



Calcolo delle strutture in alluminio secondo NTC 08 Parte 3

ing. Domenico Leone



Calcolo delle strutture in alluminio secondo NTC 08

Parte 3

Domenico Leone

L'ing. Domenico Leone vanta un'esperienza più che trentennale nel campo della progettazione e realizzazione di strutture metalliche sia in campo industriale che infrastrutturale e civile ed è titolare del laboratorio di "Costruzione dell'Architettura" presso la facoltà di Architettura di Genova in qualità di professore a contratto.

E' consulente di azienda avendo occupato in precedenza il ruolo di Responsabile del settore di progettazione di opere in carpenteria metallica prima presso la Società Italimpianti S.p.A. e successivamente presso le Società SMSDemag e Paul-Wurth S.p.A.

Ha partecipato alla progettazione di grandi impianti industriali di produzione e trasformazione dell'acciaio e ne ha seguito la realizzazione con le imprese costruttrici e di montaggio acquisendo ampia esperienza in tutti i settori del ciclo di esecuzione delle opere metalliche.

Per il suo impegno in campo internazionale vanta ampia conoscenza delle norme di settore utilizzate in varie nazioni con particolare riguardo agli Eurocodici.

Ha esercitato ed esercita tuttora attività formativa in ambito Aziendale, Universitario, Pubblico, Privato e dell'Ordine Professionale.

È autore del libro "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali nonché di numerosi programmi di calcolo automatico dedicati sia alla progettazione di strutture in acciaio di impianti industriali che alla progettazione di componenti strutturali e di dettaglio proprie degli edifici civili e delle infrastrutture (pacchetto SAITU edito da STA DATA S.r.l.) in base agli Eurocodici ed alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

S.T.A. DATA srl
Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino
tel. 011 6699345 www.stadata.com

Indice

Parte I	ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ALLUMINIO	4
----------------	--	----------

1 ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ALLUMINIO

ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ALLUMINIO

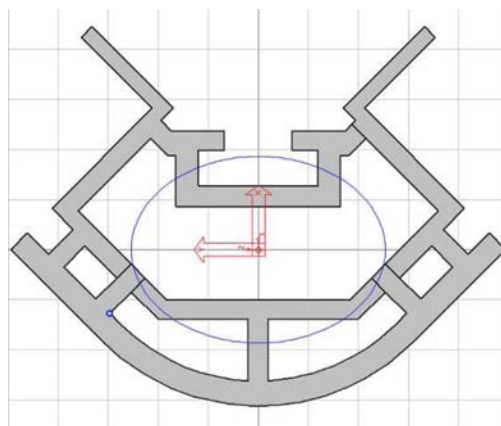
SEZIONE MONO-SIMMETRICA

PROGETTO IN ACCORDO CON NTC 2008 e EN 1999-1-1

1 – Premessa

Con riferimento alla trattazione teorica delle precedenti newsletter viene presentato nel seguito un esempio pratico di calcolo eseguito col programma automatico “PrefleEC9Al” facendo continuamente riferimento alla norma EN 1999-1-1 e , per quanto riguarda il calcolo in condizioni sismiche , alla norma EN 1998-1 anche se le verifiche in tali condizioni non sono previste da nessuna norma per elementi in alluminio.

L’elemento analizzato fa parte di un telaio mono-piano che supporta un carico permanente di pannelli solari. Il profilo è in lega di alluminio estrusa di sezione mono-simmetrica complessa “parzialmente chiusa” di dimensioni 92 x 70 mm.



Per un elemento “COLONNA” le sollecitazioni sismiche (N,M,V) devono essere ricavate da una combinazione che è la somma degli effetti prodotti dal carico permanente (o massa sismica) e dell’azione **sismica orizzontale** opportunamente maggiorati (item 6.6.2 – 6.6.3 EN 1998-1) :

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

γ_{ov} è il coefficiente di sicurezza per il materiale che può essere definito (come per l'acciaio ed in accordo con NTC 2008) in funzione della classe di resistenza del materiale oppure (in accordo con EN 1998-1) indipendentemente dal materiale e univocamente posto uguale a **1,25**

Ω è il fattore di sovrarresistenza che per un **elemento di telaio resistente a momento** (moment resisting frame) è dato dalla seguente espressione :

$$\Omega = \min [M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i} ; q] \quad \text{dove } q = 4 \text{ per bassa duttilità}$$

Assumendo come zona dissipativa la base della colonna il momento resistente plastico di progetto della colonna è dato da (& 6.6.3 (2) – EN 1998-1) :

$$M_{pl,Rd,i} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 28 \cdot 12 / 1,1 = \mathbf{305 \text{ kNcm}}$$

$M_{Ed,i}$ = valore di progetto del momento flettente nell'asta nella situazione sismica di progetto = **23 kNcm**

$$M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i} = 305 / 23 = 13,3 \quad \text{per cui } \Omega = \mathbf{4}$$

La schermata seguente illustra il calcolo delle sollecitazioni di progetto della colonna in condizioni sismiche

SECONDO EN 1998-1 (it. 6.6.2 - 6.6.3) e NTC 2008 (it. 7.5.4) - per telai resistenti a momento

elemento COLONNA

TRAVE di telaio resistente a momento

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \leq N_{pl,Rd}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

$$\Omega = \min [E_{pl,Rd,i} / E_{Ed,i} ; q] = 4,00 \leq q$$

$$\Omega = \min [1,5 \cdot E_{p,link,i} / E_{Ed,i} ; q] =$$

 $\Omega = \min.$ tra tutte le zone dissipat.

E = M

$N_{Ed,G} =$	10	kN	$N_{Ed,E} =$	0	kN
$M_{Ed,G} =$	5	kNcm	$M_{Ed,E} =$	18	kNcm
$V_{Ed,G} =$	3	kN	$V_{Ed,E} =$	6	kN

per la verifica a taglio

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 28 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 9 \text{ kN}$$



$N_{Ed} =$	10	kN
$M_{Ed} =$	104	kNcm
$V_{Ed} =$	36	kN

dati di input del progetto

2 – Calcolo delle caratteristiche della sezione efficace

La schermata seguente riassume le condizioni iniziali di progetto sia per la verifica di resistenza che per la verifica di stabilità :

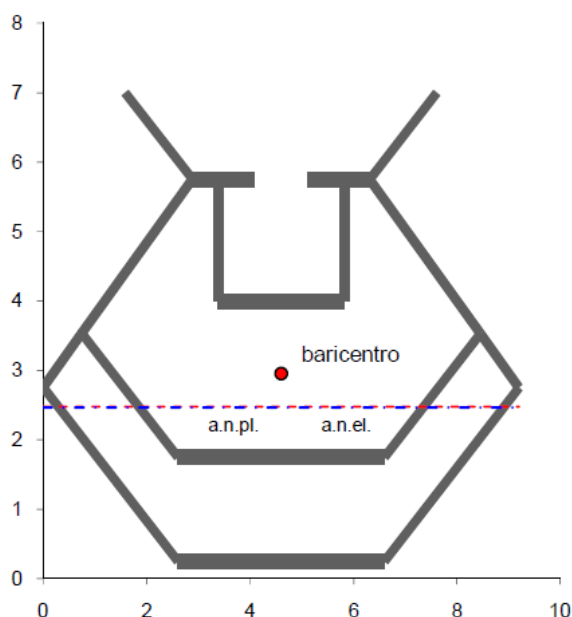
MATERIALE	EN AW 6060 T5 - t < 5	$f_o = 12,00 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 16,00 \text{ kN/cm}^2$	$\epsilon =$	1,44
SEZIONE	LAMINATA O ESTRUSA	TIPO: COLONNA	MONO-SIMMETRICA	$\gamma_{M1} =$	1,1
SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :				resistenza	stabilità
combinazione di carichi SISMICA ; $q > 1$		Momento flettente :	$M_{Ed} =$ kNcm	104	23
elaborazione dati di input a pag 4		Taglio congruente :	$V_{Ed} =$ kN	36	9
		Compress. assiale :	$N_{Ed} =$ kN	10	10

2.1 – calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione lorda

La sezione complessa sopra rappresentata può essere definita in modo semplificato a parità di area e inerzia tramite elementi lineari descritti nella seguente tabella dati.

ELEMENTO	H = cm	I = lunghezza dell'elemento tra i nodi					inserire parti da sx. a dx. e dal basso verso l'alto				
	B = cm	yg ; zg = coordinate baricentriche riferite a I					le flange devono essere parallele all'asse y-y				
	COMPON. SEZIONE	SPESSORE	LUNGH.	DIST. g-z	DIST. g-y	ROTAZ.	AREA	M.STAT. Z	M.STAT. Y	Wply	Wplz
	s = cm	l = cm	Yg = cm	Zg = cm	$\alpha = ^\circ$	A = cm ²	Sz = cm ³	Sy = cm ³	cm ³	cm ³	
1	FLANGIA INFERIORE E FLANGIA INTERNA	0,5	4	4,6	0,25	0	2	9,2	0,5	5,0415955	2
2		0,5	4	4,6	1,75	0	2	9,2	3,5	2,0415955	2
3						0	0	0	0	0	0
4						0	0	0	0	0	0
5						0	0	0	0	0	0
6						0	0	0	0	0	0
7						0	0	0	0	0	0
8						0	0	0	0	0	0
9						0	0	0	0	0	0
10						0	0	0	0	0	0
1	ANIME E RACCORDI ORIZZONTALI	0,5	3,6069378	1,3	1,5	136,1233	1,8034689	2,3445095	2,7052033	2,2921562	5,950941
2		0,5	3,6069378	7,9	1,5	43,876697	1,8034689	14,247404	2,7052033	2,2921562	5,9519536
3		0,7	1,0812496	0,3747118	3,1397002	46,123303	0,7568747	0,2836099	2,3763597	0,279633	3,1978013
4		0,7	1,0812496	8,8252882	3,1397002	133,8767	0,7568747	6,6796375	2,3763597	0,279633	3,1982263
5		0,35	2,5672747	1,6747118	2,6397002	136,1233	0,8985461	1,5048058	2,3718925	0,4083971	2,6282542
6		0,35	2,5672747	7,5252882	2,6397002	43,876697	0,8985461	6,7618187	2,3718925	0,4083971	2,6287587
7		0,35	3,0806017	1,8170195	4,6397002	46,123303	1,0782106	1,9591296	5,0025739	2,0150705	3,0003364
8		0,35	3,0806017	7,3829805	4,6397002	133,8767	1,0782106	7,9604078	5,0025739	2,0150705	3,0009418
9		0,5	1,75	3,3846154	4,875	90	0,875	2,9615385	4,265625	1,841177	1,0632159
10		0,5	1,75	5,8153846	4,875	90	0,875	5,0884615	4,265625	1,841177	1,0637072
11		0,25	1,8034689	2,2346154	6,375	136,1233	0,4508672	1,0075148	2,8742785	1,6250167	1,0663478
12		0,25	1,8034689	6,9653846	6,375	43,876697	0,4508672	3,1404636	2,8742785	1,6250167	1,066601
1	FLANGIA SUPERIORE E FLANGIA INTERNA	0,35	0,5	3,1346154	5,75	0	0,175	0,5485577	1,00625	0,5213604	0,2563932
2		0,35	0,5	6,0653846	5,75	0	0,175	1,0614423	1,00625	0,5213604	0,2564914
3		0,35	0,7	3,7346154	5,75	0	0,245	0,9149808	1,40875	0,7299046	0,2119504
4		0,35	0,7	5,4653846	5,75	0	0,245	1,3390192	1,40875	0,7299046	0,212088
5		0,35	2,4307692	4,6	4	0	0,8507692	3,9135385	3,4030769	1,0457675	0,5170059
6						0	0	0	0	0	0
7						0	0	0	0	0	0
8						0	0	0	0	0	0
9						0	0	0	0	0	0
10						0	0	0	0	0	0
larghezza flangia superiore		4,8307692 cm		TOTALE		17,417	80,11684	51,424943	28	39	
larghezza flangia inferiore		8 cm		nota :		racordi intermedi anime su non più di 2 livelli					

La sezione è automaticamente e istantaneamente disegnata per evitare errori di input. Di seguito viene riportata la “sezione equivalente” a quella reale così come descritta attraverso la tabella dati che mantiene stessa area e stessa inerzia nonché un rapporto larghezza/spessore delle parti compresse prossimo a quello reale.



Le caratteristiche geometriche della sezione lorda sono automaticamente calcolate :

Altezza totale	(h)	cm		7
Largh. flangia sup.	(b _f)	cm		4,8307692
Largh. flangia inf.	(b _i)	cm		8
Dist. anime accopp.	(d _w)	cm		0
Spessore min. anima	(t _w)	cm		0,25
Sp. min. flangia sup.	(t _f)	cm		0,35
Sp. min. flangia inf.	(t _i)	cm		0,5
Racc. anima-flangia	(r)	cm		0
Altezza netta anima/e	(d)	cm		6,15
Sporgenza ala superiore	(c _f)	cm		0,70
Sporgenza ala inferiore	(c _i)	cm		0,00
Area della sezione (A)		cm ²		17,42
Posiz. asse baricentrico	(z _G)	cm		2,95
Posiz. asse neutro plastico (z _n)		cm		2,57
Posiz. a.n.p. per fless. pura (d ₂)		cm		2,77
Momento di inerzia max. (J _y)		cm ⁴		60
Momento di inerzia min. (J _z)		cm ⁴		117
W _{ys} esterno lembo superiore		cm ³		15
W _{yi} esterno lembo inferiore		cm ³		20
W _{yas} flangia interna superiore		cm ³		57
W _{yai} flangia interna inferiore		cm ³		50
W _{el.min} = MIN (W _{ys} , W _{yi})		cm ³		15
W _{pl.y}		cm ³		28

2.2 – definizione delle parti interne ed esterne della sezione e calcolo della sezione efficace

La sezione geometricamente definita è caratterizzata da parti interne (comprese tra altre parti) e parti esterne (aggettanti o sporgenti) . Ciascuna parte componente la sezione deve essere definita “interna” o “esterna” tramite pulsanti di comando come di seguito rappresentato :

E = elemento esterno
I = elemento interno

el. 1	el. 2	el. 3	el. 4	el. 5	el. 6	el. 7	el. 8	el. 9	el. 10		
I	I	E	E	I	I	I	I	I	I		

La caratterizzazione di ciascuna parte consente il calcolo automatico della classe della sezione e allo stesso tempo, del fattore di riduzione per la definizione della sezione efficace.

CLASSIFICAZIONE (tab. 6.2 e nota)	el. 1	el. 2	el. 3	el. 4	el. 5	el. 6	el. 7	el. 8	el. 9	el. 10	el. 11	el. 12
Anime $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	0,30	0,30	1,15	1,15	3,03	3,03	6,93	6,93	2,91	2,91	6,60	6,60
$\eta =$	0,04	0,04	0,74	0,74	0,41	0,41	0,79	0,79	0,83	0,83	0,91	0,91
$\psi =$	-18,37	-18,37	0,14	0,14	-0,96	-0,96	0,29	0,29	0,44	0,44	0,71	0,71
CLASSE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
Flangia superiore $\beta = c/t =$	1,43	1,43	2,00	2,00	6,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Larghezza/spessore anime interne e anime di sezione a T

classe 1	$\beta_1 = 18,76$	controllo flange interne $\Psi_{f,js} = 0,31$ $\Psi_{f,ji} = -0,20$	$\alpha = 0$
classe 2	$\beta_2 = 23,82$		$\psi = -0,6$
classe 3	$\beta_3 = 25,98$		$\eta = 0,52$

Larghezza/spessore flange e anime sporgenti

classe 1	$\beta_1 = 5,05$	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 = 18,76$	ELEMENTI INTERNI
classe 2	$\beta_2 = 6,50$		classe 2	$\beta_2 = 23,82$	
classe 3	$\beta_3 = 7,22$		classe 3	$\beta_3 = 25,98$	

CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2)

B

CLASSE SEZIONE

3

La classe della sezione è ottenuta confrontando il parametro β di ciascuna parte con i valori limite sopra riportati che dipendono dalla classe di stabilità (BC class ,definita in funzione del tipo di materiale) della sezione e dalla presenza o meno di saldature.

Parts in beams

$$\begin{aligned} \beta \leq \beta_1 & : \text{class 1} \\ \beta_1 < \beta \leq \beta_2 & : \text{class 2} \\ \beta_2 < \beta \leq \beta_3 & : \text{class 3} \\ \beta_3 < \beta & : \text{class 4} \end{aligned}$$

Parts in struts

$$\begin{aligned} \beta \leq \beta_2 & : \text{class 1 or 2} \\ \beta_2 < \beta \leq \beta_3 & : \text{class 3} \\ \beta_3 < \beta & : \text{class 4} \end{aligned}$$

Il fattore di riduzione ρ e le costanti di riduzione C sono così definiti :

$$\rho_c = 1,0 \quad \text{if } \beta \leq \beta_3 \quad (6.11)$$

$$\rho_c = \frac{C_1}{(\beta/\epsilon)} - \frac{C_2}{(\beta/\epsilon)^2} \quad \text{if } \beta > \beta_3 \quad (6.12)$$

Table 6.3 - Constants C_1 and C_2 in expressions for ρ_c

Material classification according to Table 3.2	Internal part		Outstand part	
	C_1	C_2	C_1	C_2
Class A, without welds	32	220	10	24
Class A, with welds	29	198	9	20
Class B, without welds	29	198	9	20
Class B, with welds	25	150	8	16

(3) For flat outstand parts in unsymmetrical cross-sections (Figure 6.1), ρ_c is given by the above expressions for flat outstand in symmetrical sections, but not more than $120/(\beta/\epsilon)^2$.

La seguente schermata riassume il calcolo delle sezioni efficaci attraverso il fattore ρ

1) calcolo dell'area efficace ($A_{eff,f}$) della **flangia superiore**: n° elementi = 5

		el. 1	el. 2	el. 3	el. 4	el. 5	el. 6	el. 7	el. 8	el. 9	el. 10		
E = elemento esterno													
I = elemento interno		I	I	E	E	I	I	I	I	I	I		
costante di riduzione	$C_1 =$	29	29	9	9	29	29	29	29	29	29		
costante di riduzione	$C_2 =$	198	198	20	20	198	198	198	198	198	198		
fattore di riduzione	$\rho_c =$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
$t_{r,eff} = \rho_c \cdot t_r$	$t_{r,eff} = \text{cm}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
area efficace flangia	$A_{eff,f} = \text{cm}^2$	0,18	0,18	0,25	0,25	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1,69

2) calcolo dell'area efficace ($A_{eff,i}$) della **flangia inferiore**: n° elementi = 2

		el. 1	el. 2	el. 3	el. 4	el. 5	el. 6	el. 7	el. 8	el. 9	el. 10		
I = elemento interno		I	I	I	E	E	I	I	I	I	I		
costante di riduzione	$C_1 =$	29	29	29	9	9	29	29	29	29	29		
costante di riduzione	$C_2 =$	198	198	198	20	20	198	198	198	198	198		
fattore di riduzione	$\rho_c =$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
$t_{i,eff} = \rho_c \cdot t_i$	$t_{i,eff} = \text{cm}$	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
area efficace flangia	$A_{eff,i} = \text{cm}^2$	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		4,00

3) calcolo dell'area efficace ($A_{eff,w}$) dell'**anima**: n° elementi = 12

limitaz. di ρ_w per "T" = 1

		el. 1	el. 2	el. 3	el. 4	el. 5	el. 6	el. 7	el. 8	el. 9	el. 10	el. 11	el. 12
I = elemento interno		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
E = elemento esterno												E	E
costante di riduzione	$C_1 =$	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	9	9
costante di riduzione	$C_2 =$	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	20	20
fattore di riduzione	$\rho_w =$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$t_{w,eff} = \rho_w \cdot t_w$	$t_{w,eff} = \text{cm}$	0,50	0,50	0,70	0,70	0,35	0,35	0,35	0,35	0,50	0,50	0,25	0,25
area efficace anima	$A_{eff,w} = \text{cm}^2$	1,80	1,80	0,76	0,76	0,90	0,90	1,08	1,08	0,88	0,88	0,45	0,45

Le caratteristiche della sezione efficace sono definite in modo iterativo attraverso un massimo di 7 steps tenendo conto della variazione della posizione dell'asse neutro al variare della sezione efficace e quindi di $\varepsilon = [250/f_0 \cdot z_1/z_2]^{0,5}$;

(4) When classifying parts in members under bending, if the parts are less highly stressed than the most severely stressed fibres in the section, a modified expression $\varepsilon = \sqrt{(250/f_0)(z_1/z_2)}$ may be used. In this expression, z_1 is the distance from the elastic neutral axis of the effective section to the most severely stressed fibres, and z_2 is the distance from the elastic neutral axis of the effective section to the part under consideration. z_1 and z_2 should be evaluated on the effective section by means of an iterative procedure (minimum two steps).

in presenza di forza di taglio maggiore del 50% della resistenza di progetto al taglio, si tiene conto anche della ulteriore riduzione di spessore delle sole parti in anima.

Nelle applicazioni pratiche (e su indicazione della stessa norma come sopra riportato) sono sufficienti due step di iterazione .

4) calcolo dell'area e dei moduli di resistenza efficaci: item 6.7.2 (6)

		I° step	II° step	III° step	IV° step	V° step	VI° step	RIDOTTI PER TAGLIO
Area sez. ridotta	$A_{eff} = \text{cm}^2$	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42	16,33
Posizione baricentro	$Z_{G,eff} = \text{cm}$	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,93
Momento di inerzia	$J_{y,eff} = \text{cm}^4$	60	60	60	60	60	60	57
Modulo di res. sup.	$W_{eff,s} = \text{cm}^3$	15	15	15	15	15	15	14
Modulo di res. inf.	$W_{eff,i} = \text{cm}^3$	20	20	20	20	20	20	19

3 – Verifica di resistenza

La verifica di resistenza è eseguita in assenza di taglio ed in presenza di taglio quando quest'ultimo supera il 50% della resistenza di progetto a taglio.

Viene tenuta in conto anche l'influenza della forza assiale sul **momento resistente di progetto** attraverso una opportuna riduzione dello stesso tramite il fattore di riduzione così definito:

$$R = [1 - (N_{Ed} / (A_{f1} + A_{f2}) / f_d)^2]$$

In cui A_{f1} e A_{f2} sono le aree delle flange (superiore ed inferiore) o più in generale le aree degli elementi orizzontali estremi

In assenza di taglio la verifica di resistenza è conforme all'item 6.2.9

In presenza di taglio la verifica è eseguita in base all'item 6.2.10

In presenza di taglio e forza assiale viene eseguita l'interazione tra le sollecitazioni N,M,V secondo le indicazioni dell'item 6.7.6.1 della EN 1999-1-1

La seguente schermata riassume il quadro delle verifiche di resistenza con evidenziati gli algoritmi di calcolo ; il parametro “a” è la distanza tra eventuali irrigiditori trasversali dell'anima mentre η_0 , γ_0 e ξ_0 sono gli esponenti delle espressioni di verifica che possono essere posti cautelativamente uguale a 1.

VERIFICA DI RESISTENZA

Area resistente a taglio :	$\beta = d / t = 24,6 < 39$	$\varepsilon = 56,3$	$A_v =$	<input type="text" value="8,77"/>	cm ²
Resistenza di progetto a taglio :	$v_1 = 2,31$	$V_{Rd} = v_1 \cdot A_v \cdot (f_o / 3^{1/2}) / \gamma_{M1} =$	<input type="text" value="55,21"/>	kN	
a = cm	<input type="text" value="100"/>	$V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$	$\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 =$	<input type="text" value="0,092448"/>	
Verifica di resistenza per sezione di classe	<input type="text" value="3"/>	$f_d = f_o / \gamma_{M1} =$	<input type="text" value="10,909"/>	kN/cm ²	
$A_{f1} =$	<input type="text" value="1,69"/>	cm ²	$A_{f2} =$	<input type="text" value="4,00"/>	cm ²
$R = [1 - (N_{Ed} / (A_{f1} + A_{f2}) / f_d)^2]$			$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{y,el} \cdot f_d$		
$\alpha_y =$	<input type="text" value="1"/>	$\eta_o =$	<input type="text" value="1"/>	$\gamma_o = \xi_o =$	<input type="text" value="1"/>
elemento con saldature locali o fori ?	<input type="text" value="N"/>	$\gamma_{M2} =$	<input type="text" value="1,25"/>	$M_{c,Rd} =$	$W_{eff} \cdot f_d =$
				<input type="text" value="161,95"/>	kNcm
				$N_{Rd} =$	$A_{eff} \cdot f_d =$
				<input type="text" value="190,00"/>	kN
in assenza di taglio :	$\omega_o = 1$	$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{Rd})]^{10} + [M_{Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{10} =$	<input type="text" value="0,695"/>	< 1	
per $V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$	$f_{o,v} = f_o \cdot [1 - \rho]$	$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{v,Rd})]^{10} + [M_{Ed} / (\omega_o \cdot M_{yv,Rd})]^{10} =$	<input type="text" value="0,739"/>	< 1	
interazione	$M_{Ed} / M_{c,Rd} \circ$	$(M_{Ed} + M_{f,Rd}) / 2 \cdot M_{N,Rd} + V_{Ed} / V_{Rd} \cdot (1 - M_{f,Rd} / M_{N,Rd}) =$	<input type="text" value="0,794"/>	< 1	

L'opzione di verifica di sezione provvista di fori o saldature locali è attivata rispondendo "Y" alla domanda. In questo caso il coefficiente di sicurezza per il materiale (γ_{M2}) è generalmente posto uguale a 1,25

4 – Verifica di stabilità

Deve essere definita la lunghezza L dell'elemento tra gli appoggi nonché i fattori di variazione della lunghezza (k_y e k_z) in funzione dei vincoli flessionali e traslazionali di estremità nelle due direzioni.

Anche i fattori di variazione della lunghezza (k e k_w) per l'instabilità torsionale devono essere definiti in input.

I momenti alle estremità dell'elemento come l'eventuale momento intermedio, si riferiscono alla combinazione sismica di progetto **senza alcuna maggiorazione**.

Lunghezza dell'elemento tra gli appoggi :	L =	200	cm	$k_y =$	1,25
Lunghezza libera nel piano principale :	$L_y =$	250	cm	$k_z =$	1
Momenti principali di estremità (+;-)	$M_{Ed,1} =$	23		$M_{Ed,2} =$	-10
(1) Momento dovuto ai carichi laterali nel piano	$ M_Q =$			$\Delta M =$	33
Diagramma del momento flettente (*) :	(l,p,t,q) =	1		<i>lineare</i>	
Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1)	k =	0,5		<i>rotazione z-z impedita delle estremità</i>	
Fattore di lunghezza effettiva k_w (0,5-0,7-1)	$k_w =$	0,5		<i>distorsione impedita delle estremità</i>	
Fattore di distribuzione momenti estremi :	$\psi =$	-0,43		$-1 < \psi < 1$	
Distanza del punto di flesso dall'appoggio :	$x_s =$	61,38733	confirma !		0

nota (1) : momento calcolato per trave semplicemente appoggiata

Il carico trasversale può essere applicato a livello baricentrico o sull'estradosso della sezione con conseguenze sul calcolo del momento critico elastico secondo EN 1999-1-1.

Il momento critico elastico secondo NTC 2008 è applicabile solo a sezioni a I a doppia simmetria mentre il valore calcolato in base alla norma EN1999-1-1 è applicabile a tutte le sezioni mono-simmetriche (Annex I & 1.2 EN 1999-1-1)

Distanza centro di taglio - baricentro	$e =$ cm	0,072	$k_{wt} =$	0
Carico applicato all'estradosso della sezione ? (S , N)		N	$\zeta_g =$	0,004771
Distanza centro di taglio - centro di carico	$z_g =$ cm	0,07	$\zeta_j =$	-0,10764
$\psi_f = (J_{tr} - J_{ti}) / (J_{tr} + J_{ti})$	$\psi_f =$	-0,55	$\mu_{cr} =$	4,50 (*)
$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_s$	$z_j =$ cm	-1,62	$N_{cr,y} =$	66,42 kN
$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot J_z \cdot (h_s/2)^2$	$I_w =$ cm ⁶	0	$N_{cr,z} =$	201,39 kN

Momento critico : $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot [E \cdot J_z \cdot G \cdot J_t]^{0,5} / L = 27241$ kNcm **EN 1999-1-1**

Il momento di inerzia di instabilità distorsionale (I_w) è nullo per sezioni chiuse.

I valori del momento critico adimensionale (μ_{cr}) e del Momento critico

elastico M_{cr} sono ricavati dall'allegato I della norma EN 1999-1-1 :

I.1.2 General formula for beams with uniform cross-sections symmetrical about the minor or major axis

(1) In the case of a beam of uniform cross-section which is symmetrical about the minor axis, for bending about the major axis the elastic critical moment for lateral-torsional buckling is given by the general formula:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} \quad (1.2)$$

where relative non-dimensional critical moment μ_{cr} is

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right], \quad (1.3)$$

non-dimensional torsion parameter is $\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$

relative non-dimensional coordinate of the point of load application related to shear center $\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$

relative non-dimensional cross-section mono-symmetry parameter $\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$

La seguente schermata illustra il calcolo di tutti i parametri di instabilità e le espressioni per la verifica di stabilità a presso-flessione e flesso-torsione in accordo con gli items 6.3.3.1 (1)-(4) e 6.3.3.2 (1)-(5) della norma EN 1999-1-1

Lunghezza libera nel piano laterale :

Raggi di inerzia nei due piani :

Snellezze effettive per presso-flessione :

Snellezze adimensionali corrispondenti :

Limite della snell. adim. per flesso-torsione :

Snellezza per l'instabilità flesso-torsionale :

Coeff. di imperfezione per presso-flessione :

Coeff. di imperfezione per flesso-torsione :

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT0}) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Coeff. di riduzione per presso-flessione :

Coeff. di riduzione per flesso-torsione :

Fattori di progetto della sezione :

L_z	=	200	cm	EC9	▼		
i_y	=	1,86	cm	i_z	=	2,59	cm
λ_y	=	135		λ_z	=	77	< 250
$\bar{\lambda}_y$	=	1,774		$\bar{\lambda}_z$	=	1,019	<= 2
$\bar{\lambda}_0$	=	0		α'_y	=	1	< W_{pl} / W_{el}
$\bar{\lambda}_{LT}$	=	0,081		$\bar{\lambda}_{LT,0}$	=	0,4	

verifica di stabilità flesso-torsionale non richiesta

α_y	=	0,32		α_z	=	0,32
ϕ_y	=	2,357		ϕ_z	=	1,182
α_{LT}	=	0,20		α'_z	=	1
ϕ_{LT}	=	0,471				

χ_y	=	0,256		χ_z	=	0,561
χ_{LT}	=	1,000		χ_{min}	=	0,256
ω_o	=	1,000		η_c	=	0,800
ω_x	=	1,000		ξ_{zc}	=	0,800
ω_{LT}	=	1,000		α''_y	=	1

Capacità del momento flettente intorno a y : $M_{y,Rd} = \alpha''_y \cdot W_y \cdot f_o / \gamma_{M1} =$ **162** kNcm**VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE - item 6.3.3.1 (1)-(4)**

$$[N_{Ed} / (\chi_{min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{\eta_c} + [M_{Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{\xi_{zc}} =$$

0,984	< 1	OK!
-------	-----	-----

VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSO-TORSIONE - item 6.3.3.2 (1)-(5)

$$[N_{Ed} / (\chi_z \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{\eta_c} + [M_{Ed} / (\omega_{LT} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{y,Rd})]^{\xi_{zc}} =$$

0,852	< 1	OK!
-------	-----	-----

Il valore del coefficiente di riduzione χ è calcolato in accordo con l'item 6.3.1.2 della norma EN 1999-1-1 di seguito riportato.

6.3.1.2 Buckling curves

(1) For axial compression in members the value of χ for the appropriate value of $\bar{\lambda}$ should be determined from the relevant buckling curve according to:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{but } \chi < 1,0 \quad (6.50)$$

where:

$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_0}{N_{\text{cr}}}} \quad (6.51)$$

α is an imperfection factor

$\bar{\lambda}_0$ is the limit of the horizontal plateau

N_{cr} is the elastic critical force for the relevant buckling mode based on the gross cross-sectional properties