



Università degli studi di Napoli "Federico II"

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

# IL RUOLO DEL COEFFICIENTE DI SOVRARESISTENZA NELLA GERARCHIA TRAVE-COLONNA DI ELEMENTI IN C.A.

*Relatore:*

*Ch.mo Prof. Gerardo M. Verderame*

*Correlatore:*

*Ing. Paolo Ricci*

*Candidato:*

***Andrea Mariani***

*Matr. N49/158*

ANNO ACCADEMICO 2012 – 2013

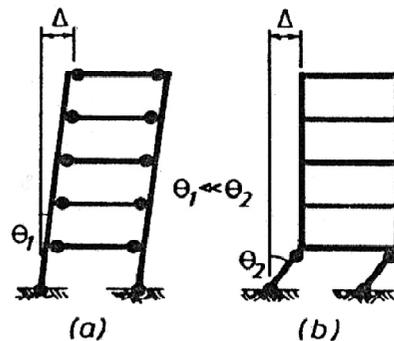


# Introduzione

---

Le strutture in c.a. ordinarie devono essere in grado di rispondere ad azioni sismiche di elevata intensità sviluppando meccanismi deformativi post-elastici caratterizzati da adeguata duttilità, sia a livello globale che locale.

A tal fine, in fase di progetto si impone l'attingimento di un **meccanismo di collasso "globale"**: a parità di duttilità locale, tale meccanismo garantisce la maggiore duttilità globale possibile.



Confronto tra meccanismo di collasso "globale" e "locale" (Paulay and Priestley, 1992)

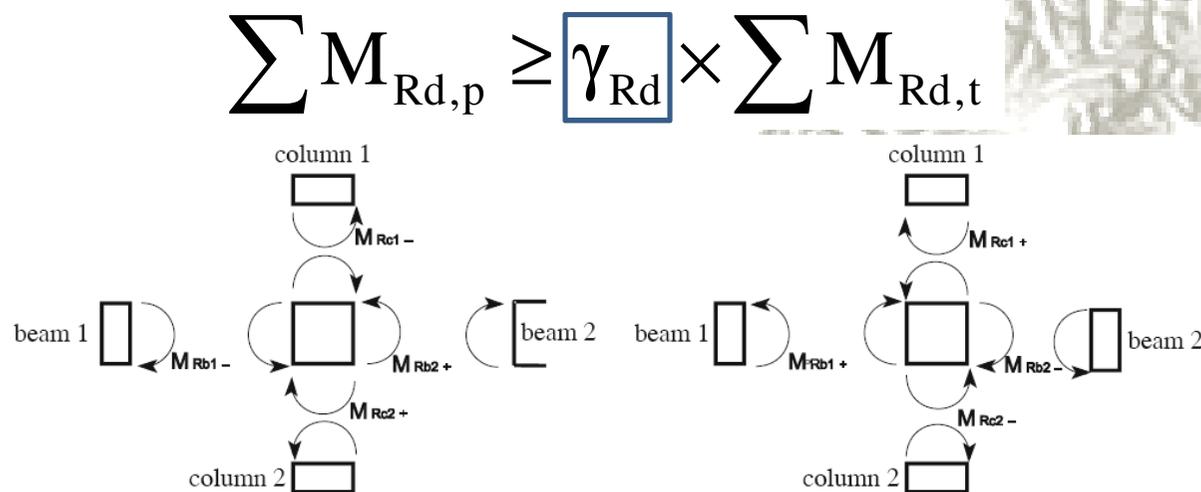
A livello locale, viene imposto il principio di "gerarchia delle resistenze", che assicura lo sviluppo di deformazioni inelastiche nel massimo numero di elementi caratterizzati dalla maggiore capacità rotazionale (travi e non pilastri), pervenendo così al suddetto meccanismo di collasso globale, e impedisce inoltre l'attivazione di meccanismi di crisi fragili, che possano limitare o inibire del tutto lo sviluppo di meccanismi deformativi duttili (flessionali).

# Introduzione

Questo principio si traduce, in particolare, nella progettazione dei pilastri sulla base dell'assegnazione di una sovraresistenza flessionale rispetto alle travi congiungenti nello stesso nodo.

Tale principio va sotto il nome di “**gerarchia delle resistenze trave-colonna**”.

La sovraresistenza flessionale dei pilastri si ottiene applicando un opportuno “coefficiente di sovraresistenza”,  $\gamma_{Rd}$  :

$$\sum M_{Rd,p} \geq \gamma_{Rd} \times \sum M_{Rd,t}$$


Nel presente studio si intende valutare il grado di sicurezza garantito dall'applicazione di tale coefficiente di sovraresistenza rispetto all'effettivo rispetto del principio di gerarchia delle resistenze trave-colonna, a partire dalle resistenze flessionali attese in funzione delle effettive resistenze dei materiali e delle relative variabilità.

# Obiettivo e Metodologia

---

## OBIETTIVO:

Valutazione della probabilità di “fallimento” del principio di gerarchia delle resistenza trave-pilastro.

## METODOLOGIA:

- Progetto delle sezioni di trave e pilastro convergenti in un nodo nel rispetto del principio di gerarchia delle resistenze
- Valutazione dei valori attesi delle resistenze dei materiali e della relativa variabilità
- Valutazione della reale distribuzione delle resistenze flessionali attese di trave e pilastro mediante simulazione Monte Carlo
- Calcolo, mediante approccio frequentistico, della probabilità di “fallimento” del principio di gerarchia delle resistenza trave-pilastro come frequenza dei casi in cui la resistenza della trave è maggiore della corrispondente resistenza del pilastro
- Valutazione dell’influenza del grado di correlazione tra la tensione di snervamento dell’armatura longitudinale della trave e quella del pilastro su tale probabilità
- Valutazione dell’influenza dell’effetto di incrudimento dell’acciaio su tale probabilità



# Dati di progetto

## ✓Elementi trave:

### Geometria:

- B = 300 mm
- H = 500 mm
- c = 30 mm

### Armatura:

- As = A's = 4φ14



$$M_{Rd} = 134.1 \text{ kNm}$$

## Materiali:

- Acciaio B450C
- Calcestruzzo C25/30

## ✓Elementi pilastro:

### Geometria:

- B = 300 mm
- H = 500 mm
- c = 30 mm

### Sforzo assiale:

- v<sub>d</sub> = 0.20

$$\sum M_{Rd,p} \geq \gamma_{Rd} \times \sum M_{Rd,t}$$



$$\gamma_{Rd} = 1.30$$

(NTC 2008, CD "A")

$$\text{▪As} = \text{A's} = 519 \text{ mm}^2$$

NOTA: non viene considerato il rispetto di minimi di armatura longitudinale nel pilastro, al fine di valutare il solo effetto dell'applicazione del coefficiente di sovraresistenza

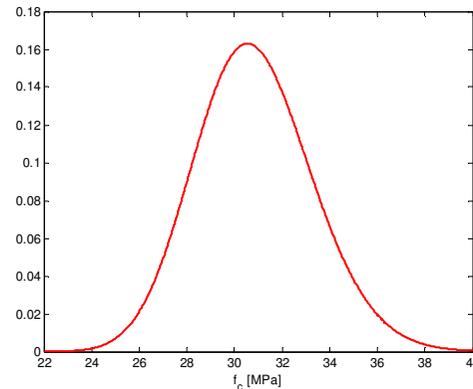
# Resistenze dei materiali

Caratteristiche attese dei materiali Calcestruzzo e Acciaio:

✓ Calcestruzzo:

$$f_{cm} = 29.8 \text{ MPa}$$

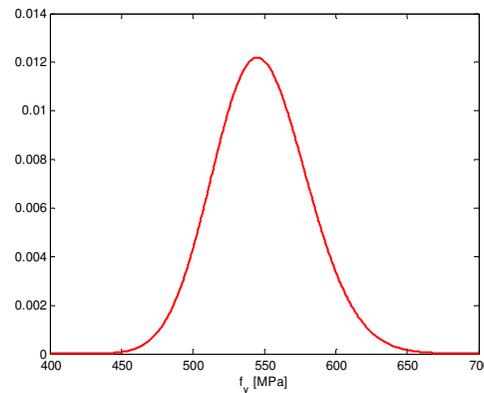
$$\text{CoV} = 0.08$$



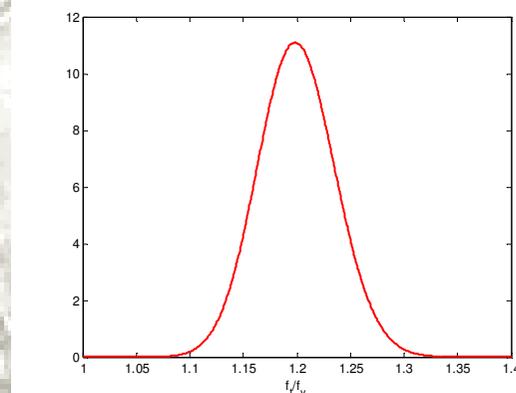
✓ Acciaio:

$$f_{ym} = 548 \text{ MPa}$$

$$\text{CoV} = 0.06$$



$$(f_t/f_y)_m = 1.20$$
$$\text{CoV} = 0.03$$



E. Cosenza, C. Galasso, G. Maddaloni, 2009. Resistenza del calcestruzzo: modellazione probabilistica e risultati sperimentali, Atti del XXV Convegno Nazionale AICAP "La progettazione e l'esecuzione delle opere strutturali nell'ottica della sostenibilità", Pisa, Italy, May 14–16. Paper No. 59.

C. Galasso, E. Cosenza, G. Maddaloni, 2011. Influence of seismic reinforcing steel properties on flexural overstrength of new designed RC beams. Atti del XIV Convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia", September 18-22, Bari, Italy.

# Valutazione meccanica della sovrarestistenza flessionale attesa

Assumendo valori medi delle caratteristiche dei materiali si ottiene:

$$\alpha_s = \frac{f_{ym}}{f_{yd}} = 1.40 \quad \alpha_c = \frac{f_{cm}}{f_{cd}} = 2.17$$

Sovrarestistenza flessionale del pilastro:

$$\frac{M_R}{M_{Rd}} = \frac{M_{R,s} + M_{R,c}}{M_{Rd,s} + M_{Rd,c}} = \frac{\alpha_s \cdot M_{Rd,s} + \left( \frac{1 - \nu_d / \alpha_c}{1 - \nu_d} \right) \cdot M_{Rd,c}}{M_{Rd,s} + M_{Rd,c}} = 1.27$$

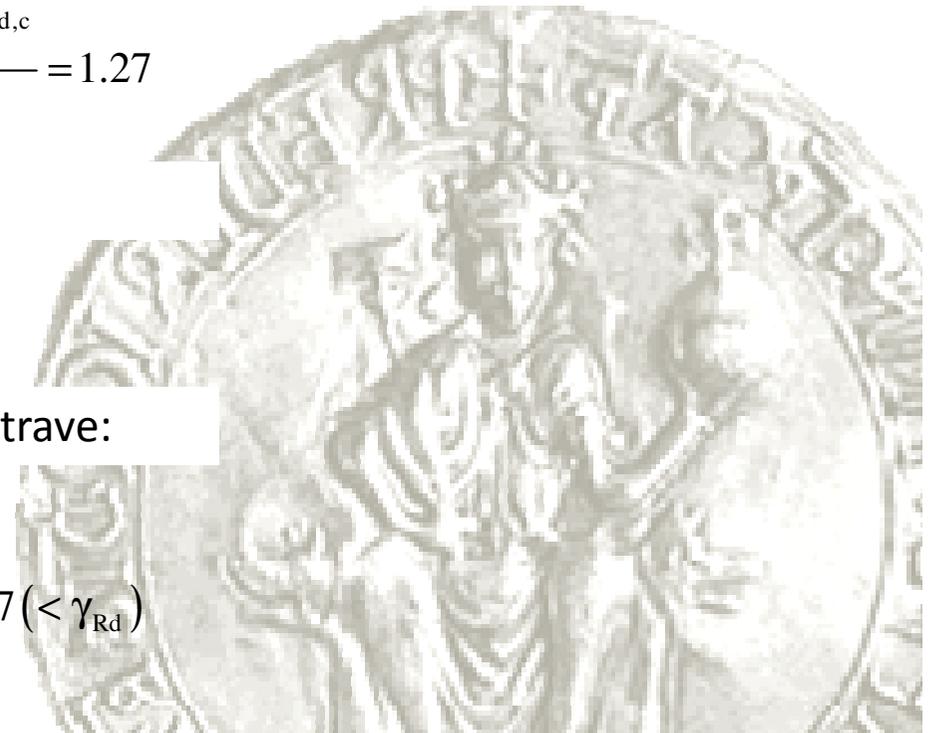
Sovrarestistenza flessionale della trave:

$$\frac{M_R}{M_{Rd}} = \frac{\alpha_s \cdot M_{Rd}}{M_{Rd}} = 1.40$$

Rapporto tra le resistenze flessionali di pilastro e trave:

$$\frac{M_{R,p}}{M_{R,t}} = \frac{M_{Rd,p} \cdot \frac{M_{R,p}}{M_{Rd,p}}}{M_{Rd,t} \cdot \frac{M_{R,t}}{M_{Rd,t}}} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{R,p}}{M_{R,t}} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{1.27}{1.40} = 1.17 (< \gamma_{Rd})$$

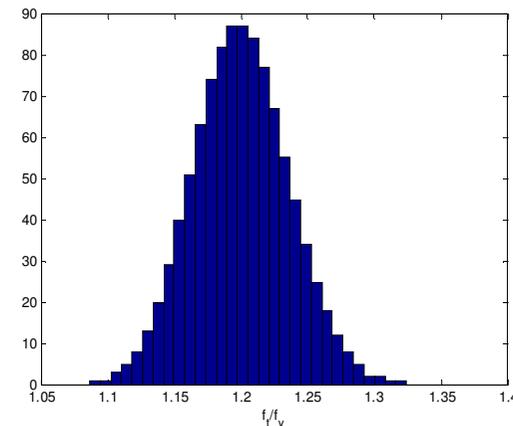
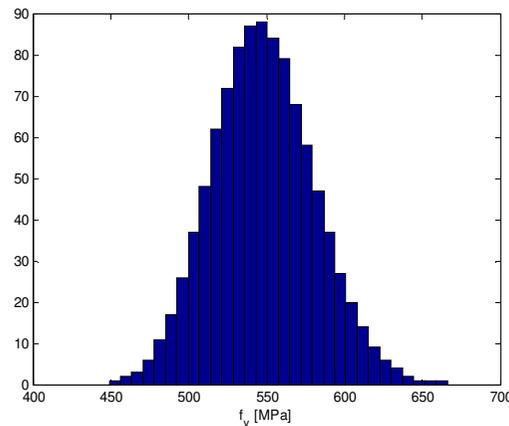
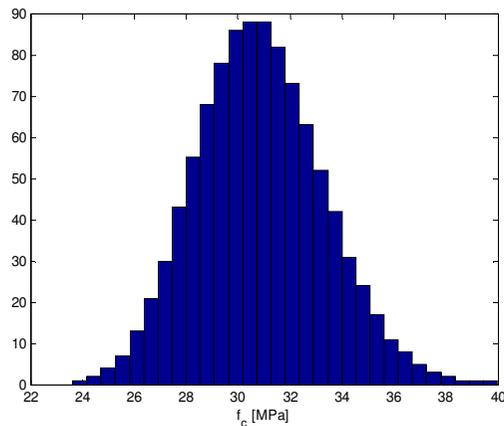
- ✓ Diminuzione del grado di sicurezza nel rispetto della gerarchia trave-pilastro dato dal passaggio da valori di design a valori medi delle resistenze dei materiali



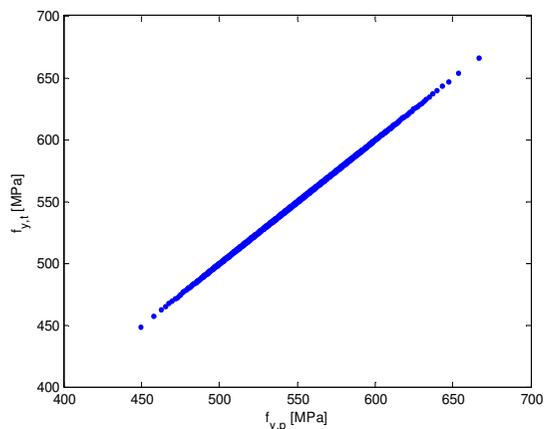
# Metodologia Monte Carlo

“Sampling” delle Variabili Aleatorie:

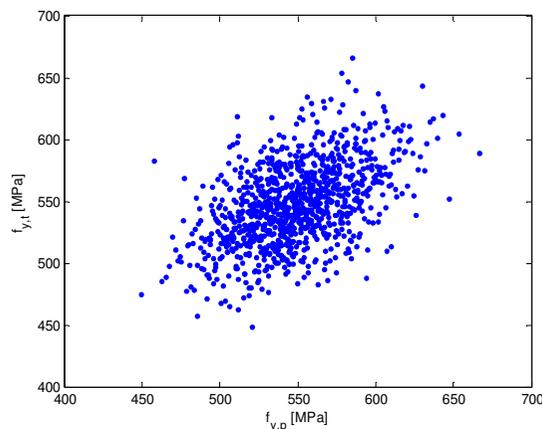
✓ 1000 estrazioni per “ $f_c$ ”, “ $f_y$ ” e “ $f_t/f_y$ ”:



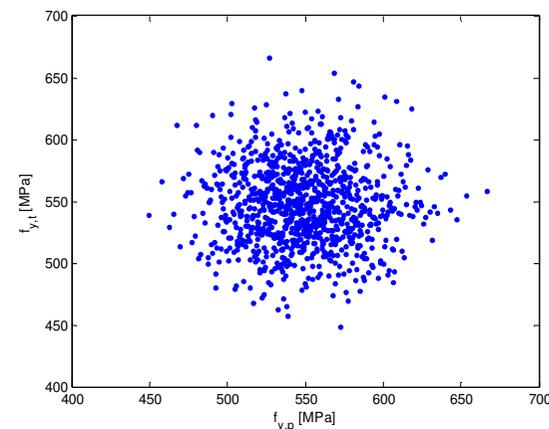
✓ Si analizza inoltre l'effetto del diverso grado di correlazione tra la tensione di snervamento longitudinale del pilastro e della trave:



$\rho=1$



$\rho=0,5$

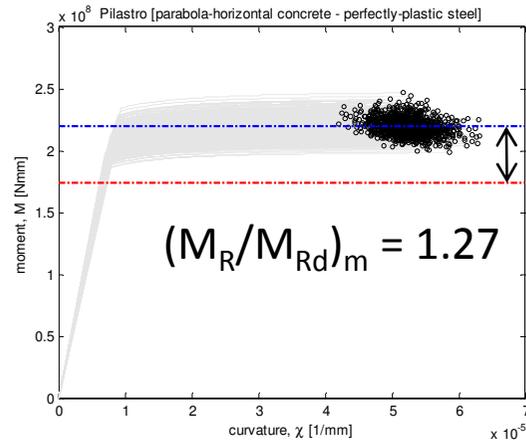


$\rho=0$

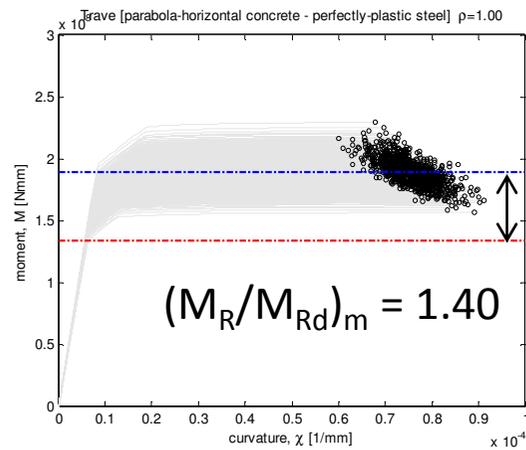
# Analisi di sezione

Analisi momento-curvatura:

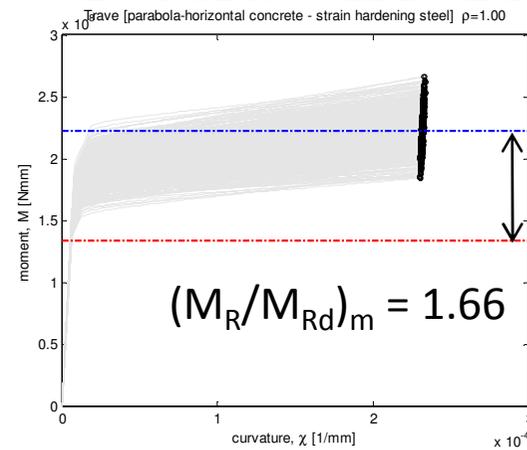
✓ Pilastro:



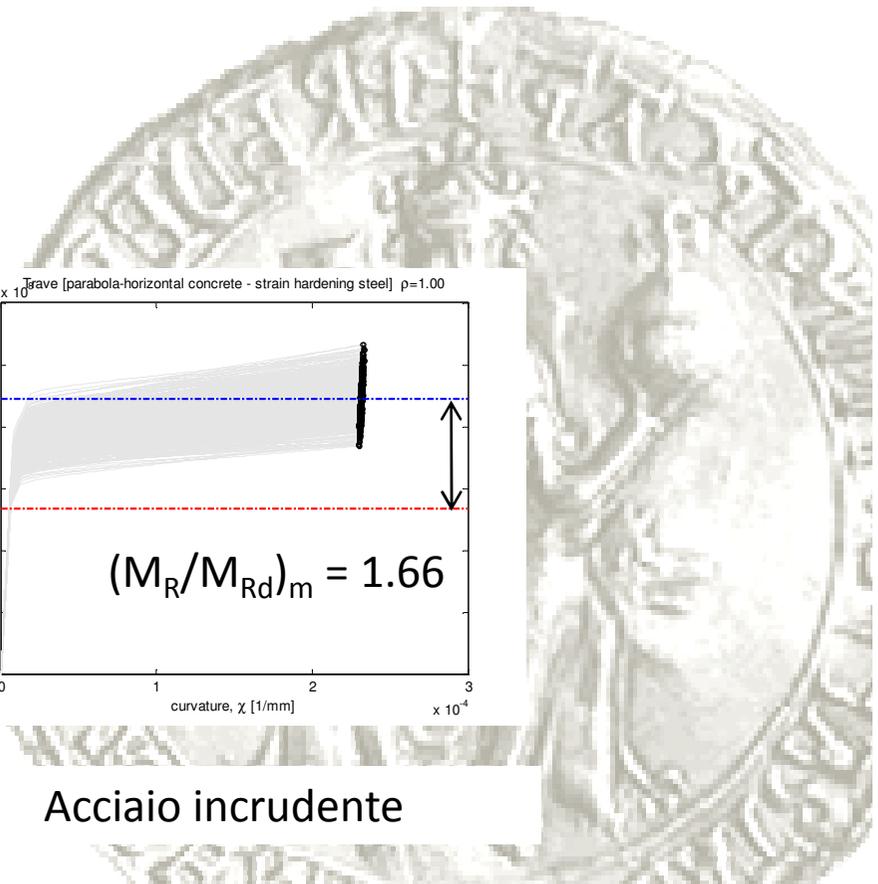
✓ Trave:



Acciaio perfettamente plastico



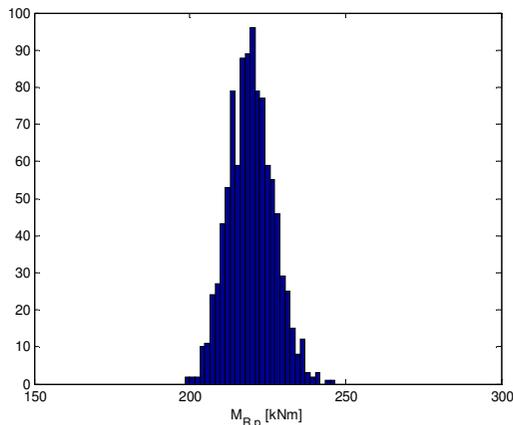
Acciaio incrudente



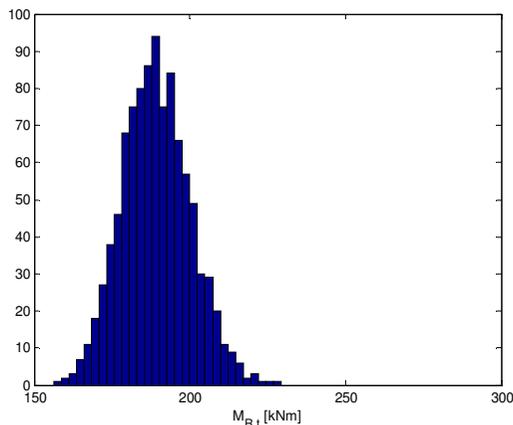
# Valutazione probabilità di “failure”

Valutazione della probabilità di “failure” del principio di gerarchia trave-pilastro in ipotesi di comportamento **perfettamente plastico** dell'acciaio della trave:

✓ Distribuzione di frequenza dei valori di resistenza flessionale del pilastro:



✓ Distribuzione di frequenza dei valori di resistenza flessionale della trave:



Influenza del grado di correlazione tra  $f_{y,trave}$  e  $f_{y,pilastro}$ :

✓ Ipotesi di piena correlazione ( $\rho=1$ )

$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 0.0\%$$

✓ Ipotesi di correlazione parziale ( $\rho=0.5$ )

$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 0.3\%$$

✓ Ipotesi di assenza di correlazione ( $\rho=0$ )

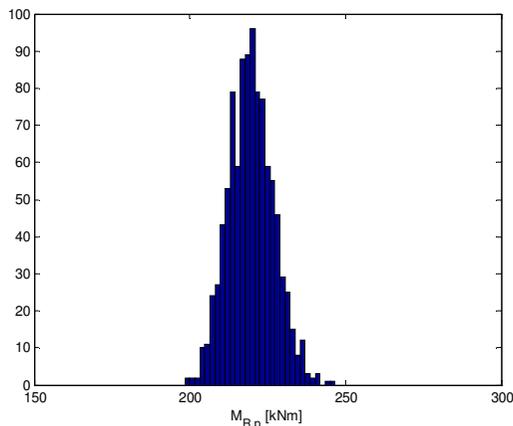
$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 1.1\%$$



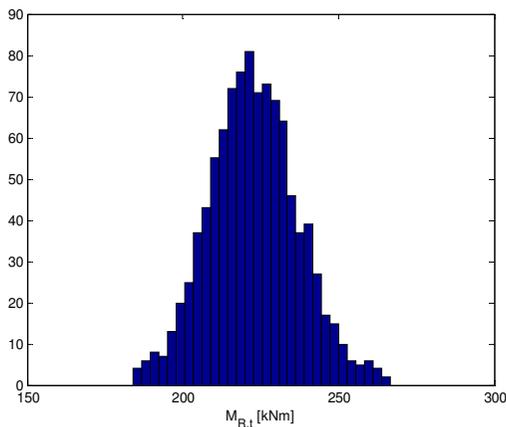
# Valutazione probabilità di “failure”

Valutazione della probabilità di “failure” del principio di gerarchia trave-pilastro in ipotesi di **incrudimento** dell'acciaio della trave:

✓ Distribuzione di frequenza dei valori di resistenza flessionale del pilastro:



✓ Distribuzione di frequenza dei valori di resistenza flessionale della trave:



Influenza del grado di correlazione tra  $f_{y,trave}$  e  $f_{y,pilastro}$ :

✓ Ipotesi di piena correlazione ( $\rho=1$ )

$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 64.2\%$$

✓ Ipotesi di correlazione parziale ( $\rho=0.5$ )

$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 59.0\%$$

✓ Ipotesi di assenza di correlazione ( $\rho=0$ )

$$\Pr [M_{R,p} < M_{R,t}] = 56.9\%$$



# Conclusioni

---

- ✓ La probabilità che il rispetto del principio di gerarchia delle resistenze trave-colonna non sia garantito mostra un aumento al diminuire del grado di correlazione tra la tensione di snervamento delle armature longitudinali della trave e del pilastro
- ✓ Nel caso in cui si ipotizzi lo snervamento della trave e, successivamente, il suo impegno deformativo plastico che la conduce ad attingere una resistenza flessionale incrementata a causa del fenomeno di incrudimento dell'acciaio, la probabilità che il pilastro non sia più "protetto" dalla plasticizzazione diviene molto elevata
- ✓ Lo studio si può estendere a un maggior numero di casi studio, alla Classe di Duttività "B" e inoltre all'influenza delle prescrizioni relative ai minimi di armatura longitudinale nei pilastri

