

[Clic per tutti gli appunti](#) (AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI...)



[e-mail per suggerimenti](#)

[Clic qui](#)– PRIMA PAGINA APPUNTI ACCIAIO

2.5.3.6- Verifica a taglio

Si indica con V_{Ed} il valore dell'azione tagliante di calcolo (progetto).

Sia $V_{c,Rd}$ la resistenza di calcolo al taglio.

Per la verifica deve risultare:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} < 1 \quad (2.5.57)$$

Per le verifiche nel campo elastico, valide per tutti i tipi di sezione, nei riguardi della tensioni si ammette il criterio di verifica riportato nel punto 4.2.4.1.2 del DM2008, norme NTC, già trattato in un capitolo precedente.

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \cdot \sigma_{x,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \leq \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right)^2$$

Nel caso di sola tensione a taglio si ha:

$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = 0$$

risulta:

$$3 \cdot \tau_{Ed}^2 \leq \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \right)^2 \quad \text{da cui:}$$

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad (2.5.58)$$

dove l'espressione al secondo membro della (2.5.58) rappresenta la tensione resistente τ_{Rd} a cui va confrontata la tensione di progetto τ_{Ed}

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \quad (2.5.59)$$

Indicando con A_v l'area resistente al taglio tipica del profilo, la resistenza $V_{c,Rd}$ è:

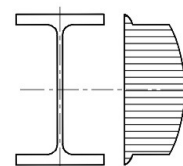
$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \tau_{Rd}$$

sostituendo la (2.5.58):

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad (2.5.60)$$

Rammentiamo che la tensione a taglio, nel campo elastico, in un punto della sezione è data dall'espressione:

Fig.2.67



$$\tau = \frac{V \cdot S}{J \cdot b} \quad (2.5.60)$$

dove:

- V sforzo di taglio;
- S momento statico, rispetto all'asse neutro, della porzione sezione al disopra o al disotto dell'asse neutro;
- J momento d'inerzia assiale dell'intera sezione rispetto all'asse neutro;
- b corda della sezione passante per il punto ove si deve determinare la tensione di taglio τ .

Dalla espressione (2.5.60) si osserva che dove la sezione è più stretta (b minore), si ha una tensione di taglio maggiore.

Ne deriva che in un profilato a I o H il taglio è assorbito quasi interamente dall'anima del profilato. Le ali offrono uno scarso contributo alla resistenza al taglio.

Ciò premesso vengono qui di seguito riportate le sezioni resistenti dei principali profilati, indicate nella normativa NTC, DM 2008.

a- *Sezione dei profilati I e H caricati nel piano dell'anima*

L'area resistente A_v è composta dalla sezione lorda A a cui è tolta l'area delle ali e sommato il contributo dato da queste:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \quad (2.5.61)$$

dove:

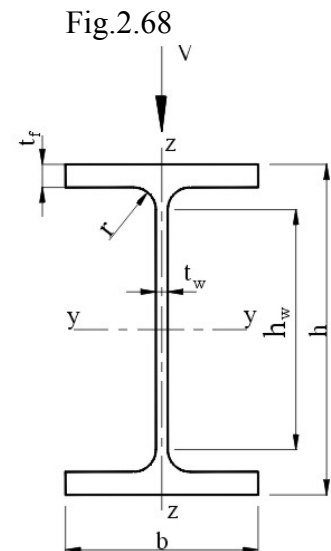
- A area lorda della sezione del profilato;
- b larghezza della ali;
- t_f spessore delle ali;
- t_w spessore dell'anima;
- r raggio di raccordo tra ala e anima.

Con approssimazione, a favore della sicurezza si può porre:

$$A_v = 1,04 \cdot h t_w$$

oppure, trascurando il contributo della ali, si assume:

$$A_v = h_w \cdot t_w$$



b- *Sezione dei profilati C o ad U caricati nel piano dell'anima*

Come per i profilati I o H, le ali offrono un piccolo contributo all'area resistente.

$$A_v = A - 2 \cdot b t_f + (t_w + r) \cdot t_f \quad (2.5.62)$$

dove:

A area lorda della sezione del profilato;

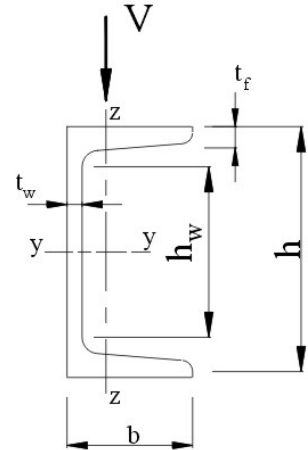
b larghezza della ali;

t_f spessore delle ali;

t_w spessore dell'anima;

r raggio di raccordo tra ala e anima.

Fig.2.69



c- *Sezione I e H caricati nel piano delle ali*

In questo caso il contributo all'area di resistenza al taglio si considera fornito solamente dalle ali.

$$A_v = A - \sum h_w \cdot t_w \quad (2.5.63)$$

dove:

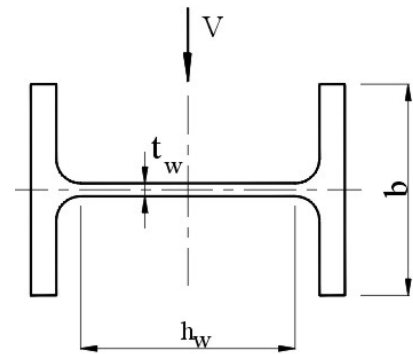
A area lorda della sezione del profilato;

h_w lunghezza di ciascuna anima;

t_w spessore di ciascuna anima;

r raggio di raccordo tra ala e anima.

Fig.2.70



d- *Sezione profilati a T caricati nel piano dell'anima*

Si può assumere come sezione resistente

$$A_v = 0,9 \cdot (A - b \cdot t_f) \quad (2.5.64)$$

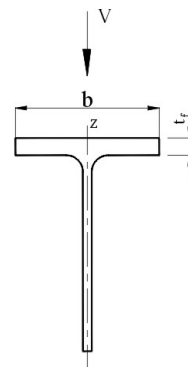
dove:

A area lorda della sezione del profilato;

b larghezza della ali;

t_f spessore delle ali;

Fig.2.71



e- *Profilati rettangolari cavi “profilati a caldo” di spessore uniforme*

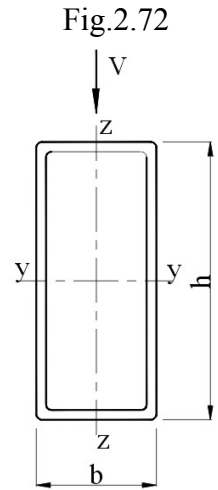
Si distinguono.

Con carico parallelo all’altezza del profilato:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} \quad (2.5.65)$$

dove:

A area lorda della sezione del profilato;
 b larghezza della sezione cava
 h altezza della sezione cava

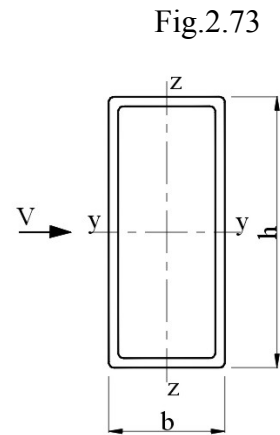


Con carico parallelo all’altezza del profilato:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} \quad (2.5.66)$$

dove:

A area lorda della sezione del profilato;
 b larghezza della sezione cava;
 h altezza della sezione cava.



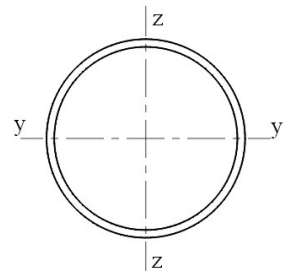
f- *Sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme.*

Fig.2.74

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} \quad (2.5.67)$$

dove:

A area lorda della sezione del profilato



2.5.3.7- Verifica a taglio e torsione

La verifica può essere condotta in termini di tensioni: punto 4.2.4.1.2.

Determinato nel campo elastico la tensione risultante di progetto τ_{Ed} , nel punto più sollecitato della sezione, per la verifica, secondo la (2.5.58), deve risultare:

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad \text{ovvero:}$$

$$\frac{\tau_{Ed}}{\frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} \leq 1 \quad (2.5.68)$$

Un altro modo di eseguire la verifica in presenza delle due sollecitazioni di taglio e torsione è indicato nella normativa NTC.

In una sollecitazione a taglio, con presenza di torsione, si esegue una verifica al solo taglio, riducendo la sua resistenza in funzione dell'entità del valore della tensione tangenziale $\tau_{t,Ed}$ di torsione, (resistenza ridotta).

Si distinguono:

Sezioni I, H

La tensione resistenza è ridotta attraverso il rapporto tra la tensione di torsione $\tau_{t,Ed}$ e

la tensione resistente al taglio $\tau_{Rd} = \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$:

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}}} \quad (2.5.69)$$

dove:

$V_{c,Rd,red}$ Resistenza ridotta a taglio per effetto della torsione;

$V_{c,Rd}$ resistenza a taglio del profilato;

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

$\tau_{t,Ed}$ tensione tangenziale massima dovuta alla torsione uniforme.

Deve risultare:

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

Sezioni cave

Per le sezioni cave la resistenza ridotta a taglio è data dalla formula:

$$V_{c,Rd,red} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{\frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} \right] \cdot V_{c,Rd} \quad (2.5.70)$$

con lo stesso significato simbolico.

verifica.

Deve risultare:

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

2.5.3.8- Verifica a flessione e taglio

In generale, nei casi pratici, la sollecitazione di flessione risulta maggioritaria rispetto a quella del taglio.

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

$$V_{Ed} \leq \frac{1}{2} V_{c,Rd} \quad (2.5.71)$$

allora si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione della sezione, ad eccezione nel caso in cui il taglio determina una instabilità laterale.

Se la condizione (2.5.71) non è soddisfatta, e il taglio di calcolo V_{Ed} è superiore alla metà della resistenza di calcolo a taglio, allora si può considerare l'influenza della sollecitazione a taglio nella combinazione con quella di flessione, *eseguendo una verifica a sola flessione con una riduzione della tensione di snervamento*, in modo da assumere un momento resistente $M_{c,Rd}$ ridotto rispetto a quello che si avrebbe in una sollecitazione a semplice flessione, senza taglio.

La tensione di snervamento ridotta f'_{yk} è:

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk}$$

dove ρ è dato dall'espressione:

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

Si esegue poi la verificata a flessione con il metodo dipendente della classe di appartenenza della sezione. Così con y asse neutro si ha:

Classe 1,2	$M_{y,V,Rd} = \frac{(1 - \rho) \cdot f_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}$	$W_{y,pl} = 2 \cdot S_y$
Classe 3	$M_{y,V,Rd} = \frac{(1 - \rho) \cdot f_{yk} \cdot W_{y,el}}{\gamma_{M0}}$	$W_{y,el} = \frac{J_y}{z_{max}}$
Classe 4	$M_{y,V,Rd} = \frac{(1 - \rho) \cdot f_{yk} \cdot W_{y,el,eff}}{\gamma_{M0}}$	$W_{el} = \frac{J_{y,eff}}{z_{max}}$

Verifiche

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

Per le sezioni a I e H di classe 1,2 doppiamente simmetriche, soggette a flessione e taglio nel piano dell'anima, l'influenza del taglio può essere valutato riducendo il momento resistente di calcolo a flessione $M_{c,Rd}$ attraverso la riduzione del modulo di resistenza plastico W_{pl} , ponendo:

$$W'_{y,pl} = W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 t_w}$$

dove:

A_v area della sezione resistente al taglio
 t_w spessore dell'anima

con

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

Il momento resistente convenzionale di calcolo a flessione nel piano dell'anima è quindi espresso da:

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

Verifica

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,Rd}} \leq 1$$

inoltre deve risultare ovviamente:

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

il momento resistente ridotto inferiore a quello con sola sollecitazione a flessione

Esempio (1°) di verifica a flessione e taglio

Su una trave di una mensola vi sono i seguenti carichi distribuiti:

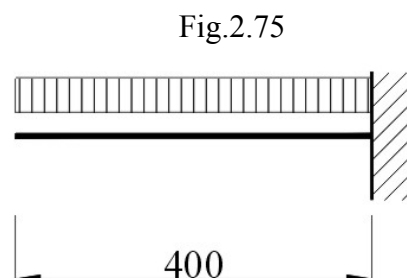
peso proprio $g_k = 80 \text{ kN/m}$

peso accidentale $q_k = 90 \text{ kN/m}$

Progettare la trave agli stati limite SLU di resistenza (STR) strutturali.

Materiale S 275 $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$

-----o-----



La combinazione delle azioni per gli stati limite ultimi SLU determina il carico distribuito di progetto p_d :

$$p_d = \gamma_{G1} \cdot g_k + \gamma_{Q1} \cdot q_k$$

Dalla tabella 2.6.I

Tabella 2.6.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nella verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A_1 STR	A_2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

si ha:

$$\gamma_{G1} = 1,3$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5$$

risulta:

$$p_d = 1,3 \cdot 80 + 1,5 \cdot 90$$

$$p_d = 239 \text{ kN} / \text{m}$$

Taglio di calcolo nella sezione più sollecitata

$$V_{Ed} = p_d \cdot l$$

$$V_{Ed} = 239 \cdot 0,4$$

$$V_{Ed} = 95,6 \text{ kN} \quad (1.e)$$

Momento di calcolo nella sezione più sollecitata

$$M_{Ed} = \frac{p_d \cdot l^2}{2}$$

$$M_{Ed} = \frac{239 \cdot 0,4^2}{2}$$

$$M_{Ed} = 19,12 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (2.e)$$

Occorre scegliere un profilato capace di resistere alla combinazione delle sollecitazioni di flessione e taglio.

Il calcolo è iterativo. Comunque, per una scelta orientativa, si può considerare la sola sollecitazione di flessione su un profilato IPE (che risulta della classe 1,2), calcolando un momento resistente con una tensione di snervamento di calcolo ridotta $f'_{yk} < 275$

Deve risultare:

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

consideriamo il limite

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

$$M_{c,Rd} = M_{Ed} \quad (3.e)$$

con:

$$M_{c,Rd} = \frac{f'_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}} \quad (4.e)$$

Consideriamo una tensione di snervamento di calcolo ridotta per tener conto della sollecitazione a taglio:

poniamo:

$$f'_{yk} = \frac{2}{3} \cdot f_{yk}$$

$$f'_{yk} = \frac{2}{3} \cdot 275$$

$$f'_{yk} = 183,3 \text{ N} / \text{mm}^2$$

sostituendo la (4.e) nella (3.e)

$$\frac{f'_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = M_{Ed} \quad (5.e)$$

con

$$W_{y,pl} = 2 \cdot S_y$$

$$\frac{f'_{yk} \cdot 2 S_y}{\gamma_{M0}} = M_{Ed} \quad S_y = \frac{M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 f'_{yk}} \quad S_y = \frac{19,12 \cdot 10^6 \cdot 1,05}{2 \cdot 183,3}$$

$$S_y = 54762 \text{ mm}^3 \quad S_y = 54,76 \text{ cm}^3 \quad W_{y,pl} = 2 \cdot S_y$$

$$W_{y,pl} = 109,5 \text{ cm}^3 \quad (6.e)$$

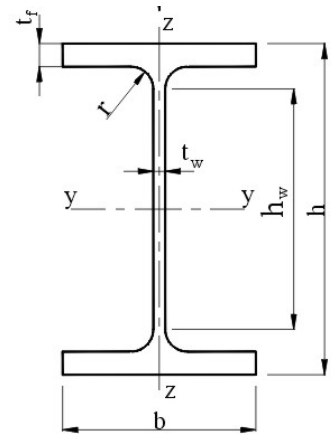
Dalla (5.e) si può determinare direttamente $W_{y,pl}$ da confrontare con i valori dei profilati riportati nei prontuari aggiornati ([prontuario Hoepli](#))

Il profilato IPE con S_y ($W_{y,pl}$) più vicino per eccesso è IPE 160.

Ora eseguiamo la verifica a flessione e taglio con tale profilato.

Profilato IPE 160

$$\begin{aligned} h &= 160 \text{ mm} & A &= 20,1 \text{ cm}^2 \\ b &= 82 \text{ mm} & S_y &= 61,9 \text{ cm}^3 \\ t_f &= 7,4 \text{ mm} & W_{pl} &= 123,8 \text{ cm}^2 \\ t_w &= 5 \text{ mm} & r &= 9 \text{ mm} \end{aligned}$$



Modulo di resistenza plastico

$$W_{y,pl} = 2 \cdot S_y \quad W_{y,pl} = 2 \cdot 61,9$$

$$W_{y,pl} = 123,8 \text{ cm}^3 \quad (W_{y,pl} = 123,9 \text{ cm}^3 \text{ nel prontuario indicato})$$

Area resistente al taglio

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

sostituendo:

$$A_v = 2010 - 2 \cdot 82 \cdot 7,4 + (5 + 2 \cdot 9) \cdot 7,4$$

$$A_v = 967 \text{ mm}^2$$

Resistenza di calcolo al taglio $V_{c,Rd}$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{967 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 164220 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 146,2 \text{ kN}$$

La sollecitazione al taglio va presa in considerazione se il valore dell'azione tagliante di calcolo V_{Ed} supera la metà della resistenza di calcolo al taglio $V_{c,Rd}$. È trascurabile se:

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

nel caso in esame è:

$$V_{Ed} = 95,6 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{c,Rd} = 0,5 \cdot 146,2 = 73,1 \text{ kN}$$

risulta:

$$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{c,Rd}$$

Nella verifica in oggetto, oltre alla sollecitazione di flessione, occorre considerare anche il contributo offerto dalla sollecitazione a taglio.

Secondo la normativa NTC per la resistenza a flessione e taglio, in generale, si può considerare una flessione equivalente di calcolo con una tensione di snervamento ridotta:

$$f'_{yk} = (1 - \rho) \cdot f_{yk}$$

con

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

$$\rho = \left[\frac{2 \cdot 95,6}{146,2} - 1 \right]^2$$

$$\rho = 0,095$$

$$f'_{yk} = (1 - 0,095) \cdot 275$$

$$f'_{yk} = 248,6 \text{ N/mm}^2 \quad (6.e)$$

Classe della sezione IPE 160

La sezione di IPE 160 è di classe 1. Per esercizio è qui di seguito determinata.

$$C = 127,2 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

Classificazione anima, Tabella 4.2.1

Sollecitazione flessione retta

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{275}}$$

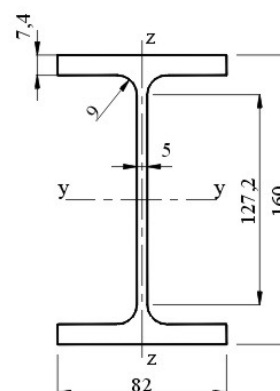
$$\varepsilon = 0,92$$

Classe I

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot 0,92$$

$$\frac{c}{t} \leq 66,1$$



$$\begin{array}{llll} \text{Classe 2} & \frac{c}{t} \leq 83 \cdot \varepsilon & \frac{c}{t} \leq 83 \cdot 0,92 & \frac{c}{t} \leq 76,36 \end{array}$$

Nel caso in esame risulta:

$$\frac{c}{t} = \frac{127,2}{5} \qquad \frac{c}{t} = 25,5$$

l'anima del profilato IPE 160 è di classe 1

Classificazione delle ali, Tabella 4.2.II

La lunghezza "C" è data da metà ala, depurata del raccordo e della metà dello spessore dell'anima:

$$\begin{aligned} C &= \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r & C &= \frac{82}{2} - \frac{5}{2} - 9 \\ C &= 29,5 \text{ mm} \\ t &= 7,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{llll} \text{Classe 1} & \frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon & \frac{c}{t} \leq 9 \cdot 0,92 & \frac{c}{t} \leq 8,29 \\ \text{Classe 2} & \frac{c}{t} \leq 10 \cdot \varepsilon & \frac{c}{t} \leq 10 \cdot 0,92 & \frac{c}{t} \leq 9,2 \end{array}$$

Per IPE 160 si ha:

$$\frac{c}{t} = \frac{29,5}{7,4} = 3,98$$

L'ala del profilato IPE 160 è di classe 1.

Si conclude che la sezione del profilato IPE 160 è di classe 1

La verifica può essere eseguita con il metodo plastico

Momento resistente di calcolo:

$$M_{c,V,Rd} = \frac{f'_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}$$

con:

$$\begin{array}{ll} f'_{yk} = 248,6 \text{ N/mm}^2 & \text{tensione di snervamento di calcolo ridotta (6.e)} \\ W_{y,pl} = 123,8 \text{ cm}^3 & \text{modulo di resistenza plastico} \end{array}$$

$$M_{y,V,Rd} = \frac{123,8 \cdot 10^3 \cdot 248,6}{1,05}$$

$$M_{y,V,Rd} = 293,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verifica

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{239}{293} < 1$$

La verifica è soddisfatta

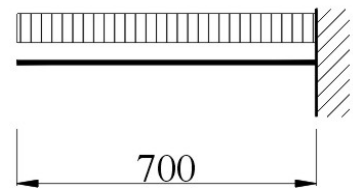
Esempio (2°) di verifica a flessione e taglio (secondo metodo)

Fig.2.78

Su una trave di una mensola vi sono i seguenti carichi distribuiti:

peso proprio $g_k = 25 \text{ kN/m}$

peso accidentale $q_k = 35 \text{ kN/m}$



progettare la trave agli stati limite SLU di resistenza (STR) strutturali.

Materiale S 275 $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$

-----0-----

La combinazione delle azioni per gli stati limite ultimi SLU determina il carico distribuito di progetto p_d :

$$p_d = \gamma_{G1} \cdot g_k + \gamma_{Q1} \cdot q_k$$

si ha:

$$\gamma_{G1} = 1,3$$

$$\gamma_{Q1} = 1,5$$

risulta:

$$p_d = 1,3 \cdot 25 + 1,5 \cdot 35$$

$$p_d = 85 \text{ kN/m}$$

Taglio di calcolo nella sezione più sollecitata

$$V_{Ed} = p_d \cdot l$$

$$V_{Ed} = 85 \cdot 0,7$$

$$V_{Ed} = 59,5 \text{ kN} \quad (1.e')$$

Momento di calcolo nella sezione più sollecitata

$$M_{Ed} = \frac{p_d \cdot l^2}{2}$$

$$M_{Ed} = \frac{85 \cdot 0,7^2}{2}$$

$$M_{Ed} = 20,8 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (2.e')$$

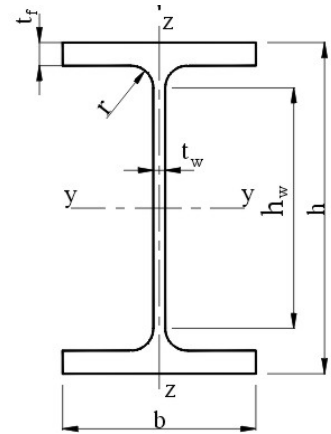
Con calcolo iterativo si procede per tentativi

Si prova con profilato IPE 140

Ora eseguiamo la verifica a flessione e taglio con tale profilato.

Profilato IPE 140

$$\begin{aligned} h &= 140 \text{ mm} & A &= 16,4 \text{ cm}^2 \\ b &= 73 \text{ mm} & S_y &= 44,2 \text{ cm}^3 \\ t_f &= 6,9 \text{ mm} & W_{y,pl} &= 88,4 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 4,7 \text{ mm} & r &= 9 \text{ mm} \end{aligned}$$



Modulo di resistenza plastico

$$W_{y,pl} = 2 \cdot S_y \quad W_{y,pl} = 2 \cdot 61,9$$

$$W_{y,pl} = 88,4 \text{ cm}^3 \quad (W_{y,pl} = 88,34 \text{ cm}^3 \text{ nel prontuario indicato})$$

Area resistente al taglio

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

sostituendo:

$$A_v = 1604 - 2 \cdot 73 \cdot 6,9 + (7,7 + 2 \cdot 7) \cdot 6,9$$

$$A_v = 761 \text{ mm}^2$$

Resistenza di calcolo al taglio $V_{c,Rd}$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad V_{c,Rd} = \frac{761 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1,05}$$

$$V_{c,Rd} = 115071 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = 115 \text{ kN} \quad (3.e')$$

La sollecitazione al taglio va presa in considerazione se il valore dell'azione tagliante di calcolo V_{Ed} supera la metà della resistenza di calcolo al taglio $V_{c,Rd}$. È trascurabile se:

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

nel caso in esame è:

$$V_{Ed} = 59,5 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{c,Rd} = 0,5 \cdot 115 = 57,7 \text{ kN}$$

risulta:

$$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{c,Rd}$$

Nella verifica a flessione e taglio occorre considerare anche il contributo offerto alla sollecitazione dal taglio.

Il profilato IPE 140 è di classe 1 (il lettore lo può verificare per esercizio)

La verifica di resistenza alla sollecitazione combinata di flessione e taglio può essere condotta considerando la sola sollecitazione di flessione, con un momento resistente convenzionale ridotto, ottenuto riducendo il modulo di resistenza plastico $W_{y,pl}$

$$M_{y,V,Rd} = \left[W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 t_w} \right] \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad (4.e')$$

con

$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2 \quad \rho = \left[\frac{2 \cdot 59,5}{115} - 1 \right]^2$$

$$\rho = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

sostituendo nella (4,e')

$$M_{y,V,Rd} = \left[88400 - \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 761^2}{4 \cdot 4,7} \right] \cdot \frac{275}{1,05}$$

$$M_{y,V,Rd} = 23142700 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y,V,Rd} = 23,1 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (5,e')$$

concludendo si ha:

$$\text{Momento di calcolo} \quad M_{Ed} = 20,8 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (2.e')$$

$$\text{Momento resistente} \quad M_{y,V,Rd} = 23,1 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (5,e')$$

Verifica

Confrontando la (2,e') con la (5,e') si ha:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,Rd}} = \frac{20,8}{23,1} < 1$$

la verifica è soddisfatta

2.5.3.9- Verifica a presso o tenso flessione

Si è nell'ipotesi che l'asta, nel caso di compressione non abbia instabilità laterale e sia $\bar{\lambda} < 0,2$

Si considerano i profilati doppiamente simmetrici I, H di classe 1,2, caricati assialmente con uno sforzo normale di progetto N_{Ed} e con un momento, o nel piano dell'anima $M_{y,Ed}$, o nel piano delle ali $M_{z,Ed}$

Caso del momento flettente nel piano dell'anima

Si indica con

N_{Ed}	sforzo normale di progetto
$M_{y,Ed}$	momento di progetto nel piano dell'anima
$M_{pl,y,Rd}$	momento resistente di progetto a semplice flessione nel piano dell'anima
$N_{pl,Rd}$	resistenza plastica della sezione al carico assiale

In assenza del carico assiale il momento resistente di progetto è:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}$$

la resistenza plastica al solo carico assiale è:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Considerando la sollecitazione combinata di flessione e sforzo normale, per la verifica di sezioni classe 1,2 si considera, una sollecitazione convenzionale di flessione con un momento resistente plastico ridotto $M_{N,y,Rd}$ di progetto, inferiore a $M_{pl,y,Rd}$ della semplice flessione:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5a} \leq M_{pl,y,Rd}$$

dove:

n è la frazione dello sforzo normale di progetto N_{Ed} rispetto alla resistenza plastica della sezione $N_{pl,Rd}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

all'aumentare di n ovviamente diminuisce il momento resistente plastico ridotto

a è circa la frazione di area dell'anima rispetto all'area della sezione

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \leq 0,5$$

all'aumentare di a (dell'area dell'anima rispetto all'area della sezione),

aumenta la stabilità della struttura nel piano dell'anima e quindi aumenta il momento resistente plastico ridotto.

Ovviamente il momento resistente di calcolo ridotto $M_{N,y,Rd}$ deve risultare inferiore a quello di calcolo a semplice flessione $M_{pl,y,Rd}$, ciò implica che deve essere:

$$\frac{1-n}{1-0,5a} \leq 1$$

Verifica

Deve risultare:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1$$

Caso del momento flettente nel piano delle ali

Sono indicati con:

N_{Ed}	sforzo normale di progetto;
$M_{z,Ed}$	momento di progetto nel piano delle ali;
$M_{pl,z,Rd}$	momento resistente di progetto a semplice flessione nel piano delle ali;
$N_{pl,Rd}$	resistenza plastica della sezione al carico assiale.

Anche in questo caso per la verifica di sezioni doppiamente simmetriche come I, H si considera, una sollecitazione convenzionale di flessione con un momento resistente plastico ridotto $M_{N,y,Rd}$ di progetto da confrontare con quello di sollecitazione di calcolo M_{Ed} .

Si distinguono due casi a seconda del confronto dei valori tra due parametri n, a , già definiti

Dove:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \qquad a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \leq 0,5$$

1° caso $n \leq a$

Quando risulta $n \leq a$ il momento resistente di calcolo convenzionale si pone uguale a quello plastico. L'influenza dello sforzo normale di progetto rispetto alla resistenza plastica e alla conformazione compatta della sezione può essere trascurata nella determinazione del momento resistente convenzionale

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

2° caso $n > a$

quando $n > a$ nel calcolo del momento resistente convenzionale occorre considerare l'influenza dello sforzo normale di progetto, sia la geometria della sezione.

Il momento resistente convenzionale di progetto è:

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

Per la verifica, in ogni caso deve risultare:

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \leq 1$$

Esempio di verifica a presso flessione retta

La trave di una struttura, incastrata alla base e libera all'altra estremità, è sottoposta ad un carico assiale di progetto:

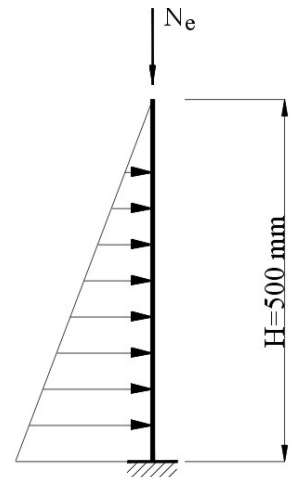
$$N_{Ed} = 2200 \text{ kN}$$

Sulla lunghezza della trave vi è un carico distribuito triangolare, sul piano dell'anima, con carico unitario lineare di progetto massimo:

$$p_{Ed,max} = 3000 \text{ kN/m}$$

Dimensionare la trave con acciaio S 235

Fig.2.80



-----0-----

Il calcolo è ovviamente iterativo, ma per orientarsi, conviene eseguire un predimensionamento a semplice flessione, assumendo, poi un profilato maggiorato.

Carico totale normale all'asse della trave concentrato al baricentro della distribuzione triangolare.

$$Q = \frac{p_{Rd} \cdot H}{2}$$

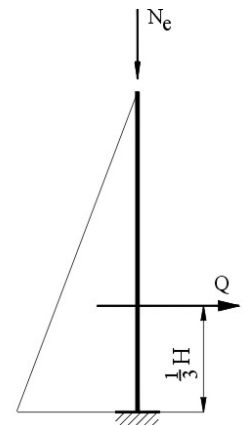
$$Q = \frac{3000 \cdot 0,5}{2}$$

$$Q = 750 \text{ kN}$$

Momento massimo alla base:

$$M_{max} = Q \cdot \frac{H}{3}$$

$$M_{max} = \frac{750 \cdot 0,5}{3}$$



$$M_{max} = 125 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Si pone:

$$\text{momento di calcolo: } M_{Ed} = M_{max} = 125 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Deve essere:

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

Al limite, poniamo

$$M_{c,Rd} = M_{y,Ed}$$

$$\frac{f_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = M_{y,Ed}$$

da cui

$$W_{y,pl} = \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_{yk}} \quad W_{y,pl} = \frac{125 \cdot 10^6 \cdot 1,05}{235}$$

$$W_{y,pl} = 558510 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,pl} = 558,50 \text{ cm}^3$$

$$S_y = \frac{W_{y,pl}}{2}$$

$$S_y = 279,25 \text{ cm}^3$$

Il profilato più prossimo con parametri in eccesso è *HEA 220*

Considerando anche la sollecitazione di compressione scegliamo il profilato *HEA 240*

Profilato HEA 240

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$b = 240 \text{ mm}$$

$$t_f = 12 \text{ mm}$$

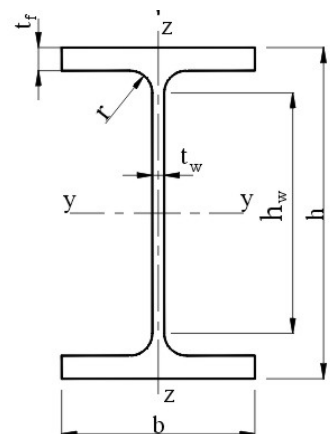
$$t_w = 7,5 \text{ mm}$$

$$A = 76,8 \text{ cm}^2$$

$$S_y = 372 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,pl} = 744 \text{ cm}^3$$

$$i_z = 6 \text{ cm}$$



Il profilato ha la sezione di classe 1

Verifica per instabilità laterale per l'asta compressa

Occorre verificare per prima cosa se l'asta, sottoposta al carico di compressione, è soggetta a fenomeni di instabilità laterale.

Secondo il DM 2008 Norme NTC, il fenomeno di instabilità può essere trascurato quando la snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$ risulta:

$$\bar{\lambda} < 0,2$$

Determiniamo $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_{yk} \cdot A}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_p}$$

$$\lambda_z = \frac{l_0}{i_z} \quad l_0 = \beta \cdot l \quad \beta = 2 \quad l_0 = 2 \cdot 500$$

$$l_0 = 1000 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{1000}{60}$$

$$\lambda_z = 16,7$$

$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$$

$$\lambda_p = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{235}}$$

$$\lambda_p = 94$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_p}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{16,7}{94}$$

$$\bar{\lambda} = 0,18$$

Essendo $\bar{\lambda} < 0,2$ può essere trascurato il fenomeno di instabilità per le aste compresse e si può eseguire la verifica a presso flessione.

Verifica a presso flessione

Deve risultare:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1$$

Dove $M_{N,y,Rd}$ è il momento resistente convenzionale che tiene conto delle contemporanee sollecitazioni di flessione e compressione:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a}$$

si ha:

$M_{pl,y,Rd}$

Momento resistente plastico

è il momento resistente nella sollecitazione a semplice flessione retta per una sezione di classe I

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}} \quad M_{y,Rd} = \frac{235 \cdot 744000}{1,05}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 166,5 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 166,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

n

frazione del carico normale N_{Ed} di progetto rispetto alla resistenza plastica $N_{pl,Rd}$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

con

$$N_{Ed} = 1200 \text{ kN}$$

resistenza plastica $N_{pl,Rd}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_{M0}} \quad N_{pl,Ed} = \frac{235 \cdot 6780}{1,05}$$

$$N_{pl,Rd} = 1719 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{pl,Rd} = 1719 \text{ kN}$$

risulta:

$$n = \frac{1200}{1719}$$

$$n = 0,698$$

a

frazione dell'area dell'anima rispetto all'area totale della sezione

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \quad a = \frac{7680 - 2 \cdot 240 \cdot 12}{7680}$$

$$a = 0,25 < 0,5$$

Il momento resistente convenzionale risulta:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a}$$

sostituendo si ha:

$$M_{N,y,Rd} = 166,5 \cdot \frac{1-0,694}{1-0,5 \cdot 0,25}$$

$$M_{N,y,Rd} = 58 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{molto inferiore a } M_{y,Ed} = 125 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} > 1$$

La resistenza della sezione non è verificata.

Si assume un profilato di sezione maggiore

Si prova con un profilato HEA 280

Profilato HEA 280

$$h = 270 \text{ mm}$$

$$b = 280 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

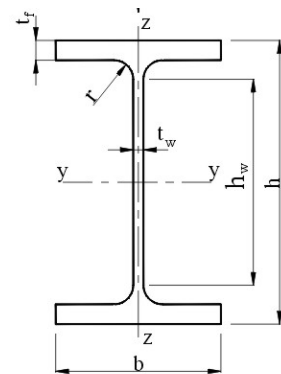
$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$A = 97,3 \text{ cm}^2$$

$$S_y = 556 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,pl} = 1112 \text{ cm}^3$$

$$i_z = 7,0 \text{ cm}$$



Ovviamente con tale profilato a maggior ragione non si ha instabilità laterale di asta compressa.

In breve.

Momento di resistenza plastica

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{235 \cdot 1112 \cdot 10^3}{1,05}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 248,9 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{pl,y,Rd} = 248,9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Parametro n

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$N_{Ed} = 1200 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot A}{\gamma_{M0}} = \frac{235 \cdot 9730}{1,05}$$

$$N_{pl,Rd} = 2177,6 \text{ kN}$$

$$n = \frac{1200}{2177,6} \qquad n = 0,55$$

Parametro a

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \qquad a = \frac{9730 - 2 \cdot 280 \cdot 13}{9730}$$

$$a = 0,25$$

Momento resistente convenzionale $M_{N,y,Rd}$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,yRd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a}$$

$$M_{N,y,Rd} = 248,9 \cdot \frac{1 - 0,55}{1 - 0,5 \cdot 0,25}$$

$$M_{N,y,Rd} = 128,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verifica

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{125}{128} = 0,97 < 1$$

La resistenza della sezione è verificata

SEGUE \longrightarrow



Indietro...

[Clic per la pagina precedente](#)



Avanti...

[Clic per proseguire](#)



Indietro...

[Clic per tutti i file II parte](#)