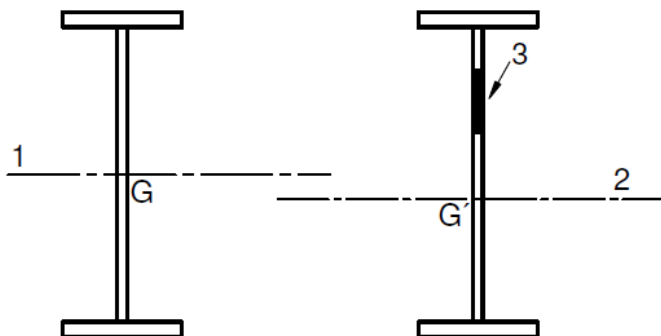


Argomento	Travi ad anima piena		
Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	1 di 6

1. Determinazione delle caratteristiche meccaniche della sezione



Altezza della sezione trasversale	h	1200,00	[mm]
Larghezza della sezione trasversale	b	400,00	[mm]
Spessore dell'anima	t_w	18,00	[mm]
Spessore delle ali	t_f	25,00	[mm]
Raggio di raccordo	r		[mm]
Eventuale spessore della saldatura delle ali con l'anima	s	13,00	[mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Altezza tra le ali	h_i	1150,00	[mm]
Altezza della porzione saldabile	d	1124,00	[mm]
Area della sezione trasversale	A	407,0	[cm ²]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo z	A_{vz}	211,50	[cm ²]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo y	A_{vy}	200,00	[cm ²]
Momento d'inerzia attorno all'asse forte	I_{yy}	918548	[cm ⁴]
Momento d'inerzia attorno all'asse debole	I_{zz}	26723	[cm ⁴]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i_{yy}	47,51	[cm]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i_{zz}	8,10	[cm]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,yy}$	15309,1	[cm ³]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,zz}$	1336,1	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,yy}$	17701,3	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,zz}$	2093,2	[cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I_t	637,1	[cm ⁴]
Costante di warping	I_w	92041667	[cm ⁶]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f_y	275	[MPa]
Coefficiente ϵ	ϵ	0,92	[-]
Classificazione dell'anima			
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c	1150,00	[mm]
Spessore dell'anima	t_w	18,00	[mm]
Rapporto tra altezza e spessore	c/t_w	63,89	[-]
Classificazione dell'anima per flessione	CLASSE 1		
Classificazione dell'anima per compressione	CLASSE 4		
Classificazione delle ali			
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c	191	[mm]
Spessore delle ali	t_f	25,00	[mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t_f	7,64	[-]
Classificazione delle ali per flessione	CLASSE 1		

Argomento	Travi ad anima piena		
Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	2 di 6

1.1. Determinazione dell'area effettiva della sezione

1.1.1. Area effettiva del pannello d'anima

Altezza del pannello d'anima al netto delle saldature: $h_w = 1124$ [mm]
 Spessore del pannello d'anima: $t_w = 18$ [mm]

Gli stress nel pannello d'anima dovuti alla sola compressione sono costanti per tanto, il valore $\Psi = \sigma_2/\sigma_1 = 1.00$:

Table 4.1: Internal compression elements

Stress distribution (compression positive)	Effective ^p width b_{eff}												
	$\Psi = 1$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$												
	$1 > \Psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \Psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$												
	$\Psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \Psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$												
$\Psi = \sigma_2/\sigma_1$													
Buckling factor k_σ	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>$1 > \Psi > 0$</td> <td>0</td> <td>$0 > \Psi > -1$</td> <td>-1</td> <td>$-1 > \Psi > -3$</td> </tr> <tr> <td>4,0</td> <td>$8,2 / (1,05 + \Psi)$</td> <td>7,81</td> <td>$7,81 - 6,29\Psi + 9,78\Psi^2$</td> <td>23,9</td> <td>$5,98 (1 - \Psi)^2$</td> </tr> </table>	1	$1 > \Psi > 0$	0	$0 > \Psi > -1$	-1	$-1 > \Psi > -3$	4,0	$8,2 / (1,05 + \Psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\Psi + 9,78\Psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \Psi)^2$
1	$1 > \Psi > 0$	0	$0 > \Psi > -1$	-1	$-1 > \Psi > -3$								
4,0	$8,2 / (1,05 + \Psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\Psi + 9,78\Psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \Psi)^2$								

Coefficiente k_σ : $k_\sigma = 4.0$ [-]

Coefficiente di snellezza adimensionale del pannello:
 $\bar{\lambda}_p = \frac{h_w/t_w}{28.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$
 $\bar{\lambda}_p = \frac{1124/18}{28.4 \cdot \sqrt{\frac{235}{275}} \cdot \sqrt{4}} = 1.189 > 0.673$ [-]

Fattore di riduzione dell'area:
 $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot (3 + \Psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$
 $\rho = \frac{1.189 - 0.055 \cdot (3 + 1)}{1.189^2} = 0.685$ [-]

Altezza effettiva del pannello d'anima: $b_{eff} = \rho \cdot h_w = 0.685 \cdot 1124 = 770.29$ [mm]

Porzioni d'anima adiacenti alle ali: $b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0.5 \cdot 770.29 = 385.31$ [mm]

Area effettiva del pannello d'anima: $A_{w,eff} = b_{eff} \cdot t_w = 770.29 \cdot 18 = 13865$ [mm²]

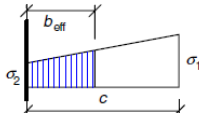
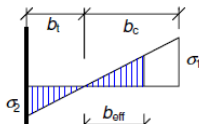
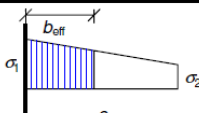
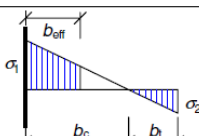
Argomento	Travi ad anima piena		
Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	3 di 6

1.1.2. Area effettiva del pannello d'ala

Semilarghezza netta delle ali: $c_f = 178$ [mm]
 Spessore delle ali: $t_f = 25$ [mm]

Gli stress nel pannello d'ala dovuti alla sola flessione sono costanti, per tanto il valore $\Psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1.00$:

Table 4.2: Outstand compression elements

Stress distribution (compression positive)	Effective ^p width b_{eff}				
	$1 \geq \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho c$				
	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Buckling factor k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
	$1 > \psi > 0$: $b_{eff} = \rho c$				
	$\psi < 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Buckling factor k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

Coefficiente k_σ : $k_\sigma = 0.43$ [-]

Coefficiente di snellezza adimensionale del pannello:
 $\bar{\lambda}_p = \frac{c_f / t_f}{28.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$
 $\bar{\lambda}_p = \frac{178/25}{28.4 \cdot \sqrt{\frac{235}{275}} \cdot \sqrt{0.43}} = 0.413 < 0.748$ [-]

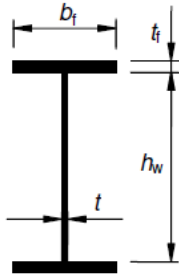
Fattore di riduzione dell'area: $\rho = 1.00$ [-]

Altezza effettiva del pannello d'ala: $b_{eff} = \rho \cdot b = 400$ [mm]

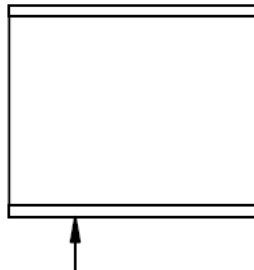
Area effettiva del pannello d'ala: $A_{t,eff} = b_{eff} \cdot t_f = 400 \cdot 25 = 10000$ [mm²]

Area effettiva della sezione: $A_{eff} = 2 \cdot A_{t,eff} + A_{w,eff} = 33865$ [mm²]

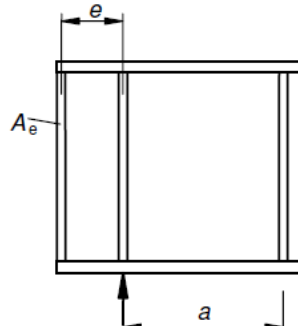
1.2. Determinazione della resistenza a taglio del pannello d'anima irrigidito



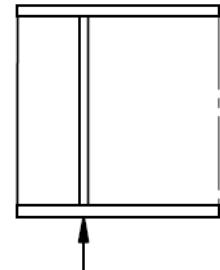
Cross section notations



a) No end post



b) Rigid end post



c) Non-rigid end post

Distanza massima tra gli irrigidimenti trasversali: $a = 1500$ [mm]

Tensione critica euleriana del pannello d'anima:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t_w^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot h_w^2}$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 18^2}{12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 1124^2} = 48.73$$
 [MPa]

Rapporto tra larghezza e altezza del pannello: $\frac{a}{h_w} = \frac{1500}{1124} = 1.335 > 1.00$ [-]

Coefficiente di imbozzamento:

$$k_t = 5.34 + 4.00 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2$$

$$k_t = 5.34 + 4.00 \cdot \left(\frac{1124}{1500}\right)^2 = 7.586$$
 [-]

Tensione tangenziale critica: $\tau_{cr} = k_t \cdot \sigma_E = 7.586 \cdot 48.73 = 369.64$ [MPa]

Snellezza adimensionale del pannello d'anima:

$$\bar{\lambda}_w = 0.76 \cdot \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr}}} = 0.76 \cdot \sqrt{\frac{275}{369.64}} = 0.656 < \frac{0.83}{\eta}$$
 [-]

Table 5.1: Contribution from the web χ_w to shear buckling resistance

	Rigid end post	Non-rigid end post
$\bar{\lambda}_w < 0.83/\eta$	η	η
$0.83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1.08$	$0.83/\bar{\lambda}_w$	$0.83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1.08$	$1.37/(0.7 + \bar{\lambda}_w)$	$0.83/\bar{\lambda}_w$

Assunto $\eta = 1.00$ il coefficiente di riduzione di resistenza risulta: $\chi_w = \eta = 1.00$ [-]

La resistenza a taglio del pannello d'anima irrigidito risulta per tanto:

$$V_{Dw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1.00 \cdot 1124 \cdot 18 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 1000} = 3059.30 \text{ [kN]}$$

Argomento	Travi ad anima piena		
Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	5 di 6

1.3. Determinazione della resistenza degli irrigidimenti trasversali

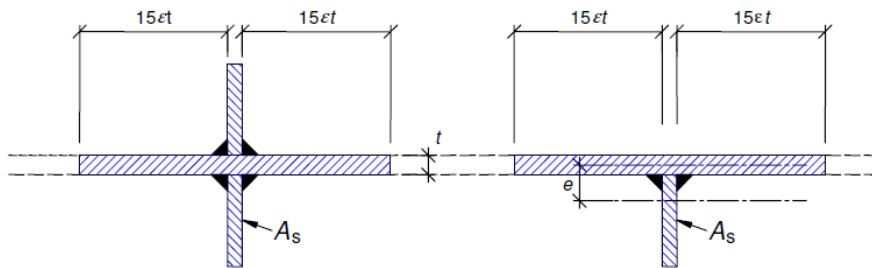


Figure 9.1: Effective cross-section of stiffener

Numero di irrigidimenti per lato:	$n_{st} = 1$ (sezione a T)	
Spessore dell'irrigidimento:	$t_{st} = 10$	[mm]
Larghezza effettiva della sezione dell'irrigidimento:	$L_{st} = 2 \cdot (15 \cdot \epsilon \cdot t_w) + t_{st}$ $L_{st} = 2 \cdot \left(15 \cdot \sqrt{\frac{235}{275}} \cdot 18 \right) + 10 = 509.18$	[mm]
Altezza in pianta dell'irrigidimento:	$h_{st} = 175$	[mm]
Posizione del baricentro rispetto a bordo dell'anima:	$z_G = \frac{L_{st} \cdot t_w \cdot \frac{t_w}{2} + h_{st} \cdot t_{st} \cdot \left(t_w + \frac{h_{st}}{2} \right)}{L_{st} \cdot t_w + h_{st} \cdot t_{st}}$ $z_G = \frac{509.18 \cdot 18 \cdot 9 + 175 \cdot 10 \cdot \left(18 + \frac{175}{2} \right)}{509.18 \cdot 18 + 175 \cdot 10} = 24.47$	[mm]
Eccentricità del baricentro rispetto all'asse dell'anima:	$e = z_G - \frac{t_w}{2} = 24.47 - 9 = 15.47$	[mm]
Area della sezione trasversale dell'irrigidimento:	$A_{st} = L_{st} \cdot t_w + h_{st} \cdot t_{st}$ $A_{st} = 509.18 \cdot 18 + 175 \cdot 10 = 10915.33$	[mm ²]
Momento d'inerzia dell'irrigidimento:	$I_{st} = \frac{L_{st} \cdot t_w^3}{12} + L_{st} \cdot t_w \cdot \left(z_G - \frac{t_w}{2} \right)^2 + \frac{t_{st} \cdot h_{st}^3}{12} + t_{st} \cdot h_{st} \cdot \left(t_w + \frac{h_{st}}{2} - z_G \right)^2$ $I_{st} = \frac{509.18 \cdot 18^3}{12} + 509.18 \cdot 18 \cdot \left(24.47 - \frac{18}{2} \right)^2 + \frac{10 \cdot 175^3}{12} + 10 \cdot 175 \cdot \left(18 + \frac{175}{2} - 24.47 \right)^2 = 18.4 \cdot 10^6$	[mm ⁴]
Momento d'inerzia minimo richiesto dalla normativa affinché l'irrigidimento possa essere considerato "rigido":		
Rapporto tra larghezza e altezza del pannello:	$\frac{a}{h_w} = \frac{1500}{1124} = 1.335 < \sqrt{2}$	[-]
Momento d'inerzia minimo richiesto:	$I_{st,min} = \frac{1.5 \cdot h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2} = \frac{1.5 \cdot 1124^3 \cdot 18^3}{1500^2} = 5.5 \cdot 10^6 < I_{st}$	[mm ⁴]
L'irrigidimento progettato può essere considerato rigido.		

SCHEDE APPLICATIVE DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI	Argomento	Travi ad anima piena		
	Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
	Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
	Redattore	Simone Caffè	Pagina	6 di 6

La forza assiale di progetto nell'irrigidimento deriva dal massimo taglio sollecitante:

$$\bar{\lambda}_w < \frac{0.83}{\eta} \quad \rightarrow \quad N_{Ed,V,st} = \left(V_{Ed} - \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \right)$$

$$\bar{\lambda}_w > \frac{0.83}{\eta} \quad \rightarrow \quad N_{Ed,V,st} = \left(V_{Ed} - \frac{1}{\lambda_w^2} \cdot \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \right)$$

$$N_{Ed,V,st} = \left(V_{Ed} - \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \right) = \left(984 - \frac{1124 \cdot 18 \cdot 275}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 1000} \right) = -2076 \quad [\text{kN}]$$

La tensione nell'irrigidimento è pari a:

$$\sigma_{t,st} = \frac{N_{Ed,V,st}}{A_{st}} = \frac{2076000}{10915.33} = 190.19 < f_y$$

1.4. Verifiche di resistenza e stabilità della trave

1.4.1. Caratteristiche meccaniche effettive

Area effettiva della sezione trasversale:

$$A_{eff} = 2 \cdot A_{t,eff} + A_{w,eff} = 33865 \quad [\text{mm}^2]$$

Momenti d'inerzia effettivi:

$$I_{eff,y} = I_y - \frac{t_w \cdot [h_w - b_{eff}]^3}{12} = 918548 \cdot 10^4 - \frac{18 \cdot [1124 - 770.29]^3}{12} = 911910 \cdot 10^4 \quad [\text{mm}^4]$$

$$I_{eff,z} = I_z - \frac{t_w^3 \cdot [h_w - b_{eff}]}{12} = 26723 \cdot 10^4 - \frac{18^3 \cdot [1124 - 770.29]}{12} = 26706 \cdot 10^4 \quad [\text{mm}^4]$$

Raggi d'inerzia effettivi:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{eff,y}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{911910 \cdot 10^4}{33865}} = 518.92 \quad [\text{mm}]$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_{eff,z}}{A_{eff}}} = \sqrt{\frac{26706 \cdot 10^4}{33865}} = 88.80 \quad [\text{mm}]$$

1.4.2. Resistenze a carico di punta

Lunghezze libere d'inflessione:

$$L_{0y} = 9000 \quad [\text{mm}]$$

$$L_{0z} = 1500 \quad [\text{mm}]$$

Snellezze delle trave:

$$\lambda_y = \frac{L_{0y}}{i_y} = \frac{9000}{518.92} = 17.34 \quad [-]$$

$$\lambda_z = \frac{L_{0z}}{i_z} = \frac{1500}{88.80} = 16.89 \quad [-]$$

Normali critiche Euleriane:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_{eff}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 33865}{17.34^2} = 233438256 \quad [\text{N}]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_{eff}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 33865}{16.89^2} = 246042945 \quad [\text{N}]$$

**SCHEDE APPLICATIVE DI TECNICA
DELLE COSTRUZIONI**

Argomento	Travi ad anima piena		
Soggetto	Verifica agli Stati Limite		
Riferimento	EN 1993 – 1 – 5 : 2006 EN 1993 – 6: 2007		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	7 di 6

Snellezze adimensionali:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} \cdot f_y}{N_{\text{cr},y}}} = \sqrt{\frac{33865 \cdot 275}{233438256}} = 0.1998 \quad [-]$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} \cdot f_y}{N_{\text{cr},z}}} = \sqrt{\frac{33865 \cdot 275}{246042945}} = 0.1946 \quad [-]$$

Coefficienti di instabilità:

$$\phi_y = 0.5 \cdot (1 + \alpha_y \cdot (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.34 \cdot (0.1998 - 0.2) + 0.1998^2) = 0.5199 \quad [-]$$

$$\phi_z = 0.5 \cdot (1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.49 \cdot (0.1946 - 0.2) + 0.1946^2) = 0.5176 \quad [-]$$

Coefficienti di riduzione di resistenza:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = 1.0001 \rightarrow 1.00 \quad [-]$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2}} = 1.0028 \rightarrow 1.00 \quad [-]$$

Resistenze all'instabilità per carico di punta:

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1.00 \cdot 33865 \cdot 275}{1.05 \cdot 1000} = 8869.44 \quad [\text{kN}]$$

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1.00 \cdot 33865 \cdot 275}{1.05 \cdot 1000} = 8869.44 \quad [\text{kN}]$$

1.4.3. Resistenza a presso flessione

$$\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{b,Rd,\text{min}}} + \frac{M_{\text{Ed},y}}{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{133.8}{8869.44} + \frac{1965 \cdot 10^6}{\frac{17701.3 \cdot 10^3 \cdot 275}{1.05}} = 0.44 < 1.00 \quad \text{Verificato}$$