

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

Introduzione

Catania, 11 marzo 2004

Marco Muratore

Riferimenti normativi

Per il metodo delle tensioni ammissibili:

D.M. 14/2/92

Per il metodo degli stati limite:

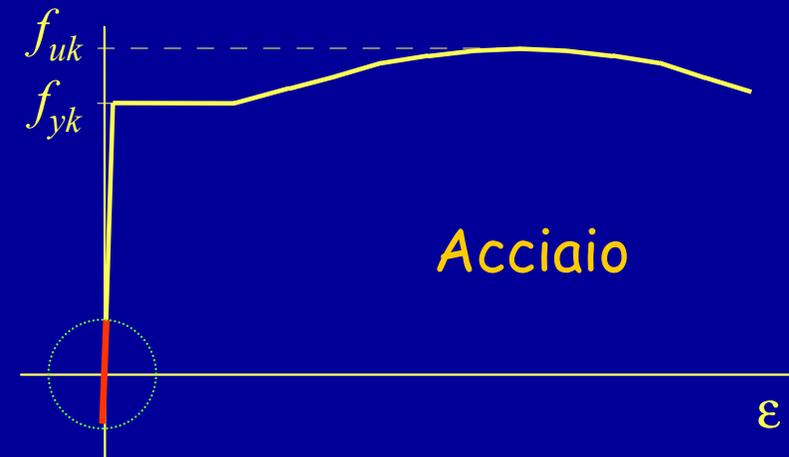
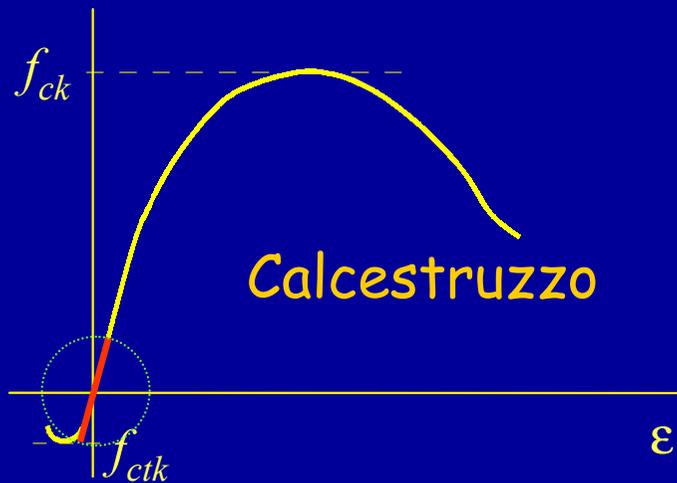
D.M. 9/1/96

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

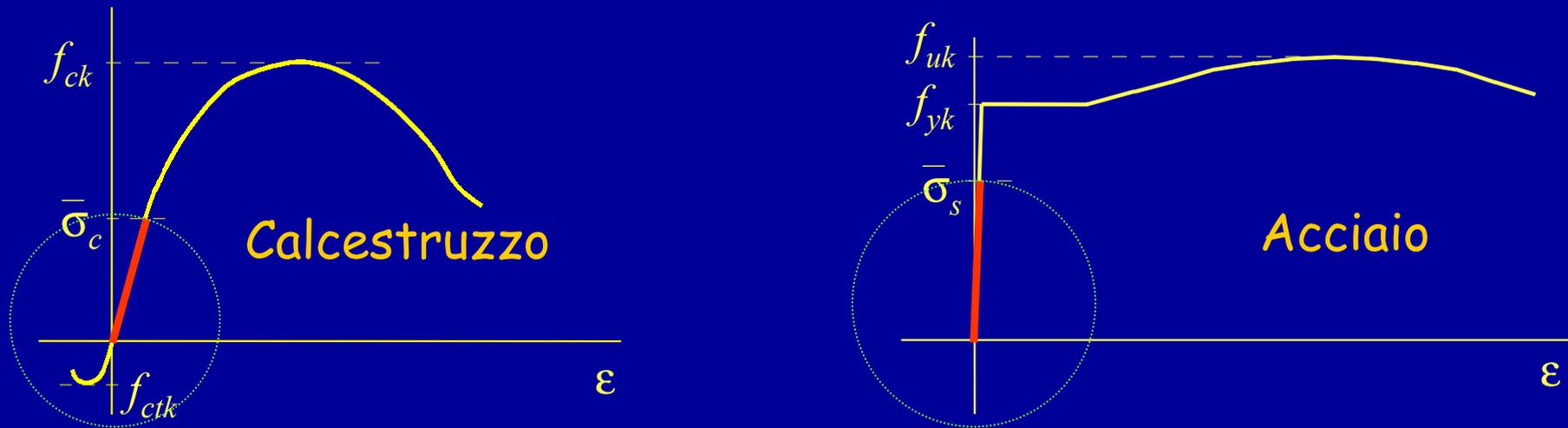
- 1 - per deformazioni e tensioni molto basse:
comportamento elastico lineare
calcestruzzo resistente anche a trazione

Usato solo per
situazioni
particolari

Ad esempio:
fessurazione

Legami costitutivi del materiale

Legami sperimentali



Modelli di comportamento

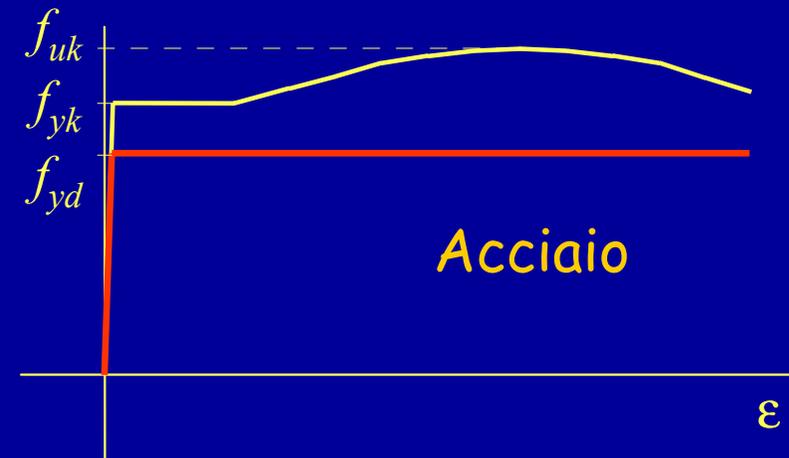
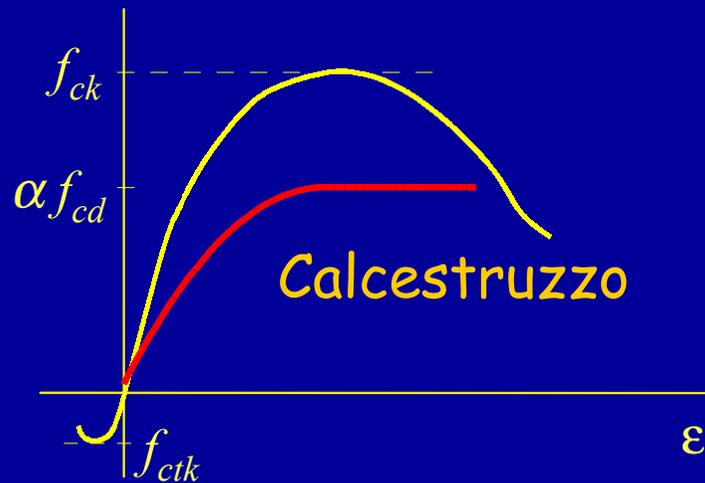
2 - per deformazioni e tensioni maggiori:
comportamento elastico lineare
calcestruzzo non resistente a trazione

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

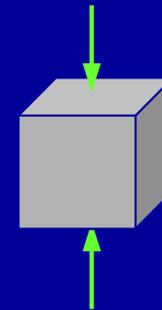
Usato per le verifiche allo stato limite ultimo

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

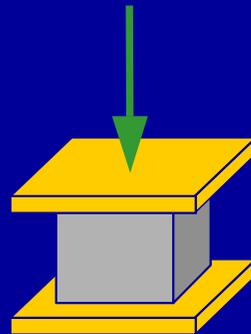
usata dalla normativa
europea (EC2)



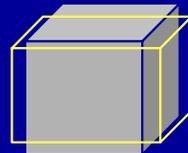
Relazione tra R_{ck} e f_{ck}

Provino cubico

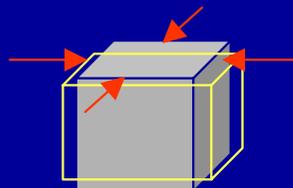
R_{ck}



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

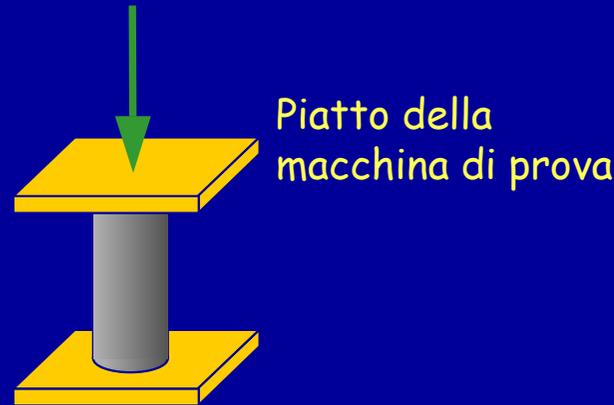


Aumenta la
resistenza

Relazione tra R_{ck} e f_{ck}

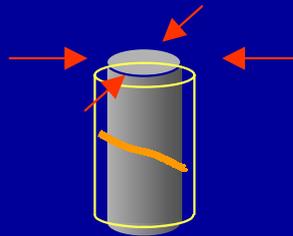
Provino cilindrico

f_{ck}



Piatto della
macchina di prova

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



il provino, compresso,
si accorcia e si dilata;
nascono forze trasversali

... ma la rottura avviene
lontano dagli estremi

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

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

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

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

NOTA BENE: per i parametri meccanici del calcestruzzo fare riferimento alla normativa vigente

Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

Legame più realistico

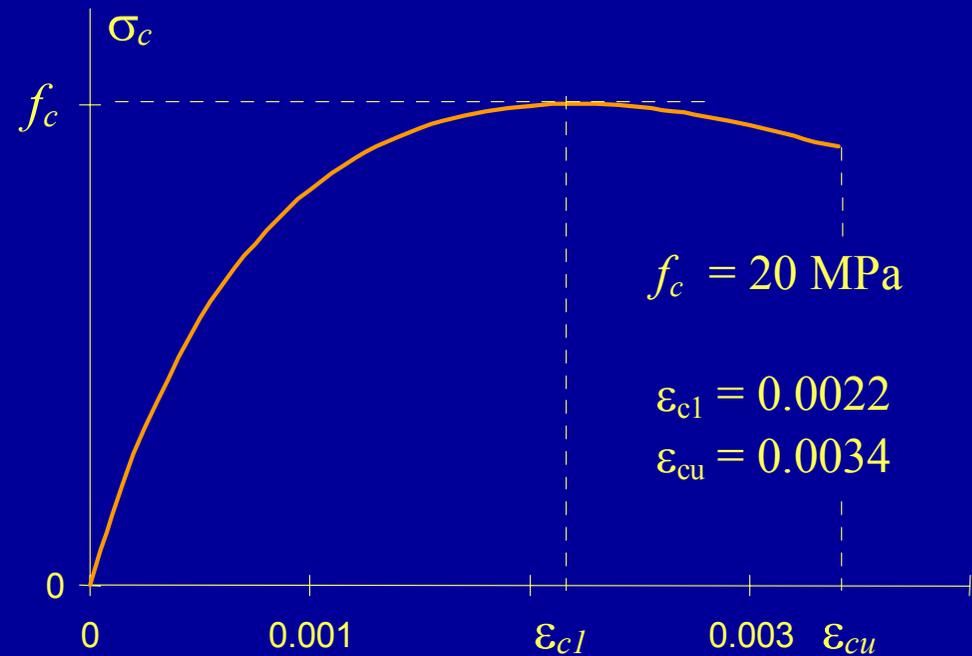
$$\sigma_c = \frac{k \eta - \eta^2}{1 + (k - 2) \eta} f_c$$

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

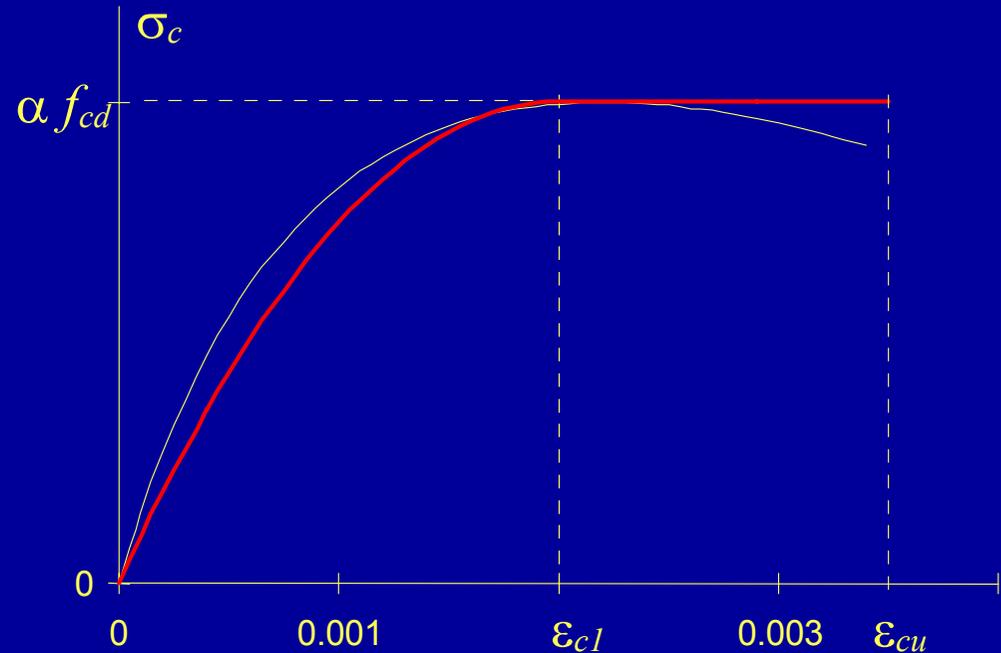
Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

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

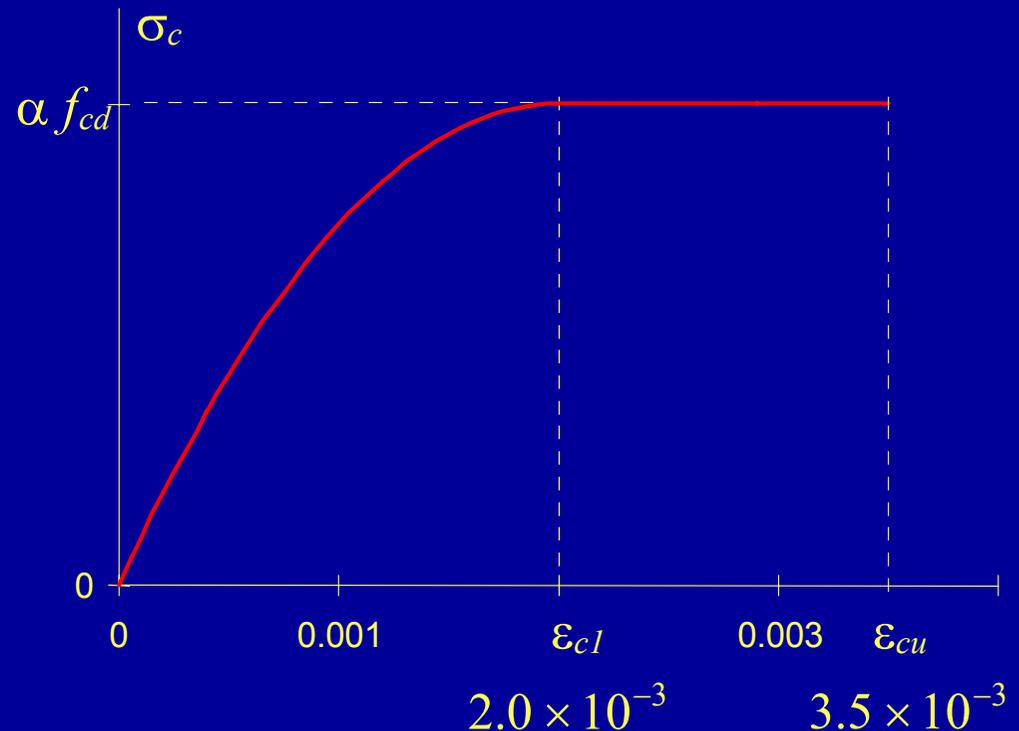
Valore di calcolo della resistenza

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

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

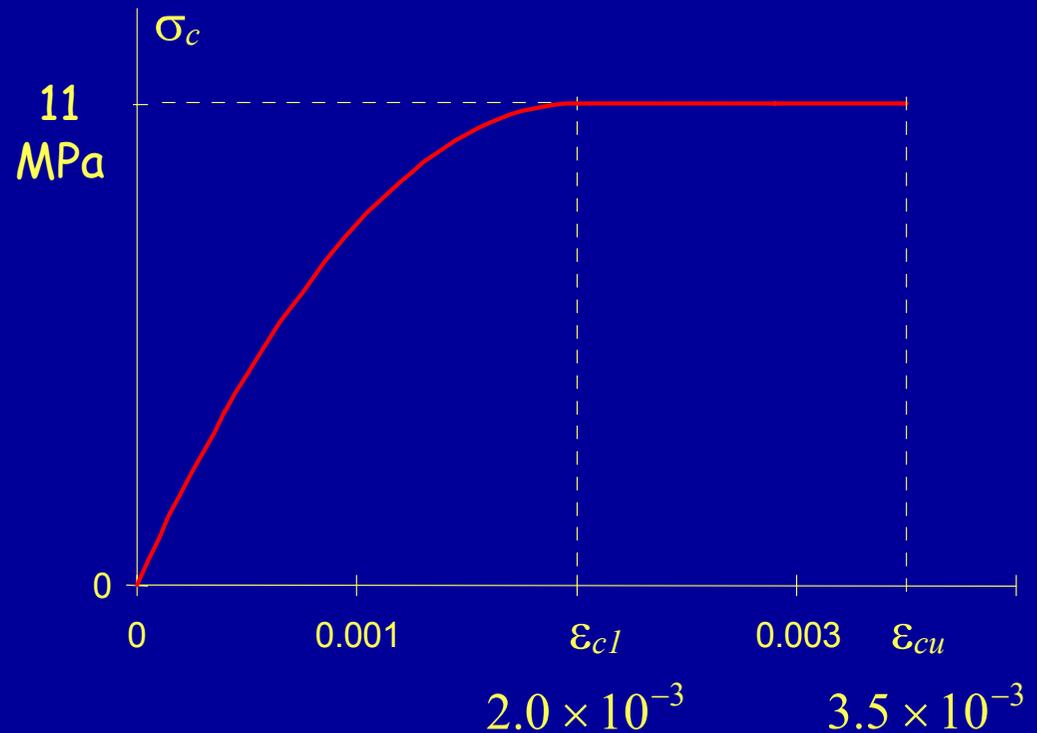
Calcestruzzo di classe

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

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

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

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



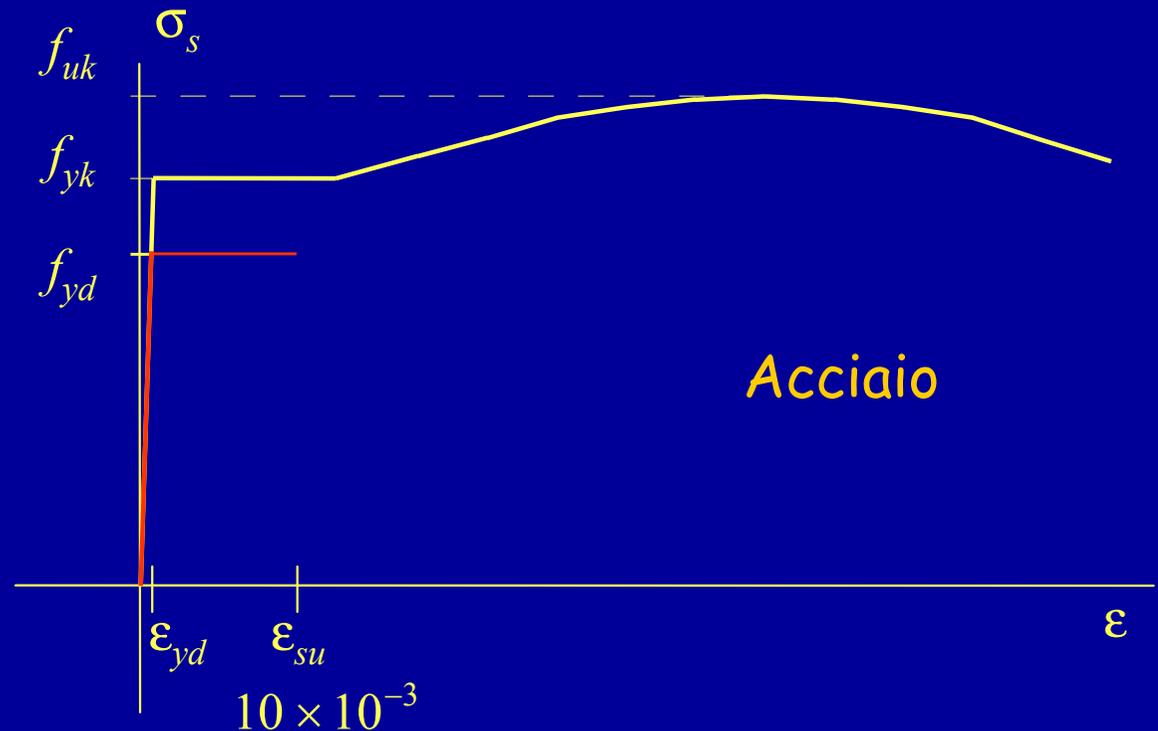
Si ricorda che

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

Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Possibili alternative

- 1 - Legame elastico-perfettamente plastico, con limite 10×10^{-3}

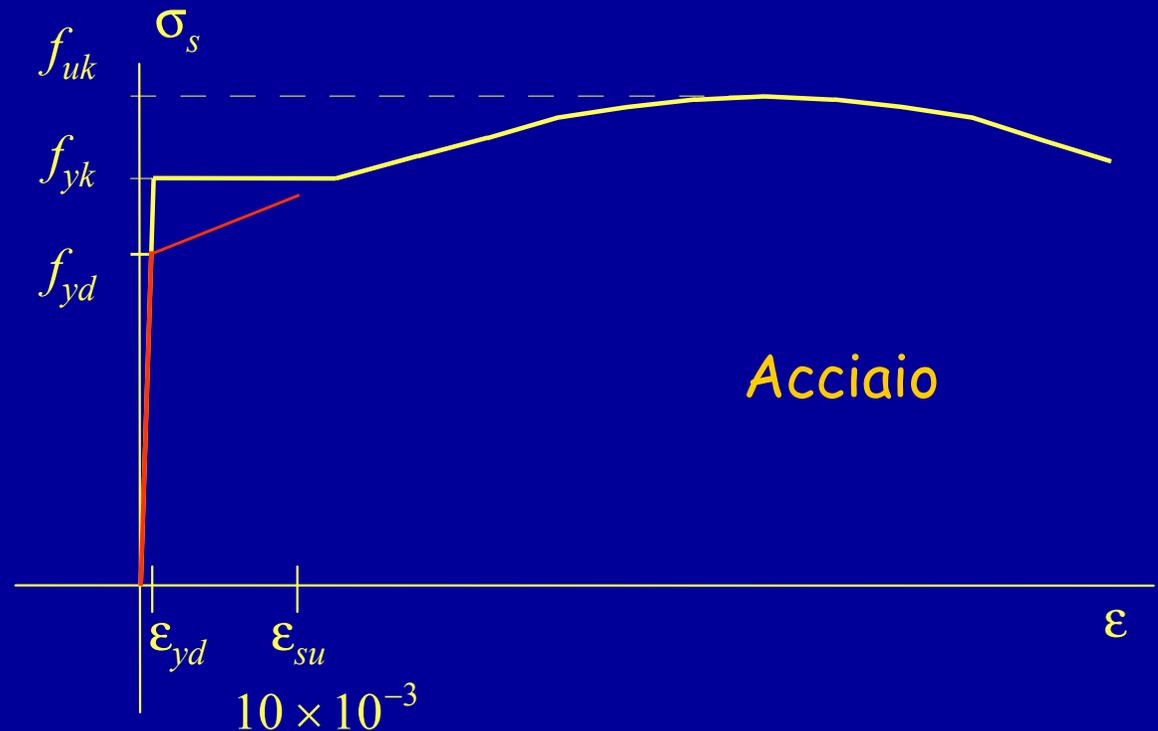


Legame "tradizionale"

Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Possibili alternative

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

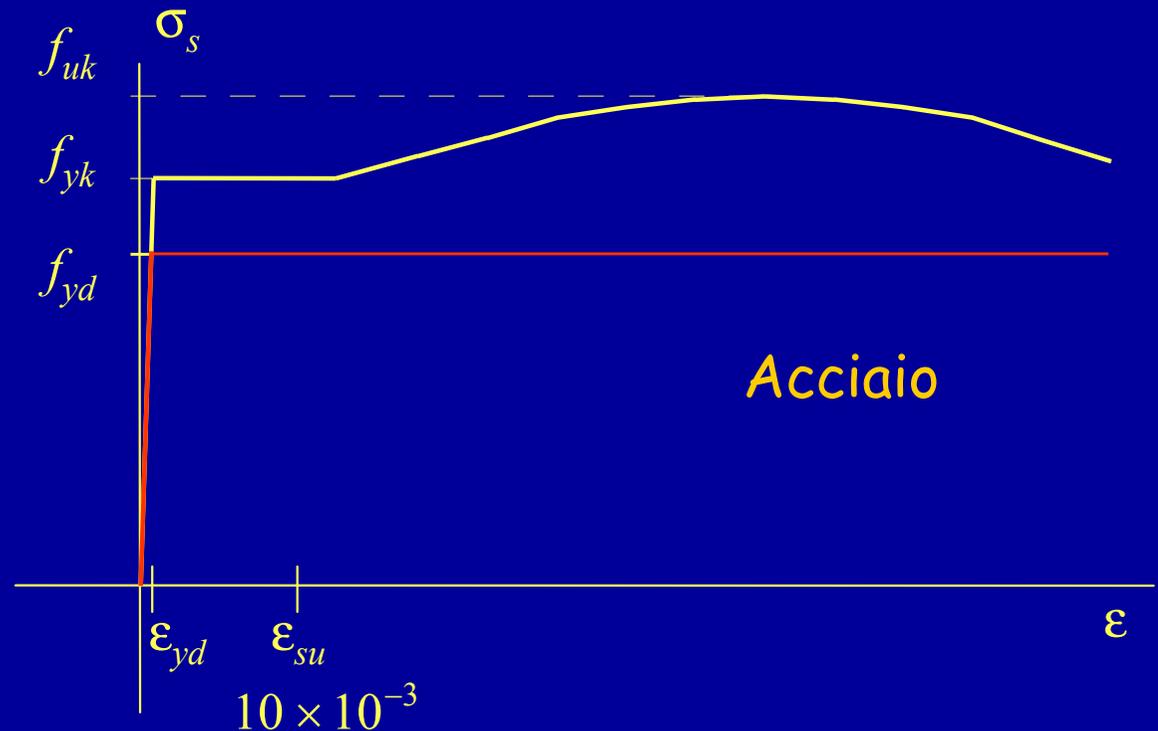


Legame poco usato

Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Possibili alternative

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



In molti casi può semplificare la trattazione

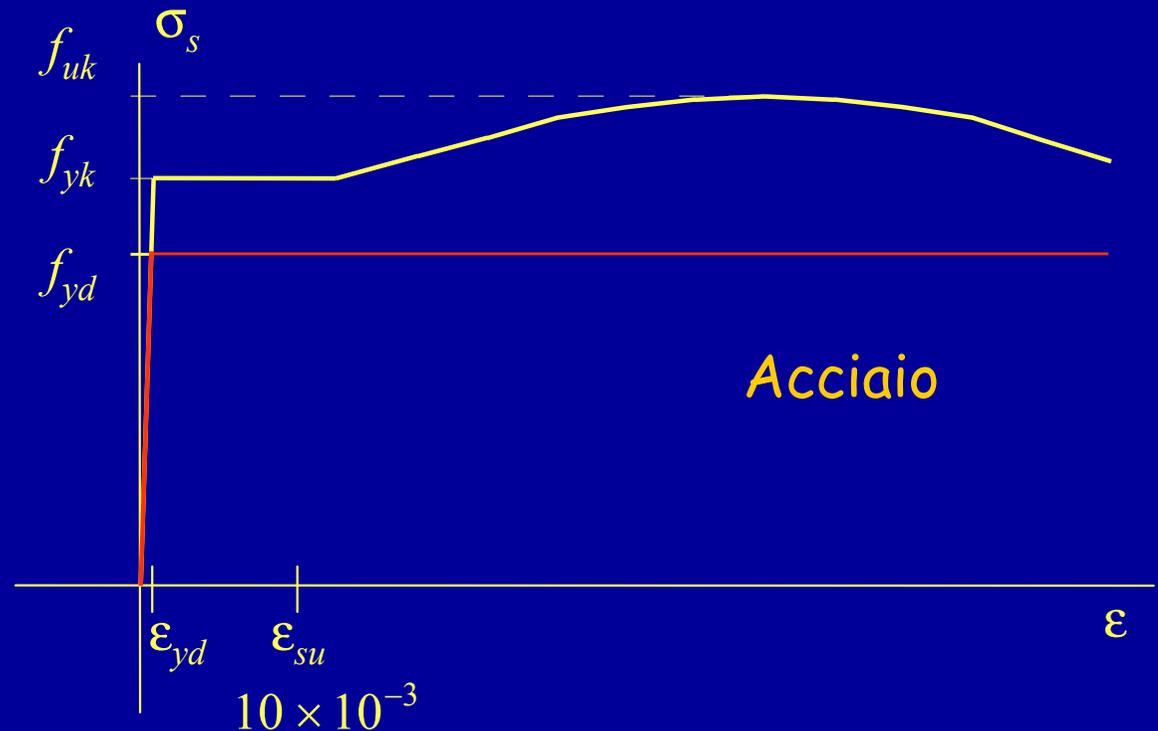
Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

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

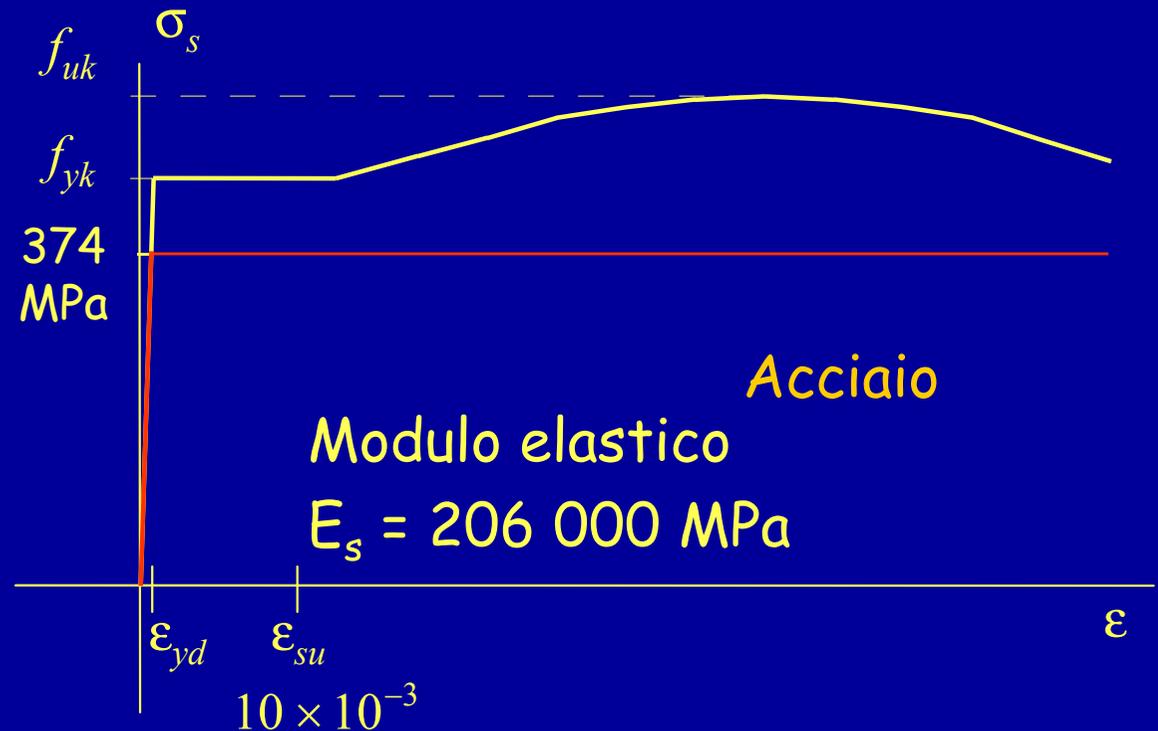
$$f_{yk} = 430 \text{ MPa}$$

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

Acciaio Fe B 38 k

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

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



$$\text{Acciaio Fe B 44 k} \quad \epsilon_{yd} = \frac{373.9}{206\,000} = 0.00182$$

$$\text{Acciaio Fe B 38 k} \quad \epsilon_{yd} = \frac{326.1}{206\,000} = 0.00168$$

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?) |

FINE

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Ghersi

realizzazione

A. Ghersi

ultimo aggiornamento

11/03/2004

Marco Muratore

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 δ 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:

$$x/d \leq 0.45$$