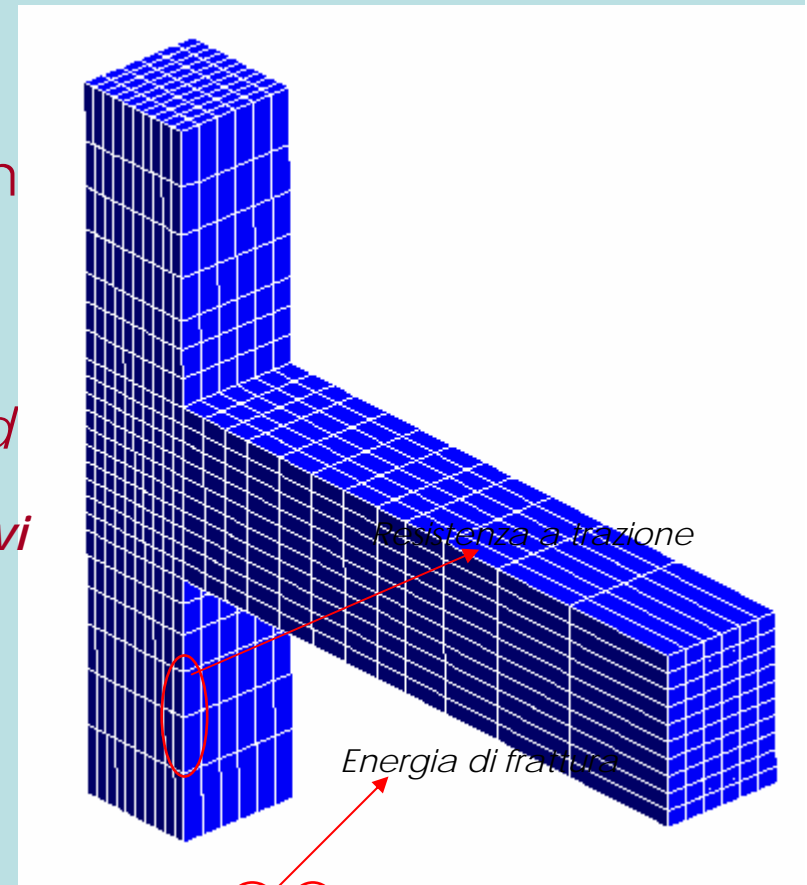


## ➤ Modellazione del calcestruzzo

- Unità brick tridimensionali a 20 n
- *Total Strain Rotating Crack Mod*
  - *Legami costitutivi*



*Il calcestruzzo compresso*

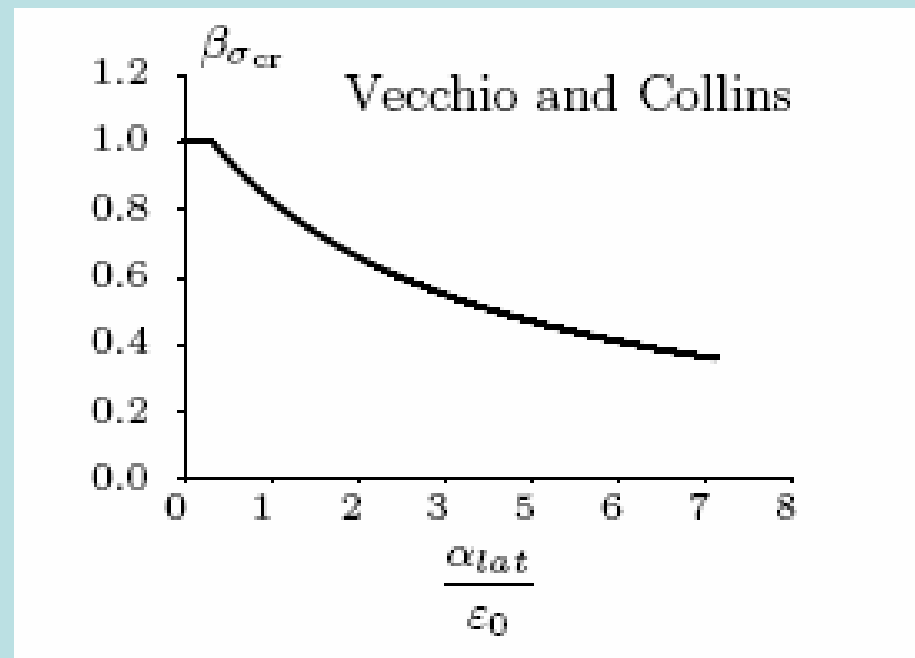


*Il calcestruzzo teso*



## Influenza laterale della fessurazione

Nel calcestruzzo fessurato le ampie deformazioni a trazione perpendicolari alla direzione principale di compressione, riducono la resistenza a compressione del calcestruzzo stesso





# Procedimento numerico



## ➤ Modellazione dell'acciaio

*Embedded Reinforcement*

Legame bilineare elasto - plastico con deformazione ultima pari all'1 %

## ➤ Modellazione del composito

*Shell bidimensionali a 8 nodi*

Il rinforzo in FRP è inserito come materiale ortotropo, con comportamento di tipo elasto - fragile

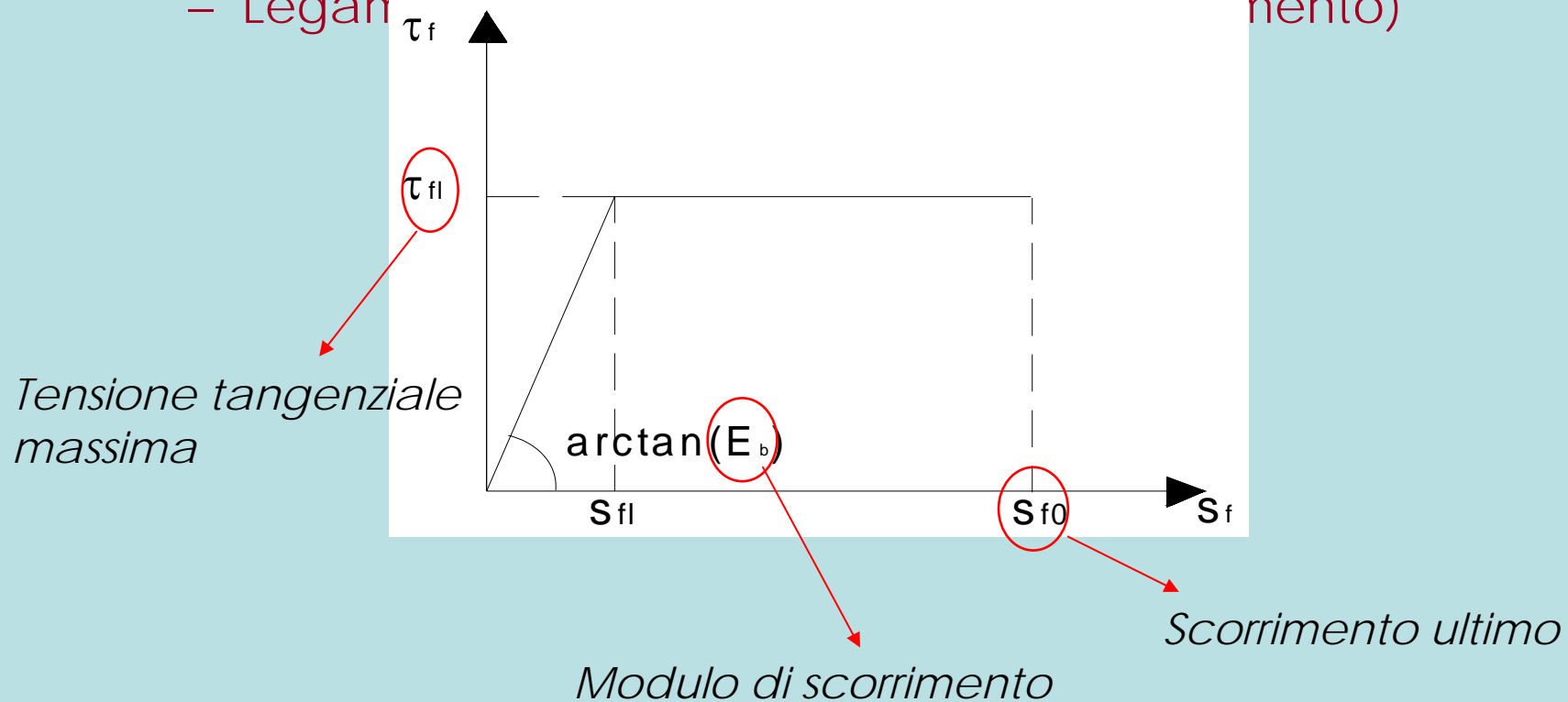


# Procedimento numerico



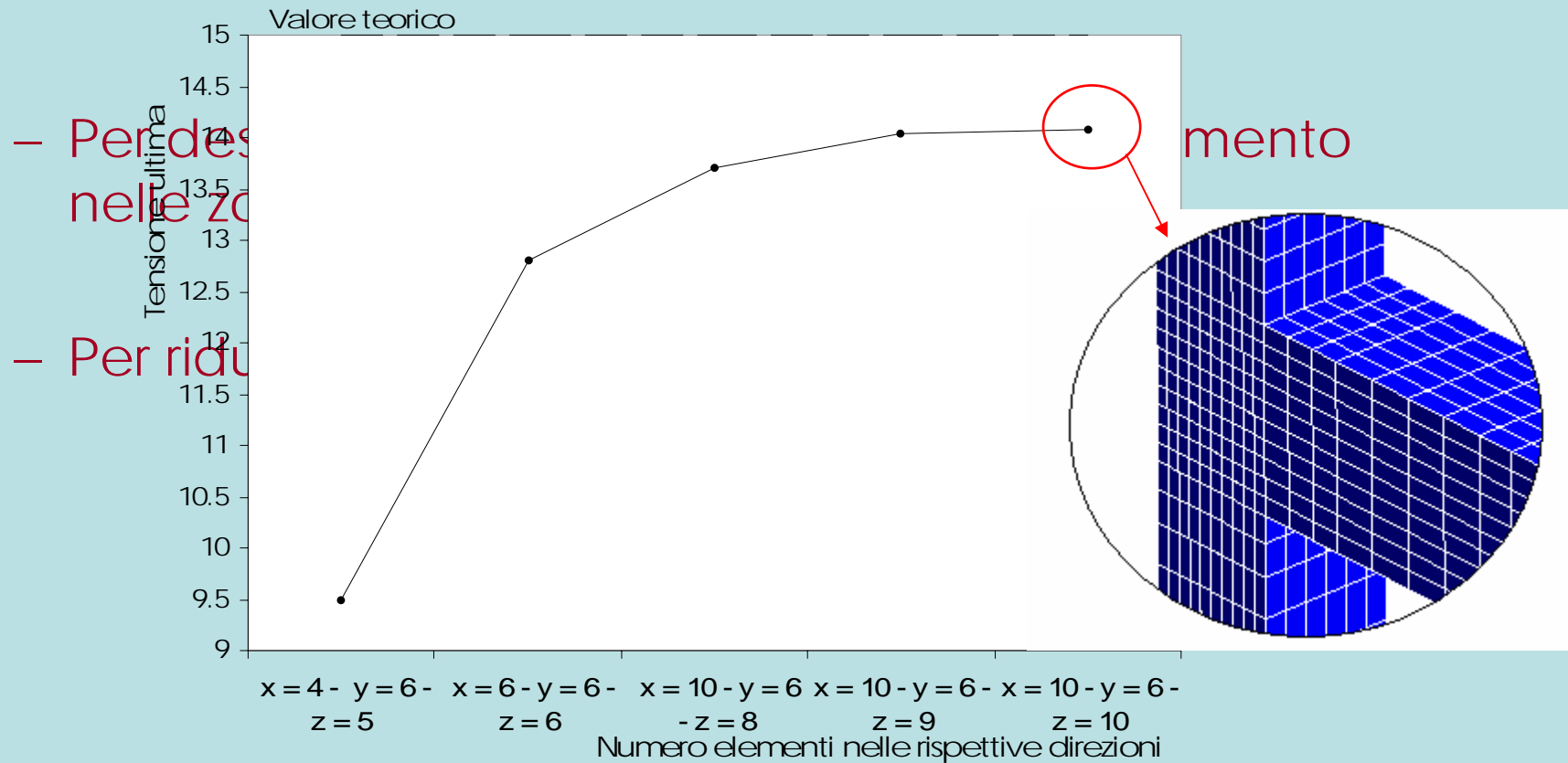
## ➤ Modellazione dell'interfaccia

– Legan (interfaccia di scorrimento)





## ➤ Analisi di sensibilità alla mesh







# Procedimento numerico



## ➤ *Modelli di nodo analizzati*

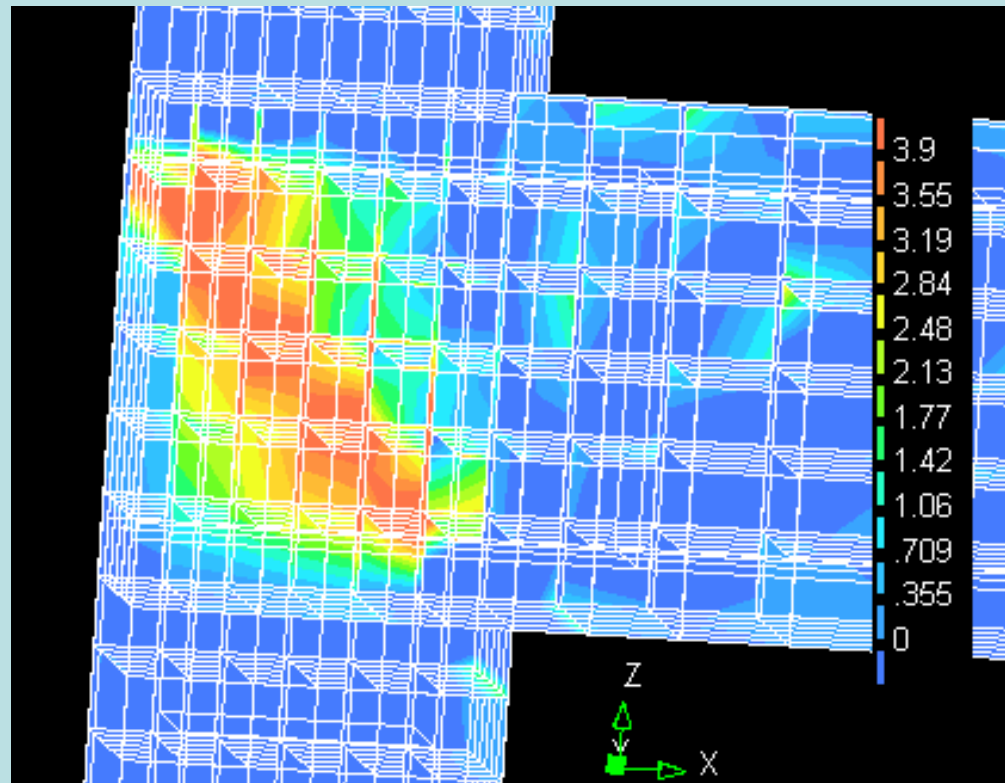
	$\rho$	$\tau$
Prototipo di controllo		1.416
2 nastri	0.0022	2.014
4 nastri	0.0044	2.607
6 nastri	0.0066	3.068
$V_p=1$ - 2 nastri	0.0022	1.570
$V_p = 1$ - 6 nastri	0.0066	2.105
$N_v = 5$ MPa - 2 nastri	0.0022	2.790
$N_v = 5$ MPa - 4 nastri	0.0044	3.154
$N_v = 7$ MPa - 2 nastri	0.0022	2.976
$N_v = 9$ MPa - 2 nastri	0.0022	3.492
$N_v = 9$ MPa - 4 nastri	0.0044	3.886
$N_v = 1$ MPa - 2 nastri	0.0022	1.781
$N_v = 1$ MPa - 4 nastri	0.0044	2.395
$N_v = 1$ MPa - 6 nastri	0.0066	2.740



# Procedimento numerico



- Tensione tangenziale nel nucleo di calcestruzzo del nodo in corrispondenza del collasso





# Procedimento numerico



## ➤ Distribuzione delle fessure

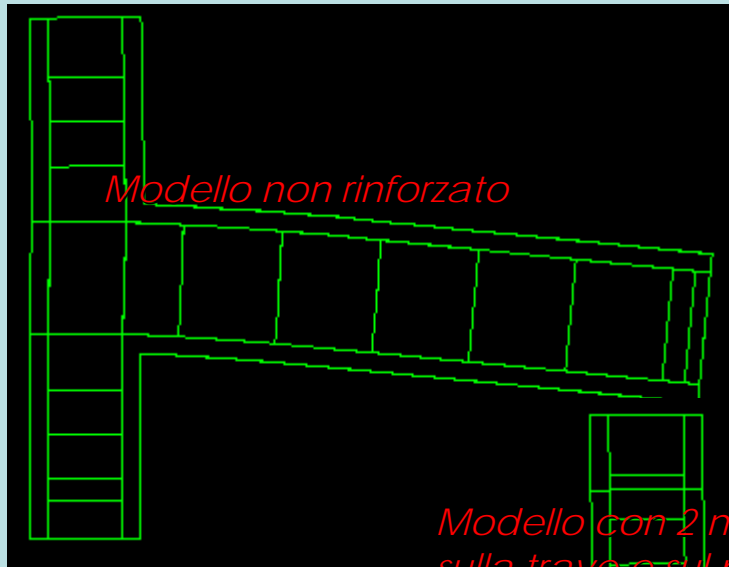




# Procedimento numerico



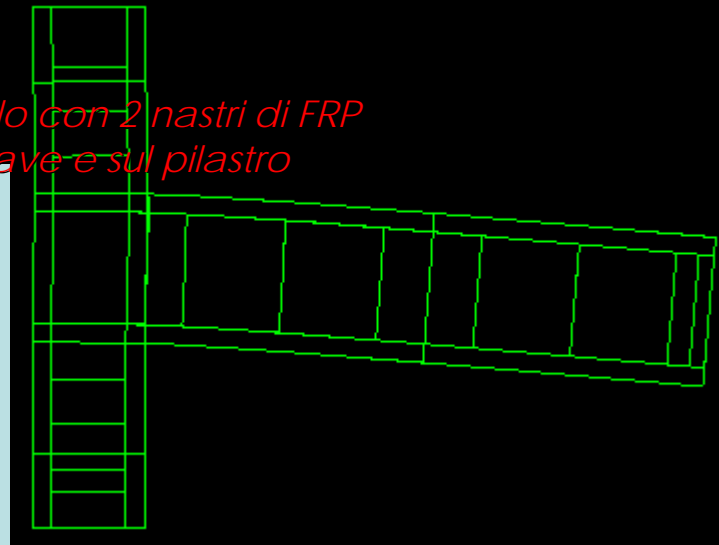
## ➤ Deformate



*Modello non rinforzato*



*Modello con 6 nastri di FRP sulla trave e sul pilastro*



*Modello con 2 nastri di FRP sulla trave e sul pilastro*



# Procedimento analitico



- Basato sui modelli di Bonacci et al. e di Triantafillou et al.
- Consente di determinare
  - lo stato tensionale del nodo
  - le modalità di collasso sia in assenza che in presenza di rinforzo in FRP.

modalità di collasso  
di tipo tradizionale

modalità di collasso  
di tipo prematuro

Debonding del rinforzo

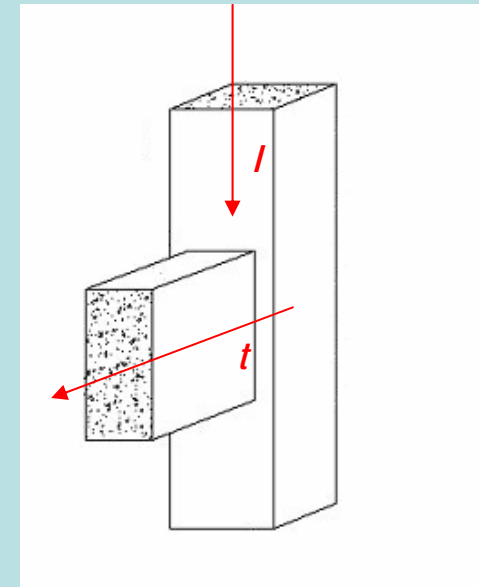
Crisi del calcestruzzo, crisi del rinforzo



# Procedimento analitico



- Il nodo è sottoposto a sollecitazioni che generano :
  - $\sigma_l$  tensioni normali nella direzione del pilastro (direzione longitudinale)
  - $\sigma_t$  tensioni normali nella direzione della trave (direzione trasversale)
  - tensioni tangenziali  $\tau$ .





# Procedimento analitico



- Le deformazioni principali  $\varepsilon_1$  ed  $\varepsilon_2$  sono legate alle deformazioni longitudinali  $\varepsilon_l$  e trasversali  $\varepsilon_t$  dalla relazione:

$$\tan^2 \theta = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_l}{\varepsilon_1 - \varepsilon_t} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_t}{\varepsilon_2 - \varepsilon_l}$$

*Inclinazione, rispetto all'asse trasversale, della massima deformazione principale*

- Risulta, inoltre:

$$\sigma_t = -\tau \tan \theta; \quad \sigma_l = -\tau / \tan \theta; \quad \sigma_2 = \sigma_l + \sigma_t$$

ipotizzando che

- la massima tensione principale nel cls sia inferiore alla resistenza a trazione del calcestruzzo
- le direzioni principali di tensione coincidano con le direzioni principali di deformazione.



# Procedimento analitico



- Le condizioni di equilibrio del nodo nelle due direzioni trasversale (t) e longitudinale (l) sono:

Sforzo normale nella trave

$$\sigma_t = -(\rho_{sw} + \beta_t \rho_b) f_t - \rho_{ft} f_{ft} - \frac{N_h}{bh}$$

Sforzo normale nel pilastro

$$\sigma_l = -(\rho_{c,in} + \beta_p \rho_c) f_p - \rho_{fp} f_{fp} - \frac{N_v}{bd}$$

*Tensioni medie del rinforzo in FRP nella direzione della trave*

*Tensioni medie del rinforzo in FRP nella direzione del pilastro*

*Percentuale geometrica di rinforzo in FRP nella trave*

*Percentuale geometrica di rinforzo delle barre longitudinali della trave*

*Percentuale geometrica di rinforzo in FRP nel pilastro*

*Percentuale geometrica del rinforzo longitudinale del pilastro*

*Coefficiente che tiene conto dell'aderenza tra acciaio e calcestruzzo*

*Coefficiente che tiene conto dell'aderenza tra acciaio e calcestruzzo*

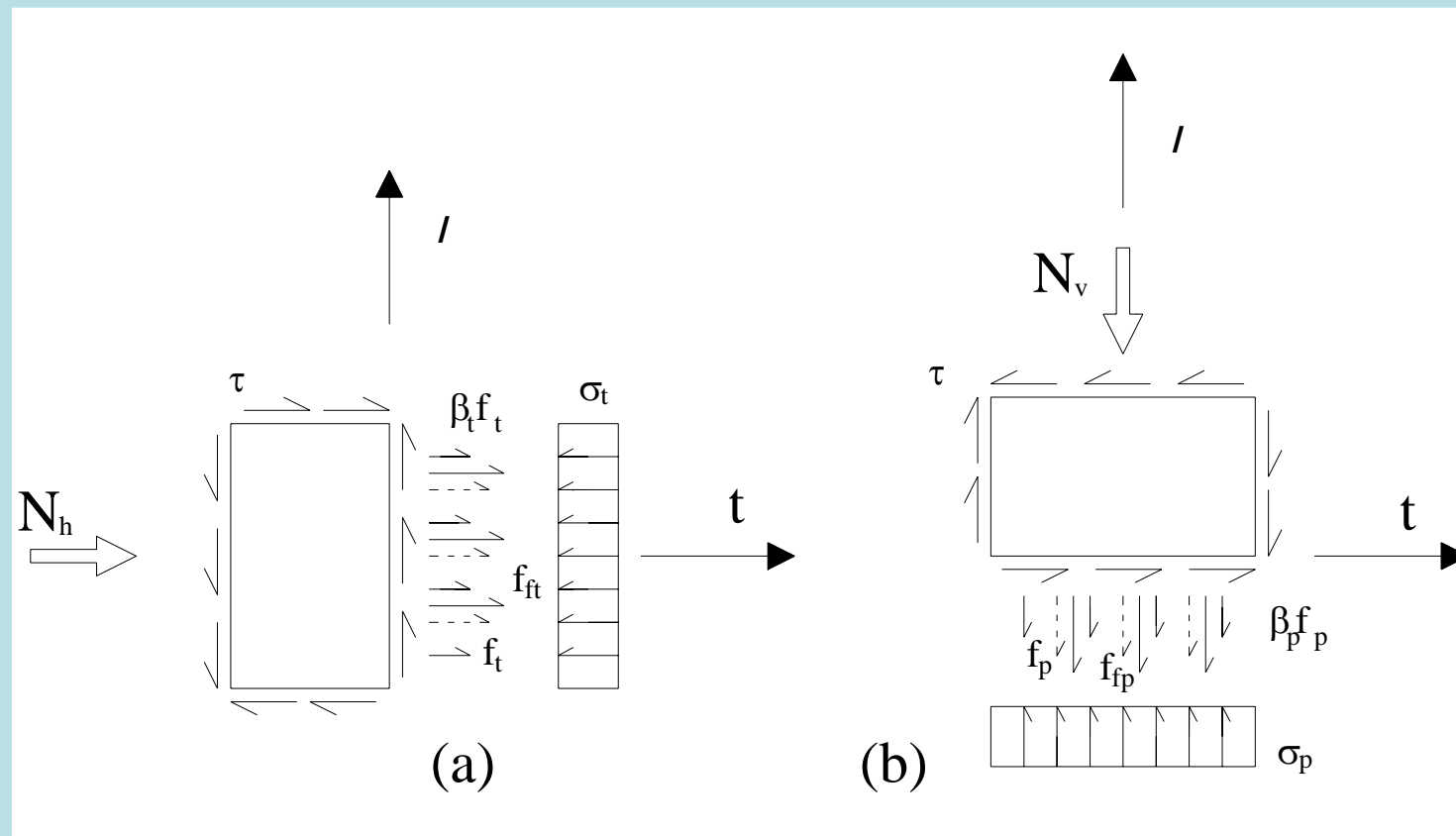
*Percentuale geometrica di rinforzo delle staffe nel nodo*

*Percentuale geometrica del rinforzo di parete*





# Procedimento analitico



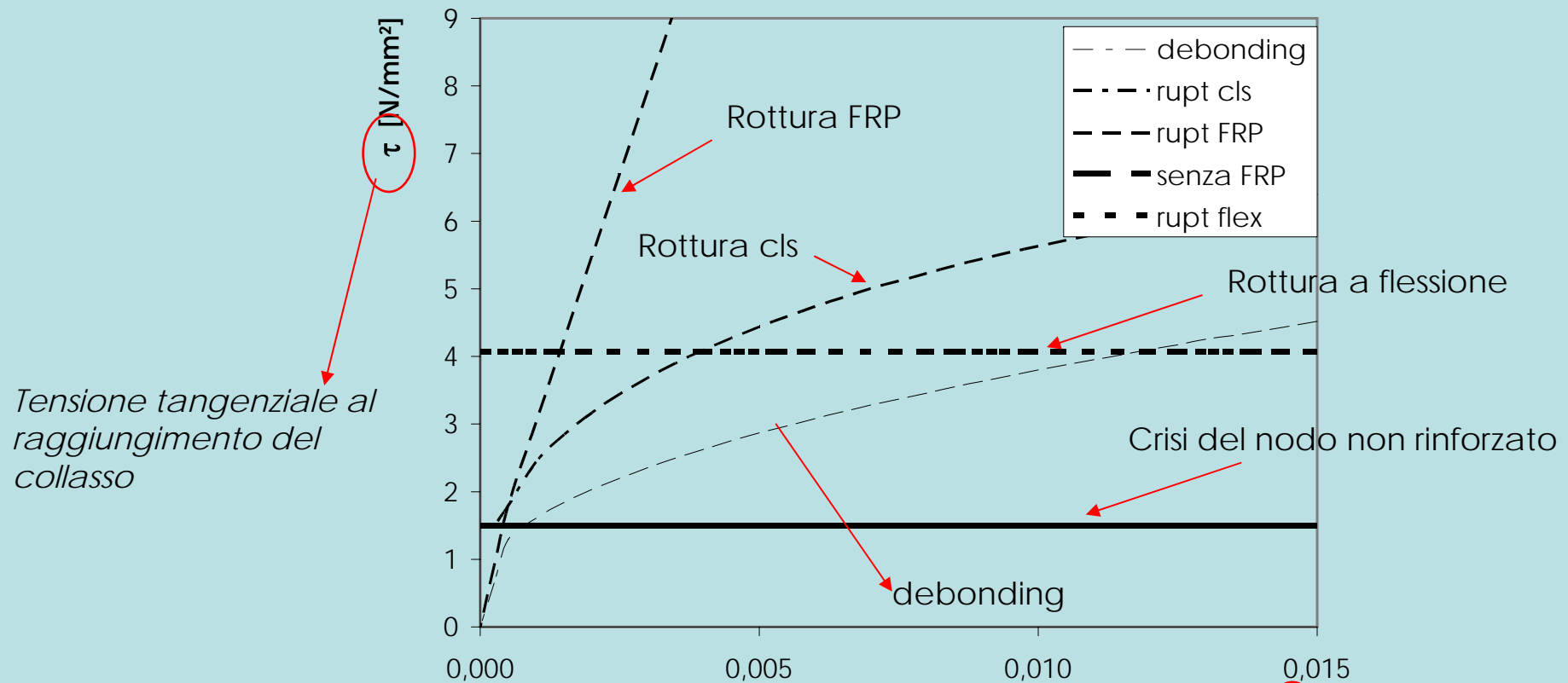
*Equilibrio: direzione trasversale (a) e longitudinale (b)*



# Procedimento analitico



## ➤ Varie modalità di rottura



Tensione tangenziale al raggiungimento del collasso

Curve  $\tau$ - $pf$ .  $\beta=0$ ,  $N_v/bh=2.04$ ,  $V_p=0.5$

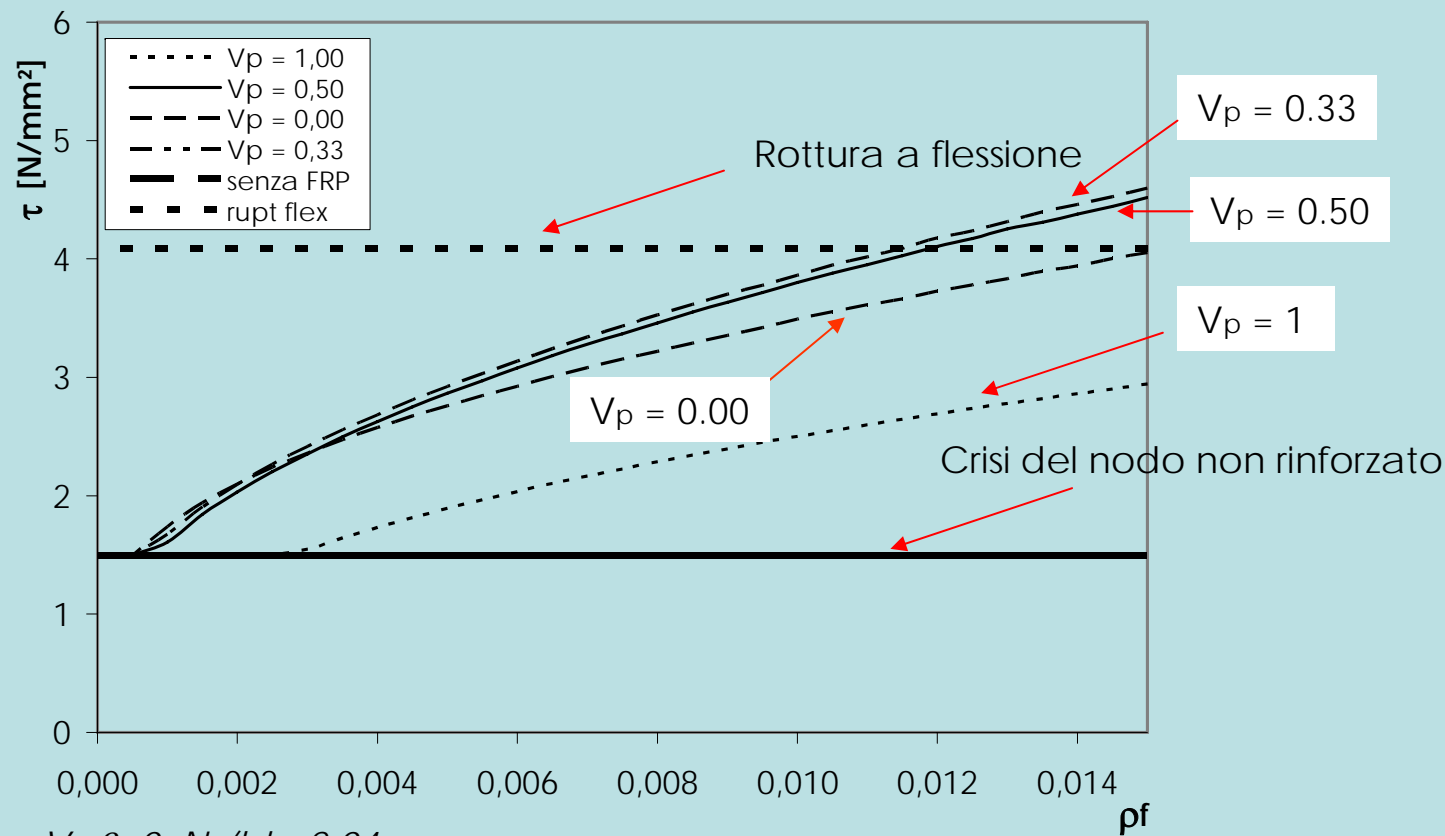
Percentuale geometrica di rinforzo in FRP nella trave



# Procedimento analitico



- Variazione della tensione tangenziale di rottura del nodo in funzione di  $V_p$  e di  $\rho_f$



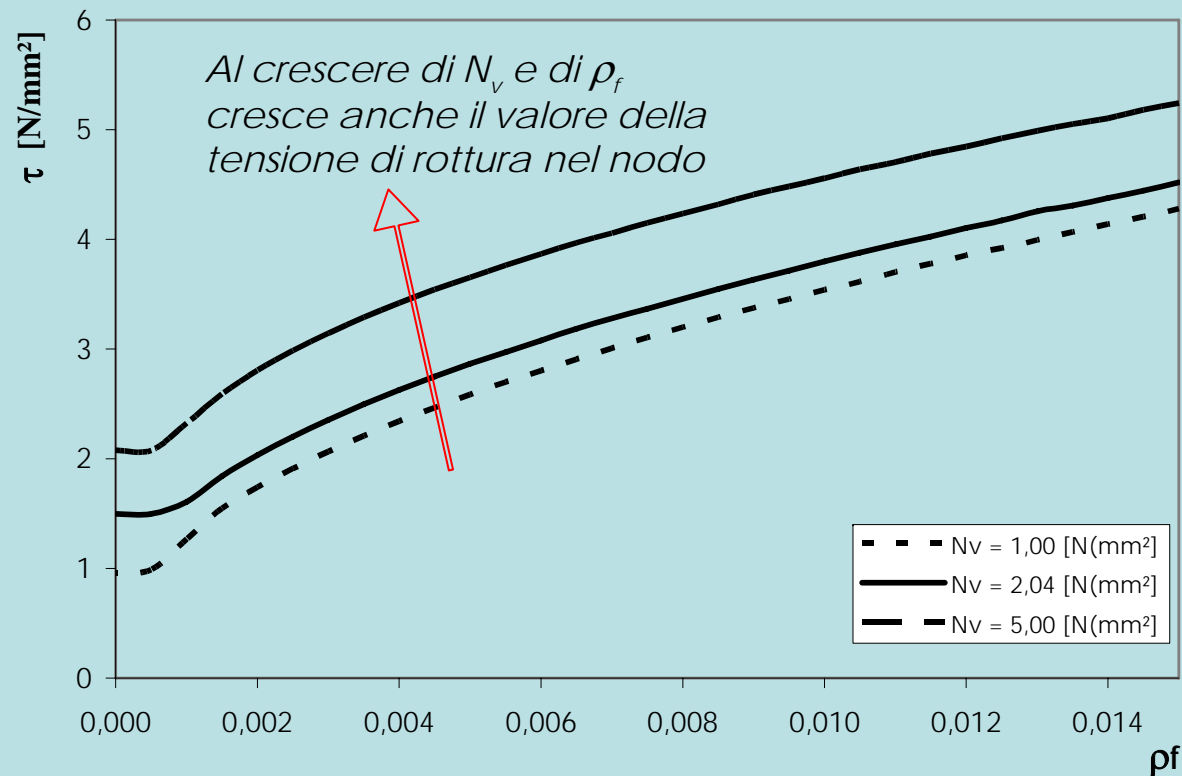
Curve  $\tau$ - $\rho_f$ - $V_p$ ,  $\beta=0$ ,  $N_v/bh=2.04$



# Procedimento analitico



- Influenza del valore dello sforzo assiale agente sul pilastro



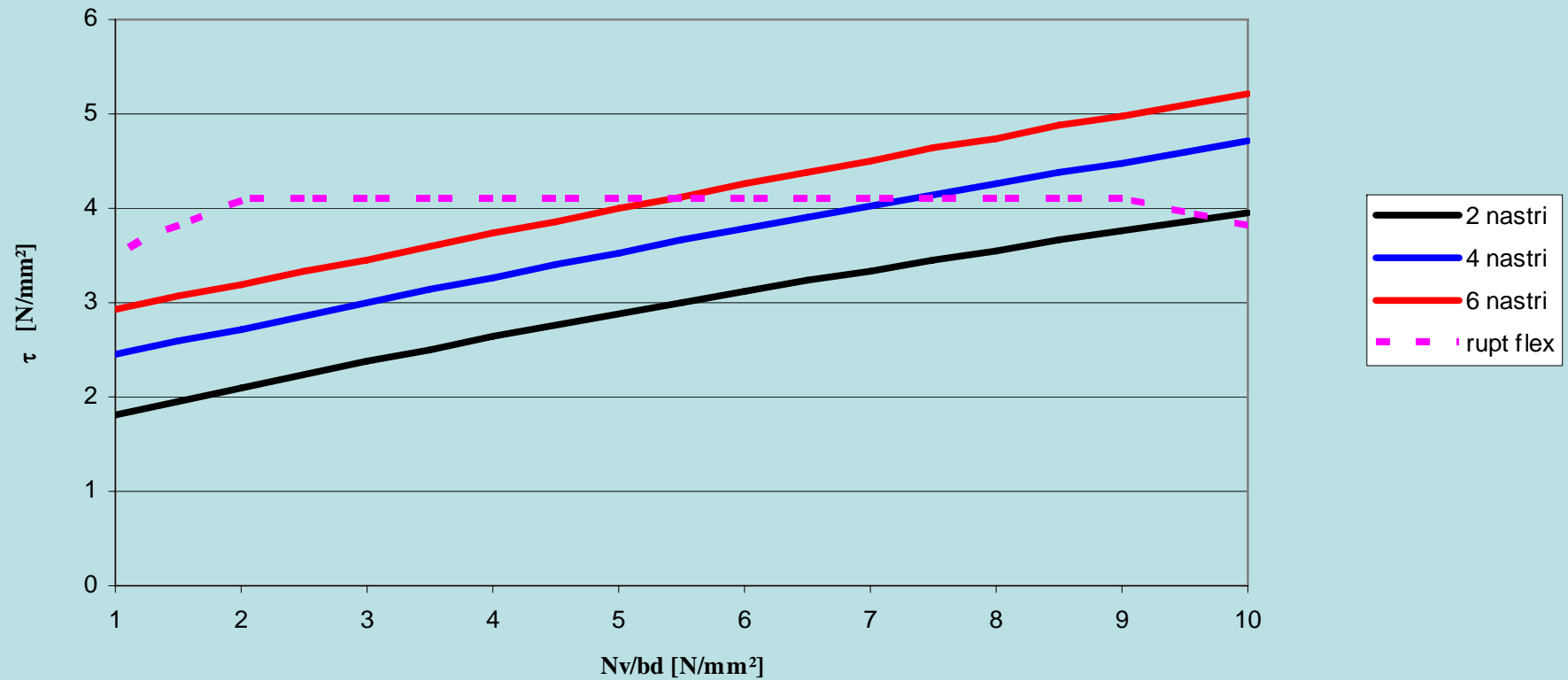
Curve  $\tau$ - $\rho_f$   $N_v/bh$   $\beta=0$ ,  $V_p=0.5$



# Procedimento analitico

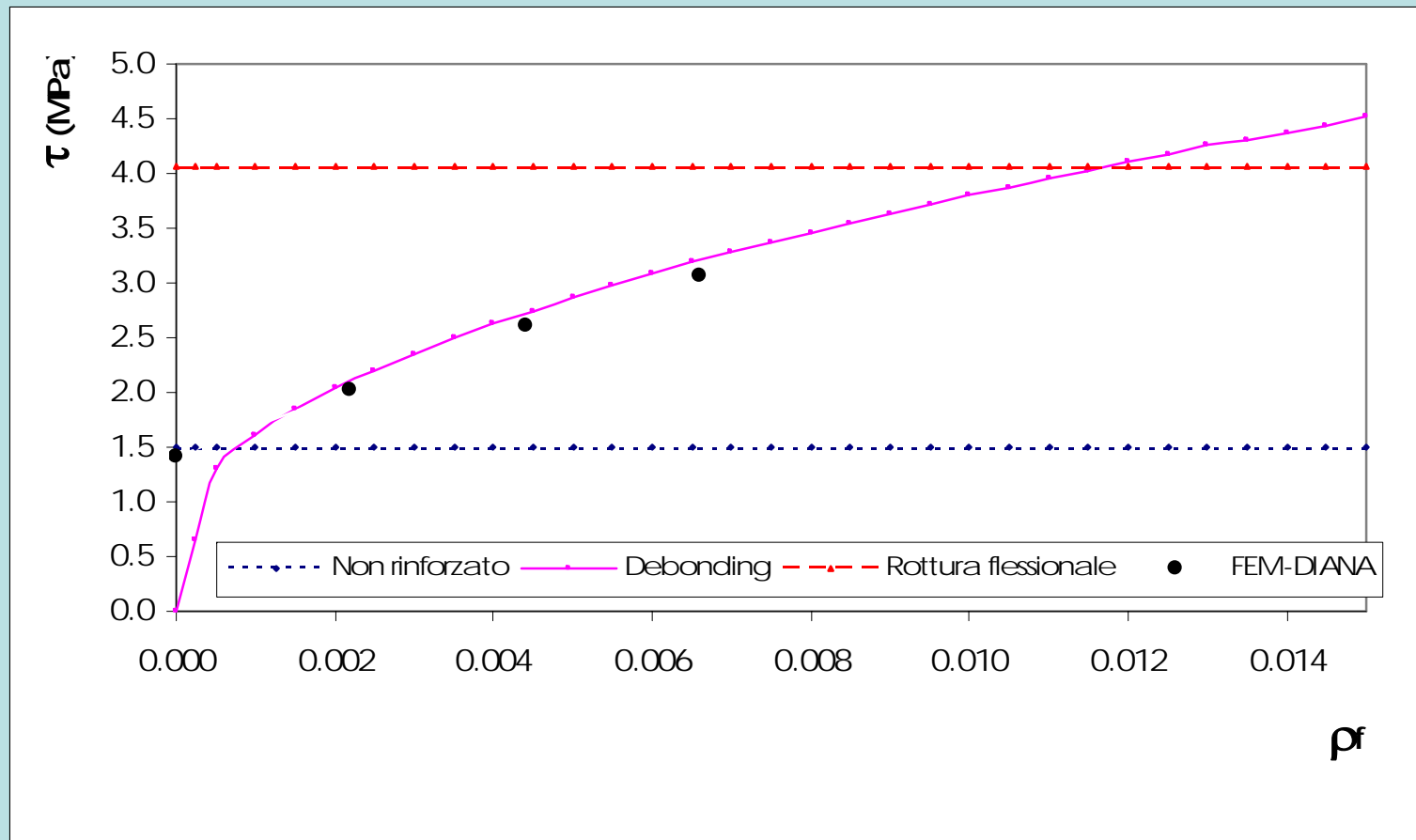


Tensione tangenziale a rottura al variare della sollecitazione assiale sul pilastro  
con  $\beta = 0,00$  per diverse percentuali geometriche di FRP



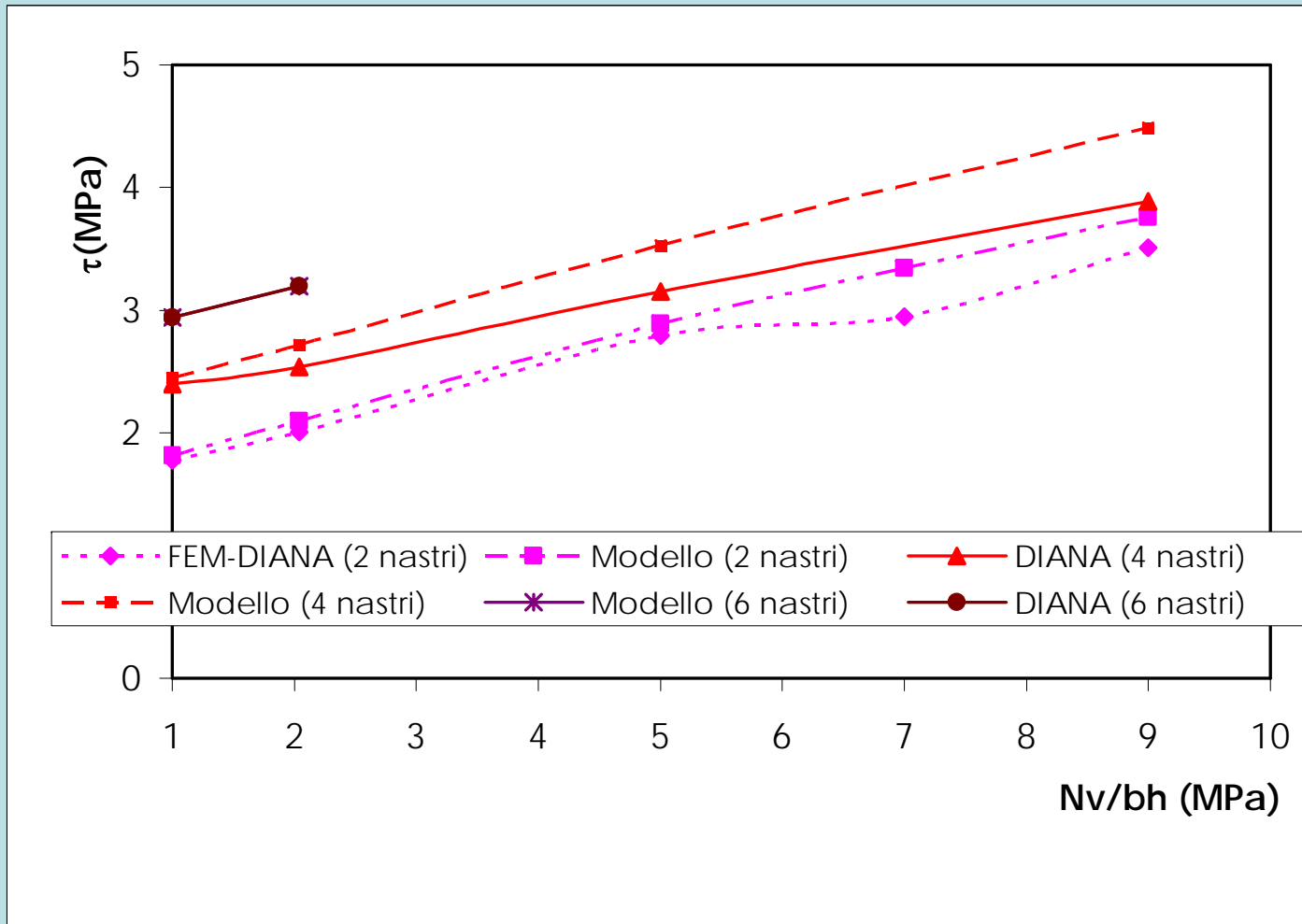


# Confronto





# Confronto





# Conclusioni



- La tecnica di rinforzo adoperata garantisce un notevole incremento di capacità resistente e consente di escludere la crisi per taglio e spostare la formazione delle cerniere plastiche all'interno della trave, per opportuni valori della percentuale di rinforzo
  
- L'efficacia del modello analitico per la configurazione di nodo analizzata suggerisce la possibilità di estendere lo stesso ad altre configurazioni di rinforzo





# Work in progress



- 
- Indagine sperimentale
  - Analisi di configurazioni di rinforzo alternative e confronto dei risultati



*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la  
Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture*  
Università degli Studi di Salerno – Consorzio ReLUIS, 12-13 Febbraio 2007



# Analisi teorica di nodi travi- colonna esterni in c.a. rinforzati mediante FRP

M.A. Aiello, L. Ombres e E. Vincenti

[antonieta.aiello@unile.it](mailto:antonieta.aiello@unile.it), [elisa.vincenti@unile.it](mailto:elisa.vincenti@unile.it), [l.ombres@strutture.unical.it](mailto:l.ombres@strutture.unical.it)



  
Università della  
Calabria