Il cemento armato

Le basi della progettazione strutturale esposte in maniera semplice ma rigorosa

Incontro di aggiornamento
e presentazione del libro “Il cemento armato”

3 – Presso e tensoflessione

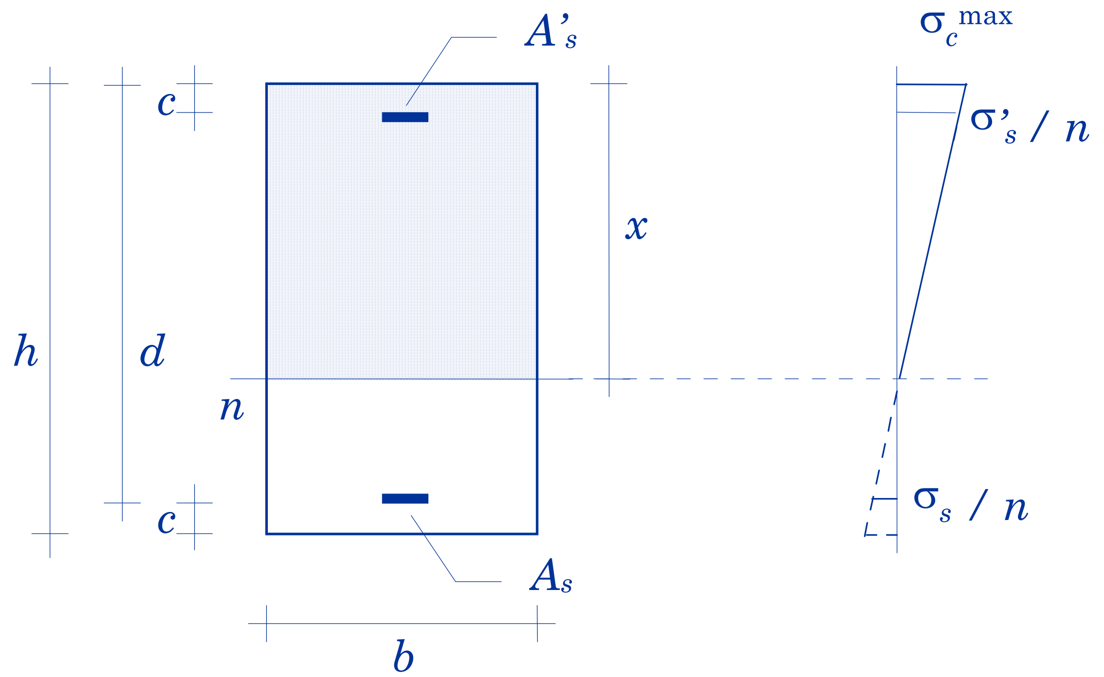
Palazzo Gazzoli, Terni

18-19 giugno 2010

Aurelio Ghersi

Verifica di sezioni soggette a flessione composta

Verifica - tensioni ammissibili



Dati:

Geometria della sezione
Armature

Coppia M-N

Incognite:

Posizione dell'asse neutro
Tensioni massime

Verifica – tensioni ammissibili

Il procedimento è abbastanza lungo e complesso, perché occorre:

1. Controllare se il centro di sollecitazione è interno al nocciolo d'inerzia
   - delle sole armature (se N è di trazione)
   - di armature omogeneizzate e calcestruzzo (se N è di compressione)

2a. Se centro di sollecitazione è interno al nocciolo, usare le formule della Scienza delle costruzioni (con riferimento a sole armature o a calcestruzzo e armature omogeneizzate)

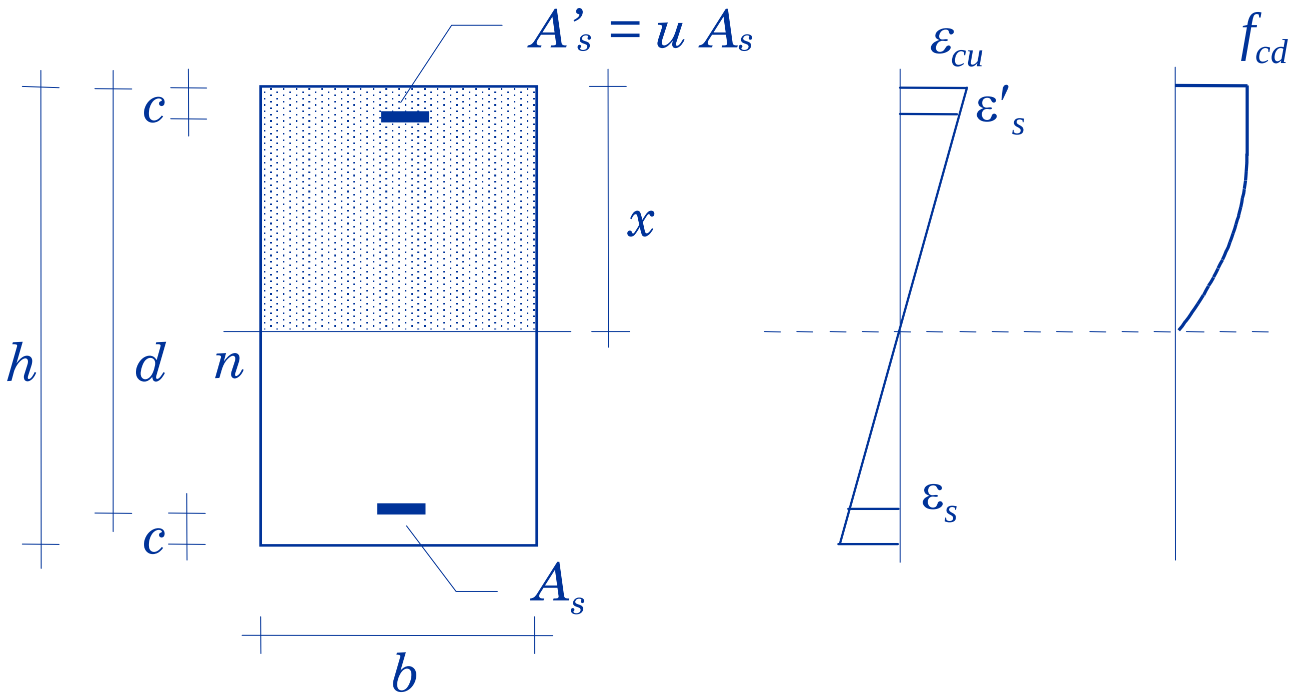
Verifica – tensioni ammissibili

Il procedimento è abbastanza lungo e complesso, perché occorre:

1. Controllare se il centro di sollecitazione è interno al nocciolo d'inerzia
   - delle sole armature (se N è di trazione)
   - di armature omogeneizzate e calcestruzzo (se N è di compressione)

2b. Se il centro di sollecitazione è esterno al nocciolo, imporre la condizione $I_n = e_n\ S_n$ (equazione di terzo grado, per sezione rettangolare)

Verifica - stato limite ultimo



Dati:

Geometria della sezione
Armature

Coppia M_{Ed}-N_{Ed}

Incognite:

Posizione dell'asse neutro
Momento resistente M_{Rd} corrispondente a N_{Ed}

Verifica - stato limite ultimo

Il procedimento è analogo, forse più semplice:

1. Controllare la sezione può portare lo sforzo normale N_{Ed}; calcolare quindi
   - N_{Rd} delle sole armature (se N è di trazione)

     $$N_{Rd} = A_{s,tot} f_{yd}$$

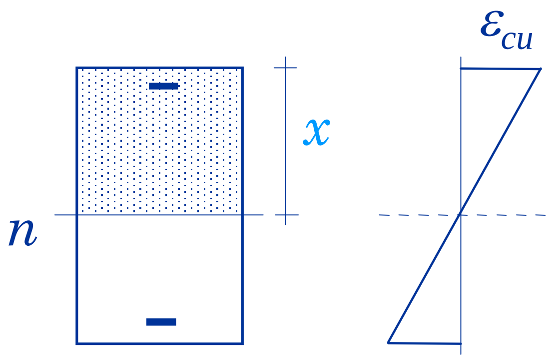
   - N_{Rd} di armature e calcestruzzo (se N è di compressione)

     $$N_{Rd} = -A_c f_{cd} - A_{s,tot} f_{yd}$$

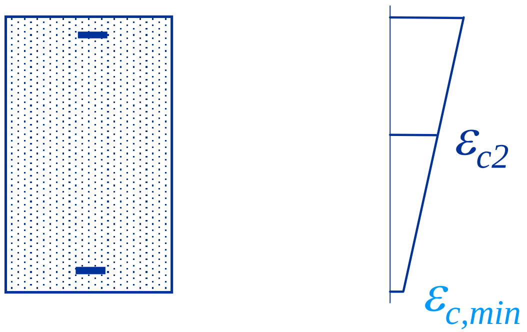
Verifica - stato limite ultimo

Se lo sforzo normale va bene,
con riferimento ai diagrammi di deformazioni, avendo posto un limite solo alla deformazione del calcestruzzo vi sono solo due possibilità:

Sezione parzializzata



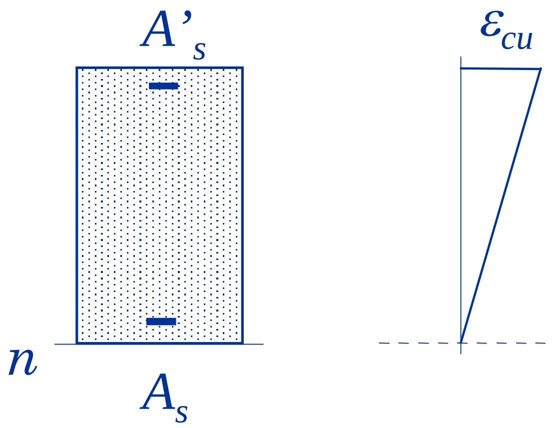
Sezione tutta compressa



Verifica - stato limite ultimo

Il procedimento è analogo, forse più semplice:

2. Determinare lo sforzo normale di separazione tra i due casi



$$N_{Rd} = -0.81\, A_c f_{cd} + A_s\, \sigma_s + A'_s\, \sigma_s$$

$$\sigma'_s = -f_{yd}$$

$$\sigma_s = -\frac{c}{h}\varepsilon_{cu}\, E_s$$

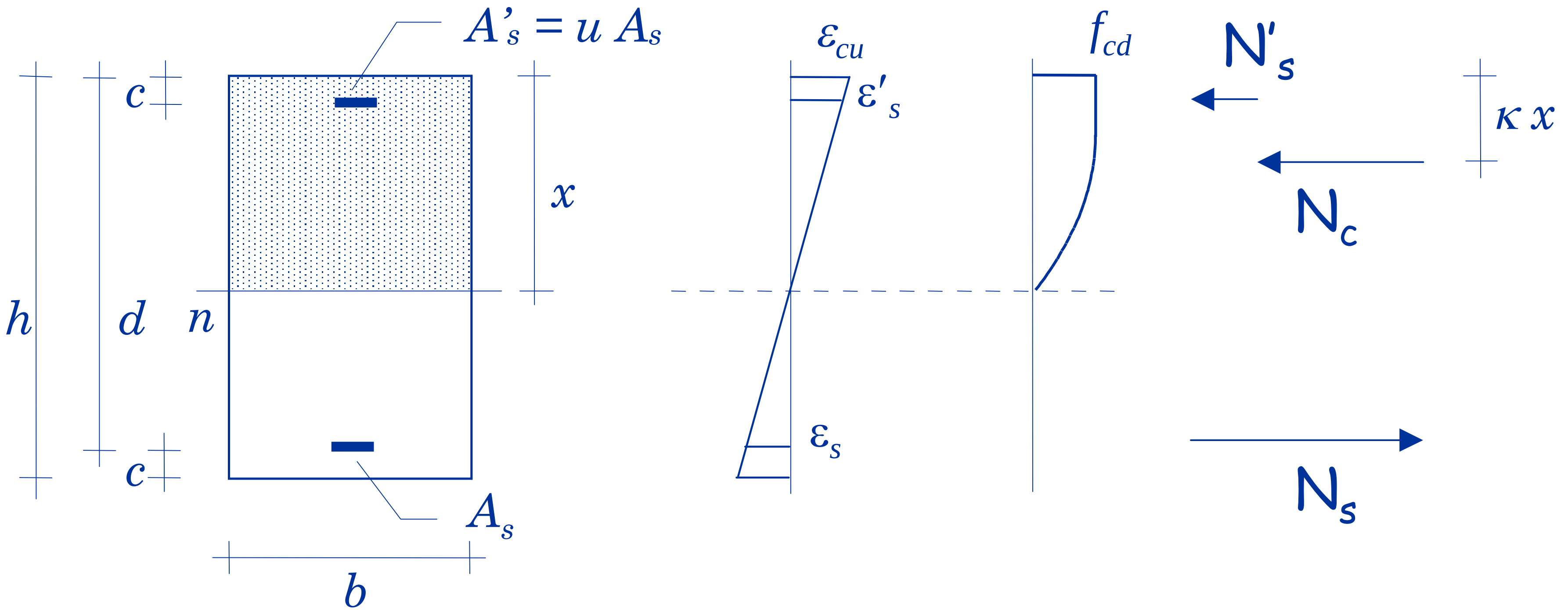
Verifica - stato limite ultimo

Il procedimento è analogo, forse più semplice:

2. Determinare lo sforzo normale di separazione tra i due casi

   E vedere in quale dei due casi ricade N_{Ed}

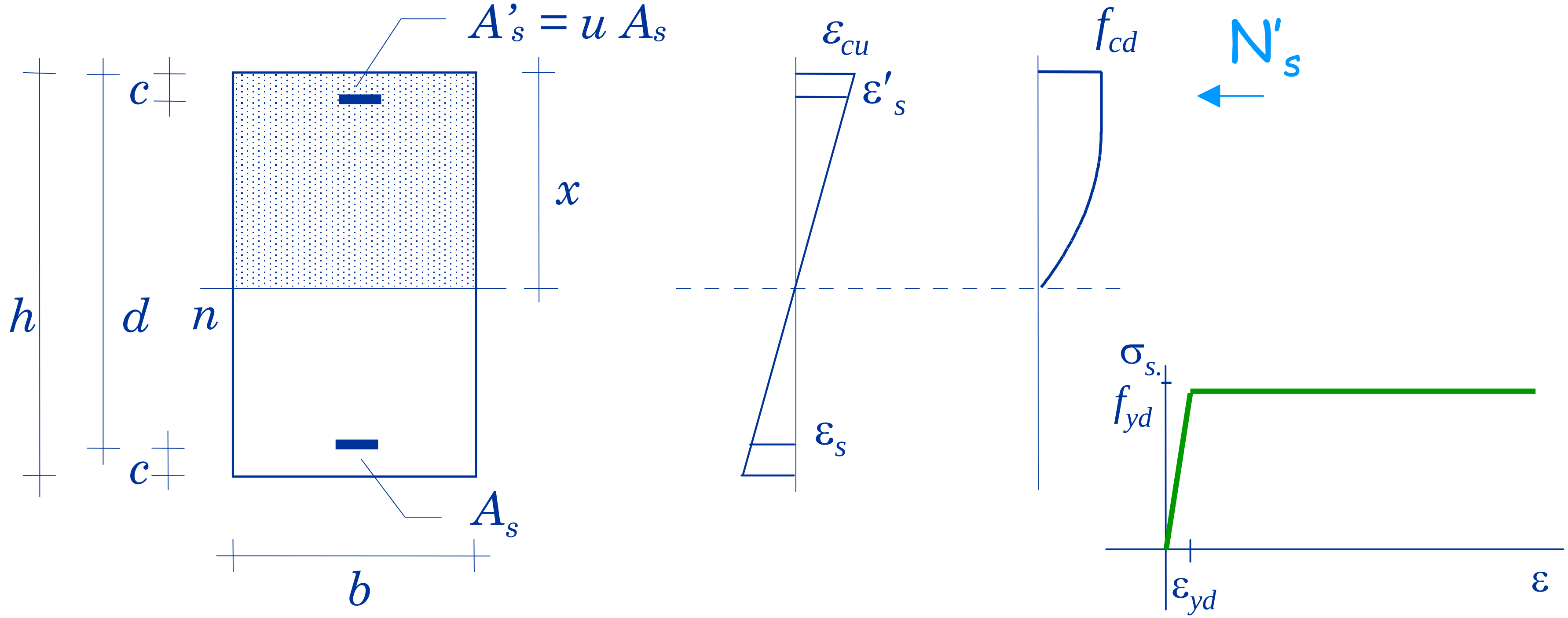
Verifica - stato limite ultimo



Per trovare l'asse neutro: $N_c + N'_s + N_s = N_{Ed}$
(equilibrio alla traslazione)

E poi calcolare M_{Rd}, con equilibrio alla rotazione

Risultante delle tensioni, armatura compressa
(sezione parzializzata)



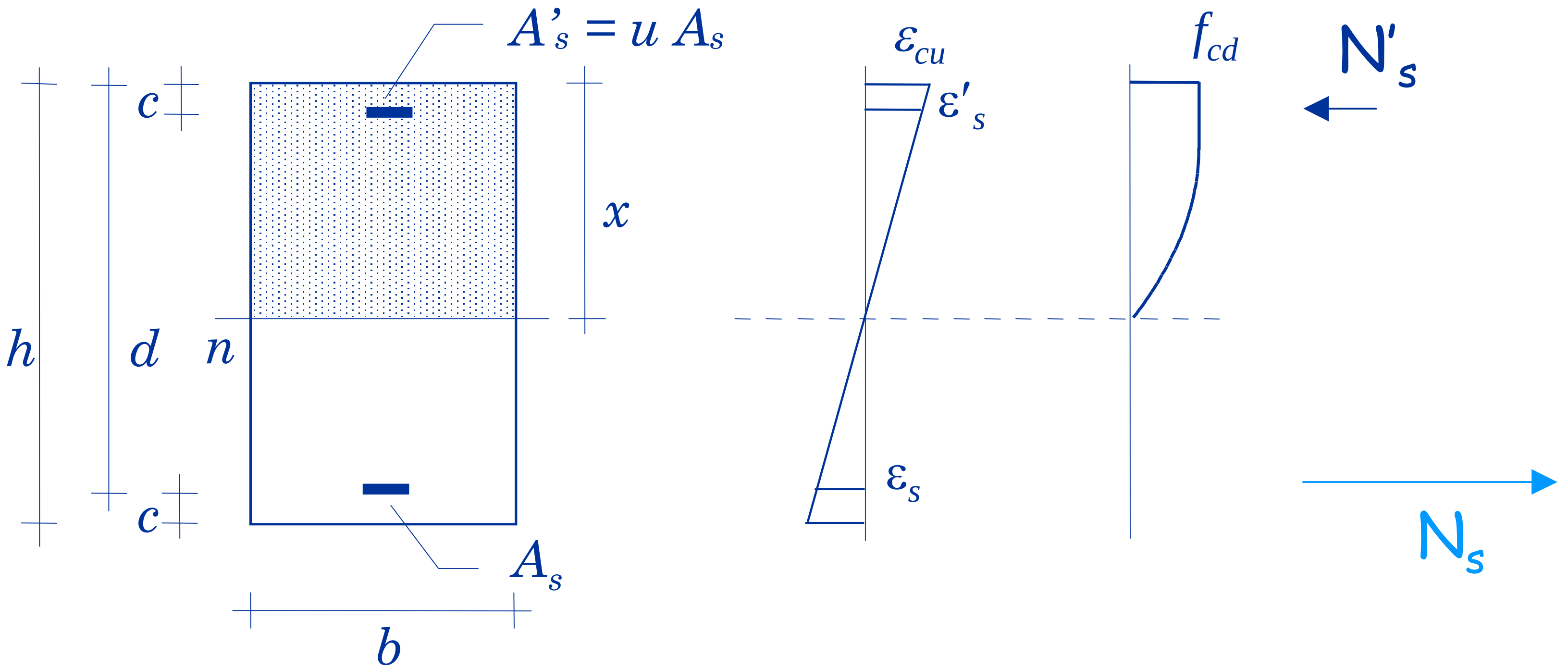
$$\varepsilon'_s = \frac{x-c}{x}\varepsilon_{cu} \Rightarrow$$

se $\varepsilon'_s < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = \frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd}$

se $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = f_{yd}$

$$\Rightarrow N'_s = A'_s\,\sigma'_s$$

Risultante delle tensioni, armatura tesa
(sezione parzializzata)



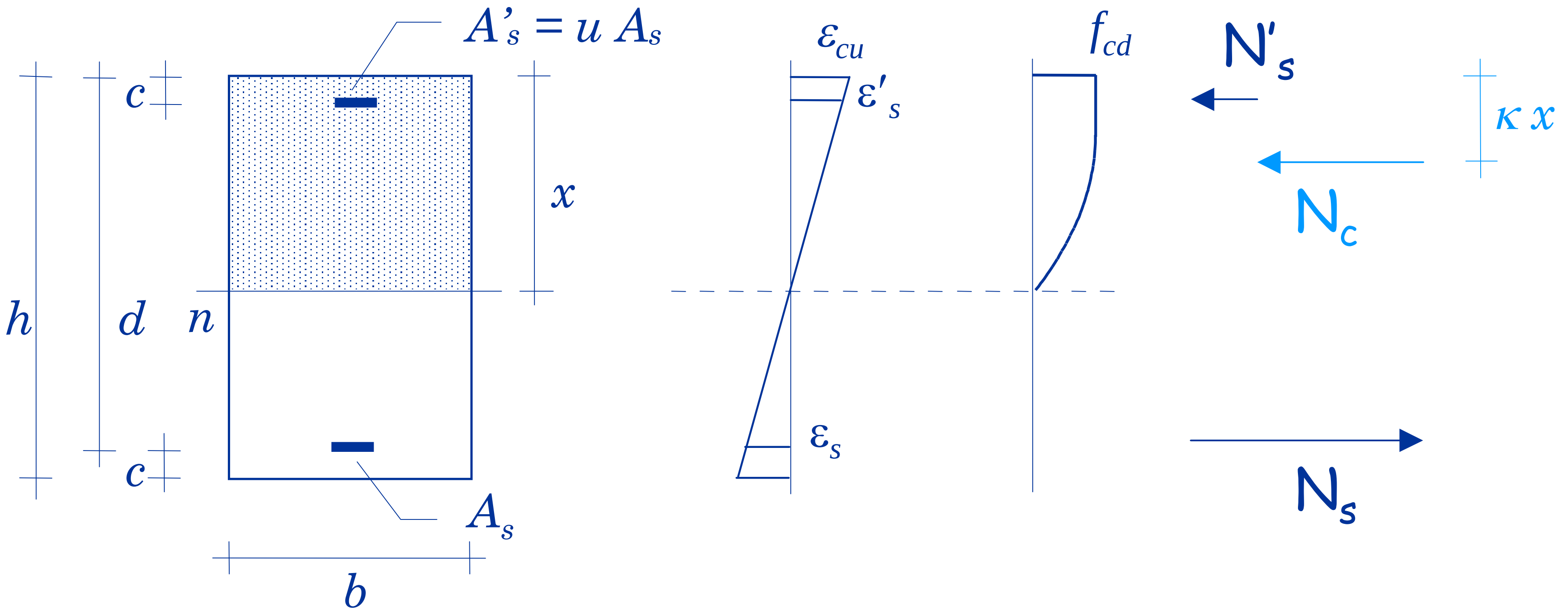
$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x}\varepsilon_{cu} \Rightarrow$$

se $\varepsilon_s < \varepsilon_{yd} \quad \Rightarrow \quad \sigma_s = \dfrac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd}$

se $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \quad \Rightarrow \quad \sigma_s = f_{yd}$

$$\Rightarrow \quad N_s = A_s\, \sigma_s$$

Risultante delle tensioni nel calcestruzzo
(sezione parzializzata)



$$N_c = \beta \; b \, x \, f_{cd}$$

per sezione rettangolare, $\beta = 0.810$

Verifica - stato limite ultimo

La risoluzione presenta difficoltà analoghe a quelle viste per la flessione semplice

Per sezione rettangolare, parzializzata e con armature snervate, si ottiene un'equazione di primo grado che ha come soluzione

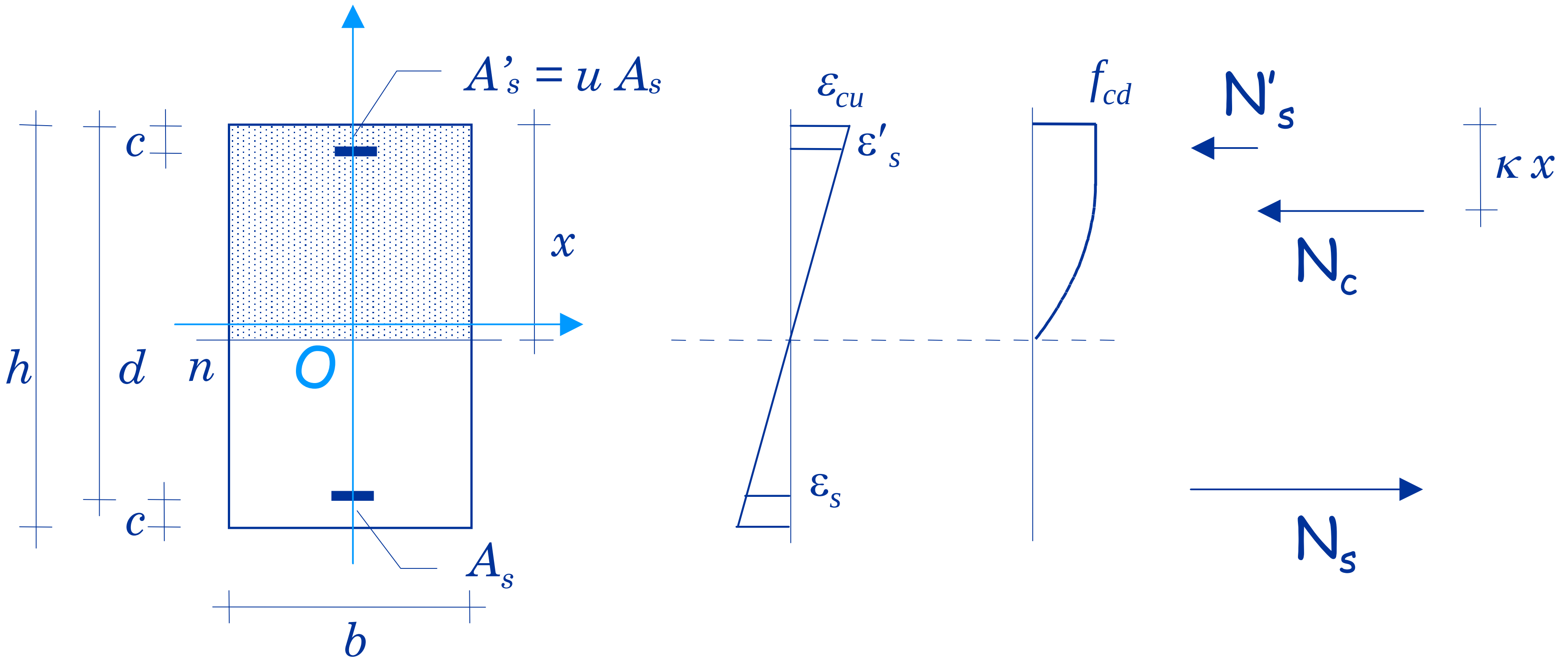
$$x = \frac{(A_s - A'_s)\, f_{yd} - N_{Ed}}{\beta\, b\, f_{cd}}$$

N_{Ed} positivo se trazione

altrimenti si può risolvere per tentativi l'equazione:

$$N_c + N'_s + N_s = N_{Ed}$$

Momento resistente

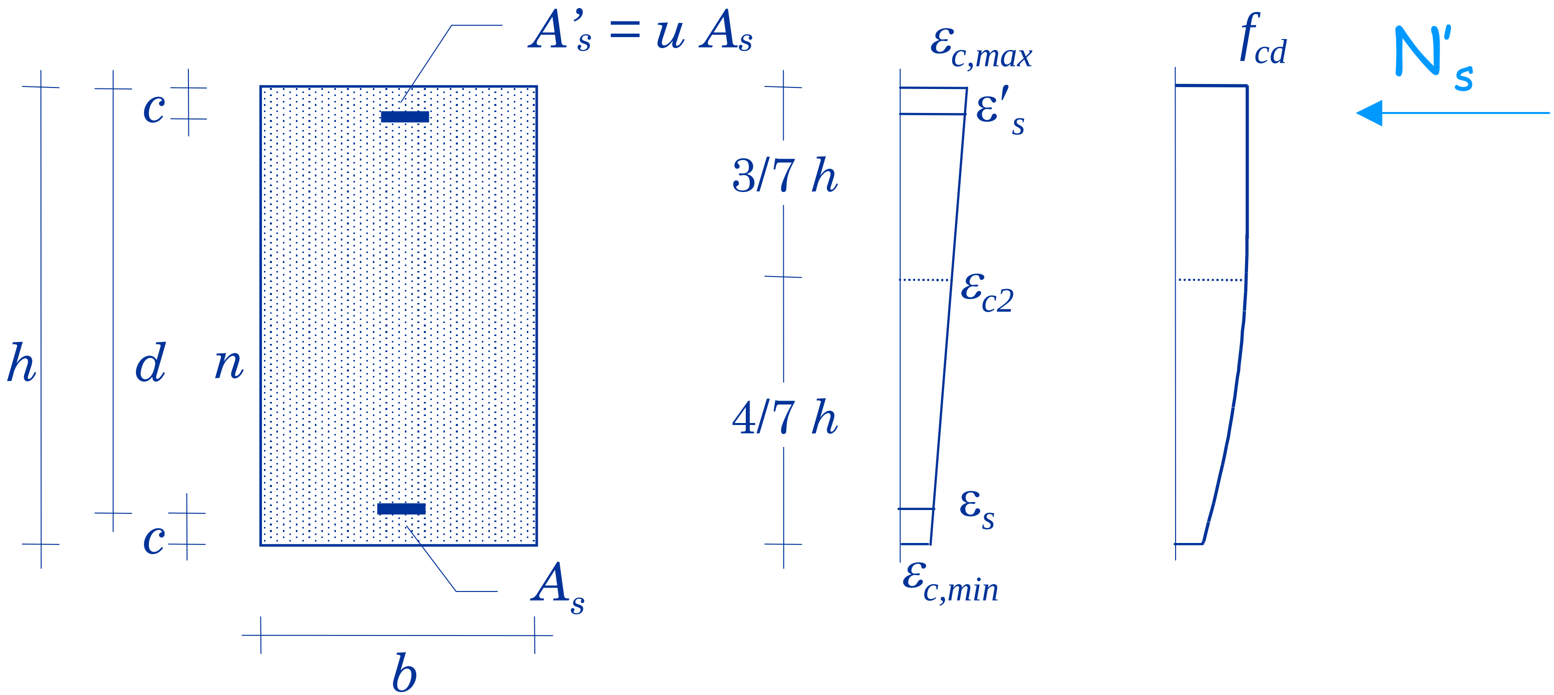


Si determina imponendo l'equilibrio alla rotazione
(rispetto al baricentro della sezione)

$$M_{Rd} = (N_s - N'_s)\ (h/2 - c) - N_c\ (h/2 - \kappa\ x\ )$$

per sezione rettangolare, $\kappa = 0.416$

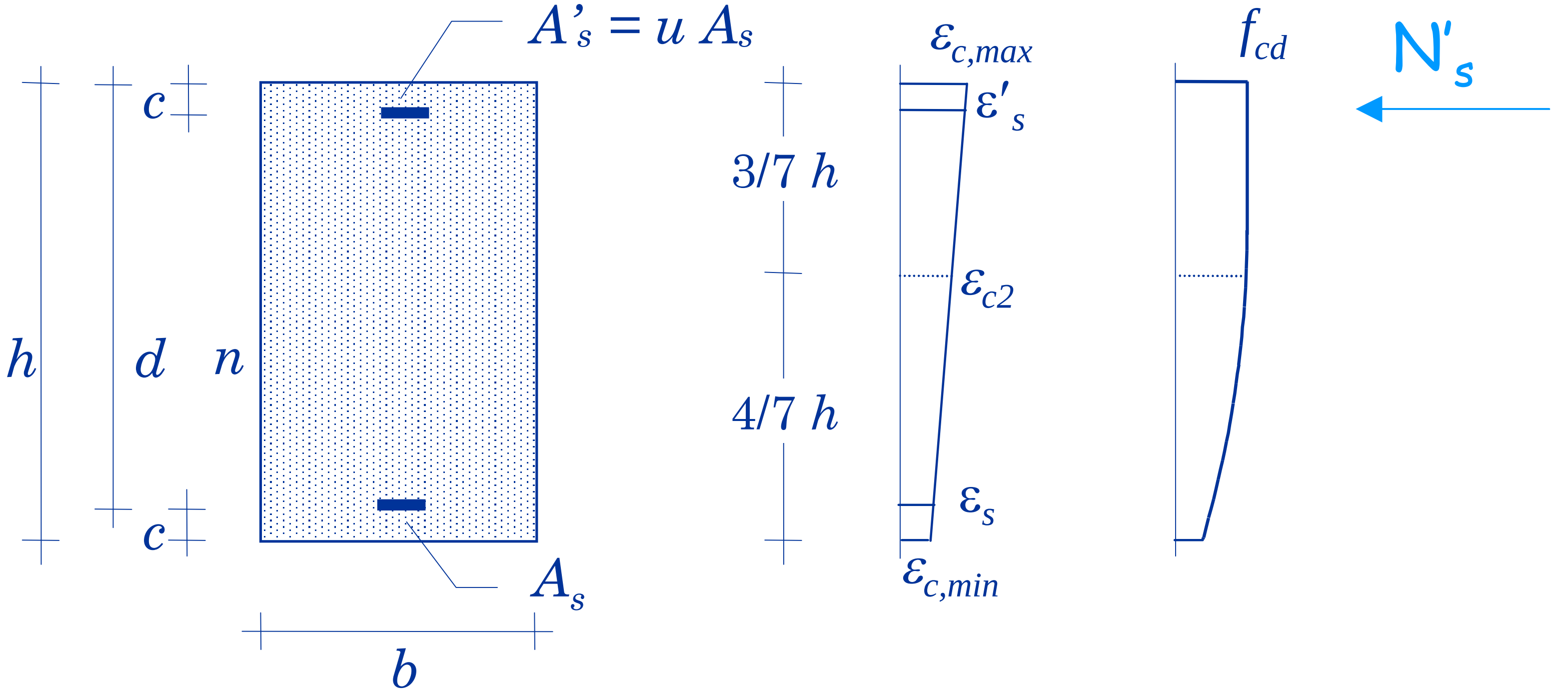
Risultante delle tensioni, armatura superiore
(sezione tutta compressa)



$$\varepsilon'_s = \varepsilon_{c2}\left[\frac{d}{4/7\,h}\left(1-\eta_{min}\right)+\eta_{min}\right]$$

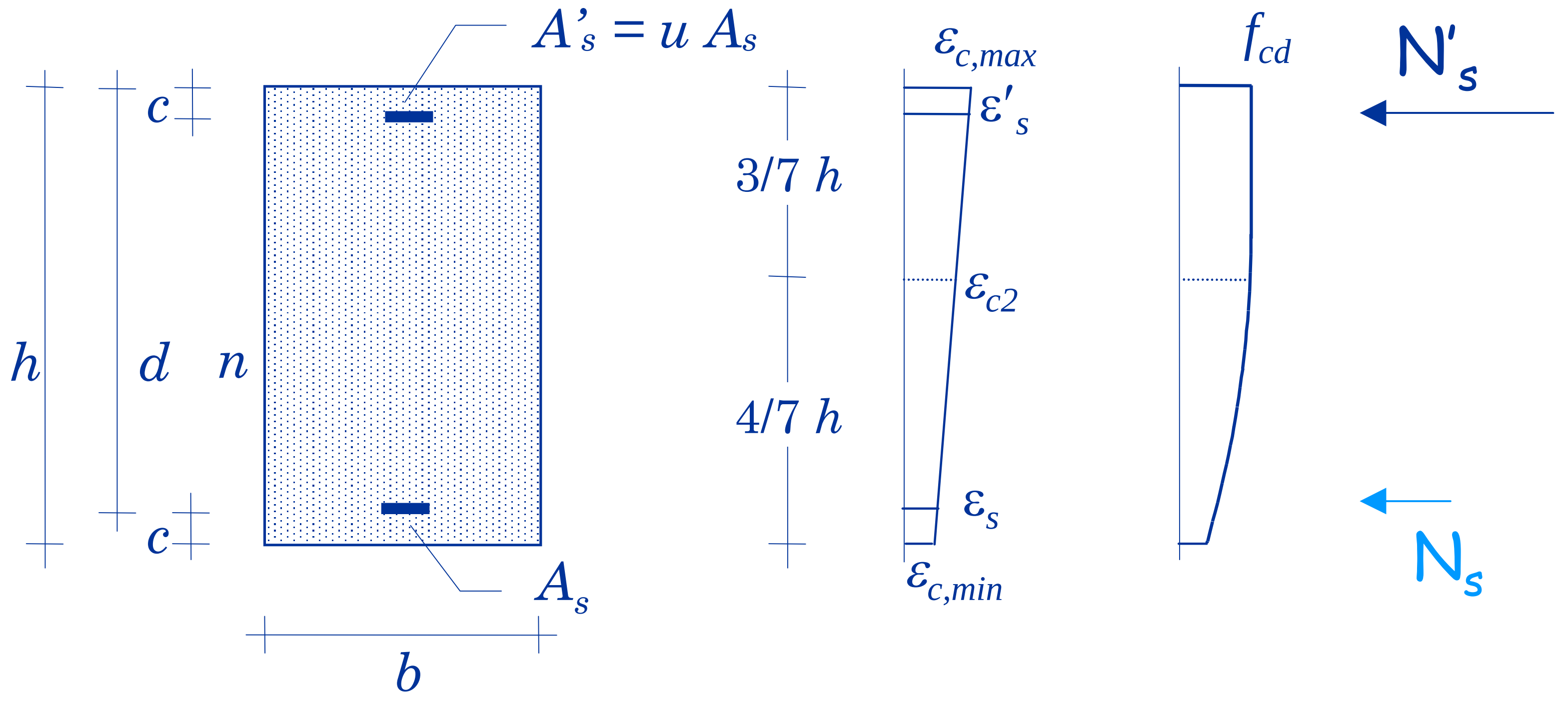
dove $\eta_{min} = \dfrac{\varepsilon_{c,min}}{\varepsilon_{c2}}$

Risultante delle tensioni, armatura superiore
(sezione tutta compressa)



$$\text{noto } \varepsilon'_s \Rightarrow \begin{cases} \text{se } \varepsilon'_s < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = \dfrac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} \\ \text{se } \varepsilon'_s \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = f_{yd} \end{cases} \Rightarrow N'_s = A'_s\, \sigma'_s$$

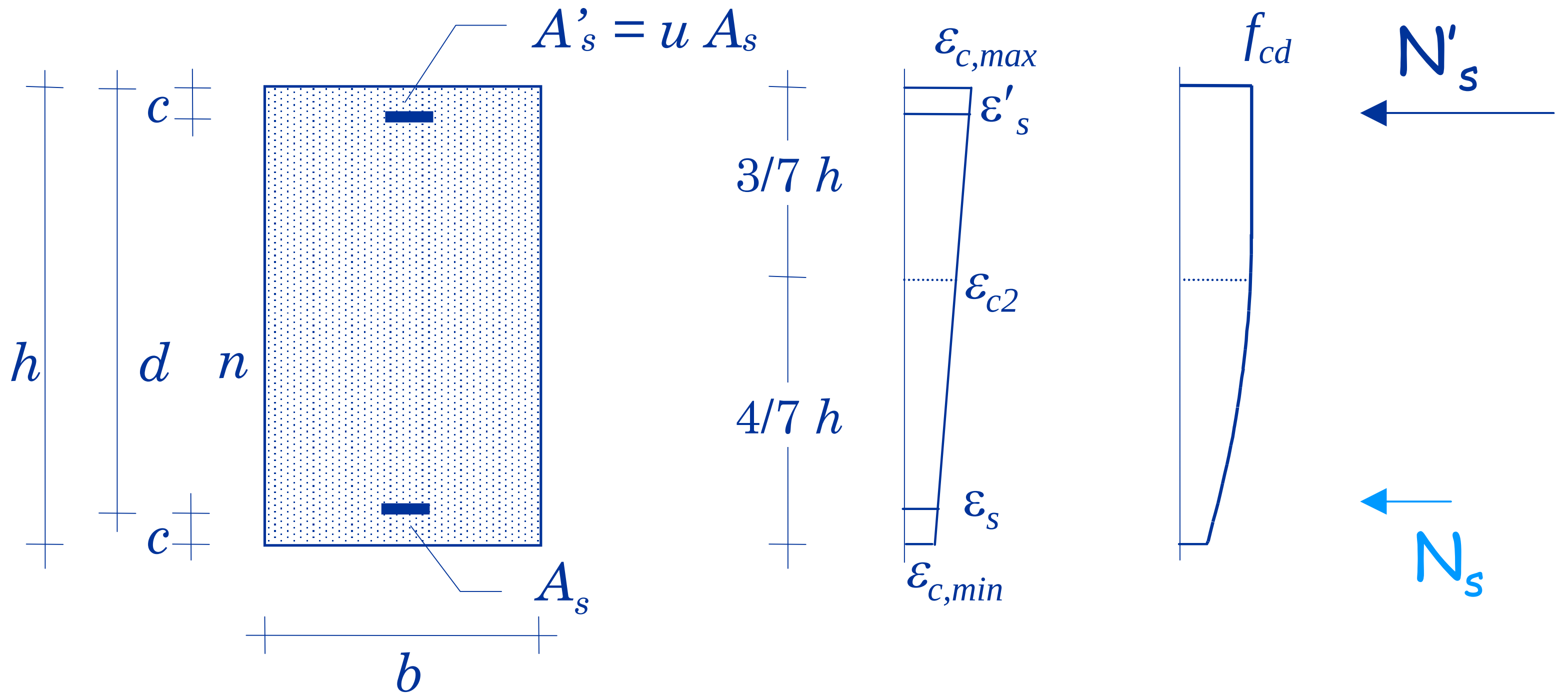
Risultante delle tensioni, armatura inferiore
(sezione tutta compressa)



$$\varepsilon_s = \varepsilon_{c2}\left[\frac{c}{4/7\,h}\left(1-\eta_{min}\right)+\eta_{min}\right]$$

dove $\eta_{min} = \dfrac{\varepsilon_{c,min}}{\varepsilon_{c2}}$

Risultante delle tensioni, armatura inferiore
(sezione tutta compressa)



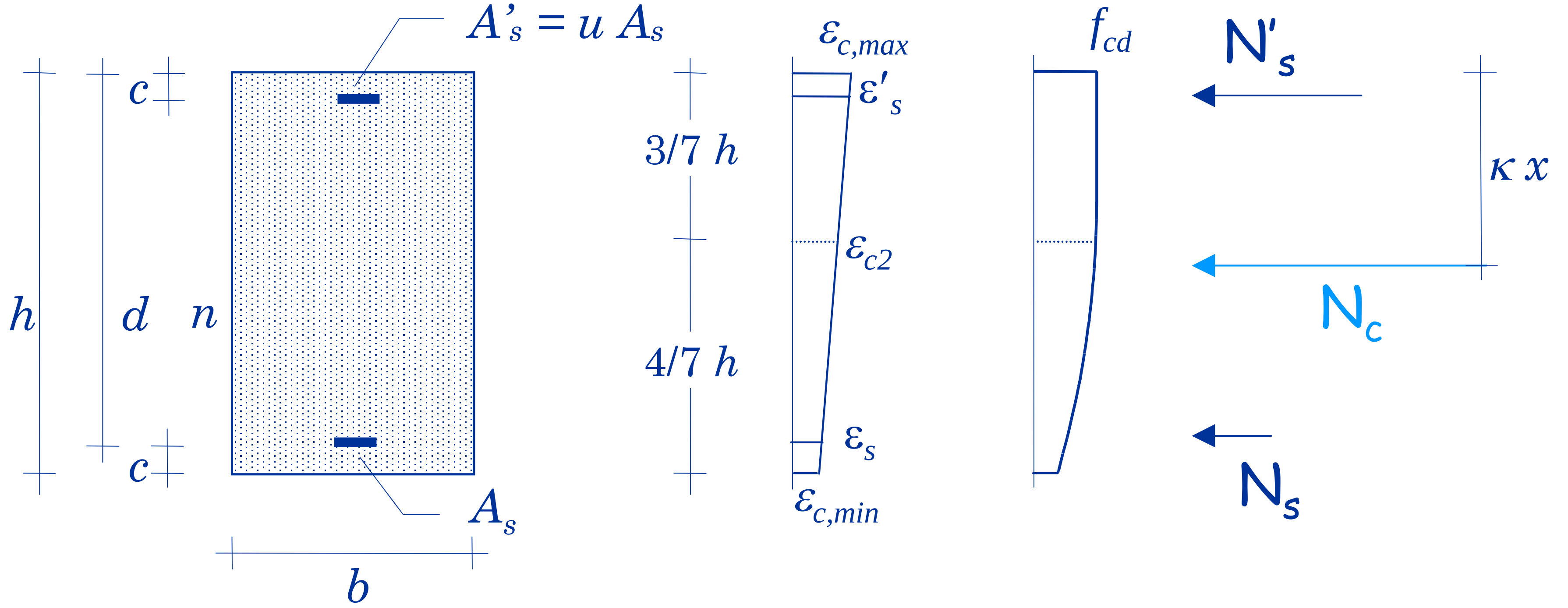
noto $\varepsilon_s \Rightarrow$

se $\varepsilon_s < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_s = \dfrac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd}$

se $\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$

$\Rightarrow N_s = A_s\, \sigma_s$

Risultante delle tensioni nel calcestruzzo
(sezione tutta compressa)



$N_c = \beta \; b \; x \; f_{cd}$

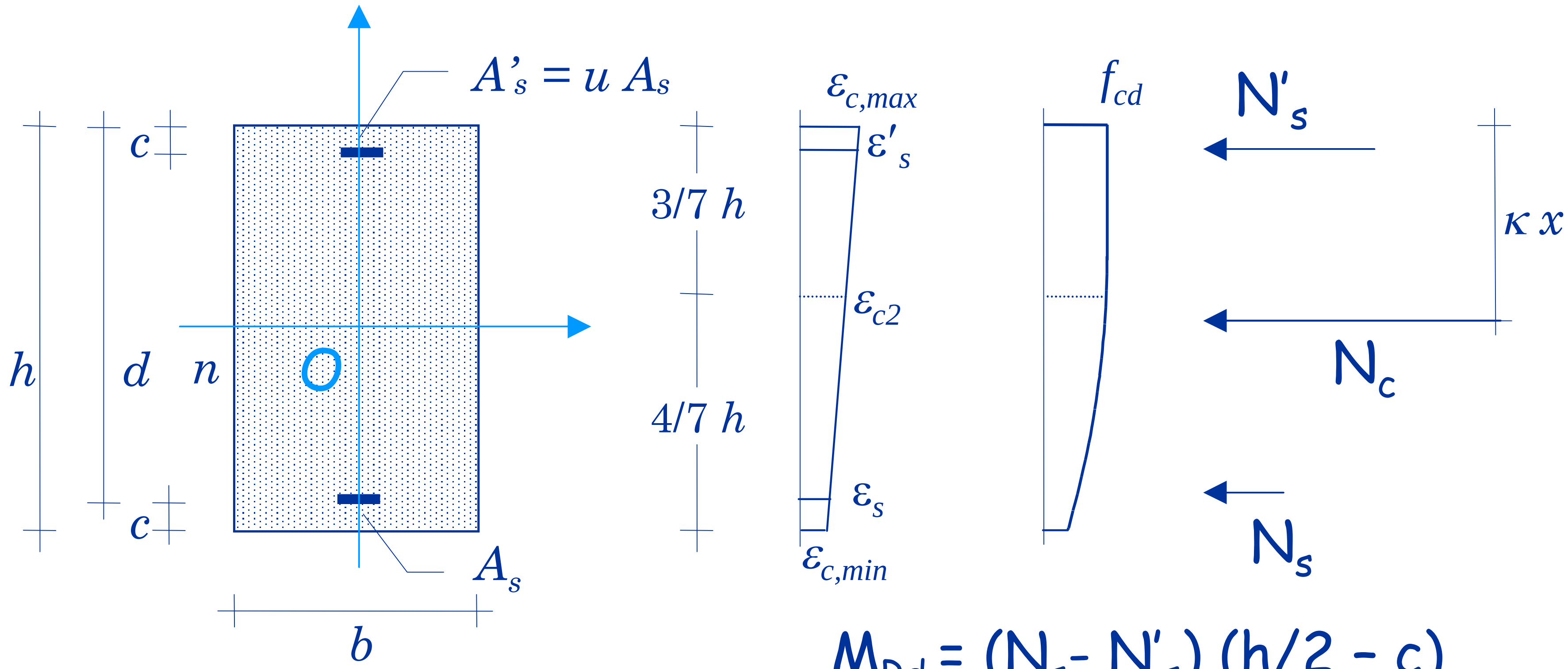
In questo caso β dipende da η_{min}

per sezione rettangolare: $\beta = 1 - \dfrac{4}{21}\left(1 - \eta_{min}\right)$

Valori di β per sezione rettangolare

η_{min}	β
0.0	0.810
0.1	0.846
0.2	0.878
0.3	0.907
0.4	0.931
0.5	0.952
0.6	0.970
0.7	0.983
0.8	0.992
0.9	0.998
1.0	1.000

Momento resistente



$$M_{Rd} = (N_s - N'_s)\,(h/2 - c) - N_c\,(h/2 - \kappa\, x)$$

Si determina imponendo l'equilibrio alla rotazione (rispetto al baricentro della sezione)

per sezione rettangolare:

$$\kappa = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 16/49\,(1-\eta_{min})^2}{1 - 4/21\,(1-\eta_{min})^2}$$

Valori di β e κ per sezione rettangolare

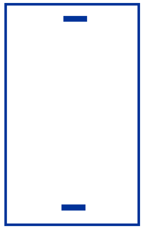
η_{min}	β	κ
0.0	0.810	0.416
0.1	0.846	0.435
0.2	0.878	0.450
0.3	0.907	0.463
0.4	0.931	0.474
0.5	0.952	0.482
0.6	0.970	0.489
0.7	0.983	0.494
0.8	0.992	0.497
0.9	0.998	0.499
1.0	1.000	0.500

Esempio 1
sezione rettangolare tensoinflessa

sezione 30x60

$A_{s,sup}$= 6 cm^2
$A_{s,inf}$=10 cm^2

N_{Ed}= 200 kN
M_{Ed}= 80 kNm



Poiché N è di trazione la sezione è parzializzata

Se entrambe le armature fossero snervate sarebbe

$$x = \frac{(A_s - A'_s)\, f_{yd} - N_{Ed}}{\beta\, b\, f_{cd}} = -1.26 \text{ cm}$$

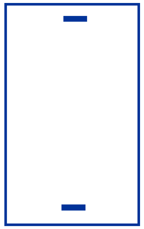
ma questo valore non è accettabile (è negativo)

Procedendo per tentativi si trova x = 4.40 cm

N_c=-151.4 kN N'_s=-39.9 kN N_s=391.3 kN

M_{Rd} = 154.8 kNm la sezione è verificata

Esempio 2
sezione rettangolare pressoinflessa



sezione 30x60

$A_{s,sup}$= 6 cm^2

$A_{s,inf}$=10 cm^2

N_{Ed}= -1000 kN

M_{Ed}= 190 kNm

Poiché N è di compressione occorre controllare se la sezione è parzializzata

Se x = 60 cm si ha

N_c=-2066 kN N'_s=-234.8 kN N_s=-49.0 kN

N =-2349.8 kN

Poiché N_{Ed} è minore (in valore assoluto) di tale valore la sezione è parzializzata

Esempio 2
sezione rettangolare pressoinflessa

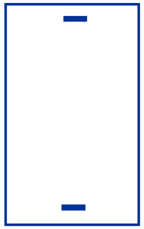
sezione 30x60

$A_{s,sup}$= 6 cm^2

$A_{s,inf}$=10 cm^2

N_{Ed}= -1000 kN

M_{Ed}= 190 kNm



La sezione è parzializzata

Se entrambe le armature fossero snervate sarebbe

$$x = \frac{(A_s - A'_s)\, f_{yd} - N_{Ed}}{\beta\, b\, f_{cd}} = 33.59 \text{ cm}$$

Per tale valore le armature sono in effetti entrambe snervate

Si ha quindi x = 33.59 cm

N_c=-1156.5 kN $\quad$ N'_s=-234.8 kN $\quad$ N_s=391.3 kN

M_{Rd} = 348.1 kNm $\qquad$ la sezione è verificata

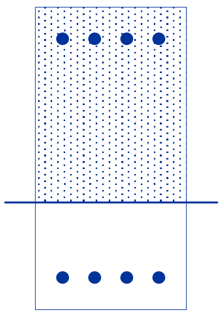
Domini M-N
per flessione composta retta

Domini di resistenza – tensioni ammissibili

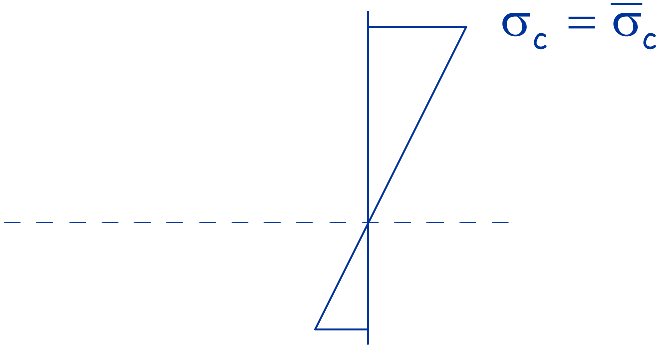
Dominio di resistenza, o curva di interazione = insieme delle coppie M-N per cui σ_{max} è uguale a $\bar{\sigma}$

Per ricavare una coppia M-N del dominio

sezione



si assegna un diagramma



si calcolano M ed N

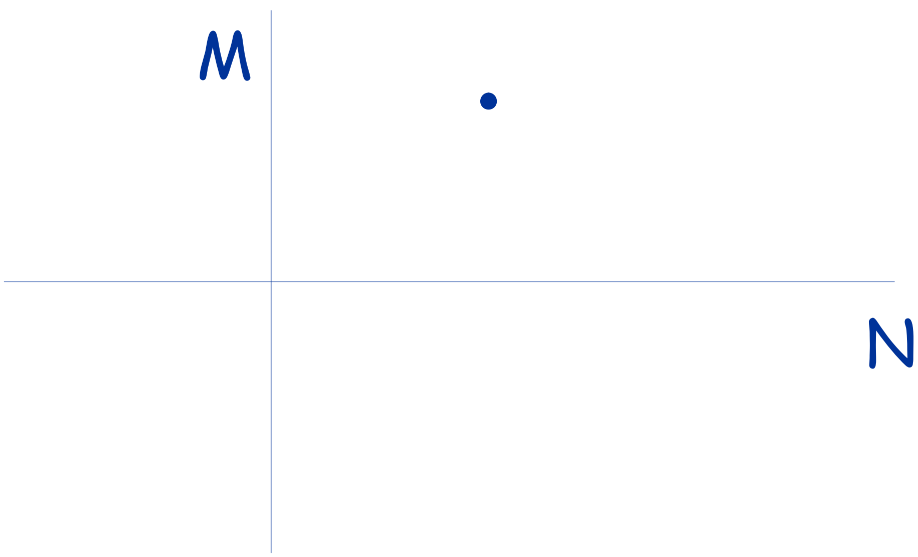
$$N = \int \sigma \, dA$$

$$M = -\int \sigma \, y \, dA$$

Domini di resistenza - tensioni ammissibili

Dominio di resistenza, o curva di interazione = insieme delle coppie M-N per cui σ_{max} è uguale a $\bar{\sigma}$

Per ricavare una coppia M-N del dominio



si calcolano M ed N

$$N = \int \sigma \, dA$$

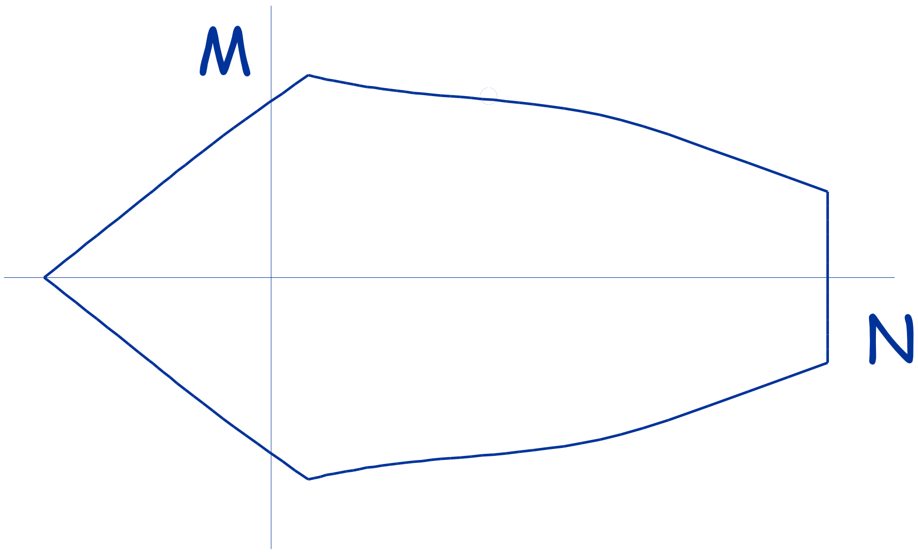
$$M = -\int \sigma \, y \, dA$$

e si riporta la coppia M - N nel diagramma

Domini di resistenza – tensioni ammissibili

Dominio di resistenza, o curva di interazione = insieme delle coppie M-N per cui σ_{max} è uguale a $\bar{\sigma}$

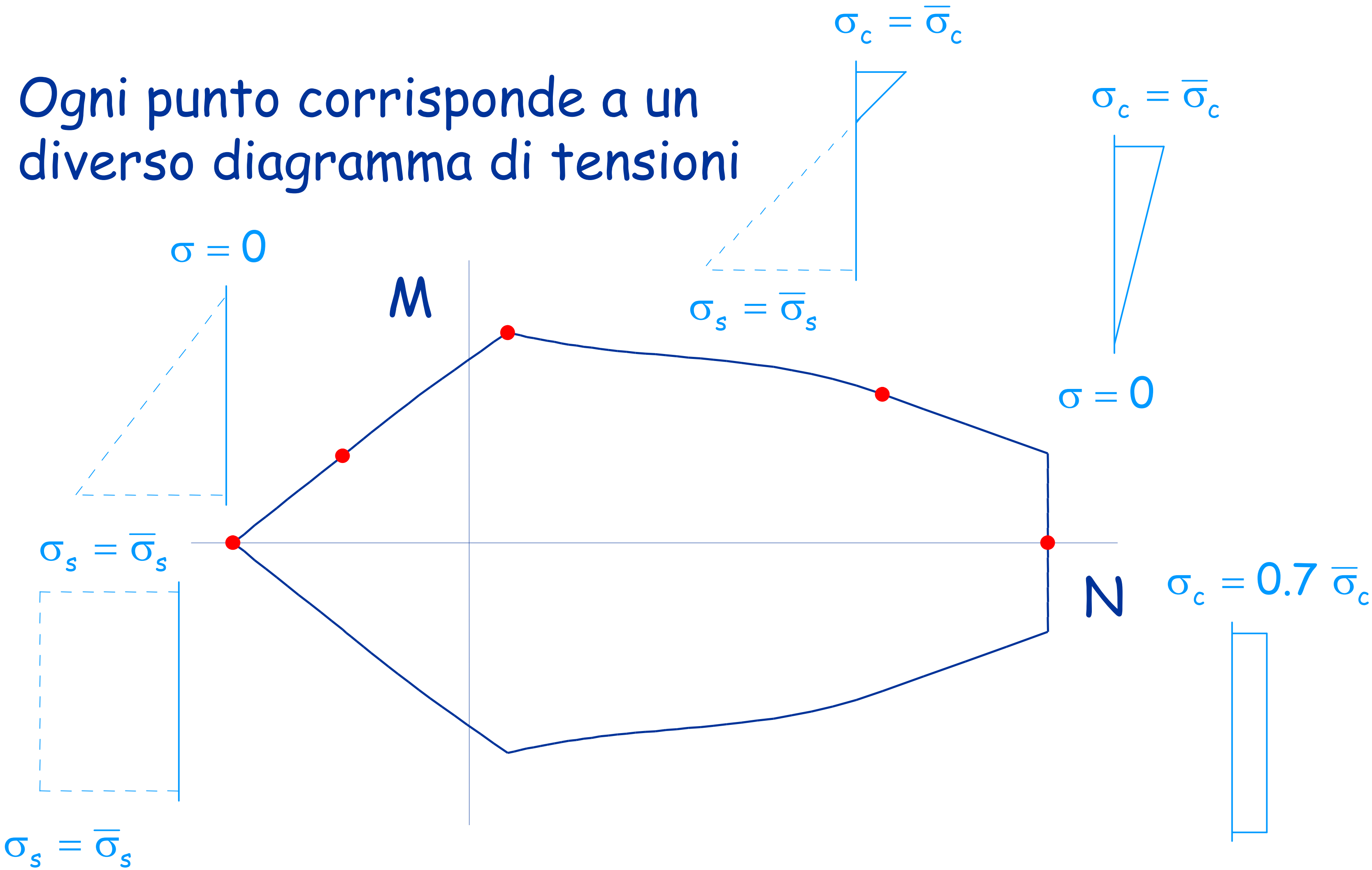
Ripetendo con tutti i possibili diagrammi …



si ottiene il dominio completo

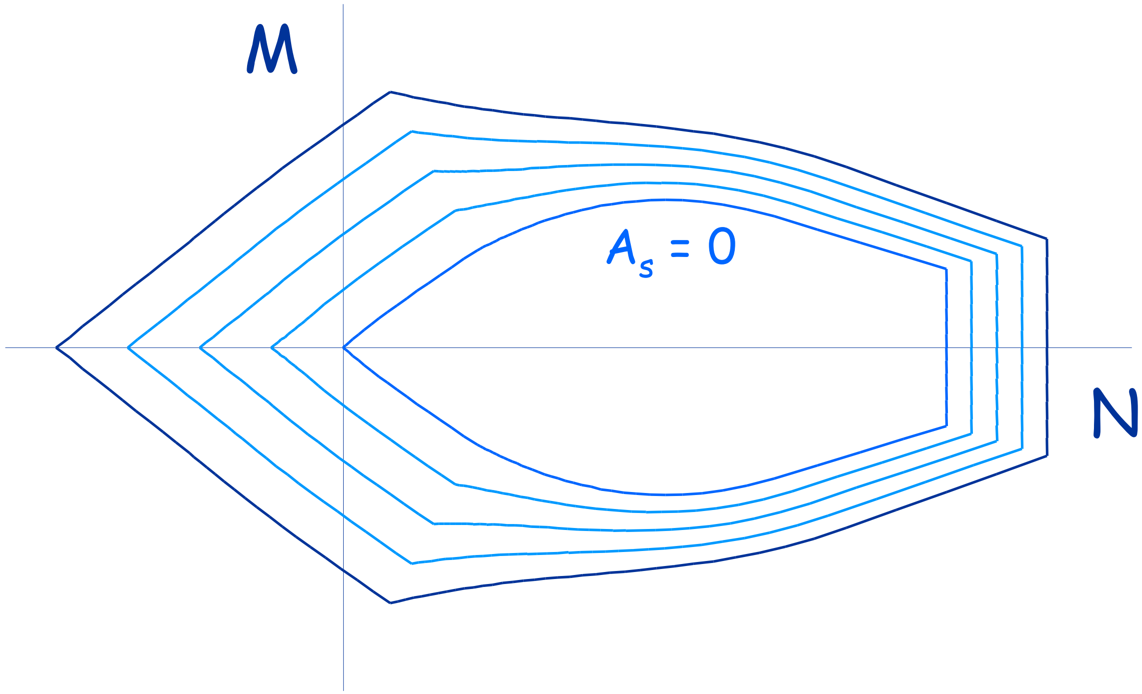
Domini di resistenza - tensioni ammissibili

Ogni punto corrisponde a un diverso diagramma di tensioni



Domini di resistenza - tensioni ammissibili

Cambiando l'armatura, si ottengono tanti diagrammi

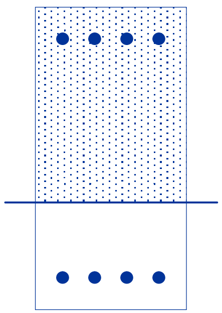


Domini di resistenza – stato limite ultimo

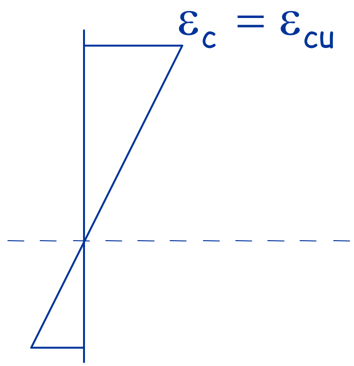
Dominio di resistenza, o curva di interazione = insieme delle coppie M-N per cui ε_{max} è uguale a ε_{lim}

Per ricavare una coppia M-N del dominio

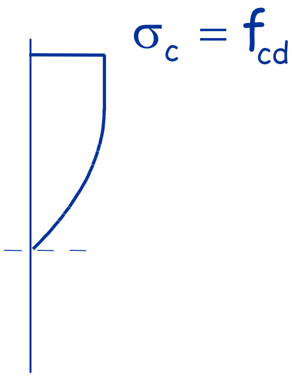
sezione



si assegna un diagramma di ε



di σ



si calcolano M ed N

$$N = \int \sigma \, dA$$

$$M = -\int \sigma \, y \, dA$$

Domini di resistenza – stato limite ultimo

Dominio di resistenza, o curva di interazione = insieme delle coppie M-N per cui ε_{max} è uguale a $\bar{\varepsilon}_{cu}$

Per ricavare una coppia M-N del dominio

si calcolano M ed N

$$N = \int \sigma \, dA$$

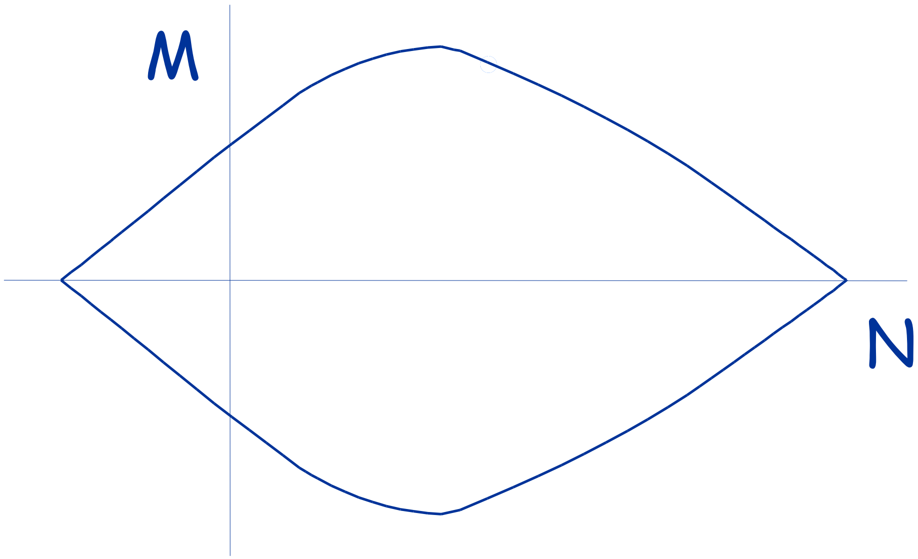
$$M = -\int \sigma \, y \, dA$$

e si riporta la coppia M – N nel diagramma

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Dominio di resistenza, o curva di interazione	=	insieme delle coppie M-N per cui ε_{max} è uguale a $\bar{\varepsilon}_{cu}$

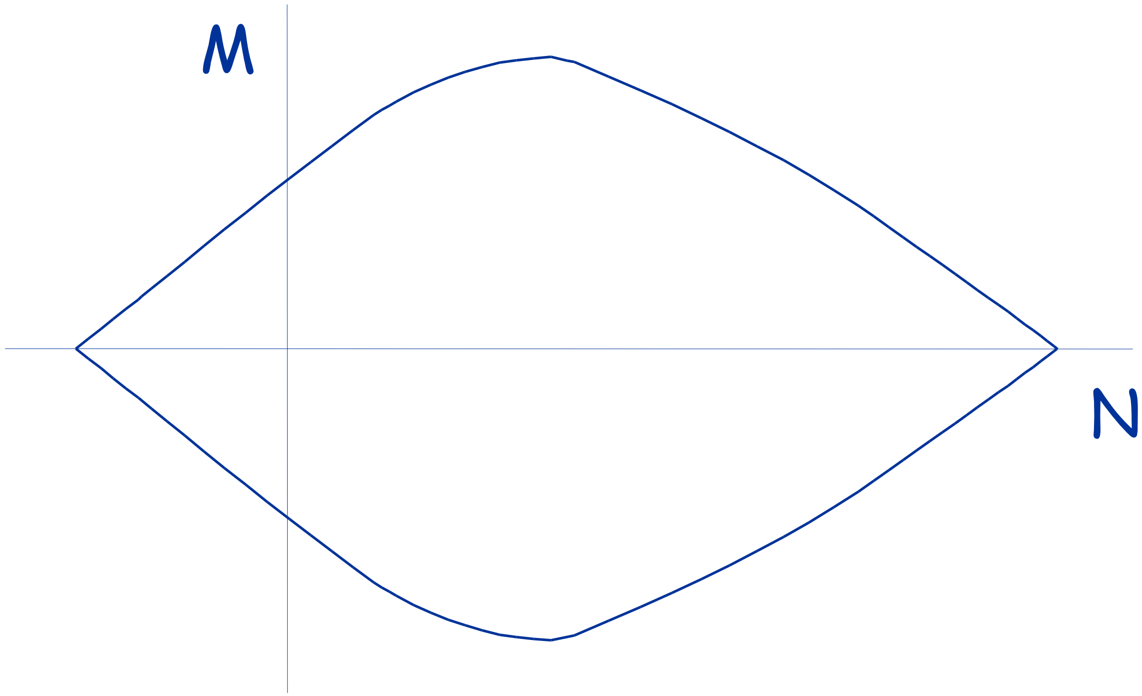
Ripetendo con tutti i possibili diagrammi …



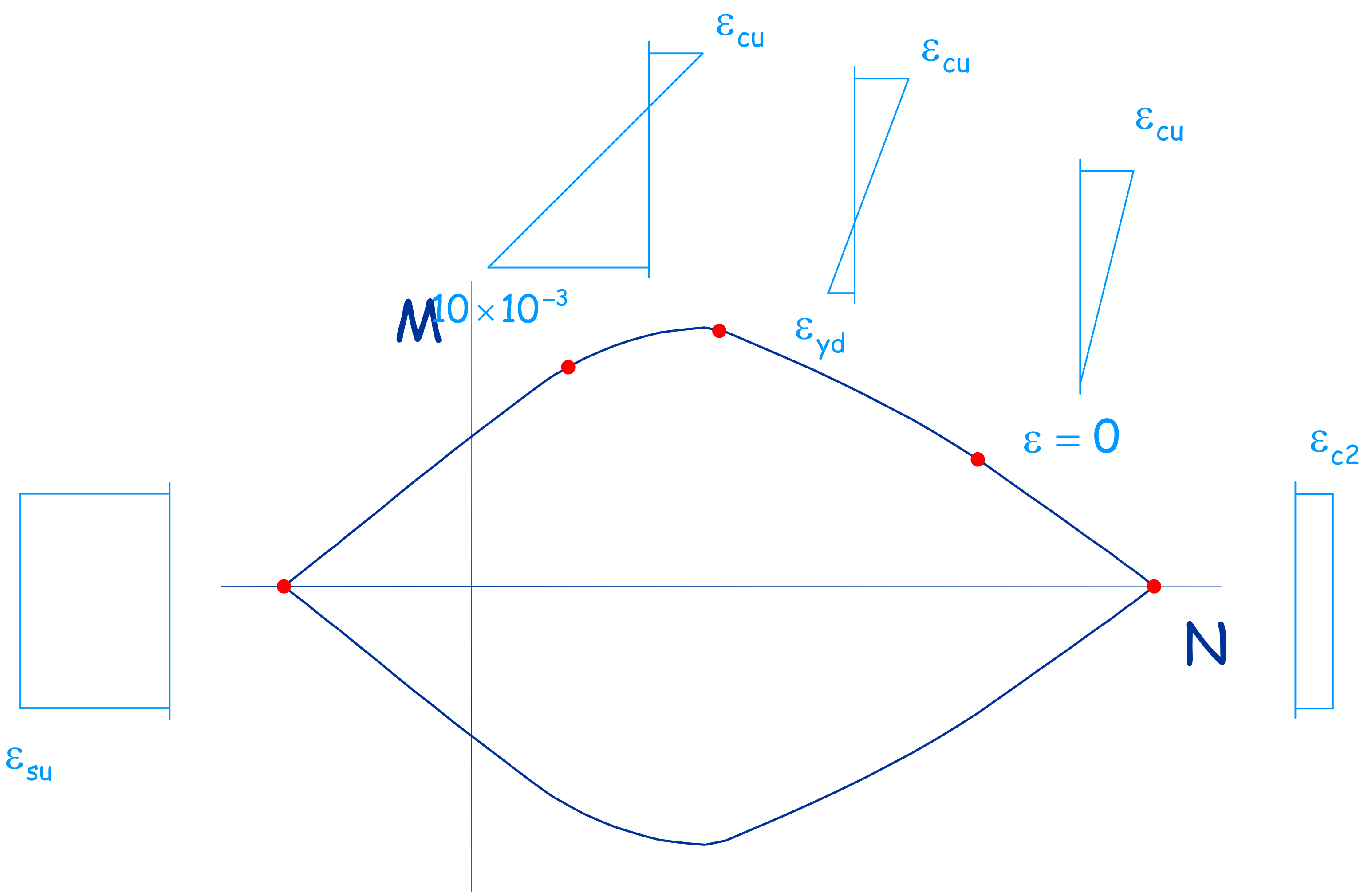
si ottiene il dominio completo

Domini di resistenza - stato limite ultimo

Ogni punto corrisponde a un diverso diagramma di deformazioni

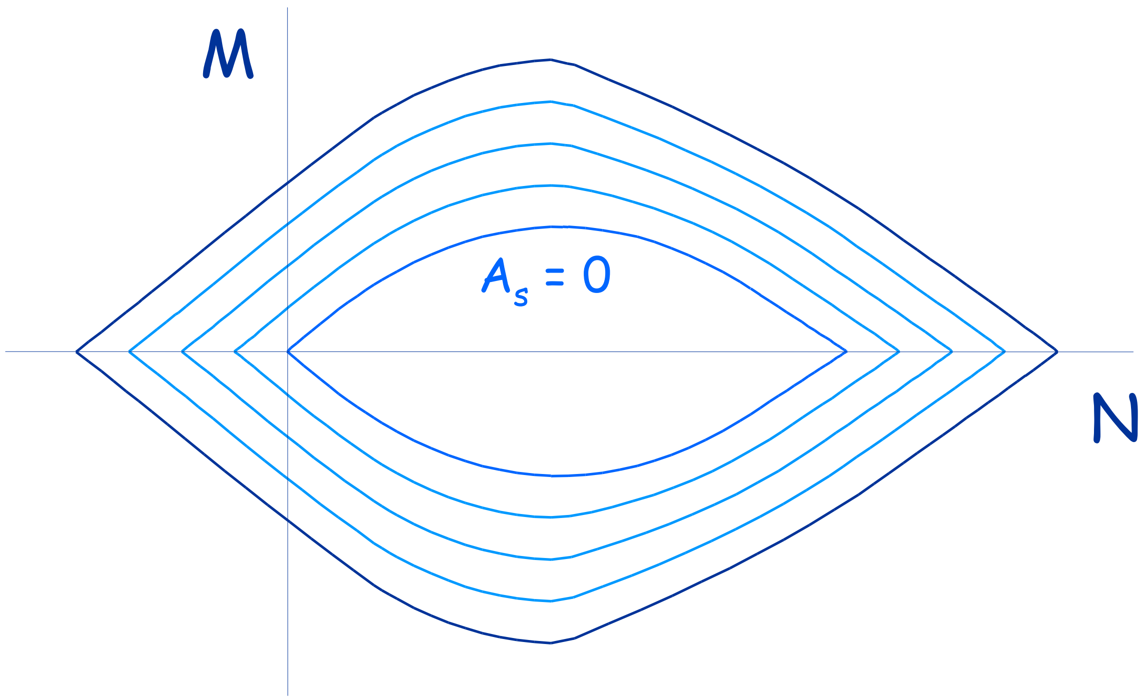


Domini di resistenza - stato limite ultimo



Domini di resistenza - stato limite ultimo

Cambiando l'armatura, si ottengono tanti diagrammi

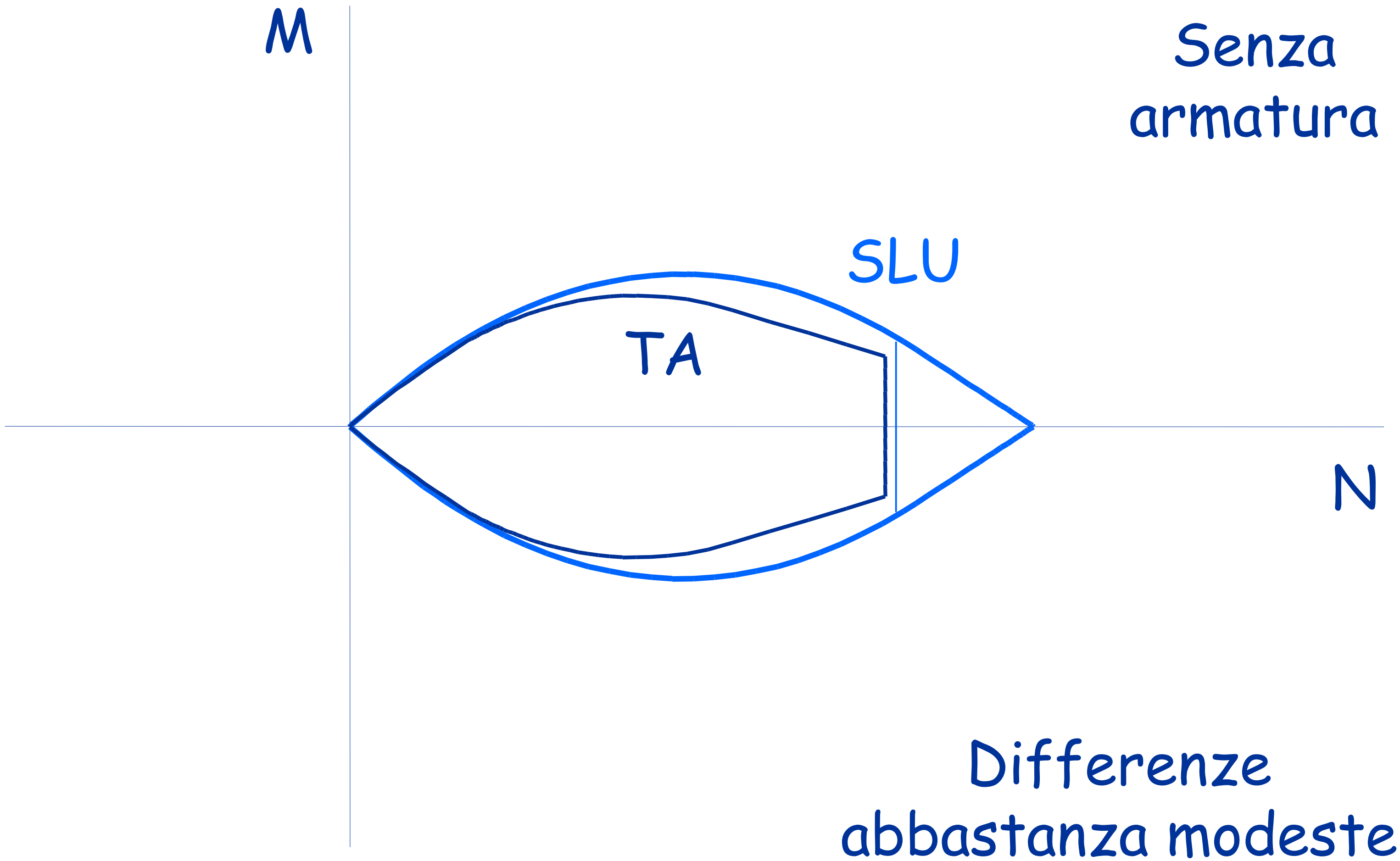


Domini: confronto tra TA e SLU

Il confronto può essere effettuato sovrapponendo i domini ricavati per TA e SLU

Poiché i carichi allo SLU sono maggiori (circa 1.4 volte) di quelli alle TA, il dominio relativo alle TA deve essere opportunamente scalato (ad esempio x 1.4)

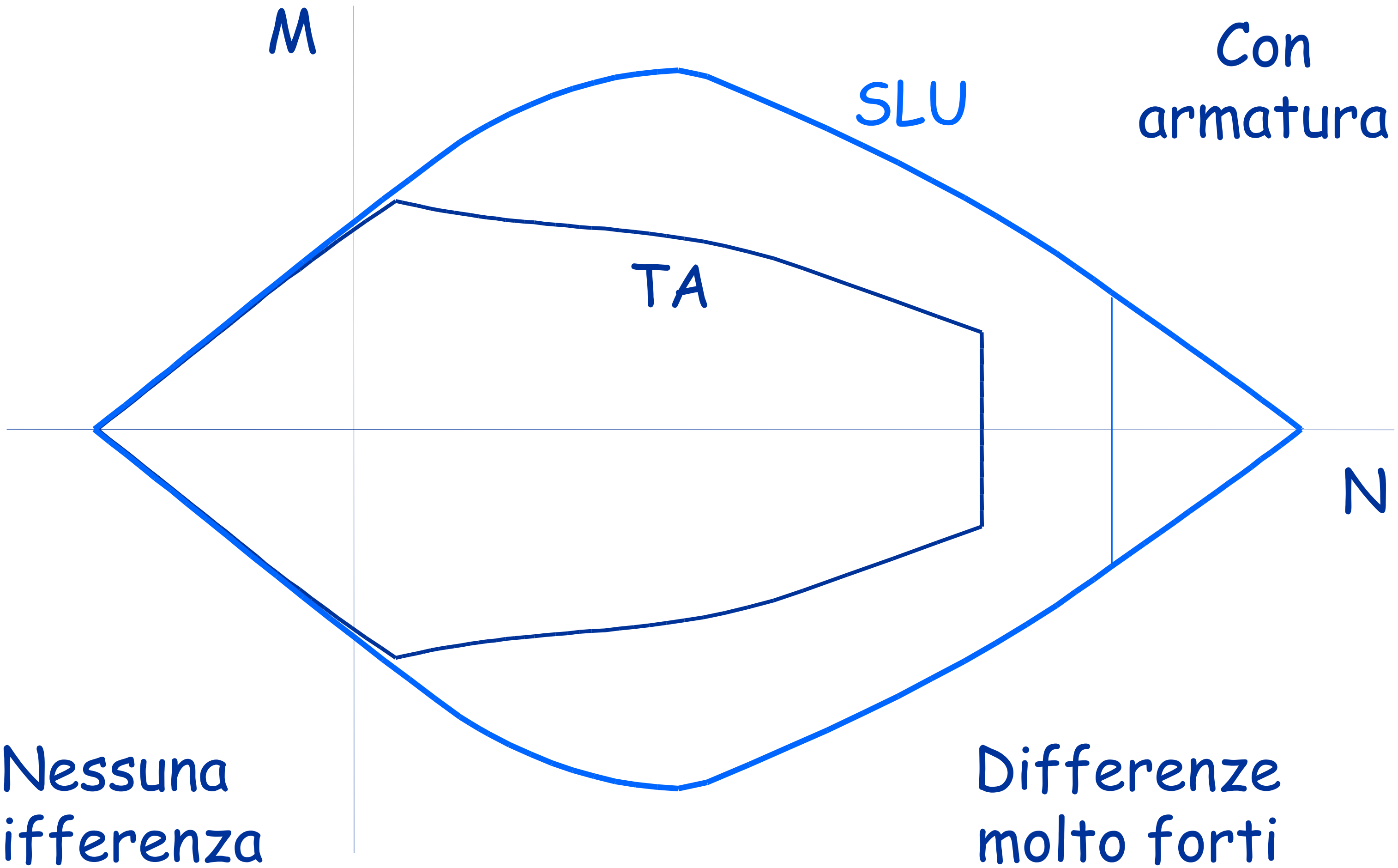
Domini: confronto tra TA e SLU



Senza armatura

Differenze abbastanza modeste

Domini: confronto tra TA e SLU



Con armatura

Nessuna differenza in trazione

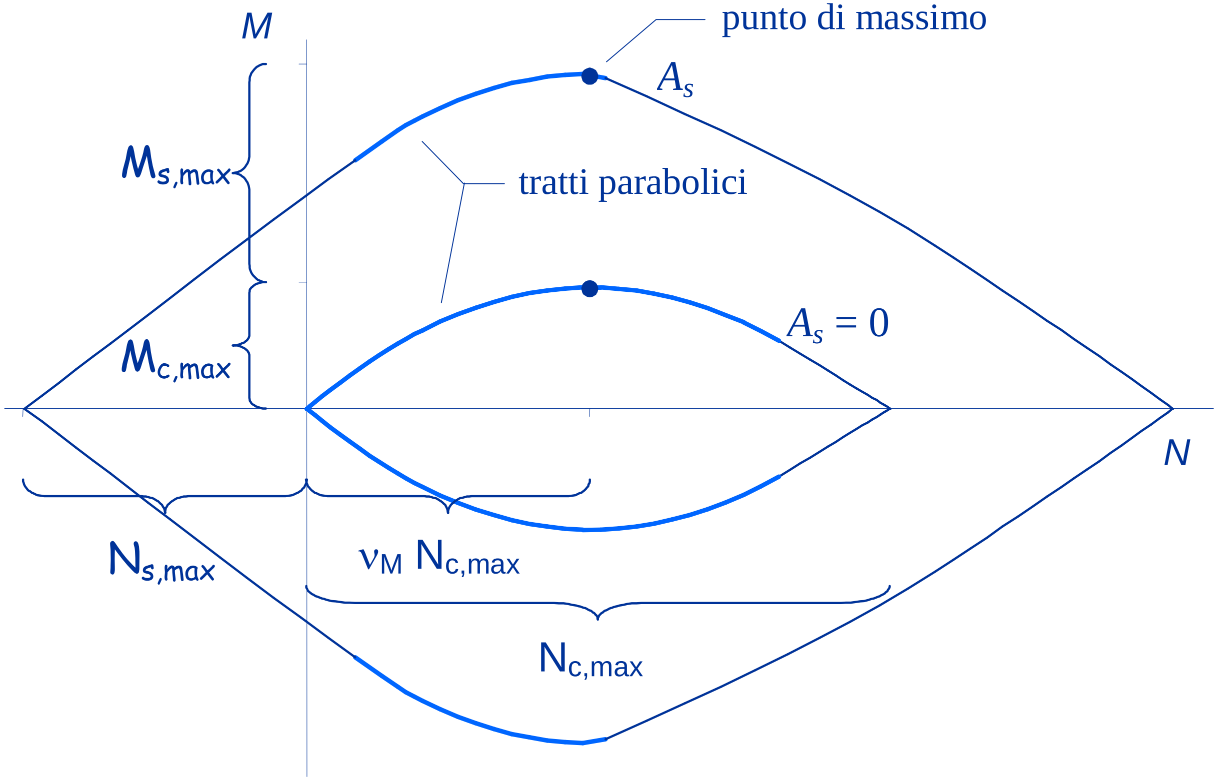
Differenze molto forti in compressione

Progetto e verifica allo SLU con i domini M-N

sezioni rettangolari, $A_s = A'_s$

Dominio M-N allo SLU

L'andamento delle curve è in più tratti parabolico



Dominio M-N allo SLU

Quando entrambe le armature sono snervate

$$N = -\beta\, b\, x\, f_{cd}$$

$$M = \beta\, b\, x\, f_{cd} \left(\frac{h}{2} - \kappa\, x \right) + 2\, A_s\, f_{yd} \left(\frac{h}{2} - c \right)$$

Il punto di massimo momento si ottiene derivando M

$$\frac{dM}{dx} = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta\, b\, f_{cd} \left(\frac{h}{2} - 2\, \kappa\, x \right) = 0 \qquad\qquad x = \frac{h}{4\, \kappa} = \frac{119}{198} h \cong 0.60\, h$$

Dominio M-N allo SLU

Quando entrambe le armature sono snervate

$$N = -\beta\, b\, x\, f_{cd}$$

$$N = \frac{289}{584}\, b\, h\, f_{cd} \qquad \frac{289}{584} \cong 0.48$$

$$M = \beta\, b\, x\, f_{cd} \left(\frac{h}{2} - \kappa\, x \right) + 2\, A_s\, f_{yd} \left(\frac{h}{2} - c \right)$$

$$M = \frac{289}{2376}\, b\, h^2\, f_{cd} + A_s\, f_{yd} \left(h - 2\, c \right) \qquad \frac{289}{2376} \cong 0.12$$

Il punto di massimo momento si ottiene derivando M

$$\frac{dM}{dx} = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta\, b\, f_{cd} \left(\frac{h}{2} - 2\, \kappa\, x \right) = 0$$

$$x = \frac{h}{4\, \kappa} = \frac{119}{198}\, h \cong 0.60\, h$$

Per questo valore di x si ha

Dominio M-N allo SLU

Nel punto di massimo

$$N = \nu_M \, N_{c,max}$$

$$N_{c,max} = b\,h\,f_{cd}$$

$$\nu_M \cong 0.48$$

$$M_{c,max} \cong 0.12\, b\, h^2\, f_{cd}$$

$$N = \overbrace{\frac{289}{584}}^{\cong 0.48} b\,h\,f_{cd}$$

$$M = \underbrace{\frac{289}{2376}}_{\cong 0.12} b\,h^2\, f_{cd} + A_s\, f_{yd} \left(h - 2\,c\right)$$

Inoltre:
contributo
dell'armatura

$$M = M_{c,max} + M_{s,max}$$

$$M_{s,max} = A_s\,(h - 2\,c)\, f_{yd}$$

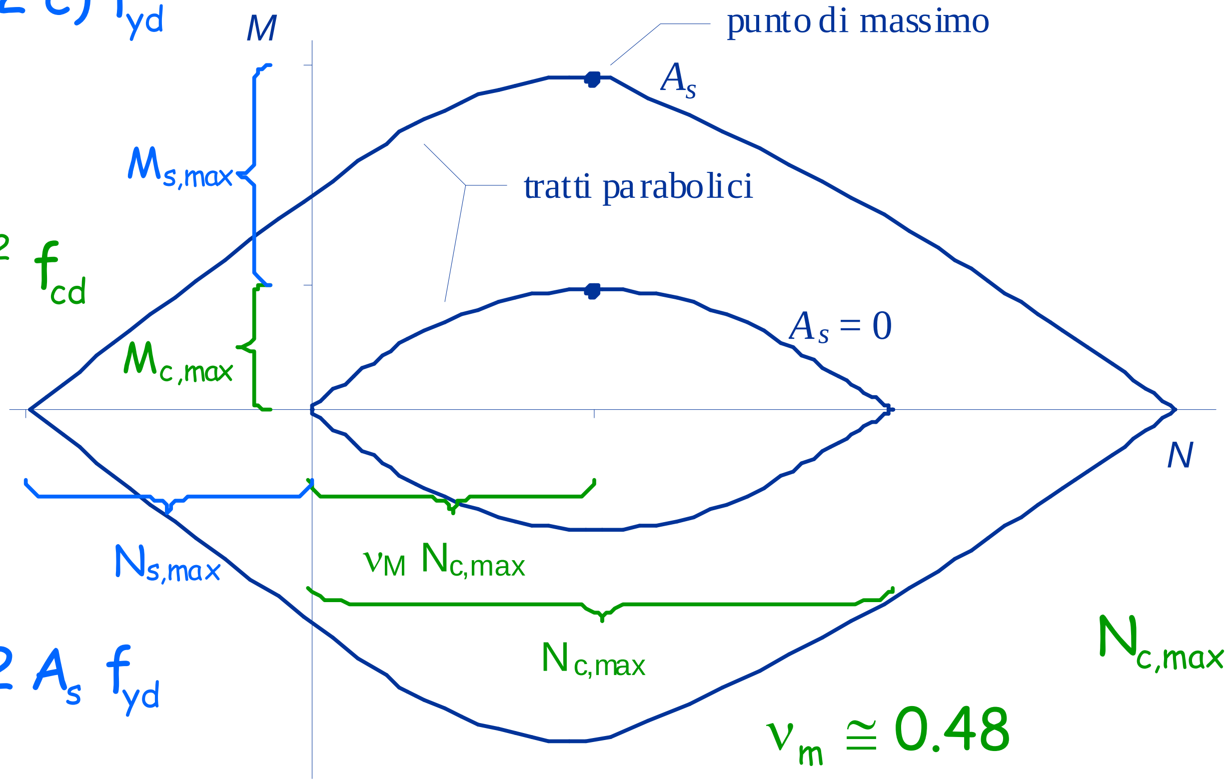
Infine:
massimo sforzo
normale di trazione

$$N_{s,max} = 2\,A_s\, f_{yd}$$

Dominio M-N allo SLU

$$M_{s,max} =$$
$$= A_s\,(h - 2\,c)\,f_{yd}$$

$$M_{c,max} =$$
$$\cong 0.12\,b\,h^2\,f_{cd}$$



$$N_{s,max} = 2\,A_s\,f_{yd}$$

$$\nu_m \cong 0.48$$

$$N_{c,max} = b\,h\,f_{cd}$$

Valori base per dominio M-N

	Calcestruzzo	Acciaio
N	$N_{c,max} = b\,h\,f_{cd}$	$N_{s,max} = 2\,A_s\,f_{yd}$
M	$M_{c,max} \cong 0.12\,b\,h^2\,f_{cd}$	$M_{s,max} = A_s\,(h - 2\,c)\,f_{yd}$

Formulazione analitica

Momento resistente M_{Rd} in funzione di N_{Rd}:

$$M_{Rd} = (M_{c,max} + M_{s,max}) \left[1 - \left| \frac{N_{Rd} + 0.48\, N_{c,max}}{0.48\, N_{c,max} + N_{s,max}} \right|^{m} \right]$$

con $\qquad m = 1 + \dfrac{0.48\, N_{c,max}}{0.48\, N_{c,max} + N_{s,max}}$

Nota: uso N>0 per tensoflessione, N<0 per pressoflessione

Formulazione analitica

Verifica di resistenza:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,max}+M_{s,max}}+\left|\frac{N_{Ed}+0.48\,N_{c,max}}{0.48\,N_{c,max}+N_{s,max}}\right|^{m}\leq 1$$

con $$m=1+\frac{0.48\,N_{c,max}}{0.48\,N_{c,max}+N_{s,max}}$$

Nota: uso N>0 per tensoflessione, N<0 per pressoflessione

Formule alternative

– per $N_{Ed} < 0$ (tensoflessione)

$$M_{Rd} = M_{s,max}\left(1 + \frac{N_{Ed}}{N_{s,max}}\right)$$

– per $0 < N_{Ed} < 0.48\ N_{c,max}$

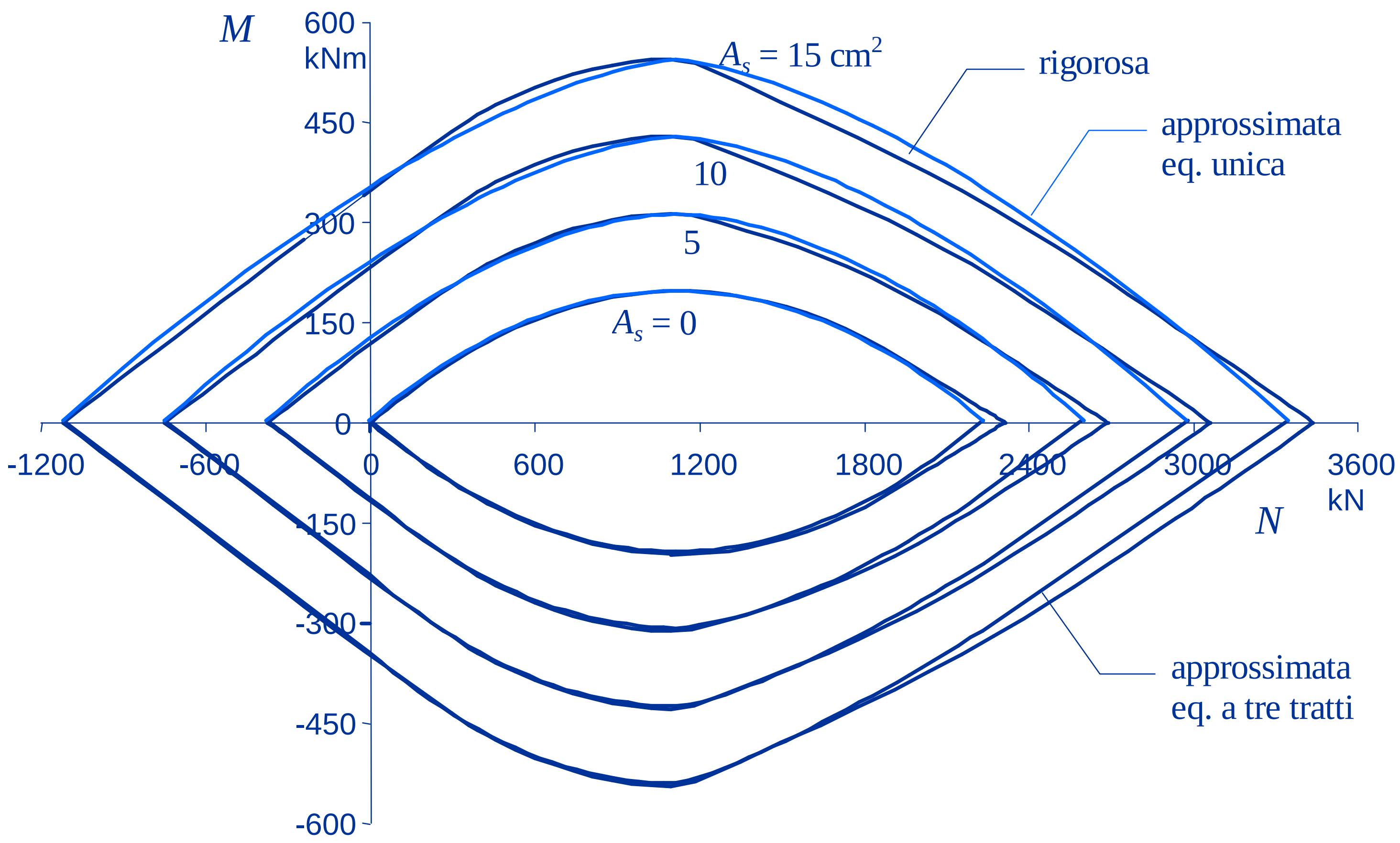
$$M_{Rd} = M_{c,max}\left[1 - \left(\frac{N_{Ed} + 0.48\ N_{c,max}}{0.48\ N_{c,max}}\right)^2\right] + M_{s,max}$$

– per $N_{Ed} > 0.48\ N_{c,max}$

$$M_{Rd} = \left(M_{c,max} + M_{s,max}\right)\left[1 - \left(\frac{\left|N_{Ed} + 0.48\ N_{c,max}\right|}{0.52\ N_{c,max} + N_{s,max}}\right)^n\right]$$

con $$n = 1 + \left(\frac{0.48\ N_{c,max}}{0.52\ N_{c,max} + N_{s,max}}\right)^2$$

Confronto



M
600
kNm
450
300
150
0
-150
-300
-450
-600
-1200
-600
0
600
1200
1800
2400
3000
3600
kN
N
As = 15 cm2
10
5
As = 0
rigorosa
approssimata
eq. unica
approssimata
eq. a tre tratti

Esempio - verifica a pressoflessione

Dati geometrici

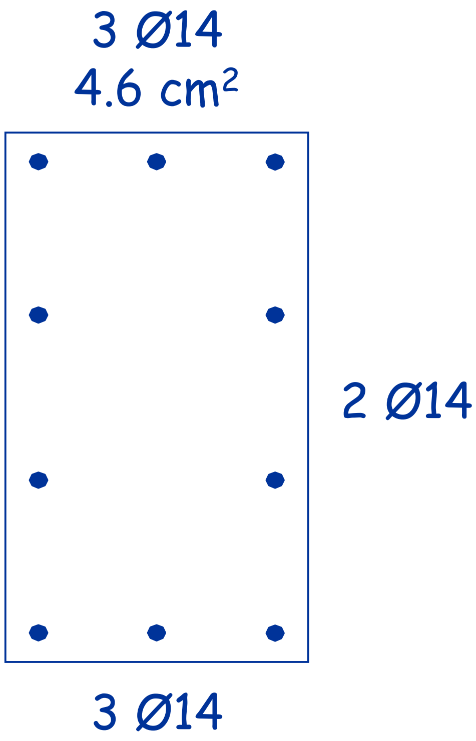
Sezione 40x70
$A_s = A'_s = 3\ Ø14$

Materiale

Calcestruzzo C25/30
Acciaio B450C

Sollecitazioni

$N_{Ed} = -1300$ kN
$M_{Ed} = 400$ kNm



Esempio - verifica a pressoflessione

Valori resistenti del calcestruzzo:

$$N_{c,max} = b\,h\,f_{cd} = 0.40 \times 0.70 \times 14.2 \times 10^3 = 3976\ \text{kN}$$

$$\nu_M\,N_{c,Rd} = 0.486 \times 3976 = 1932\ \text{kN}$$

$$M_{c,max} = \frac{289}{2376}\,b\,h^2\,f_{cd} = 0.1216 \times 0.40 \times 0.70^2 \times 14.2 \times 10^3$$

$$M_{c,max} = 338.4\ \text{kNm}$$

Esempio - verifica a pressoflessione

Valori resistenti dell'acciaio:

$$N_{s,max} = 2\ A_s\ f_{yd} = 2 \times 4.62 \times 391 \times 10^{-1}$$
$$N_{s,max} = 361.2\ \text{kN}$$

$$M_{s,max} = A_s(h - 2c)f_{yd} = 4.62 \times (0.70 - 2 \times 0.04) \times 391 \times 10^{-1}$$
$$M_{s,max} = 112.0\ \text{kNm}$$

Esempio - verifica a pressoflessione

Momento resistente:

$$m = 1 + \frac{\nu_M\, N_{c,max}}{\nu_M\, N_{c,max} + N_{s,max}} = 1 + \frac{1932}{1932 + 361.2} = 1.842$$

$$M_{Rd} = (M_{c,max} + M_{s,max}) \left[1 - \left| \frac{N_{Rd} + \nu_M\, N_{c,max}}{\nu_M\, N_{c,max} + N_{s,max}} \right|^m \right] =$$

$$= (338.4 + 112.0) \left[1 - \left| \frac{-1300 + 1932}{1932 + 361.2} \right|^{1.842} \right] =$$

$$= 408.5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

Sezione verificata

Esempio - verifica a pressoflessione

Oppure:

$$m = 1.842$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,max} + M_{s,max}} + \left| \frac{N_{Ed} + \nu_M \, N_{c,max}}{\nu_M \, N_{c,max} + N_{s,max}} \right|^m \leq 1$$

$$\frac{400}{338.4 + 112.0} + \left| \frac{-1300 + 1932}{1932 + 361.2} \right|^{1.842} =$$

$$= 0.888 + 0.093 = 0.981 \leq 1$$

Sezione verificata

Progetto dell'armatura

Il momento affidato alle armature è

$$M_{Ed,red} = M_{Ed} - M_{c,max} \left[1 - \left(\frac{N_{Ed} + \nu_M \, N_{c,max}}{\nu_M \, N_{c,max}} \right)^2 \right]$$

L'armatura necessaria è quindi $$A_s = \frac{M_{Ed,red}}{z \, f_{yd}}$$

z è il braccio della coppia interna costituita dalle armature $$z = h - 2\,c \cong 0.9\,d$$

Nota: la formula vale rigorosamente solo per $0 \leq |N_{Ed}| \leq \nu_M \, N_{c,max}$

Esempio - progetto dell'armatura

Dati geometrici

Sezione 40x70

Sollecitazioni

N_{Ed} = -1300 kN
M_{Ed} = 400 kNm

$$M_{Ed,red} = 400 - 338.4\left[1 - \left(\frac{-1300 + 1932}{1932}\right)^2\right] = 97.8\ \text{kNm}$$

Armatura necessaria:

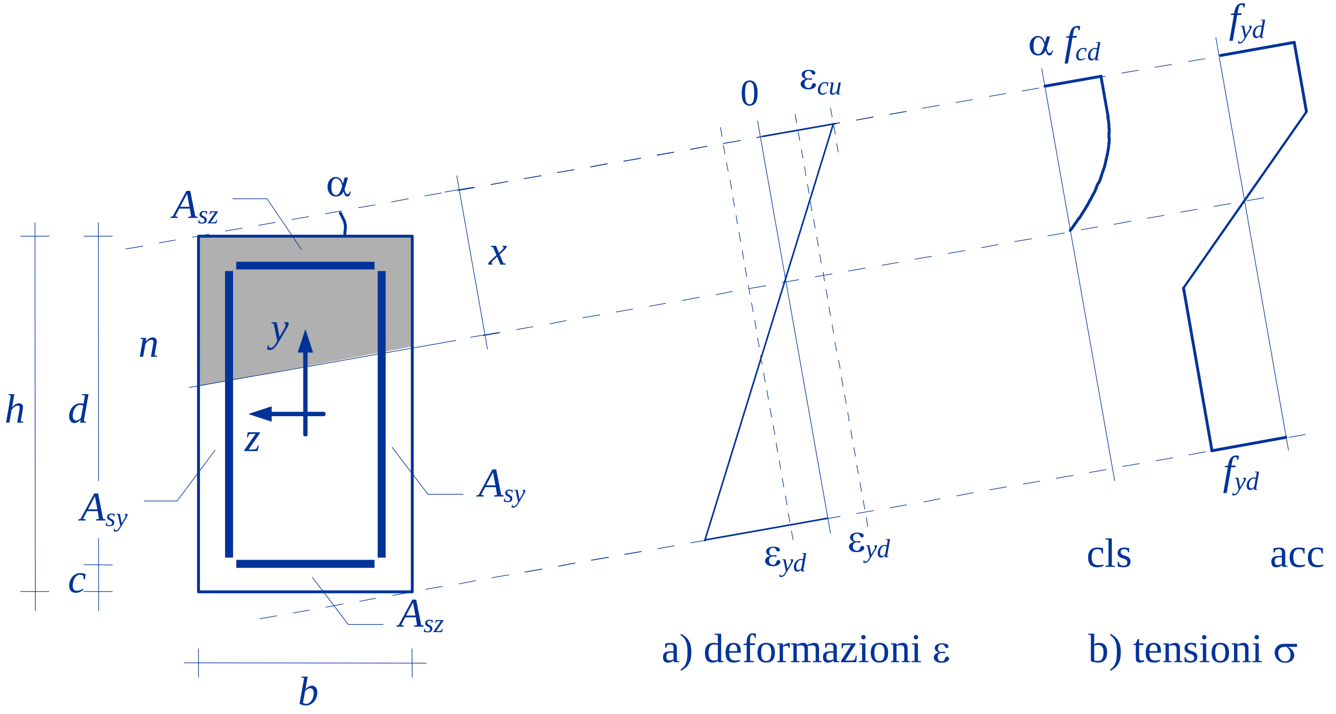
$$A_s = \frac{97.8}{0.9 \times 0.66 \times 391} \times 10 = 4.2\ \text{cm}^2$$

Domini M-N
per flessione composta deviata

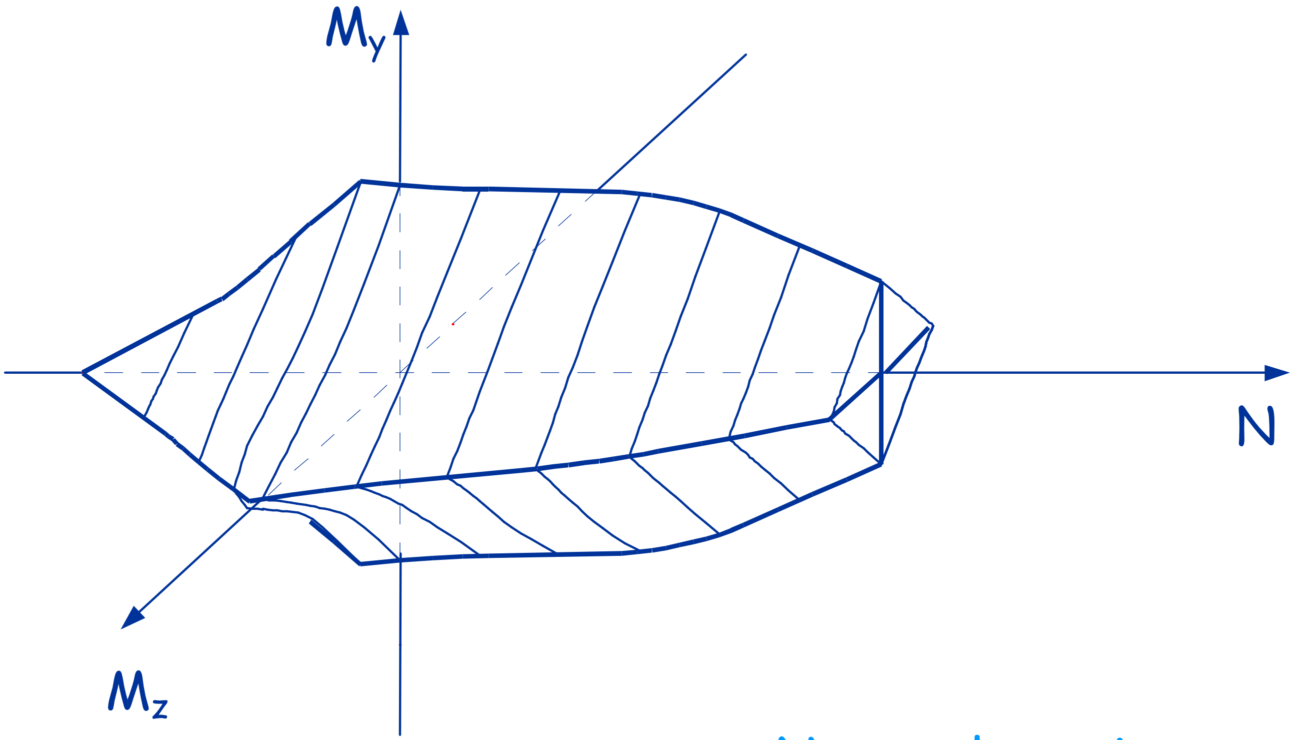
Pressoflessione deviata

Procedimento per la costruzione del dominio M_y-M_z-N

- analogo a quello descritto per pressoflessione retta
- più complicato per l'inclinazione dell'asse neutro



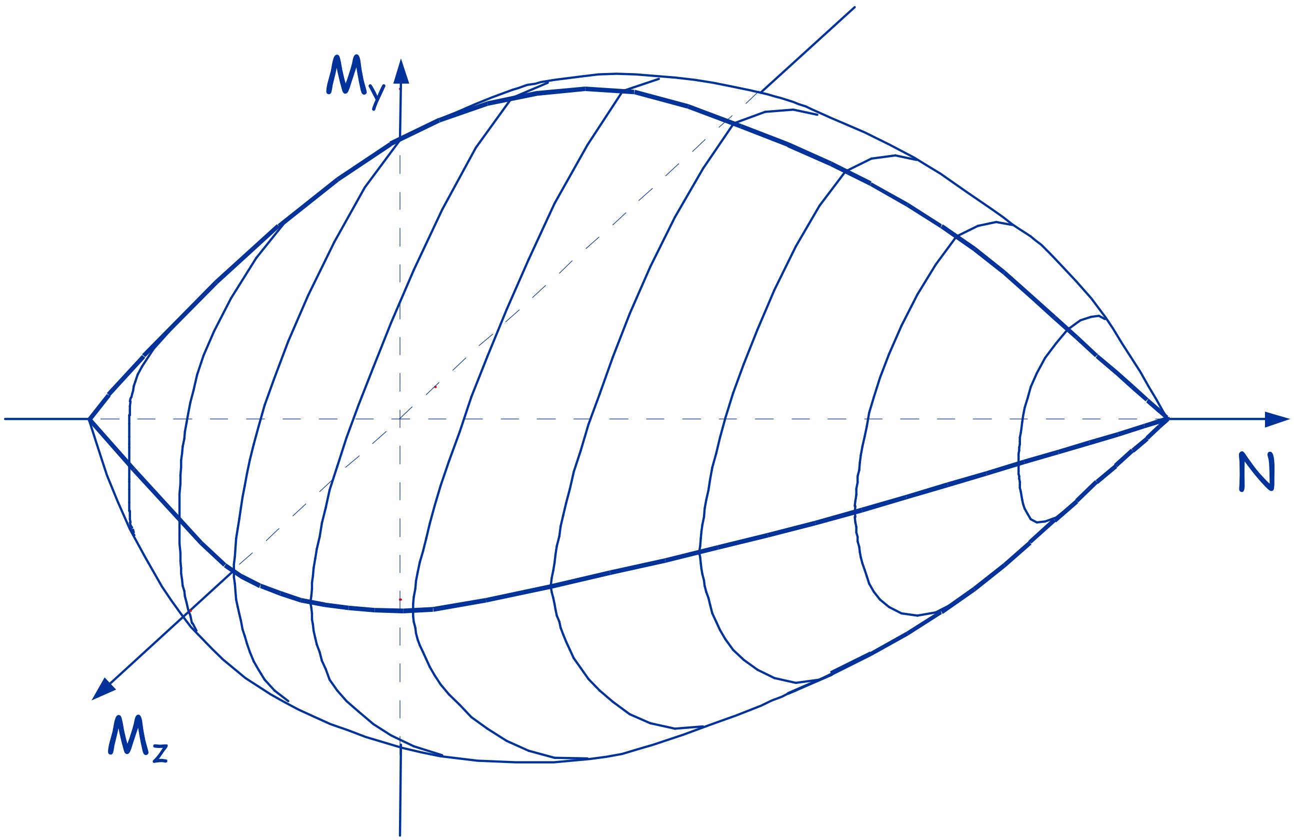
Dominio alle TA



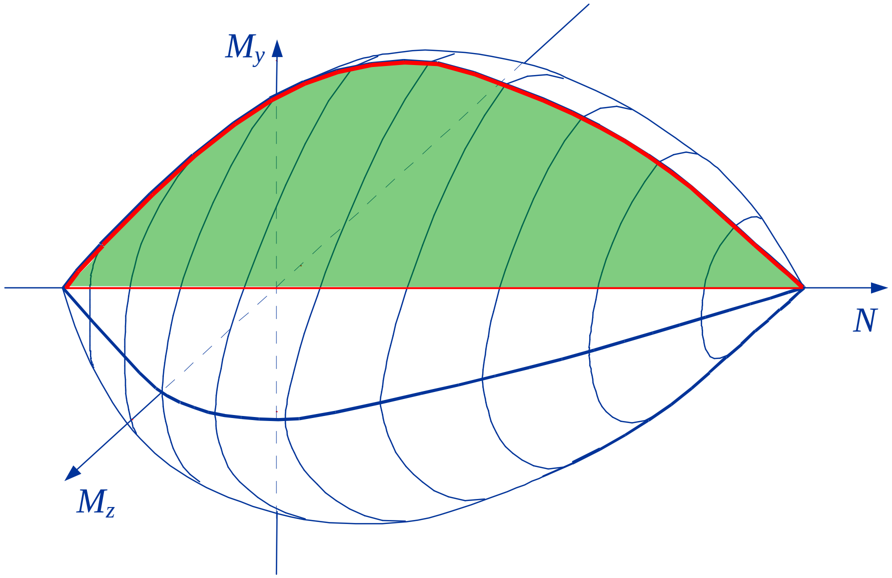
Notare la sezione trasversale:

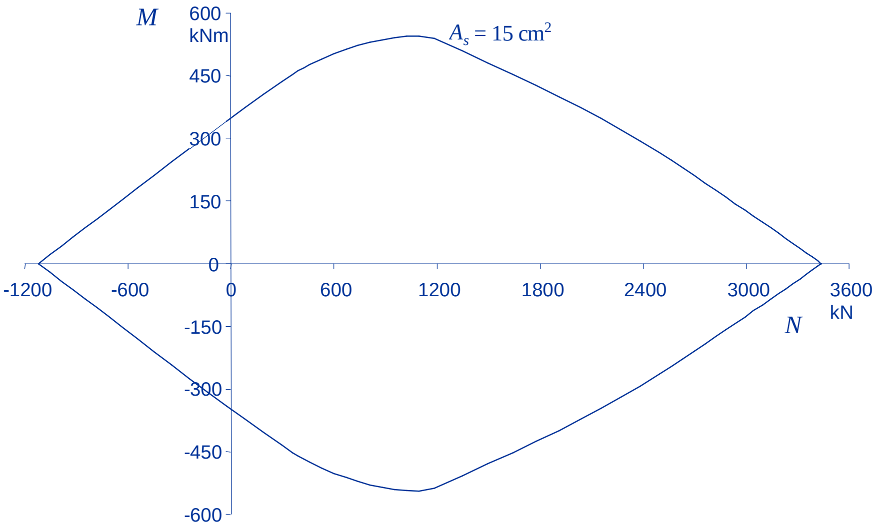
la presenza contemporanea di M_y e M_z è molto penalizzante

Dominio allo SLU

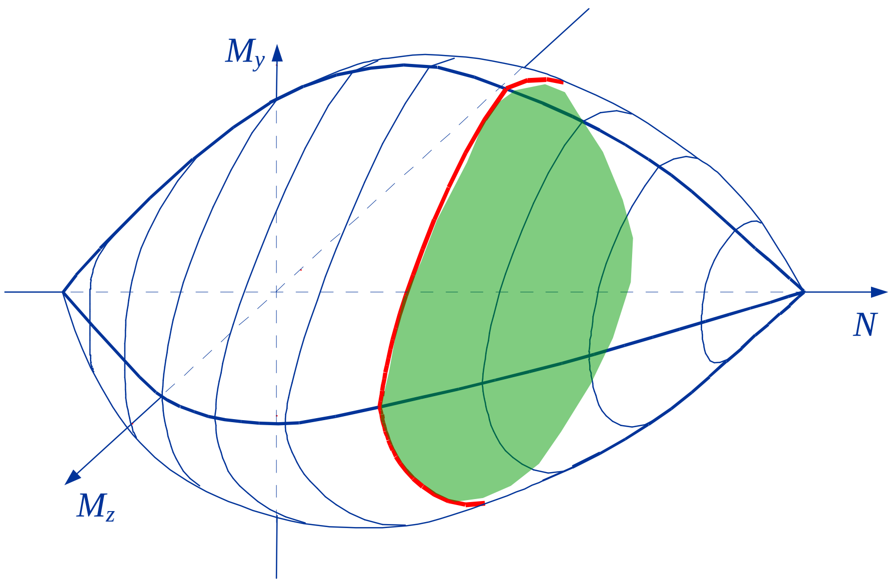


Dominio allo SLU





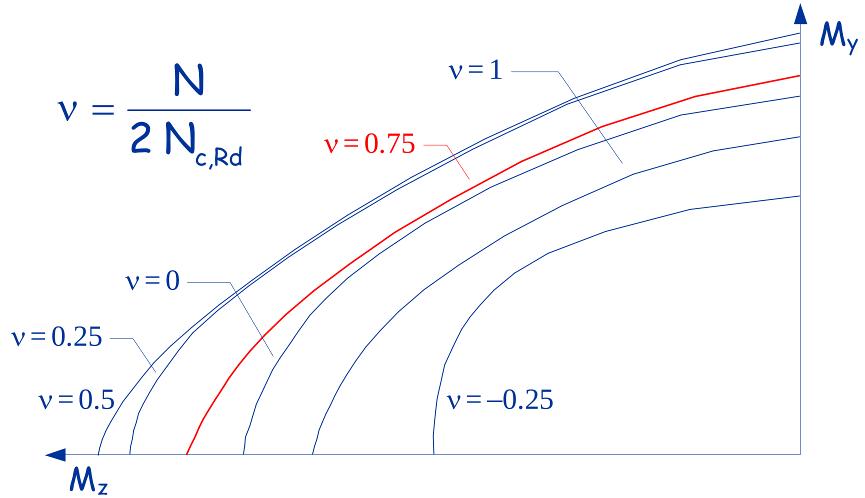
Dominio allo SLU



$$\left(\frac{M_z}{M_{z,Rd}}\right)^p + \left(\frac{M_y}{M_{y,Rd}}\right)^q = 1$$

Consiglio:
usare p = q = 1.5

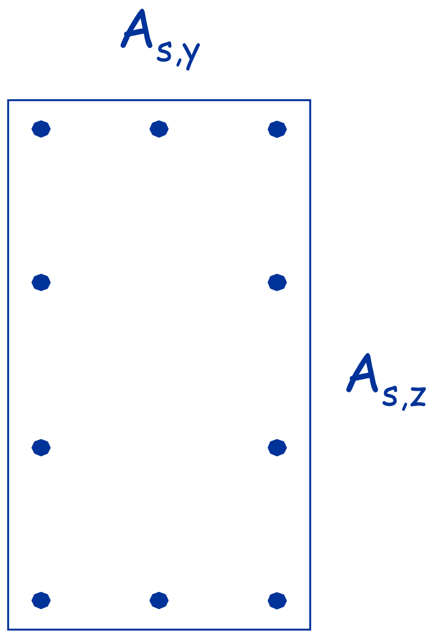
$$\nu = \frac{N}{2\,N_{c,Rd}}$$



Nota: per N≅0 si può usare un esponente maggiore, fino a 2

Considerazioni

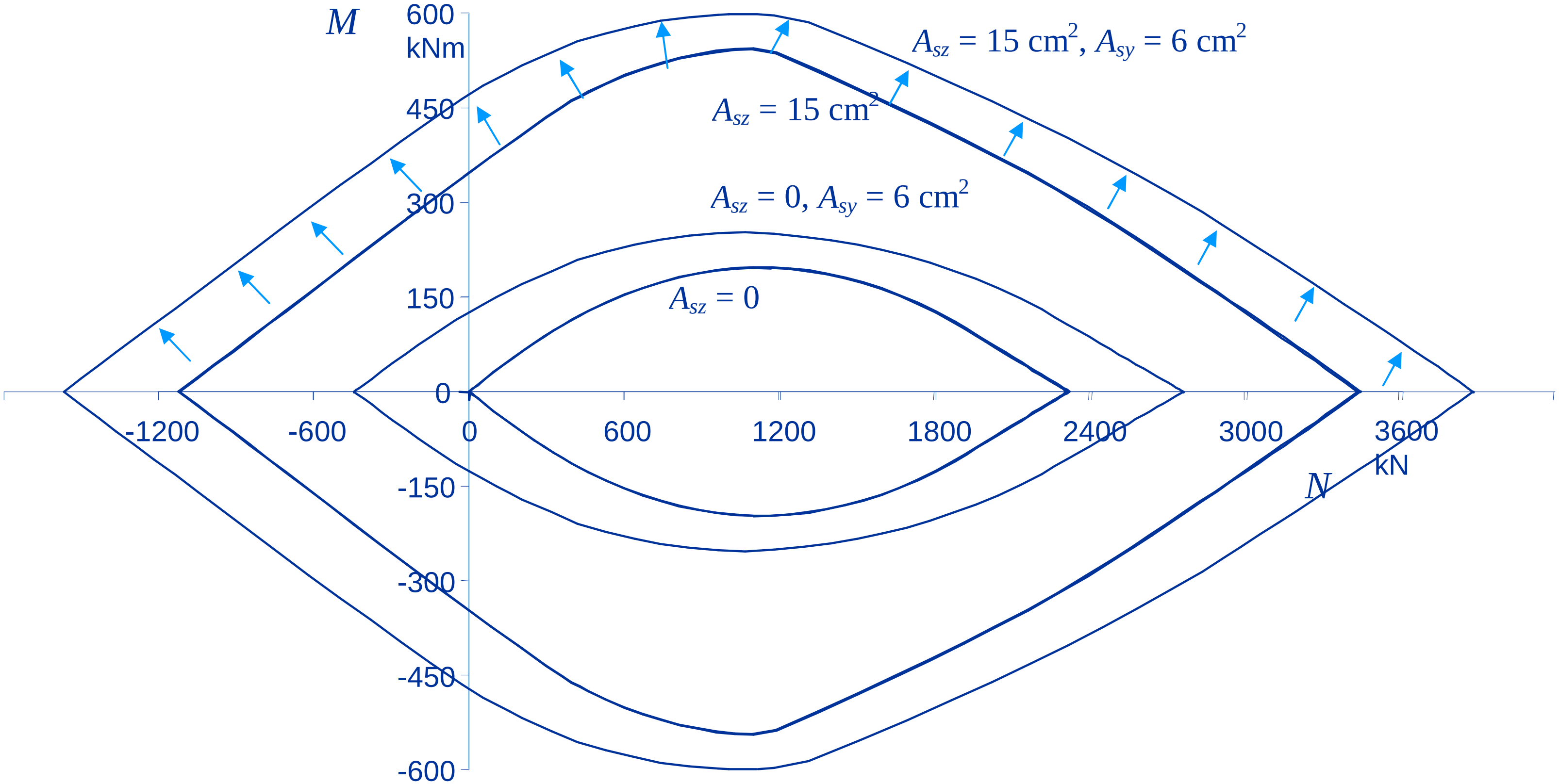
Nel calcolare il momento resistente $M_{Rd,y}$ si dovrebbe prendere in considerazione anche l'armatura sul lato verticale



e viceversa

Considerazioni

Ciò porterebbe ad un incremento del momento resistente



Considerazioni

Ciò porterebbe ad un incremento del momento resistente

$$M_{Rd} = \left(M_{c,max} + M_{sz,max} + M_{sy,max}\right)\left[1 - \left(\frac{N_{Rd} + \nu_M N_{c,max}}{\nu_M N_{c,max} + N_{sz,max} + N_{sy,max}}\right)^m\right]$$

con $$m = 1 + \left(\frac{\nu_M N_{c,max} + N_{sy,max}}{\nu_M N_{c,max} + N_{sz,max} + N_{sy,max}}\right)$$

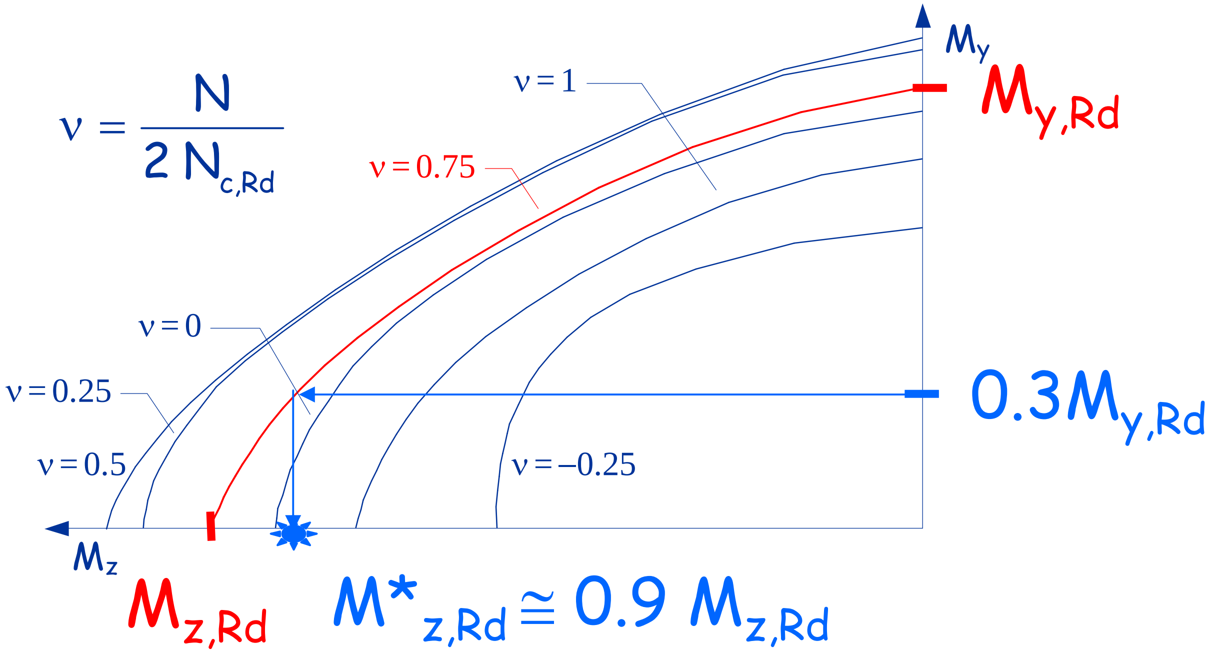
Valori base per dominio M-N
includendo l'armatura "di parete"

	Calcestruzzo	Acciaio
N	$\nu_M\, N_{c,max} = \dfrac{289}{594}\, b\, h\, f_{cd}$	$\cancel{N_{s,max} = 2\, A_s\, f_{yd}}$ $N_{s,max} = 2\,(A_s + A_{s,p})\, f_{yd}$
M	$M_{c,max} = \dfrac{289}{2376}\, b\, h^2\, f_{cd}$	$\cancel{M_{s,max} = A_s\,(h - 2\,c)\, f_{yd}}$ $M_{s,max} = (A_s + 0.4\, A_{s,p})\,(h - 2\,c)\, f_{yd}$

E' possibile usare le stesse formule modificando $N_{s,max}$ e $M_{s,max}$

Considerazioni

Contemporaneamente, la presenza di momento nella direzione trasversale riduce il momento resistente



Indicazioni operative

Finché il momento trasversale non è eccessivo, i due effetti si compensano

E' possibile progettare a pressoflessione retta, separatamente per le due direzioni,

e poi effettuare un controllo a pressoflessione deviata