

Corso di laurea in Ingegneria civile strutturale e geotecnica

Tecnica delle costruzioni

modulo A

07 – Trazione

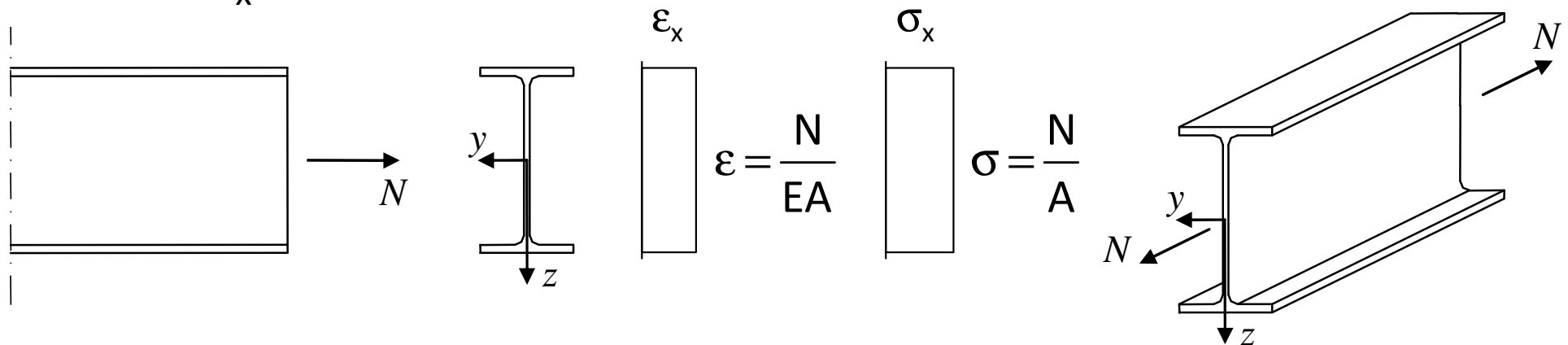
Aurelio Gherzi

14/10/2020

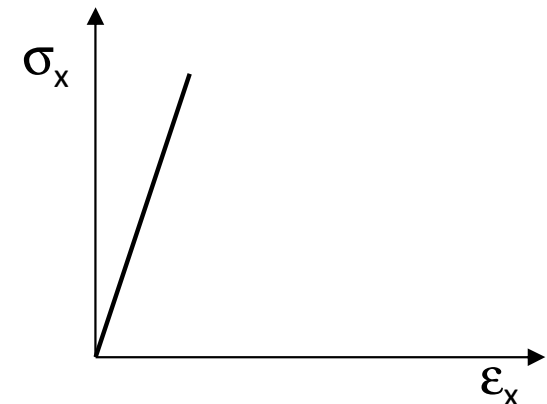
Asta (o sezione) soggetta a trazione

Scienza delle costruzioni

- Lo sforzo normale è costante lungo l'asta, quindi tutte le sezioni si comportano allo stesso modo
- Nelle sezioni si hanno deformazioni assiali ε_x e tensioni normali σ_x costanti



- All'aumentare di N crescono in maniera proporzionale sia le ε_x che le σ_x
- Questo è il comportamento di un'asta ideale con materiale elastico lineare

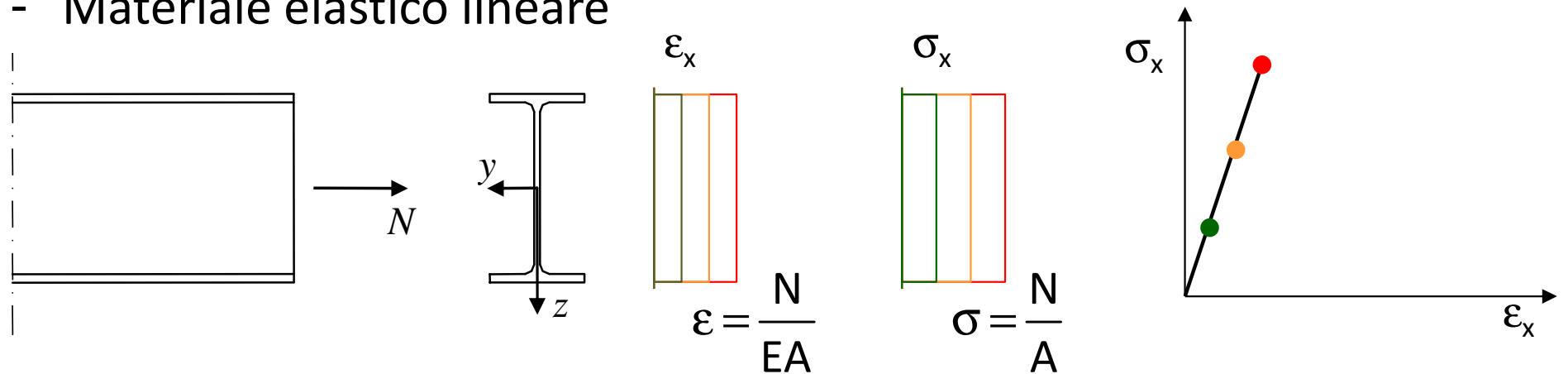


Asta (o sezione) soggetta a trazione

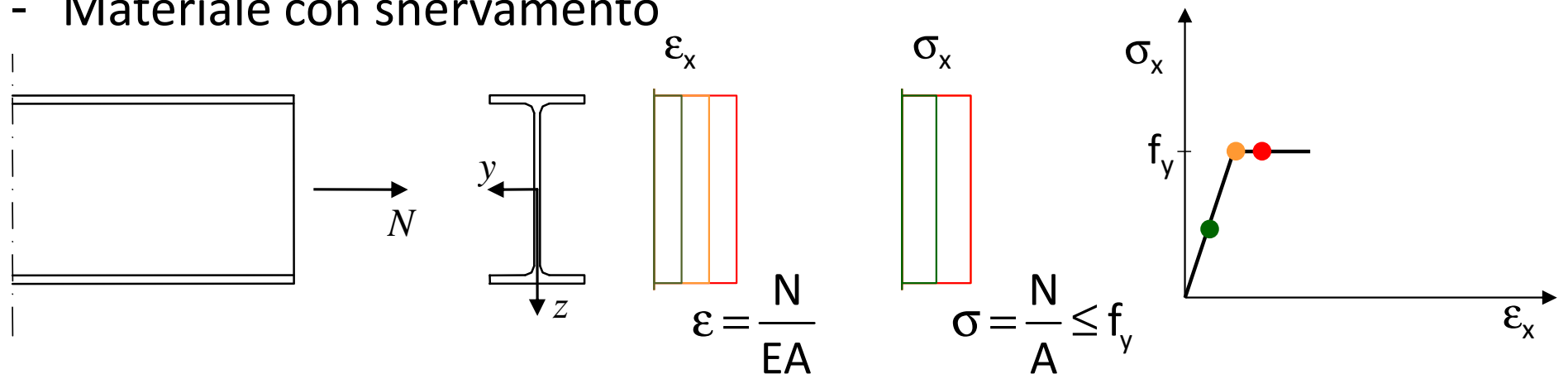
materiale lineare e materiale che si snerva

- Al crescere dello sforzo normale

- Materiale elastico lineare

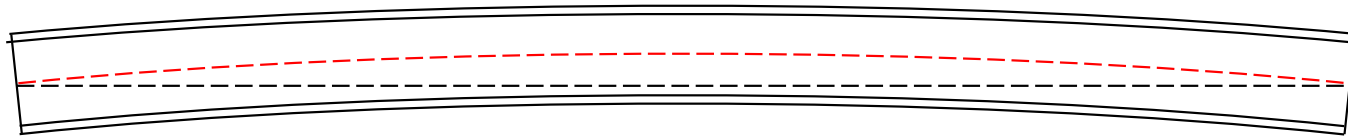


- Materiale con snervamento



Imperfezioni nelle aste in acciaio

- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo

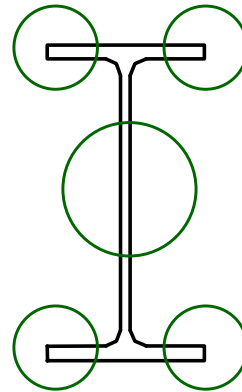
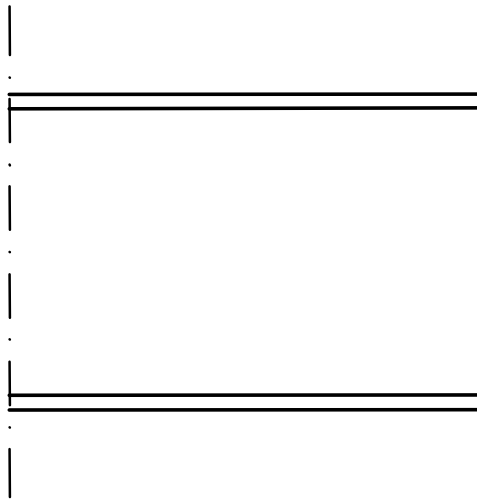


- Un modesto discostamento dalla perfetta rettilineità è accettato

Imperfezioni

nelle aste in acciaio

- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue che si formano durante la fase di raffreddamento del profilato (tensioni autoequilibrate, o autotensioni)

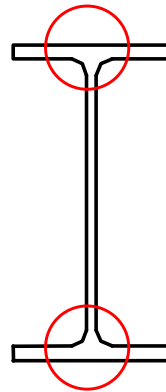
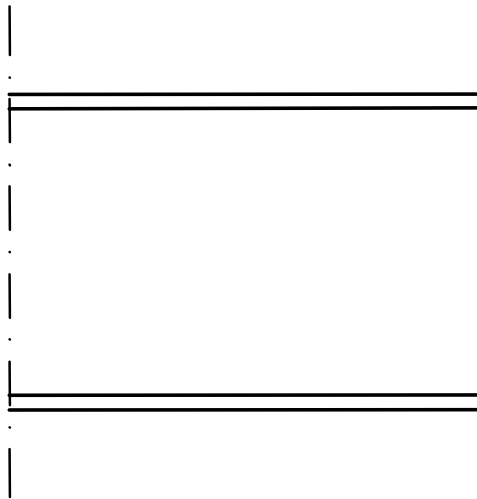


Queste parti si raffreddano prima.
Nel raffreddarsi si ha un accorciamento, ma le parti di incrocio ala-anima sono ancora calde e viscosi e non si oppongono alla deformazione

Imperfezioni

nelle aste in acciaio

- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue che si formano durante la fase di raffreddamento del profilato (tensioni autoequilibrate, o autotensioni)

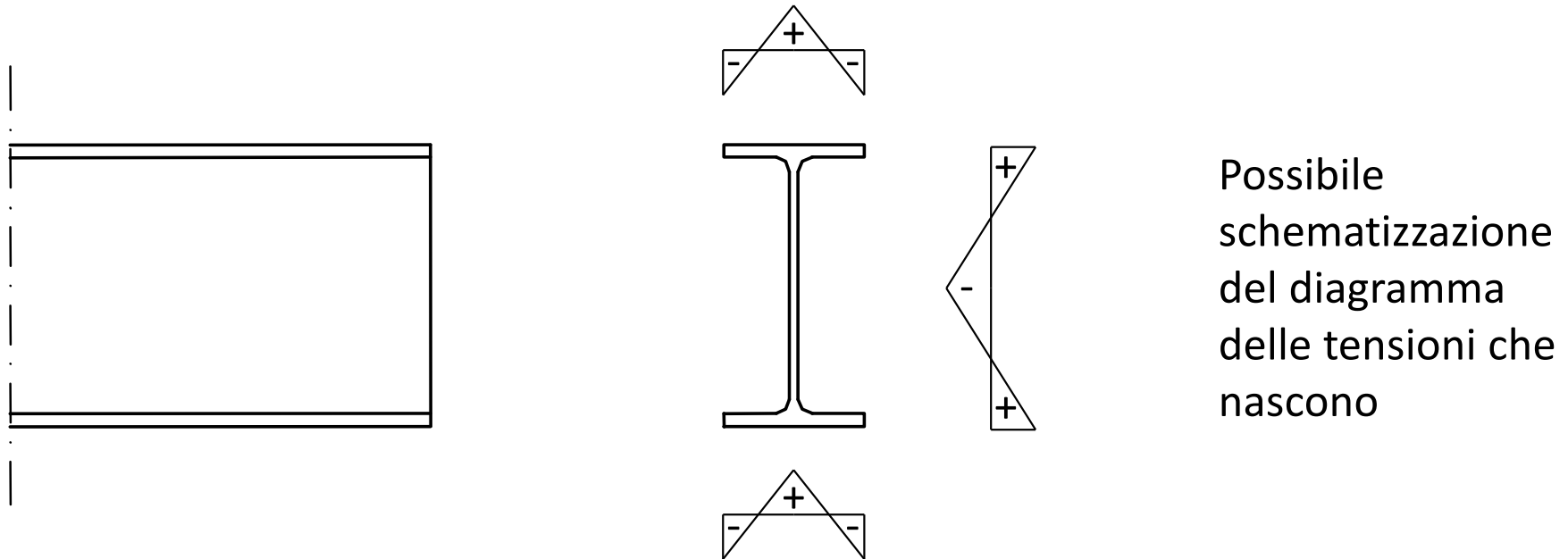


Queste parti si raffreddano dopo. Nel raffreddarsi si ha un accorciamento, ma le parti già raffreddate si oppongono alla deformazione. Vengono quindi esercitate tensioni mutue (la parte che vorrebbe accorciarsi risulta tesa, l'altra compressa)

Imperfezioni

nelle aste in acciaio

- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue che si formano durante la fase di raffreddamento del profilato (tensioni autoequilibrate, o autotensioni)

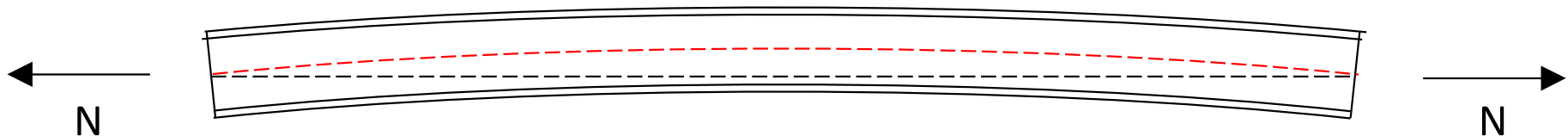


Le tensioni possono arrivare anche a $0.5 f_y$

Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo
 - In assenza di N , pur essendo curva, l'asta ha deformazioni e tensioni nulle

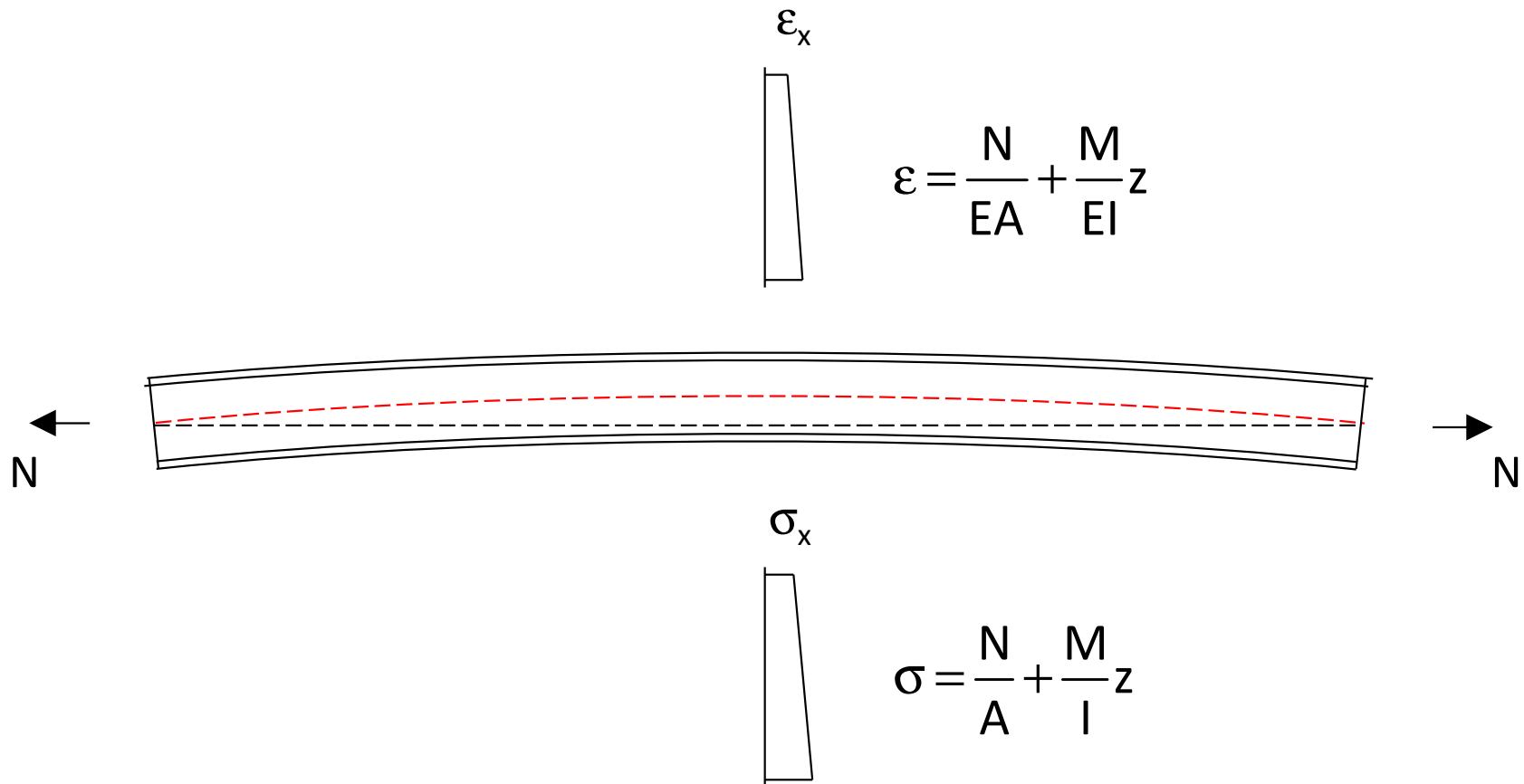


- Applicando una forza assiale, lungo l'asta nasce anche un momento flettente $M = N e$ e (massimo in mezzeria)

Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

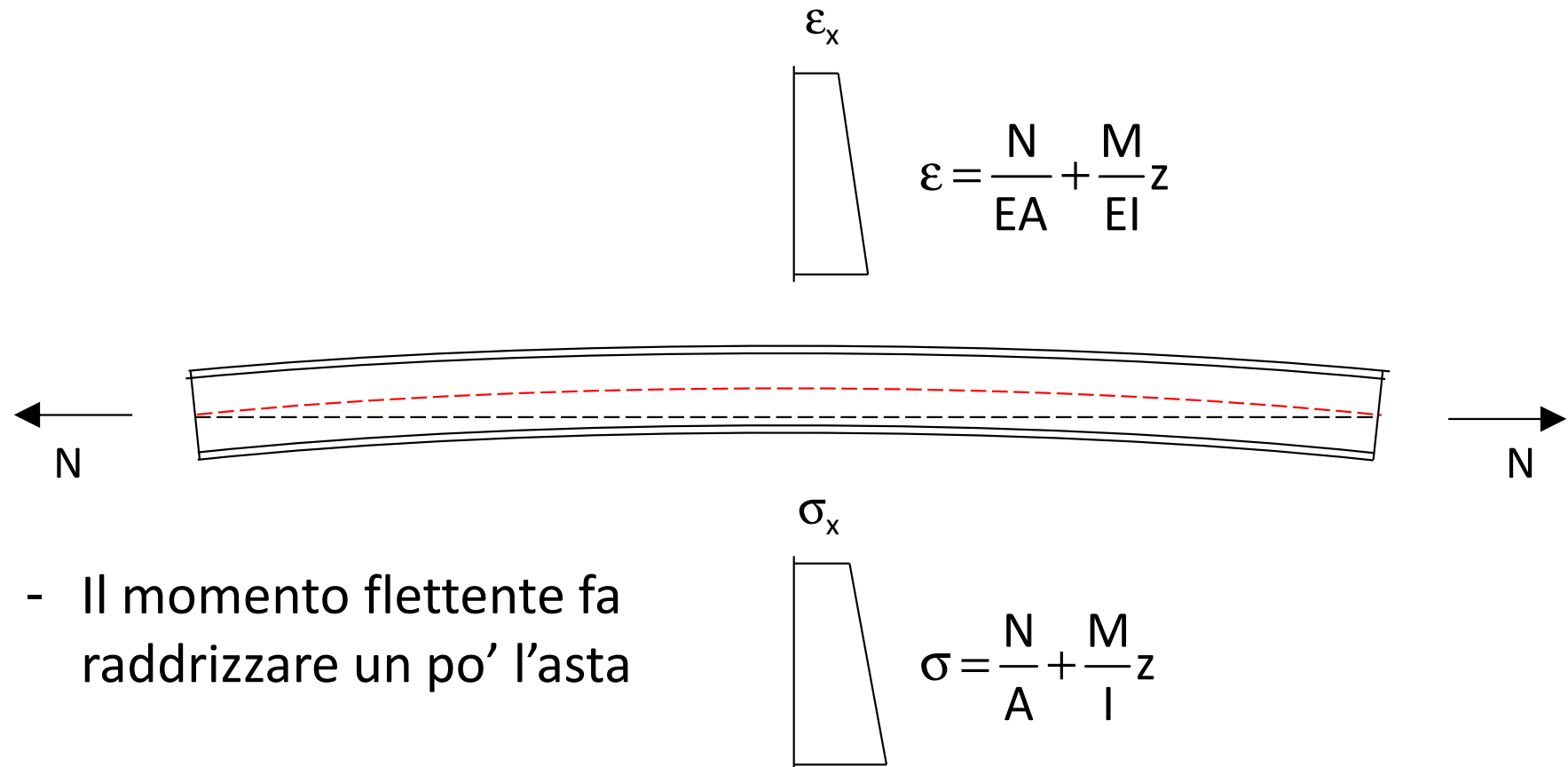
- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

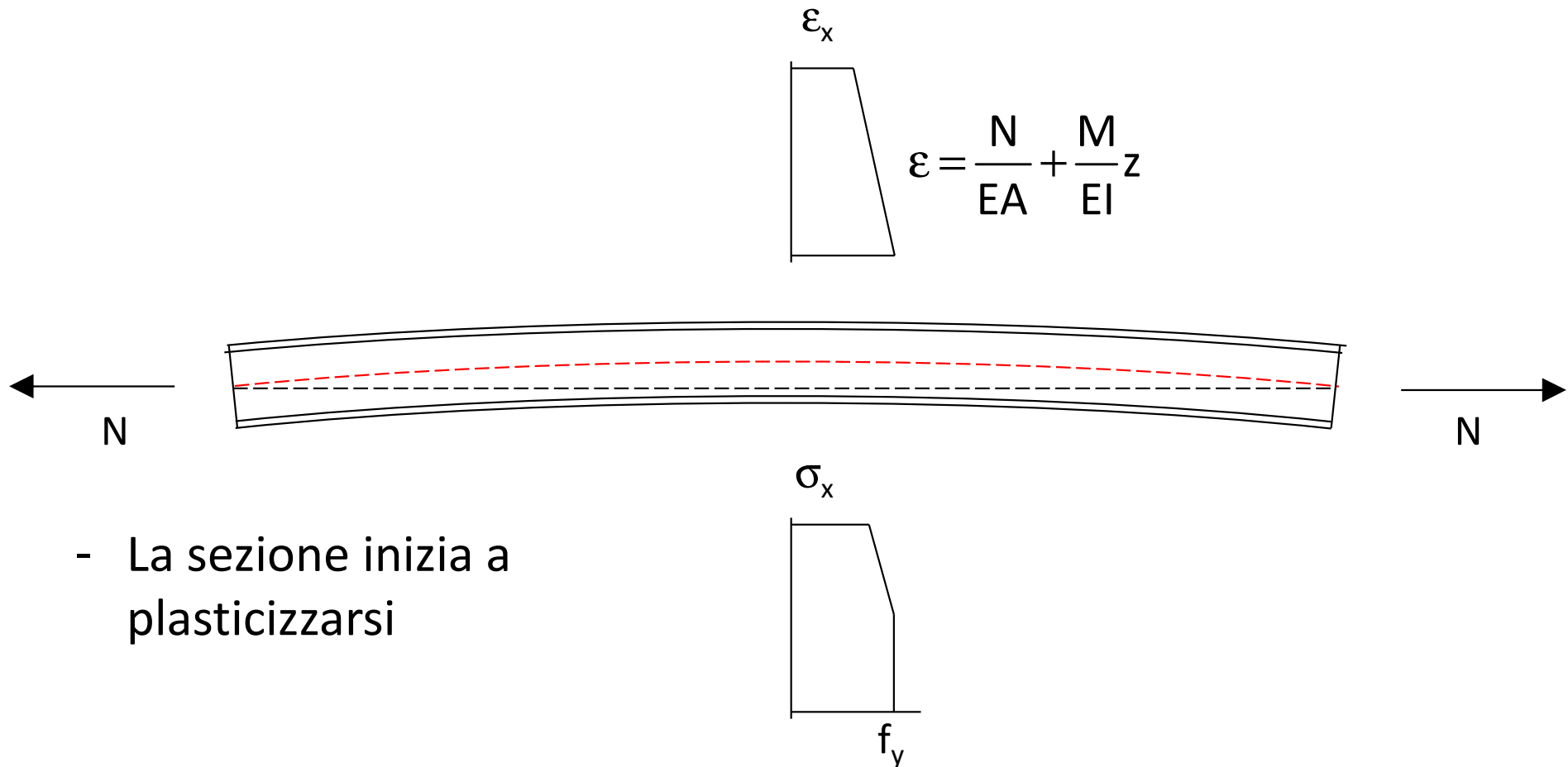
- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

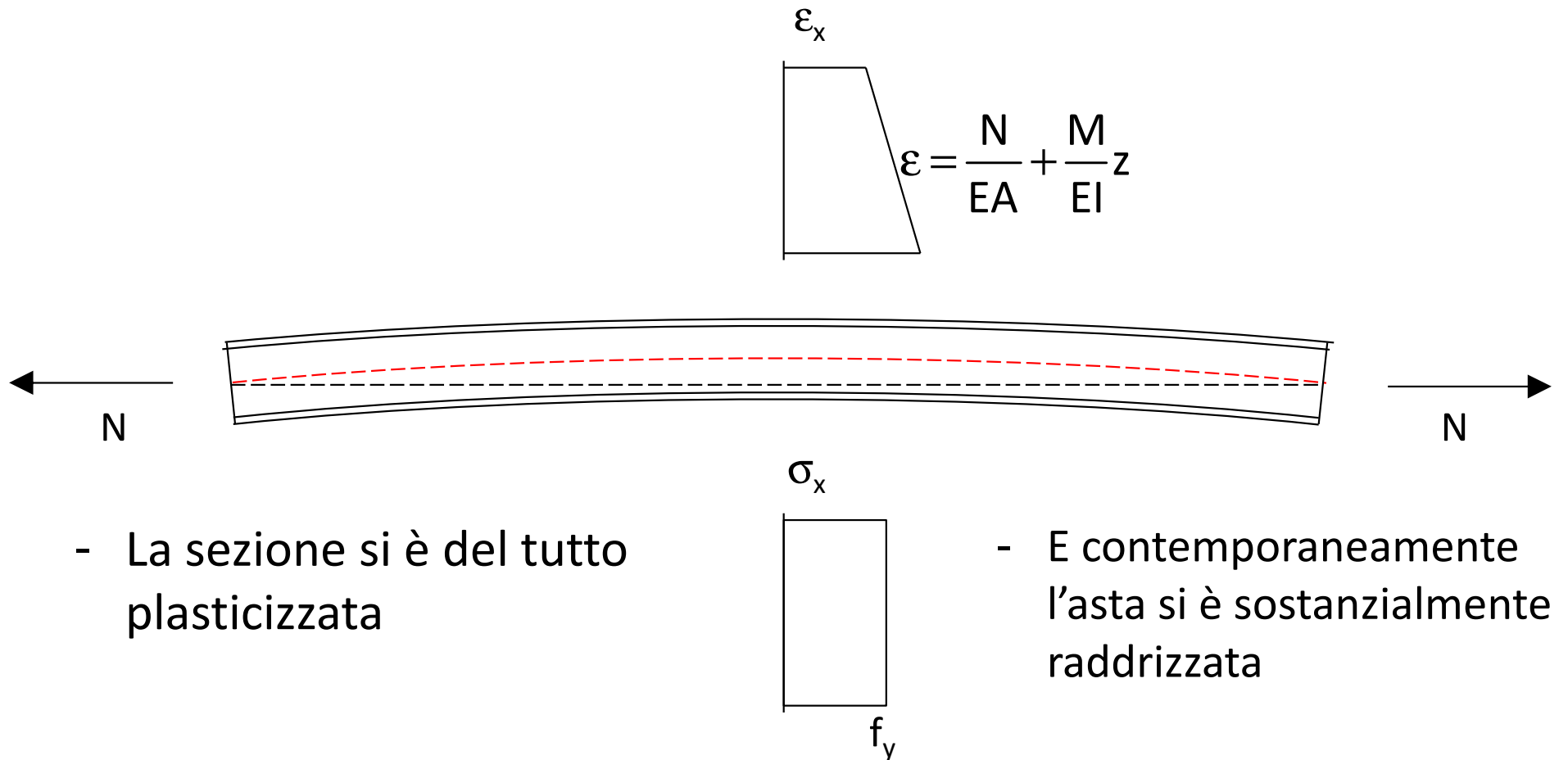
- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

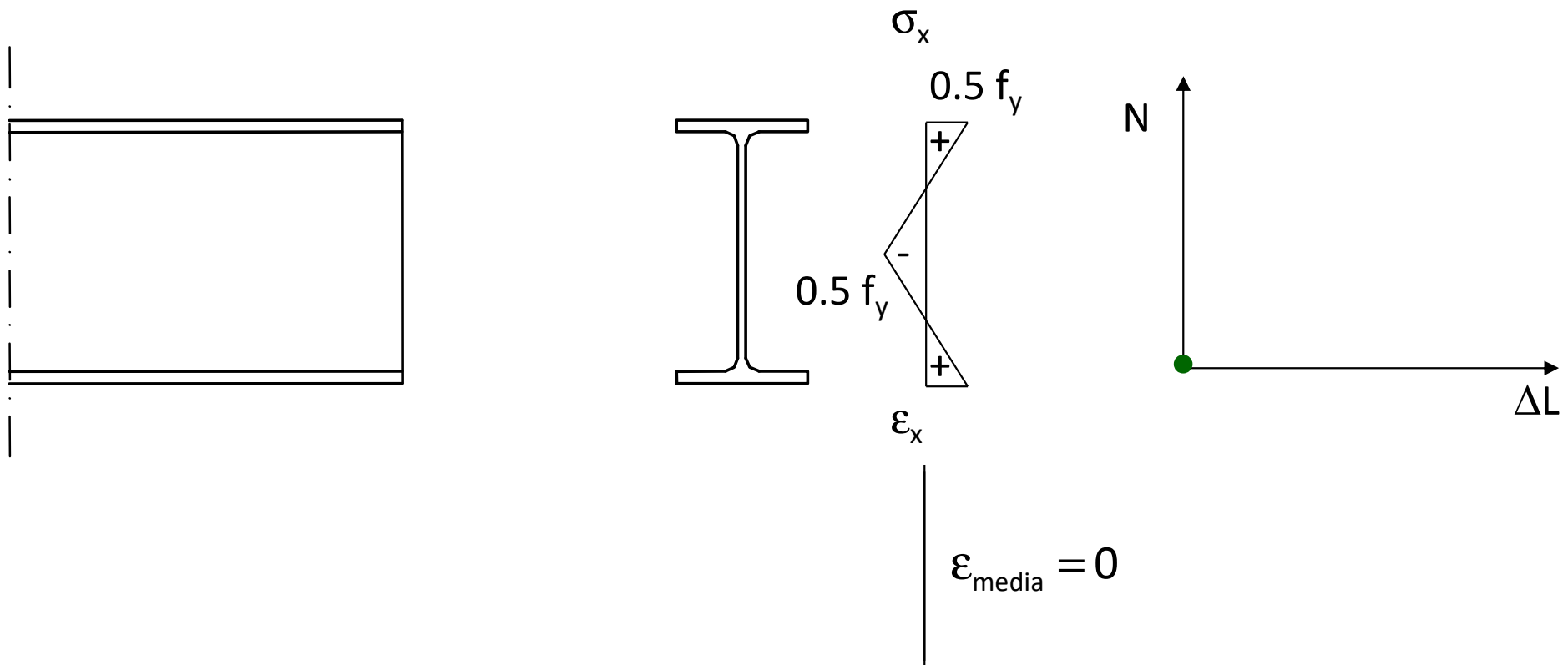
- Imperfezioni geometriche
in particolare: asse dell'asta non perfettamente rettilineo



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

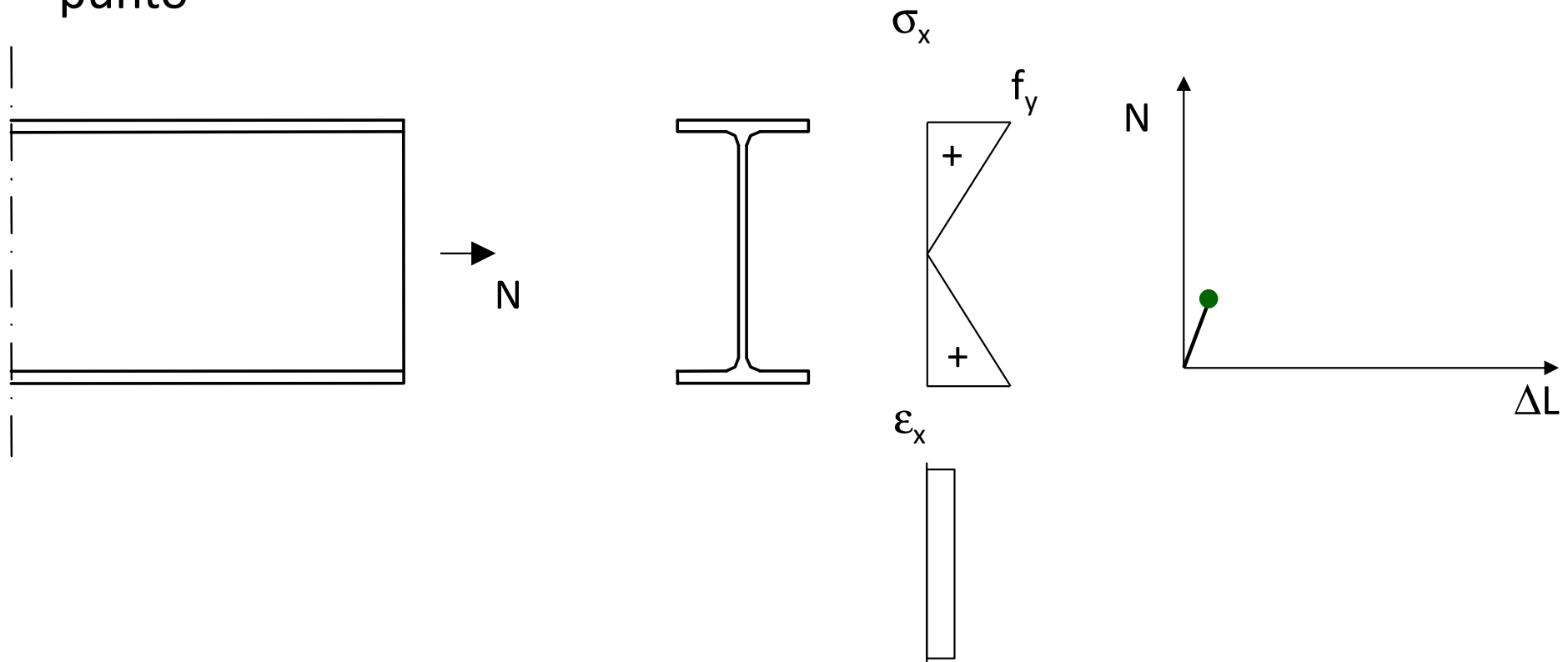
- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue
 - In assenza di N vi sono già tensioni (autoequilibrate)



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

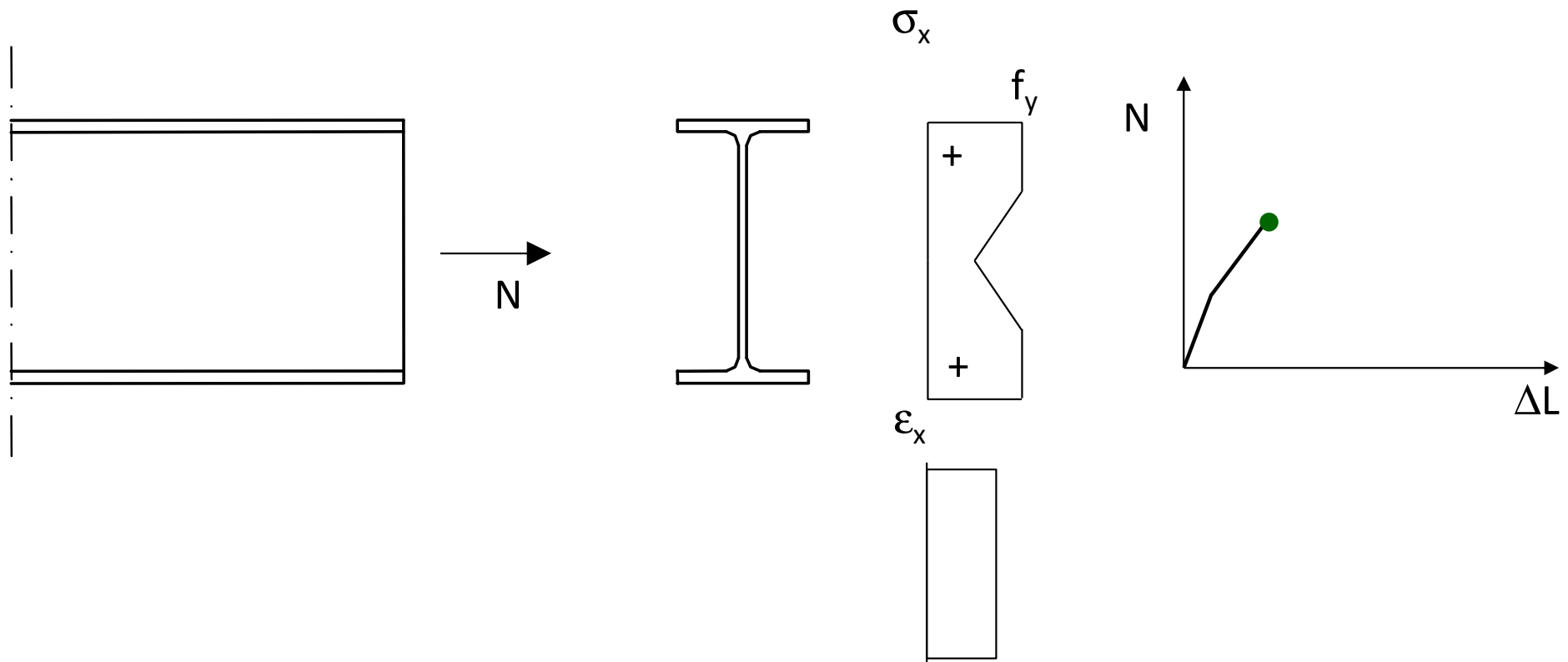
- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue
 - Aumentando N si mantiene la differenza di tensione tra punto e punto



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

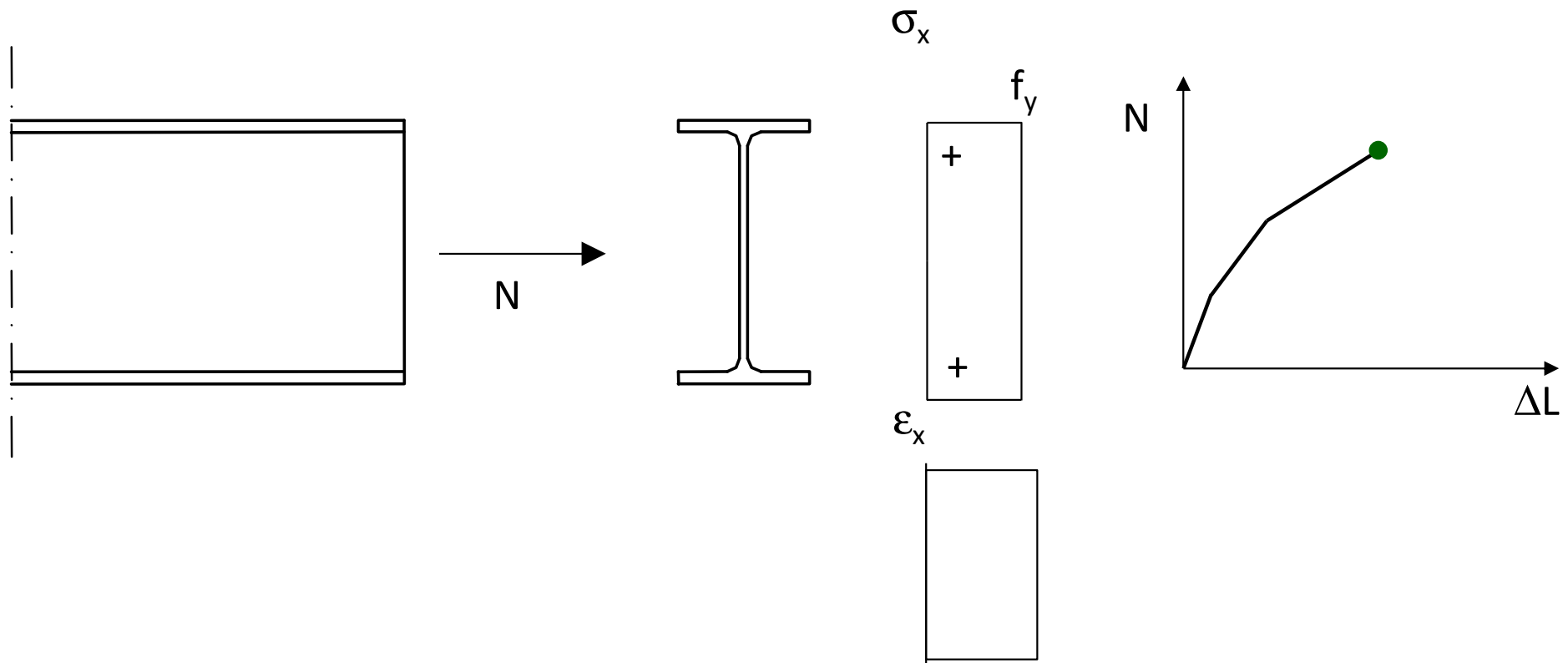
- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue
 - Una parte della sezione inizia a plasticizzarsi



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

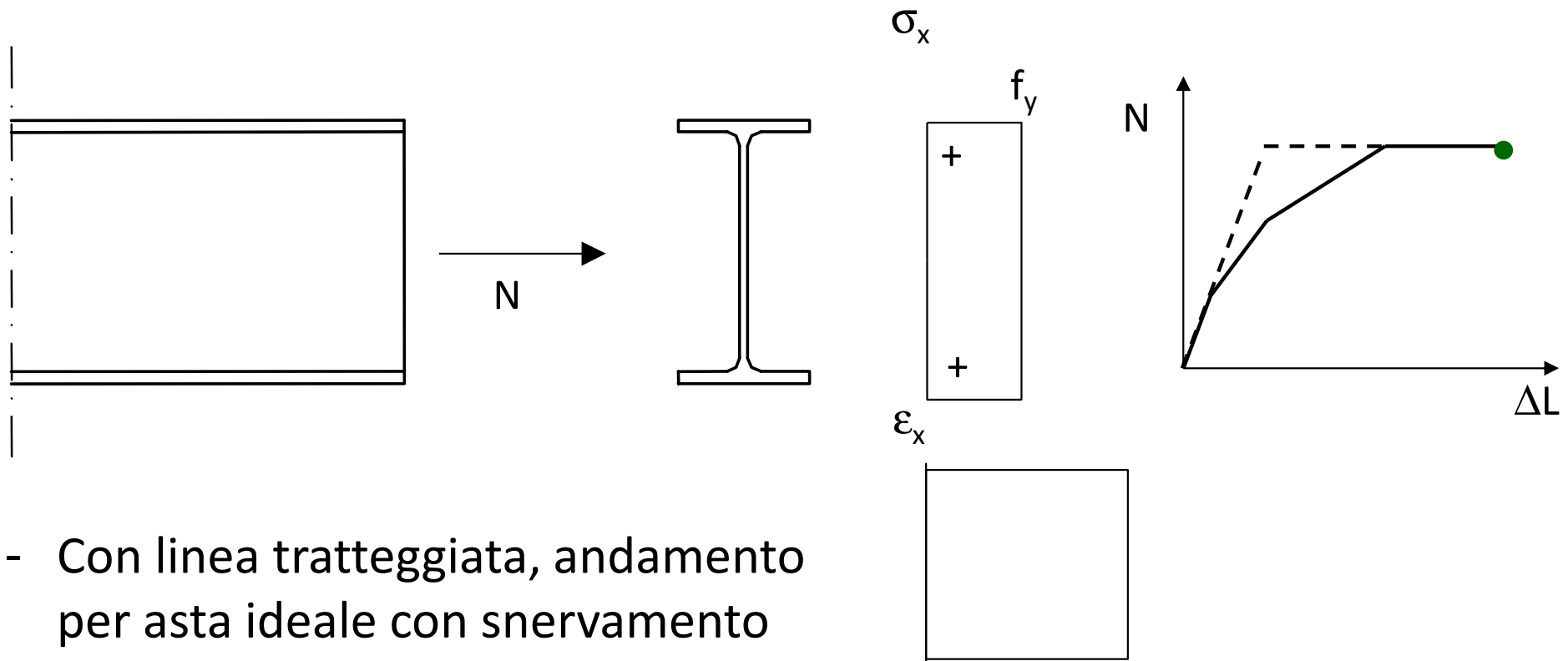
- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue
 - La sezione è completamente plasticizzata



Asta imperfetta

al crescere dello sforzo normale

- Imperfezioni meccaniche
in particolare: tensioni residue
 - N non può aumentare ulteriormente, ma la deformazione si



- Con linea tratteggiata, andamento per asta ideale con snervamento

Considerazioni finali

asta reale tesa

- In presenza di imperfezioni il comportamento deformativo reale è diverso da quello ideale (deformazioni maggiori a parità di N)
- Il risultato finale al crescere di N è in ogni caso la completa plasticizzazione dell'asta, cioè un diagramma di tensioni costanti pari a f_y
- Il massimo sforzo normale di trazione che può portare l'asta, indipendentemente dalla presenza o assenza di imperfezioni, è

$$N_{\max} = A f_y$$

Verifica allo SLU

di un'asta tesa in acciaio

- Con il metodo degli stati limite:
 - L'azione sollecitante N_{Ed} è determinata utilizzando il valore caratteristico dei carichi F_k maggiorato del coefficiente di sicurezza parziale γ_F
 - La resistenza N_{Rd} è determinata utilizzando il valore caratteristico della resistenza f_{yk} ridotto del coefficiente di sicurezza parziale γ_M

Note:

- Per le strutture in acciaio useremo per comodità il simbolo f_y senza aggiungere il pedice k (ma va inteso come f_{yk})
- Il coefficiente di sicurezza parziale γ_M può assumere valori differenti a seconda delle situazioni, quindi lo indicheremo sempre esplicitamente

Verifica allo SLU

di aste in acciaio e relativi collegamenti

- La normativa europea prevedeva un gran numero di coefficienti parziali di sicurezza per strutture in acciaio
- Ora il numero di coefficienti diversi si è ridotto.
Si usano principalmente:
 - γ_{M0} per verifiche di resistenza delle sezioni $\gamma_{M0} = 1.05$
accoppiato sempre al valore f_y
 - γ_{M1} per verifiche di stabilità delle aste $\gamma_{M1} = 1.05$
accoppiato sempre al valore f_y
 - γ_{M2} per verifiche di sezioni forate $\gamma_{M2} = 1.25$
accoppiato sempre al valore f_u
si usa anche nelle verifiche dei collegamenti
accoppiato alla resistenza ultima f_{ub} o f_{uw}

Verifica allo SLU

di un'asta tesa in acciaio

- Con il metodo degli stati limite la verifica si effettua confrontando la caratteristica di sollecitazione sollecitante con quella resistente

- Per la trazione

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

con

$$N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Verifica allo SLU

di un'asta tesa in acciaio

- Esempio
 - Si consideri un'asta tesa soggetta a $N_{Ed} = 800$ kN
 - L'asta è realizzata con una coppia di profili UPN 140 in acciaio S275

Dal sagomario, per un profilo UPN 140 si ha
 $A = 20.40 \times 10^2 \text{ mm}^2$

Quindi

$$N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2 \times 20.40 \times 10^2 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = 1068.6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 800 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 1068.6 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta

Progetto allo SLU di un'asta tesa in acciaio

- Il progetto si può effettuare invertendo la formula di verifica
 - Per la trazione

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}$$

Progetto allo SLU di un'asta tesa in acciaio

- Esempio
 - Si consideri un'asta tesa soggetta a $N_{Ed} = 800 \text{ kN}$
 - Si vuole usare una coppia di profili UPN in acciaio S275

L'area complessiva dei due profili deve essere almeno

$$A \geq \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{800 \times 10^3 \times 1.05}{275} = 30.54 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

E quindi per il singolo profilo $A \geq 15.27 \times 10^2 \text{ mm}^2$

Dal sagomario:

Per UPN 100 si ha $A = 13.50 \times 10^2 \text{ mm}^2$

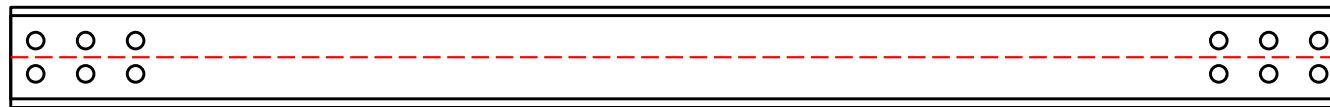
Per UPN 120 si ha $A = 17.00 \times 10^2 \text{ mm}^2$ Si può usare UPN 120

Per UPN 140 si ha $A = 20.40 \times 10^2 \text{ mm}^2$

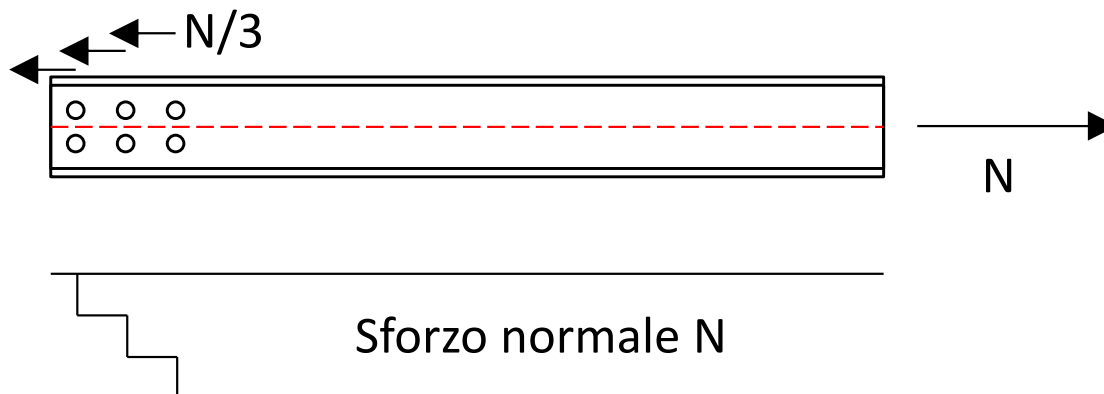
Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Spesso si usano bulloni per collegare le aste e questo richiede che vengano effettuati fori nelle aste



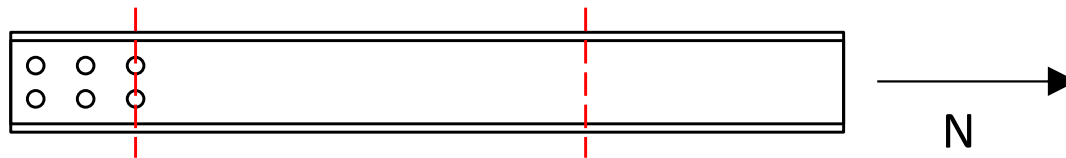
- I bulloni progressivamente trasmettono la forza alla parte a cui l'asta è collegata



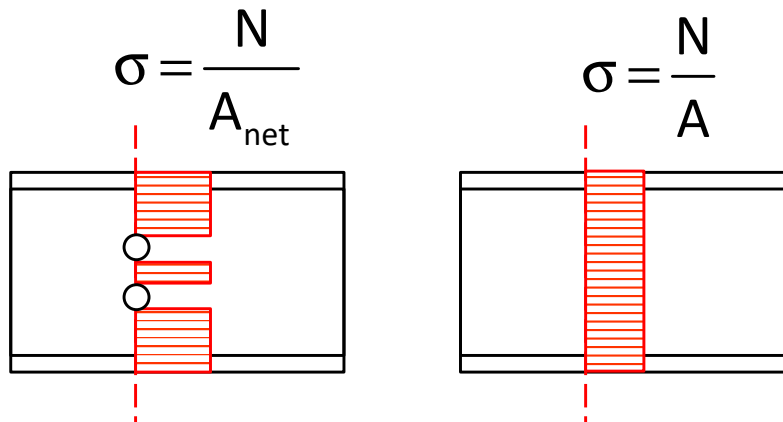
Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Spesso si usano bulloni per collegare le aste e questo richiede che vengano effettuati fori nelle aste



- Diagramma delle tensioni in corrispondenza ai fori e nella sezione non forata

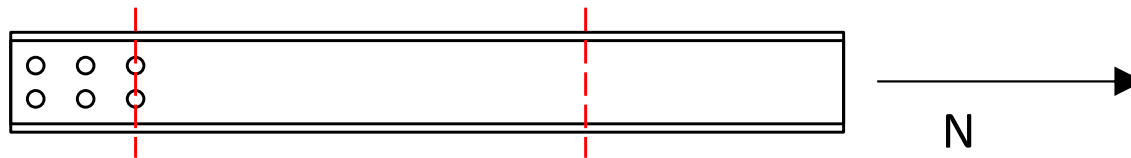


La tensione è maggiore in corrispondenza ai fori, perché l'area è minore

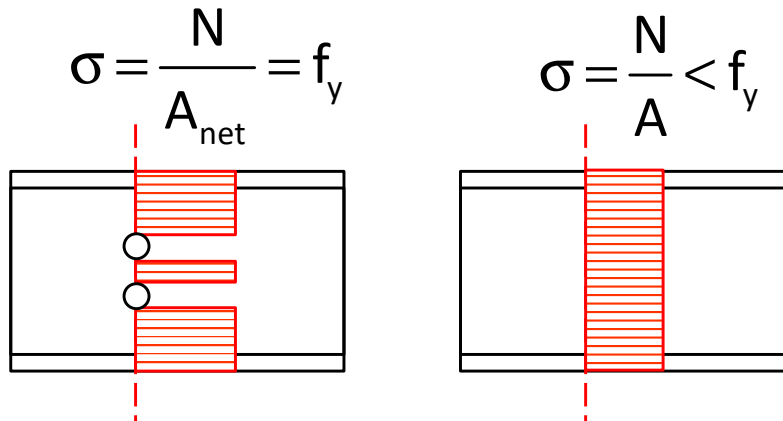
Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Spesso si usano bulloni per collegare le aste e questo richiede che vengano effettuati fori nelle aste



- Aumentando N si raggiunge lo snervamento in corrispondenza ai fori quando la sezione non forata è lontana dallo snervamento

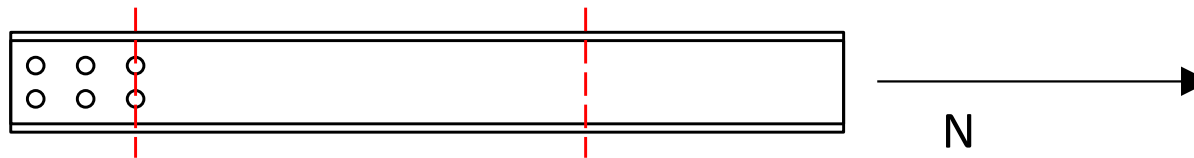


La sezione forata
si snerva

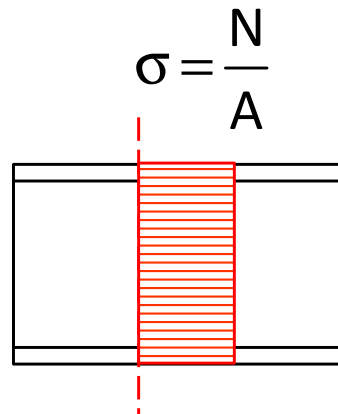
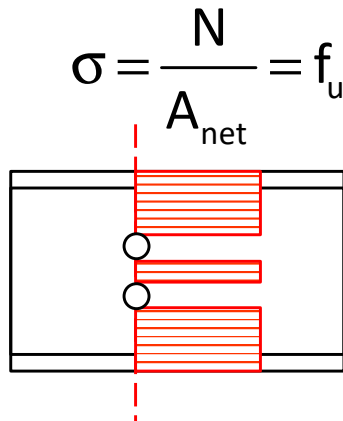
Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Spesso si usano bulloni per collegare le aste e questo richiede che vengano effettuati fori nelle aste



- Si può aumentare ulteriormente N fino a raggiungere la rottura in corrispondenza dei fori

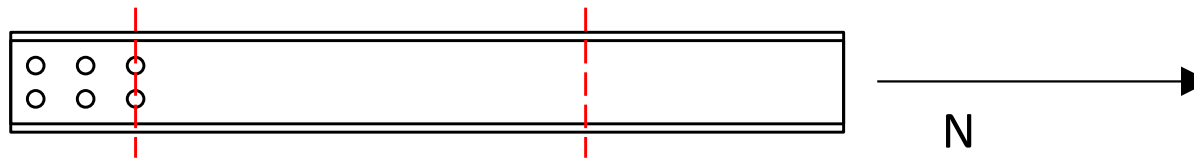


La sezione forata
si rompe

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Si accetta che la sezione forata possa andare oltre lo snervamento, purché non si raggiunga la rottura



- Sezione forata

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = A_{net} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

0.9 f_u perché in realtà la tensione non è costante ed il valore massimo è maggiore del valore medio

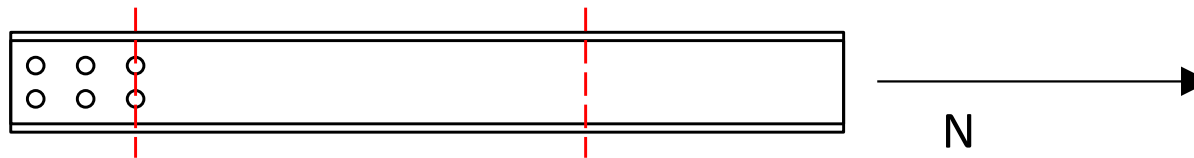
- Sezione standard

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Si accetta che la sezione forata possa andare oltre lo snervamento, purché non si raggiunga la rottura



- Sezione forata

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = A_{net} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}}$$

- Sezione standard

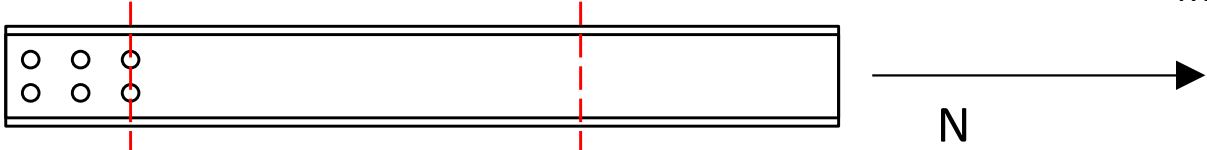
$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Si devono effettuare entrambi i controlli
 - Cosa cambia in funzione di quale dei due è condizionante?

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Si devono effettuare entrambi i controlli

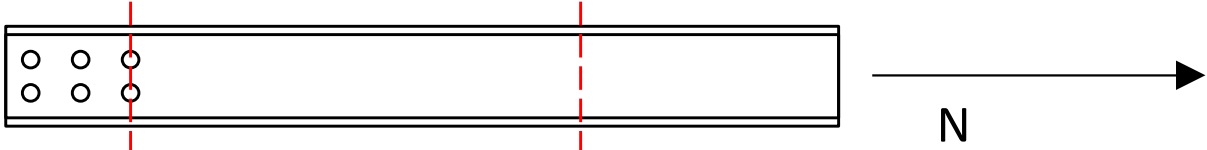
$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = A_{net} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} \qquad N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$


- Se $N_{u,Rd}$ è minore di $N_{pl,Rd}$
 - La sezione forata si rompe quando tutto il resto dell'asta è ancora in campo elastico
La rottura è improvvisa, senza preavviso
Comportamento fragile
- Se $N_{u,Rd}$ è maggiore di $N_{pl,Rd}$
 - Tutte le sezioni dell'asta si snervano prima che la sezione forata arrivi a rottura
Si ha un preavviso e quindi si può intervenire
Comportamento duttile

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori

- Si devono effettuare entrambi i controlli

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = A_{net} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} \quad N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$


- È opportuno che sia $N_{u,Rd} > N_{pl,Rd}$

- Questo avviene se

$$A_{net} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} > A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \frac{A_{net}}{A} > \frac{f_y / \gamma_{M0}}{0.9 f_u / \gamma_{M2}}$$

Questo rapporto vale

Per S235: 0.863

Per S275: 0.846

Per S355: 0.921

Diapositiva 32

AG1

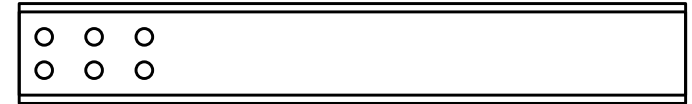
Aurelio Gherzi; 14/10/2020

Verifica allo SLU

di un'asta tesa in acciaio con fori

- Esempio

- Si consideri un'asta tesa soggetta a $N_{Ed} = 800$ kN
- L'asta è realizzata con una coppia di profili UPN 140 in acciaio S275
- I fori sono di diametro $d_0 = 21$ mm



Per un profilo UPN 140 si ha $A = 20.40 \times 10^2 \text{ mm}^2$ e $t_w = 7 \text{ mm}$

L'area netta di un profilo è

$$\begin{aligned} A_{\text{net}} &= A - 2 d_0 t_w = \\ &= 20.40 \times 10^2 - 2 \times 21 \times 7 = 17.46 \times 10^2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{u,Rd} &= A_{\text{net}} \frac{0.9 f_u}{\gamma_{M2}} = \\ &= 2 \times 17.46 \times 10^2 \times \frac{0.9 \times 430}{1.25} \times 10^{-3} = \\ &= 1081.1 \text{ kN} \end{aligned}$$

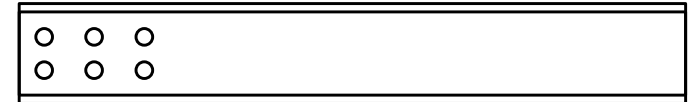
$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \\ &= 2 \times 20.40 \times 10^2 \times \frac{275}{1.05} \times 10^{-3} = \\ &= 1068.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Verifica allo SLU

di un'asta tesa in acciaio con fori

- Esempio

- Si consideri un'asta tesa soggetta a $N_{Ed} = 800$ kN
- L'asta è realizzata con una coppia di profili UPN 140 in acciaio S275
- I fori sono di diametro $d_0 = 21$ mm



$$N_{u,Rd} = 1081.1 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = 1068.6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \min(N_{u,Rd}; N_{pl,Rd}) = 1068.6 \text{ kN}$$

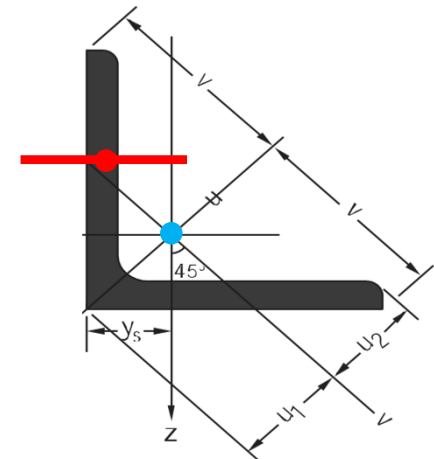
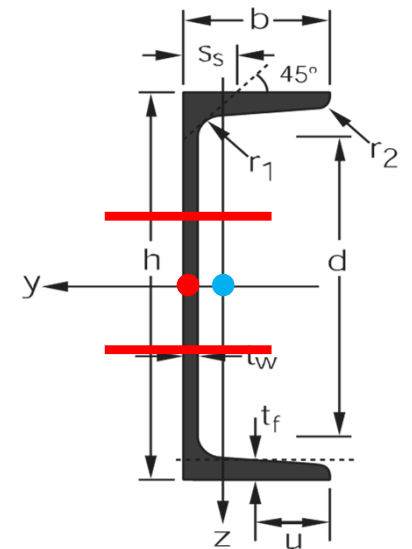
La sezione è verificata perché $N_{Ed} < N_{Rd}$

Il comportamento è duttile perché $N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori – aspetti particolari

- Per una coppia di U il baricentro della sezione coincide col baricentro dei fori
- Per un singolo profilo a U il baricentro (blu) è spostato rispetto ai fori (in rosso asse fori)
- Lo stesso avviene per una coppia di L
- Per un singolo L il baricentro è spostato con doppia eccentricità rispetto ai fori



Nasce tensoflessione

Asta soggetta a trazione

se vi sono dei fori – aspetti particolari

- In presenza di eccentricità tra asse dell'asta e asse dei fori si avrebbe tensoflessione nella zona in prossimità ai fori
- In generale, le normative consentono di verificare comunque la sezione a sforzo normale centrato, con una penalizzazione della resistenza
- L'Eurocodice 3, parte 1.8, punto 3.10.3 impone una penalizzazione solo nel caso di un L singolo
- La resistenza ultima della sezione forata è in tal caso calcolata come

- Se si hanno 2 bulloni

$$N_{u,Rd} = A_{net} \frac{\beta_2 f_u}{\gamma_{M2}}$$

In funzione del rapporto tra
distanza fori e diametro fori

$$\beta_2 = 0.4 \div 0.7$$

- Se si hanno almeno 3 bulloni

$$N_{u,Rd} = A_{net} \frac{\beta_3 f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\beta_3 = 0.5 \div 0.7$$