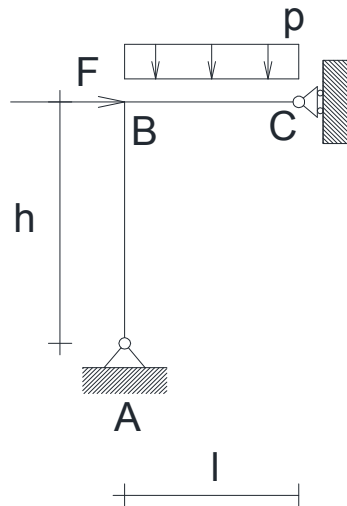


Acciaio: flessione e pressoflessione



Dimensionare e verificare la trave BC della struttura in figura, assumendo che sia realizzata con un profilato IPE

Dimensioni:

$$l := 2.5\text{m} \quad h := 3.0\text{m}$$

$$\text{Carico: } p_d := 110 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad F_d := 200\text{kN}$$

$$\text{Resistenza del materiale: } f_{yk} := 355\text{MPa} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.05} \quad f_{yd} = 338.095 \cdot \text{MPa}$$

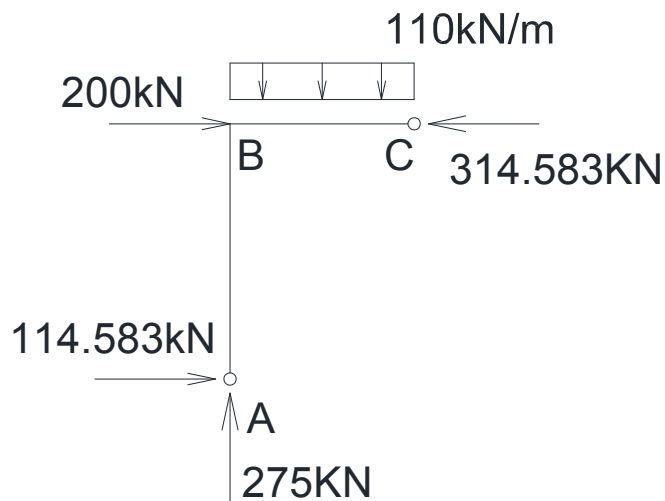
$$\text{Modulo elastico: } E_s := 2100000\text{MPa} \quad \gamma_{M0} := 1.05$$

REAZIONI VINCOLARI:

$$X_C := \left(F_d \cdot h + \frac{p_d \cdot l^2}{2} \right) \cdot \frac{1}{h} \quad X_C = 314.583 \cdot \text{kN}$$

$$X_A := -F_d + X_C \quad X_A = 114.583 \cdot \text{kN}$$

$$Y_A := p_d \cdot l \quad Y_A = 275 \cdot \text{kN}$$



SOLLECITAZIONI:

Forza Normale

$$N_{AB} := Y_A \quad N_{AB} = 275 \cdot \text{kN}$$

$$N_{BC} := X_C \quad N_{BC} = 314.583 \cdot \text{kN}$$

Forza di Taglio

$$V_{AB}(x) := -X_A \quad V_{AB}(0) = -114.583 \cdot \text{kN} \quad V_{AB}(h) = -114.583 \cdot \text{kN}$$

$$V_{BC}(x) := Y_A - p_d \cdot x \quad V_{BC}(0) = 275 \cdot \text{kN} \quad V_{BC}(l) = 0 \cdot \text{kN}$$

Momento Flettente

$$M_{AB}(x) := -X_A \cdot x$$

$$M_{AB}(0) = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{AB}(h) = -343.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}(x) := M_{AB}(h) + Y_A \cdot x - p_d \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$M_{BC}(0) = -343.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}(l) = 5.821 \times 10^{-14} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Dimensionamento della sezione della trave

$$M_{\max} := M_{BC}(0)$$

$$M_{\max} = -343.75 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

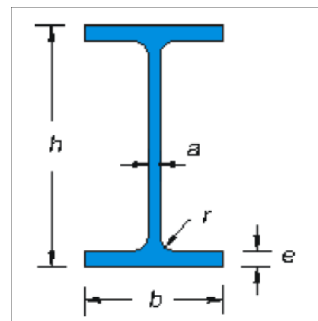
$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$f_{yd} = 338.095 \cdot \text{MPa}$$

$$W_{Ex} := \frac{|M_{\max}|}{f_{yd}}$$

$$W_{Ex} = 1.017 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$$

IPE :=
 ... \Travi IPE - Tabella Dimensionale.txt



IPE :=

	0	1	2	3	4	5	6
0	""	""	101	""	""	""	""
1	""	metallici"	""	""	""	""	""
2	5398-78"	""	""	""	""	""	""
3	download"	""	""	""	""	""	""
4	_ipe.dwg"	""	""	""	""	""	""
5	"h"	"b"	"a"	"e"	"r"	"Peso"	"Sezione"
6	"mm"	"mm"	"mm"	"mm"	"mm"	"kg/m"	"cm2"
7	""	""	""	""	""	""	""
8	80	46	3.8	5.2	5	6	7.64
9	100	55	4.1	5.7	7	8.1	10.32
10	120	64	4.4	6.3	7	10.4	13.21
11	140	73	4.7	6.9	7	12.9	16.43
12	160	82	5	7.4	9	15.8	20.09
13	180	91	5.3	8	9	18.8	23.95
14	200	100	5.6	8.5	12	22.4	28.48
15	220	110	5.9	9.2	12	26.2	...

h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	Peso kg/m	Sezione cm ²	Momenti di inerzia		Moduli di resistenza		Raggi di inerzia	
							Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy cm
80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,14	8,49	20,03	3,69	3,24	1,05
100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,32	171,0	15,92	34,20	5,79	4,07	1,24
120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,21	317,8	27,67	52,96	8,65	4,90	1,45
140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,43	541,2	44,92	77,32	12,31	5,74	1,65
160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,09	869,3	68,31	108,7	16,66	6,58	1,84
180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,95	1.317	100,9	146,3	22,16	7,42	2,05
200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,48	1.943	142,4	194,3	28,47	8,26	2,24
220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,37	2.772	204,9	252,0	37,25	9,11	2,48
240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,12	3.892	283,6	324,3	47,27	9,97	2,69
270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,95	5.790	419,9	428,9	62,20	11,23	3,02
300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,81	8.356	603,8	557,1	80,50	12,46	3,35
330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,61	11.770	788,1	713,1	98,52	13,71	3,55
360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,73	16.270	1.043	903,6	122,8	14,95	3,79
400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,46	23.130	1.318	1.156	146,4	16,55	3,95
450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,82	33.740	1.676	1.500	176,4	18,48	4,12
500	200	10,2	16,0	21	90,7	115,5	48.200	2.142	1.928	214,2	20,43	4,31
550	210	11,1	17,2	24	106	134,4	67.120	2.668	2.441	254,1	22,35	4,45
600	220	12,0	19,0	24	122	156,0	92.080	3.387	3.069	307,9	24,30	4,66

Dimensioni del
profilato

nipe := 21

$$\overset{w}{w} := \text{IPE}_{\text{nipe},0} \cdot \text{mm} \quad b := \text{IPE}_{\text{nipe},1} \cdot \text{mm} \quad w := \text{IPE}_{\text{nipe},2} \cdot \text{mm} \quad es := \text{IPE}_{\text{nipe},3} \cdot \text{mm}$$

$$h = 400 \cdot \text{mm} \quad r := \text{IPE}_{\text{nipe},4} \cdot \text{mm} \quad \overset{A}{w} := \text{IPE}_{\text{nipe},6} \cdot \text{cm}^2$$

Caratteristiche
geometriche

Nota. Queste grandezze si
desumono dalla tabella, le ho
ricalcolate per verificare le
formule che tengono conto di r

$$J_0 := \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{(b - w) \cdot (h - 2 \cdot es)^3}{12} \quad J_0 = 2.188 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$J_1 := J_0 + 4 \cdot \left[\frac{r^4 \cdot (9 \cdot \pi^2 - 84 \cdot \pi + 176)}{144 \cdot (4 - \pi)} + \left[\frac{r^2 \cdot (4 - \pi)}{4} \cdot \left[\frac{h}{2} - es - \frac{r \cdot (3 \cdot \pi - 10)}{3 \cdot (\pi - 4)} \right]^2 \right] \right]$$

$$J_1 = 2.313 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4 \quad \overset{W_{Ex}}{w_{Ex}} := \frac{J_1}{\frac{h}{2}} \quad W_{Ex} = 1.156 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$$

Verifica delle tensioni

Verifica a pressoflessione

$$\sigma_{mx} := \frac{N_{BC}}{A} + \frac{|M_{max}|}{W_{Ex}} \quad \sigma_{mx} = 334,5 \cdot \text{MPa} \quad \bullet < \bullet \quad f_{yd} = 338,095 \cdot \text{MPa}$$

Tensione normale massima ed all'estremità dell'anima

$$\sigma_1 := \frac{N_{BC}}{A} + \frac{|M_{\max}|}{W_{Ex}} \quad \sigma_1 = 334.5 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_2 := \frac{N_{BC}}{A} + \frac{|M_{\max}|}{J_1} \cdot \left(\frac{h}{2} - es \right) \quad \sigma_2 = 314.436 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_3 := \frac{N_{BC}}{A} \quad \sigma_3 = 37.246 \cdot \text{MPa}$$

Verifica a flessione e taglio

1 indica la τ nell'ala 2 nell'anima all'attacco dell'ala e 3 nel baricentro della sezione. S31 è il momento statico corretto, ma uso S3 perché è quello che facciamo calcolare agli studenti

$$V_{\max} := V_{BC}(0) \quad V_{\max} = 275 \cdot \text{kN}$$

$$S_1 := \frac{(b-w)}{2} \cdot es \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{es}{2} \right) \quad S_1 = 223.581 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_2 := b \cdot es \cdot \left(\frac{h-es}{2} \right) \quad S_2 = 469.597 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_3 := \left[b \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 - (b-w) \cdot \left(\frac{h}{2} - es \right)^2 \right] \cdot \frac{1}{2} \quad S_3 = 619.161 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_{31} := S_3 + 2 \cdot \frac{r^2 \cdot (4-\pi)}{4} \cdot \left[\frac{h}{2} - es - \frac{r \cdot (3 \cdot \pi - 10)}{3 \cdot (\pi - 4)} \right] \quad S_{31} = 653.574 \cdot \text{cm}^3$$

$$\tau_1 := \frac{V_{\max} \cdot S_1}{es \cdot J_1} \quad \tau_1 = 19.692 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_2 := \frac{V_{\max} \cdot S_2}{w \cdot J_1} \quad \tau_2 = 64.925 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_3 := \frac{V_{\max} \cdot S_3}{w \cdot J_1} \quad \tau_3 = 85.604 \cdot \text{MPa}$$

Tensione ideale

$$f_{yd} = 338.095 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{i1} := \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2}$$

$$\sigma_{i1} = 336.235 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{i2} := \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2}$$

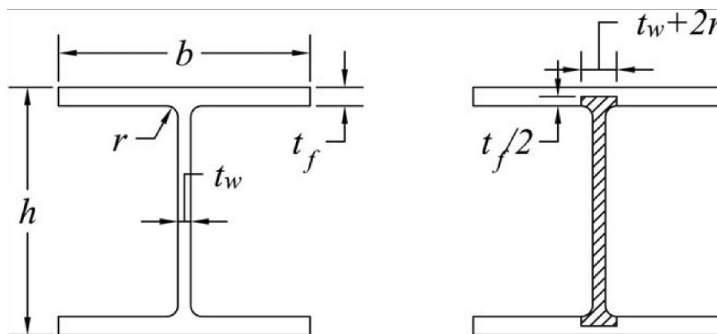
$$\sigma_{i2} = 333.94 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{i3} := \sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2}$$

$$\sigma_{i3} = 152.877 \cdot \text{MPa}$$

Calcolo plastico

Taglio resistente



$$A_{Vpl} := A - 2 \cdot b \cdot e_s + (w + 2 \cdot r) \cdot e_s$$

$$A_{Vpl} = 42.691 \cdot \text{cm}^2$$

$$V_{Rpl} := A_{Vpl} \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{Rpl} = 833.326 \cdot \text{kN}$$

$$V_d := V_{\max}$$

$$V_d = 275 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{V_d}{V_{Rpl}} = 0.33 \quad \blacksquare < 0.5$$

Calcolo della posizione dell'asse neutro

$$N_{Rd} := A \cdot f_{yd}$$

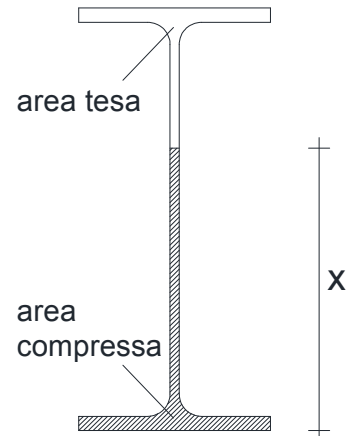
$$N_{Rd} = 2.856 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$n := \frac{N_{BC}}{N_{Rd}} \quad n = 0.11$$

$$A_{\text{compressione}} := A \cdot \frac{(1+n)}{2} \quad A_{\text{compressione}} = 46.882 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{\text{trazione}} := A \cdot \frac{(1-n)}{2} \quad A_{\text{trazione}} = 37.578 \cdot \text{cm}^2$$

$$x := \frac{A_{\text{compressione}} - e_s \cdot (b-w)}{w} \quad x = 27.608 \cdot \text{cm}$$



DEFINIZIONE DELLA CLASSE DELLA SEZIONE:

Anima

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Parti interne compresse			
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
	<p>Inflessione intorno all'asse</p> <p>Inflessione intorno all'asse</p>		
	<p>Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)</p>		
1			
	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	<p>quando $\alpha > 0.5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$</p> <p>quando $\alpha \leq 0.5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$</p>
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	<p>quando $\alpha > 0.5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$</p> <p>quando $\alpha \leq 0.5: c/t \leq \frac{41.5\epsilon}{\alpha}$</p>
	<p>Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)</p>		
3			
	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	<p>quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0.67 + 0.33\psi}$</p> <p>quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$</p>

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
ε		1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\varepsilon_y > f_{yk}/E$

$$c := h - 2 \cdot e_s - 2 \cdot r \quad c = 331 \cdot \text{mm}$$

$$t := w \quad t = 8,6 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = 38,488 \quad \varepsilon := 0,81$$

$$\alpha := \frac{(x - e_s - r)}{c} \quad \alpha = 0,73$$

$$\frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = 37,789 \quad \text{limite classe 1}$$

$$\frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1} = 43,514 \quad \text{limite classe 2} \quad \text{classe 2}$$

Ala

Tabella 4.2.II- Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Piattabande esterne						
Profilati laminati a caldo			Sezioni saldate			
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

$$c := \frac{b - w - 2 \cdot r}{2} \quad c = 64.7 \cdot \text{mm}$$

$$t := es \quad t = 13.5 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{c}{t} = 4.793 \quad \varepsilon := 0.81$$

$$9 \cdot \varepsilon = 7.29 \quad \text{classe1} \quad \text{classe sezione 2}$$

$$S_{\text{ncompressione}} := b \cdot es \cdot \left(x - \frac{es}{2} \right) + w \cdot \frac{(x - es)^2}{2} \quad S_{\text{ncompressione}} = 950.972 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_{\text{ntrazione}} := b \cdot es \cdot \left(h - x - \frac{es}{2} \right) + w \cdot \frac{(h - x - es)^2}{2} \quad S_{\text{ntrazione}} = 337.135 \cdot \text{cm}^3$$

$$z_n := x - \frac{h}{2} \quad z_n = 7.608 \cdot \text{cm}$$

$$M_{\text{NRd}} := f_{yd} \cdot \left[(S_{\text{ncompressione}} + S_{\text{ntrazione}}) - (A_{\text{compressione}} - A_{\text{trazione}}) \cdot z_n \right]$$

$$M_{\text{NRd}} = 411.568 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

calcolo secondo NNT 2008

$$a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot es}{A} \quad a = 0.425$$

$$W_{\text{pl}} := 2 \cdot S_3 \quad W_{\text{pl}} = 1.238 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$$

$$M_{\text{Rpl}} := W_{\text{pl}} \cdot f_{yd} \quad M_{\text{Rpl}} = 418.671 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{NRdNNT}} := \min \left(M_{\text{Rpl}} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0.5 \cdot a}, M_{\text{Rpl}} \right) \quad M_{\text{NRdNNT}} = 418.671 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{1 - n}{1 - 0.5 \cdot a} = 1.13$$

