Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Problemi specifici nel progetto di strutture antisismiche con pareti in c.a.

2 – Flessione composta

Spoleto

3-4 febbraio 2011

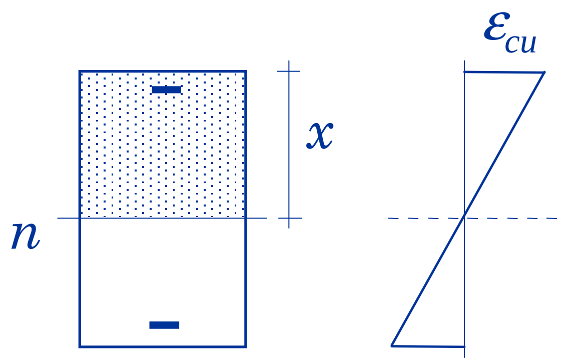
Edoardo M. Marino

Verifica a flessione composta

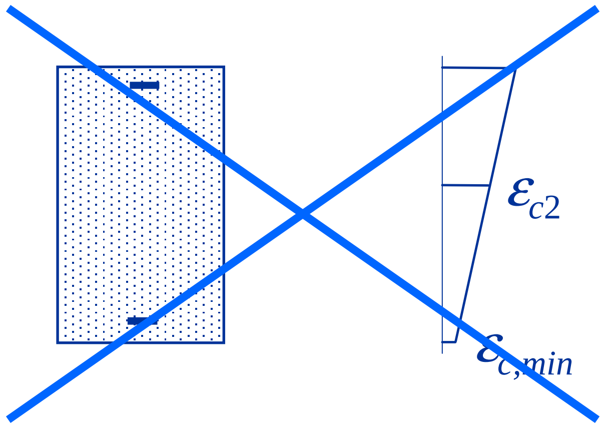
$$M_{Ed} \leq M_{Rd}\,(N_{Ed})$$

Bisogna individuare con quale diagramma di deformazione la sezione raggiunge lo stato limite ultimo

Sezione parzializzata

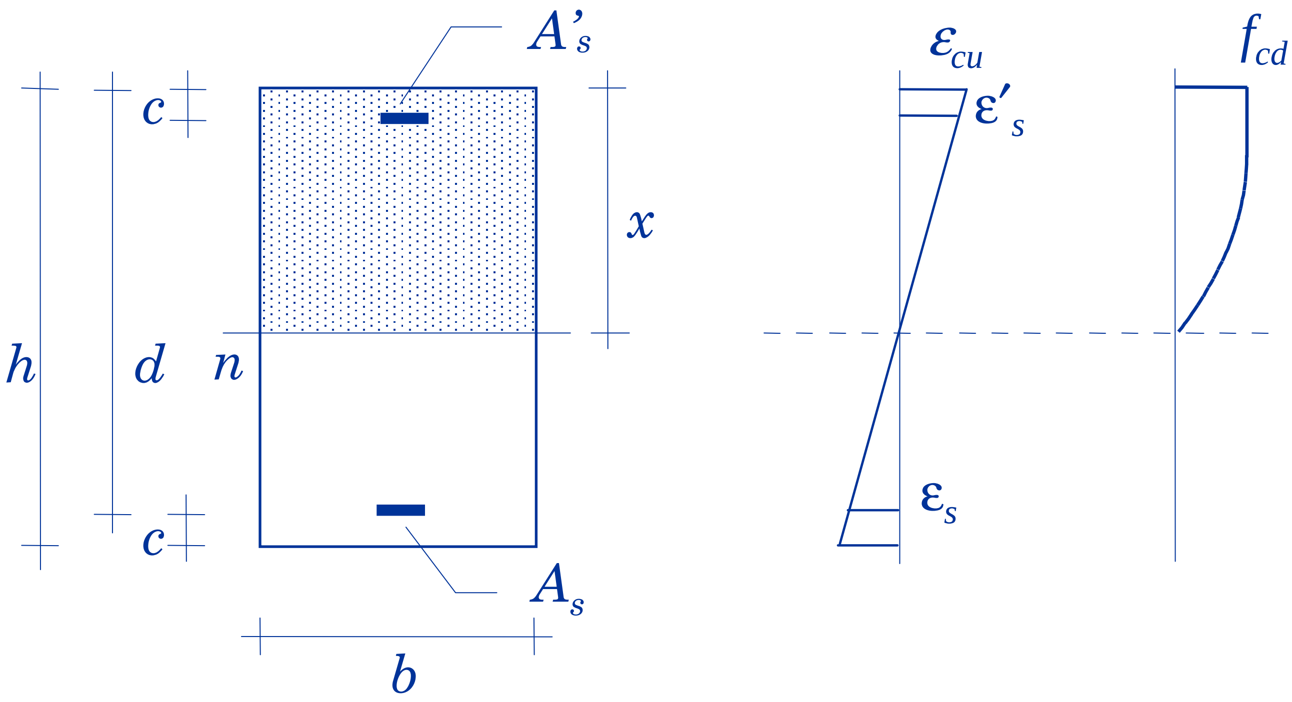


Sezione tutta compressa



N.B. La sezione della parete è sempre parzializzata perché il momento flettente è grande

Verifica a flessione composta



Dati:

Geometria della sezione

Armature

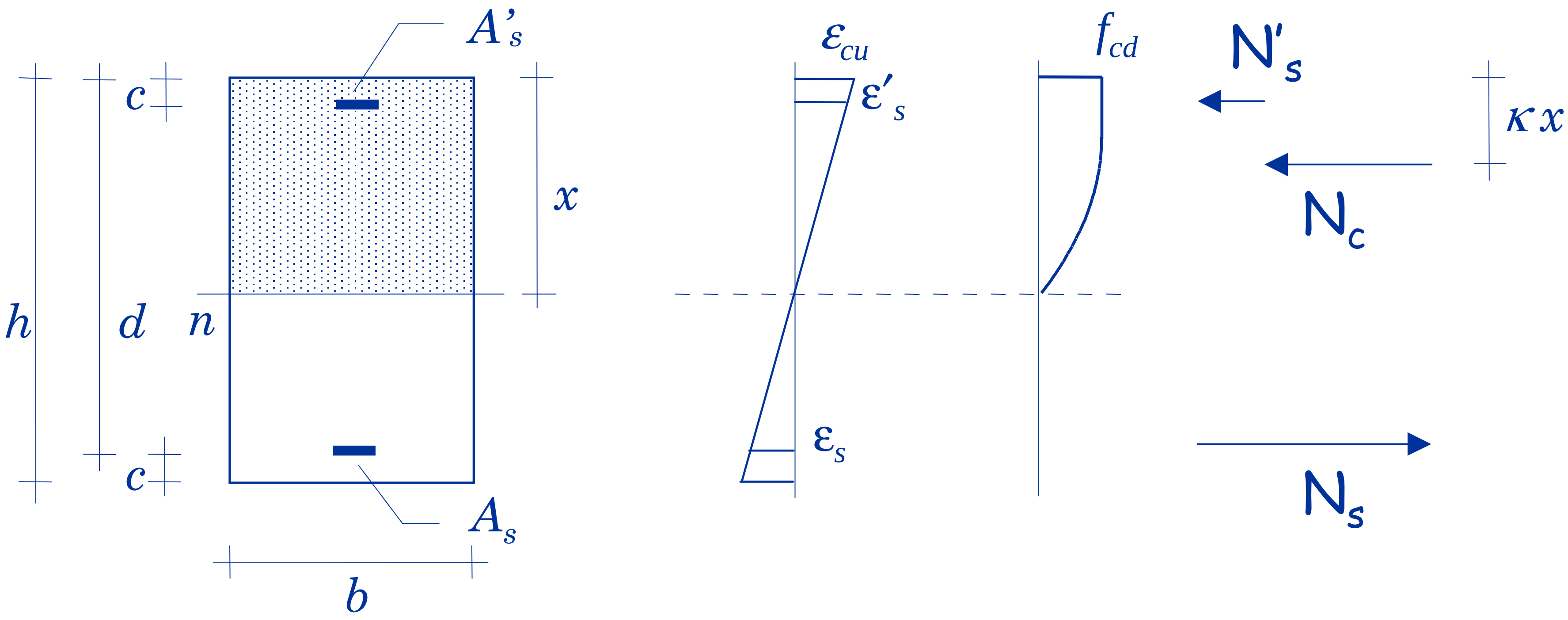
Coppia M_{Ed}-N_{Ed}

Incognite:

Posizione dell'asse neutro

Momento resistente M_{Rd} corrispondente a N_{Ed}

Verifica a flessione composta

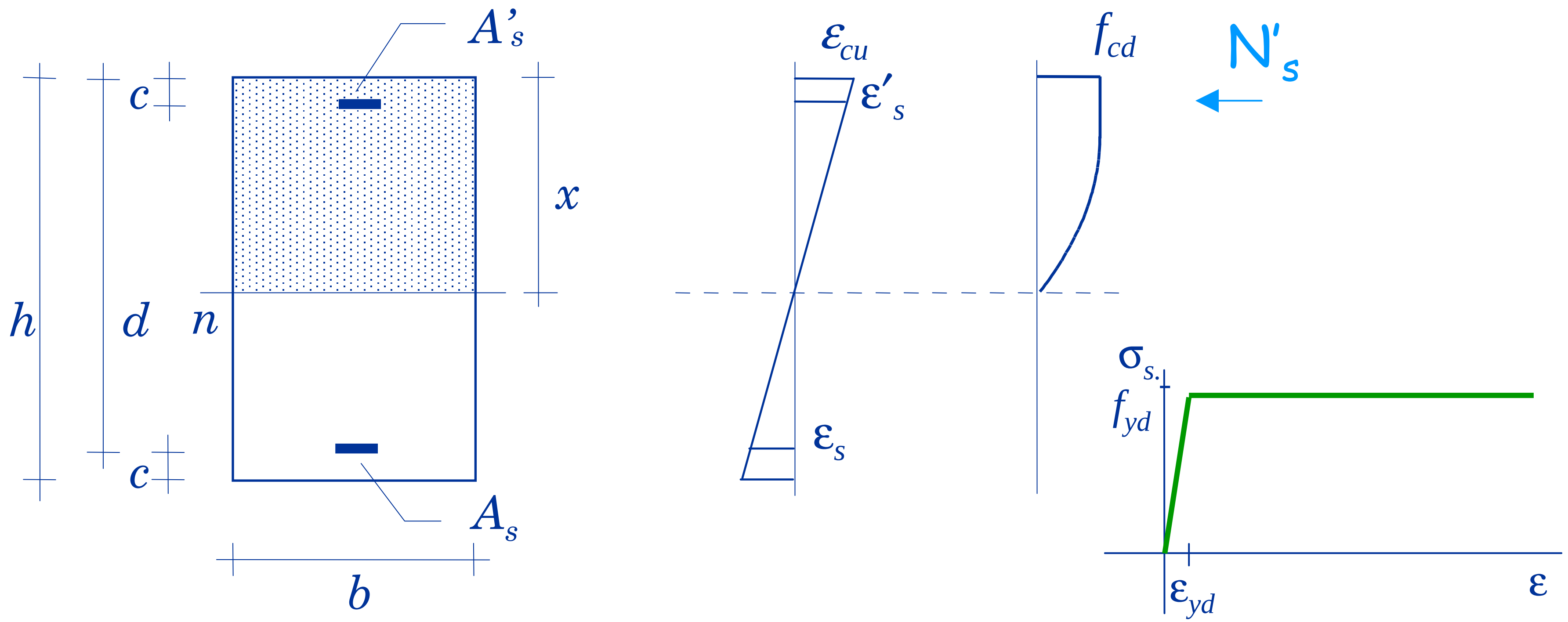


Per trovare l'asse neutro: $N_c + N'_s + N_s = N_{Ed}$
(equilibrio alla traslazione)

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

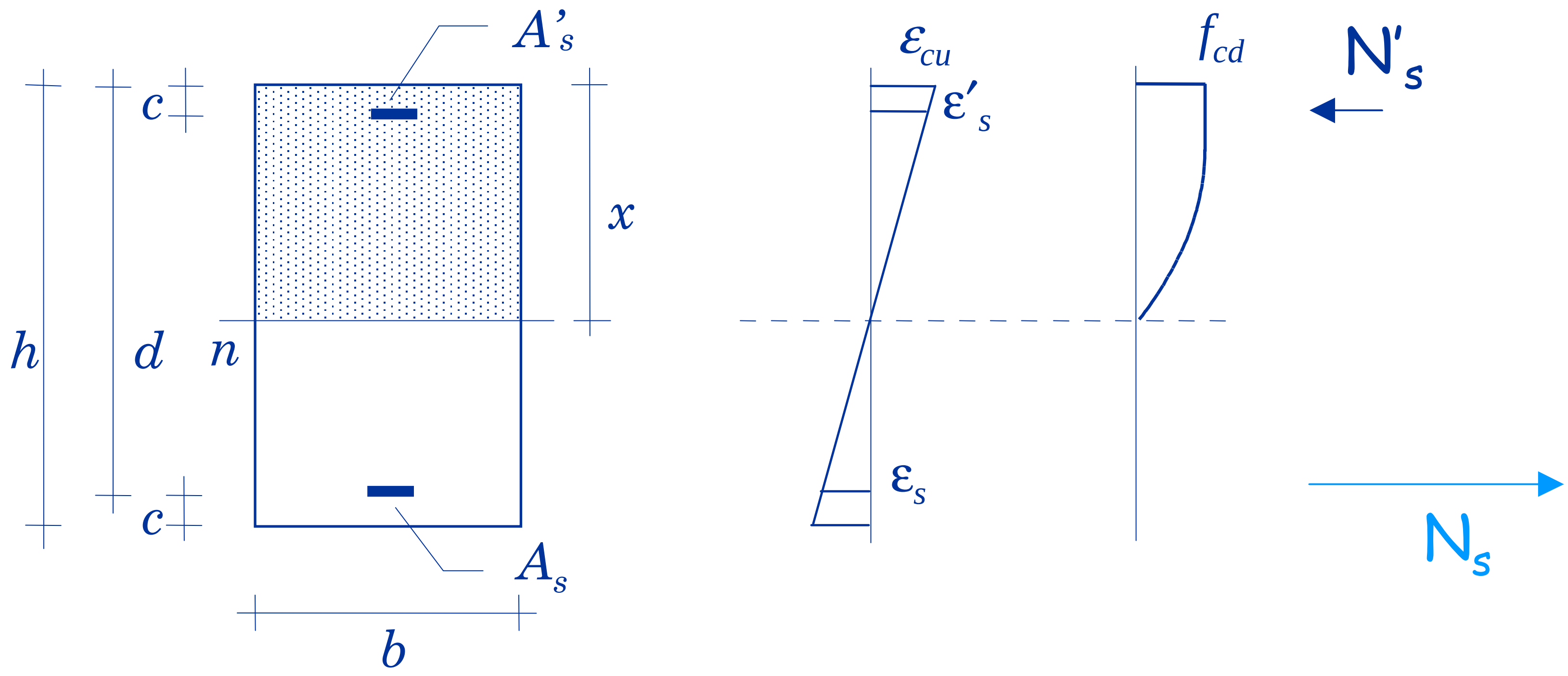
Risultante delle tensioni, armatura compressa

(sezione parzializzata)



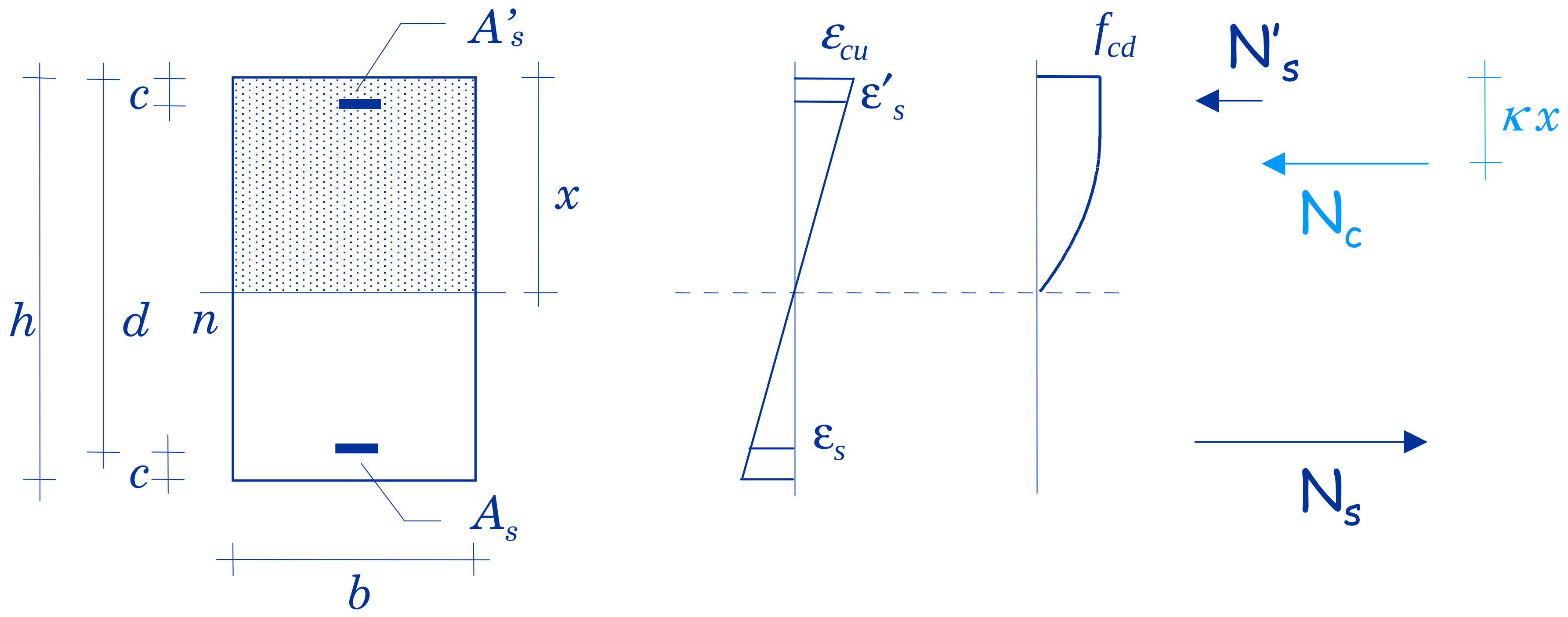
$$\varepsilon'_s = \frac{x-c}{x}\varepsilon_{cu} \Rightarrow \begin{cases} \text{se } \varepsilon'_s < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = \dfrac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} \\ \text{se } \varepsilon'_s \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma'_s = f_{yd} \end{cases} \Rightarrow N'_s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

Risultante delle tensioni, armatura tesa
(sezione parzializzata)



$$\varepsilon_s = \frac{d-x}{x}\varepsilon_{cu} \Rightarrow \begin{cases} \text{se } \varepsilon_s < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_s = \dfrac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} \\ \text{se } \varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd} \end{cases} \Rightarrow N_s = A_s\,\sigma_s$$

Risultante delle tensioni nel calcestruzzo
(sezione parzializzata)



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

per sezione rettangolare, $\beta = 0.810$

Verifica a flessione composta

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

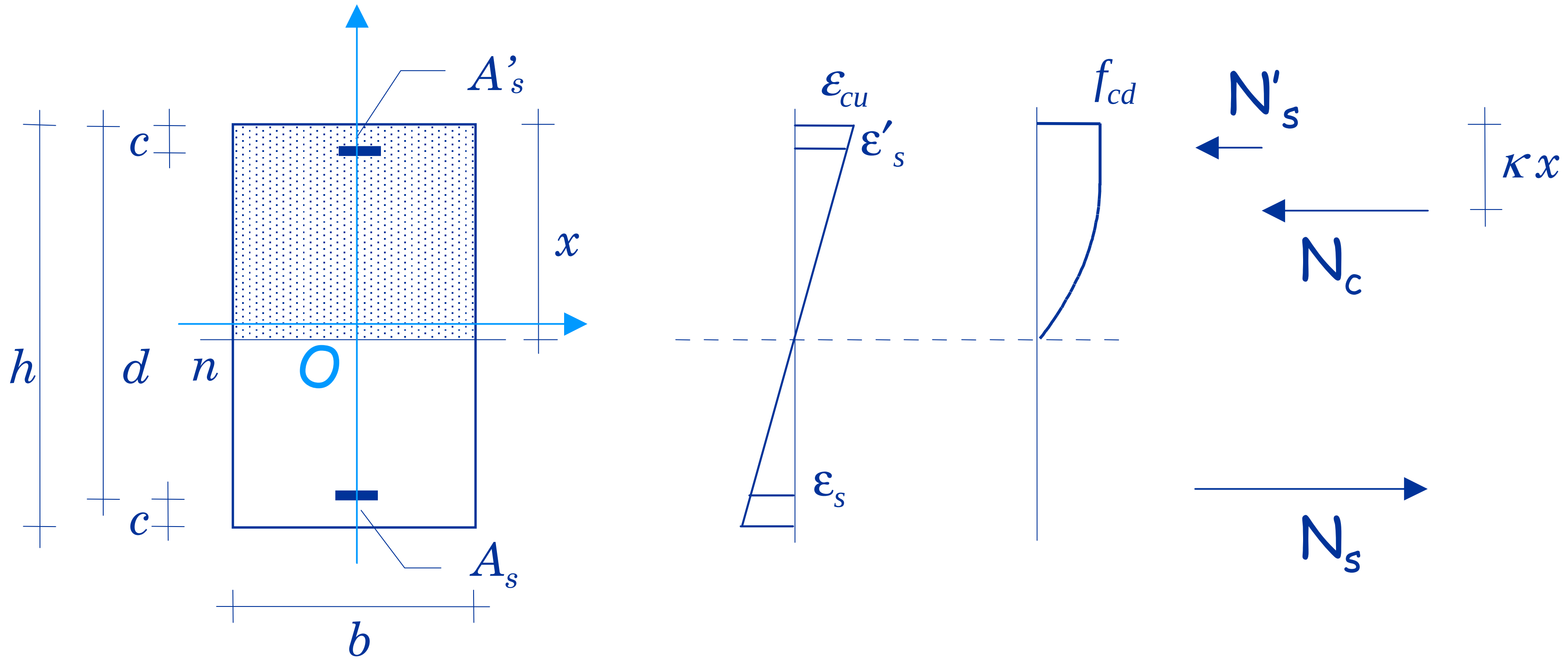
$$x = \frac{(A_s - A'_s)\, f_{yd} - N_{Ed}}{\beta\, b\, f_{cd}}$$

N_{Ed} positivo se trazione

altrimenti si può risolvere per tentativi l'equazione:

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

Momento resistente

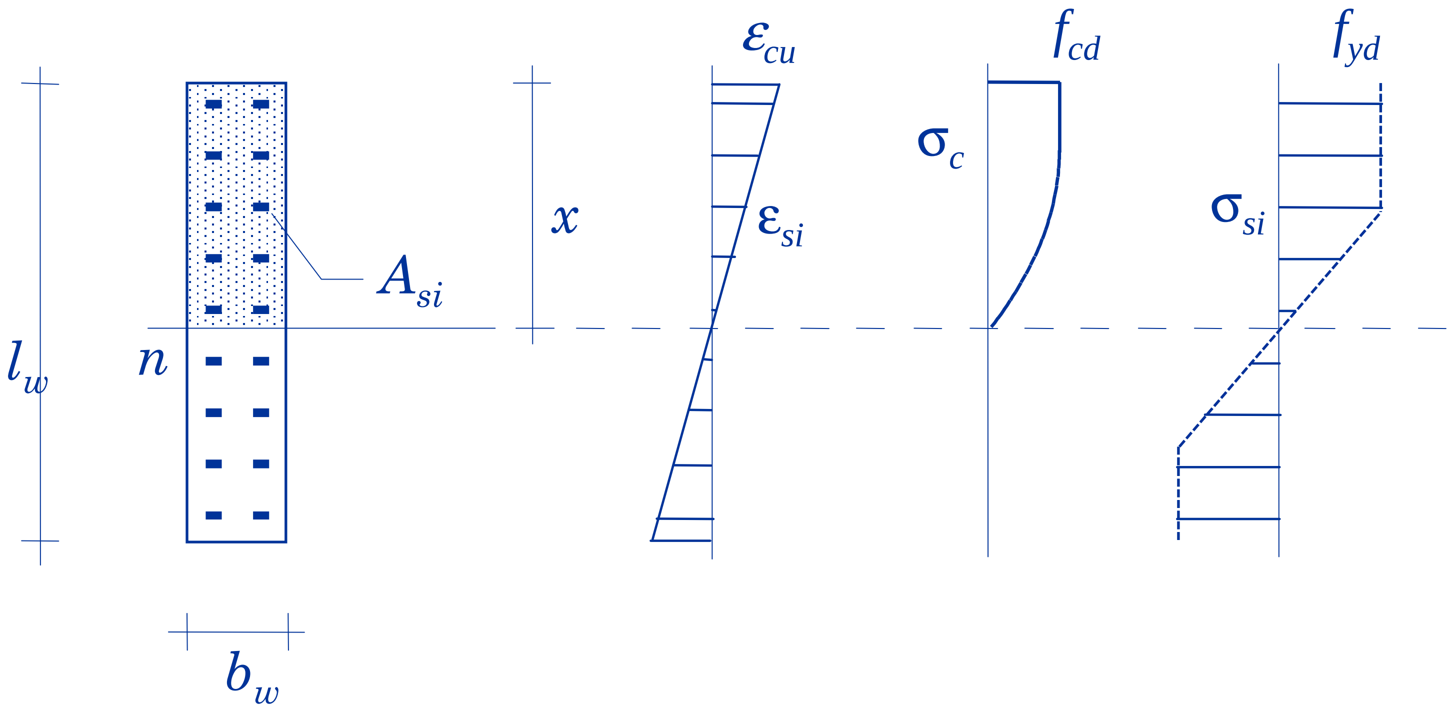


Si determina imponendo l'equilibrio alla rotazione (rispetto al baricentro della sezione)

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

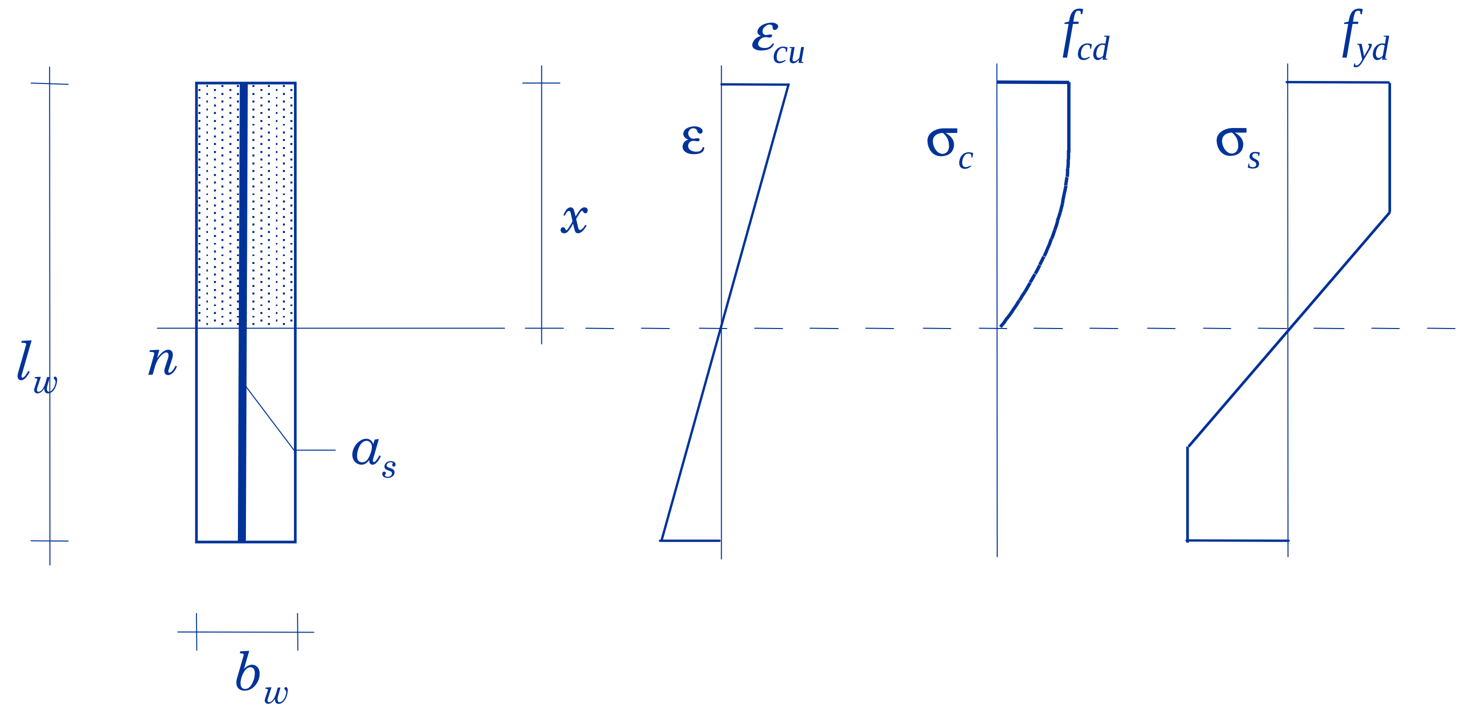
per sezione rettangolare, $\kappa = 0.416$

Cosa cambia per una parete?



In linea di principio non cambia nulla ma il procedimento è più oneroso perché le armature sono tante

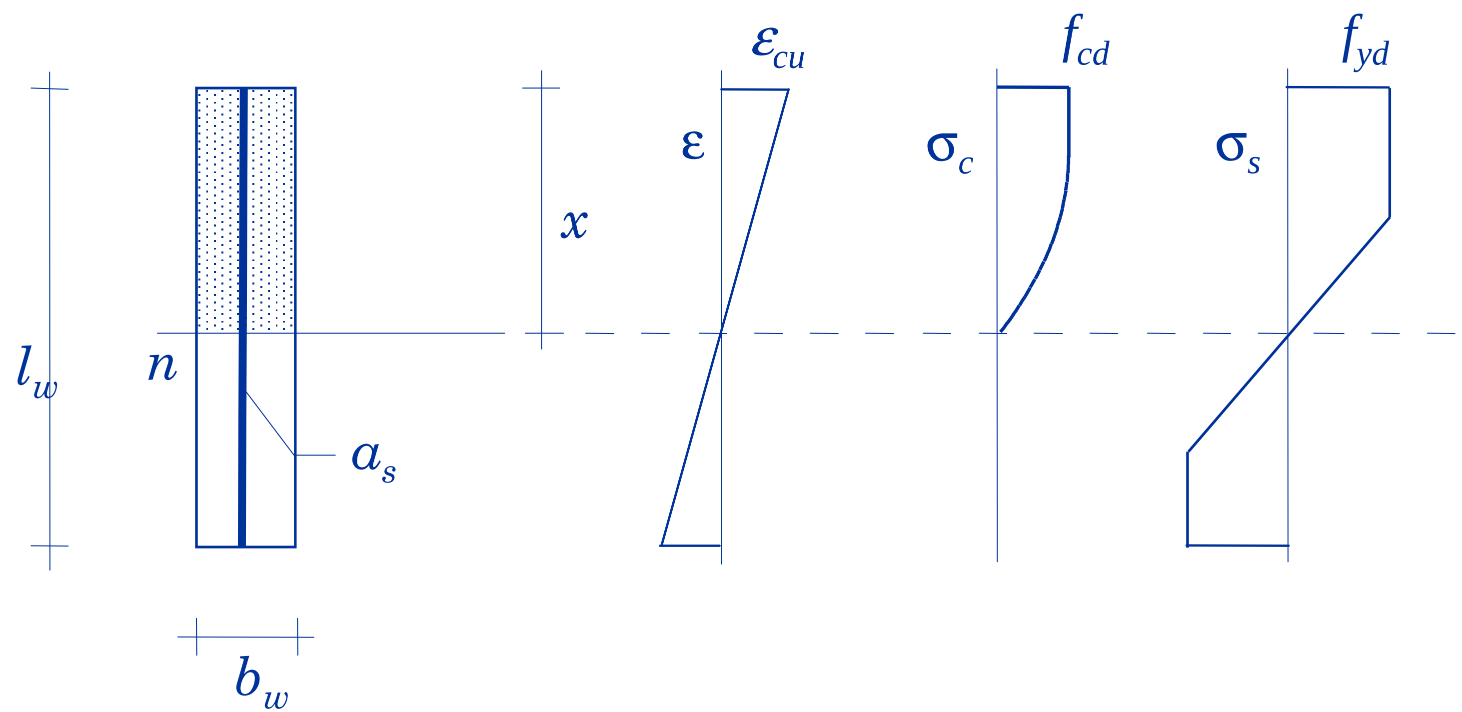
Cosa cambia per una parete?



Si può pensare ad un'armatura distribuita con continuità lungo la sezione

$$a_s = \frac{\sum A_{si}}{l_w}$$

Verifica a flessione composta



Dati:

Geometria della sezione

Armature

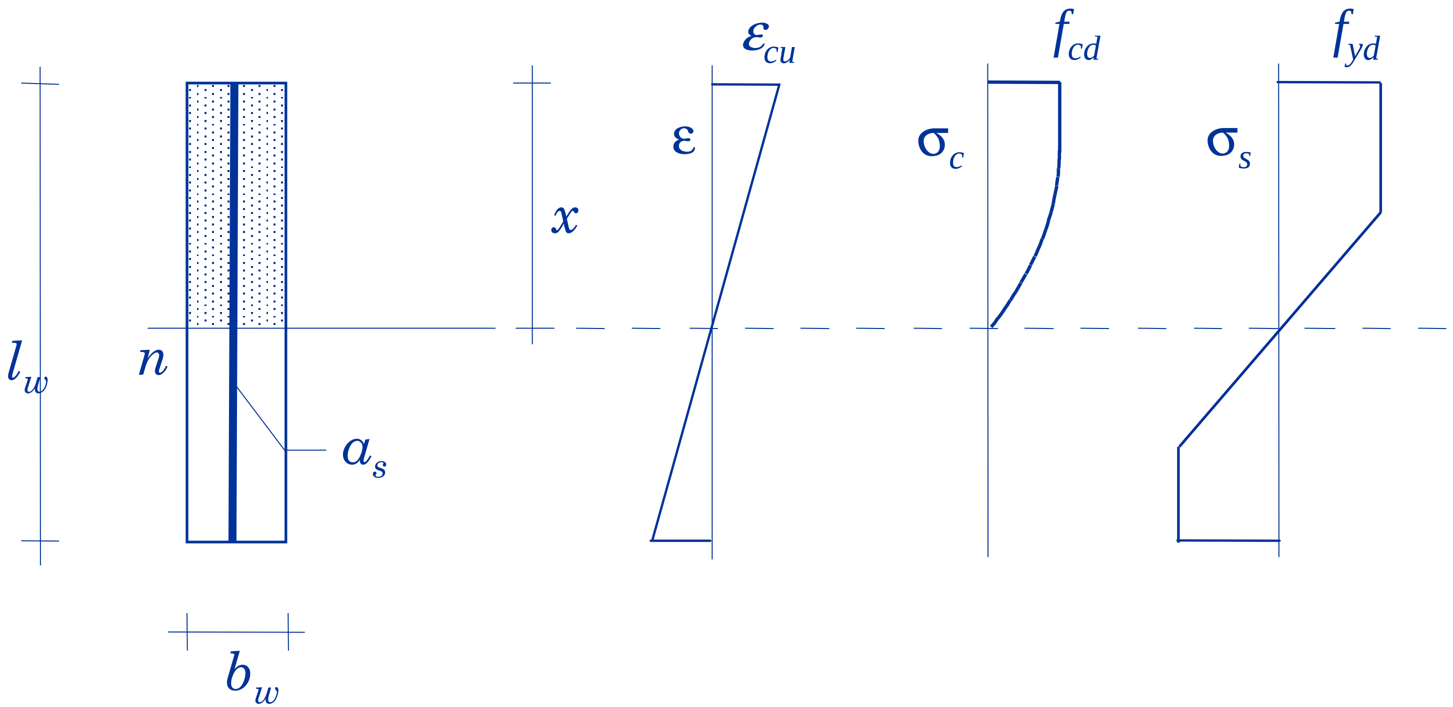
Coppia M_{Ed}-N_{Ed}

Incognite:

Posizione dell'asse neutro

Momento resistente M_{Rd} corrispondente a N_{Ed}

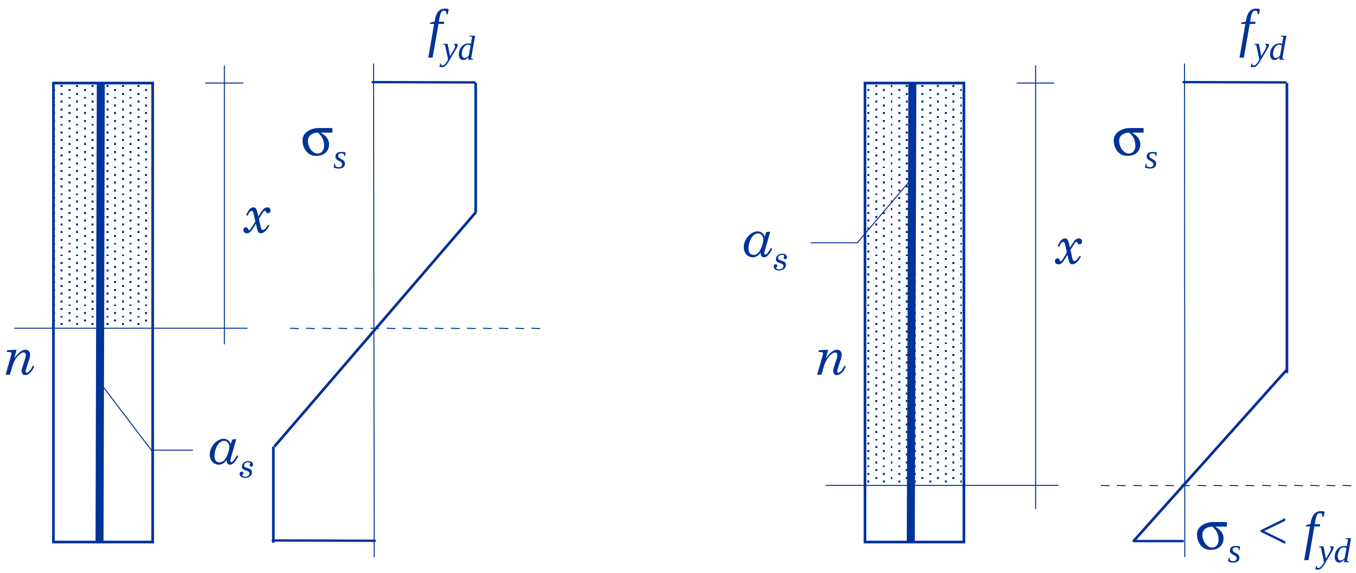
Verifica a flessione composta



Per trovare l'asse neutro: Imporre equilibrio alla traslazione

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

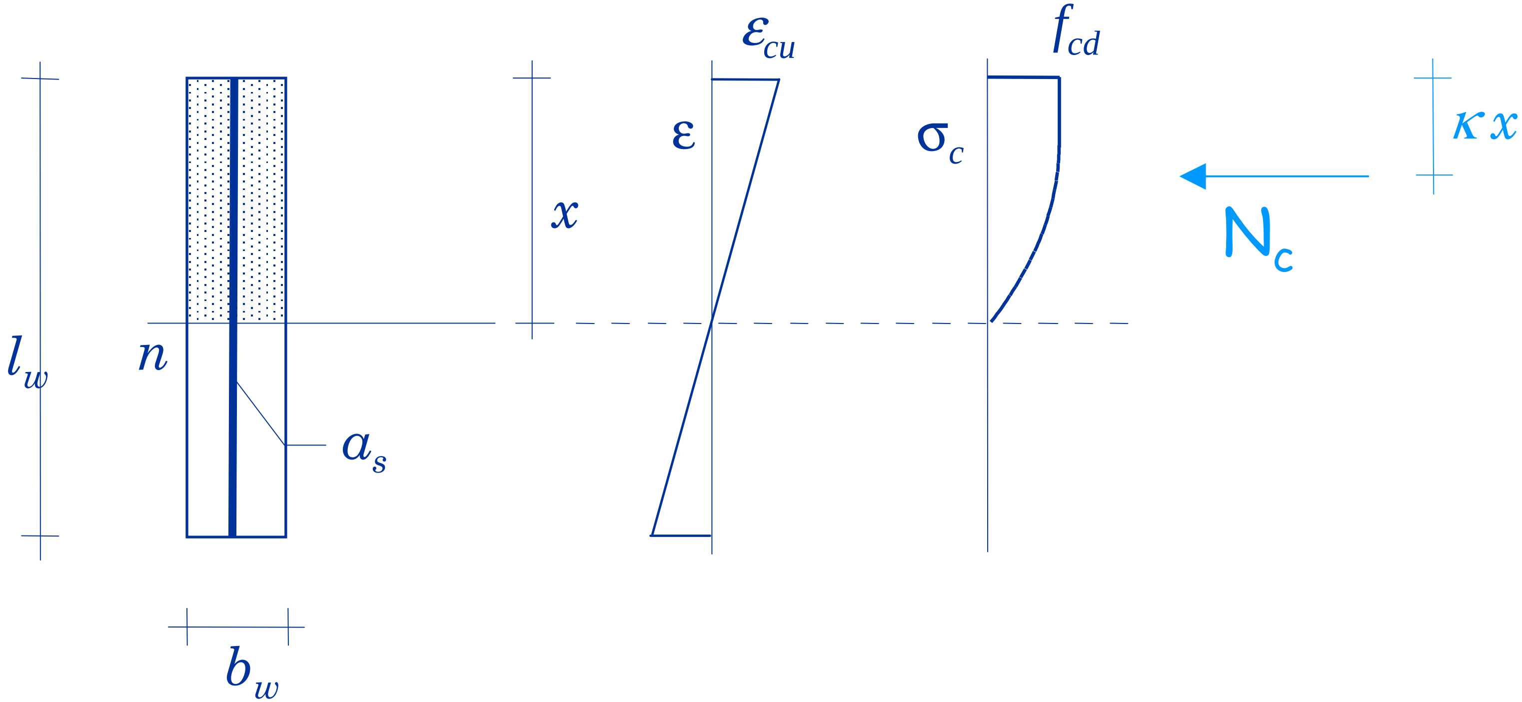
Verifica a flessione composta



Possono verificarsi due casi:

- L'armatura è snervata sia in zona tesa che in zona compressa
- L'armatura tesa è tutta in campo elastico

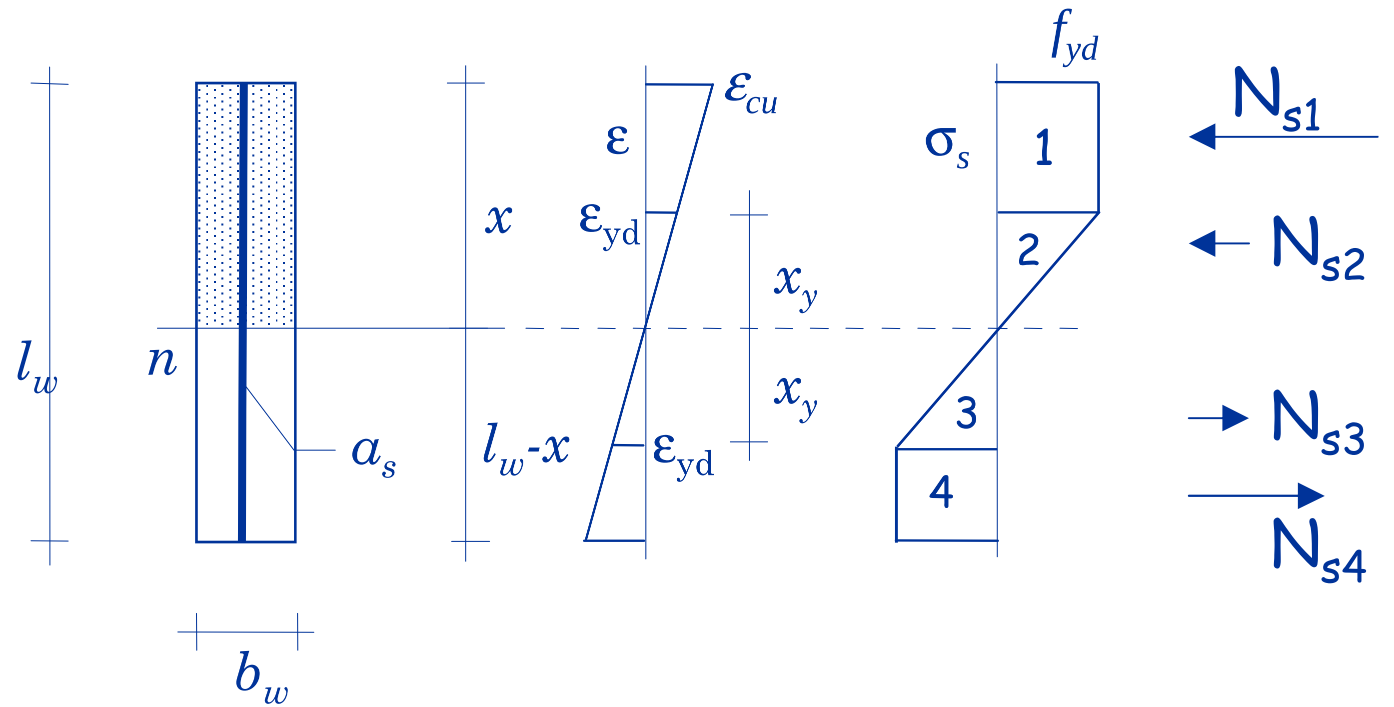
Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



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

per sezione rettangolare, $\beta = 0.810$

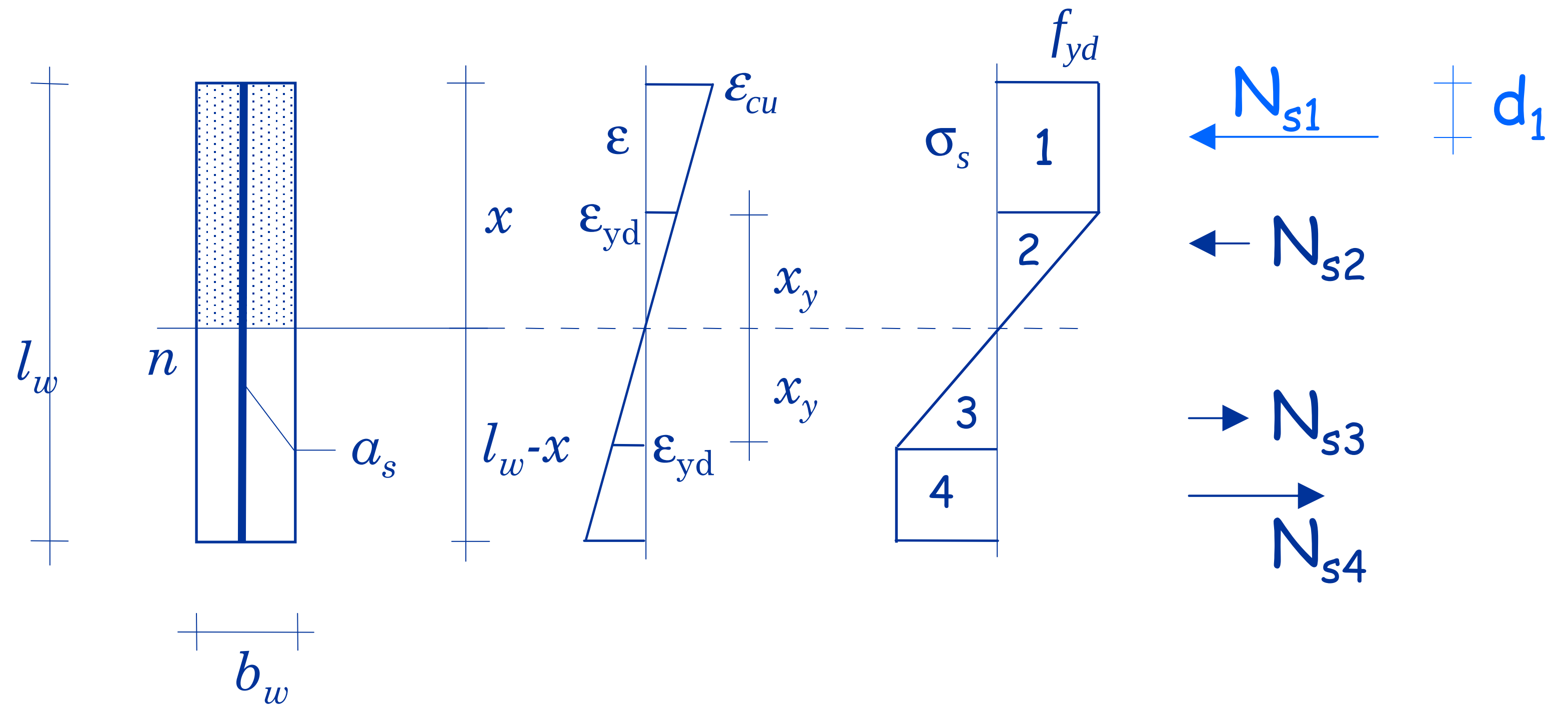
Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



x_y si può esprimere in funzione di x

$$x_y = \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} x$$

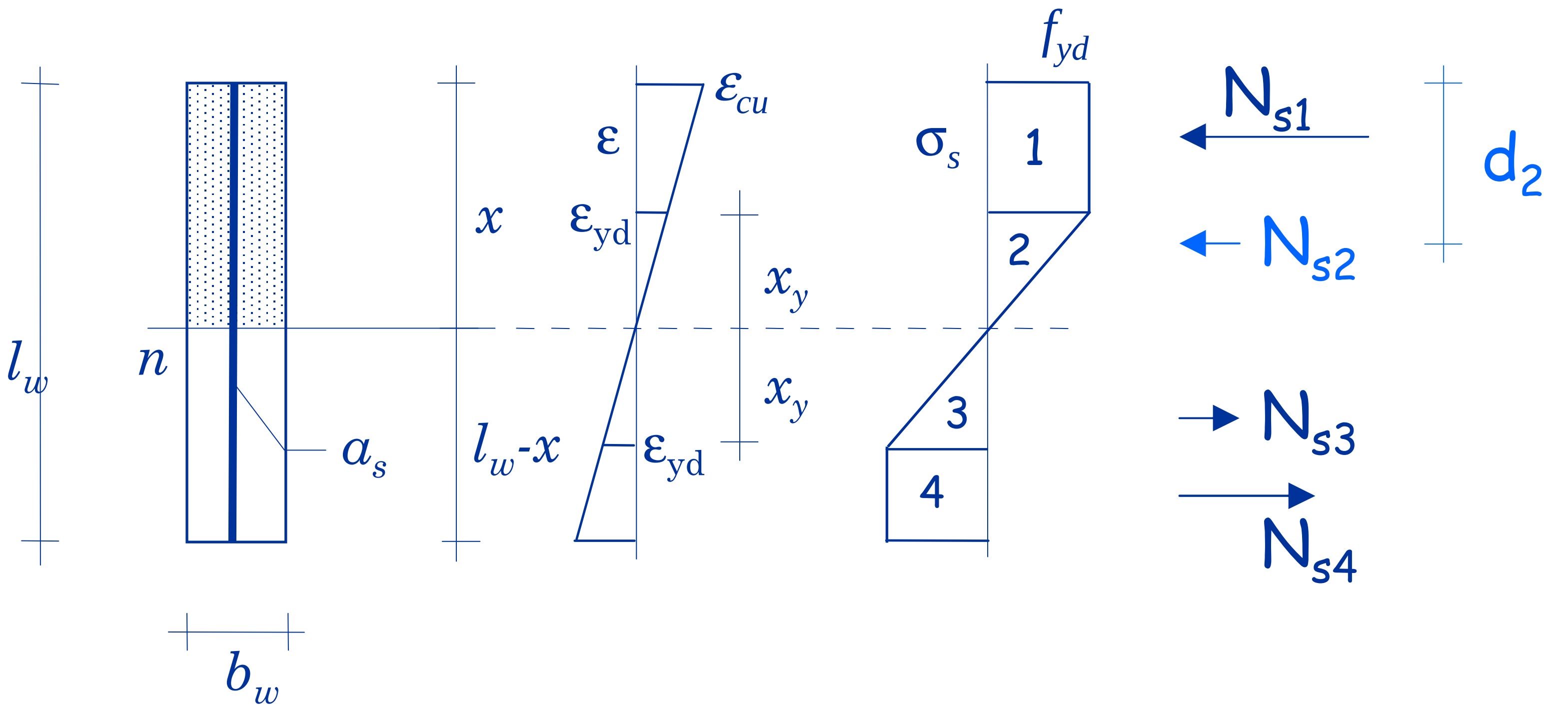
Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



$$N_1 = -a_s \left(x - x_y\right) f_{yd}$$

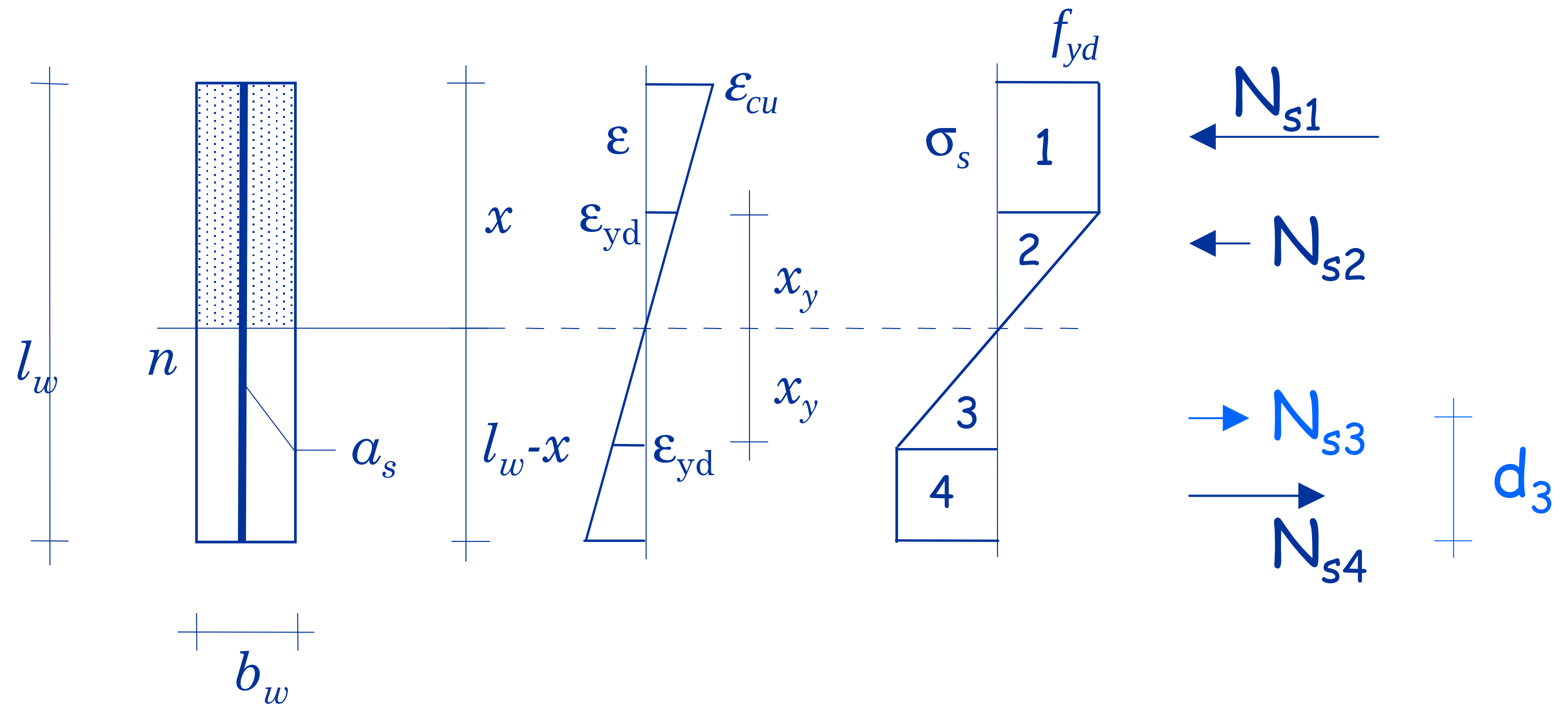
$$d_1 = \frac{x - x_y}{2}$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



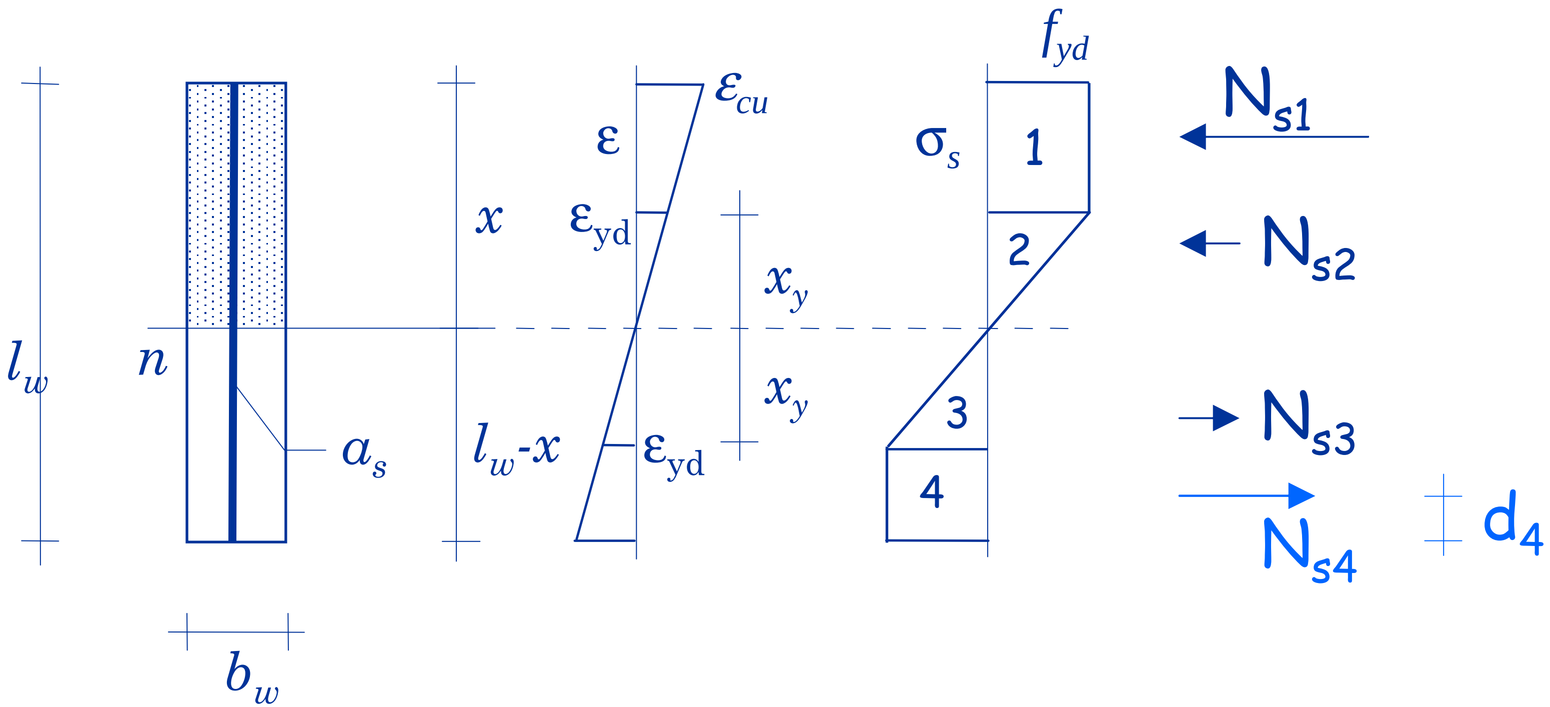
$$N_2 = -\frac{1}{2} a_s \, x_y \, f_{yd} \qquad\qquad d_2 = x - \frac{2}{3} x_y$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



$$N_3 = \frac{1}{2} a_s\, x_y\, f_{yd} \qquad\qquad d_3 = l_w - x - \frac{2}{3} x_y$$

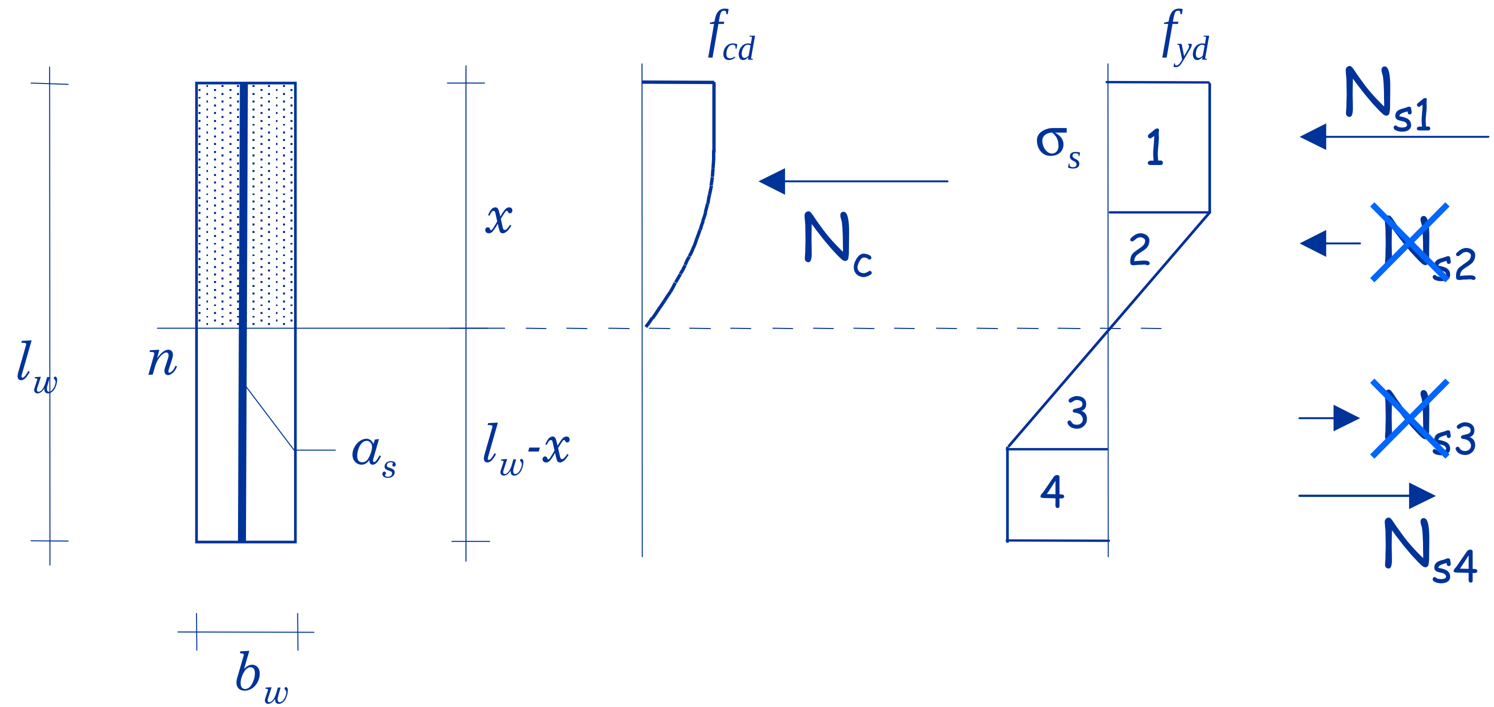
Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



$$N_4 = a_s \left(l_w - x - x_y\right) f_{yd}$$

$$d_4 = \frac{l_w - x - x_y}{2}$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)



La posizione dell'asse neutro si ricava risolvendo l'equazione:

$$N_c + N_{s1} + N_{s4} = N_{Ed}$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata in zona tesa e compressa)

La posizione dell'asse neutro si ricava risolvendo l'equazione:

$$N_c + N_{s1} + N_{s4} = N_{Ed}$$

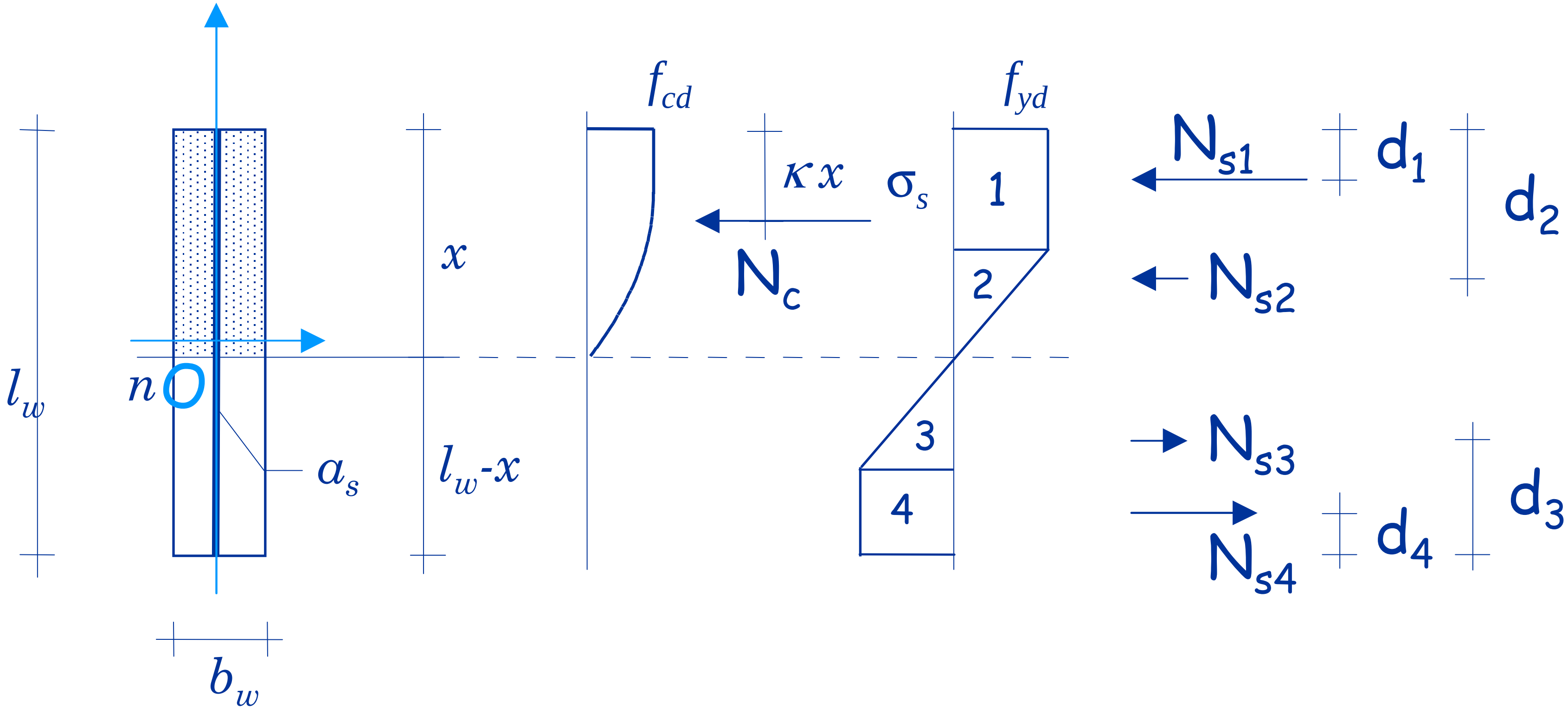
N_{Ed} positivo se trazione

che fornisce:

$$x = \frac{a_s\, l_w\, f_{yd} - N_{Ed}}{2\, a_s\, f_{yd} + \beta\, b_w\, f_{cd}}$$

Verifica a flessione composta

(armatura snervata in zona tesa e compressa)



$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) + N_{s4}(l_w/2 - d_4) - N_{s1}(l_w/2 - d_1)$$
$$- N_{s2}(l_w/2 - d_2) - N_c\,(l_w/2 - k\,x)$$

per sezione rettangolare, $\kappa = 0.416$

Esempio 1
(armatura snervata in zona tesa e compressa)

Parete 20x400

30 ϕ 12

$A_{s,tot}$= 33.9 cm^2

a_s = 8.5 cm^2/m

Calcestruzzo C25/30

Acciaio B450C

N_{Ed}= -2000 kN

M_{Ed}= 4500 kNm

Procedura:

1 – individuazione dell'asse neutro
(si ipotizza che l'armatura è snervata sia in zona tesa che in zona compressa, si controlla se è vero e in caso contrario si passa all'equazione di secondo grado)

2 - determinazione del momento resistente

3 - confronto tra M_{Ed} e M_{Rd}

Esempio 1
(determinazione dell'asse neutro)

Se l'armatura compressa è snervata:

$$x = \frac{a_s\ l_w\ f_{yd} - N_{Ed}}{2\ a_s\ f_{yd} + \beta\, b_w\ f_{cd}} = \frac{8.5 \times 400 \times 391.3 \times 10^{-3} + 2000}{2 \times 8.5 \times 391.3 \times 10^{-3} + 0.81 \times 20 \times 14.1 \times 10^{-1}}$$

Esempio 1
(determinazione dell'asse neutro)

Se l'armatura compressa è snervata:

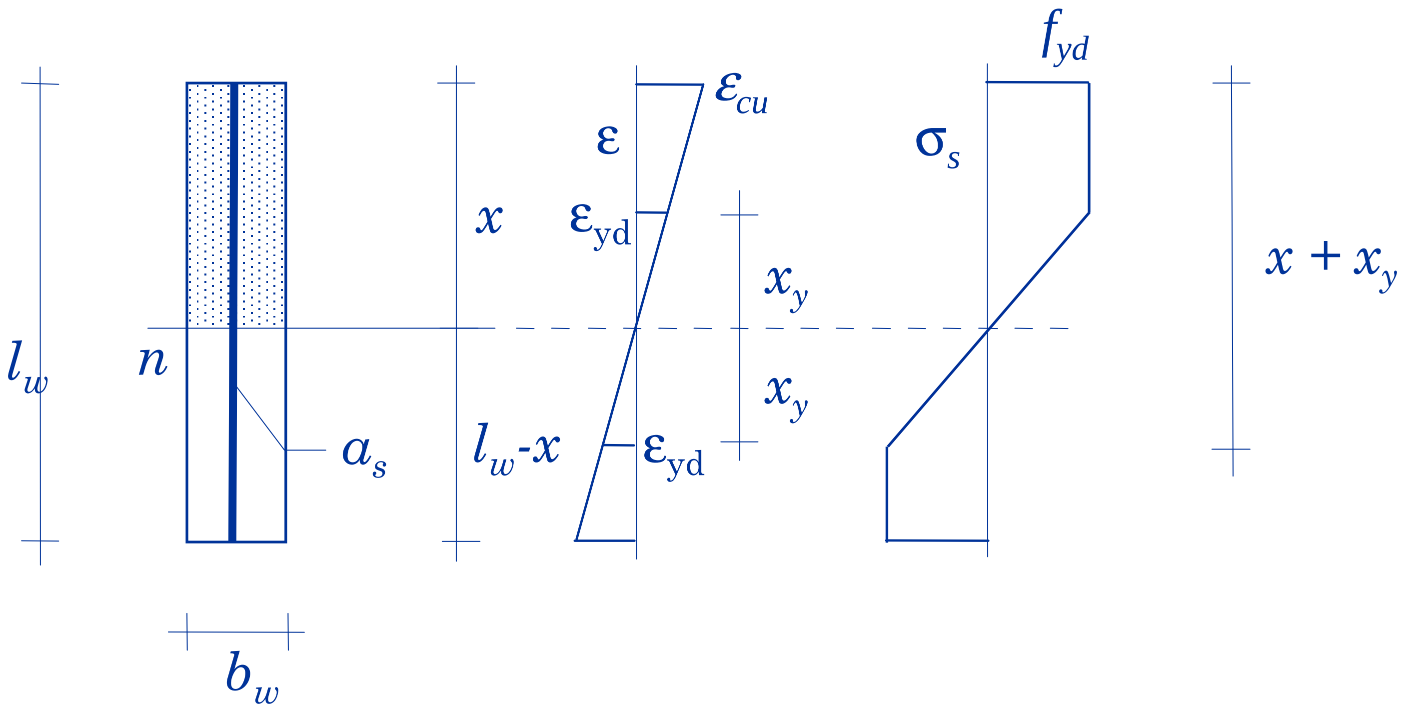
$$x = \frac{a_s \; l_w \; f_{yd} - N_{Ed}}{2 \; a_s \; f_{yd} + \beta \, b_w \; f_{cd}} = 112.5 \text{ cm}$$

Con questa posizione dell'asse neutro:

$$\varepsilon_s = \frac{l_w - x}{x} \varepsilon_{cu} = \frac{400 - 112.5}{112.5} \times 3.5 \times 10^{-3} = 8.95 \times 10^{-3}$$

Poiché $\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$ (1.86×10^{-3}) la posizione trovata è esatta

Esempio 1
(determinazione dell'asse neutro)



Nota: l'armatura in zona tesa è snervata se $x+x_y < l_w$

$$x_y = \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} x = \frac{1.86}{3.5} \times 112.5 = 59.8 \text{ cm}$$

Esempio 1
(determinazione dell'asse neutro)

Nota: l'armatura in zona tesa è snervata se $x+x_y < l_w$

$$x_y = \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} x = \frac{1.86}{3.5} \times 112.5 = 59.9 \text{ cm}$$

… si calcola:

$$x + x_y = 112.5 + 59.8 = 172.3 \text{ cm}$$

Poiché $x + x_y < l_w$ (400 cm) la posizione trovata è esatta

Esempio n. 1
(calcolo del momento resistente)

$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) + N_{s4}(l_w/2 - d_4) - N_{s1}(l_w/2 - d_1)$$
$$- N_{s2}(l_w/2 - d_2) - N_c\,(l_w/2 - k\,x)$$

$$N_c = -\beta\, b_w\, x\, f_{yd} = -0.81 \times 20 \times 112.5 \times 14.1/10 = -2581.1\ \text{kN}$$

$$N_1 = -a_s\,(x - x_y)\, f_{yd} = -8.5 \times 52.6 \times 391.3/10 = -174.6\ \text{kN}$$

$$N_2 = \frac{1}{2} a_s\, x_y\, f_{yd} = -0.5 \times 8.5 \times 59.9 \times 391.3/10 = -99.4\ \text{kN}$$

$$N_3 = -N_2 = 99.4\ \text{kN}$$

$$N_4 = a_s\,(l_w - x - x_y)\, f_{yd} = 8.5 \times 227.7 \times 391.3/10 = 755.6\ \text{kN}$$

Esempio n. 1

(calcolo del momento resistente)

$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) + N_{s4}(l_w/2 - d_4) - N_{s1}(l_w/2 - d_1)$$
$$- N_{s2}(l_w/2 - d_2) - N_c\,(l_w/2 - k\,x) = 4988.3\ \text{kNm}$$

la sezione è verificata

$$d_1 = \frac{x - x_y}{2} = \frac{112.5 - 59.9}{2} = 26.3\ \text{cm}$$

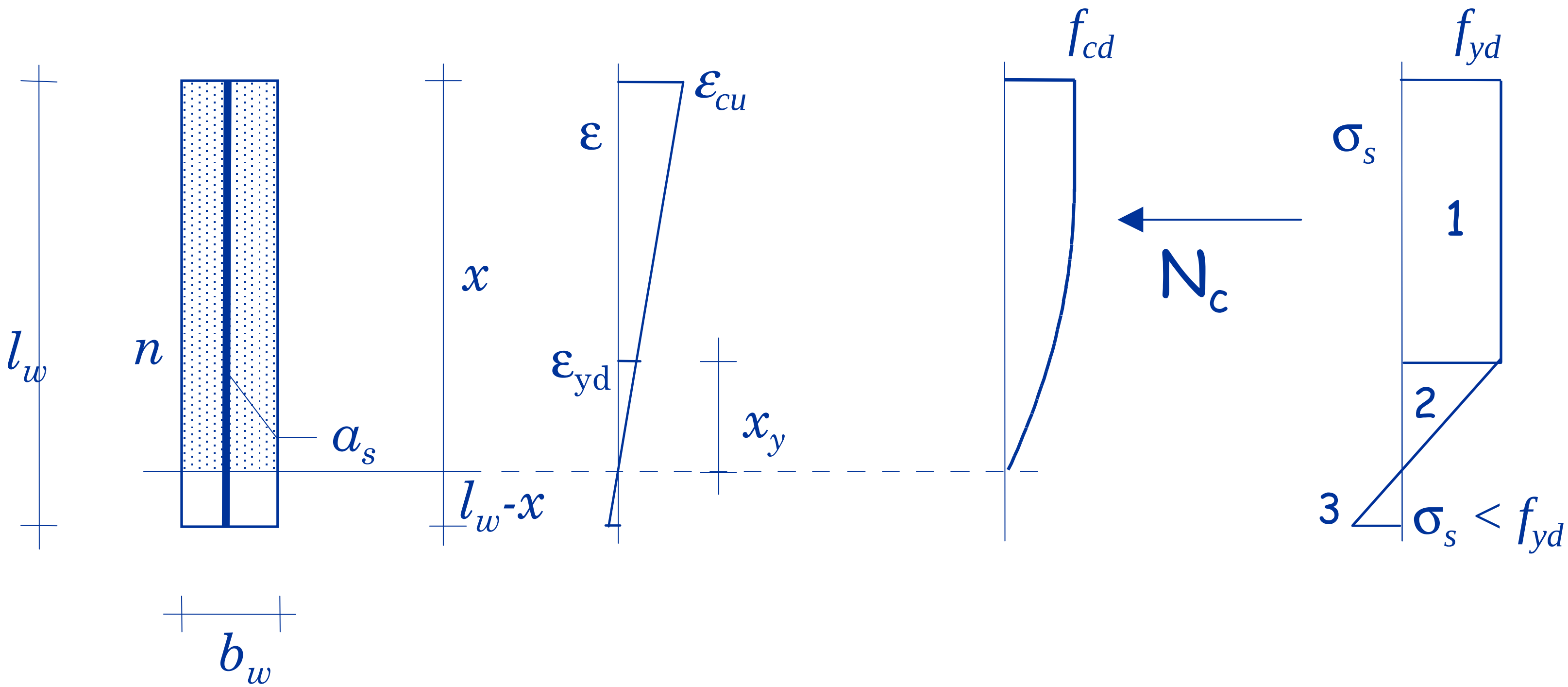
$$d_2 = x - \frac{2}{3}x_y = 112.5 - \frac{2}{3}59.9 = 72.5\ \text{cm}$$

$$d_3 = l_w - x - \frac{2}{3}x_y = 400 - 112.5 - \frac{2}{3}59.9 = 247.6\ \text{cm}$$

$$d_4 = \frac{l_w - x - x_y}{2} = \frac{400 - 112.5 - 59.9}{2} = 113.8\ \text{cm}$$

Verifica a flessione composta

(armatura snervata solo in zona compressa)



x_y ed N_c si calcolano come nel caso precedente

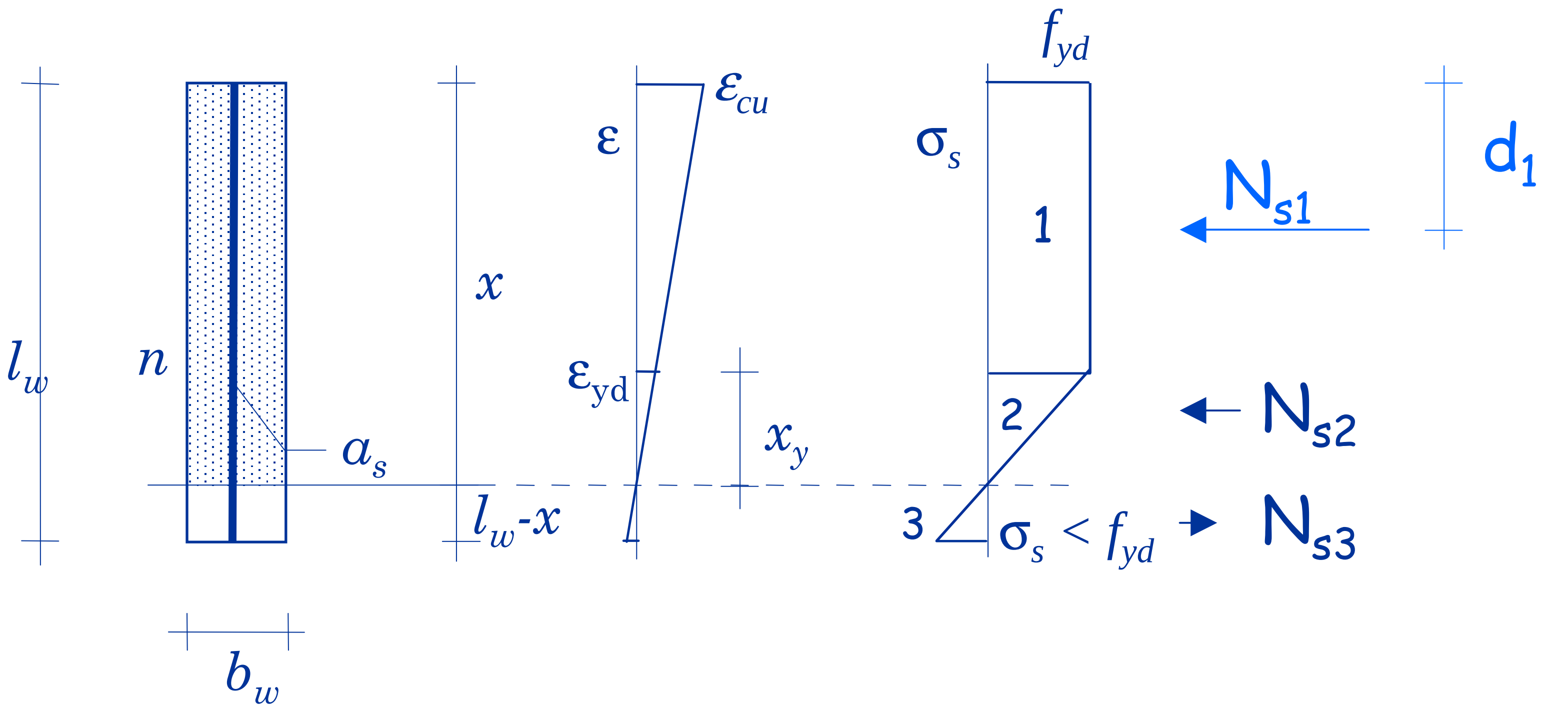
$$x_y = \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\, x$$

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

per sezione rettangolare, β = 0.810

Verifica a flessione composta

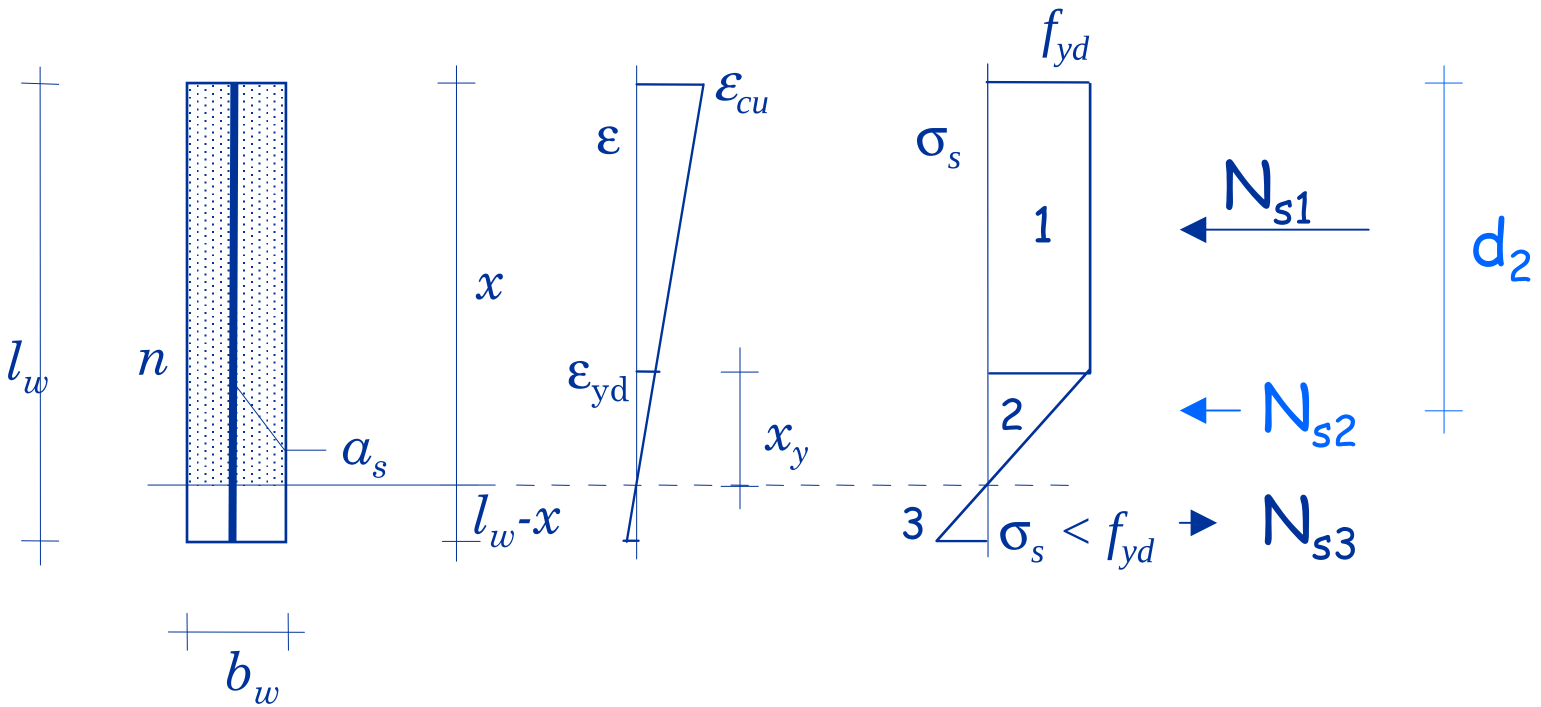
(armatura snervata solo in zona compressa)



N_1 e d_1 si calcolano come nel caso precedente

$$N_1 = -a_s\left(x - x_y\right) f_{yd} \qquad d_1 = \frac{x - x_y}{2}$$

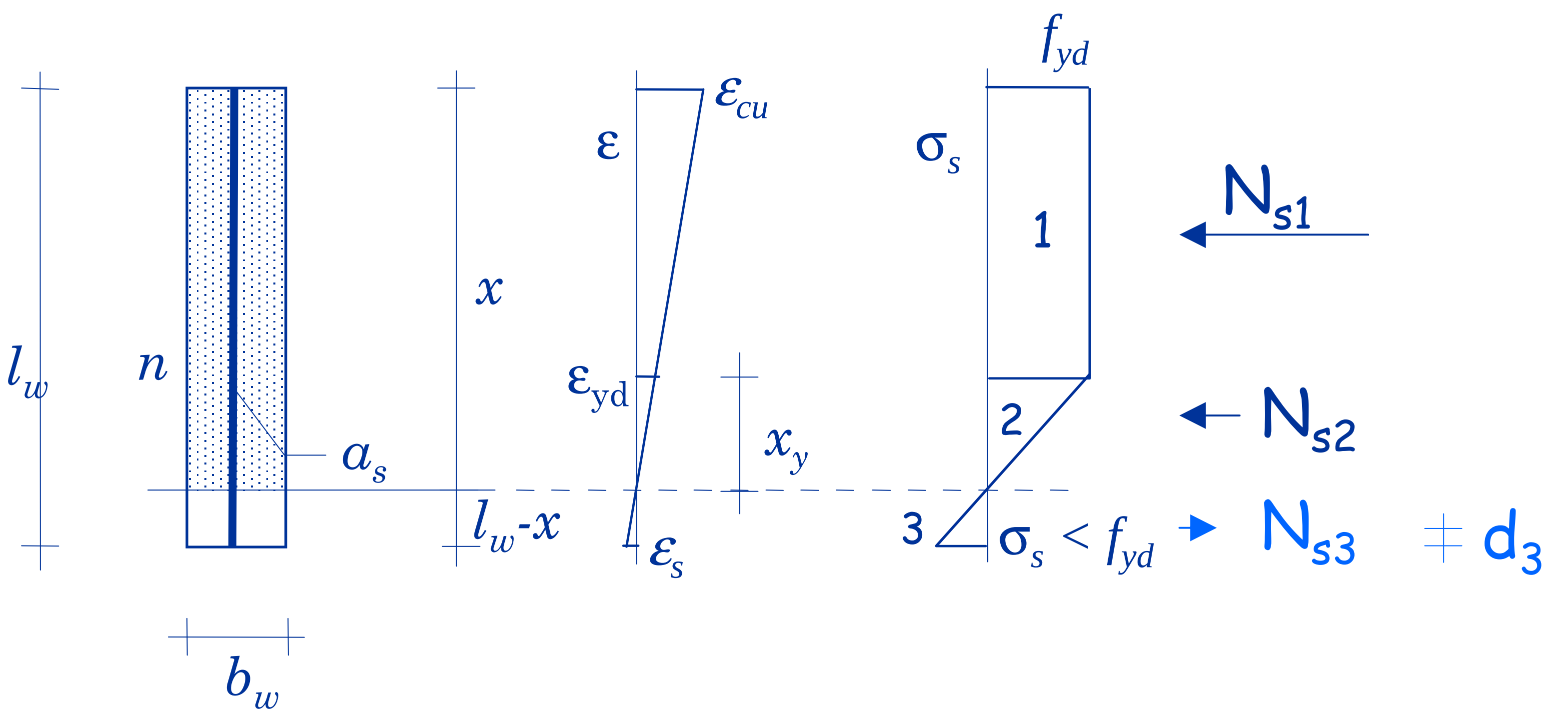
Verifica a flessione composta
(armatura snervata solo in zona compressa)



N_2 e d_2 si calcolano come nel caso precedente

$$N_2 = -\frac{1}{2} a_s \, x_y \, f_{yd} \qquad\qquad d_2 = x - \frac{2}{3} x_y$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata solo in zona compressa)

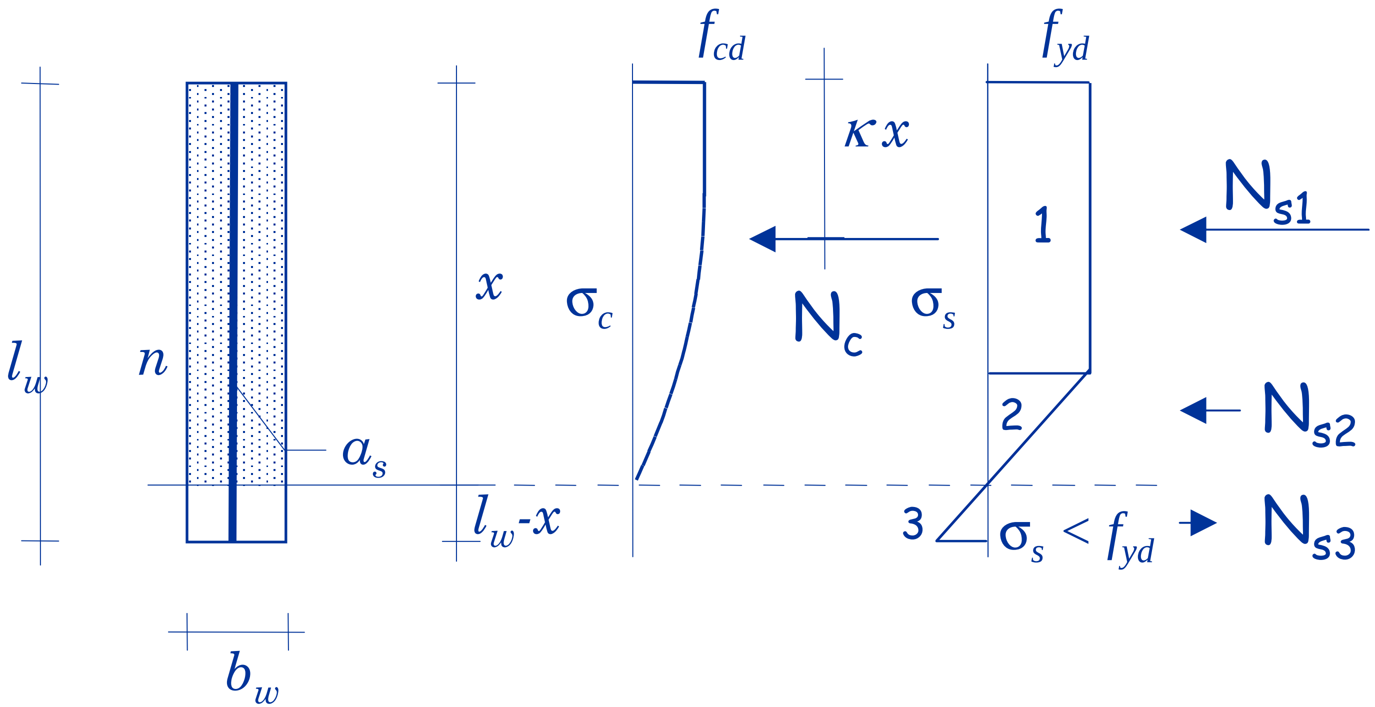


$$N_3 = \frac{1}{2} a_s \, (l_w - x) \, \sigma_s$$

$$d_3 = \frac{l_w - x}{3}$$

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} = \underbrace{\frac{l_w - x}{x_y}}_{\varepsilon_s} f_{yd}$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata solo in zona compressa)



La posizione dell'asse neutro si ricava risolvendo l'equazione:

$$N_c + N_{s1} + N_{s2} + N_{s3} = N_{Ed}$$

Verifica a flessione composta

(armatura snervata solo in zona compressa)

... che con qualche passaggio diventa:

$$\left\{a_s\left[\frac{1}{2}-\left(1-\frac{\varepsilon_{yd}}{2\,\varepsilon_{cu}}\right)\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\right]f_{yd}-\beta\,b_w\,\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\,f_{cd}\right\}x^2-\left(a_s\,l_w\,f_{yd}+\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\,N_{Ed}\right)x+\frac{1}{2}a_s\,l_w^2\,f_{yd}=0$$

Verifica a flessione composta
(armatura snervata solo in zona compressa)

... oppure:

$$A\,x^2 + B\,x + C = 0$$

con:

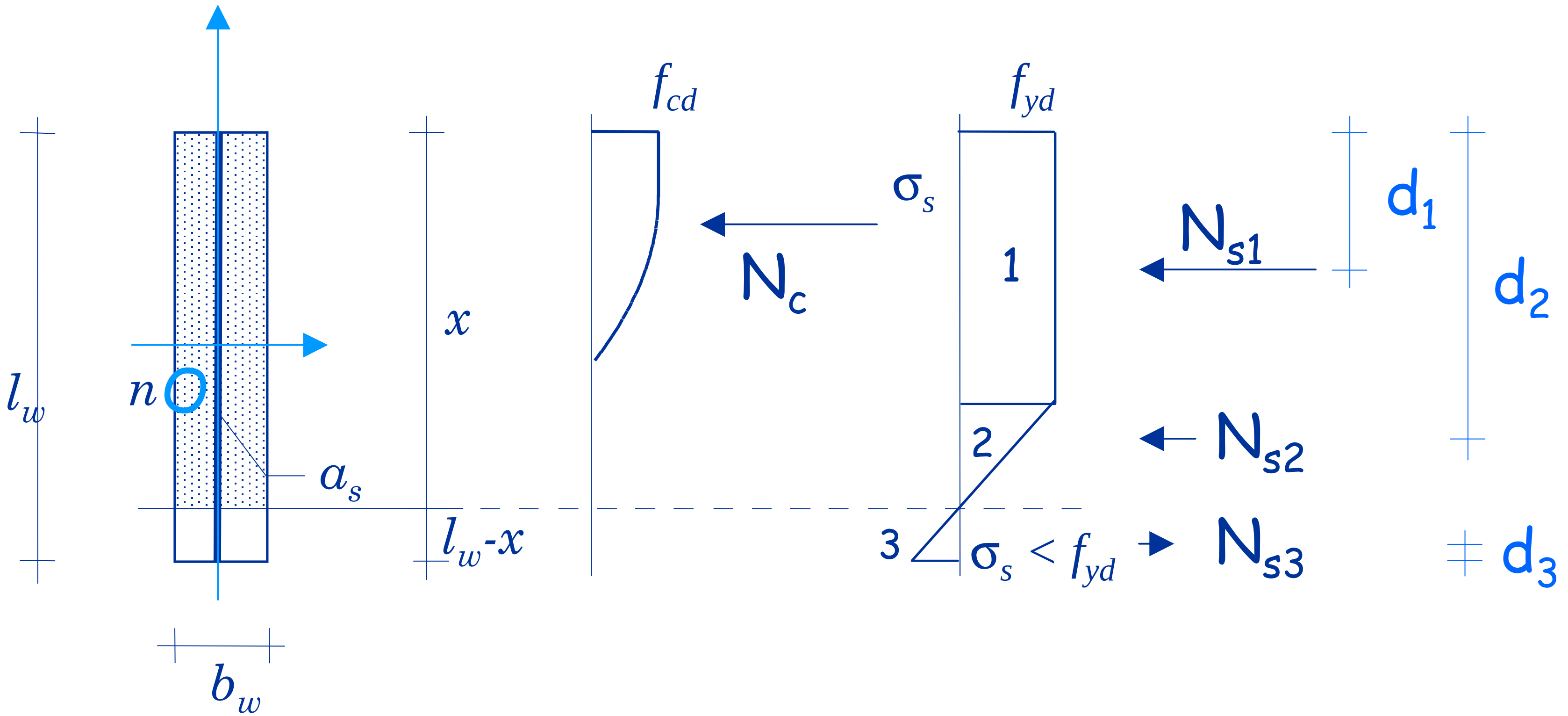
$$A = a_s \left[\frac{1}{2} - \left(1 - \frac{\varepsilon_{yd}}{2\,\varepsilon_{cu}}\right)\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\right] f_{yd} - \beta\, b_w \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}}\, f_{cd}$$

$$B = -\left(a_s\, l_w\, f_{yd} + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} N_{Ed}\right)$$

$$C = \frac{1}{2} a_s\, l_w^2\, f_{yd}$$

Verifica a flessione composta

(armatura snervata solo in zona compressa)



$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) - N_{s1}(l_w/2 - d_1)$$
$$- N_{s2}(l_w/2 - d_2) - N_c\,(l_w/2 - k\,x)$$

per sezione rettangolare, κ = 0,416

Esempio 2
(armatura tesa in campo elastico?)

Parete 20x400

30 ϕ 12

$A_{s,tot}$ = 33.9 cm^2

a_s = 8.5 cm^2/m

Calcestruzzo C25/30

Acciaio B450C

N_{Ed} = -8000 kN

M_{Ed} = 4500 kNm

Suppongo l'armatura snervata in zona tesa e compressa)

$$x = \frac{a_s\ l_w\ f_{yd} - N_{Ed}}{2\ a_s\ f_{yd} + \beta\ b_w\ f_{cd}} = \frac{8.5 \times 400 \times 391.3 \times 10^{-3} + 8000}{2 \times 8.5 \times 391.3 \times 10^{-3} + 0.81 \times 20 \times 14.1 \times 10^{-1}}$$

315.2 cm

Esempio 2
(determinazione dell'asse neutro)

Se l'armatura compressa è snervata:

$$x = \frac{a_s\ l_w\ f_{yd} - N_{Ed}}{2\ a_s\ f_{yd} + \beta\ b_w\ f_{cd}} = 315.2\ \text{cm}$$

Con questa posizione dell'asse neutro:

$$\varepsilon_s = \frac{l_w - x}{x}\varepsilon_{cu} = \frac{400 - 315.2}{315.2} \times 3.5 \times 10^{-3} = 0.94 \times 10^{-3}$$

$$x + x_y = x + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} x = 315.2 + \frac{1.86}{3.5} \times 315.2 = 482.7\ \text{cm}$$

L'armatura tesa non è snervata

Esempio 2
(determinazione dell'asse neutro)

Risolvendo l'equazione di secondo grado si ottiene

$$x = 317.8 \text{ cm}$$

Con questa posizione dell'asse neutro:

$$\varepsilon_s = \frac{l_w - x}{x}\varepsilon_{cu} = \frac{400 - 317.8}{317.8} \times 3.5 \times 10^{-3} = 0.91 \times 10^{-3}$$

$$x + x_y = x + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{cu}} x = 317.8 + \frac{1.86}{3.5} \times 317.8 = 486.7 \text{ cm}$$

... dunque adesso la posizione dell'asse neutro è corretta

Esempio n. 2
(calcolo del momento resistente)

$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) - N_{s1}(l_w/2 - d_1) - N_{s2}(l_w/2 - d_2)$$
$$-N_c\left(l_w/2 - k\,x\right)$$

$$N_c = -\beta\, b_w\, x\, f_{yd} = -0.81 \times 20 \times 317.8 \times 14.1/10 = -7292.4 \text{ kN}$$

$$N_1 = -a_s\left(x - x_y\right) f_{yd} = -8.5 \times 148.6 \times 391.3/10 = -493.2 \text{ kN}$$

$$N_2 = \frac{1}{2} a_s\, x_y\, f_{yd} = -0.5 \times 8.5 \times 59.9 \times 391.3/10 = -99.4 \text{ kN}$$

$$N_3 = -\frac{1}{2} a_s\left(l_w - x\right)\sigma_s = -0.5 \times 8.5 \times 82.2 \times 190.2/10 = -280.7 \text{ kN}$$

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} = \frac{0.91}{1.86} \times 391.3 = 190.2 \text{ MPa}$$

Esempio n. 2

(calcolo del momento resistente)

$$M_{Rd} = N_{s3}(l_w/2 - d_3) + N_{s4}(l_w/2 - d_4) - N_{s1}(l_w/2 - d_1)$$
$$-N_{s2}(l_w/2 - d_2) - N_c\left(l_w/2 - k\,x\right) = 5665.9\ \text{kNm}$$

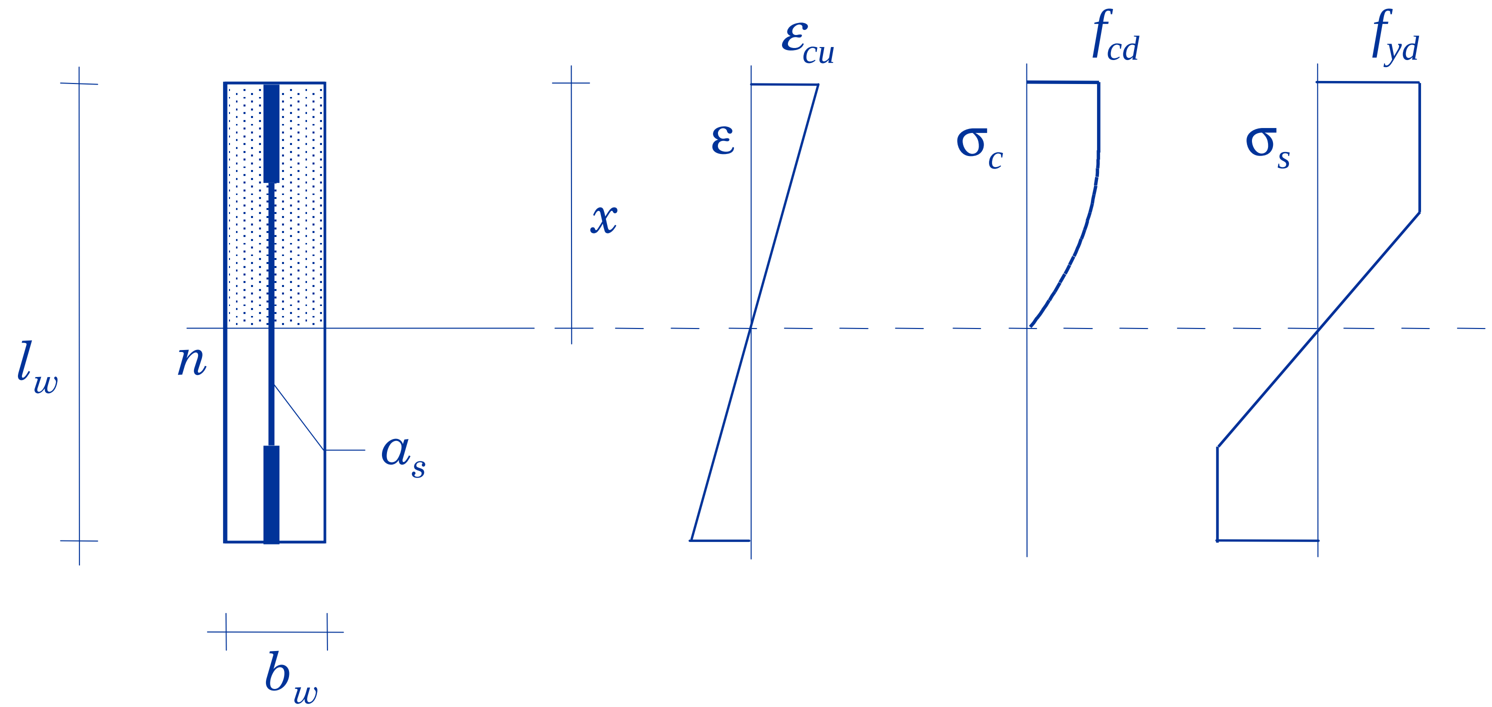
la sezione è verificata

$$d_1 = \frac{x - x_y}{2} = \frac{317.8 - 169.2}{2} = 74.3\ \text{cm}$$

$$d_2 = x - \frac{2}{3}x_y = 317.8 - \frac{2}{3}169.2 = 205.0\ \text{cm}$$

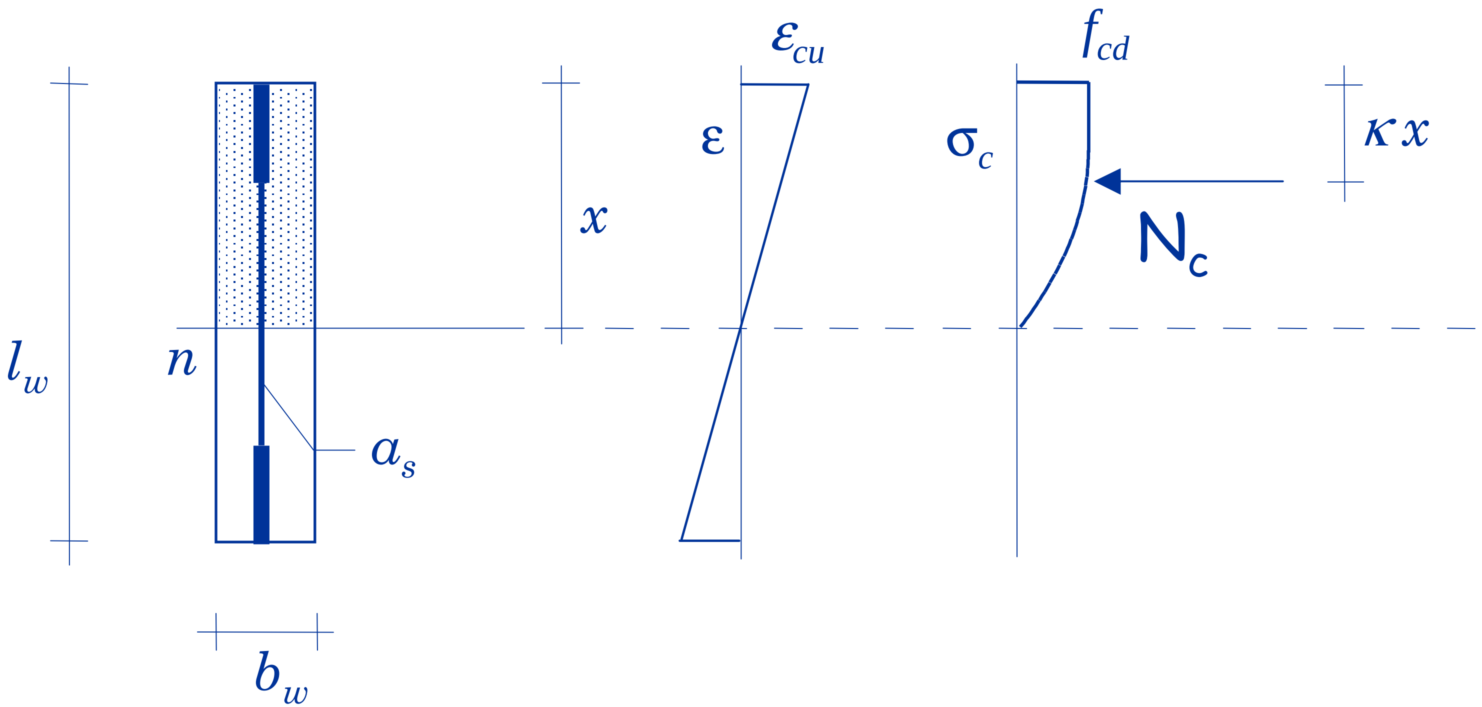
$$d_3 = \frac{l_w - x}{3} = \frac{400 - 317.8}{3} = 27.4\ \text{cm}$$

Parete con armatura non uniforme



Le relazioni analitiche per il calcolo della posizione dell'asse neutro e del momento resistente diventano complesse, ma si può operare per via numerica

Parete con armatura non uniforme



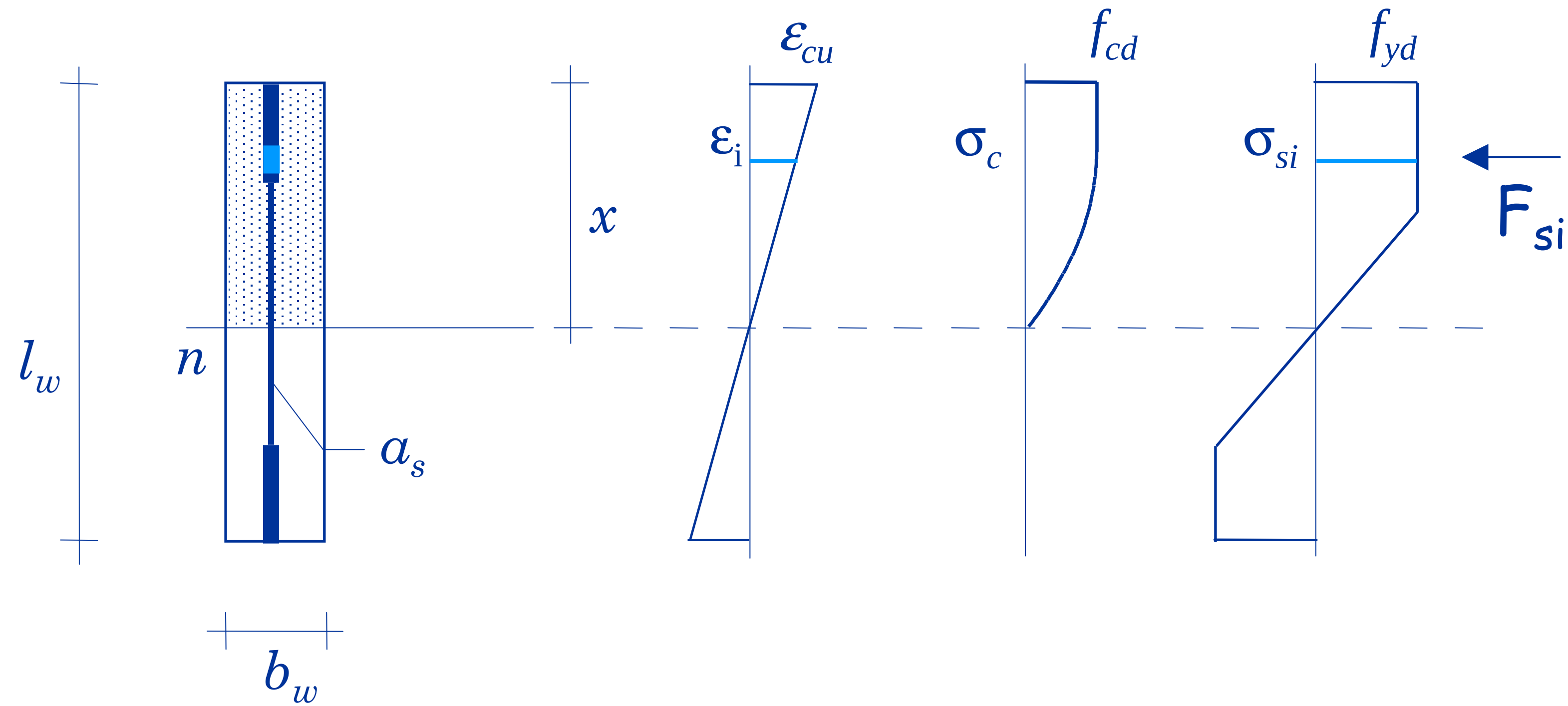
Si ipotizza un valore di x

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

per sezione rettangolare: $\beta = 0.810$

$k = 0.416$

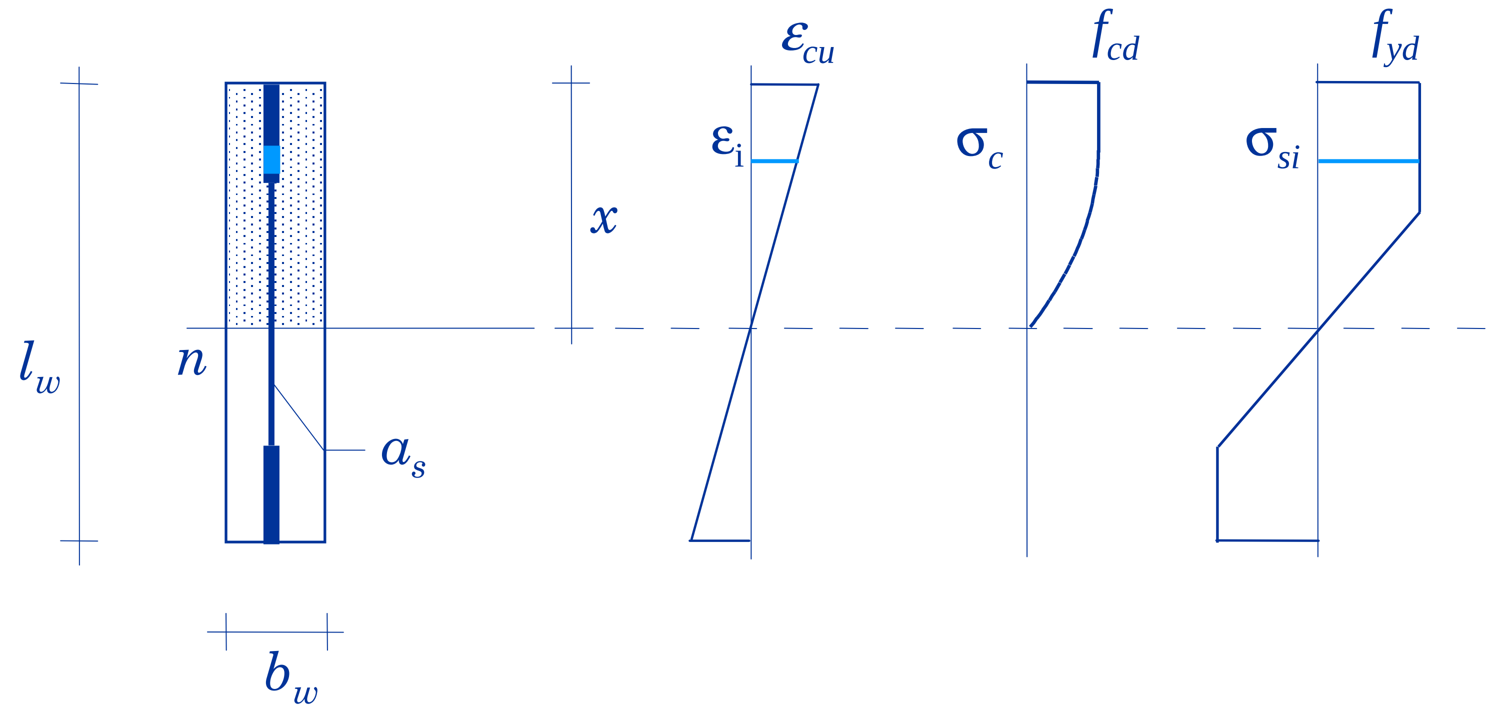
Parete con armatura non uniforme



Si divide l'armatura in fibre di ampiezza Δl_w e si determina la forza agente su ciascuna fibra σ_{si}

$$F_{si} = a_s \, \Delta l_w \, \sigma_{si}$$

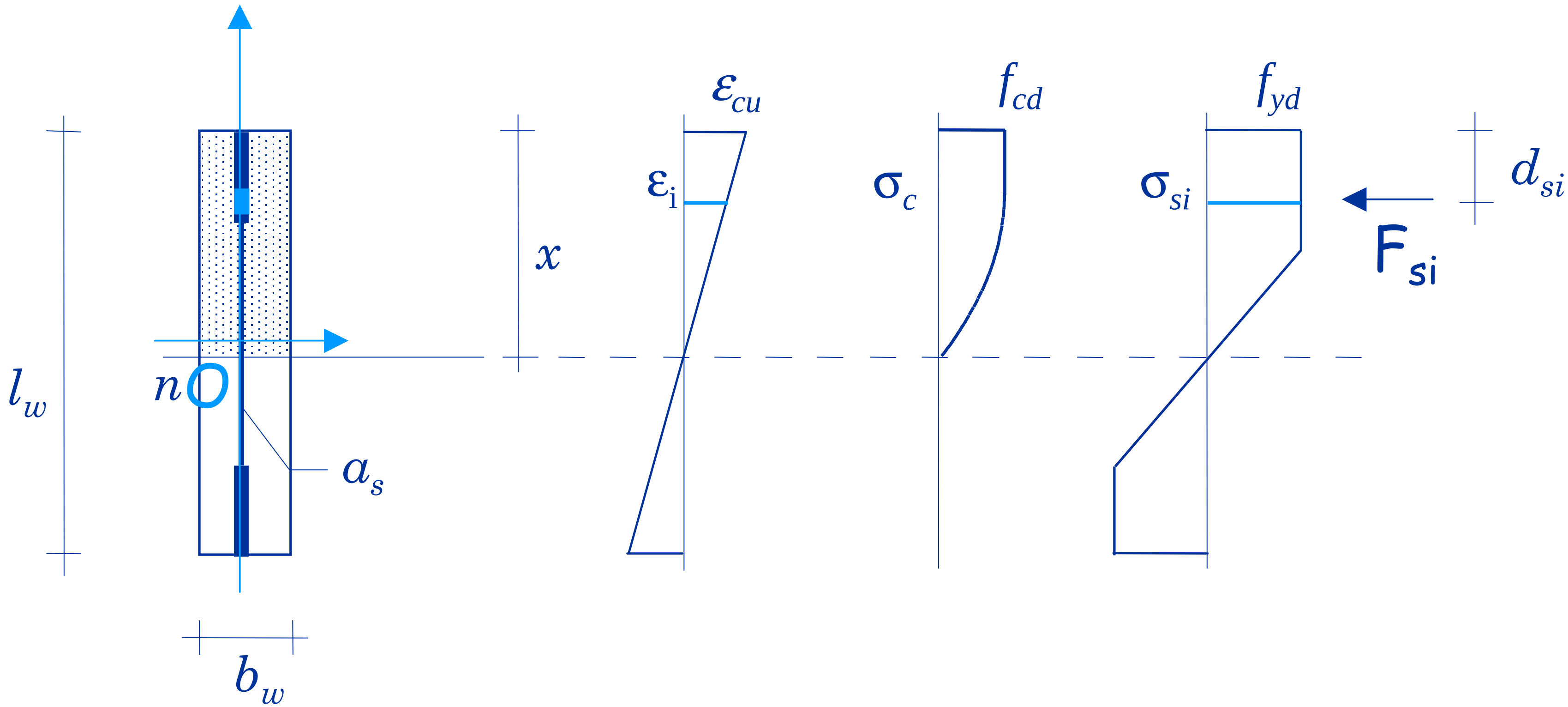
Parete con armatura non uniforme



La posizione dell'asse neutro è corretta se

$$N_c + \sum a_{si}\, \Delta l_w\, \sigma_{si} = N_{Ed}$$

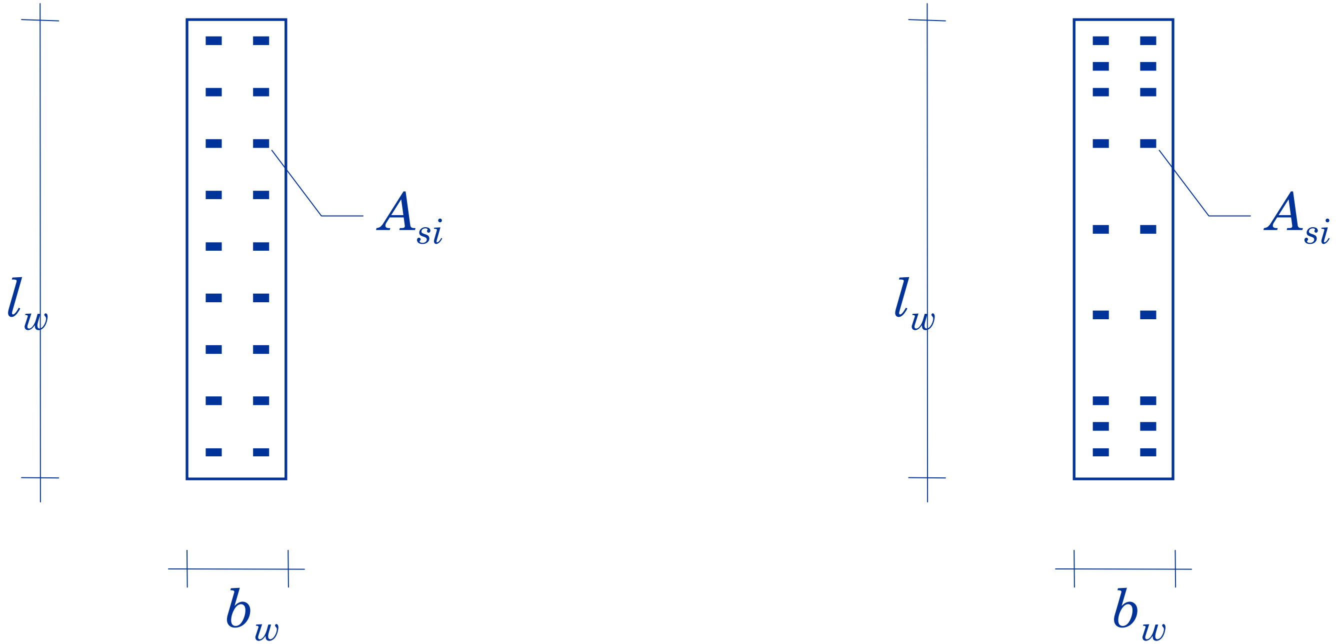
Parete con armatura non uniforme



Il momento resistente vale

$$M_{Rd} = \sum N_{si}(l_w/2 - d_{si}) - N_c\,(l_w/2 - k\,x)$$

Come distribuire l'armatura lungo la parete?



- Distribuita uniformemente
- Concentrata prevalentemente alle estremità

Distribuzione dell'armatura e proprietà della parete

Resistenza

Capacità di portare momento flettente

Duttilità

rapporto tra curvatura ultima e curvatura allo snervamento dell'armatura tesa

N.B. è indispensabile in zona sismica

Quale influenza ha il modo di distribuire l'armatura lungo la parete su queste proprietà?

Studio di Cardenas e Magura, 1973

Studio di Cardenas e Magura

Riproduce (analiticamente) il comportamento della parete sotto l'effetto di un momento flettente crescente fino al collasso per valutare

- Momento resistente
- Duttilità disponibile

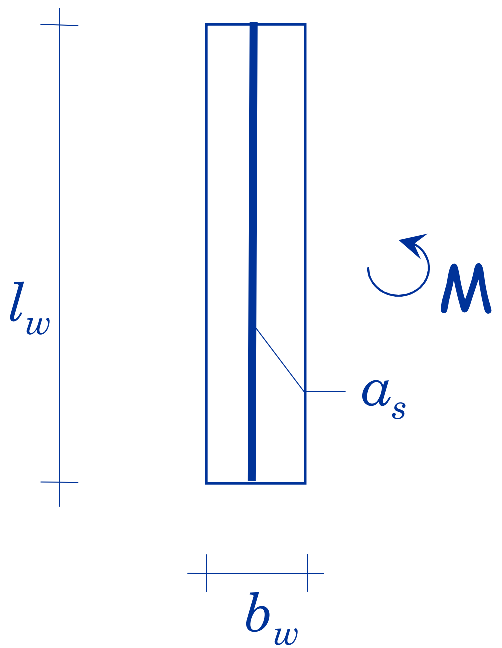
Considera sezioni con diverse quantità d'armatura

Considera due distribuzioni di armature

- Distribuita uniformemente
- Concentrata prevalentemente alle estremità

Studio di Cardenas e Magura

(procedura)



Il momento cresce fino al collasso

Sforzo normale nullo

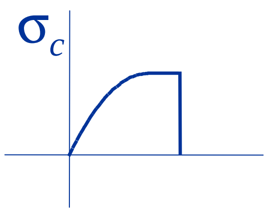
b_w=20 cm, l_w=500 cm

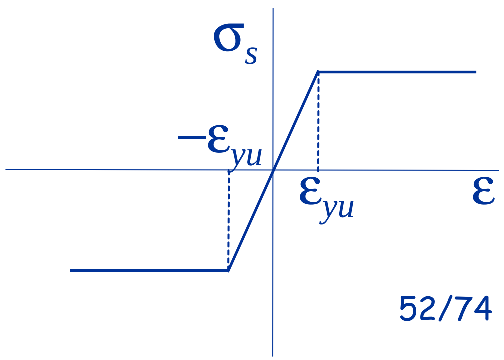
Materiali:

Calcestruzzo C25/30

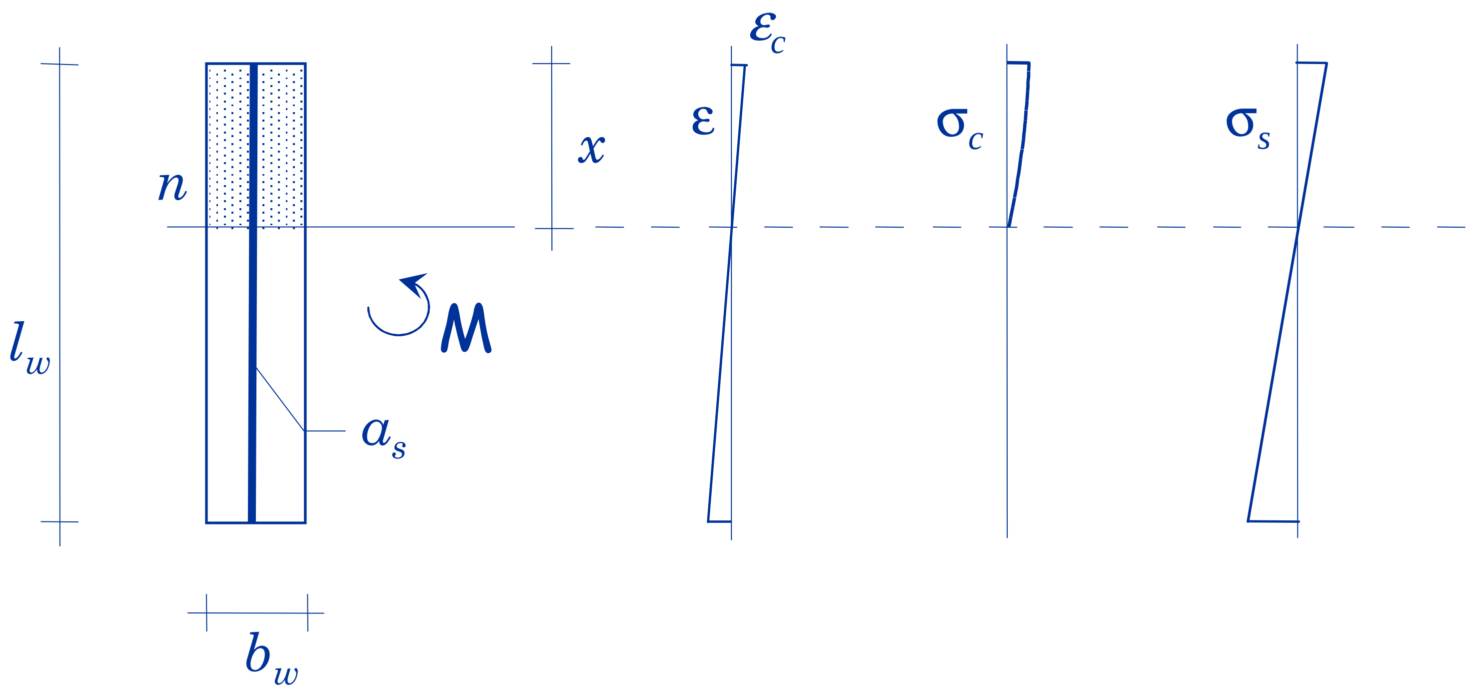
Acciaio

Legami σ-ε



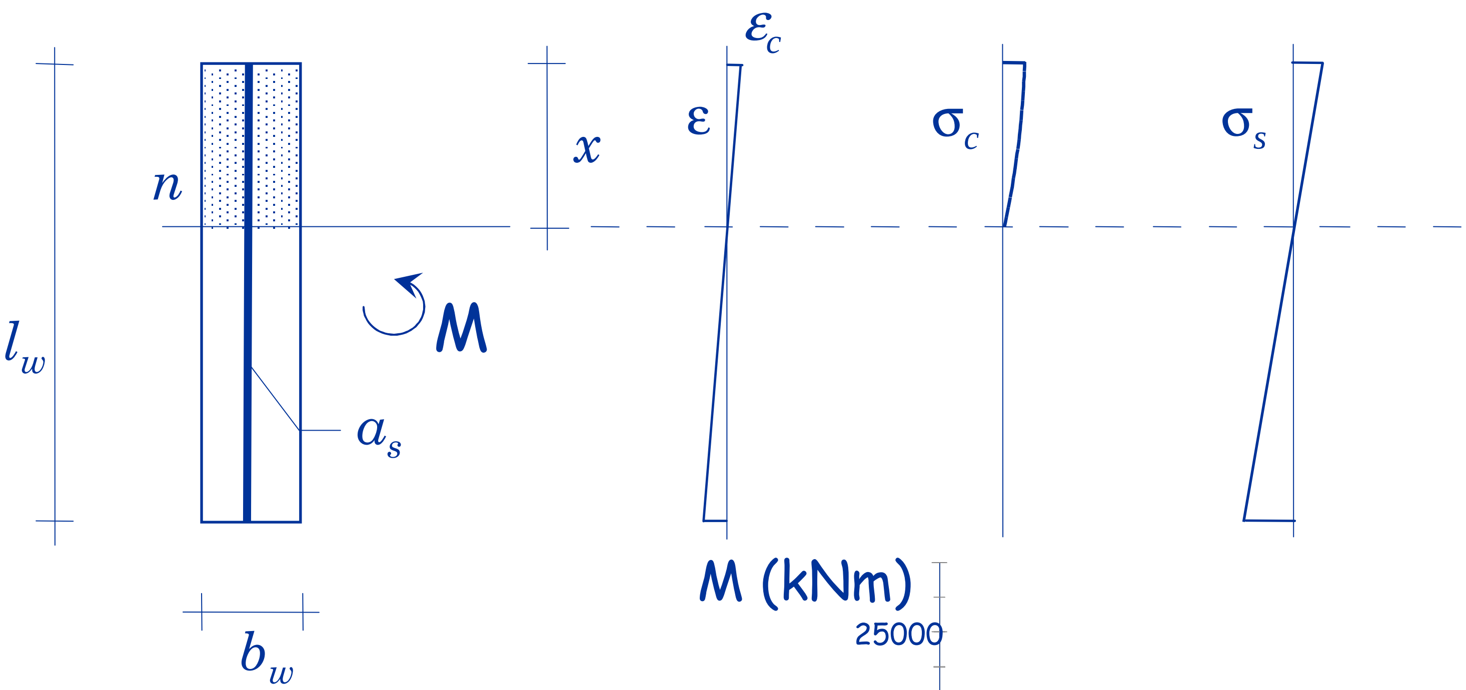


Studio di Cardenas e Magura
(procedura)

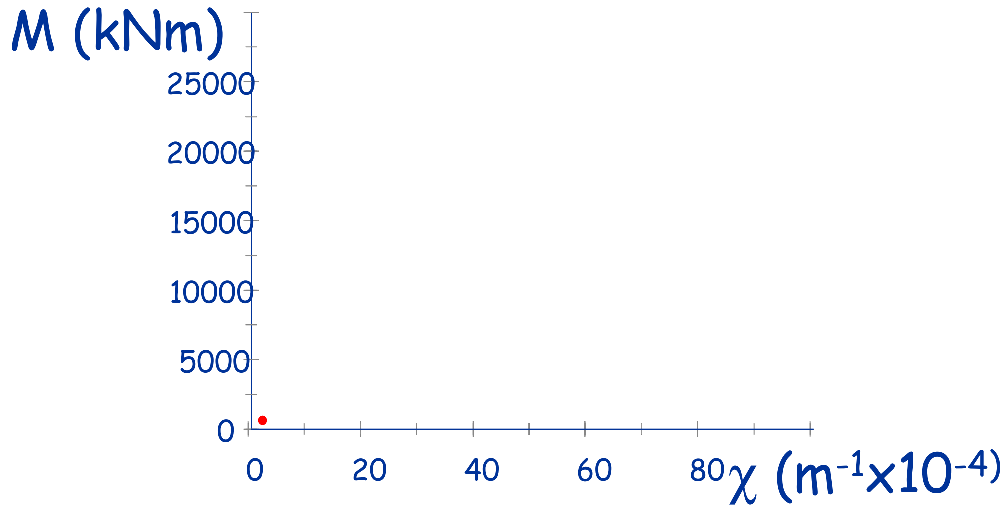


- assegno ε_c;
- determino x con equilibrio alla traslazione;
- calcolo il momento M corrispondente.

Studio di Cardenas e Magura
(procedura)

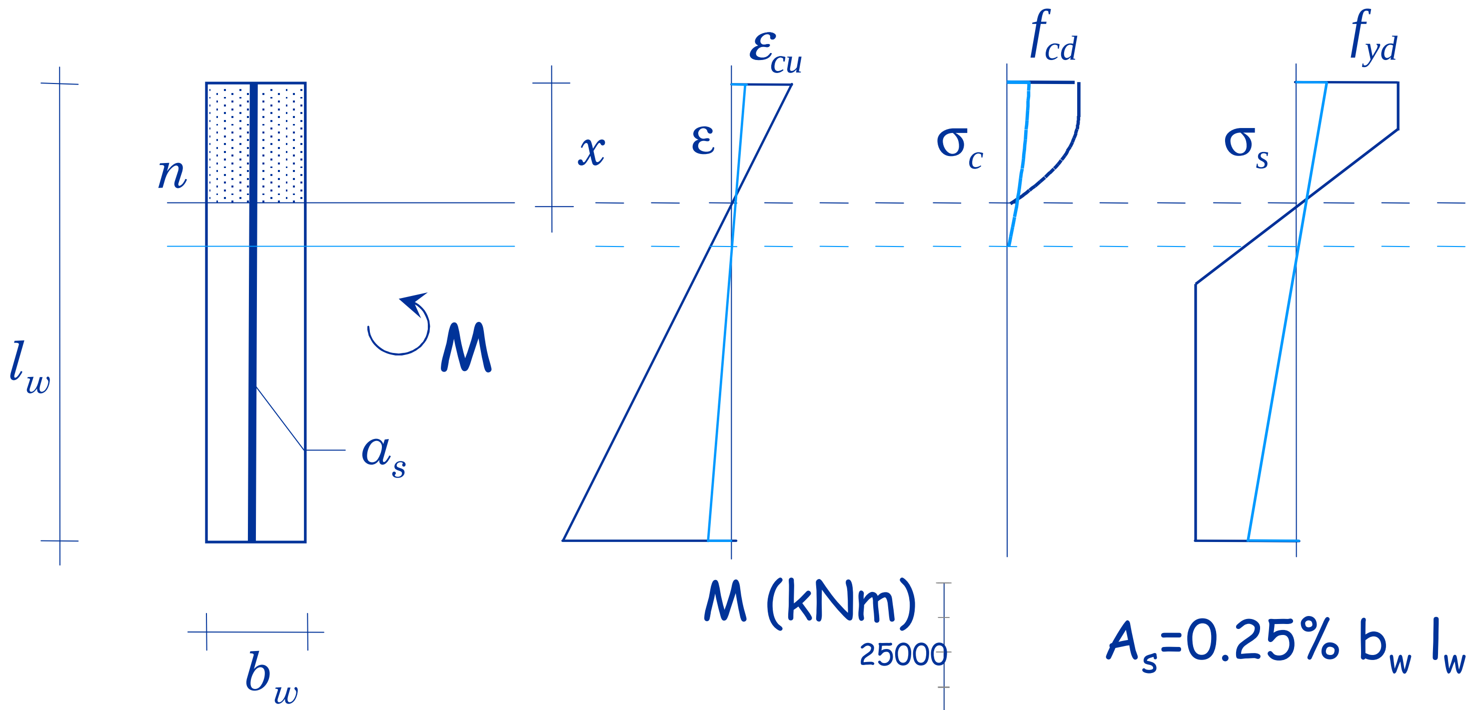


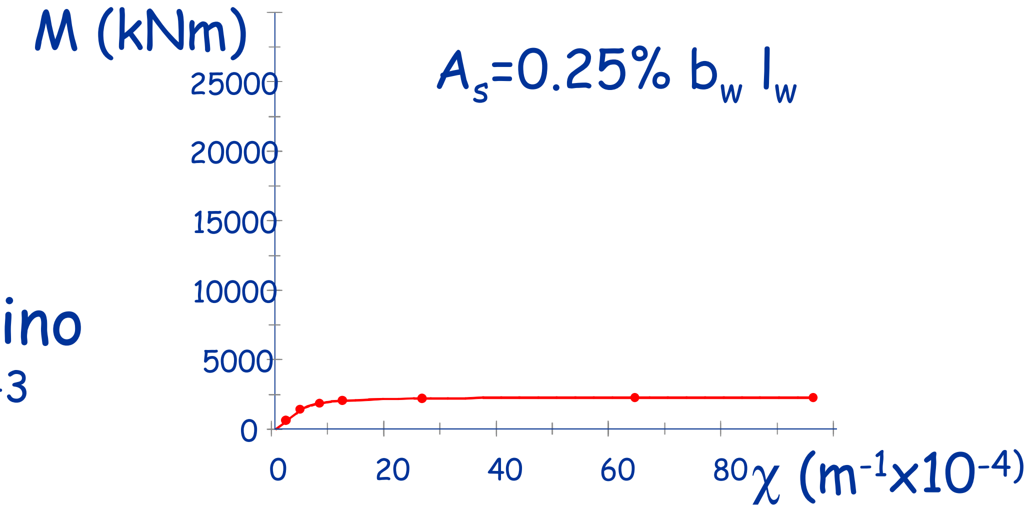
- calcolo $\chi=\varepsilon_c/x$



Studio di Cardenas e Magura

(legame momento-curvatura)

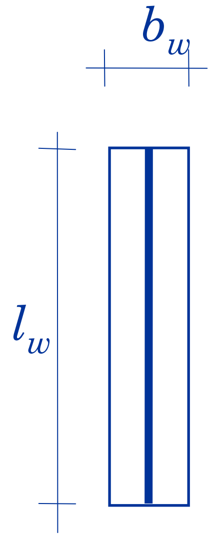




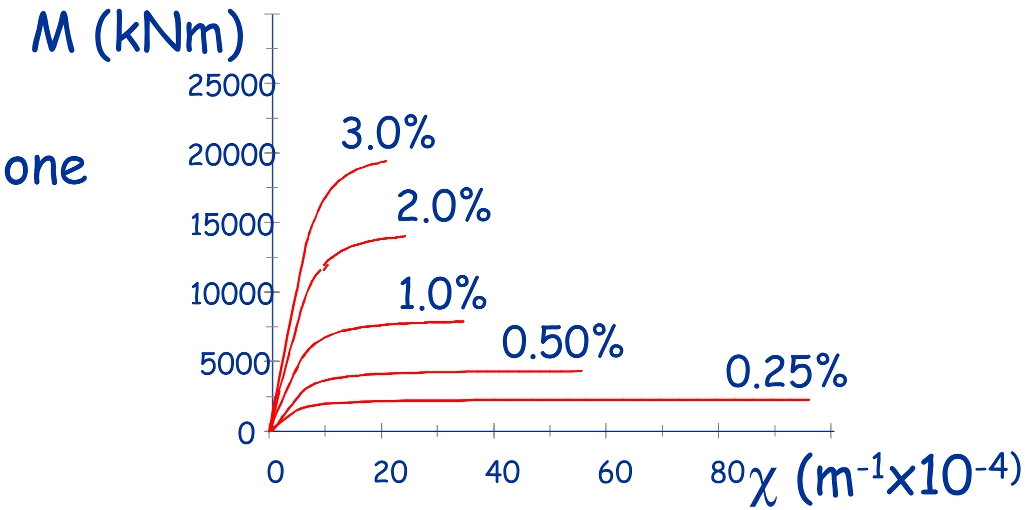
- calcolo $\chi=\varepsilon_c/x$
- faccio crescere ε_c fino al valore $\varepsilon_{cu}=3.5\times10^{-3}$

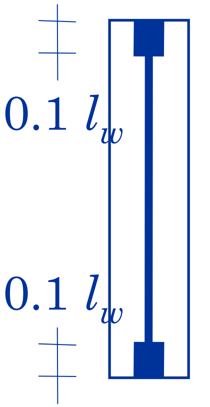
Studio di Cardenas e Magura

(influenza della distribuzione di armatura)



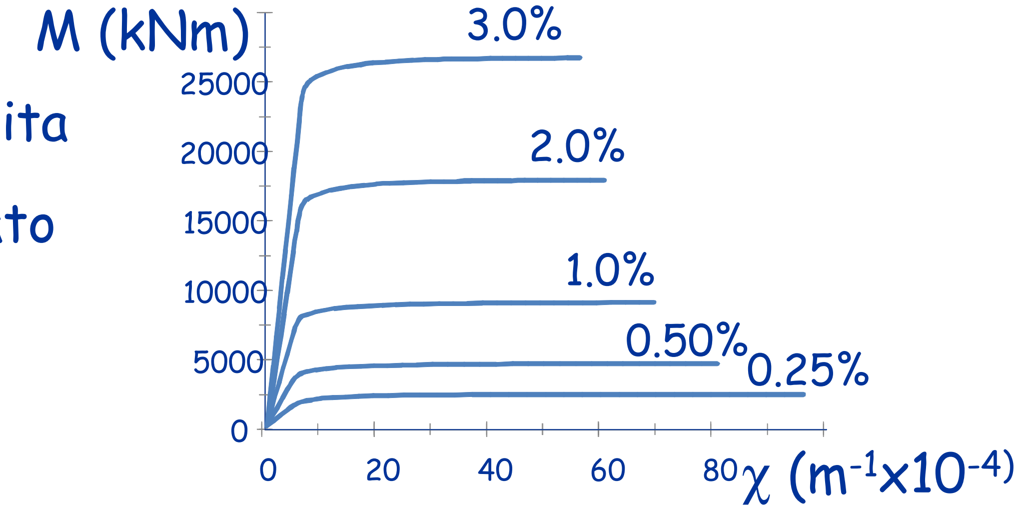
A_s uniformemente distribuita lungo la sezione





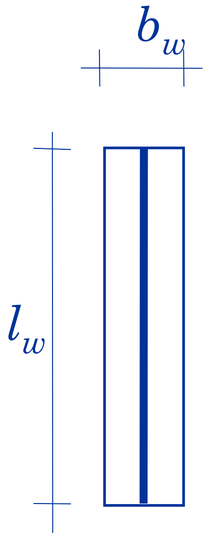
A_s =0.25%$b_w l_w$ uniformemente distribuita

Il resto di A_s concentrato agli estremi

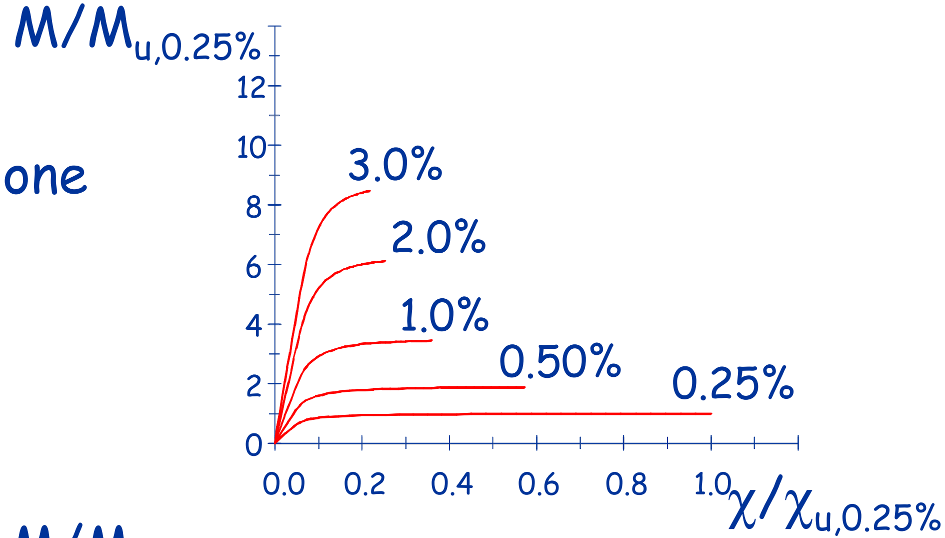


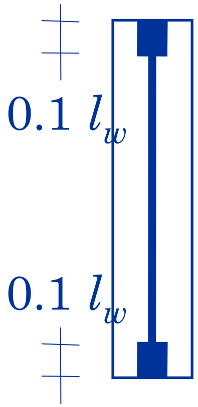
Studio di Cardenas e Magura

(influenza della distrubuzione di aramatura)



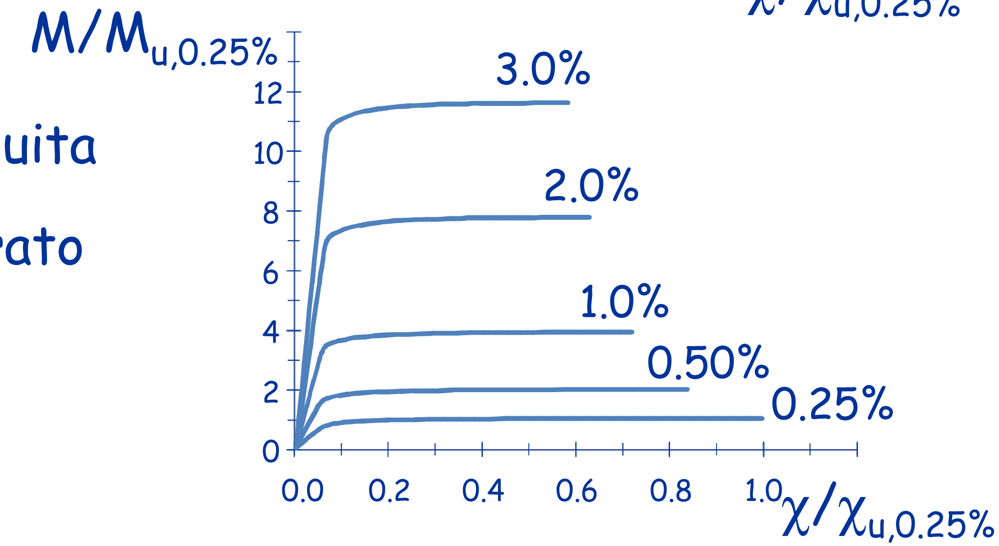
A_s uniformemente distribuita lungo la sezione





$A_s = 0.25\% b_w l_w$ uniformemente distribuita

Il resto di A_s concentrato agli estremi



Considerazioni

Armatura con distribuzione uniforme

Aumentando la quantità di armatura si aumenta il momento resistente ma si riduce pesantemente la duttilità

Armatura prevalentemente alle estremità

A parità di armatura complessiva si ottiene un momento resistente superiore a quella precedente

All'aumentare della quantità di armatura la riduzione di duttilità disponibile è inferiore

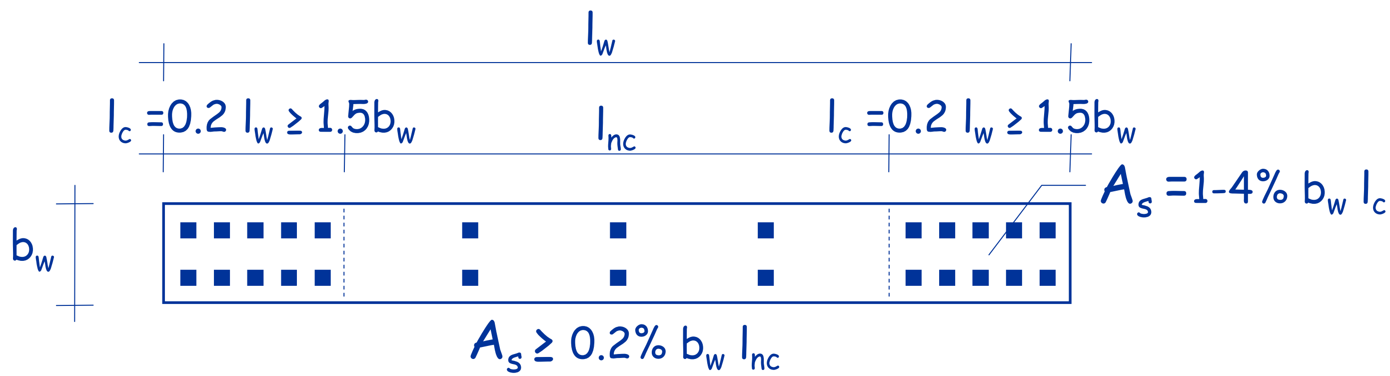
Prescrizioni sui dettagli costruttivi

7.4.6.2.4 ***Pareti***

Le armature, sia orizzontali che verticali, devono avere diametro non superiore ad 1/10 dello spessore della parete, devono essere disposte su entrambe le facce della parete, ad un passo non superiore a 30 cm, devono essere collegate con legature, in ragione di almeno nove ogni metro quadrato.

Nella zona critica si individuano alle estremità della parete due zone confinate aventi per lati lo spessore della parete e una lunghezza "confinata" l_c pari al 20% della lunghezza in pianta l della parete stessa e comunque non inferiore a 1,5 volte lo spessore della parete. In tale zona il rapporto geometrico ρ dell'armatura totale verticale, riferito all'area confinata, deve essere compreso entro i seguenti limiti:

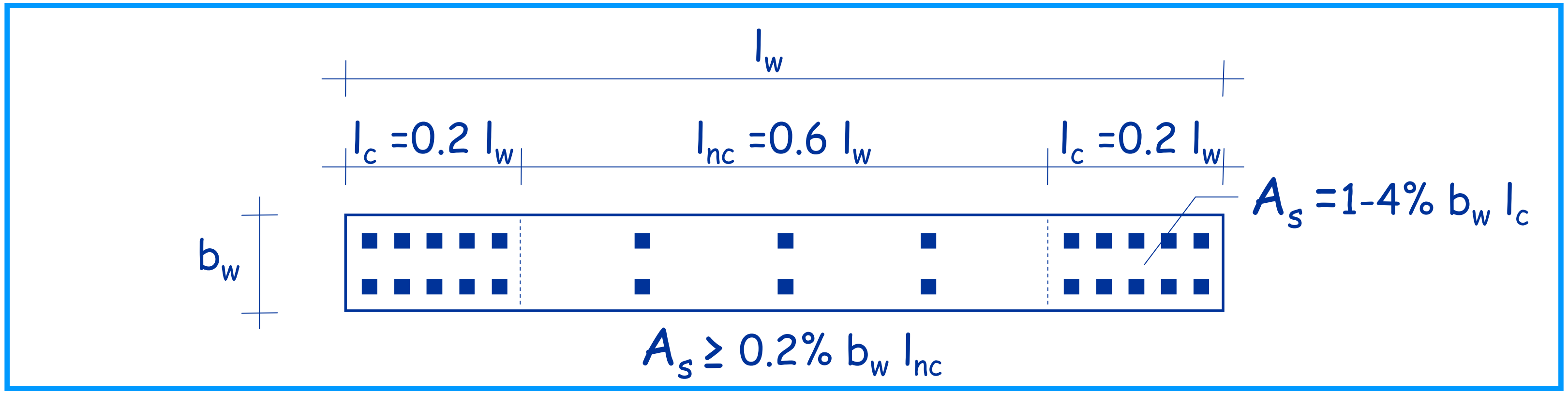
$$1\% \leq \rho \leq 4\% \tag{7.4.30}$$



Nella rimanente parte della parete, in pianta ed in altezza, vanno seguite le regole delle condizioni non sismiche, con un'armatura minima orizzontale e verticale pari allo 0,2%, per controllare la fessurazione da taglio.

NTC 08, punto 7.4.6.2.4

Prescrizioni sulle armature



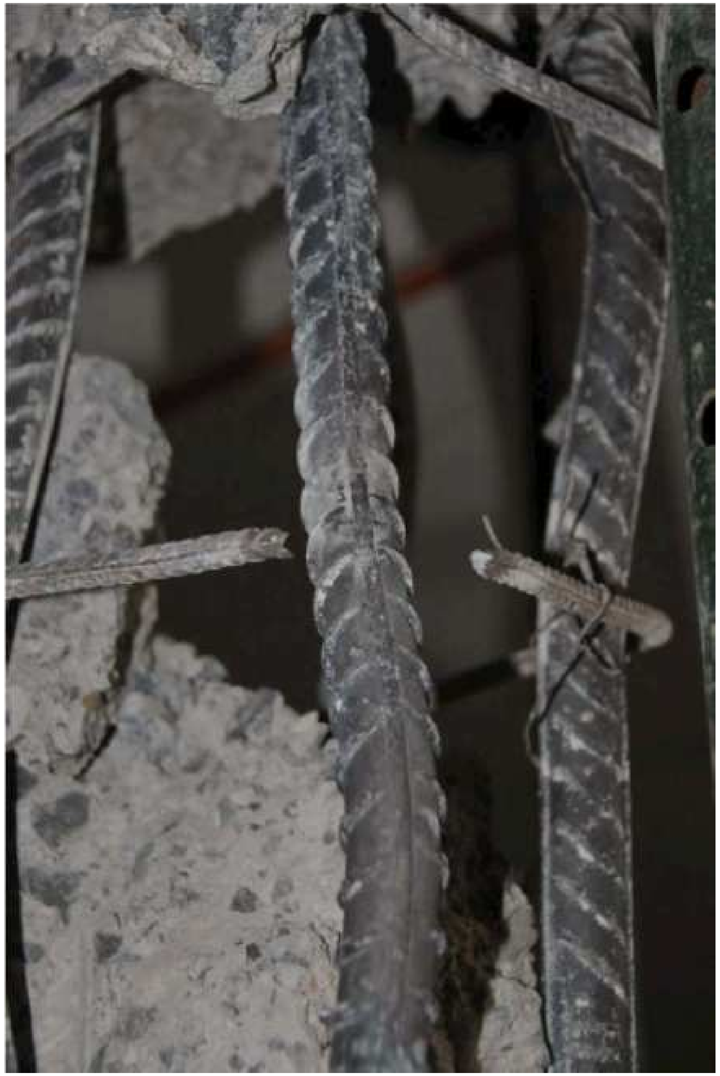
Durante il sisma la compressione che le zone confinate della parete devono sostenere ciclicamente è elevata

Instabilità delle barre

27-02-2010 , Cile

Foto P. Fajfar

Le staffe si possono aprire o rompere



27-02-2010 , Cile

Foto P. Fajfar

Disgregamento del nucleo di calcestruzzo

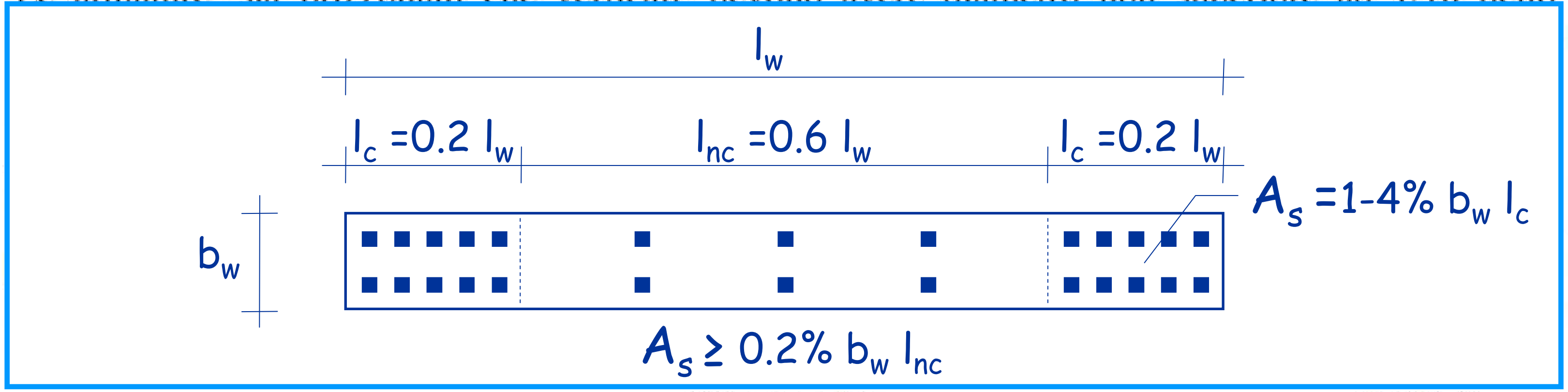
27-02-2010 , Cile

Foto P. Fajfar

Prescrizioni sui dettagli costruttivi

7.4.6.2.4 *Pareti*

Le armature, sia orizzontali che verticali, devono avere diametro non superiore ad 1/10 dello



$$1\% \leq \rho \leq 4\% \qquad (7.4.30)$$

Nelle zone confinate l'armatura trasversale deve essere costituita da barre di diametro non inferiore a 6 mm, disposti in modo da fermare una barra verticale ogni due con un passo non superiore a 8 volte il diametro della barra o a 10 cm. Le barre non fissate devono trovarsi a meno di 15 cm da una barra fissata.

L'instabilità delle barre delle zone confinate e la disgregazione del nucleo di calcestruzzo può essere evitata disponendo una staffatura adeguata

NTC 08, punto 7.4.6.2.4

Quale parte della parete deve soddisfare queste prescrizioni?

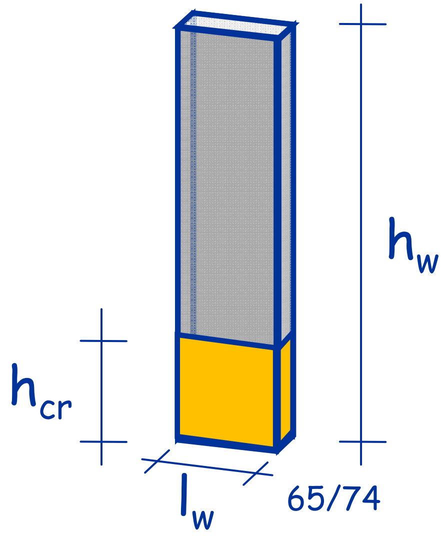
Le prescrizioni valgono per la “zona critica” della parete

Zona critica

È quella parte della parete che sarà interessata dalle deformazioni plastiche, ovvero …

… la porzione di parete di altezza h_{cr} al di sopra dell’incastro

$$h_{cr} = \max \begin{cases} l_w \\ \dfrac{h_w}{6} \end{cases}$$



NTC 08, punto 7.4.6.1.4

Quale parte della parete deve soddisfare queste prescrizioni?

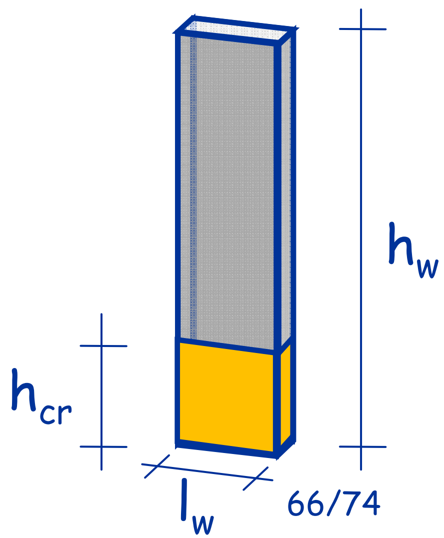
Le prescrizioni valgono per la "zona critica" della parete

Zona critica

È quella parte della parete che sarà interessata dalle deformazioni plastiche, ovvero …

… la porzione di parete di altezza h_{cr} al di sopra dell'incastro

$$h_{cr} < \begin{cases} h_{1piano} & \text{per edifici fino a 6 piani} \\ h_{2piani} & \text{edifici con più di 6 piani} \end{cases}$$



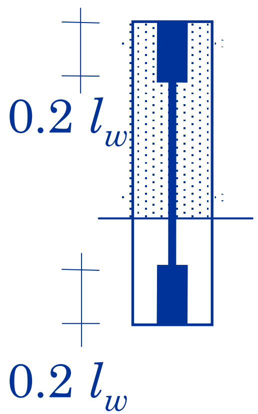
NTC 08, punto 7.4.6.1.4

Domini M-N
per flessione composta retta

Domini di resistenza

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

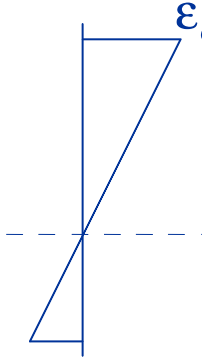
Per ricavare una coppia M-N del dominio



si assegna un diagramma

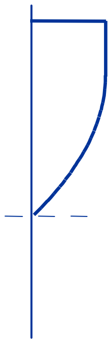
di ε

$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$



di σ

$\sigma_c = f_{cd}$



si calcolano M ed N

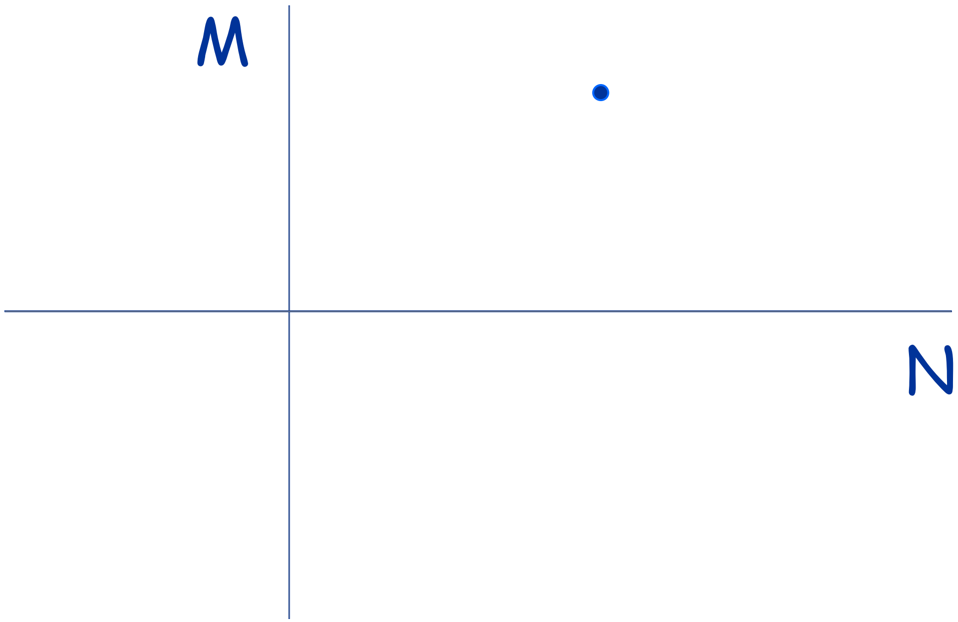
$$N = \int \sigma \, dA$$

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

Domini di resistenza

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

Per ricavare una coppia M-N del dominio



si calcolano
M ed N

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

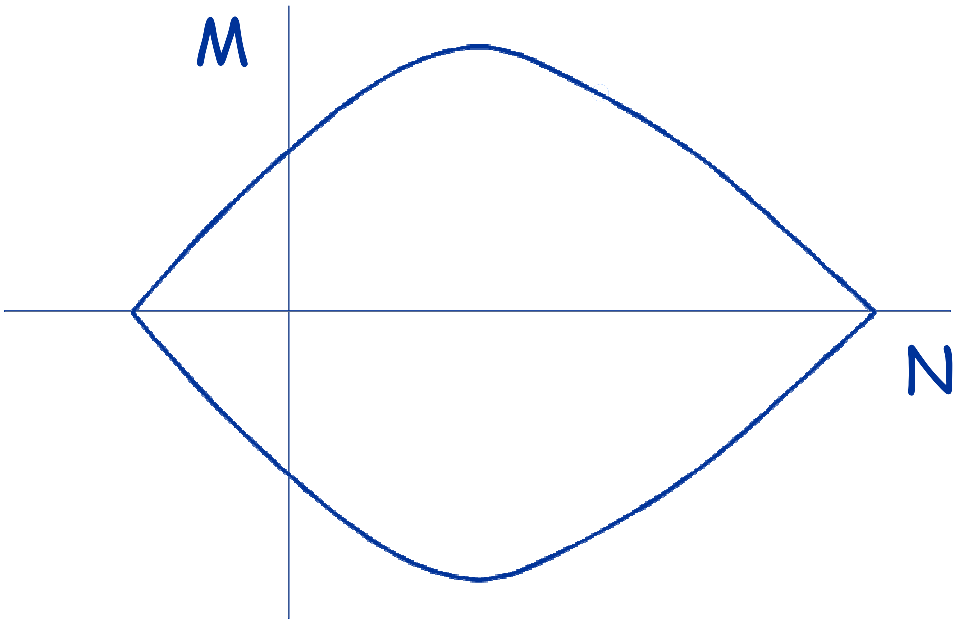
$$M = -\int \sigma \, y \, dA$$

e si riporta la coppia
M – N nel diagramma

Domini di resistenza

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

Ripetendo con tutti i possibili diagrammi …

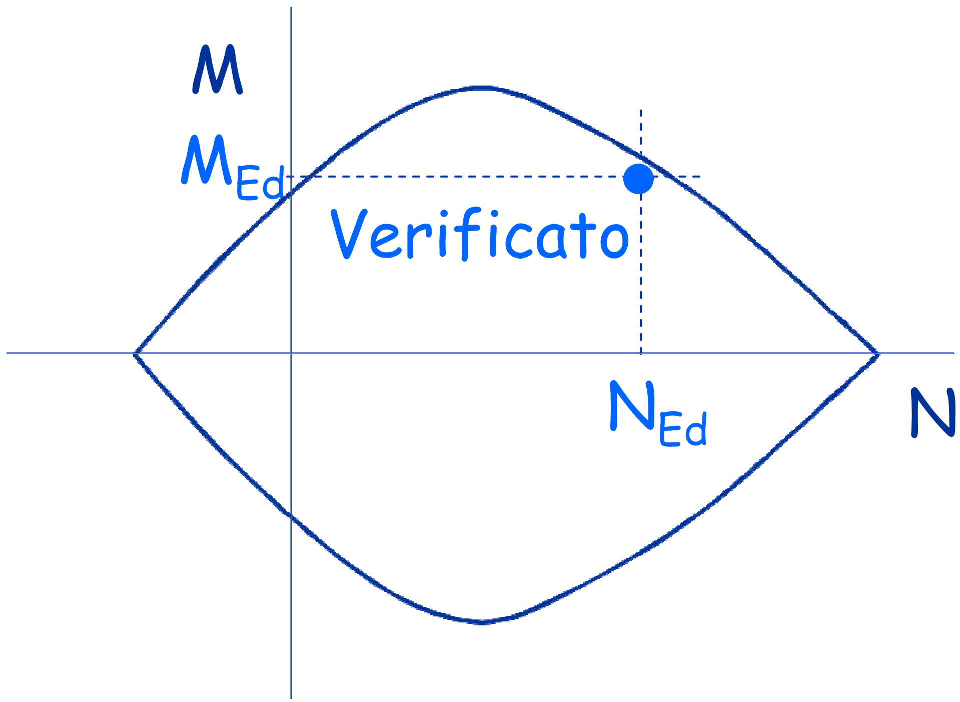


si ottiene il dominio completo

Verifica con domini di resistenza

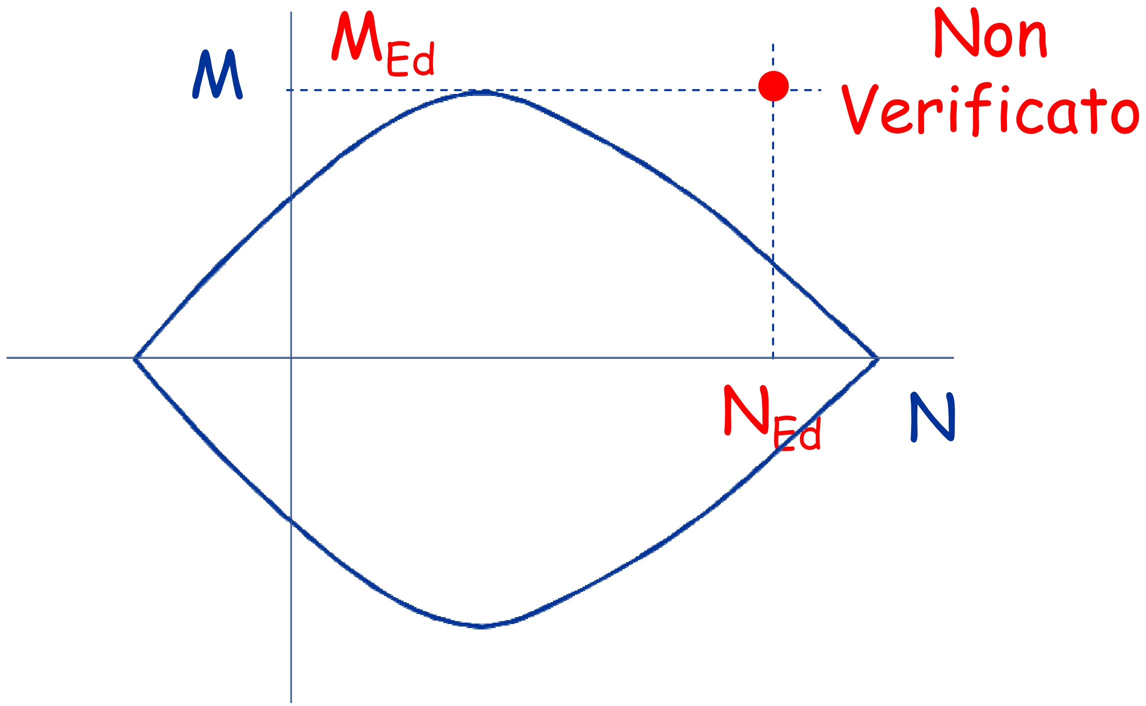
1. Si costruisce il dominio di resistenza della sezione

2. Si riporta il punto di coordinate M_{Ed}-N_{Ed} sul dominio



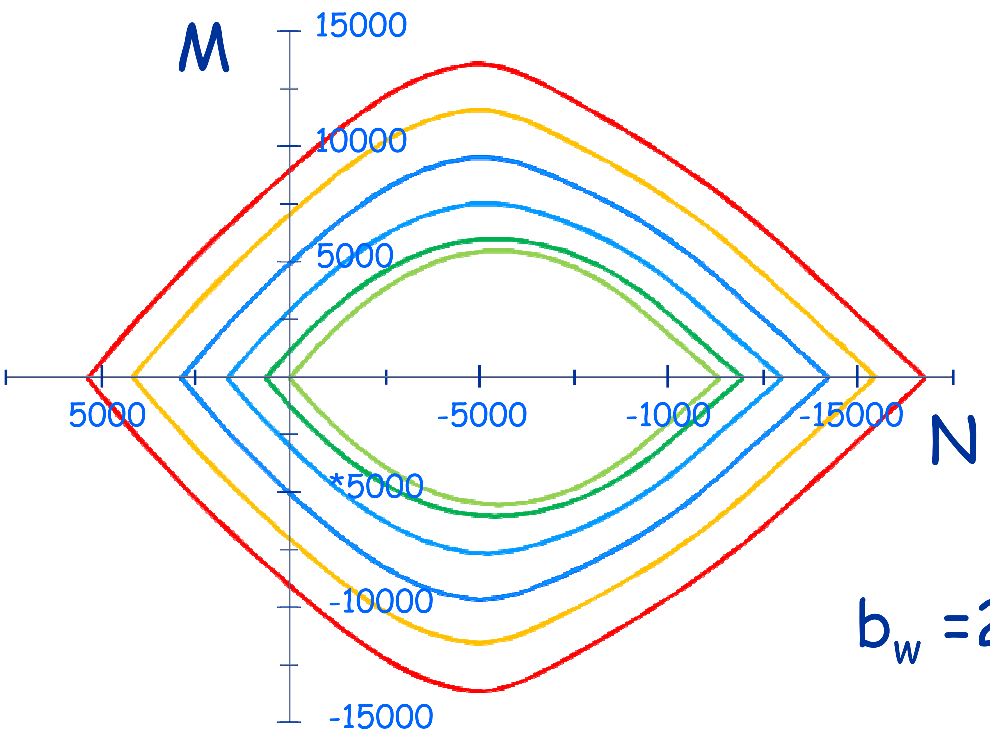
Verifica con domini di resistenza

1. Si costruisce il dominio di resistenza della sezione
2. Si riporta il punto di coordinate M_{Ed}-N_{Ed} sul dominio



Domini di resistenza e progetto armatura

Cambiando l'armatura, si ottengono tanti diagrammi



A_{sw} = 0 A_{sc} = 0

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 0.2%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 1.0%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 2.0%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 3.0%

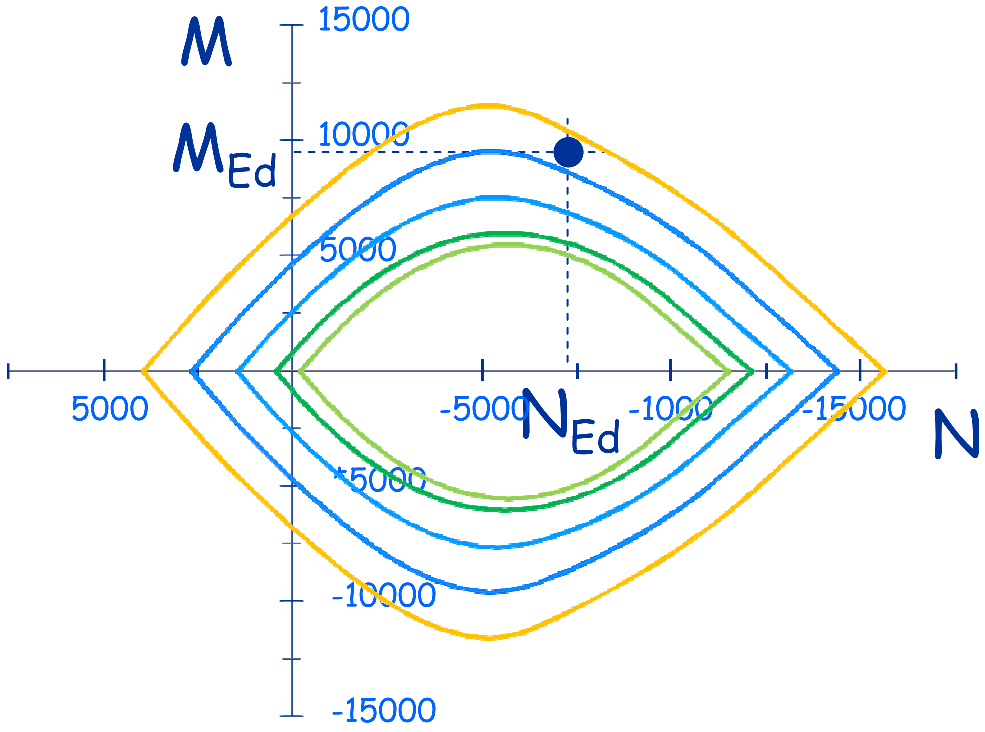
A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 4.0%

b_w =20 cm, l_w = 400 cm

l_c = 80 cm

Domini di resistenza e progetto armatura

1. Si riporta il punto di coordinate M_{Ed}-N_{Ed} sul dominio
2. Si costruisce il dominio della sezione con l'armatura minima
3. Si aumenta l'armatura delle zone confinate



A_{sw} = 0 A_{sc} = 0

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 0.2%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 1.0%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 2.0%

A_{sw} = 0.2% A_{sc} = 3.0%

N.B. Le dimensioni della sezione sono assegnate