

LEZIONE N° 13: GIOVEDÌ 22/10/2009

LA VERIFICA ALLO SLU DELLE TRAVI DI ACCIAIO

Identificata la classe cui appartiene l'asta, la modalità di verifica dell'asta dipende dalla classe del profilato.

Se il profilato appartiene alle classi 1 o 2, si può adottare il metodo plastico altrimenti, se il profilato appartiene alle classi 3 o 4, si deve necessariamente adottare il metodo elastico.

Nel caso della classe 4 si deve tener conto anche della riduzione della sezione per effetto dei fenomeni di instabilità locale e si deve cioè considerare una opportuna sezione efficace A_{eff} .

Tipicamente alla classe quattro appartengono i profili piegati a freddo, ma anche alcune sezioni laminate possono farne parte, se di spessore sottile.

a) VERIFICA A TRAZIONE

La verifica a trazione si esegue in campo plastico per tutte le classi (in quanto l'instabilità locale della classe 4 non si può verificare nella trazione semplice) e consiste nel controllare che sia:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

in cui N_{Ed} è la forza di trazione di calcolo

e $N_{t,Rd}$ è la resistenza di calcolo a trazione, che deve essere assunta pari al minore dei seguenti valori:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad (\text{resistenza plastica della sezione lorda})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \quad (\text{resistenza a rottura della sezione netta})$$

in cui A_{net} è l'area netta (depurata dai fori), $\gamma_{M0} = 1.05$ e $\gamma_{M2} = 1.25$.

f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento e f_{tk} è la tensione caratteristica a rottura.

b) VERIFICA A COMPRESSIONE

La verifica a compressione si esegue anch'essa in campo plastico per tutte le classi e consiste nel controllare che sia:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

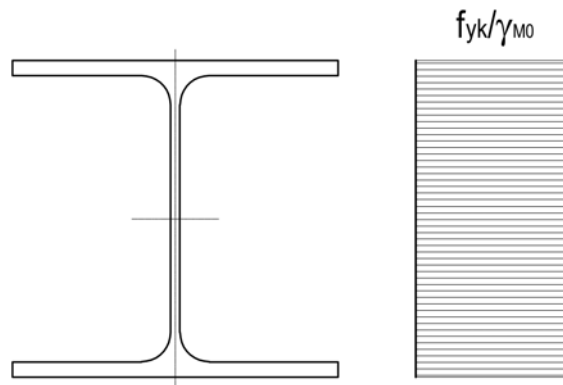
in cui N_{Ed} è la forza di compressione di calcolo

e $N_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a compressione, che vale:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1, 2 e 3}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 4}$$

L'andamento delle tensioni sulla sezione è il seguente:



Non è necessario dedurre l'area dei fori per i collegamenti bullonati, se i bulloni sono inseriti nei fori, poiché si suppone che le deformazioni plastiche allo SLU siano così grandi da chiudere il gioco tra fori e bulloni.

c) VERIFICA A FLESSIONE RETTA

La verifica a flessione retta consiste nel controllare che sia:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

in cui M_{Ed} è il momento flettente di calcolo

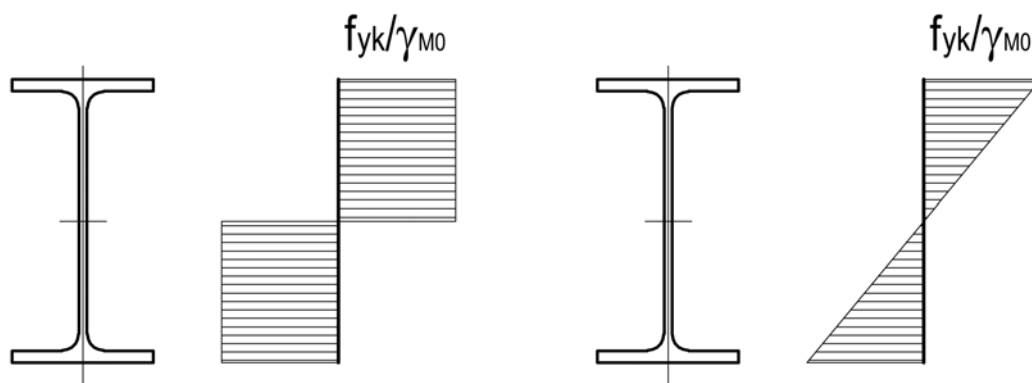
e $N_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a flessione retta che si valuta tenendo anche conto della presenza di eventuali fori in zona tesa per collegamenti bullonati, e vale:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 4}$$

L'andamento delle tensioni nella sezione è riportato nella figura seguente, la parte di sinistra si riferisce alle sezione di classe 1 e 2, la seconda a quelle di classe 3.



A titolo di esempio nel caso di profili IPE 200 il rapporto tra il modulo di resistenza plastico e quello elastico vale $\frac{W_{pl}}{W_{el}} = \frac{220,6}{194,3} = 1,135$ e quindi di tale ordine di grandezza è il vantaggio

nell'utilizzare l'analisi rigido-plastica rispetto a quella lineare con snervamento ai lembi estremi della sezione.

E' evidente che la sensibile differenza incoraggia ad utilizzare la prima procedura, finché possibile.

Negli elementi inflessi caratterizzati da giunti strutturali bullonati, la presenza dei fori nelle piattabande dei profili può essere trascurata nel calcolo del momento resistente se è verificata la relazione:

$$\frac{0,9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

dove A_f è l'area lorda della piattabanda, $A_{f,net}$ è l'area della piattabanda al netto dei fori.

d) VERIFICA A TAGLIO

La verifica a taglio non risente della classificazione delle sezioni e consiste nel controllare che sia:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

in cui V_{Ed} è la forza di taglio di calcolo

e $V_{c,Rd}$ è la resistenza di calcolo a taglio, che, in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A sua volta A_v , l'area resistente a taglio, vale:

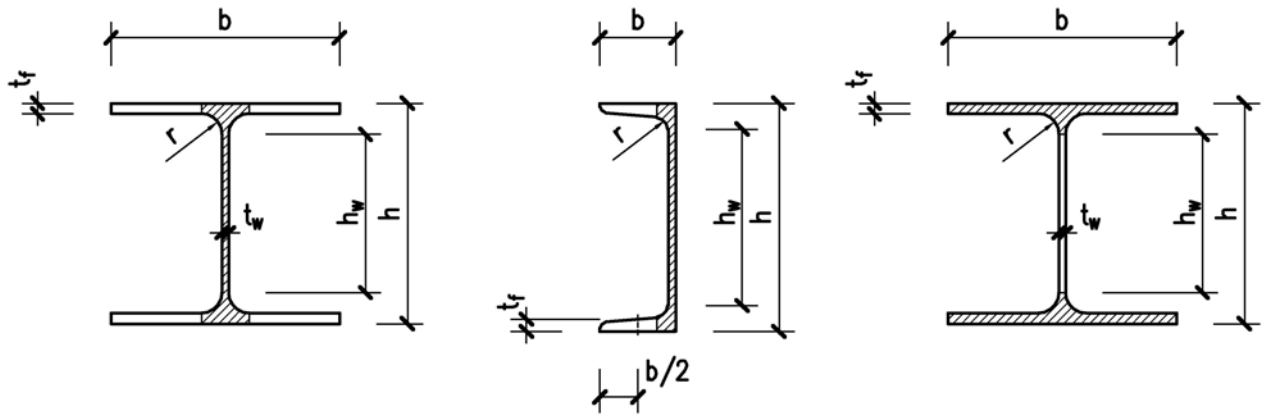
Tipo profilato	Area a taglio
profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima	$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$
profilati a C o ad U caricati nel piano dell'anima	$A_v = A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$
profilati ad I e ad H caricati nel piano delle ali	$A_v = A - \sum(h_w t_w)$
profilati a T caricati nel piano dell'anima	$A_v = 0,9(A - 2bt_f)$
profili rettangolari cavi laminati a caldo di spessore uniforme	$A_v = Ah/(b+h)$ *
“	$A_v = Ab/(b+h)$ **
sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme	$A_v = 2A/\pi$

Note

* Carico parallelo all'altezza del profilo

** Carico parallelo alla base del profilo

dove: A è l'area lorda della sezione del profilo,
 b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave,
 h_w è l'altezza dell'anima,
 h è l'altezza delle sezioni cave,
 r è il raggio di raccordo tra anima ed ala,
 t_f è lo spessore delle ali,
 t_w è lo spessore dell'anima.



Area resistente a taglio A_v di alcuni profili di tipologia ricorrente.

In presenza di torsione, la resistenza a taglio del profilo deve essere opportunamente ridotta.

Per le sezioni ad I o H la resistenza a taglio ridotta è data dalla formula

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})}}$$

dove $\tau_{t,Ed}$ è la tensione tangenziale massima dovuta alla torsione uniforme. Per sezioni cave, invece, la formula è

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \right]$$

La verifica a taglio della sezione può anche essere condotta in termini tensionali (verifica elastica) nel punto più sollecitato della sezione trasversale utilizzando la formula

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \leq 1,0$$

dove τ_{Ed} è valutata in campo elastico lineare.

e) VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO

Se il taglio di calcolo V_{Ed} è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$

$$V_{Ed} \leq 0,5V_{c,Rd}$$

si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione, eccetto nei casi in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza a flessione della sezione.

Se il taglio di calcolo V_{Ed} è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Posto

$$\rho = \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

la resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio A_v la tensione di snervamento ridotta $(1 - \rho) f_{yk}$.

Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a flessione e taglio nel piano dell'anima, la corrispondente resistenza convenzionale di calcolo a flessione retta può essere valutata come:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4t_w} \right] f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left[W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4t_w} \right] \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \leq M_{y,c,Rd}$$

f) VERIFICA A PRESSO O TENSO FLESSIONE RETTA

Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso flessione nel piano dell'anima, la corrispondente resistenza convenzionale di calcolo a flessione retta può essere valutata come:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a) \leq M_{pl,y,Rd}$$

Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso flessione nel piano delle ali, la corrispondente resistenza convenzionale di calcolo a flessione retta può essere valutata come:

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad \text{per } n \leq a$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad \text{per } n > a$$

essendo:

$M_{pl,y,Rd}$ il momento resistente plastico a flessione semplice nel piano dell'anima,

$M_{pl,z,Rd}$ il momento resistente plastico a flessione semplice nel piano delle ali,

e posto:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A - 2bt_f) / A \leq 0,5$$

dove: A è l'area lorda della sezione,

b è la larghezza delle ali,

t_f è lo spessore delle ali.

Per sezioni generiche di classe 1 e 2 la verifica si conduce controllando che il momento di progetto sia minore del momento plastico di progetto, ridotto per effetto dello sforzo normale di progetto, $M_{N,y,Rd}$.

g) VERIFICA A PRESSO O TENSO FLESSIONE BIASSIALE

Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso flessione biassiale, la condizione di resistenza può essere valutata come:

$$\left(\frac{M_{y,Rd}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Rd}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

con $n \geq 0,2$ essendo $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$. Nel caso in cui $n < 0,2$, e comunque per sezioni generiche di classe 1 e 2, la verifica può essere condotta cautelativamente controllando che sia:

$$\left(\frac{M_{y,Rd}}{M_{N,y,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{z,Rd}}{M_{N,z,Rd}} \right) \leq 1$$

Per le sezioni di classe 3, in assenza di azioni di taglio, la verifica a presso o tenso-flessione retta o biassiale è condotta in termini tensionali utilizzando le verifiche elastiche; la tensione agente è calcolata considerando la eventuale presenza dei fori.

Per le sezioni di classe 4, le verifiche devono essere condotte con riferimento alla resistenza elastica (verifica tensionale); si possono utilizzare le proprietà geometriche efficaci della sezione trasversale considerando la eventuale presenza dei fori.