

**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:

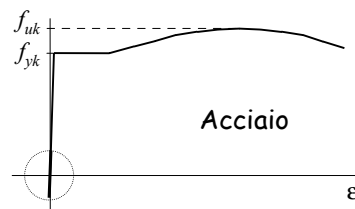
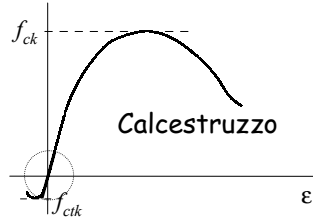
D.M. 9/1/96

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

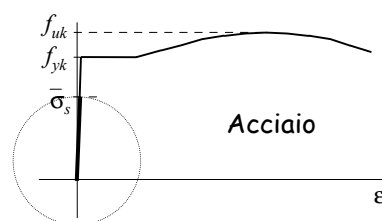
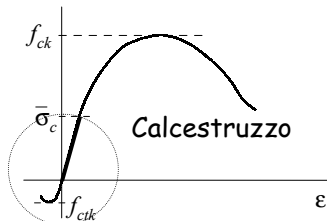
- 1 - per deformazioni e tensioni molto basse:
comportamento elastico lineare
calcestruzzo resistente anche a trazione

Usato solo per
situazioni
particolari

Ad esempio:
fessurazione

Legami costitutivi del materiale

Legami sperimentali



Modelli di comportamento

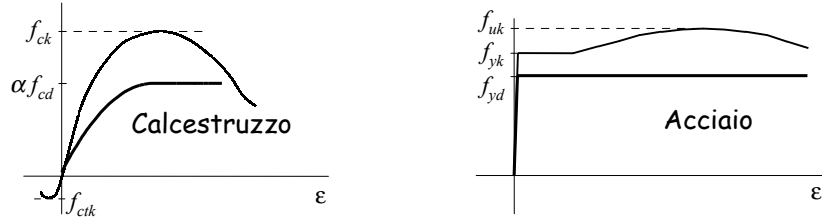
- 2 - per deformazioni e tensioni maggiori:
comportamento elastico lineare
calcestruzzo non resistente a trazione

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

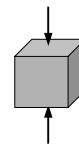
Usato per le
verifiche allo
stato limite
ultimo

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

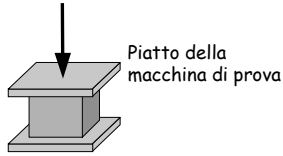
usata dalla normativa
europea (EC2)



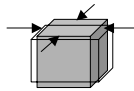
Relazione tra R_{ck} e f_{ck}

Provino cubico

R_{ck}



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

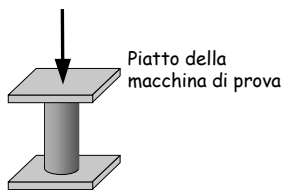


Aumenta la
resistenza

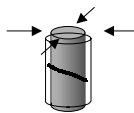
Relazione tra R_{ck} e f_{ck}

Provino cilindrico

f_{ck}



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



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

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

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

Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

Legame più realistico

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

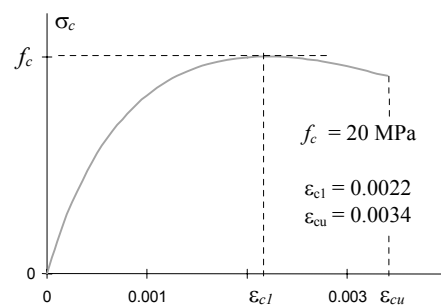
con $\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cl}}$

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

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

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

EC2, punto 4.2.1.3.3



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

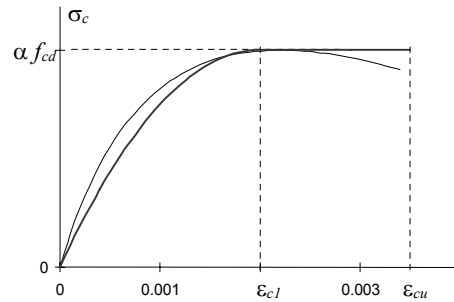
Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

Legame semplificato

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

con $\epsilon_{cl} = 2.0 \times 10^{-3}$

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



Si usa per valutare la resistenza della sezione

EC2, punto 4.2.1.3.3

Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

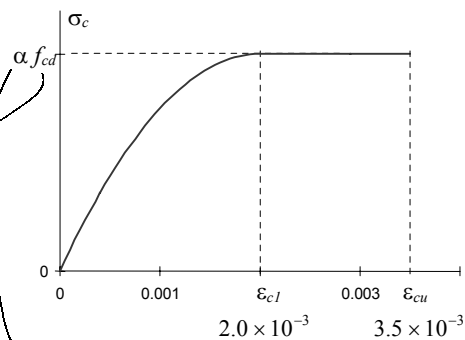
Valore di calcolo della resistenza

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

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

$$\alpha = 0.85$$

EC2, punto 2.3.3.2 + NAD

Legame costitutivo di calcolo del calcestruzzo

Esempio

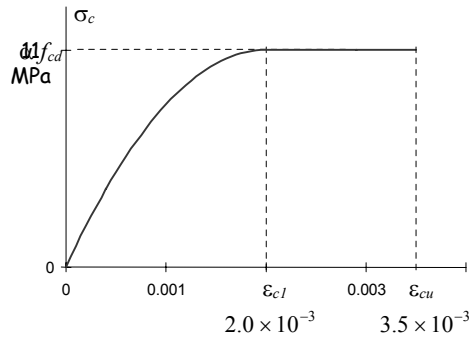
Calcestruzzo di classe

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

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

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

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



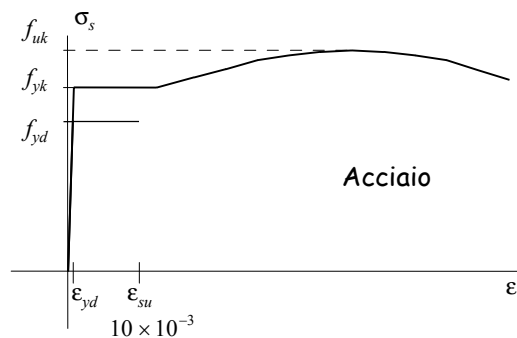
Si ricorda che

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

Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Possibili alternative

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



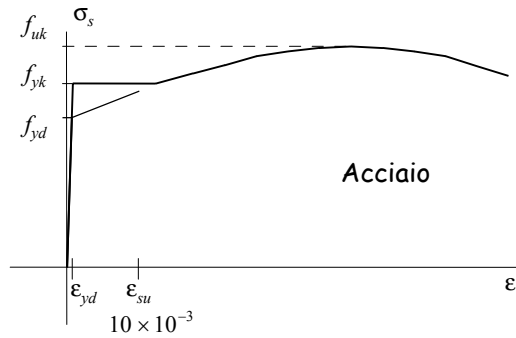
Legame "tradizionale"

EC2, punto 4.2.2.3.2

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}



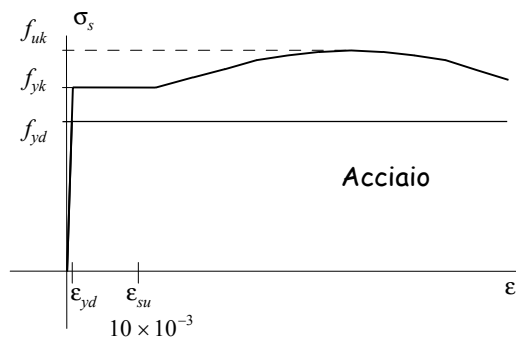
Legame poco usato

EC2, punto 4.2.2.3.2

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

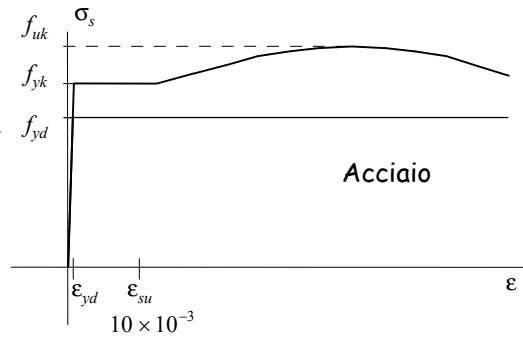
Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Valore di calcolo della resistenza

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

con

$$\gamma_s = 1.15$$



EC2, punto 2.3.3.2

Legame costitutivo di calcolo dell'acciaio

Esempio

Acciaio Fe B 44 k

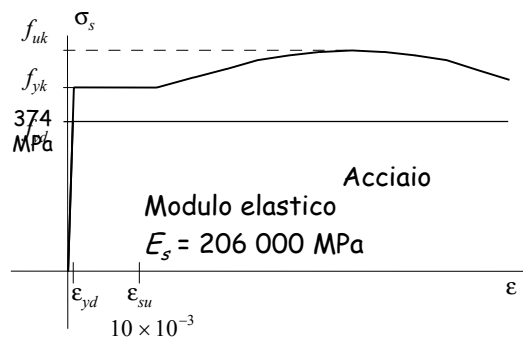
$$f_{yk} = 430 \text{ MPa}$$

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

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. Gherzi
realizzazione	A. Gherzi
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:

$$x/d \leq 0.45$$

EC2, punto 2.5.1, 2.5.3, Appendice 2