

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di
Tecnica delle Costruzioni

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Prof. Ing. Natalino Gattesco
Dott. Ing. Ingrid Boem

BIBLIOGRAFIA

Toniolo G., Di Prisco M., “Cemento Armato – Calcolo agli stati limite”, Vol. 2a, terza edizione, Ed. Zanichelli, 2010.

Park R., Paulay T., “Reinforced Concrete Structures”, John Wiley & Sons, New York, 1975.

Mac Gregor J., “Reinforced Concrete – Mechanics and Design”, Prentice Hall, New Jersey, 1988.

Santarella L., “Prontuario del Cemento Armato”, XXXVIII edizione, Ed. Hoepli, Milano.

MATERIALI

Il calcestruzzo armato è ottenuto dalla combinazione di calcestruzzo, che ha buona resistenza a compressione ma scarsa resistenza a trazione (circa 1/10), e acciaio che è utilizzato principalmente per resistere alle forze di trazione.

Il calcestruzzo è un materiale “composto” formato da aggregati, sabbia e ghiaia, chimicamente legati fra loro da cemento portland.

Il diametro massimo degli aggregati dipende dallo spessore dell'elemento da realizzare; comunque nelle costruzioni civili raramente supera i 20 mm.

L'acciaio è utilizzato in barre ad aderenza migliorata, per garantire una buona aderenza con il calcestruzzo.

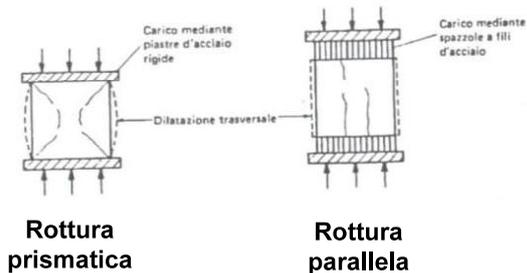
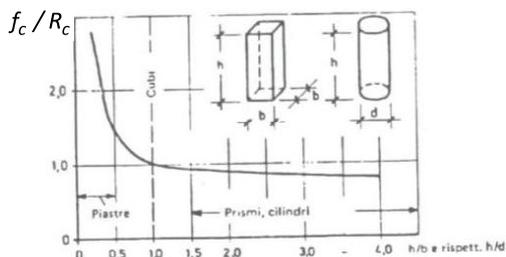
CALCESTRUZZO

Le principali proprietà del calcestruzzo riguardano:

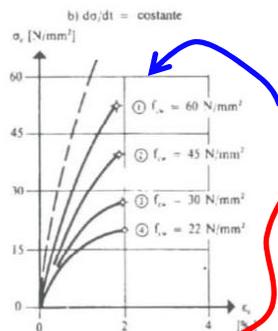
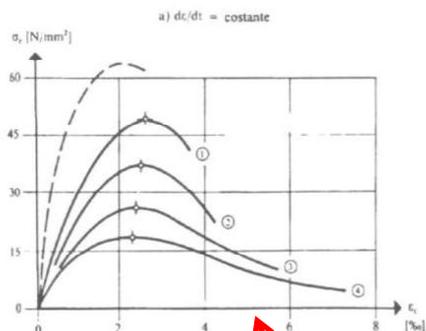
- **Resistenza a compressione**
- **Modulo elastico**
- **Resistenza a trazione**
- **Aderenza acciaio-calcestruzzo**
- **Ritiro**
- **Viscosità**
- **Dilatazione termica**
- **Durabilità**

CALCESTRUZZO

Resistenza a compressione monoassiale



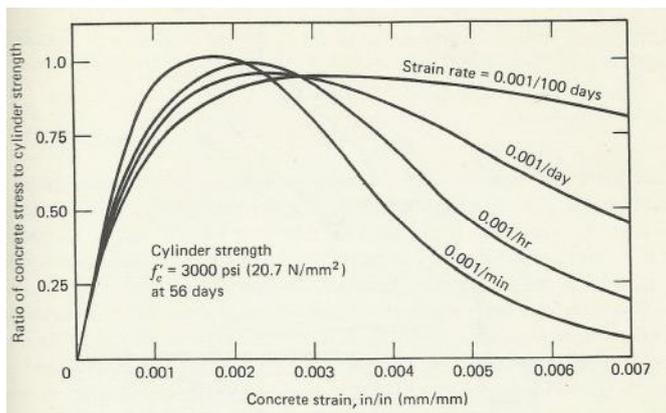
Per cilindro con $h/d=2 \rightarrow f_c \approx 0.83R_c$



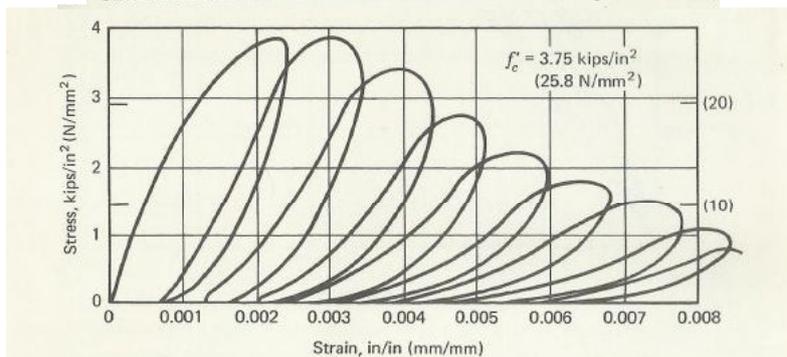
Prove a incremento di carico
Prove a incremento di deformazione

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [\text{N/mm}^2]$$

CALCESTRUZZO



Velocità di carico
(Rusch)



Comportamento per carichi ciclici

Stress-strain curves for concrete cylinder with high-intensity repeated axial compressive cyclic loading.^{2,6}

CALCESTRUZZO

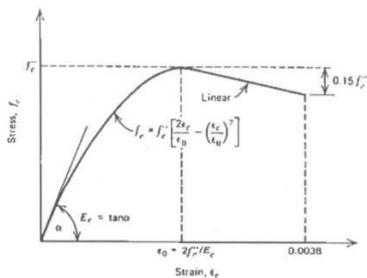


Fig. 2.3. Idealized stress-strain curve for concrete in uniaxial compression.^{2,4}

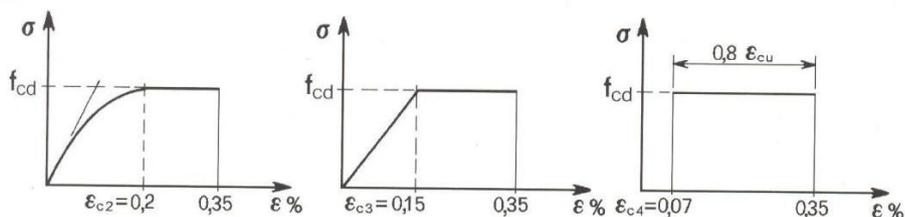
Esempio di
Modello Legame costitutivo

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C$$

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;
 γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;
 γ_C è pari ad 1,5.
 α_{cc} è pari a 0,85.

Modelli costitutivi semplificati

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \quad [N/mm^2]$$

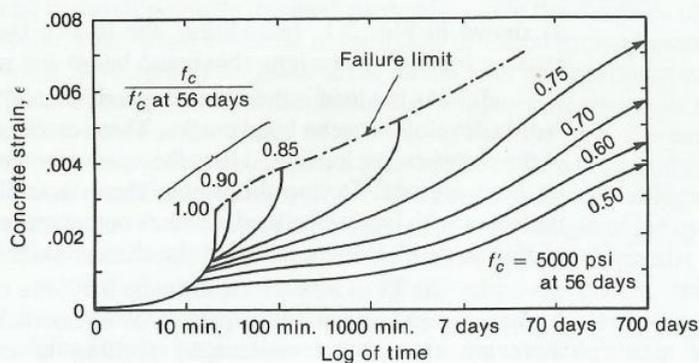


Parabola-rettangolo

Triangolo-rettangolo

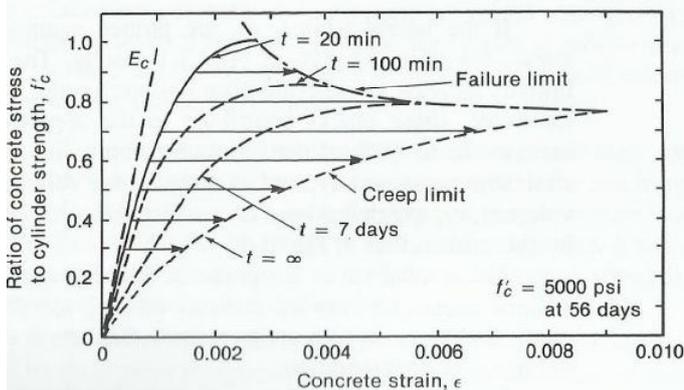
Rettangolo (stress-block)

CALCESTRUZZO



(a) Strain-time relationship.

Variazione
deformazione nel
tempo

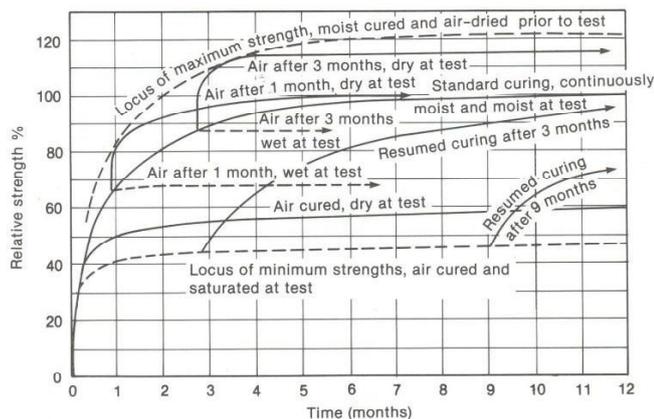


(b) Stress-strain relationship.

Curva delle
resistenze a
termine (α_{cc})

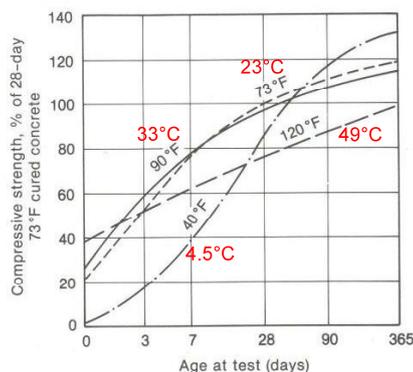
CALCESTRUZZO

Fig. 3-6
Effect of moist-curing conditions at 70°F and moisture content of concrete at time of test on compressive strength of concrete. (From Ref. 3-9.)



Influenza della stagionatura e dell'umidità alla prova

Fig. 3-7
Effect of temperature during the first 28 days on the strength of concrete (water-cement ratio = 0.41, air content = 4.5 percent, Type I cement, specimens cast and moist-cured at temperature indicated for first 28 days. All moist-cured at 73°F thereafter). (From Ref. 3-10.)



Influenza della temperatura durante i primi 28 giorni di maturazione

CALCESTRUZZO

Classi di resistenza del calcestruzzo:

Il primo numero rappresenta la resistenza a compressione cilindrica e il secondo la resistenza a compressione cubica.

| CLASSE DI RESISTENZA | |
|----------------------|-------------|
| C8/10 | Molto bassa |
| C12/15 | |
| C16/20 | |
| C20/25 | Bassa |
| C25/30 | Media |
| C28/35 | |
| C32/40 | |
| C35/45 | |
| C40/50 | |
| C45/55 | Alta |
| C50/60 | |
| C55/67 | |
| C60/75 | |
| C70/85 | Molto alta |
| C80/95 | |
| C90/105 | |

| STRUTTURE DI DESTINAZIONE | CLASSE DI RESISTENZA MINIMA |
|---|-----------------------------|
| Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11) | C8/10 |
| Per strutture semplicemente armate | C16/20 |
| Per strutture precomprese | C28/35 |

CALCESTRUZZO

RESISTENZA A TRAZIONE

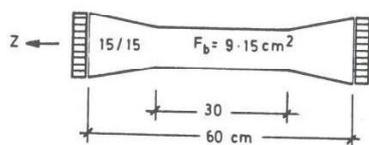


Fig. 2.13 Provino per determinare la resistenza a trazione assiale
 $\beta_Z = \frac{Z}{F_b}$

Trazione assiale

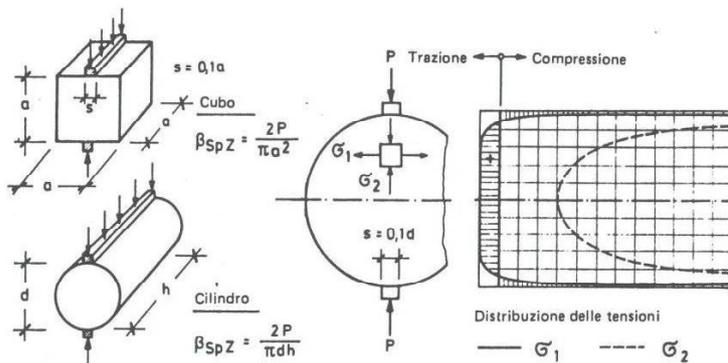


Fig. 2.14 Determinazione della resistenza a trazione per fenditura su cilindri o cubetti di calcestruzzo [35]

Trazione per fenditura

CALCESTRUZZO

Resistenza a trazione per flessione

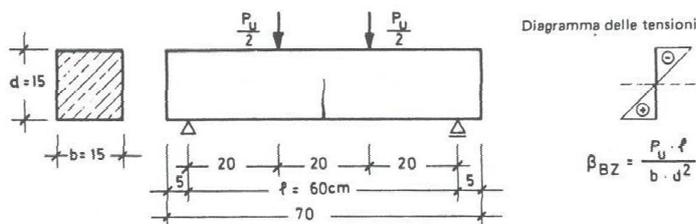


Fig. 2.15 Provini per la determinazione della resistenza alla flessione-trazione

$$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$$

$$f_{ck} = 0.83 R_{ck} \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad [N/mm^2]$$

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} \quad [N/mm^2]$$

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} \quad \text{per classi} \leq C50/60$$

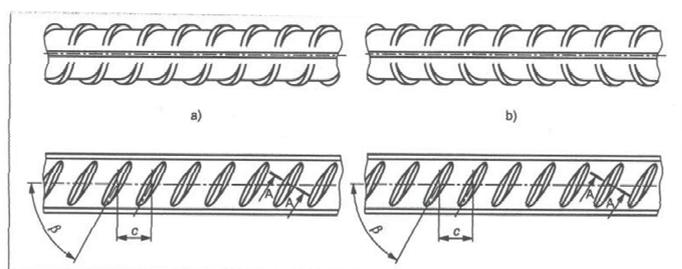
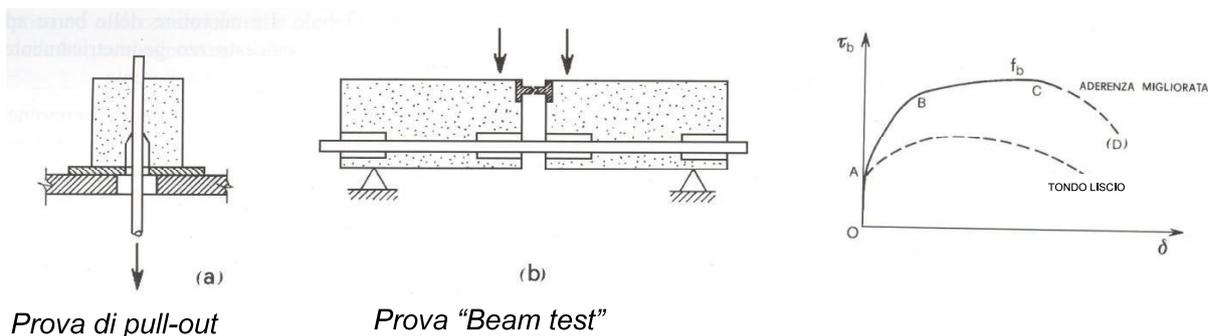
$$f_{ctm} = 2.12 \ln[1 + f_{cm}/10] \quad \text{per classi} > C50/60$$

$$f_{ctk,5\%} = 0.7 f_{ctm}$$

$$f_{ctk,95\%} = 1.3 f_{ctm}$$

CALCESTRUZZO

Aderenza acciaio-calcestruzzo

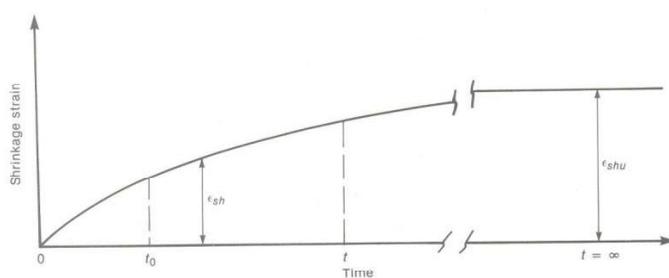


$$f_{bk} = 2.25 f_{ctk}$$

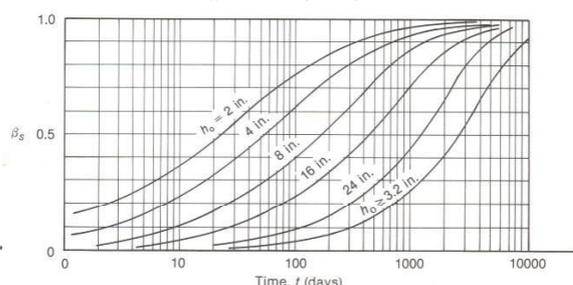
CALCESTRUZZO

Ritiro

$$h_o = \frac{2 \cdot A}{p} \quad \begin{array}{l} A = \text{area sez. trasv.} \\ p = \text{perimetro sez.} \end{array}$$

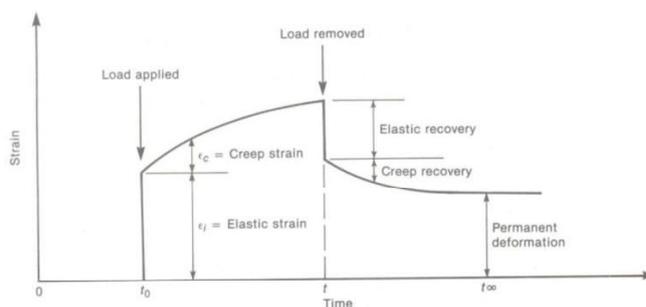


(a) Shrinkage of an unloaded specimen.

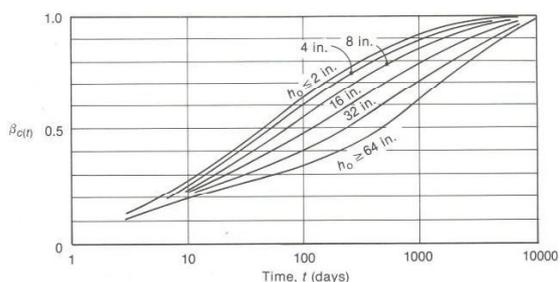


(d) Change of shrinkage with time

Viscosità



(b) Elastic and creep strains due to loading at time, t_0 , and unloading at time, t .



(b) Change in creep with time.

CALCESTRUZZO

Dilatazione termica

Coefficiente di dilatazione termica $\alpha_T = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ \cong come quello dell'acciaio

Variatione di lunghezza dell'elemento di lunghezza l_0 per effetto di una var di temp. ΔT $\Delta l = l_0 * \alpha_T * \Delta T$

Durabilità

I principali agenti aggressivi di tipo chimico-fisico sono

- Gelo-disgelo
- Acidi
- Solfati
- Alkali
- Biologici



DANNEGGIAMENTO CALCESTRUZZO

- Carbonatazione cls
- Penetrazione cloruri



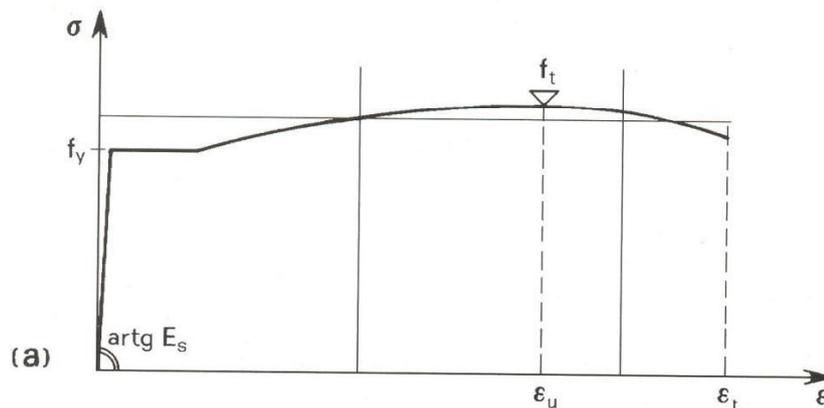
CORROSIONE ACCIAIO

ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio d'armatura è prodotto in barre o in filo.

La classificazione fatta con riferimento alle *caratteristiche meccaniche* dell'acciaio si basa sui seguenti parametri:

- f_t - tensione di rottura (o resistenza a trazione)
- f_y - tensione di snervamento
- f_t/f_y - rapporto di incrudimento
- ϵ_u - allungamento limite (sotto carico massimo)



ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio d'armatura è prodotto in barre o in filo.

- un comportamento elastico lineare fino al limite f_y di snervamento;
- modulo elastico E_s con buona precisione pari, per tutti i tipi di acciaio, a 205000 MPa;
- comportamento successivo perfettamente plastico con andamento orizzontale;
- ripresa, dopo un notevole allungamento, della crescita tensionale al seguito dell'incrudimento del materiale;
- raggiungimento della massima capacità resistente f_t per notevoli valori dell'allungamento limite (uniforme sotto carico massimo) ε_u ;
- discesa della curva dopo il carico massimo al seguito del fenomeno della strizione del provino;
- rottura notevolmente duttile ad un allungamento ε_t ancora maggiore;
- indici ε_u , ε_t di duttilità più piccoli in genere per gli acciai di maggiore resistenza.

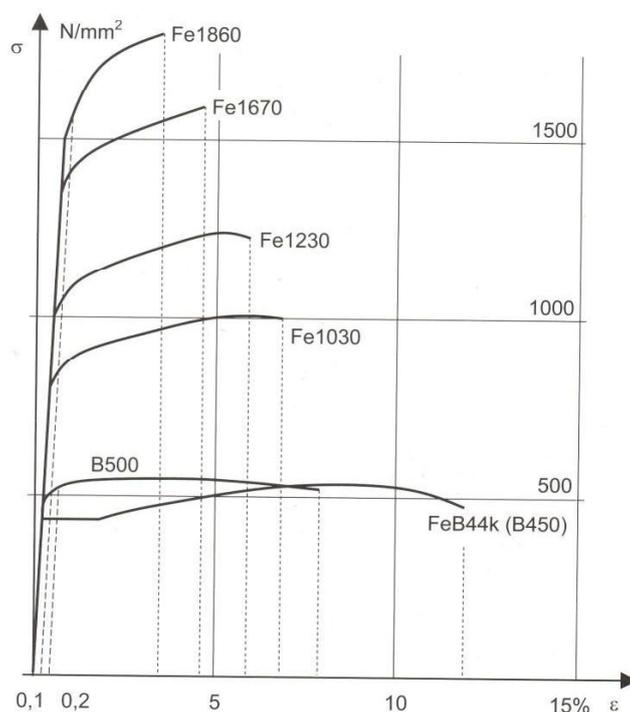
ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio d'armatura è prodotto in barre o in filo.

Acciaio ad alta resistenza in filo da c.a.p. per trecce e trefoli

Acciaio ad alta resistenza in barre da c.a.p.

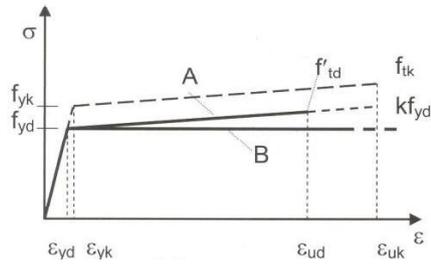
Acciaio in barre ad aderenza migliorata da c.a. ordinario



ACCIAIO D'ARMATURA

$$E_0 = \frac{f_y}{\varepsilon_y}$$

$$E_1 = \frac{f_t - f_y}{\varepsilon_u - \varepsilon_y}$$



A – Modello bilineare con incrudimento

B – Modello elastico-perfettamente plastico indefinito

$$f_y = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}$$

con $\gamma_S = 1,15$

$$f_t = f_{td} = k f_{yd}$$

con $k = 1,2$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk}$$

$$\varepsilon_u = \varepsilon_{uk}$$

$$f'_{td} = f_y + E_1 (\varepsilon_{ud} - \varepsilon_y)$$