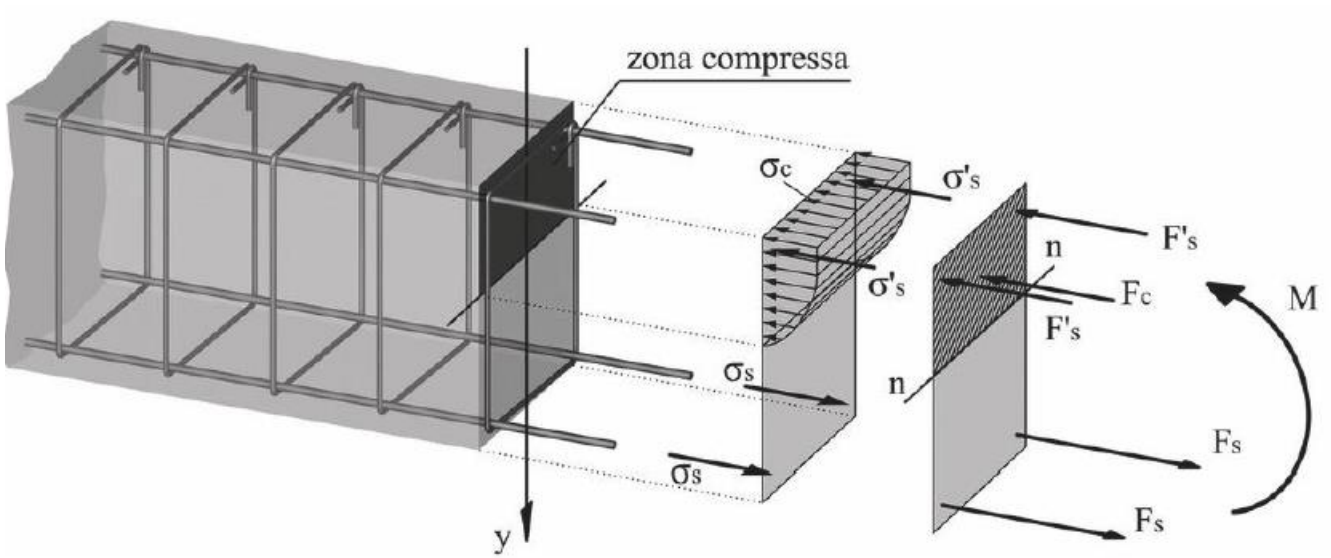
Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Rottura per Flessione semplice



- **Equazione di equilibrio alla traslazione**

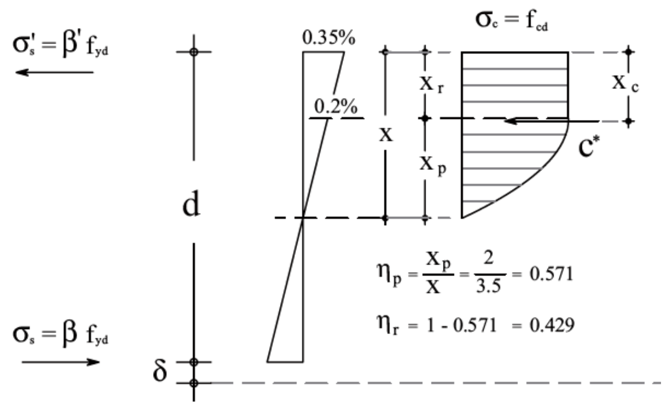
$$F'_s + F_c = F_s$$

- **Equazione di equilibrio alla rotazione**

$$F'_s(d - d') + F_c(d - x_c) = M$$

Rottura bilanciata a flessione

Rottura bilanciata della sezione quella che avviene quando la deformazione nell'acciaio è pari a ε_{yd} e quella nel calcestruzzo a ε_{cu} =0.35%.



Si definiscono

"coefficiente di riempimento"

$$\kappa = C^* / (f_{cd}\, x)$$

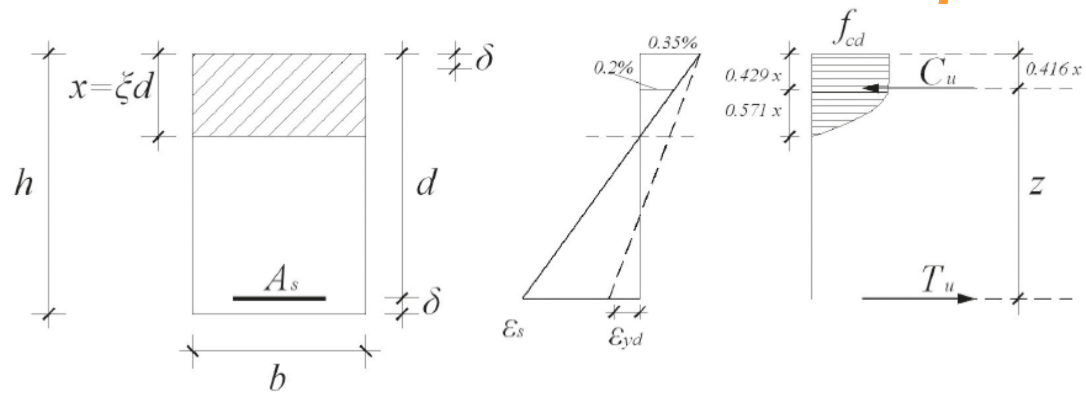
<1 rapporto tra la risultante C* di compressione nel calcestruzzo e la corrispondente risultante nel caso di tensione costante pari a f_{cd}.

$$\eta = x_c / x$$

Rapporto fra la distanza x_c della risultante C* dal lembo più compresso e l'estensione della zona di conglomerato compresso x.

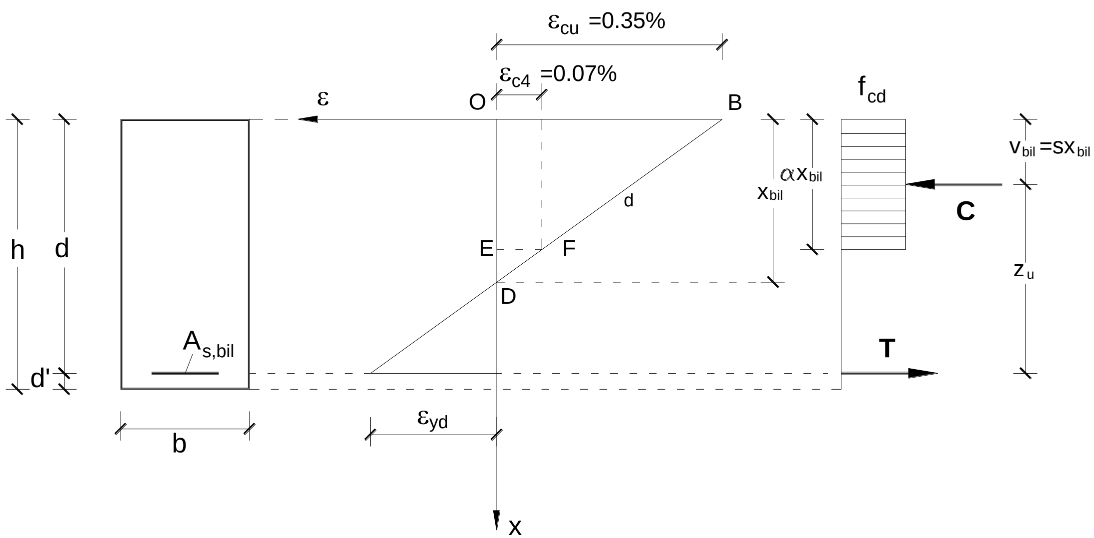
Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Rottura bilanciata a flessione: Semplice armatura



$x_1 = 2x/3.5 = 0.57x.$ $x_2 = x - x_1 = 0.43\,x.$ $\eta = 0.416;$ $\kappa = 0.808.$

$$\boxed{\xi_{bil} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.641}$$



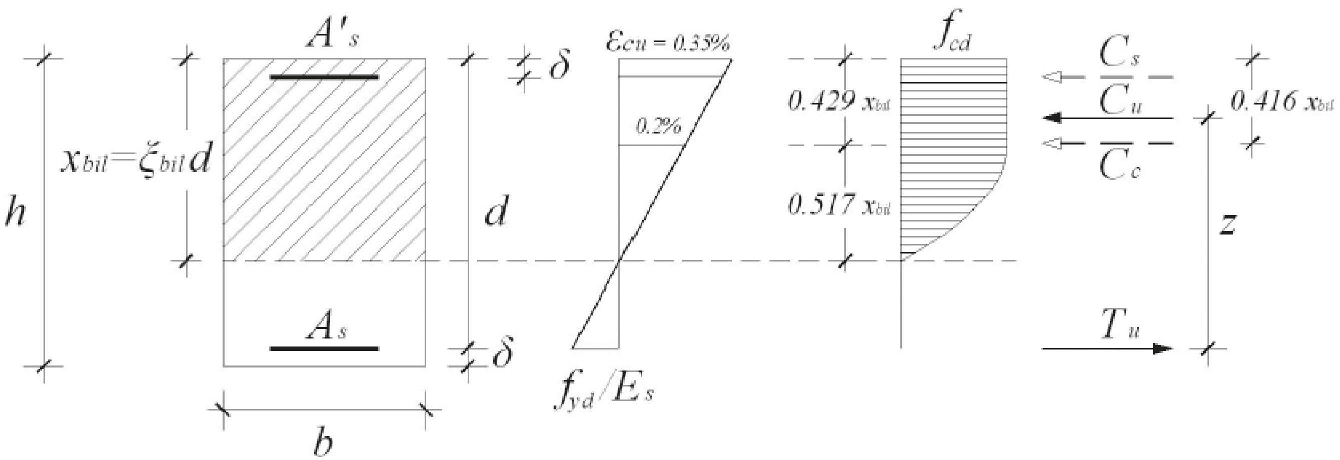
$$\boxed{\rho_{bil} = 0.5128\,\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$$

Per f_{ck}=30 MPa e f_{yk}=450 MPa (acciaio B450C) si ha (f_{cd}=17.0 MPa; f_{yd}=391.3 MPa; ε_{yd}=0.196%, ξ_{bil}=0.641):

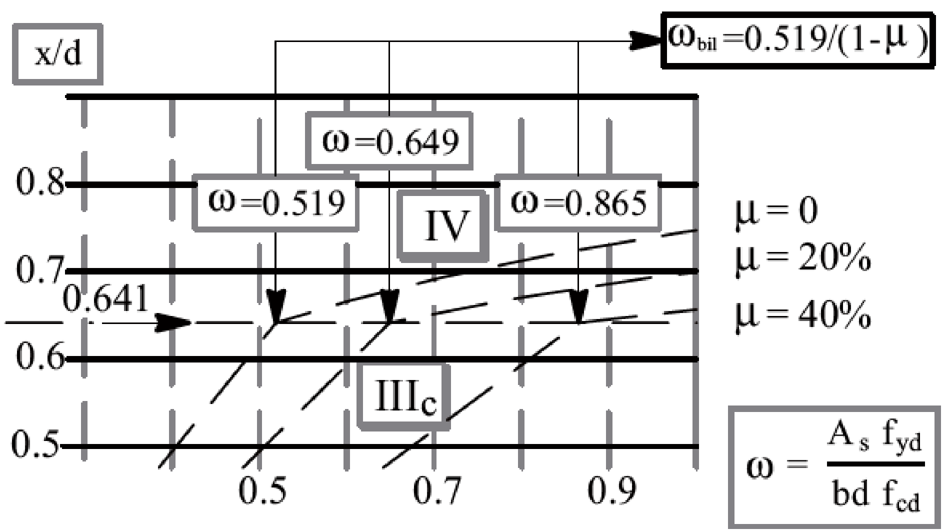
ρ_{bil}=0.0223.

Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Rottura bilanciata a flessione: Doppia armatura



$$\xi_{bil} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = 0.641.$$



$$\omega = \frac{A_s\, f_{yd}}{b d\, f_{cd}}$$

$$\omega_{bil} = \frac{\kappa\, \xi_{bil}}{(1-\mu)} \Rightarrow A_{s,bil} = b\, d\, \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{\kappa\, \xi_{bil}}{(1-\mu)}$$

Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Armatura minima travi inflesse

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$\boxed{A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d} \text{ e comunque non minore di } \boxed{0,0013 \cdot b_t \cdot d}$$

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa; per una trave a T con piattabanda compressa, nel calcolare il valore di b_t si considera solo la larghezza dell'anima;

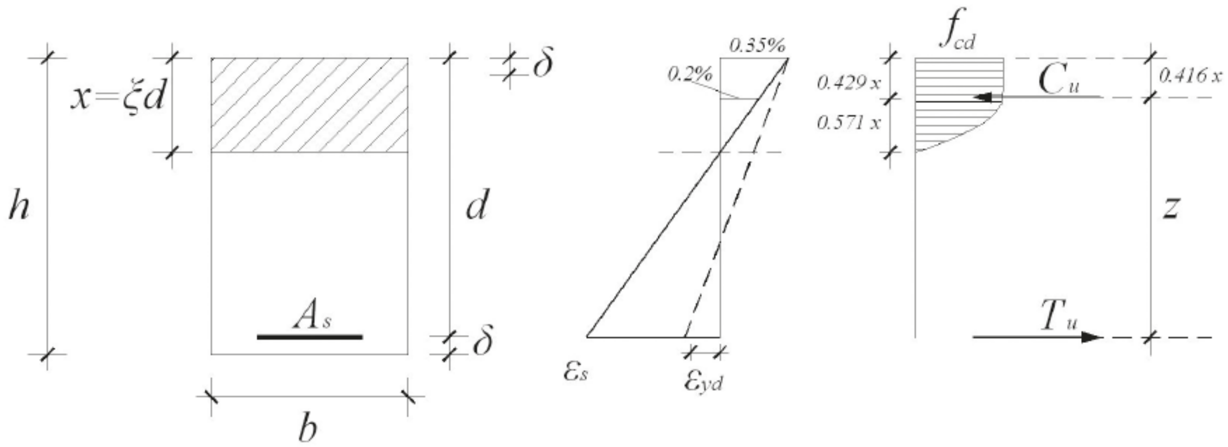
d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa <u>non</u> deve superare individualmente $\boxed{A_{s,max} = 0,04\ A_c}$ essendo A_c l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.

Sezione assegnata e Progetto della sola armatura



Equazioni di equilibrio

$$T_u = C_u$$

$$M_{Rd} = \begin{cases} C_u\, z = 0.809\, f_{cd}\, bd^2 \xi (1 - 0.416\xi) \\ T_u\, z = \quad f_{yd}\, \rho\, bd^2 (1 - 0.416\xi) \end{cases}$$

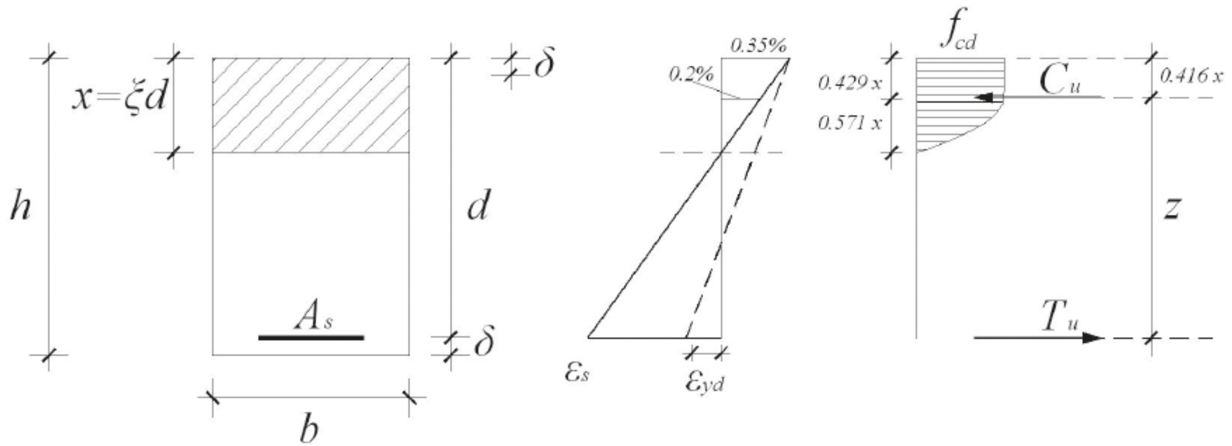
Verifica

$$\boxed{M_{Sd} \le M_{Rd}}$$

Sezione assegnata e Progetto della sola armatura

Le incognite sono:

- **l'area di acciaio: A_s;**
- **la retta di rottura.**



$$C_{u1}\, z_1 = 0.809\, f_{cd}\, bd^2 \xi (1 - 0.416\xi) = M_{sd}$$ ⇨ **Ricavo ξ**

$$C_u = 0.809\, f_{cd}\, bd\xi = T_u = A_s\, f_{yd}$$ ⇨ $$A_s = \frac{T_u}{f_{yd}}$$

Sezione assegnata e Progetto della sola armatura a duttilità assegnata

L'incognita: l'area di acciaio: A_s.

duttilità assegnata → ξ fissato

$$C_{u1} = 0.809\, f_{cd}\, bd\xi = T_{u1} = A_{s1} f_{yd} \quad \Rightarrow \quad A_{s1} = \frac{T_{u1}}{f_{yd}}$$

Calcolo momento resistente

$$M_{Rd1} = C_{u1}\, z_1 = 0.809\, f_{cd}\, bd^2 \xi (1 - 0.416\xi)$$

$$M_{Sd} \le M_{Rd1}$$

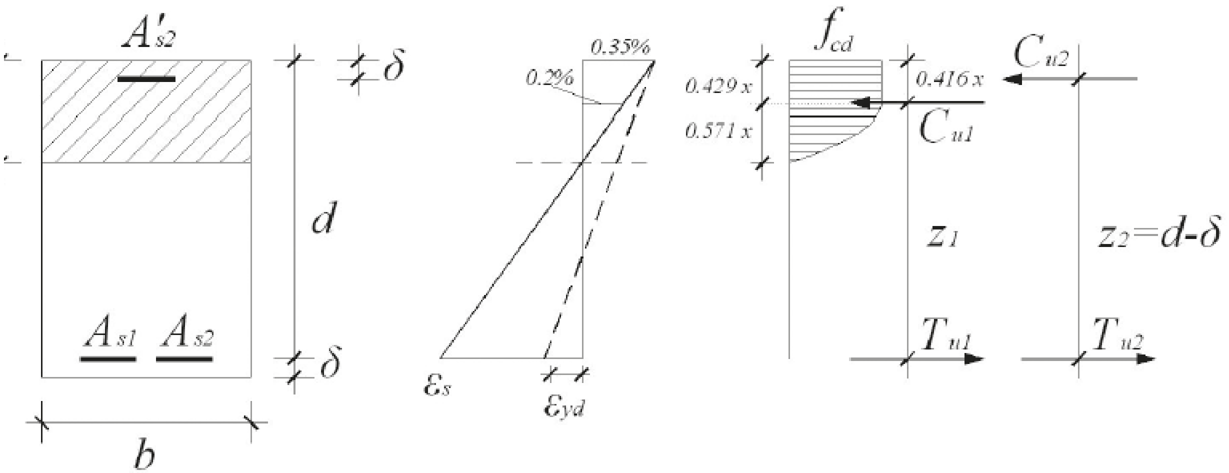
verificata

$$M_{Rd1} < M_{sd}$$

Non verificata

Rottura a flessione: Semplice armatura

Caso $M_{Rd1} < M_{sd}$



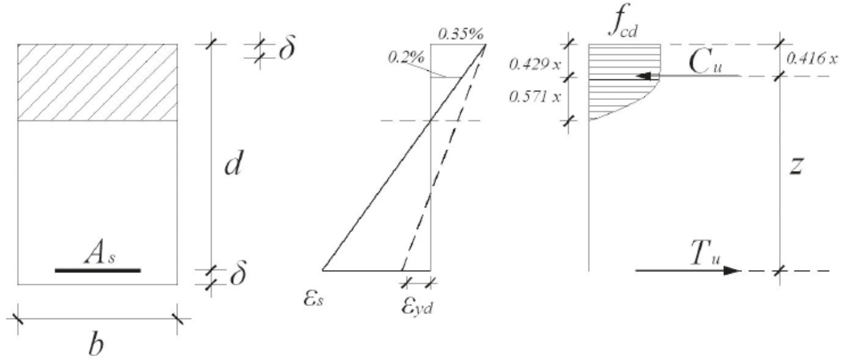
$$T_{u2} = C_{u2};\ A_{s2} f_{yd} = A'_{s2}\ f_{yd};\ A_{s2} = A'_{s2}$$

$$\Delta M = T_{u2} z_2 = C_{u2} z_2 \qquad \Rightarrow \quad A_{s2} = \frac{\Delta M}{f_{yd}(d-\delta)}$$

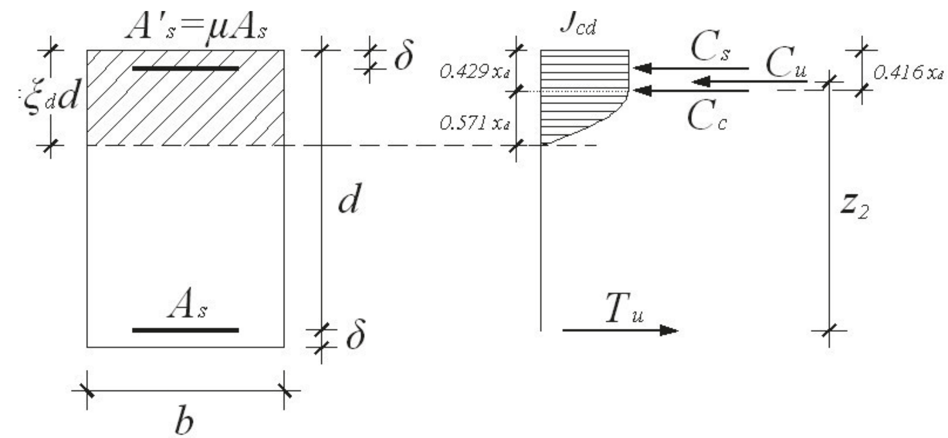
Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Rottura a flessione

Semplice armatura



Doppia armatura



Equazioni di equilibrio

$$T_u = C_u$$

$$M_{Rd} = \begin{cases} C_u \, z = 0.809 \, f_{cd} \, b d^2 \xi (1 - 0.416\xi) \\ T_u \, z = \quad f_{yd} \, \rho \, b d^2 (1 - 0.416\xi) \end{cases}$$

$$T_u = C_s + C_c$$

$$M_{Rd} = C_u z_2 = C_s z_s + C_c z_c$$

A parità di momento resistente,
la sezione a doppia armatura ha ξ minore → duttilità maggiore

Progetto della sezione e della armatura

Le incognite sono:

- **le dimensioni geometriche della sezione: b ed h;**
- **l'area di acciaio: A_s;**
- **la retta di rottura.**

$$\rho = 0.81 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \xi$$

Trave piatta

$$b = \frac{M_{Sd}}{0.81 f_{cd} d^2 \xi (1 - 0.416\xi)}$$

Trave alta

$$d = \sqrt{\frac{M_{Sd}}{0.81 f_{cd} b \xi (1 - 0.416\xi)}} = \frac{1}{\sqrt{0.81\xi(1 - 0.416\xi)}} \sqrt{\frac{M_{Sd}}{f_{cd} b}} = r(\xi) \sqrt{\frac{M_{Sd}}{f_{cd} b}}$$

$$r(\xi) = \frac{1}{\sqrt{0.81\xi(1 - 0.416\xi)}}$$

		B450C			C20/25	C25/30	C28/35	C35/45	C40/50	C45/55
		f_{yk} 450 MPa	f_{yd} 391,3 MPa	e_{yd} 0,196%	f_{cd} 11,33 MPa	f_{cd} 14,17 MPa	f_{cd} 15,87 MPa	f_{cd} 19,83 MPa	f_{cd} 22,67 MPa	f_{cd} 25,50 MPa
	x=x/d	**a** (x)	**s**(x)	**r**	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ
Campo 3 (K=1)	0,0490	0,8	0,4	5,10100	0,001135	0,001419	0,001589	0,001987	0,002271	0,002555
	0,1000	0,8	0,4	3,60844	0,002317	0,002896	0,003244	0,004055	0,004634	0,005213
	0,1500	0,8	0,4	2,97746	0,003476	0,004344	0,004866	0,006082	0,006951	0,007820
	0,2000	0,8	0,4	2,60643	0,004634	0,005793	0,006488	0,008110	0,009268	0,010427
	0,2500	0,8	0,4	2,35702	0,005793	0,007241	0,008110	0,010137	0,011585	0,013033
	0,3000	0,8	0,4	2,17597	0,006951	0,008689	0,009732	0,012164	0,013902	0,015640
	0,3100	0,8	0,4	2,14547	0,007183	0,008979	0,010056	0,012570	0,014366	0,016161
	0,3200	0,8	0,4	2,11652	0,007415	0,009268	0,010380	0,012975	0,014829	0,016683
	0,3300	0,8	0,4	2,08900	0,007646	0,009558	0,010705	0,013381	0,015292	0,017204
	0,3400	0,8	0,4	2,06281	0,007878	0,009847	0,011029	0,013786	0,015756	0,017725
	0,3500	0,8	0,4	2,03785	0,008110	0,010137	0,011353	0,014192	0,016219	0,018247
	0,3600	0,8	0,4	2,01403	0,008341	0,010427	0,011678	0,014597	0,016683	0,018768
	0,3700	0,8	0,4	1,99129	0,008573	0,010716	0,012002	0,015003	0,017146	0,019289
	0,3800	0,8	0,4	1,96954	0,008805	0,011006	0,012327	0,015408	0,017609	0,019811
	0,3900	0,8	0,4	1,94873	0,009036	0,011296	0,012651	0,015814	0,018073	0,020332
	0,4000	0,8	0,4	1,92879	0,009268	0,011585	0,012975	0,016219	0,018536	0,020853
	0,4100	0,8	0,4	1,90968	0,009500	0,011875	0,013300	0,016625	0,019000	0,021375
	0,4200	0,8	0,4	1,89134	0,009732	0,012164	0,013624	0,017030	0,019463	0,021896
	0,4300	0,8	0,4	1,87372	0,009963	0,012454	0,013949	0,017436	0,019927	0,022417
	0,4400	0,8	0,4	1,85680	0,010195	0,012744	0,014273	0,017841	0,020390	0,022939
	0,4500	0,8	0,4	1,84053	0,010427	0,013033	0,014597	0,018247	0,020853	0,023460
	0,4600	0,8	0,4	1,82487	0,010658	0,013323	0,014922	0,018652	0,021317	0,023981
	0,4700	0,8	0,4	1,80979	0,010890	0,013613	0,015246	0,019058	0,021780	0,024503
	0,4800	0,8	0,4	1,79527	0,011122	0,013902	0,015570	0,019463	0,022244	0,025024
	0,4900	0,8	0,4	1,78127	0,011353	0,014192	0,015895	0,019869	0,022707	0,025545
	0,5000	0,8	0,4	1,76777	0,011585	0,014481	0,016219	0,020274	0,023170	0,026067
	0,5100	0,8	0,4	1,75474	0,011817	0,014771	0,016544	0,020680	0,023634	0,026588
	0,5200	0,8	0,4	1,74217	0,012049	0,015061	0,016868	0,021085	0,024097	0,027109
	0,5300	0,8	0,4	1,73003	0,012280	0,015350	0,017192	0,021491	0,024561	0,027631
	0,5400	0,8	0,4	1,71830	0,012512	0,015640	0,017517	0,021896	0,025024	0,028152
	0,5500	0,8	0,4	1,70697	0,012744	0,015930	0,017841	0,022301	0,025487	0,028673
	0,5600	0,8	0,4	1,69602	0,012975	0,016219	0,018166	0,022707	0,025951	0,029195
	0,5700	0,8	0,4	1,68542	0,013207	0,016509	0,018490	0,023112	0,026414	0,029716
	0,5800	0,8	0,4	1,67518	0,013439	0,016799	0,018814	0,023518	0,026878	0,030237
	0,5900	0,8	0,4	1,66526	0,013671	0,017088	0,019139	0,023923	0,027341	0,030759
	0,6000	0,8	0,4	1,65567	0,013902	0,017378	0,019463	0,024329	0,027804	0,031280
	0,6100	0,8	0,4	1,64638	0,014134	0,017667	0,019787	0,024734	0,028268	0,031801
	0,6200	0,8	0,4	1,63738	0,014366	0,017957	0,020112	0,025140	0,028731	0,032323
	0,6300	0,8	0,4	1,62867	0,014597	0,018247	0,020436	0,025545	0,029195	0,032844
	0,6400	0,8	0,4	1,62024	0,014829	0,018536	0,020761	0,025951	0,029658	0,033365
	0,6410	0,8	0,4	1,61941	0,014852	0,018565	0,020793	0,025991	0,029704	0,033417

Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

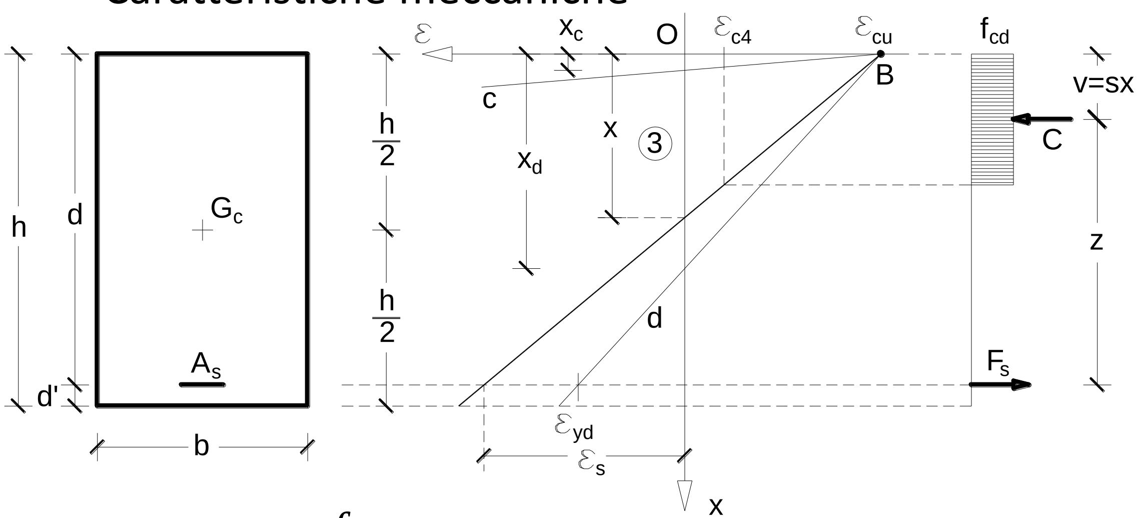
Rottura a flessione: Semplice armatura

Verifica della sezione

Dati:
- M_{sd}
- Geometria
- Armatura
- Caratteristiche meccaniche

Incognite:

M_{Rd}



rapporto meccanico dell'armatura

$$\omega = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{f_{cd} \cdot b \cdot d}$$

$$\omega \leq \quad \omega_d = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \rho_d = 0.5128$$

Armatura snervata

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{0.81 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d} = \frac{\omega}{0.81}$$

Verifica duttilità $\quad \xi \leq \bar{\xi}$

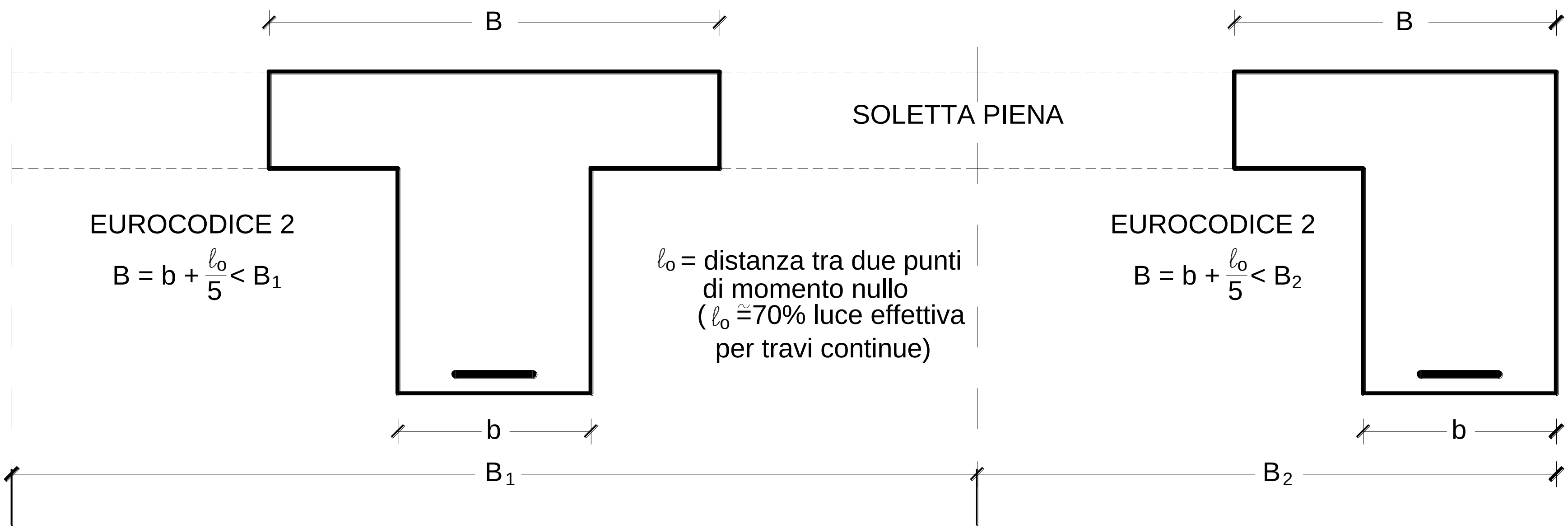
$$M_{Rd} = 0.81\, f_{cd}\, b\, x\, (d - 0.416\, x)$$

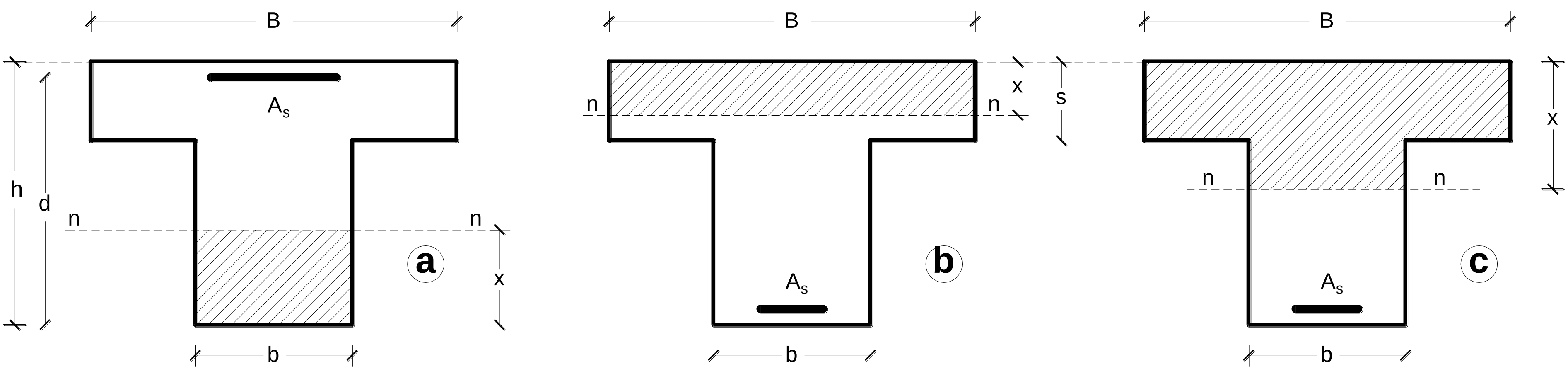
$$M_{Rd} = \sigma_s A_s (d - 0.416\, x)$$

Verifica resistenza $\quad M_{Rd} \geq M_{Sd}$

Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

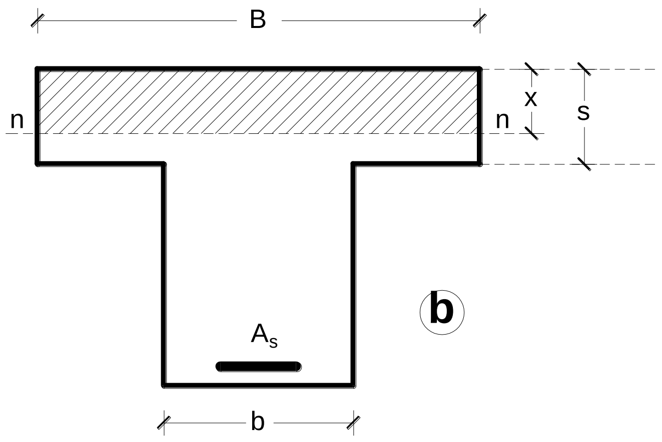
Rottura a flessione: Semplice armatura





Progetto della armatura

dati del problema : B, b, h, s, d', f_{cd}, f_{yd}, M_{Sd} .



Supponendo che l'asse neutro tagli la soletta o x<=1.25s

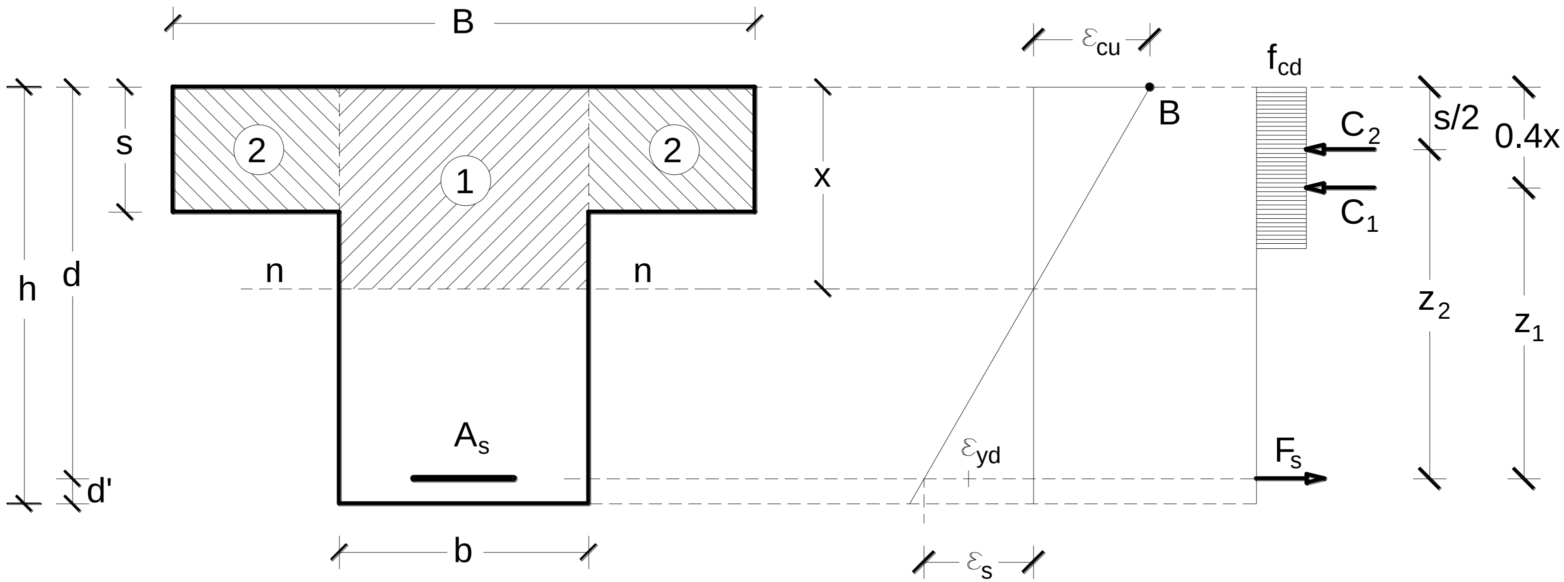
$$0.4x^2 - d \cdot x + \frac{M_{Sd}}{0.8 f_{cd} B} = 0 \qquad \Rightarrow \qquad x = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2 M_{Sd} / (f_{cd} B)}}{0.8}$$

Se si ottiene un valore x<=1.25s -→

$$C = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x = f_{yd} \cdot A_s \quad \Rightarrow \quad A_s = \frac{0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x}{f_{yd}}$$

Rottura a flessione: Semplice armatura

Se si ottiene un valore x>1.25s -→



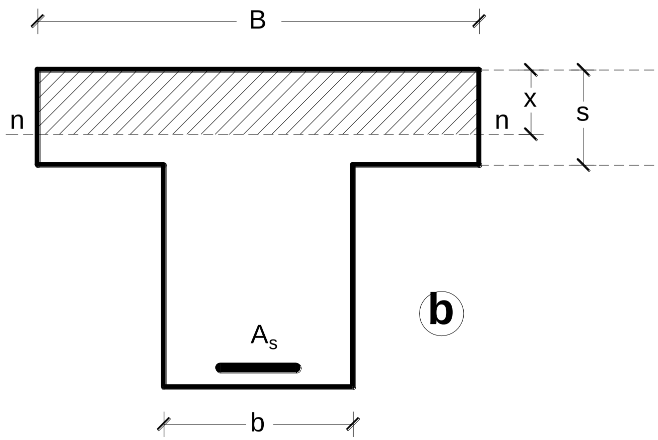
$$M_{Sd} = C_1 \cdot z_1 + C_2 \cdot z_2 = 0.8 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x\left(d - 0.4x\right) + f_{cd}\left(B - b\right)s\left(d - s/2\right)$$

Si ricava x

$$C_1 + C_2 = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8f_{cd} \cdot b \cdot x + f_{cd}\left(B - b\right)s = f_{yd} \cdot A_s \quad \Rightarrow \quad A_s = \frac{0.8f_{cd} \cdot b \cdot x + f_{cd}\left(B - b\right)s}{f_{yd}}$$

Verifica della armatura

Si ipotizza che l'asse neutro sia tale che $x \leq 1.25 \cdot s$



Si valuta il rapporto geometrico dell'armatura

$$\rho = A_s / B \cdot d$$

se $\rho < \rho_{bil}$ ⇒ **Rottura nel campo 3**

$$C = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x = f_{yd} \cdot A_s \quad \Rightarrow \quad x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{0.8 B \cdot f_{cd}}$$

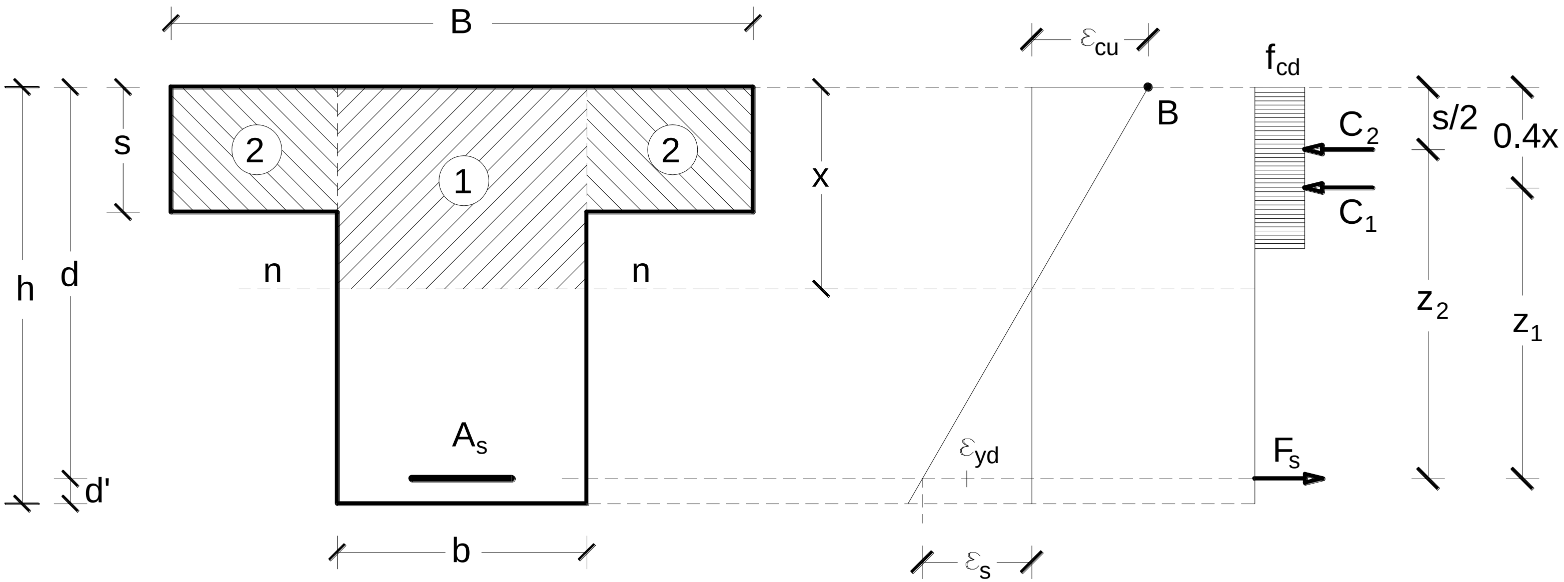
Se $x \leq 1.25 \cdot s$

⇓

$$M_{Rd} = C \cdot z = F_s \cdot z = 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x (d - 0.4 x) = f_{yd} \cdot A_s (d - 0.4 x)$$

Rottura a flessione: Semplice armatura

Se $x > 1.25 \cdot s$

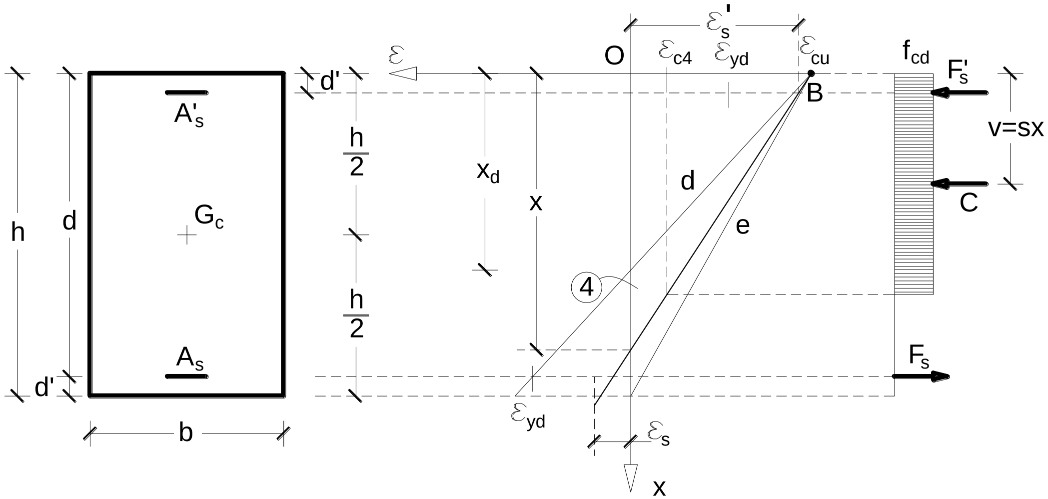


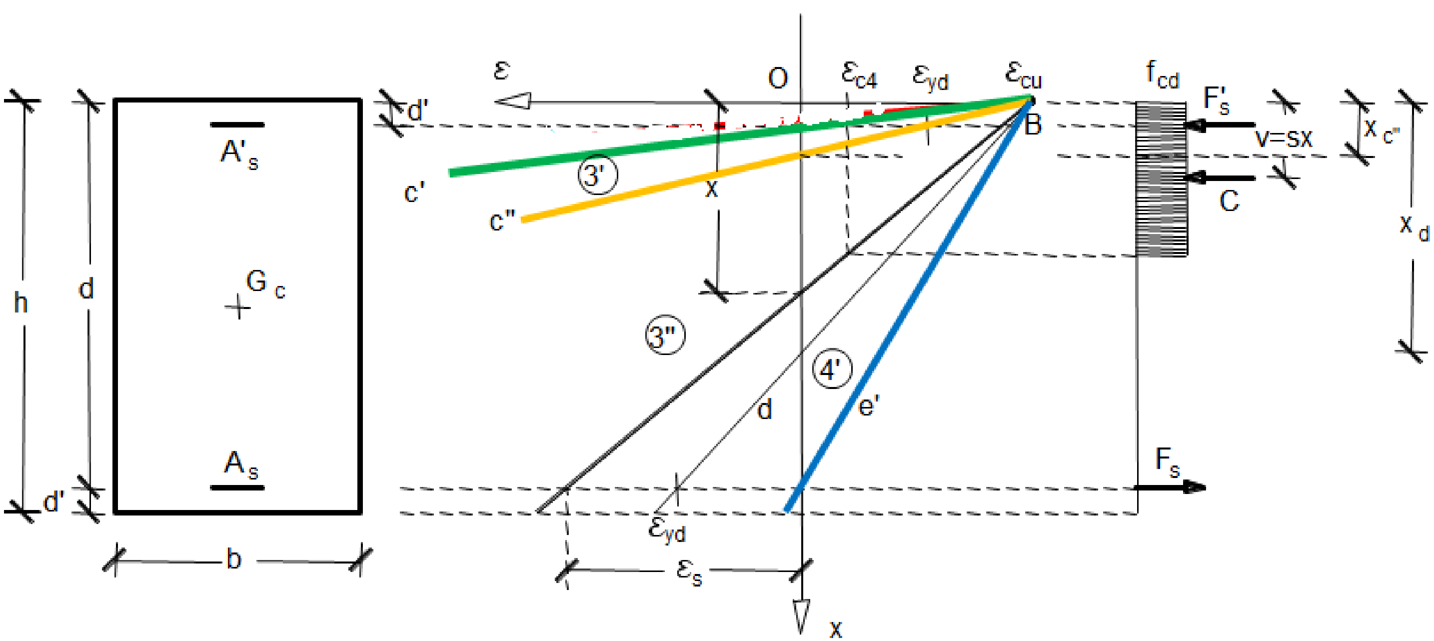
$$C_1 + C_2 = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x + f_{cd}(B-b)s = f_{yd} \cdot A_s \quad \Rightarrow \quad x = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{0.8 f_{cd} \cdot b} - \frac{(B-b)s}{0.8b}$$

$$M_{Rd} = C_1 \cdot z_1 + C_2 \cdot z_2 = 0.8 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x (d - 0.4x) + f_{cd}(B-b)s(d - s/2)$$

Stati Limite Ultimi per Tensioni normali

Rottura a flessione: Doppia armatura

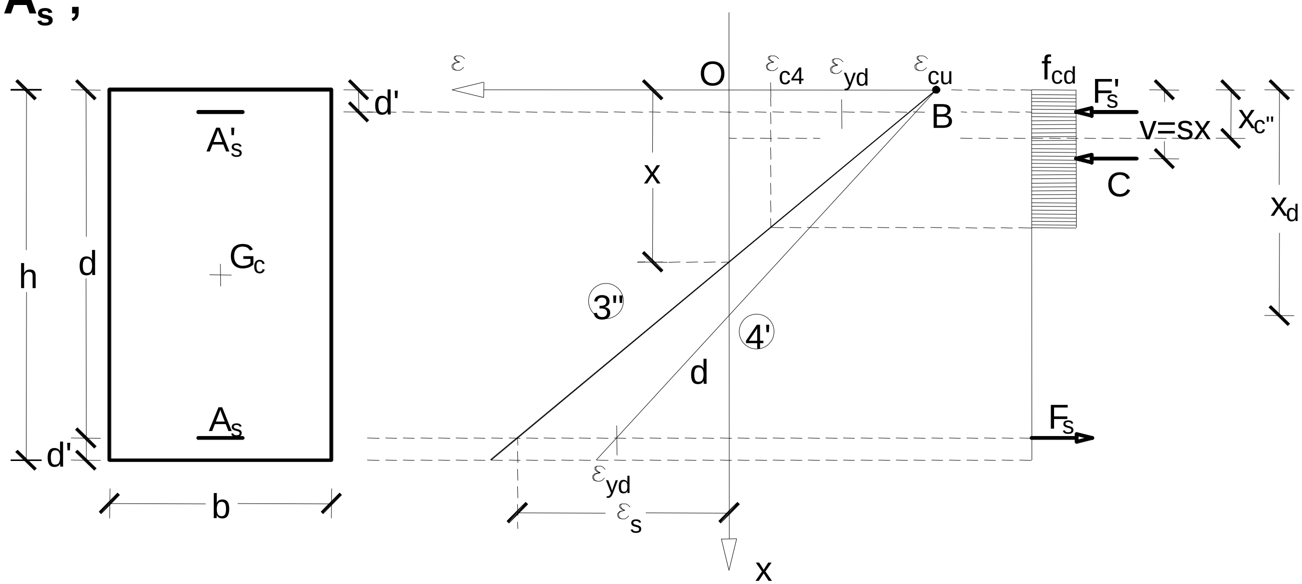




Sezione assegnata e Progetto della armatura tesa e compressa

Le incognite sono:

- **l'area di acciaio: A_s , A_s';**
- **la retta di rottura.**



Si fissa ξ

$$T_u = C_s + C_c$$

$$0.81\, f_{cd} bx + f_{yd} \mu A_s - f_{yd} A_s = 0$$

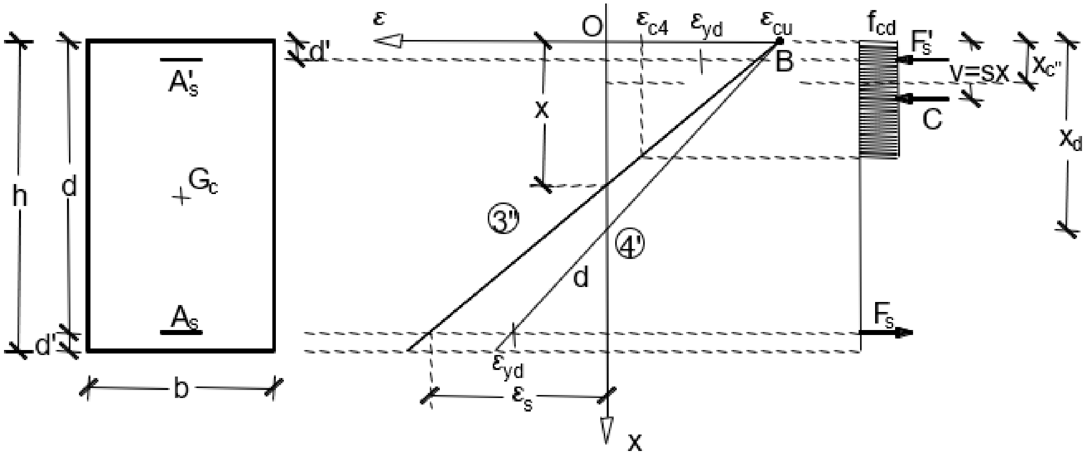
$$M_{Rd} = C_u z_2 = C_s z_s + C_c z_c$$

$$M_{Rd} = 0.81 f_{cd} bx[d - 0.416x] + f_{yd} \mu A_s (d - d')$$

Progetto della sezione e della armatura tesa e compressa

Le incognite sono:

- **le dimensioni geometriche della sezione: b ed h;**
- **l'area di acciaio: A_s , A_s';**
- **la retta di rottura.**



Si fissano ξ e μ

Equilibrio alla traslazione

$$0.81 f_{cd} b x + f_{yd} \mu A_s - f_{yd} A_s = 0 \qquad \Rightarrow$$

$$A_s = \frac{0.81 f_{cd} b x}{f_{yd}(1-\mu)} = \frac{0.81 f_{cd} b \xi d}{f_{yd}(1-\mu)} \qquad \Rightarrow \qquad \rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{0.81 f_{cd}}{f_{yd}(1-\mu)} \xi$$

Rottura a flessione: Doppia armatura

Per travi a spessore

Si fissa d

Equilibrio alla rotazione

$$b = \frac{M_{Sd}}{0.81 f_{cd} x \left[d - 0.416x + \frac{\mu}{1-\mu}(d - d') \right]}$$

Per travi alte

Si fissa b

Equilibrio alla rotazione

$$d = \frac{1}{\sqrt{0.81\xi \left[1 - 0.416\xi + \frac{\mu}{1-\mu}(1-\delta) \right]}} \sqrt{\frac{M_{Sd}}{f_{cd} b}} = r'(\xi) \sqrt{\frac{M_{Sd}}{f_{cd} b}}$$

Tabella Campo 3''			$\mu = A'_s/A_s =$ 0,25				$\delta = d'/d =$ 0,06		
B450C			C20/25	C25/30	C28/35	C35/45	C40/50	C45/55	
f_{yk}	f_{yd}	e_{yd}	f_{cd}	f_{cd}	f_{cd}	f_{cd}	f_{cd}	f_{cd}	
450 MPa	391,3 MPa	0,196%	11,33 MPa	14,17 MPa	15,87 MPa	19,83 MPa	22,67 MPa	25,50 MPa	
	$\xi = x/d$	r'	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	ρ	
Campo 3'' (k=1)	0,1350	2,69827	0,00422	0,00527	0,00591	0,00738	0,00844	0,00949	
	0,1400	2,65184	0,00438	0,00547	0,00613	0,00766	0,00875	0,00984	
	0,1600	2,48883	0,00500	0,00625	0,00700	0,00875	0,01000	0,01125	
	0,1800	2,35436	0,00563	0,00703	0,00788	0,00984	0,01125	0,01266	
	0,2000	2,24108	0,00625	0,00781	0,00875	0,01094	0,01250	0,01406	
	0,2100	2,19078	0,00656	0,00820	0,00919	0,01149	0,01313	0,01477	
	0,2200	2,14405	0,00688	0,00859	0,00963	0,01203	0,01375	0,01547	
	0,2300	2,10050	0,00719	0,00898	0,01006	0,01258	0,01438	0,01617	
	0,2400	2,05979	0,00750	0,00938	0,01050	0,01313	0,01500	0,01688	
	0,2500	2,02164	0,00781	0,00977	0,01094	0,01367	0,01563	0,01758	
	0,2600	1,98580	0,00813	0,01016	0,01138	0,01422	0,01625	0,01828	
	0,2700	1,95205	0,00844	0,01055	0,01181	0,01477	0,01688	0,01899	
	0,2800	1,92020	0,00875	0,01094	0,01225	0,01531	0,01750	0,01969	
	0,2900	1,89009	0,00906	0,01133	0,01269	0,01586	0,01813	0,02039	
	0,3000	1,86157	0,00938	0,01172	0,01313	0,01641	0,01875	0,02109	
	0,3100	1,83451	0,00969	0,01211	0,01356	0,01695	0,01938	0,02180	
	0,3200	1,80880	0,01000	0,01250	0,01400	0,01750	0,02000	0,02250	
	0,3300	1,78433	0,01031	0,01289	0,01444	0,01805	0,02063	0,02320	
	0,3400	1,76101	0,01063	0,01328	0,01488	0,01859	0,02125	0,02391	
	0,3500	1,73876	0,01094	0,01367	0,01531	0,01914	0,02188	0,02461	
	0,3600	1,71750	0,01125	0,01406	0,01575	0,01969	0,02250	0,02531	
	0,3700	1,69717	0,01156	0,01445	0,01619	0,02024	0,02313	0,02602	
	0,3800	1,67770	0,01188	0,01484	0,01663	0,02078	0,02375	0,02672	
	0,3900	1,65904	0,01219	0,01524	0,01706	0,02133	0,02438	0,02742	
	0,4000	1,64114	0,01250	0,01563	0,01750	0,02188	0,02500	0,02813	
	0,4100	1,62394	0,01281	0,01602	0,01794	0,02242	0,02563	0,02883	
	0,4200	1,60742	0,01313	0,01641	0,01838	0,02297	0,02625	0,02953	
	0,4300	1,59153	0,01344	0,01680	0,01881	0,02352	0,02688	0,03024	
	0,4400	1,57623	0,01375	0,01719	0,01925	0,02406	0,02750	0,03094	
	0,4500	1,56150	0,01406	0,01758	0,01969	0,02461	0,02813	0,03164	

Rottura a flessione: Doppia armatura

Verifica della sezione

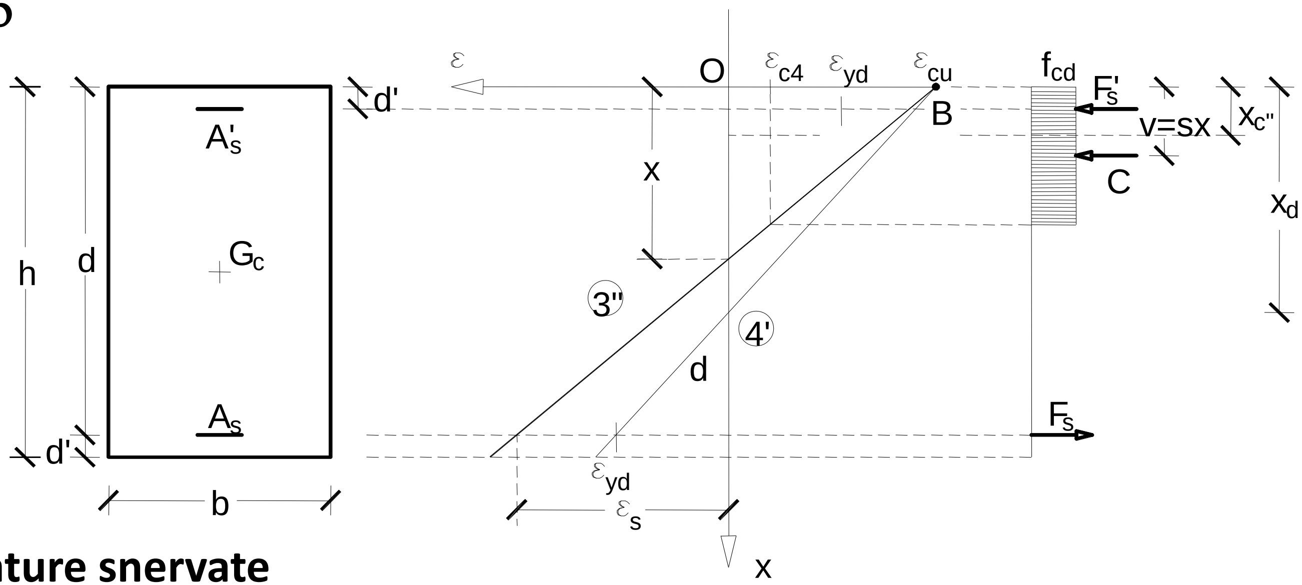
$M_{Rd} \geq M_{Sd}$.

$\rho = A_s/bd$ rapporto geometrico dell'armatura inferiore

$\rho' = A'_s/bd$ rapporto geometrico dell'armatura superiore

$\mu = A'_s/A_s = \rho'/\rho$

$\delta = d'/d$.



Ipotizzo rottura con armature snervate

$$0.8 f_{cd} b x + f_{yd} \mu A_s - f_{yd} A_s = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{f_{yd} A_s (1-\mu)}{0.8 f_{cd} b}$$

Se l'ipotesi è corretta

$$M_{Rd} = 0.8 f_{cd} b x [d - 0.4x] + f_{yd} \mu A_s (d - d')$$

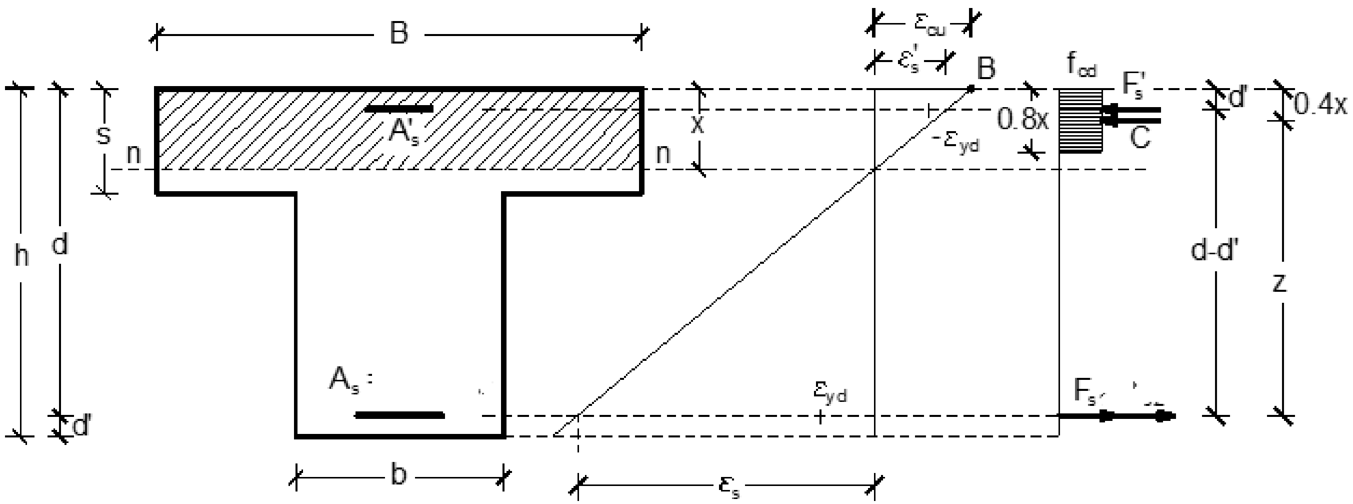
Progetto della armatura tesa e compressa

dati: **B, b, h, s, d', f_{cd}, f_{yd}, M_{sd}**

incognite: **A_s, A'_s, la posizione x della retta di rottura**

1) si fissa il valore di "x" in modo che la rottura avvenga nel Campo 3"

Se si assume $x \le 1.25 \cdot s$



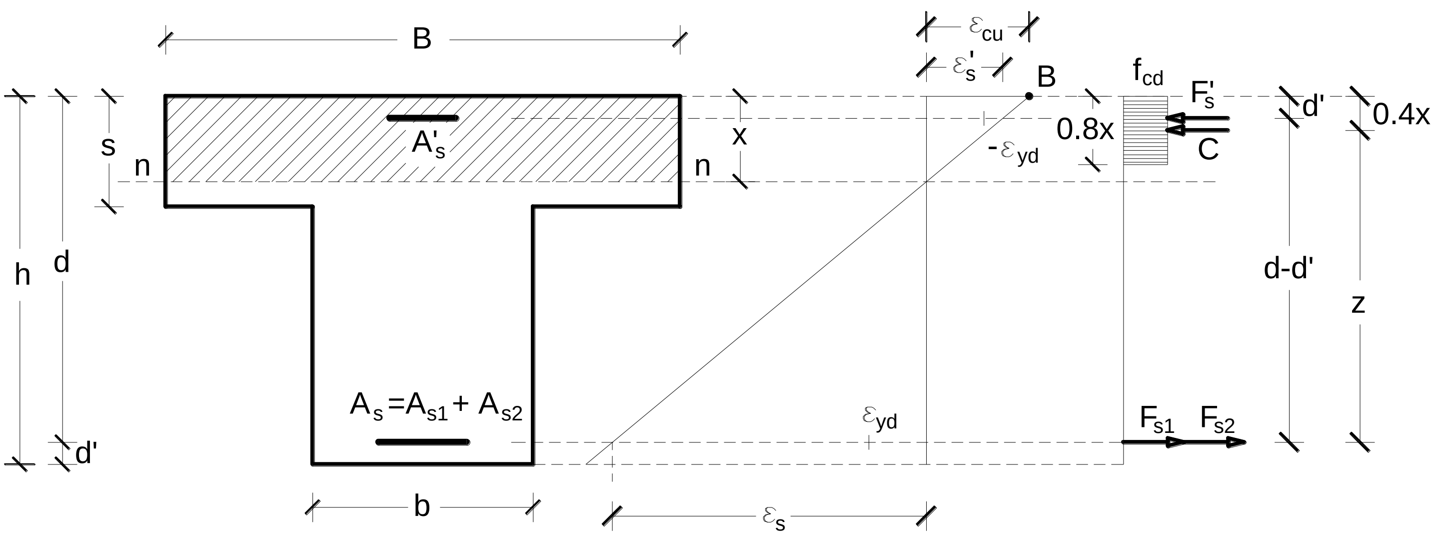
Il momento resistente interno dovuto al solo calcestruzzo

$$M_{Rc} = C \cdot z = 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x (d - 0.4x)$$

Se $M_{Sd}<M_{Rc}$ ⇨ **non occorre armatura in zona compressa**

Progettazione a semplice armatura

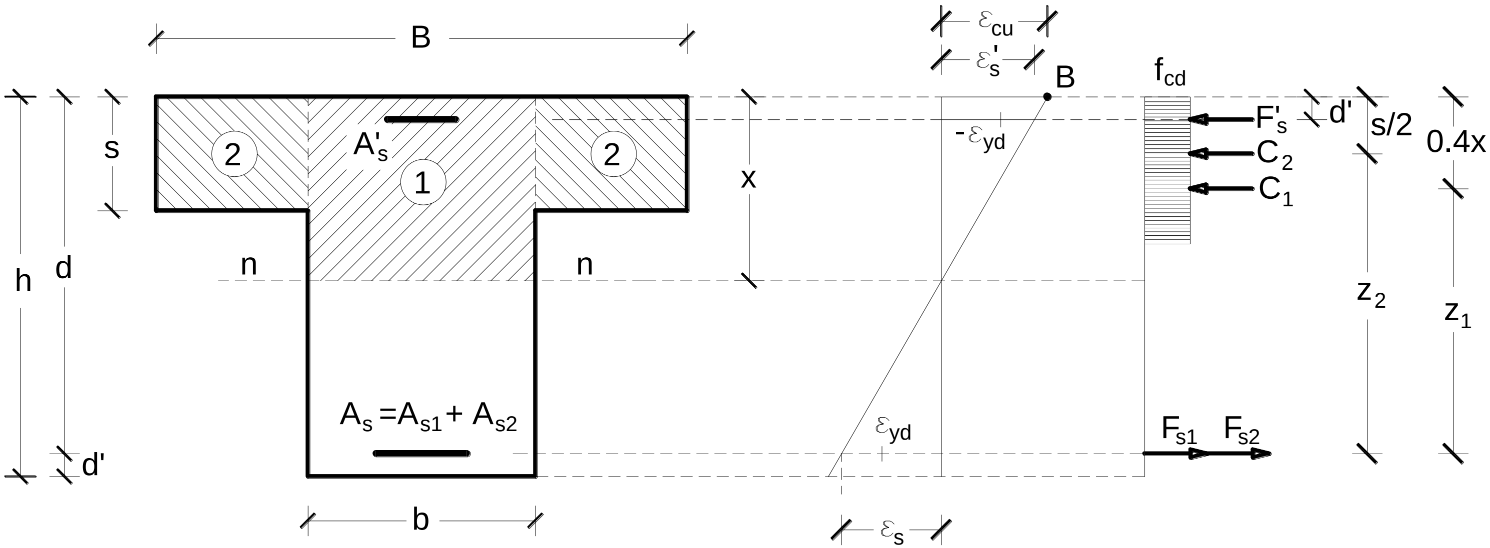
Se $M_{Sd}>M_{Rc}$, ⇨ **occorre armatura per assorbire** $M^*=M_{Sd}-M_{Rc}$



$$F_{s1}=C \quad \Rightarrow \quad f_{yd}\cdot A_{s1}=0.8f_{cd}\cdot B\cdot x \quad \Rightarrow \quad A_{s1}=\frac{0.8f_{cd}\cdot B\cdot x}{f_{yd}}$$

$$A'_s=A_{s2}=\frac{M^*}{f_{yd}\cdot(d-d')}$$

Se si assume $x > 1.25 \cdot s$



Il momento resistente interno dovuto al solo calcestruzzo

$$M_{Rc} = C_1 \cdot z_1 + C_2 \cdot z_2 = 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x \left(d - 0.4x\right) + f_{cd}\left(B - b\right) s \left(d - s/2\right)$$

Se $M_{Sd} < M_{Rc}$ ⇨ **non occorre armatura in zona compressa**

⇩

Progettazione a semplice armatura

,

Rottura a flessione: Doppia armatura

$\boxed{\textbf{Se } M_{Sd}>M_{Rc},}$ ⇒ **occorre armatura per assorbire** **$M^{*}=M_{Sd}-M_{Rc}$**

$$F_{s1}=C_1+C_2 \quad \Rightarrow \quad f_{yd}\cdot A_{s1}=0.8f_{cd}\cdot b\cdot x+f_{cd}(B-b)s \quad \Rightarrow \quad A_{s1}=\frac{f_{cd}[0.8b\cdot x+(B-b)s]}{f_{yd}}$$

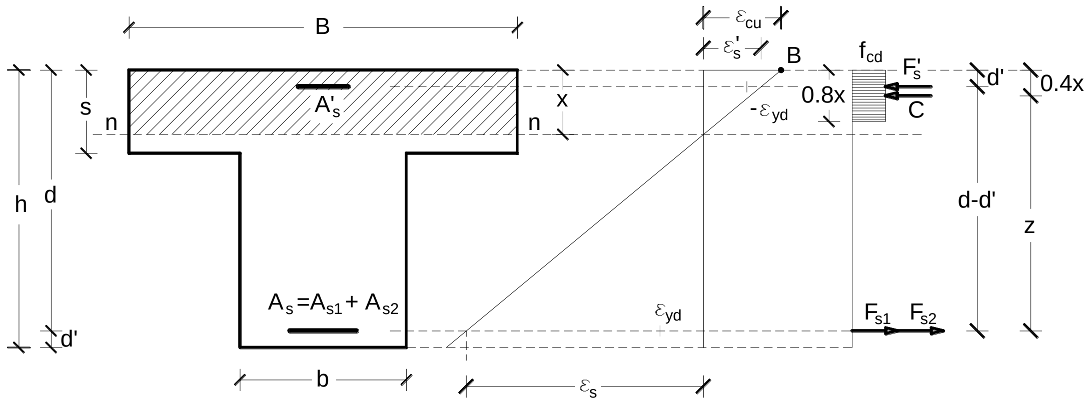
$$A'_s=A_{s2}=\frac{M^*}{f_{yd}\cdot(d-d')}$$

Verifica della sezione

<u>dati</u>: B, b, h, s, d', f_{cd}, f_{yd}, A_s, A'_s, M_{sd}

<u>incognite</u>: la posizione x della retta di rottura, M_{Rd}

supponendo che l'asse neutro sia tale che risulti $x \leq 1.25 \cdot s$

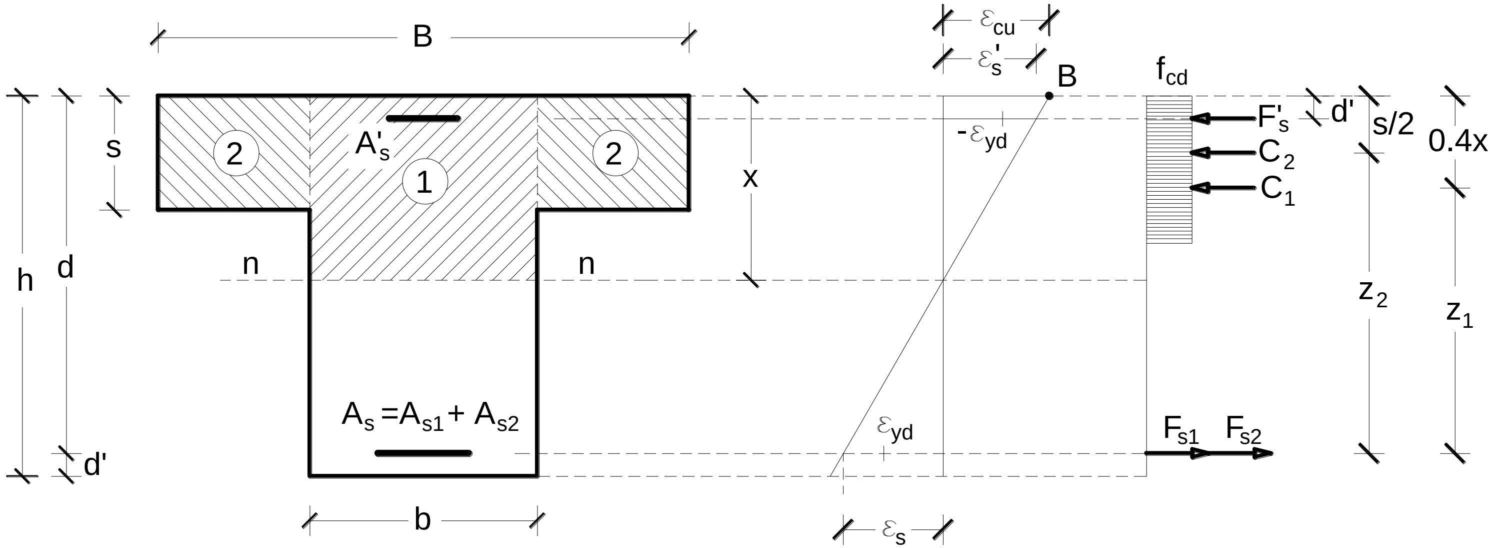


$$C + F'_s = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x + f_{yd} \cdot A'_s = f_{yd} \cdot A_s \quad \Rightarrow \quad x = \frac{f_{yd}\left(A_s - A'_s\right)}{0.8\, f_{cd} \cdot B}$$

Se effettivamente $x \leq 1.25 \cdot s$

$$M_{Rd} = C \cdot z + F'_s\left(d - d'\right) = 0.8 f_{cd} \cdot B \cdot x\left(d - 0.4\,x\right) + f_{yd} \cdot A'_s\left(d - d'\right)$$

Se $x > 1.25 \cdot s$



$$C_1 + C_2 + F'_s = F_s \quad \Rightarrow \quad 0.8f_{cd} \cdot b \cdot x + f_{cd}(B-b)s + f_{yd} \cdot A'_s = f_{yd} \cdot A_s$$

$$x = \frac{f_{yd}(A_s - A'_s)}{0.8f_{cd} \cdot b} - \frac{(B-b)s}{0.8b}$$

se $x \in [x_{c''}; x_d]$ e $x > 1.25 \cdot s$

$$M_{Rd} = C_1 \cdot z_1 + C_2 \cdot z_2 + F'_s(d-d') = 0.8f_{cd} \cdot b \cdot x(d-0.4x) + f_{cd}(B-b)s(d-s/2) + f_{yd} \cdot A'_s(d-d')$$

se $x < x_{c''}$ ⇒ **Ricalcolare la posizione dell’asse neutro**