

Formule per la verifica ed il progetto del rinforzo in FRP di pilastri rettangolari soggetti a pressoflessione deviata

Giorgio Monti, Silvia Alessandri
Università di Roma "La Sapienza"





Contenuti

- **Approccio approssimato** per la costruzione della superficie di collasso 3D
- Equazioni in forma chiusa per la **verifica** di pilastri esistenti (dominio di interazione)
- Equazioni in forma chiusa per il **progetto** del rinforzo in FRP (dominio di interazione)
- **Procedura** di verifica del pilastro e di progetto del rinforzo in FRP.

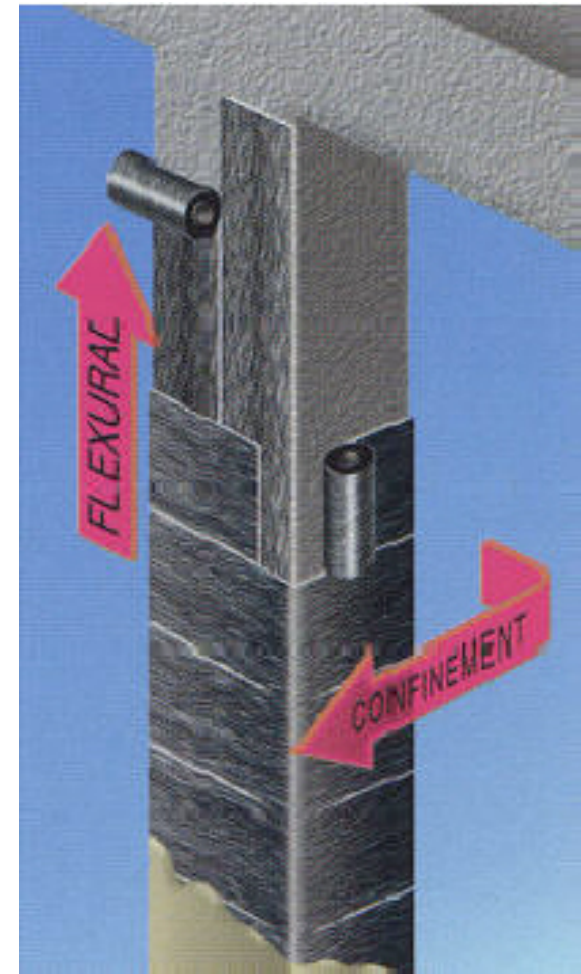
Introduzione

- Edifici in c.a. progettati secondo i vecchi codici normativi possono andare incontro a situazioni pericolose con effetti catastrofici.
- Una tipica inadeguatezza risiede nel meccanismo di “trave forte-pilastro debole”.



Introduzione

- **Obiettivo:** rinforzare tutti i pilastri nelle zone di potenziale formazione delle cerniere plastiche
- **Metodo:** applicare fogli di FRP lungo le facce del pilastro, con le fibre parallele all'asse, nelle zone terminali.





Obiettivi e Metodi

- **Obiettivi:**

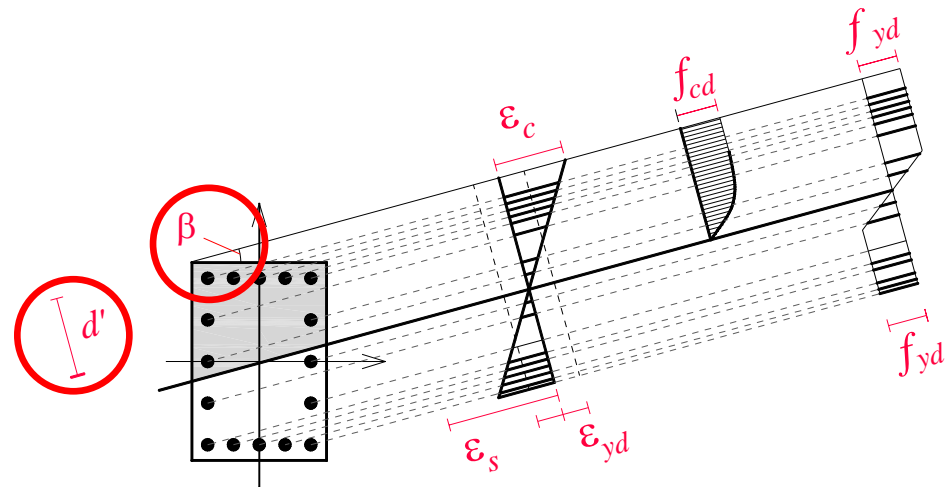
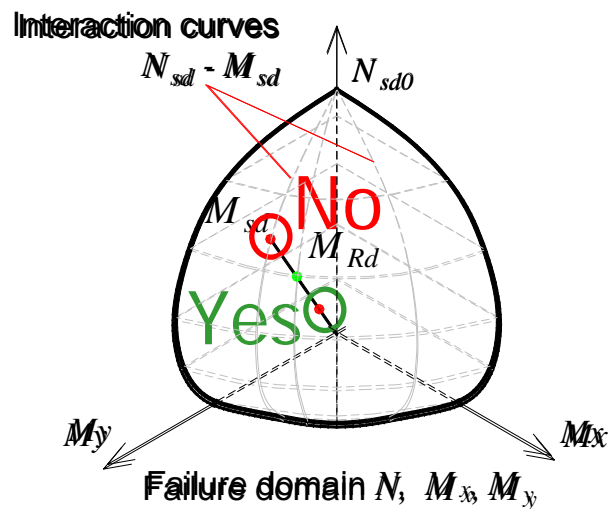
- Trovare una **procedura semplice** per il progetto del rinforzo flessionale in FRP per pilastri sotto dimensionati
- Controllando il relativo modo di collasso.

- **Metodi:**

- Sviluppo di equazioni in forma chiusa per la verifica di **pilastri esistenti** (sezioni rettangolari con armatura doppia simmetrica) soggetti a pressoflessione deviata
- Estensione al caso di **pilastri rinforzati con FRP**
 - Uso per il progetto del rinforzo in FRP.

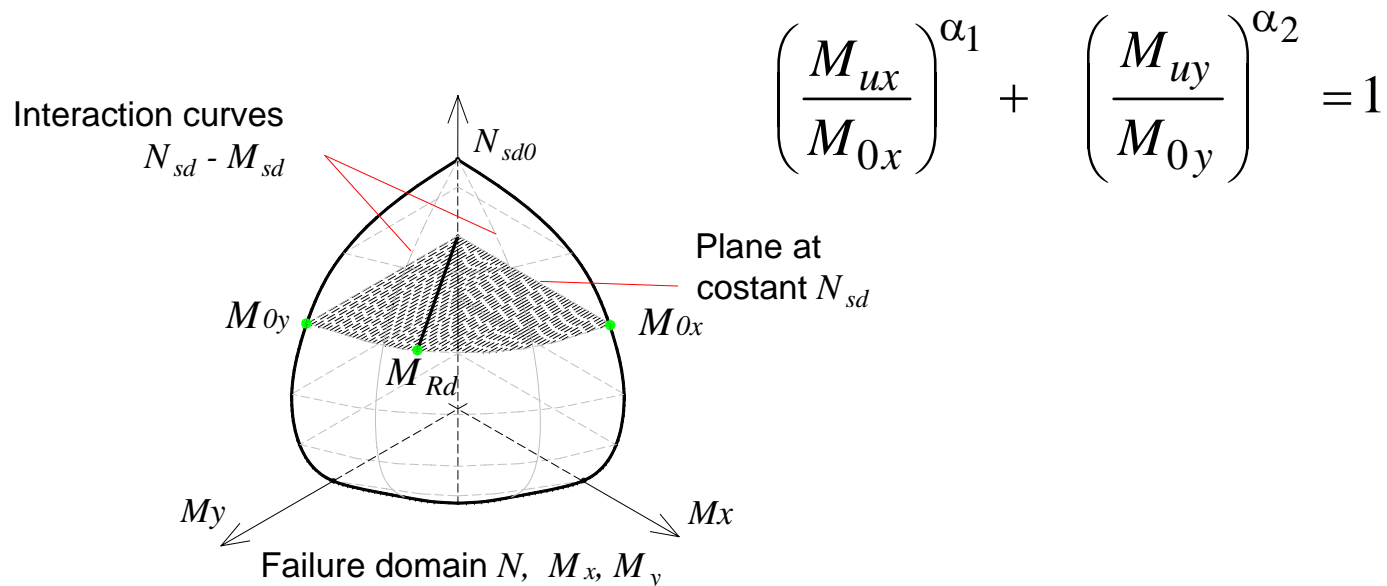
Verifica agli SLU (Approccio classico)

- La verifica della sezione è basata sul **dominio di interazione**
- Ciascun punto limite (N_{Sd} , $M_{Rd,x}$, $M_{Rd,y}$) è definito da:
 - inclinazione dell'asse neutro (β)
 - posizione dell'asse neutro (d')
- La valutazione avviene per **integrazione**



Approccio approssimato

- La superficie di collasso può essere **approssimata analiticamente** mediante **sezioni a sforzo assiale costante** (the load contour method, Bresler, 1960):





Approccio approssimato

- Gli esponenti α_1 e α_2 nell'equazione dipendono da:
 - Geometria della sezione trasversale,
 - Percentuale di armatura
 - Sforzo assiale
 - Percentuale di rinforzo (per sezioni con FRP)
- Bresler indicò per le sezioni in c.a.:
 - $1.15 \leq \alpha_1 = \alpha_2 \leq 1.55$



Valutazione dell'esponente α

- Una relazione tra α e i parametri adimensionali della sezione trasversale può essere espressa come:

$$\alpha = c \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^\gamma \cdot \mu_{sx}^{\eta_{sx}} \cdot \mu_{sy}^{\eta_{sy}} \cdot n_{Sd}^\omega$$

pilastri esistenti

- b = larghezza della sezione, h = altezza della sezione,
- μ_{sx}, μ_{sy} = percentuale meccanica di armatura disposta nella direzione dell'asse x e y , rispettivamente,
- n_{sd} = sforzo assiale normalizzato, dato da: $n_{Sd} = \frac{N_{Sd}}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h}$

c	γ	η_{sx}	η_{sy}	ω
1.15	0.01	0.03	0.03	0.07



Valutazione dell'esponente α

- Una relazione tra α e i parametri adimensionali della sezione trasversale può essere espressa come:

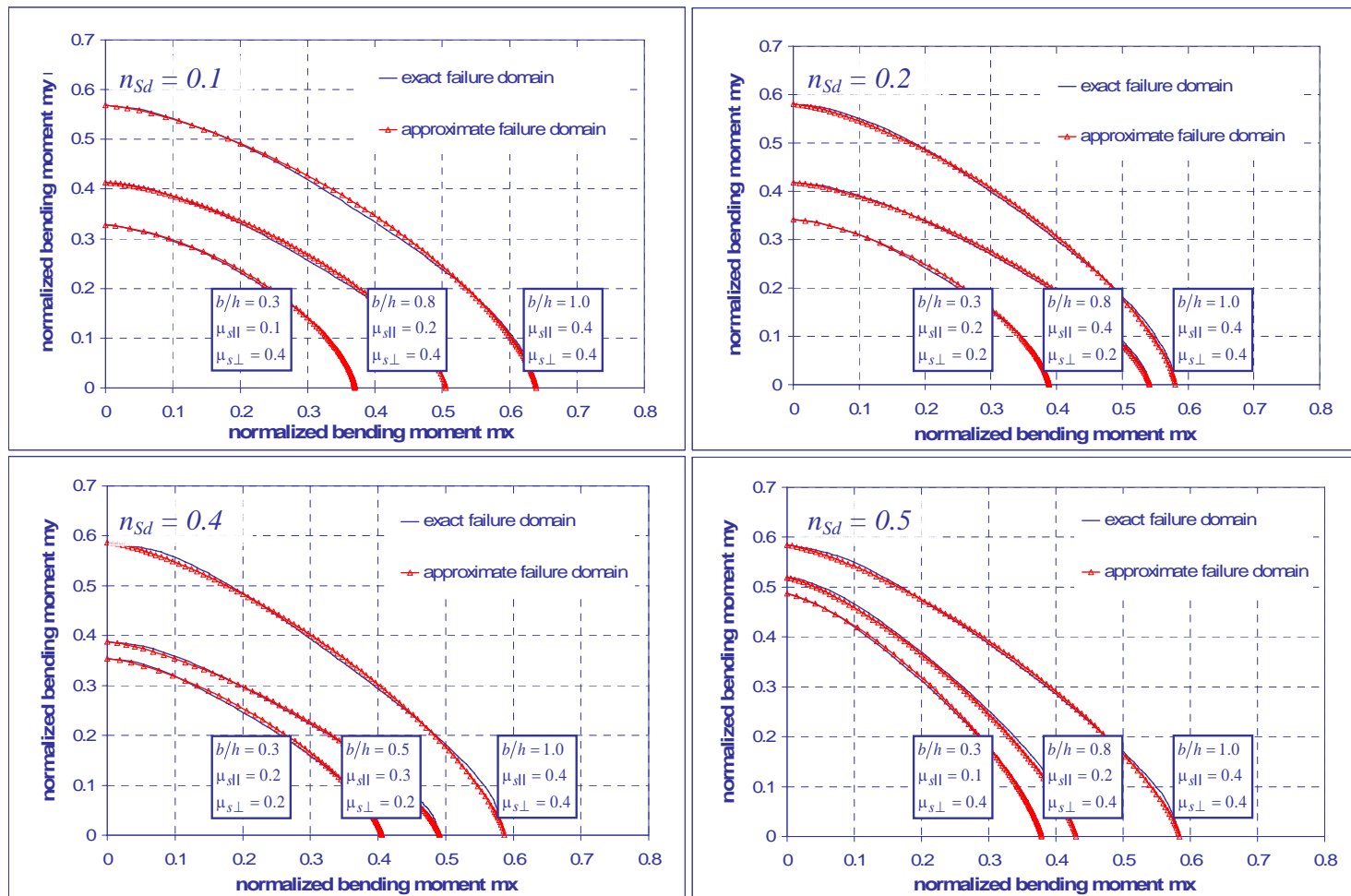
$$\alpha = c \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^\gamma \cdot \mu_{sx}^{\eta_{sx}} \cdot \mu_{sy}^{\eta_{sy}} \cdot n_{Sd}^\omega \quad \text{pilastri esistenti}$$

$$\alpha = c \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^\gamma \cdot \mu_{sx}^{\eta_{sx}} \cdot \mu_{sy}^{\eta_{sy}} \cdot n_{fx}^{\varepsilon_{fx}} \cdot n_{fy}^{\varepsilon_{fy}} \cdot n_{Sd}^\omega \quad \text{pilastri rinforzati con FRP}$$

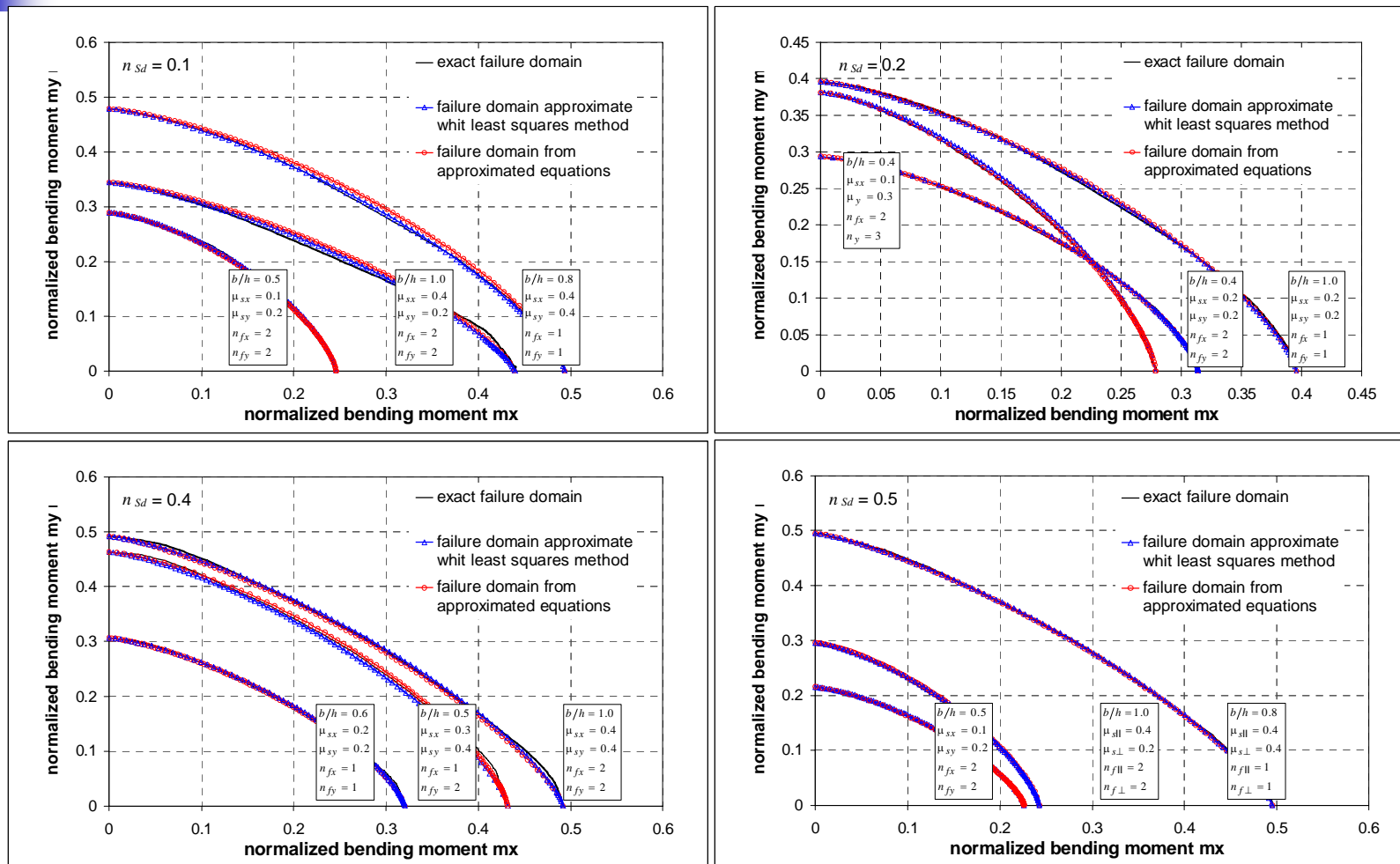
- n_{fx}, n_{fy} = numero di fogli di FRP parallelamente agli assi della sezione

c	γ	η_{sx}	η_{sy}	ε_{fx}	ε_{fy}	ω
1.27	-0.03	-0.045	0.02	-0.015	0.02	-0.07

Comparazione tra l'approccio esatto approssimato per pilastri non rinforzati



Comparazione tra l'approccio esatto approssimato per pilastri rinforzati con FRP



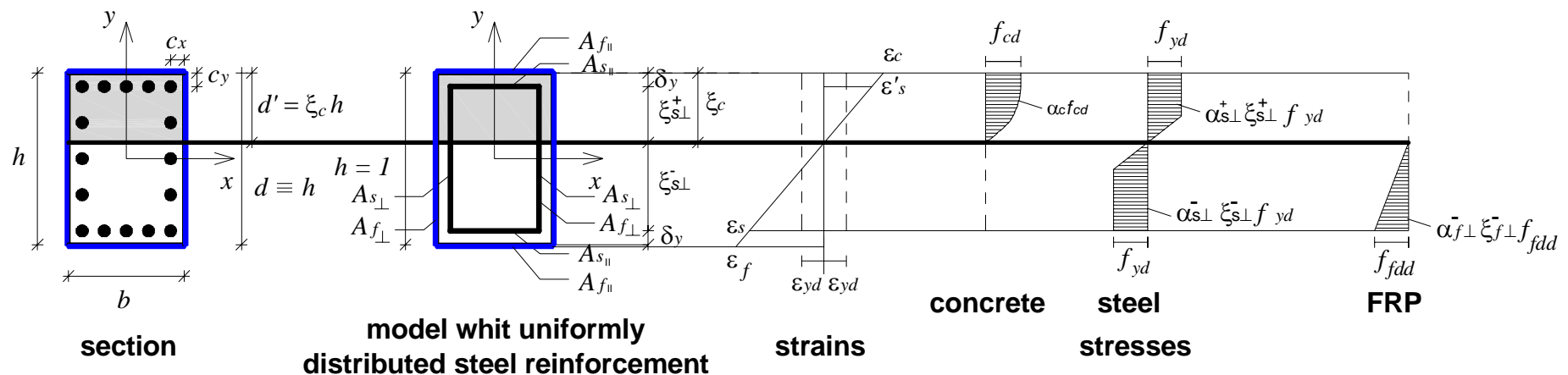


Calcolo dei momenti resistenti

- I momenti resistenti uniassiali possono essere ottenuti mediante **equazioni** approssimate in **forma chiusa** basate sulle seguenti ipotesi:
 - Armatura uniformemente distribuita lungo il contorno della sezione
 - Leggi tensione – deformazione non lineari per:
 - acciaio (bilineare)
 - calcestruzzo (parabola-rettangolo)
 - Rapporto di copriferro $\delta=0.05$
 - Limite campo 1a:
 - si trascura l'armatura superiore parallela tesa
 - l'armatura ortogonale si considera interamente snervata

Equazioni di equilibrio

- Le equazioni di equilibrio possono essere scritte in forma adimensionale
- Forze e momenti nell'acciaio nel calcestruzzo e nell'FRP possono essere espresse in funzione dei diagrammi equivalententi delle tensioni.





Approccio approssimato

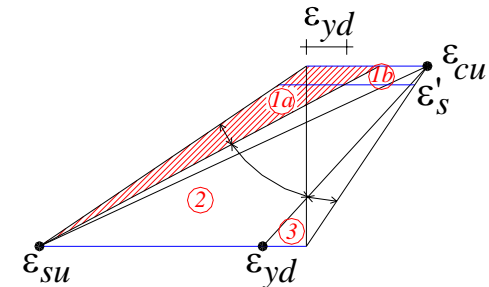
- Per evitare la soluzione iterativa dell'approccio classico:
 - La posizione dell'asse è ottenuta in funzione dello sforzo assiale normalizzato
 - Diverse funzioni sono state sviluppate per i diversi **modi di collasso** della sezione

Posizione dell'asse neutro per sezioni non rinforzate

- Modo di collasso 1a:

- La relazione quadratica tra la posizione dell'asse neutro, ξ_c , e n_{sd} può essere approssimata con il **metodo della secante**:

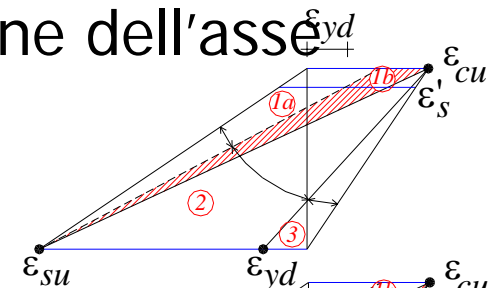
$$\xi_c = \frac{(n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp} + \mu_{s\parallel})}{(0.8 + 4.4\mu_{s\perp}) + \frac{\mu_{s\parallel}}{\xi_1}}$$



- Modo di collasso 1b:

- Assumendo α_c costante la posizione dell'asse neutro è:

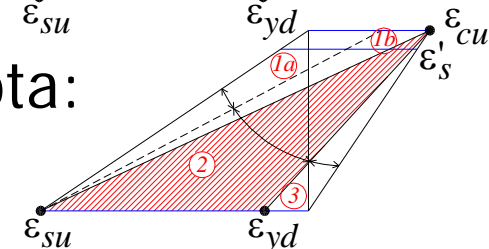
$$\xi_c = \frac{n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp}}{0.8 + 4.4\mu_{s\perp}}$$



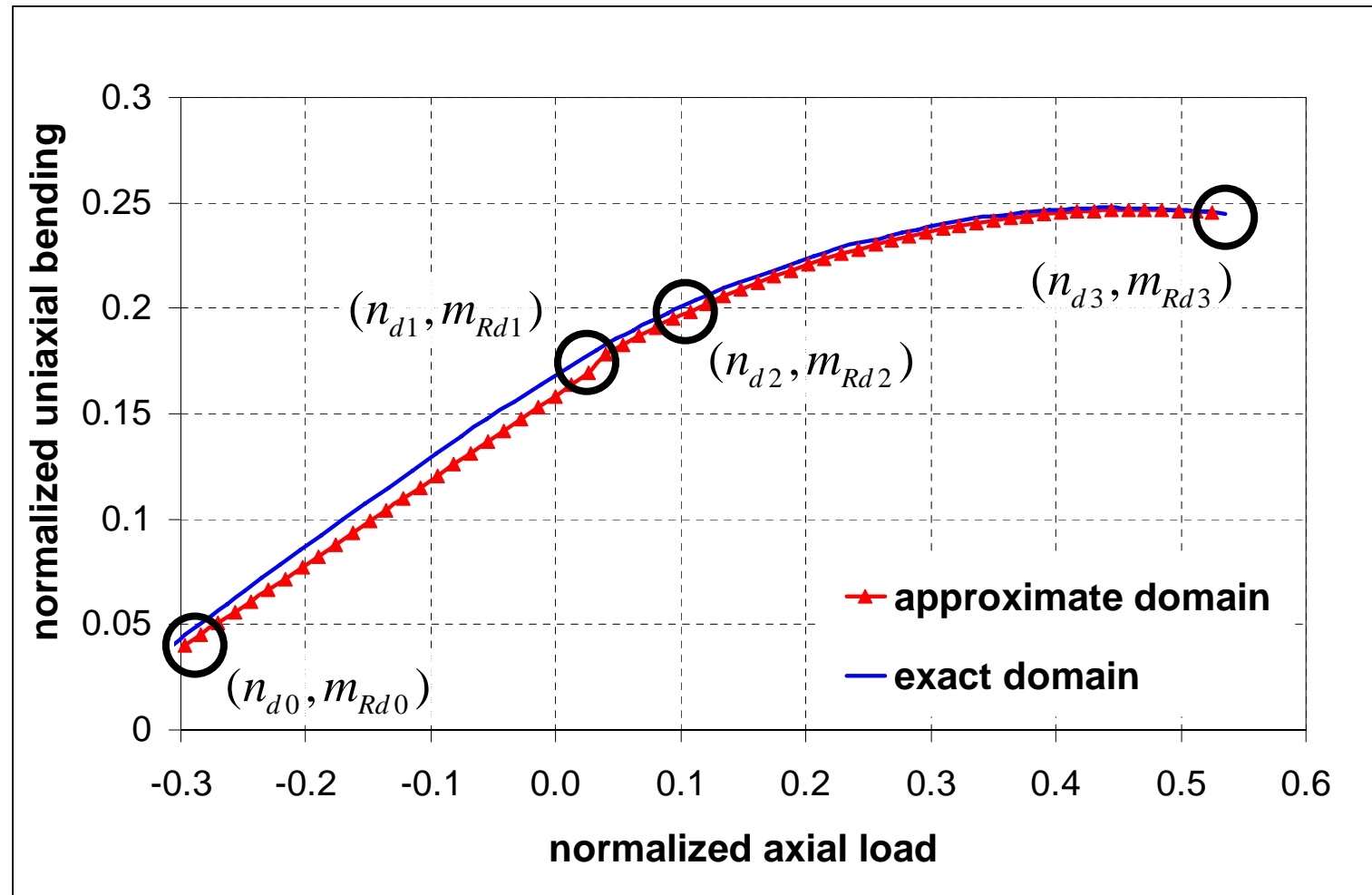
- Modo di collasso 2:

- La posizione dell'asse neutro è nota:

$$\xi_c = \frac{n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp}}{0.8 + 4.4\mu_{s\perp}}$$



Comparazione tra metodo esatto e metodo approssimato





Posizione dell'asse neutro per sezioni rinforzate in FRP

- La **posizione dell'asse neutro** è ottenuta in funzione dello sforzo assiale normalizzato per i diversi **modi di collasso** della sezione
- Si utilizza il metodo della secante tra i limiti dei modi di collasso i e $i+1$:

$$\xi_c(i, i+1) = \xi_i + \frac{(n_{sd} - n_i)(\xi_{i+1} - \xi_i)}{(\eta_{i+1} - \eta_i) + (\xi_{i+1} - \xi_i)(4.4\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp})}$$

Posizione dell'asse neutro

- Modo di collasso 1a:

$$\xi_c = \frac{(n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp} + \mu_{s\parallel} + \mu_{f\perp} + \mu_{f\parallel})}{(0.8 + 4.4\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp}) + \frac{\mu_{s\parallel}}{\xi_1}}$$

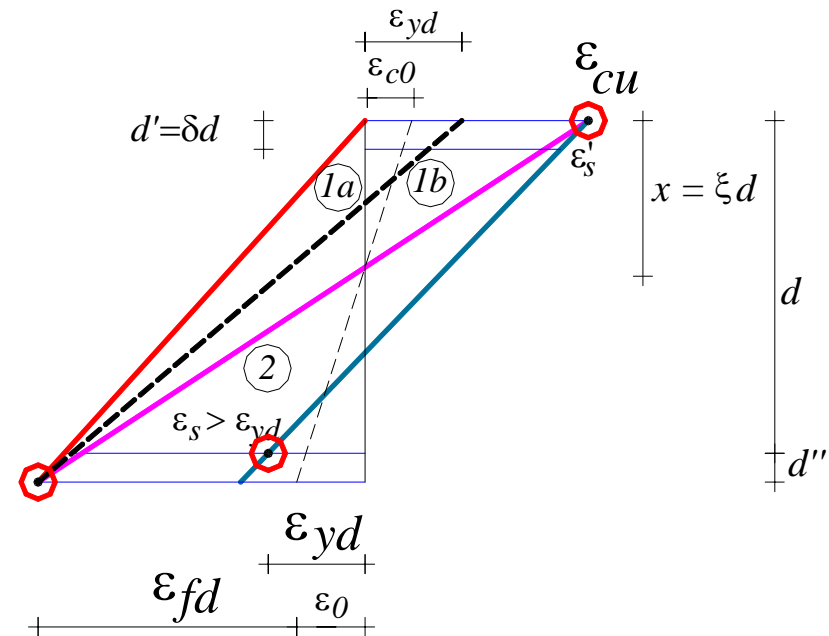
- Modo di collasso 1b:

$$\xi_c = \frac{n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp} + \mu_{f\parallel}}{0.8 + 4.4\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp}}$$

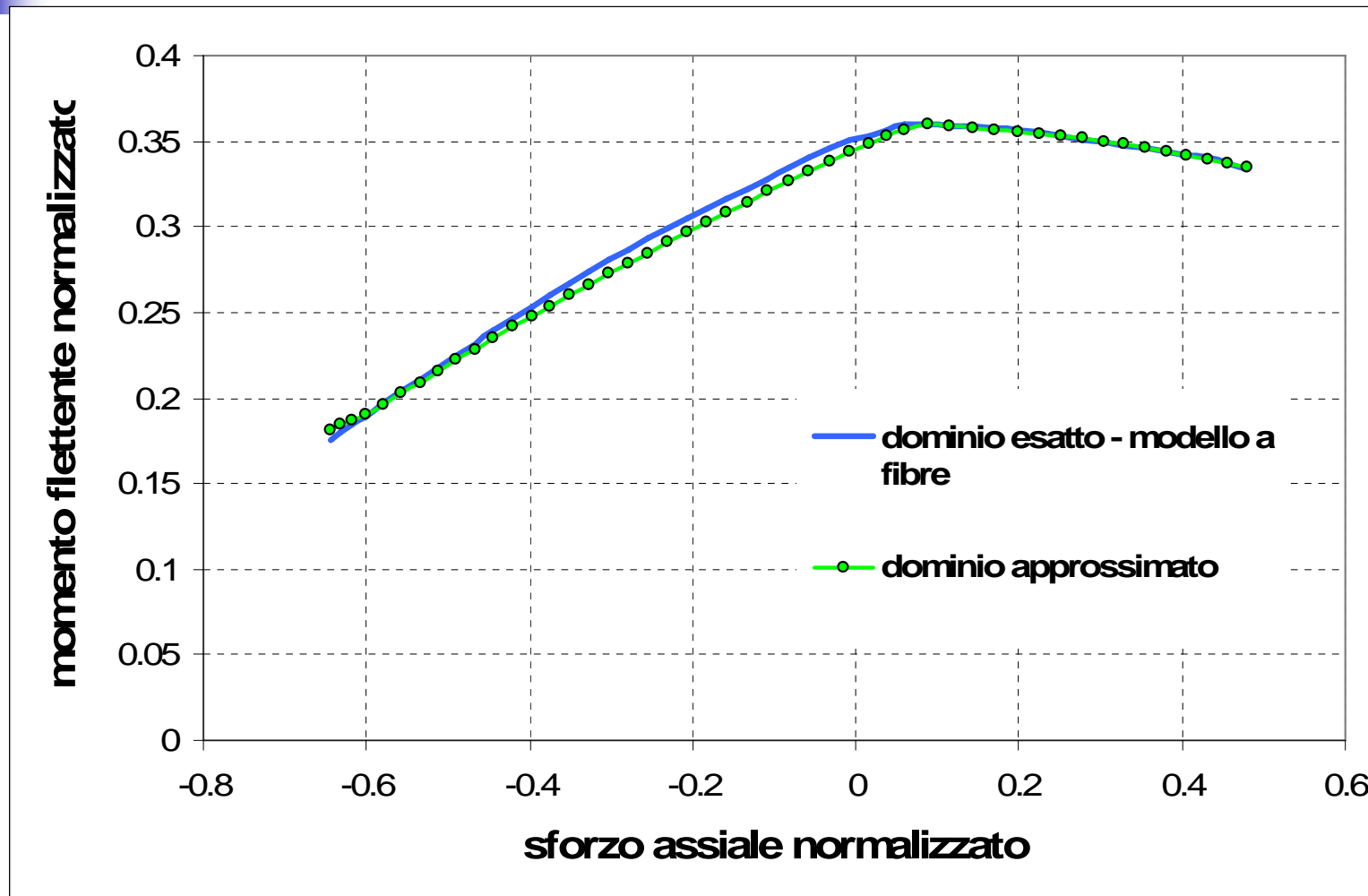
- Modo di collasso 2:

$$\xi_c = \frac{(n_{sd} + 2.2\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp} + \mu_{f\parallel}) + \xi_2 A}{(0.8 + 4\mu_{s\perp} + \mu_{f\perp}) + A}$$

$$A = \frac{(1-r)[\mu_{f\perp}(1-\xi_3) + \mu_{f\parallel}]}{(\xi_3 - \xi_2)}$$

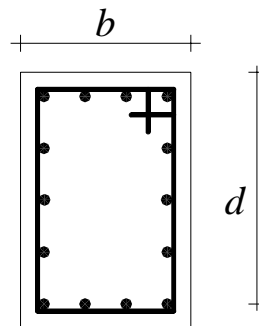


Comparazione tra metodo esatto e metodo approssimato



Procedura per la verifica ed in progetto della sezione a pressoflessione deviata

- Consideriamo un pilastro esistente in c.a. avente RC:
 - una sezione rettangolare con base b e altezza h
 - l'**armatura è simmetrica** rispetto agli assi





PROCEDURA DI VERIFICA PER LA SEZIONE NON RINFORZATA

Passo 1: Calcolo dello sforzo assiale normalizzato in corrispondenza dei limiti tra i modi di collasso

Passo 2: Calcolo della posizione dell'asse neutro

Passo 3: Calcolo dei momenti resistenti uniassiali

Passo 4: Calcolo dell'esponente α

Passo 5: Verifica della disuguaglianza:
$$\left(\frac{m_{Sdx}}{m_{0x}(n_{Sd})} \right)^\alpha + \left(\frac{m_{Sdy}}{m_{0y}(n_{Sd})} \right)^\alpha \leq 1$$

Passo 6: Se la disuguaglianza al Passo 5 non risulta soddisfatta o si vuole incrementare la capacità resistente del pilastro occorre progettare il rinforzo in FRP



PROCEDURA DI PROGETTO DEL RINFORZO IN FRP

Passo 1: Scelta dello spessore e della larghezza dei fogli da utilizzare

Passo 2: Calcolo dei valori dello sforzo assiale normalizzato in corrispondenza dei limiti tra i modi di collasso

Passo 3: Calcolo della posizione dell'asse neutro

Passo 4: Calcolo dei momenti resistenti uniassiali

Passo 5: Calcolo dell'esponente α

Passo 6: Verifica della disuguaglianza: $\left(\frac{m_{Sdx}}{m_{0x}(n_{Sd})}\right)^\alpha + \left(\frac{m_{Sdy}}{m_{0y}(n_{Sd})}\right)^\alpha \leq 1$

Passo 7: Se la disuguaglianza al Passo 6 non è soddisfatta si aggiunge un altro foglio di FRP e si ricomincia dal Passo 2.



Conclusioni

- E' stato proposto un metodo per:
 - la verifica di una sezione rettangolare in c.a. con armatura doppia simmetrica
 - per il progetto del rinforzo in FRP
- Il metodo introduce equazioni semplificate in forma chiusa
- Dato lo sforzo normale agente:
 - Si determina il modo di collasso della sezione
 - Si calcolano i corrispondenti momenti resistenti
- I domini d'interazione approssimati si discostano poco da quelli ottenuti con un modello a fibre della sezione