

# Sezioni in c. a. dalle tensioni ammissibili agli stati limite

## Introduzione

Teramo, 20-21 febbraio 2004

Aurelio Ghersi

# Riferimenti normativi

Per il metodo delle tensioni ammissibili:

D.M. 14/2/92

Per il metodo degli stati limite:

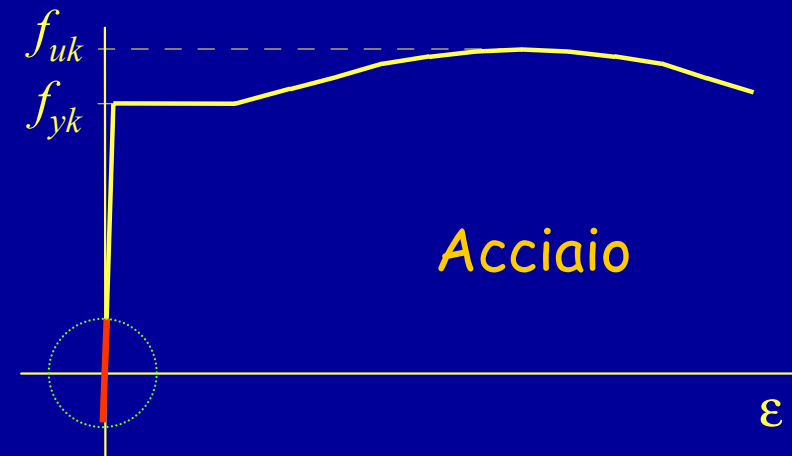
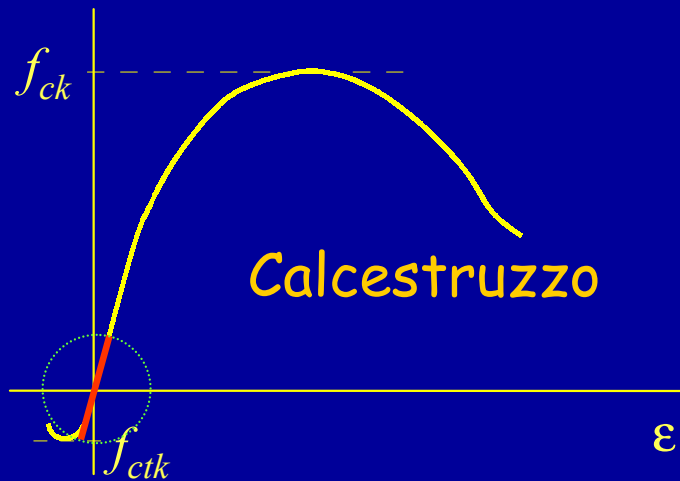
D.M. 9/1/96

Eurocodice 2

(integrato dal NAD = sezione III  
della parte prima del D.M. 9/1/96)

# Legami costitutivi del materiale

## Legami sperimentali



## Modelli di comportamento

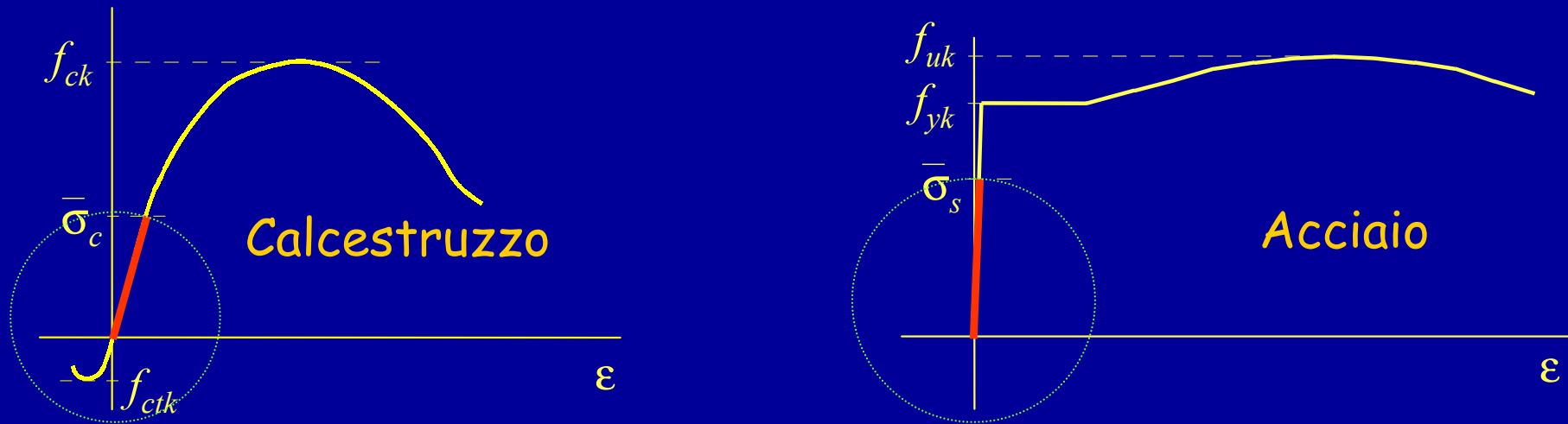
- 1 - per deformazioni e tensioni molto basse:  
comportamento elastico lineare  
calcestruzzo resistente anche a trazione

Usato solo per  
situazioni  
particolari

Ad esempio:  
fessurazione

# Legami costitutivi del materiale

## Legami sperimentali



## Modelli di comportamento

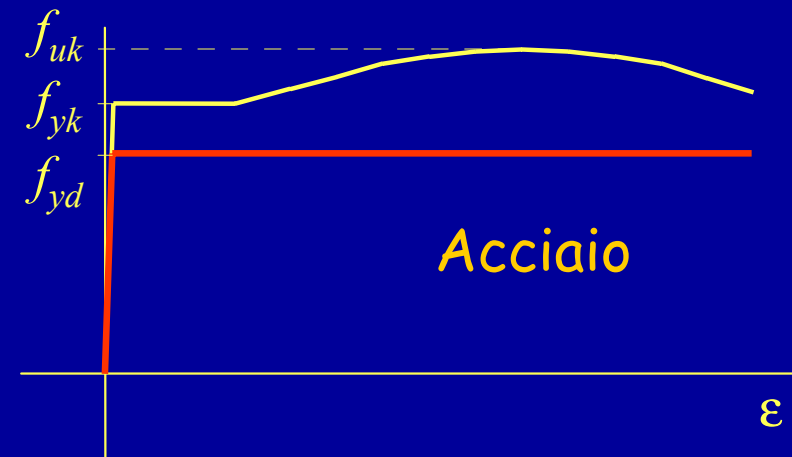
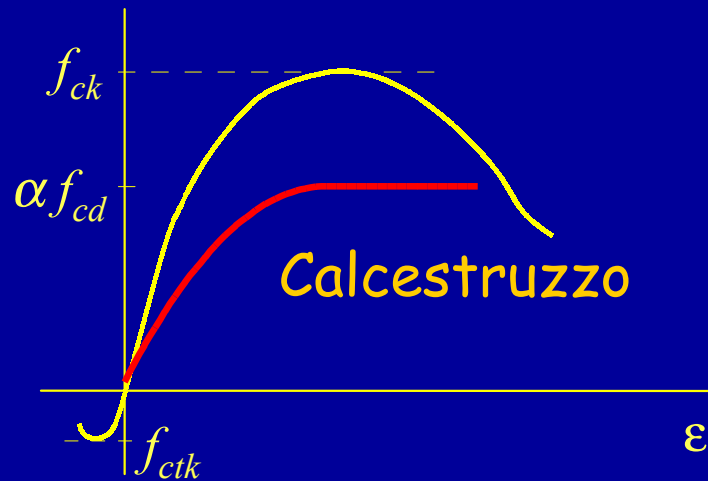
2 - per deformazioni e tensioni maggiori:  
comportamento elastico lineare  
calcestruzzo non resistente a trazione

Usato per il  
metodo delle  
tensioni  
ammissibili

Ma anche per  
verifiche S.L.E.

# Legami costitutivi del materiale

## Legami sperimentali



## Modelli di comportamento

- 3 - per deformazioni e tensioni ancora maggiori:  
comportamento non lineare  
calcestruzzo non resistente a trazione

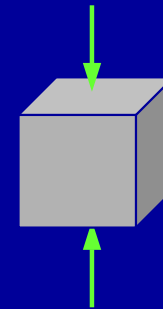
Usato per le  
verifiche allo  
stato limite  
ultimo

# Calcestruzzo - tensione di rottura

Possibili valori di riferimento per la tensione di rottura:

$R_{ck}$  resistenza di provini cubici

usata dalla normativa  
italiana



$f_{ck}$  resistenza di provini cilindrici

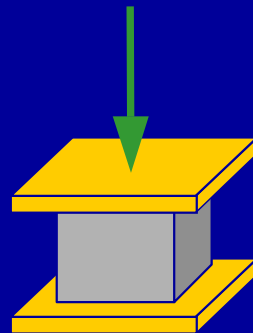
usata dalla normativa  
europea (EC2)



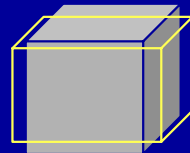
# Relazione tra $R_{ck}$ e $f_{ck}$

Provino cubico

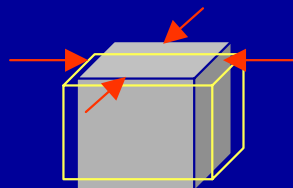
$R_{ck}$



Piatto della  
macchina di prova



il provino, compresso,  
si accorcia e si dilata



per attrito tra piatto e provino  
nascono forze trasversali

La presenza di queste forze  
riduce il rischio di rottura



Aumenta la  
resistenza

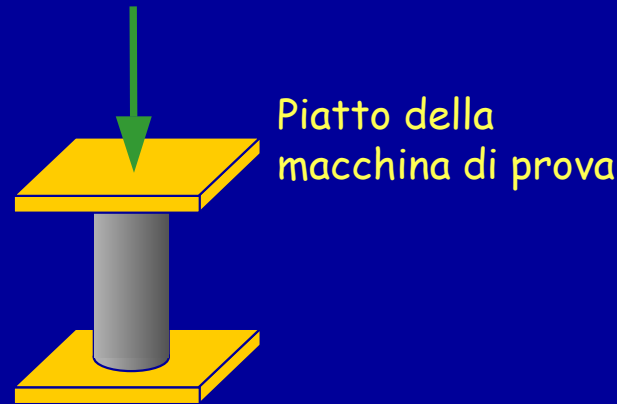
# Relazione tra $R_{ck}$ e $f_{ck}$

Provino cilindrico

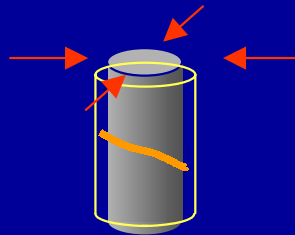
$f_{ck}$

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$$

$$f_{ck} < R_{ck}$$



Piatto della  
macchina di prova



il provino, compresso,  
si accorcia e si dilata;  
nascono forze trasversali  
... ma la rottura avviene  
lontano dagli estremi

La presenza delle forze non  
influisce sul rischio di rottura



La resistenza  
è minore



# Relazione tra $R_{ck}$ e $f_{ck}$

La versione originaria dell'EC2 classifica il calcestruzzo in base a entrambe le resistenze

C20/25 ← Resistenza cubica 25 MPa

↑ Resistenza cilindrica 20 MPa

Secondo il NAD italiano, si classifica il calcestruzzo in base alla resistenza cubica e da questa si determina la resistenza cilindrica

$$R_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \times 25 = 20.75 \text{ MPa}$$

# Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

## Legame più realistico

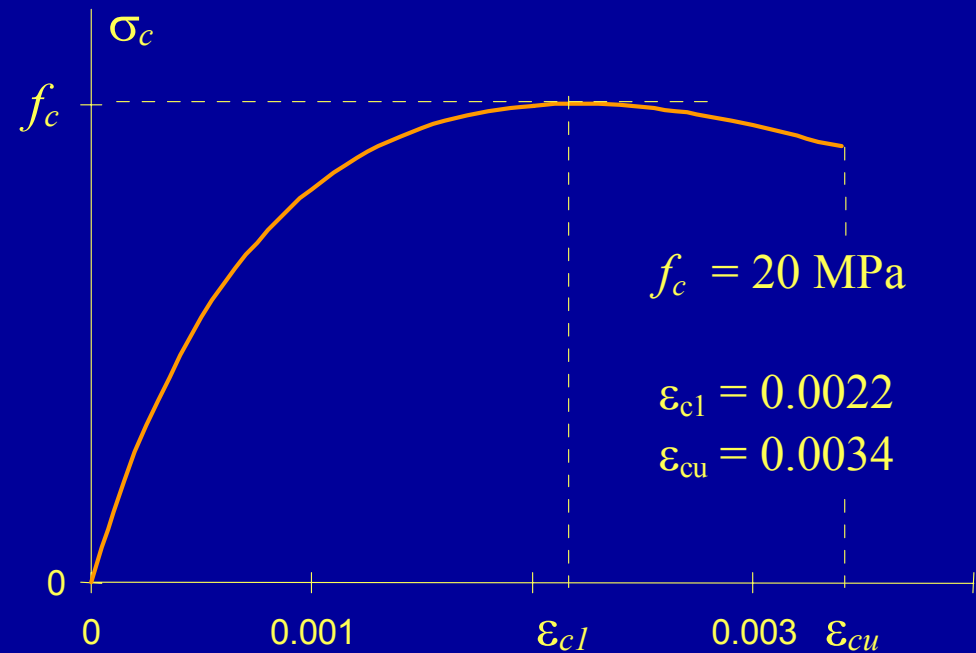
$$\sigma_c = \frac{k \eta - \eta^2}{1 + (k - 2) \eta} f_c$$

con  $\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1}}$

$$\varepsilon_{c1} = 2.2 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cu} = \left( 3.7 - 0.8 \frac{f_{cm} - 15}{40} \right) \times 10^{-3}$$

$$k = \frac{E_{c0} \varepsilon_{c1}}{f_c}$$



Si usa solo in casi particolari:  
analisi plastiche;  
determinazione della  
duttilità

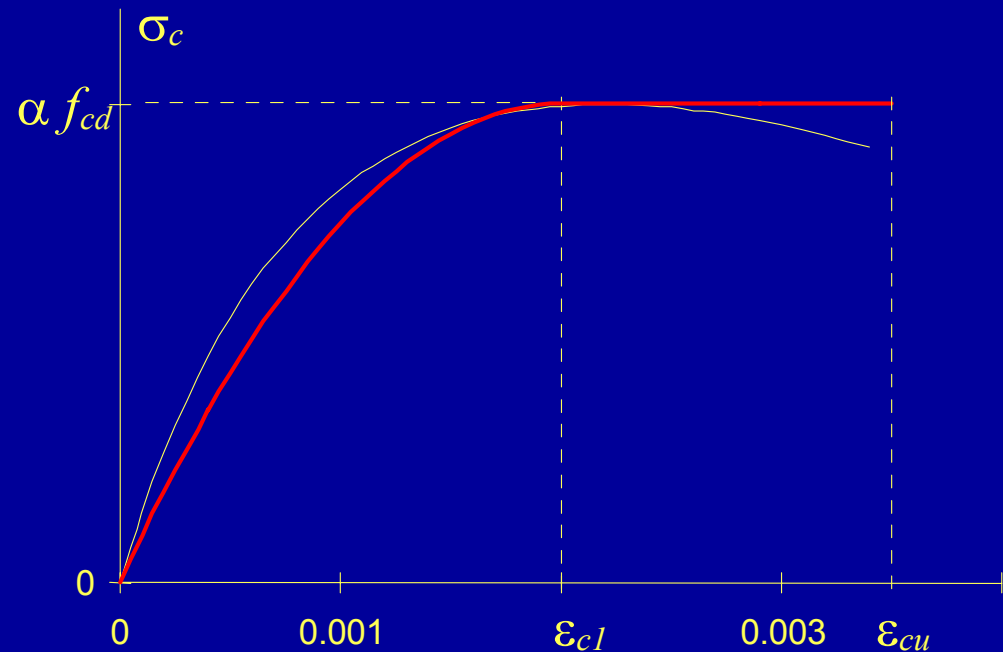
# Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

## Legame semplificato

$$\sigma_c = (2 \eta - \eta^2) \alpha f_{cd}$$

con  $\varepsilon_{c1} = 2.0 \times 10^{-3}$

$$\varepsilon_{cu} = 3.5 \times 10^{-3}$$



Si usa per valutare la resistenza della sezione

# Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

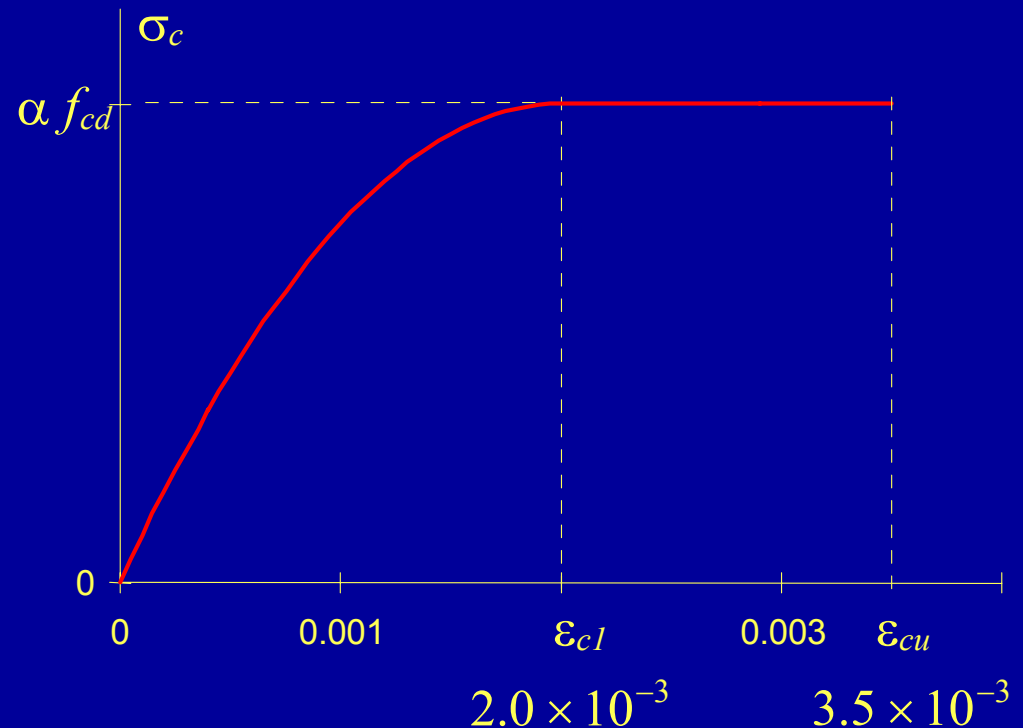
Valore di calcolo della resistenza

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} <$$

con

$\gamma_c = 1.6$  per strutture in c.a. ordinario

$\gamma_c = 1.5$  per strutture in c.a.p.



↘ Coefficiente che tiene conto della riduzione di resistenza per carichi di lunga durata

$$\alpha = 0.85$$

# Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

## Esempio

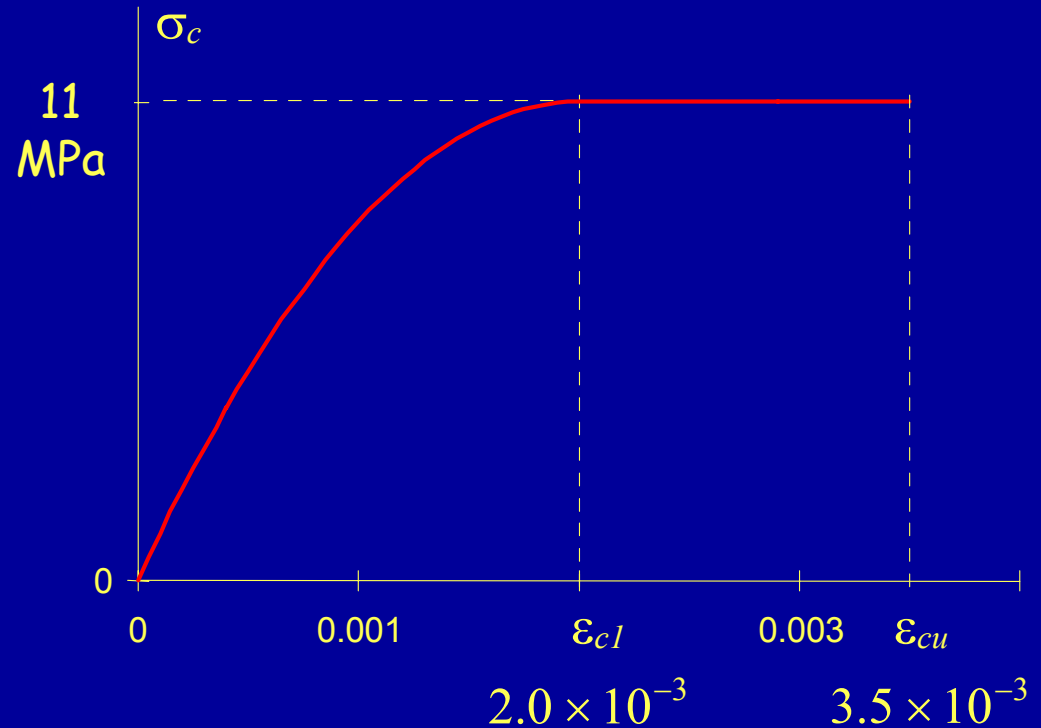
Calcestruzzo di classe

$$R_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 20.75 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{20.75}{1.6} = 13.0 \text{ MPa}$$

$$\alpha f_{cd} = 0.85 \times 13.0 = 11.0 \text{ MPa}$$



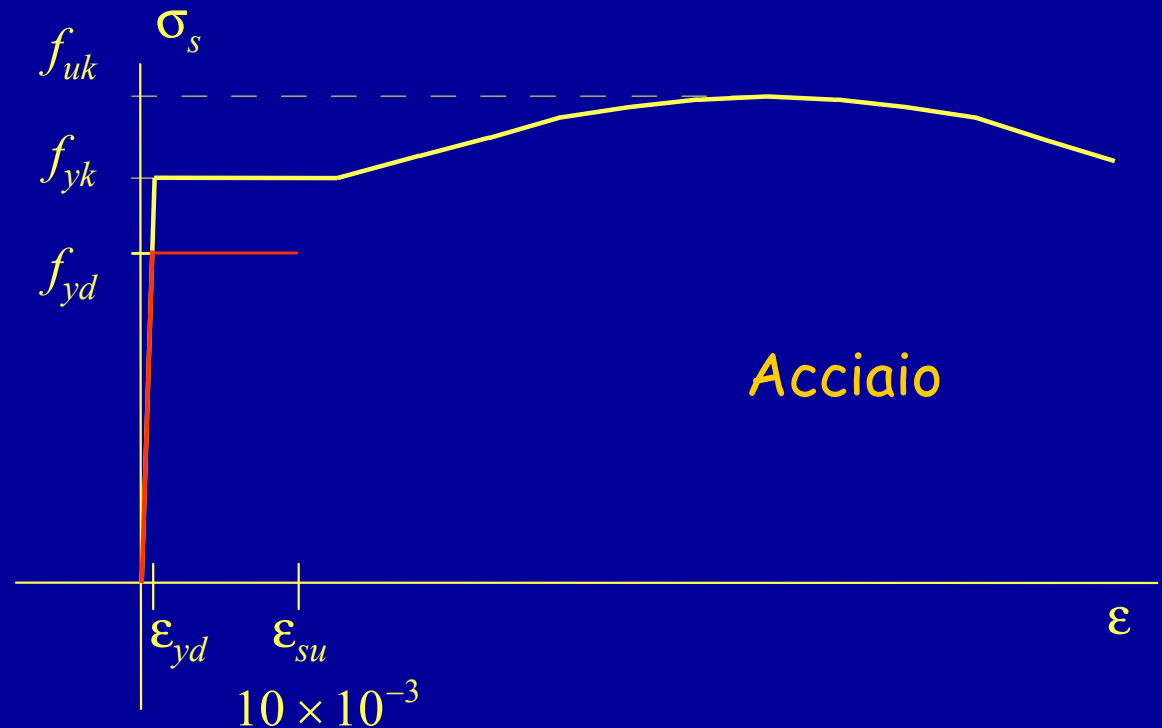
Si ricorda che

$$\bar{\sigma}_c = 8.5 \text{ MPa}$$

# Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

## Possibili alternative

- 1 - Legame elastico-perfettamente plastico, con limite  $10 \times 10^{-3}$

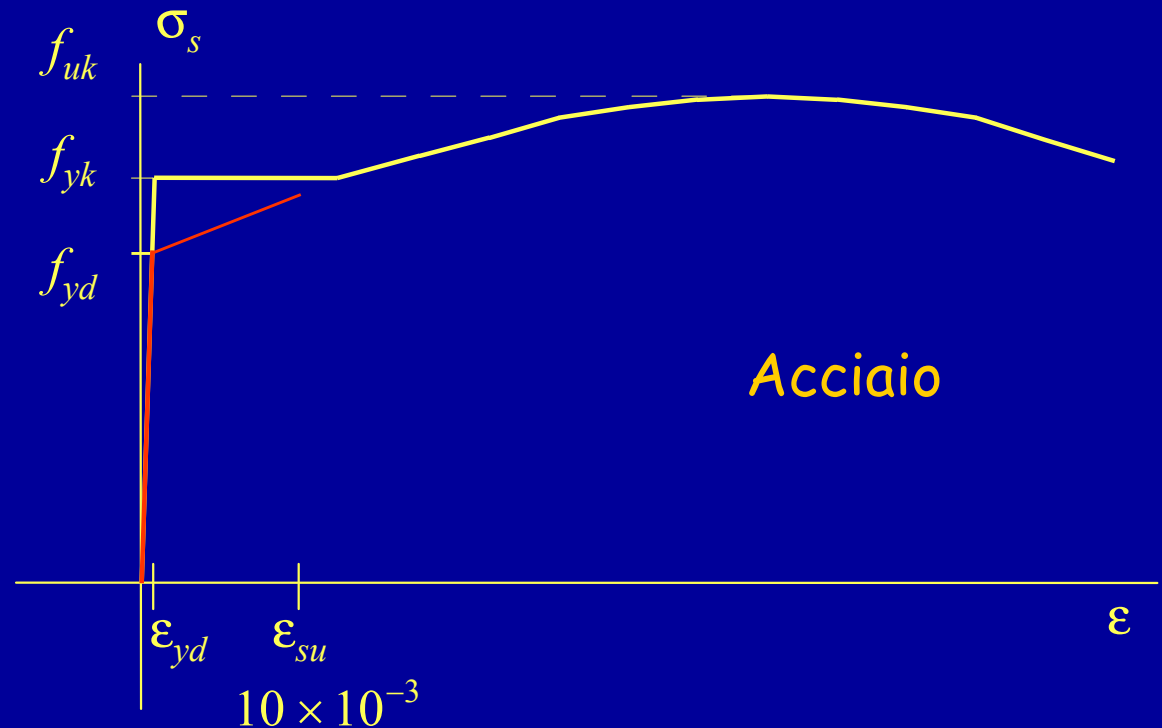


Legame "tradizionale"

# Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

## Possibili alternative

- 1 - Legame elastico-perfettamente plastico, con limite  $10 \times 10^{-3}$
- 2 - Legame elasto-plastico con incrudimento, con limite  $10 \times 10^{-3}$

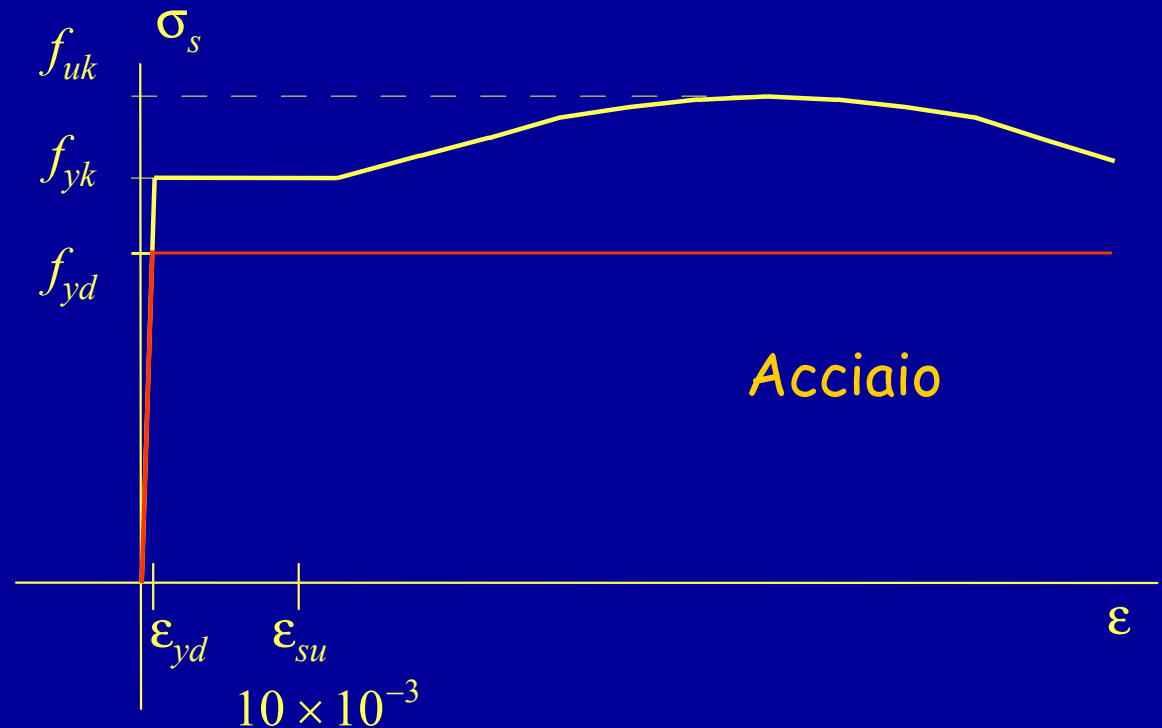


Legame poco usato

# Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

## Possibili alternative

- 1 - Legame elastico-perfettamente plastico, con limite  $10 \times 10^{-3}$
- 2 - Legame elasto-plastico con incrudimento, con limite  $10 \times 10^{-3}$
- 3 - Legame elastico-perfettamente plastico, senza limiti



In molti casi può semplificare la trattazione



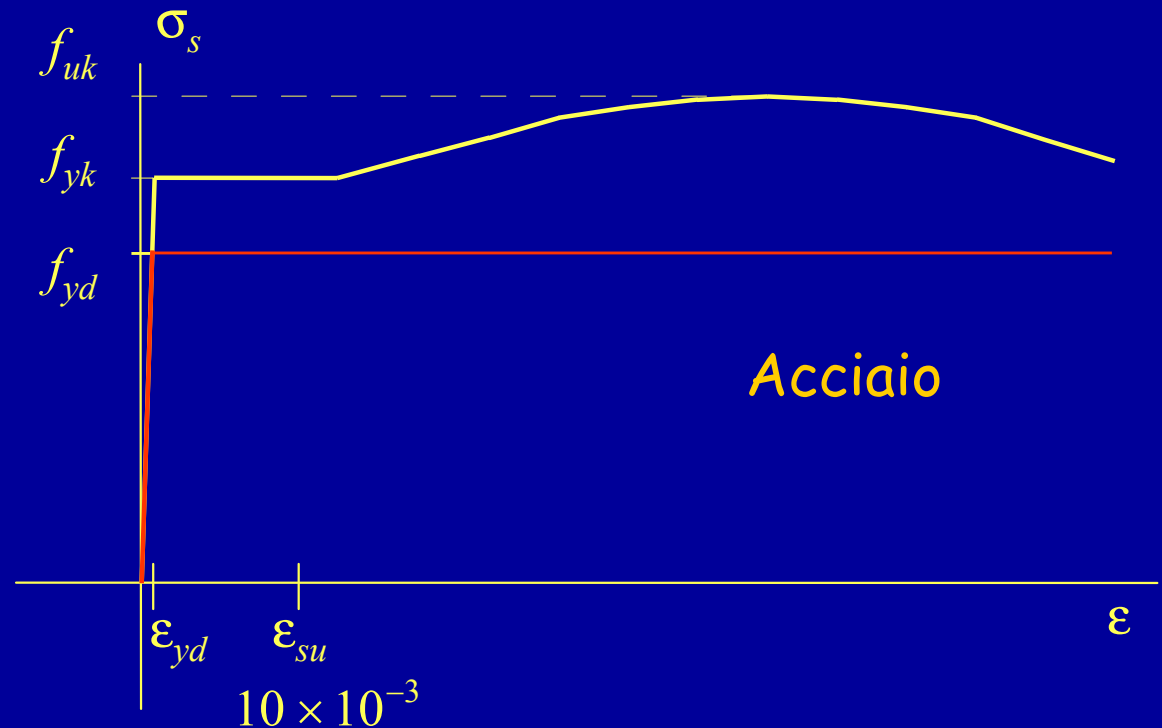
# Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Valore di calcolo della resistenza

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

con

$$\gamma_s = 1.15$$



# Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

## Esempio

Acciaio Fe B 44 k

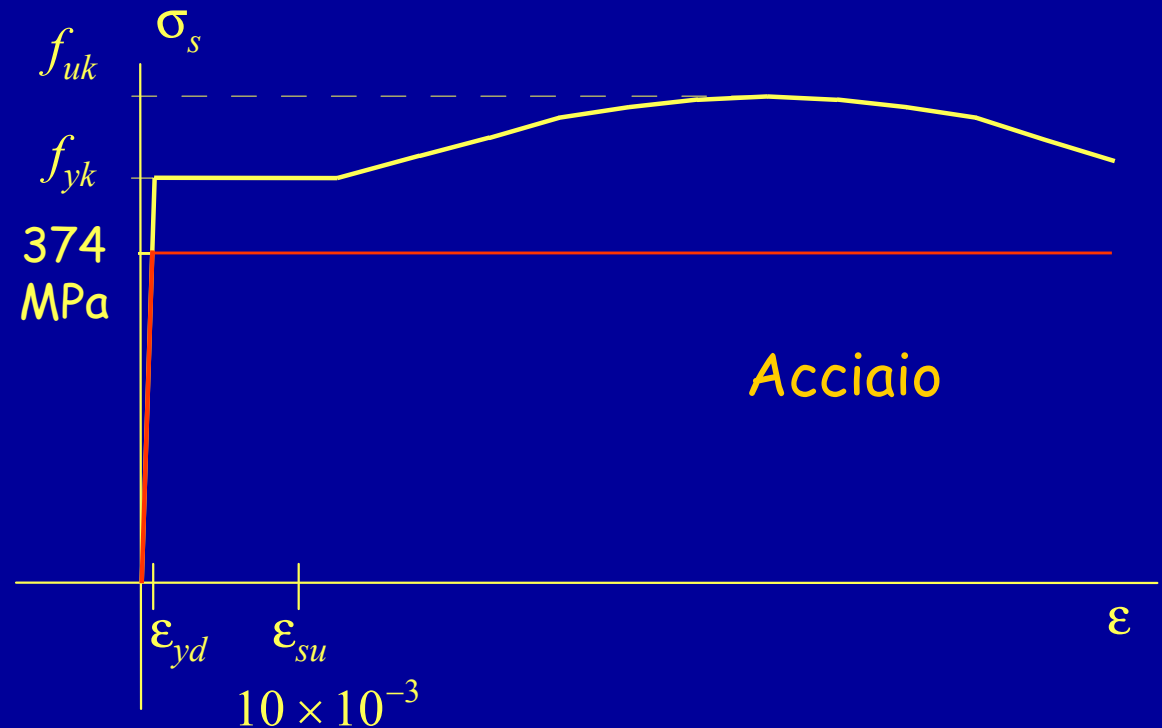
$$f_{yk} = 430 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{430}{1.15} = 373.9 \text{ MPa}$$

Acciaio Fe B 38 k

$$f_{yk} = 375 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{375}{1.15} = 326.1 \text{ MPa}$$



# Verifica - tensioni ammissibili

## 1 - Analisi dei carichi

si utilizzano i valori caratteristici

## 2 - Risoluzione (analisi strutturale)

si utilizza sempre un'analisi lineare;

si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es.  $M$ )

## 3 - Verifica della sezione

si determinano le tensioni massime e le si confronta con quelle ammissibili

in alternativa, si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es  $M_{max}$ ) - che corrisponde al raggiungimento della tensione ammissibile - e la si confronta con quella sollecitante

# Verifica - stato limite ultimo

- 1 - **Analisi dei carichi**  
si utilizzano i valori di calcolo  
circa 1.45 x quelli caratteristici
- 2 - **Risoluzione (analisi strutturale)**  
si utilizza normalmente un'analisi lineare;  
si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es.  $M_{Sd}$ )  
a volte, analisi non lineare
- 3 - **Verifica della sezione**  
si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es  $M_{Rd}$ ) - che corrisponde al raggiungimento della deformazione limite - e la si confronta con quella sollecitante

# Verifica - confronto

	T.A.	S.L.U.
Carichi	valori caratteristici	valori di calcolo (circa 1.45 maggiori)
Risoluzione	solo analisi lineare	di solito analisi lineare (car.soll. circa 1.45 maggiori)
Verifica	controllo delle tensioni valutazione di car.soll. massime	--- valutazione di car.soll. resistenti (maggiori - di quanto?)

# Tipi di analisi per SLU

## 1 - Analisi plastica

con uso di diagrammi momento-curvatura curvilinei

## 2 - Analisi plastica semplificata

con uso di diagrammi momento-curvatura elastici-perfettamente plastici (cerniera plastica)

Necessari:  
acciaio ad alta  
duttilità;  
sezione duttile

## 3 - Analisi lineare con redistribuzione

il rapporto  $\delta$  tra momento dopo e prima della redistribuzione dipende dai materiali e da  $x/d$

Esempio:

$$\delta \geq 0.44 + 1.25 x/d$$

$$\delta \geq 0.7$$

## 4 - Analisi lineare, senza redistribuzione

è il metodo più comunemente utilizzato;  
deve essere, comunque, limitato  $x/d$

Esempio:

$$x/d \leq 0.45$$

FINE

Per questa presentazione:

coordinamento

*A. Ghersi*

realizzazione

*A. Ghersi*

ultimo aggiornamento

*13/02/2004*