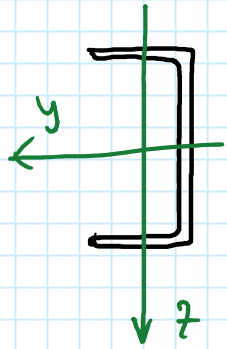


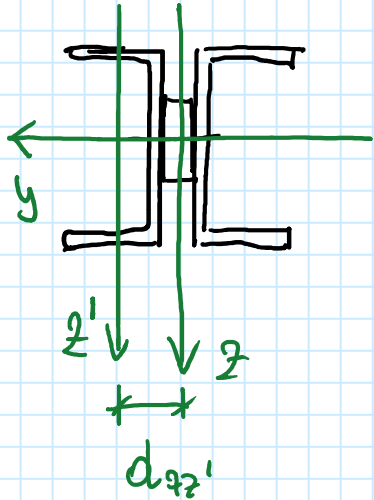
# Aste con profili accoppiati (da lezioni precedenti)



$$i_y^E = \sqrt{\frac{I_y^E}{A^E}}$$

$$i_z^E = \sqrt{\frac{I_z^E}{A^E}}$$

$$i_z^E \ll i_y^E$$



$$i_y^{2E} = \sqrt{\frac{I_y^{2E}}{A^{2E}}} = \sqrt{\frac{2 I_y^E}{2 A^E}} = i_y^E$$

$$A^{2E} = 2 A^E$$

$$I_z^{2E} = 2 (I_{z'}^E + A^E d_{zz'}^2)$$

$$i_z^{2E} = \sqrt{\frac{2 (I_{z'}^E + A^E d_{zz'}^2)}{2 A^E}} > i_{z'}^E = \sqrt{\frac{I_{z'}^E}{A^E}}$$

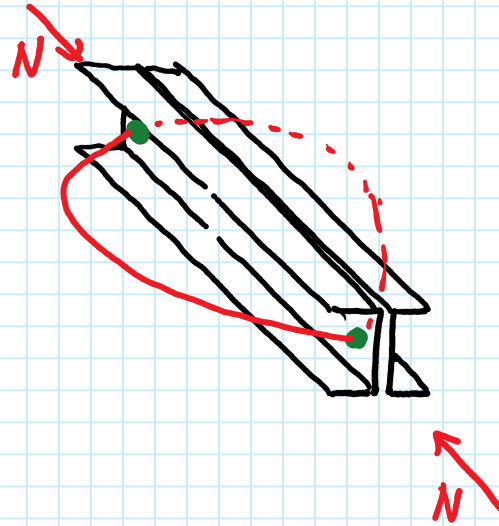
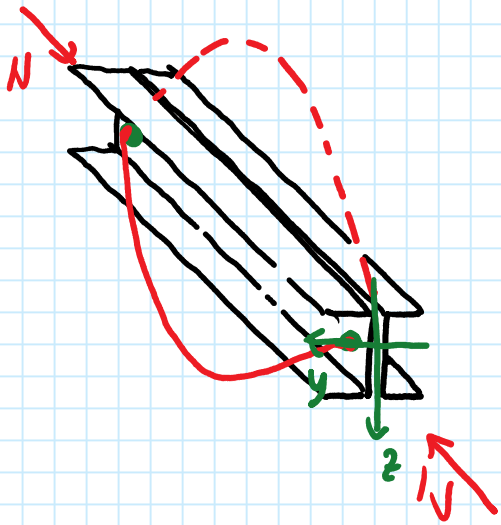
Si incrementa il più piccolo dei raggi d'inertia



Higlioremo  $N_{b,Rd}$

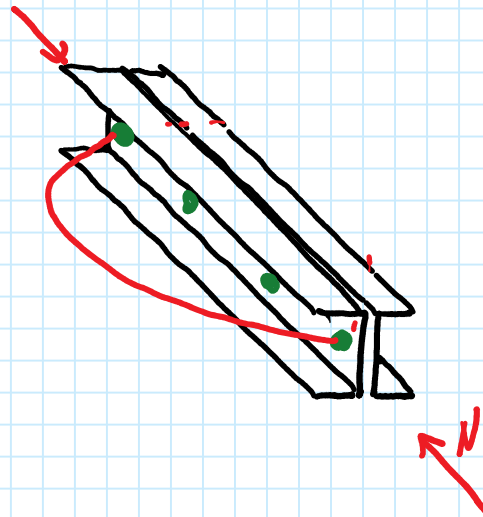
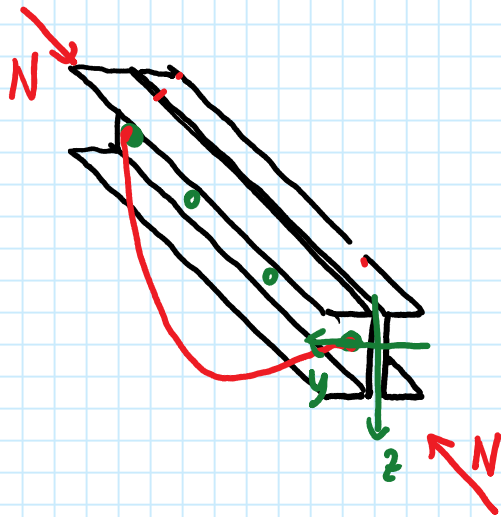
# Aste accoppiate: comportamento dei due profili

Profili collegati solo alle estremità



I due profili si comportano come due aste autonome

Profili collegati anche in sezioni intermedie



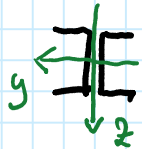
I due profili si comportano come una singola asta

Devo inserire i collegamenti intermedi affinché i profletti si comportino come un'unica asta.



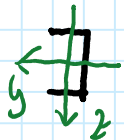
Cio' fornisce un beneficio perché  $i_2^{IE} > i_2^E$

Il collegamento tra i due profletti dovrebbe essere continuo. Se il collegamento è su un numero finito di sezioni (caso reale), il beneficio è parziale e se ne tiene conto attraverso la smaltita equivalente  $\lambda_{eq2}$  (da ENR 10011)



$$i_y^{IE} = i_y^I = i_y$$

$$\lambda_y = \frac{b_y}{i_y}$$



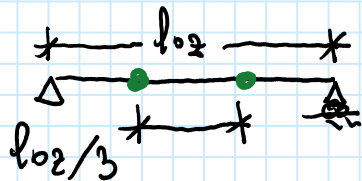
$$i_2^{IE} > i_2^I$$

$$\lambda_2^{IE} = \frac{b_2}{i_2^{IE}}$$

$$\lambda_2^I = \frac{b_2/3}{i_2^I}$$

$$\Rightarrow \lambda_{eq2} = \sqrt{(\lambda_2^{IE})^2 + (\lambda_2^I)^2}$$

esempio: 2 collegamenti intermedi



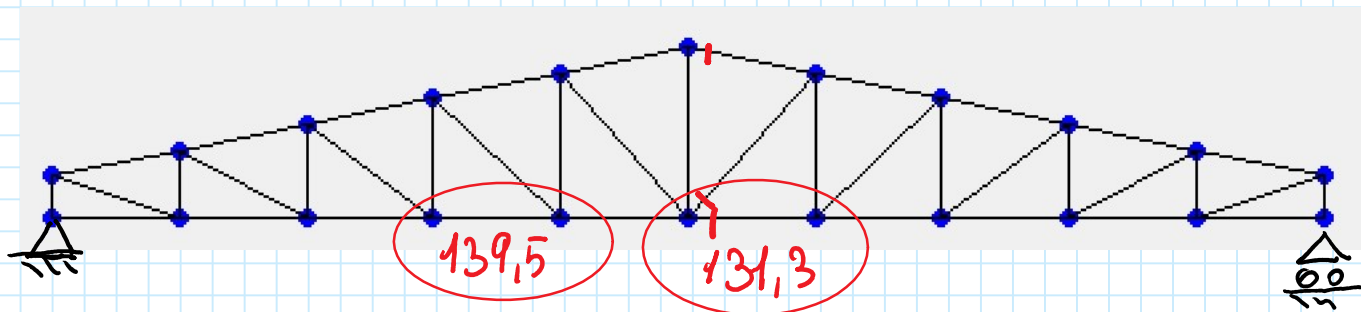
# Progetto del corrente inferiore

1. Verifica della reazione nelle (se ci sono aste indebolite dai fori o intagli)

2. Verifica di stabilità

Vali per qualunque asta proiettata e trazione

1	Sforzo normale del corrente inferiore						
2	Asta	1° comb.	2° comb.	3° comb.	Max traz.	Max Comp.	
3	1	0.00	5.46	0.00	5.46	0.00	
4	2	104.63	81.41	-71.91	104.63	-71.91	
5	3	135.27	98.31	-92.32	135.27	-92.32	
6	4	139.50	94.12	-94.35	139.50	-94.35	
7	5	131.29	80.01	-87.72	131.29	-87.72	
8	6	131.29	55.34	-87.72	131.29	-87.72	
9	7	139.50	48.99	-94.35	139.50	-94.35	
10	8	135.27	40.38	-92.32	135.27	-92.32	
11	9	104.63	26.94	-71.91	104.63	-71.91	
12	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13							
14		Massimo N trazione			139.5	kN	
15		Massimo N compressione			-94.35	kN	



1 Aste indebolite dai fori

C'è un'asta indebolita dai fori e voglio che sia duttile

Verifica di resistenza

$$N_{Ed} = 131,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd})$$

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

Posso non fare le  
verifiche di  
duttilità

Verifica delle duttilità

$$N_{pl,Rd} \leq N_{u,Rd}$$

Ammesso scelto  $2 \angle 40 \times 5$

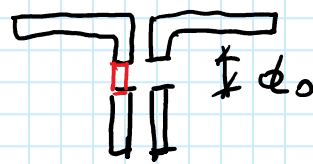
$$N_{pl,Rd} = 169,6 \text{ kN}$$

d'asta tesa è fragile...  
... cambio sezione

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \times 6,28 \times \frac{360}{1,25} \times \frac{1}{10} = 162,7 \text{ kN}$$

$$A_{net} = A - A_{for.}$$

$$= 2 \times 3,49 - 2 \times 0,5 \times 1,3 = 6,28 \text{ cm}^2$$



diámetro bulloni 12 mm  
 ↓

diámetro per (d\_o) 13 mm

Scelgo una sezione più grande  $2 L 50 \times 5 \Rightarrow A = 4,80 \text{ cm}^2$

Ho mantenuto lo spessore e aumentato le dimensioni delle ali

$$N_{pl, Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \times 4,80 \times \frac{235}{1,05}}{\frac{1}{10}} = 214,9 \text{ kN}$$

$$A_{net} = A - A_{for.} = 2 \times 4,80 - 2 \times 0,5 \times 1,3 = 8,3 \text{ cm}^2$$

$$N_{u, Rd} = 0,9 A_{net} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \times 8,3 \times \frac{360}{1,25} \times \frac{1}{10} = 215,1 \text{ kN}$$

$N_{pl, Rd} < N_{u, Rd}$  ed ecco l'asta è duttile

Eseguiamo di nuovo le verifiche di resistenza

Aste ancorate dai fini

$$N_{Ed} = 131,9 \text{ kN} \quad N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}) = 215,1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{t,Rd} \quad \text{OK!}$$

Aste maggiormente sollecitate

$$N_{Ed} = 140,2 \text{ kN} \quad N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 215,1 \text{ kN}$$

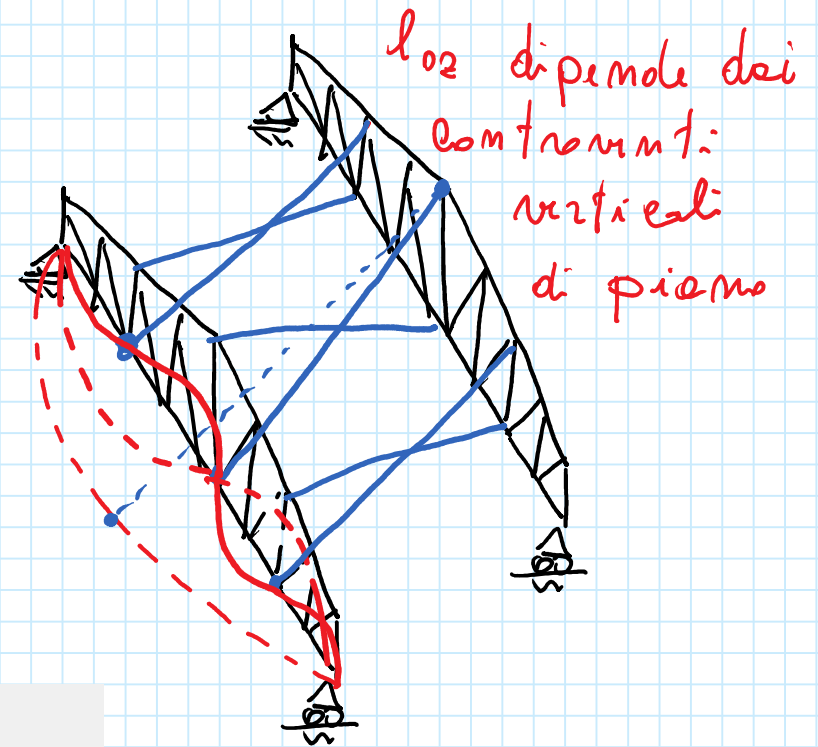
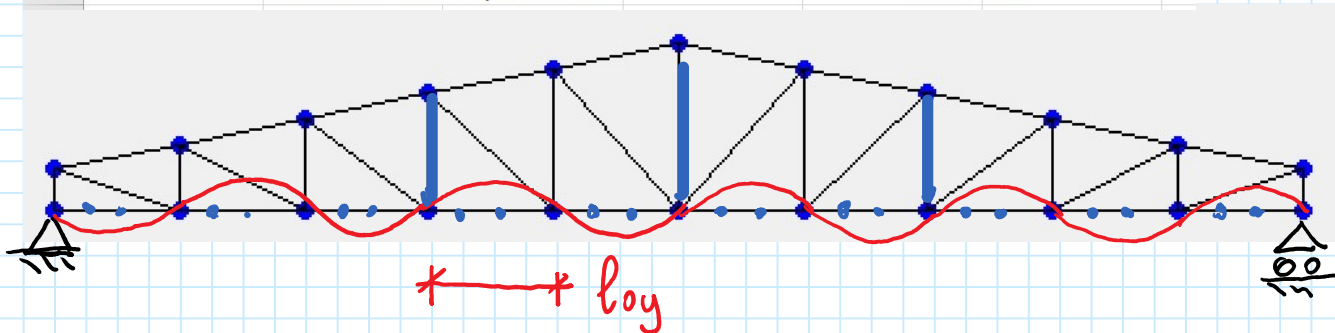
$$N_{Ed} < N_{t,Rd} \quad \text{OK!}$$



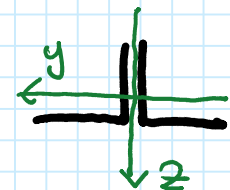
# Verifica a compressione del corrente inferiore

Il corrente inferiore è compresso nelle 3° combinazioni di carico.  
Le lunghezze libere d'inflessione nei piani verticale e orizzontale sono diverse.

1	Sforzo normale del corrente inferiore					
2	Asta	1° comb.	2° comb.	3° comb.	Max traz.	Max Comp.
3	1	0.00	5.50	0.00	5.50	0.00
4	2	105.13	87.24	-69.47	105.13	-69.47
5	3	135.93	105.86	-89.18	135.93	-89.18
6	4	140.18	101.93	-91.13	140.18	-91.13
7	5	131.93	87.40	-84.72	131.93	-84.72
8	6	131.93	62.82	-84.72	131.93	-84.72
9	7	140.18	56.98	-91.13	140.18	-91.13
10	8	135.93	48.15	-89.18	135.93	-89.18
11	9	105.13	32.97	-69.47	105.13	-69.47
12	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13						
14		Massimo N trazione			140.18 kN	
15		Massimo N compressione			-91.13 kN	



$$l_{0y} = i$$





Bisogna controllare:

1. limiti di snelliana della NTC 18

$$\lambda \leq 200$$

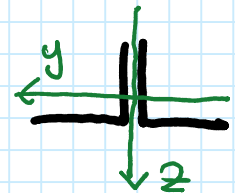
$$\lambda_2 \leq 200$$

$$\lambda_y \leq 200$$

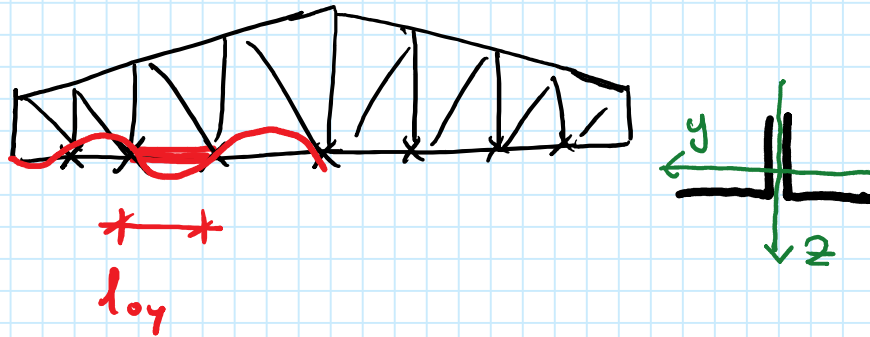
2. Verifica di stabilità sui due piani

Nel piano verticale  $N_{Ed} = |N_{Ed, max}| \leq N_{b, ed, y}$

Nel piano orizzontale  $N_{Ed} = |N_{Ed, medio}| \leq N_{b, Rd, 2}$



Verifiche sulle snelliture nel piano verticale...



$$l_{0y} = i = 1,50 \text{ m}$$

$$i_y = 1,51 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{150}{1,51} = 99,3 < 200 \text{ (NTE 18)}$$

OK!

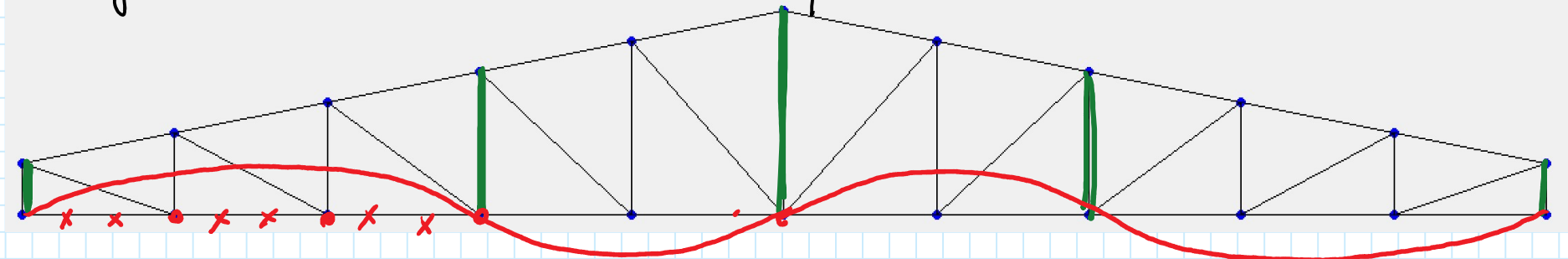
ANGOLARI a lati uguali s.t. accoppiati a T  
a distanze diverse

$i =$  legg. d'inertia minimo  
singolo profilo

angolare	A cm <sup>2</sup>	i cm	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	d mm											
					5		8		10		12		15		20	
					J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>xy</sub> cm <sup>4</sup>
50 × 5	9,60	0,970	22,0	1,51	40,7	2,06	53,0	2,35	56,7	2,43	60,5	2,51	66,3	2,63	77,4	2,84
6	11,4	0,970	25,6	1,30	49,2	2,08	64,5	2,38	69,0	2,46	73,5	2,54	80,6	2,66	93,8	2,87
7	13,1	0,960	29,2	1,49	58,3	2,11	76,0	2,41	80,6	2,48	86,5	2,57	94,7	2,69	110	2,90
9	16,5	0,960	35,8	1,47	76,2	2,15	99,0	2,45	106	2,53	113	2,61	123	2,73	144	2,95
55 × 5	13,6	1,08	29,8	1,67	53,6	2,25	68,4	2,54	72,7	2,62	76,7	2,69	84,6	2,81	96,7	3,02
6	12,6	1,07	34,6	1,66	65,4	2,28	82,9	2,56	87,7	2,64	93,1	2,72	102	2,84	117	3,05
8	16,5	1,06	44,0	1,64	88,8	2,32	112	2,61	119	2,69	127	2,78	139	2,90	160	3,11

l'asse "k" è il nostro "y"

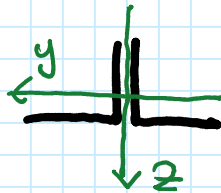
Verifiche delle snallate nel piano orizzontale...



$l_{02}$

$$l_{02}^L = 3i = 4,5 \text{ m}$$

$$i_2^L = 2,43 \text{ cm}$$



$$\lambda_2^L = \frac{450}{2,43} = 185,2$$

$$l_{02}^L = \frac{450}{9} = 50 \text{ cm}$$

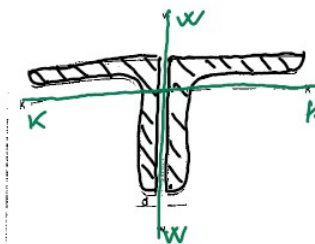
$$i_2^L = i_{\min}^L = 0,97 \text{ cm}$$

$$\lambda_2^L = \frac{50}{0,97} = 51,5$$

$$\lambda_{2, \text{eff}} = \sqrt{(\lambda_2^L)^2 + (\lambda_2^L)^2} = \sqrt{185,2^2 + 51,5^2} =$$

$$= 192,3 < 200 \quad \text{OK!}$$

ANGOLARI a lati uguali s.t. accoppiati a T a distanze diverse



$i$  = raggio d'inertia minimo singolo profilo

angolare	A cm <sup>2</sup>	c cm	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	d mm											
					0		8		10		12		15		20	
					J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	J <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>
50 x 5	9,60	0,970	22,0	1,51	40,7	2,06	53,0	2,35	56,7	2,43	60,5	2,51	66,3	2,63	77,4	2,84
6	11,4	0,970	25,6	1,50	49,2	2,08	64,5	2,38	69,0	2,46	73,5	2,54	80,6	2,66	93,8	2,87
7	13,1	0,960	29,2	1,49	58,3	2,11	76,0	2,41	80,6	2,48	86,5	2,57	94,7	2,69	110	2,90
9	16,5	0,960	35,8	1,47	76,2	2,15	99,0	2,45	106	2,53	113	2,61	123	2,73	144	2,95
55 x 5	13,6	1,08	29,8	1,67	53,6	2,25	68,4	2,54	72,7	2,62	76,7	2,69	84,6	2,81	96,7	3,02
6	12,6	1,07	34,6	1,66	65,4	2,28	82,9	2,56	87,7	2,64	93,1	2,72	102	2,84	117	3,05
8	16,5	1,06	44,0	1,64	88,8	2,32	112	2,61	119	2,69	127	2,78	139	2,90	160	3,11

Verifica all'instabilità nel piano verticale

$$\lambda_y = 99,3 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{99,3}{93,9} = 1,0575$$

$$\text{Curve b} \quad \alpha = 0,34$$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = \frac{1}{2} \times \left[ 1 + 0,34 \times (1,0575^2 - 0,2) + 1,0575^2 \right] =$$
$$= 1,2049$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,2049 + \sqrt{1,2049^2 - 1,0575^2}} = 0,5610$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,5610 \times 9,6 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10} = 120,5 \text{ kN}$$

$$|N_{Ed}| = 94,4 \text{ kN} < N_{b,Rd,y} = 120,5 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Verifica all'instabilità nel piano orizzontale: tratto lungo\*

\* ne fatte anche per il tratto corto

$$\lambda_{y2} = 192,3 \quad \bar{\lambda}_{y2} = \frac{\lambda_{y2}}{\lambda_1} = \frac{192,3}{93,9} = 2,0479$$

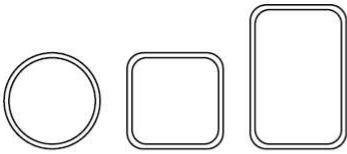
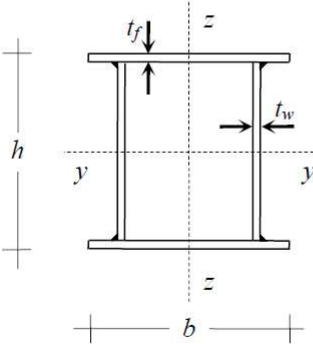
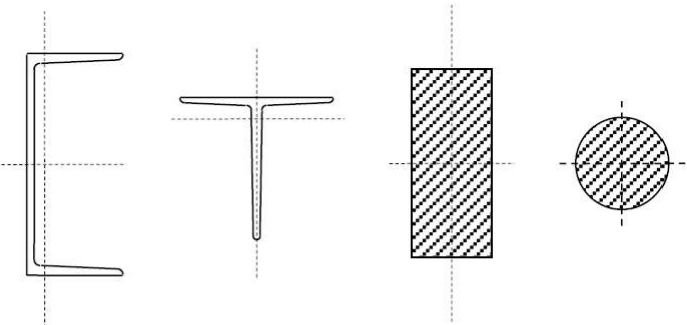
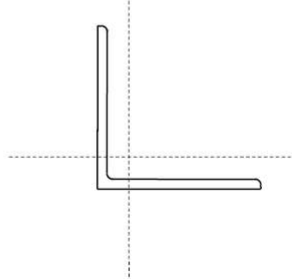
$$\text{Curve b} \quad \alpha = 0,34$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_{y2} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y2}^2 \right] = \frac{1}{2} \times \left[ 1 + 0,34 \times (2,0479 - 0,2) + 2,0479^2 \right] =$$
$$= 2,9111$$

$$\chi_2 = \frac{1}{2,9111 + \sqrt{2,9111^2 - 2,0479^2}} = 0,2008$$

$$N_{b,Rd,2} = \chi_2 \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} = 0,2008 \times 9,6 \times \frac{235}{1,05} \times \frac{1}{10} = 43,1 \text{ kN}$$

$$|N_{Ed}| = \left| \frac{0 + (-71,9) + (-92,3)}{3} \right| = 54,7 \text{ kN} < N_{b,Rd,2} = 43,1 \text{ kN} \quad \text{NO!}$$

Sez. cave		formata a caldo	qualunque	a	$a_0$
		formata a freddo	qualunque	c	c
Sez. scat. saldate		in generale	qualunque	b	b
		saldature con $a > 0.5 t_f$ $b/t_f < 30$ ; $h/t_w < 30$	qualunque	c	c
Sez. piene, ad U e T		qualunque	c	c	
Sezioni ad L		qualunque	<div>b</div>	b	
Curva di instabilità					
Fattore d'imperfezione $\alpha$	$a_0$	a	b	c	d
	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

Combinazione trasversale e uso  $2L 55 \times 5$

Pieno verticale

$$|N_{Ed}| = 94,4 \leq N_{b,Rd,y} = 148,1 \text{ kN}$$

OK!

Pieno orizzontale

Tirato lungo

$$|N_{Ed}| = 54,7 \text{ kN} \leq N_{b,Rd,z} = 54,7 \text{ kN}$$

OK!

Tirato corto

$$|N_{Ed}| = \frac{(-94,35) + (-87,42)}{2} = 91,0 \text{ kN}$$

OK!

$$N_{Ed} = 91,0 \text{ kN} < N_{b,Rd,z} = 99,5 \text{ kN}$$



Tre Ho lungo

Profilo =	2 L 55 x 5	Acciaio =	S235	$f_{yk} =$	235 MPa		
Doppio profilo	SI	GammaM1=	1.05	$f_{uk} =$	360 MPa		
Distanza =	1 cm			$E_s =$	210000 MPa		
Area =	10.6 cm <sup>2</sup>						
$\rho_y =$	1.66 cm	$I_{oy} =$	150.0 cm	$\lambda_y =$	90.2		
$\rho_z =$	2.62 cm	$I_{oz} =$	450.0 cm	$\lambda_z =$	172.0	$\lambda_{z\text{eq}} =$	178.3
$\rho_{\min\text{ SP}} =$	1.07 cm	$I_{o\text{ SP}} =$	50.0 cm	$\lambda_{\min\text{ SP}} =$	46.7		
Curva =	b	$\alpha_y =$	0.34	$N_{cr,y} =$	270.5 kN	$\lambda_{sy} =$	0.96
Curva =	b	$\alpha_z =$	0.34	$N_{cr,z} =$	69.3 kN	$\lambda_{sz} =$	1.90
$\phi_y =$	1.0915	$\chi_y =$	0.6217	$N_{b,Rd,y} =$	148.05	kN	
$\phi_z =$	2.5919	$\chi_z =$	0.2296	$N_{b,Rd,z} =$	54.67	kN	
		$\chi_{\min} =$	0.2296	$N_{b,Rd} =$	54.67	kN	

# The Ho conto

Profilo =	2 L 55 x 5	Acciaio =	S235	$f_{yk} =$	235 MPa		
Doppio profilo	SI	GammaM1=	1.05	$f_{uk} =$	360 MPa		
Distanza =	1 cm			$E_s =$	210000 MPa		
Area =	10.6 cm <sup>2</sup>						
$\rho_y =$	1.66 cm	$I_{oy} =$	150.0 cm	$\lambda_y =$	90.2		
$\rho_z =$	2.62 cm	$I_{oz} =$	300.0 cm	$\lambda_z =$	114.7	$\lambda_{z\text{eq}} =$	123.8
$\rho_{\min\text{ SP}} =$	1.07 cm	$I_{o\text{ SP}} =$	50.0 cm	$\lambda_{\min\text{ SP}} =$	46.7		
Curva =	b	$\alpha_y =$	0.34	$N_{cr,y} =$	270.5 kN	$\lambda_{sy} =$	0.96
Curva =	b	$\alpha_z =$	0.34	$N_{cr,z} =$	143.7 kN	$\lambda_{sz} =$	1.32
$\phi_y =$	1.0915	$\chi_y =$	0.6217	$N_{b,Rd,y} =$	148.05	kN	
$\phi_z =$	1.5605	$\chi_z =$	0.4177	$N_{b,Rd,z} =$	99.47	kN	
		$\chi_{\min} =$	0.4177	$N_{b,Rd} =$	99.47	kN	