



# GLI EFFETTI DELLE SALDATURE PER LE SEZIONI IN ALLUMINIO

Domenico Leone

**fare sismica**  
 **APPUNTI**

# GLI EFFETTI DELLE SALDATURE PER LE SEZIONI IN ALLUMINIO

---

**Domenico Leone**

*Il prof. 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 SMS-Demag 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 di 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.*

*E' autore di varie pubblicazioni tecniche e dei volumi "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali, "Lamiere grecate e pannelli coibentati" edito da Mediasoft s.a.s., "Componenti strutturali in acciaio" e "Elementi di completamento strutturale in acciaio" editi da Wolters Kluwer Italia, "Componenti strutturali in alluminio" edito da Dario Flaccovio editore nonché di numerosi programmi di calcolo automatico, basati sulle direttive europee e nazionali, 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 Stadata s.r.l.)*

*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](http://www.stadata.com)

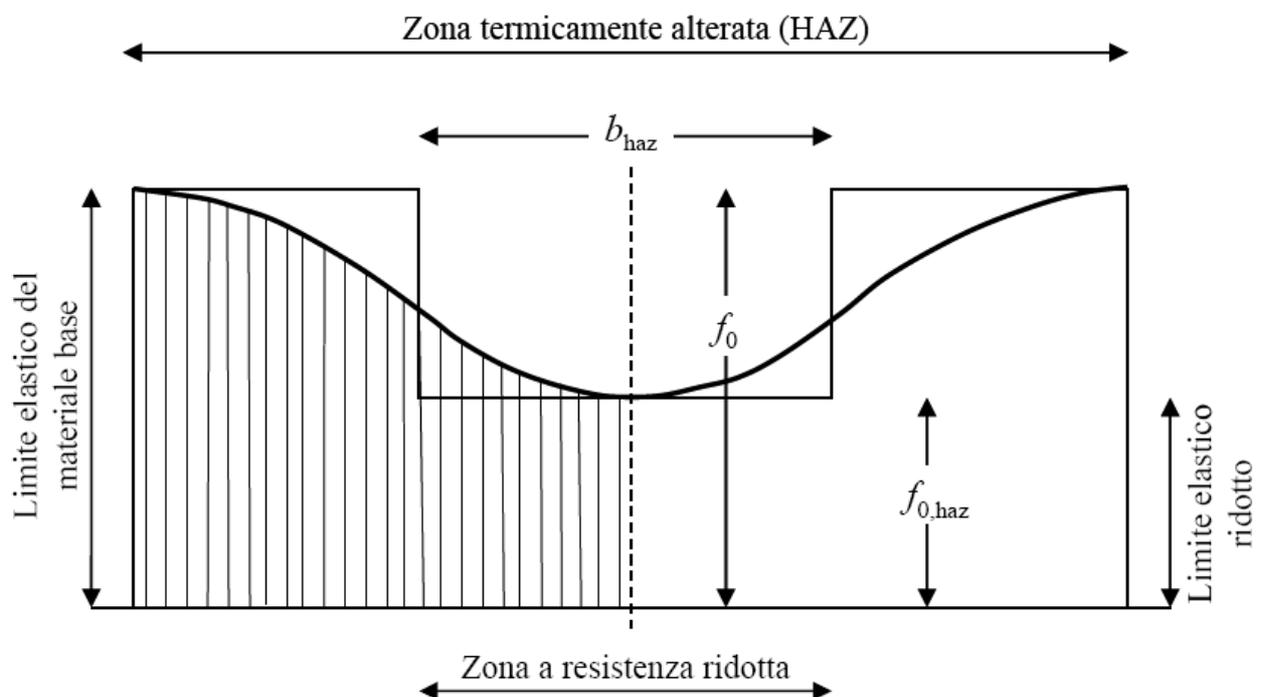
Le zone termicamente alterate (nel seguito HAZ) sono porzioni di elementi che compongono una sezione in prossimità a saldature continue o localizzate. Una saldatura si definisce continua non solo se essa è realizzata per l'intera lunghezza dell'elemento ma anche se la sua estensione è maggiore della minima dimensione della sezione.

Per saldatura locale si intende una saldatura parallela all'asse dell'elemento che si estende per una lunghezza inferiore alla minima dimensione della sezione oppure una qualunque saldatura di parti esterne all'elemento quali piatti nodali, piastre di ancoraggio, giunti con altri elementi.

Le norme CNR DT 208 e EN 1999-1-1 sottolineano come anche piccole saldature locali possono ridurre considerevolmente la resistenza di un elemento strutturale:

*E' importante tenere ben presente che anche una piccola saldatura realizzata per collegare una parte accessoria ad una membratura principale può notevolmente ridurre la resistenza della membratura per effetto della presenza di una HAZ. Nella progettazione delle travi, risulta spesso vantaggioso collocare le saldature e le parti accessorie in zone caratterizzate da bassi stati tensionali, come ad esempio nei pressi dell'asse neutro oppure ad una certa distanza dalle regioni caratterizzate da elevati valori del momento flettente*

La norma CNR DT 208 rappresenta molto bene con un diagramma la variazione della resistenza di una HAZ nella sua larghezza:

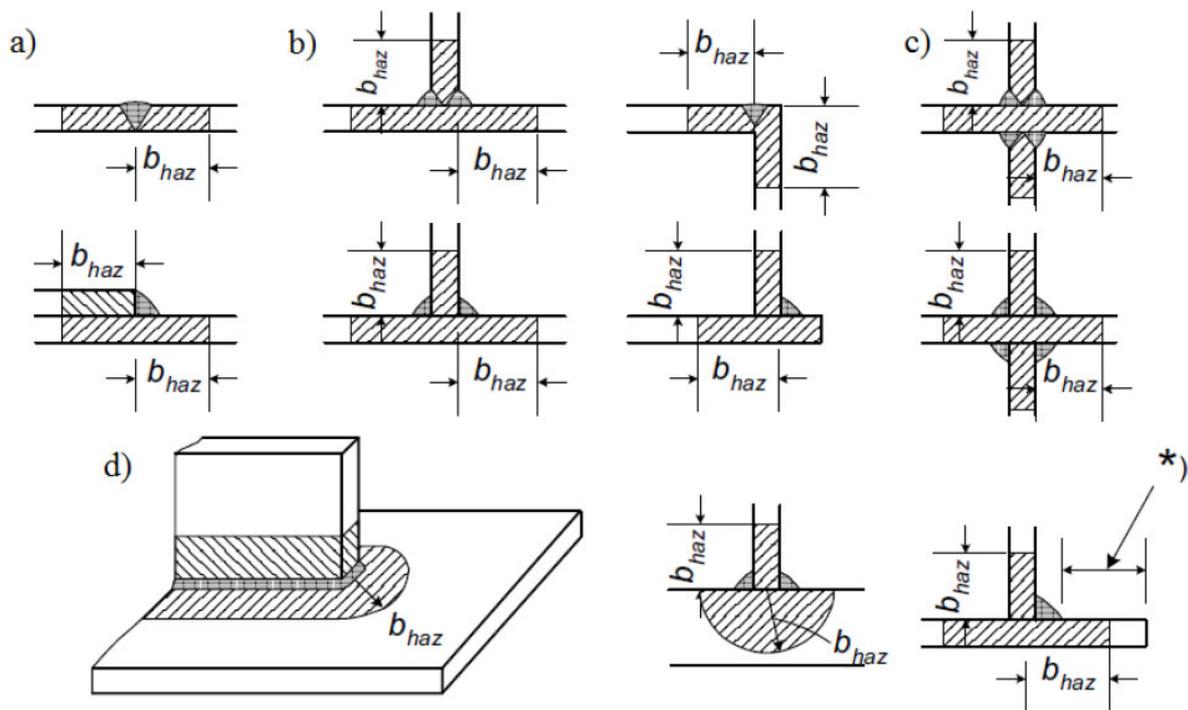


La tensione di snervamento del materiale nella HAZ viene ridotta attraverso un coefficiente  $\rho_{0,\text{haz}}$  tabellato in funzione del tipo di materiale.

$$\rho_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o}$$

$$\rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u}$$

La larghezza delle HAZ è di seguito rappresentata per diverse tipologie di saldature:



\*) Se questa distanza risulta minore di  $3b_{haz}$  si assume che la HAZ si estenda per l'intera larghezza della flangia

L'estensione della HAZ dipende dal tipo di saldatura (MIG o TIG) e si sviluppa in qualunque direzione ad una distanza  $b_{haz}$  misurata a partire dalla saldatura. Per saldature effettuate con procedimento MIG la norma fornisce i seguenti valori indicativi di  $b_{haz}$ :

$0 < t \leq 6 \text{ mm}$ :	$b_{haz} = 20 \text{ mm}$
$6 < t \leq 12 \text{ mm}$ :	$b_{haz} = 30 \text{ mm}$
$12 < t \leq 25 \text{ mm}$ :	$b_{haz} = 35 \text{ mm}$
$t > 25 \text{ mm}$ :	$b_{haz} = 40 \text{ mm}$

*Per saldature eseguite con procedimento TIG, l'estensione della HAZ risulta maggiore di quella indicata nel caso di impiego di procedura MIG, in quanto la quantità di calore fornita è maggiore.*

La norma Europea EN 1999-1-1 avverte sulla determinazione dell'estensione delle HAZ e del fattore  $\rho_{o,haz}$  per leghe non tabellate o per il fatto che variazioni della

composizione chimica e delle caratteristiche meccaniche possono avvenire in differenti passaggi di fabbricazione e manifattura. Ciò significa che resta sempre una incertezza sui parametri che definiscono la resistenza in una HAZ. Aggiungo io che l'incertezza è ancora maggiore non conoscendo la "mano" dell'operatore che, se pur qualificato, può "personalizzare" molto una saldatura.

*NOTE Values for other alloys and tempers must be found and defined by **testing**. If general values are wanted, testing series are necessary to allow for the fact that material from different manufactures of semi products may vary in chemical composition and therefore may show different strength values after welding. In some cases it is also possible to derive strength values from values of well-known alloys by interpolation.*

Entriamo ora nel merito di come tener conto, nel calcolo di resistenza e stabilità di elementi lineari, delle **HAZ di tipo continuo**.

La norma italiana CNR DT 208 dice testualmente:

*nel caso di una **parte di sezione di area A** interessata dal softening presente nelle HAZ, la resistenza può essere espressa **tanto come  $(f_0 \cdot \rho_{0,haz})A$  quanto come  $f_0(\rho_{0,haz} \cdot A)$** , se il progetto è relativo al limite elastico, oppure, nel caso di progetto relativo al limite ultimo, **tanto come  $(f_u \cdot \rho_{u,haz})A$  quanto come  $f_u(\rho_{u,haz} \cdot A)$** .*

L'affermazione "tanto come...quanto come" desta qualche perplessità interpretativa in quanto ridurre gli spessori delle parti che costituiscono l'area interessata dalla saldatura attraverso il fattore  $\rho_{0,haz}$  e diverso dal ridurre la tensione di snervamento del materiale con lo stesso fattore nella stessa area. In quest'ultimo caso (con riferimento alla figura della pagina iniziale) se si esegue la verifica di resistenza di una sezione di cui la parte maggiormente sollecitata contiene una HAZ sarebbe conveniente fare riferimento **alla minima tensione di snervamento** registrata in quella parte esattamente come si fa per sezioni composte da piatti di diverso spessore o di diverso materiale dove la tensione limite di riferimento è sempre la minima.

EN 1999-1-1

*According to EN 755-2: following rule applies: "If a profile cross-section is comprised of different thicknesses which fall in more than one set of specified mechanically property values, **the lowest specified value should be considered as valid for the whole profile cross-section.**"*

CNR DT 208

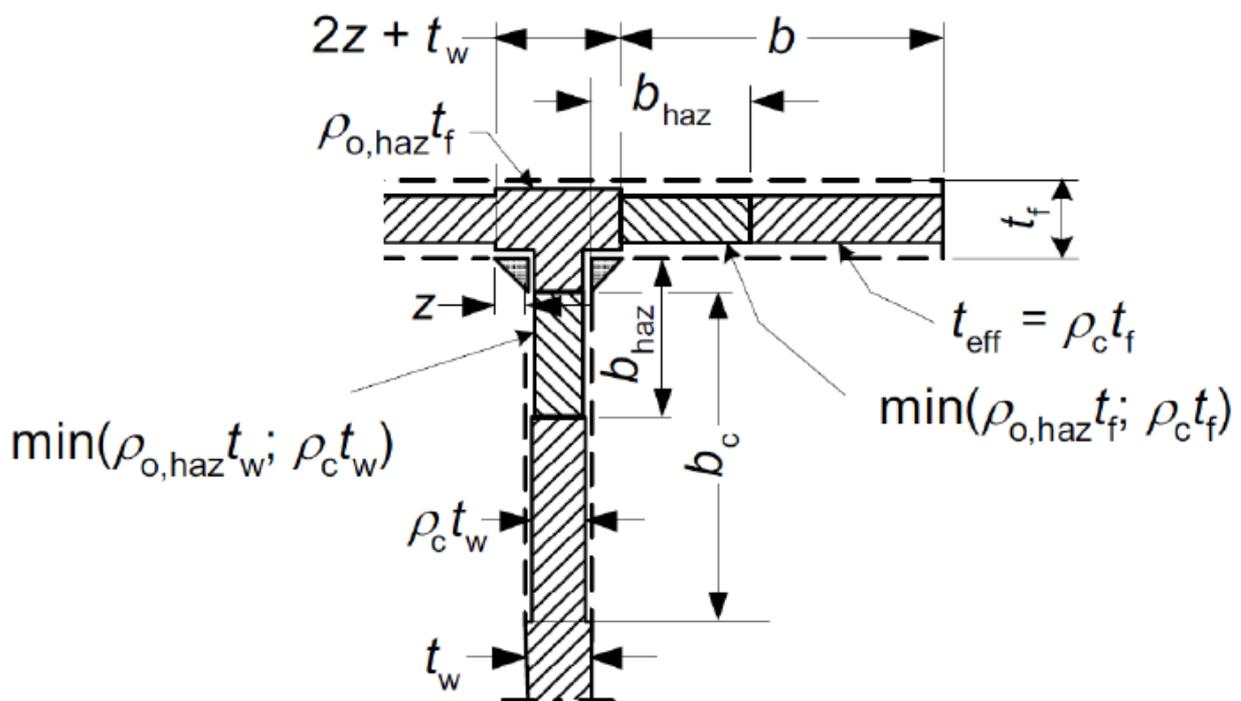
*Se una sezione è compresa, in relazione ai suoi spessori, in **più insieme di proprietà meccaniche specificate, si dovrebbe considerare appropriati quelli più bassi.***

Quanto sopra vale per sezioni di qualunque classe e, in particolare, per sezioni di classe 4 parzializzabili. Il calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione

efficace dovrebbe tener conto della riduzione degli spessori solo agli effetti delle instabilità locali e non per la presenza di HAZ che sarebbe invece tenuta in conto nella riduzione della tensione di snervamento. Inoltre la riduzione della resistenza nelle HAZ potrebbe essere considerata anche per le zone tese della sezione giustificando il calcolo di verifica basato sulla riduzione della tensione di snervamento generalizzata.

Nel caso in cui il fattore di riduzione  $\rho_{0,haz}$  sia applicato agli spessori delle parti comprese nell'area HAZ si potrebbero calcolare le caratteristiche geometriche della **sezione efficace** costituita da parti con spessore ridotto e parti con spessore effettivo attribuendo all'intera sezione una resistenza uguale alla tensione di snervamento  **$f_0$  non ridotta**.

La seguente immagine illustra come dovrebbe essere determinata la sezione efficace nell'incrocio anima-piattabanda di una sezione generica.



Per sezioni di classe 4 parzializzabili la frammentazione delle parti comprese in tratti di diverso spessore evidenzia la difficoltà di un calcolo iterativo della sezione efficace mentre sarebbe più semplice tener conto solo degli spessori ridotti per effetto della instabilità locale e ridurre la tensione di snervamento  $f_0$  attraverso il fattore di riduzione  $\rho_{0,haz}$  **per l'intera sezione**.

E' evidente che quest'ultimo approccio può essere **molto conservativo** ma d'altra parte risponderebbe all'affermazione normativa:

*... la resistenza può essere espressa tanto come  $(f_0, \rho_{0,haz})A$  quanto come  $f_0(\rho_{0,haz}A)$ ...*

che però sembra limitare la riduzione della tensione di snervamento alla sola area A della HAZ senza considerare che tale riduzione locale coinvolgerebbe, in un calcolo di verifica, l'intera sezione in base a quanto precedentemente asserito.

A questo proposito, sia la norma CNR che la norma EN 1999-1-1 si esprimono allo stesso modo **quando una saldatura locale coinvolge una parte della sezione** (p.e. una flangia):

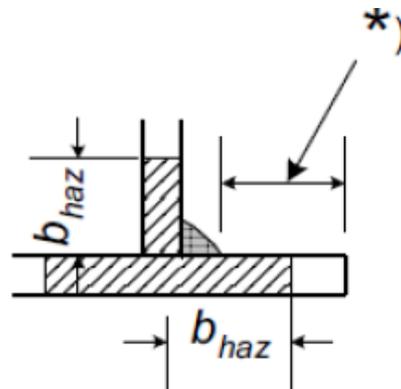
CNR DT 208:

*Qualora la regione localizzata soggetta ad alterazione termica copra un'intera parte della sezione trasversale (per esempio una flangia), si suppone che l'intera sezione trasversale sia soggetta ad alterazione termica.*

EN 1999-1-1:

*(5) If the localized softening region covers a part of the cross-section (e.g. one flange) then the whole cross section is supposed to be softened.*

Ciò significa che, nel caso citato, la verifica di resistenza **dell'intera sezione** deve essere eseguita in base alla tensione di snervamento ridotta del fattore  $\rho_{0,haz}$  ( $f_{0,haz} = f_0 \cdot \rho_{0,haz}$ ) e, per analogia, tale criterio dovrebbe essere applicato a sezioni a I in cui le parti sporgenti delle flange hanno lunghezza minore o uguale a 3 volte la larghezza  $b_{haz}$  della HAZ:

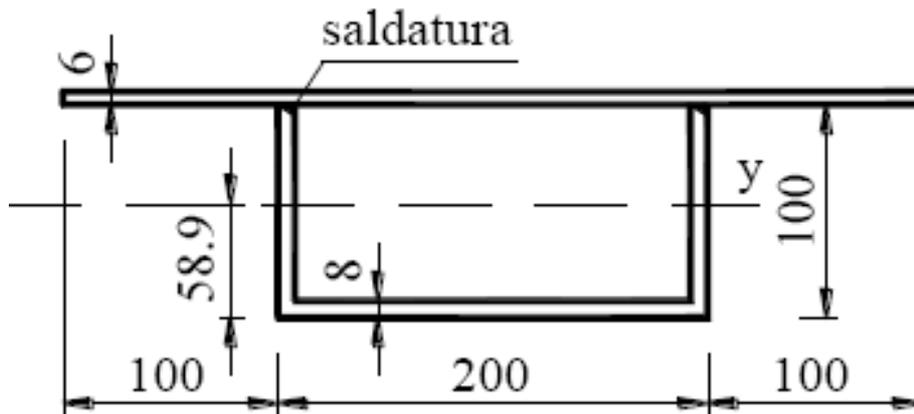


*\*) Se questa distanza risulta minore di  $3b_{haz}$  si assume che la HAZ si estenda per l'intera larghezza della flangia*

**Una certa confusione deriva dalle differenti interpretazioni sul comportamento delle HAZ . Gli esempi riportati in calce alla CNR DT 208 evidenziano approcci di calcolo diversi da quanto descritto nel testo normativo. Sarebbe auspicabile un maggiore approfondimento e semplificazione del metodo di verifica delle HAZ. Di seguito si riportano alcuni esempi ripresi dalla CNR DT 208 con evidenziate in rosso le distonie col testo della norma.**

## Esempio VIII-1.6 CNR DT 208

Sezione di progetto in flessione nel piano verticale:



Materiale:

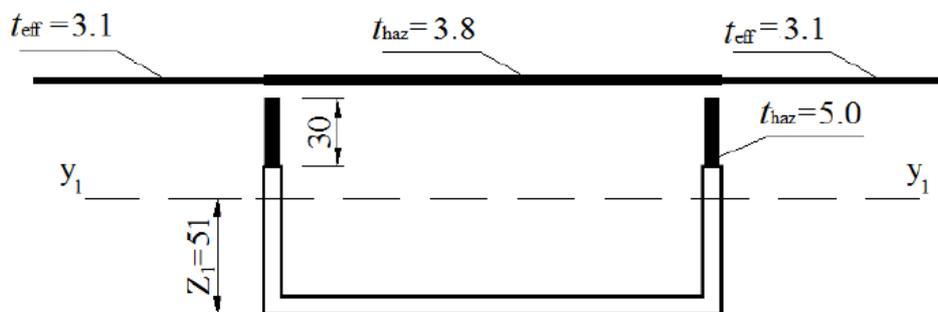
(AW-6063 T6  $f_0=160$  MPa) - larghezza HAZ:  $b_{\text{haz}} = 30$  mm

Dal calcolo secondo CNR DT 208 si ha:

fattori di riduzione per instabilità locale ( $\rho$ ) e per HAZ ( $\rho_{\text{haz}}$ ):

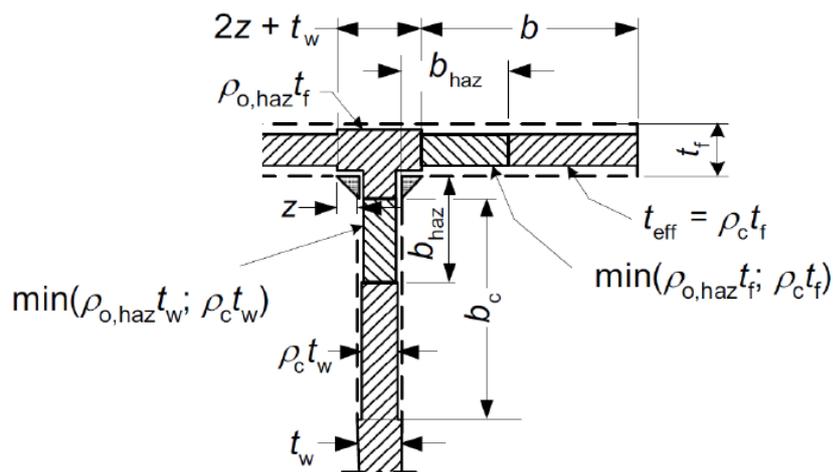
- Parte esterna flangia sup:  $\rho = 0,51$ ;  $t_f = 0,51 \cdot 6 = 3,1$  mm
- Parte interna flangia sup.:  $\rho = 0,77$ ;  $t_f = 0,77 \cdot 6 = 4,6$  mm
- Anima e **zona HAZ**:  $\rho_{\text{haz}} = 0,63$ ;  $t_w = 0,63 \cdot 8 = 5$  mm

Sezione efficace secondo CNR DT 208

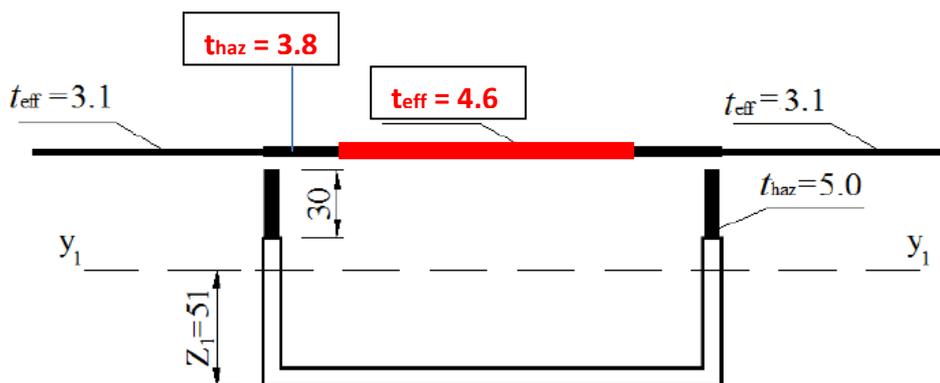


**Figura VIII-1.7:** Sezione efficace per effetto dell'instabilità locale e delle HAZ.

Sezione efficace secondo EN 1999-1-1 e secondo descrizione teorica CNR DT 208



La zona HAZ si estende per **30 mm** nella flangia interna come per l'anima, con uno spessore ridotto  $t_{\text{haz}} = 0,63 \cdot 6 = 3,8$  mm. Il resto della flangia interna mantiene lo spessore ridotto per l'instabilità locale  $t_{\text{eff}} = 0,77 \cdot 6 = 4,6$  mm



**Figura VIII-1.7:** Sezione efficace per effetto dell'instabilità locale e delle HAZ.

La verifica della sezione efficace flessa dovrebbe essere eseguita considerando la tensione di snervamento effettiva ( $f_0$ ) avendo già applicato il fattore di riduzione  $\rho_{0,\text{haz}}$  agli spessori della zona HAZ.

L'esempio presentato evidenzia quanto la norma sia di difficile interpretazione per cui anche quella prodotta dal CNR ha in se alcune contraddizioni.

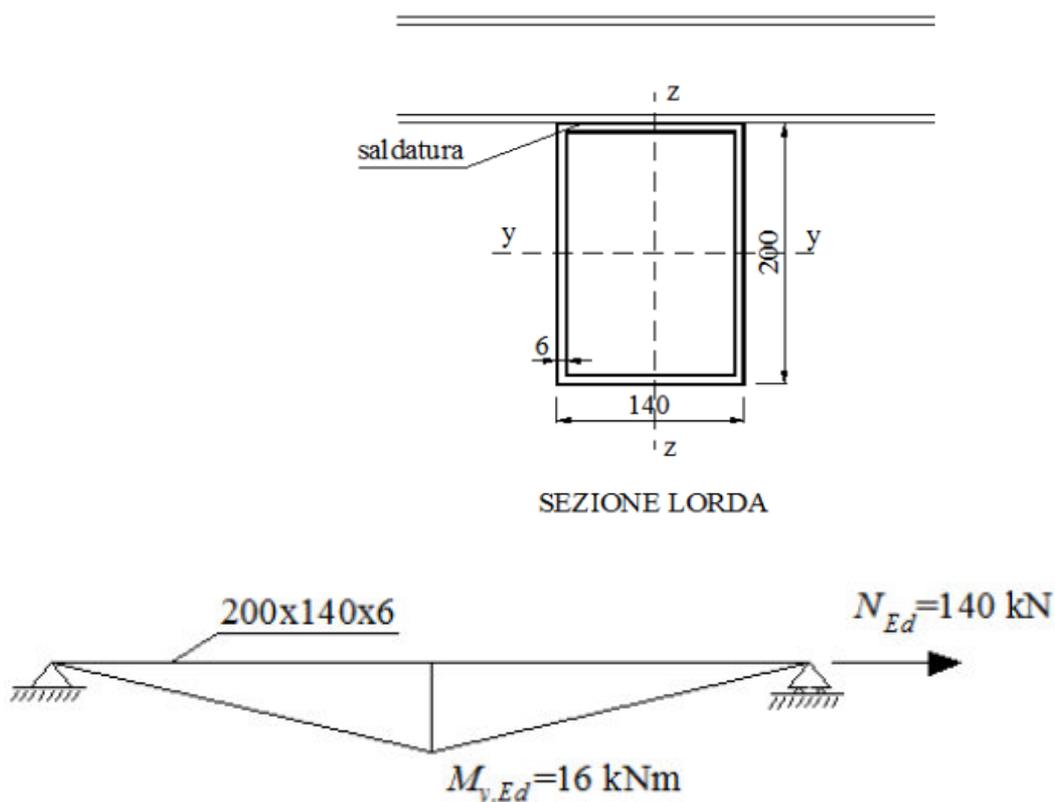
Non viene eseguito un calcolo della resistenza flessionale dell'elemento, utile per certificare l'affermazione

..... *la resistenza può essere espressa tanto come  $(f_0 \cdot \rho_{0,\text{haz}})A$  quanto come  $f_0(\rho_{0,\text{haz}} \cdot A)$ .....*  
**e controllare come la tensione di snervamento ridotta veniva applicata alla verifica dell'intera sezione.**

Se eseguiamo il calcolo nei due modi partendo da un momento di progetto unico risulterebbe evidente che il calcolo eseguito imponendo una tensione di snervamento ridotta all'intera sezione produrrebbe risultati molto lontani (più punitivi) di quelli ottenibili con la riduzione degli spessori nelle HAZ.

## Esempio VIII-2.11 CNR DT 208

Trave scatolare tenso-flessa con trave secondaria saldata alla flangia superiore nella sezione critica di mezzaria:



Il materiale è AW-6082 T6 ( $f_0 = 260 \text{ MPa}$ )

La saldatura si estende per l'intera larghezza della flangia per cui **la verifica dovrebbe essere eseguita come se tutta la sezione fosse soggetta a softening (HAZ):**

CNR DT 208:

*Qualora la regione localizzata soggetta ad alterazione termica copra un'intera parte della sezione trasversale (per esempio una flangia), si suppone che l'intera sezione trasversale sia soggetta ad alterazione termica.*

EN 1999-1-1:

*(5) If the localized softening region covers a part of the cross-section (e.g. one flange) then the whole cross section is supposed to be softened.*

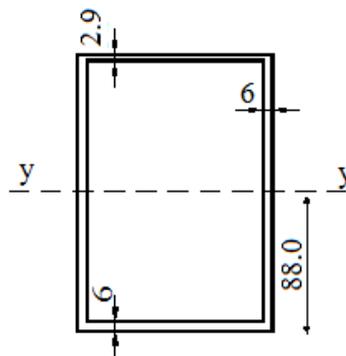
Eseguendo la classificazione della sezione per gli effetti di **instabilità locale** la flangia superiore risulta di classe 4 con **spessore efficace di 5,5 mm** mentre le anime risultano di classe 2.

Il calcolo **non** viene eseguito per **l'intera sezione trasversale considerata HAZ** ma attraverso l'individuazione di una sezione efficace ottenuta riducendo lo spessore della flangia superiore con il fattore  $\rho_{0,haz} = 0,48$ :

*A causa della saldatura, lo spessore della flangia compressa viene ridotto a  $t_{haz} = \rho_{0,haz} \cdot t$*

*Dalla Tabella I-1.4,  $\rho_{0,haz} = 0,48$ . Quindi  $t_{haz} = 0,48 \cdot 6 = 2,9 \text{ mm} < 5,5 \text{ mm}$*

*Lo spessore efficace della flangia superiore deve essere assunto pari a  $t_{haz} = 2.9 \text{ mm}$*



SEZIONE EFFICACE

La sezione viene quindi verificata in base alla seguente espressione che tiene conto della saldatura solo come effetto locale:

$$\omega_0 = (\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}) / (f_0 / \gamma_{M1}) = (0.60 \cdot 310 / 1.25) / (260 / 1.10) = 0.63$$

$$N_{Rd} = A f_0 / \gamma_{M1} = 3502 \cdot 260 / 1.10 = 827.7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \alpha_y f_0 W_{y,el} / \gamma_{M1} = 0.71 \cdot 224600 \cdot 260 / 1.10 = 37.7 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1.7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = \left( \frac{140}{0.63 \cdot 827.7} \right)^{1.3} + \left[ \left( \frac{16.0}{0.63 \cdot 37.7} \right)^{1.7} \right]^{0.6} =$$

$$= 0.181 + 0.668 = 0.849 < 1.0$$

La sezione trasversale risulta quindi idonea.

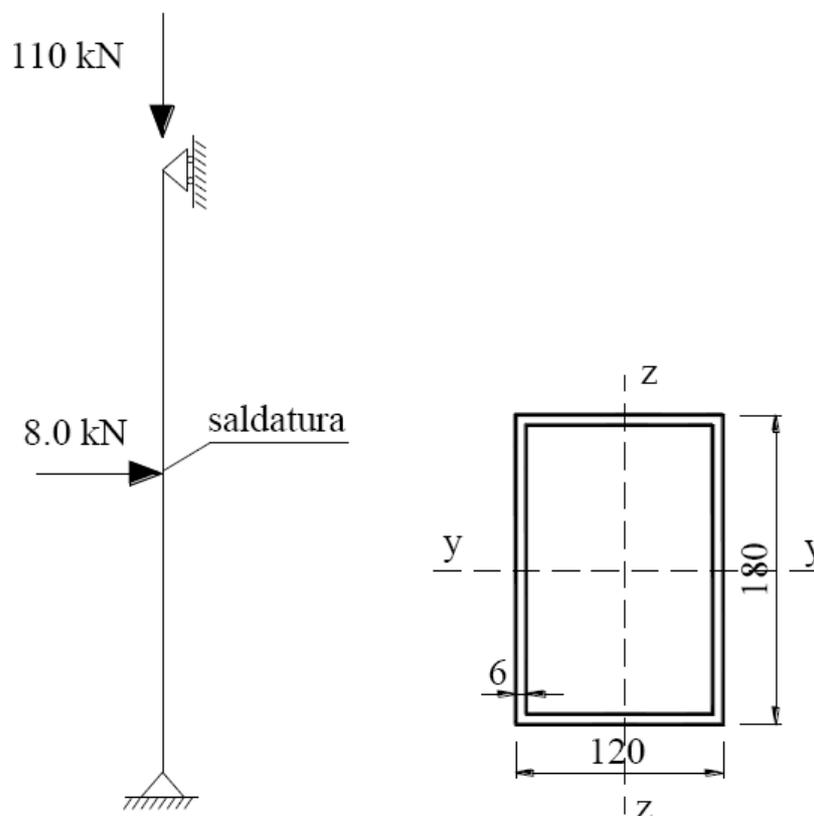
Se si considera **l'intera sezione HAZ** (in base al dettato normativo) anche gli spessori della flangia inferiore e delle anime dovrebbero essere ridotti dal fattore  $\rho_{0,haz} = 0,48$  e la verifica **non risulterebbe soddisfatta**.

Eeguire la verifica della sezione con tutti gli spessori ridotti del fattore  $\rho_{0,haz}$  **equivale ad utilizzare nel calcolo una tensione di snervamento ridotta dello stesso valore** applicata ad una sezione efficace in cui il solo spessore della flangia superiore è (eventualmente) ridotto per effetto della **instabilità locale** attraverso il fattore  $\rho_c$ .

Anche da questo esempio emergono perplessità sull'interpretazione corretta della norma.

### Esempio VIII-3.3 CNR DT 208

Colonna pressoinflessa tubolare con una forza trasversale in mezzaria trasmessa da un elemento saldato.



Il materiale è AW-6060 T6 ( $f_0 = 140$  MPa)

La sezione uniformemente compressa è di classe 3 come risulta dal calcolo estratto dall'esempio della norma CNR DT 208

Snellezza  $\beta = b/t = 168/6 = 28$ .

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}} = \sqrt{\frac{250}{140}} = 1.37$$

Da Tabella II-1.2 la snellezza limite vale  $\beta_3 = 22\varepsilon = 22 \cdot 1.37 = 29.4 > 28$ . Classe 3

**Il calcolo del momento resistente di progetto è eseguito, nell'esempio, utilizzando il valore conservativo del fattore  $\alpha_y$  posto uguale a 1**

Momento resistente  $M_{y,Rd} = \alpha_y W_y f_0 / \gamma_{M1} = 1.0 \cdot 173800 \cdot 140 / 1.10 = 22.12 \text{ kNm}$

Per sezioni di Classe 3  $\alpha_z = \alpha_y = 1.0$

La norma europea consente l'utilizzo di fattori  **$\alpha$  minori di 1** in base alle seguenti espressioni usate nel calcolo automatico di seguito riportato:

$\alpha_{3,u} = 1$  or may alternatively be taken as:

$$\alpha_{3,u} = \left[ 1 + \left( \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left( \frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1 \right) \right]$$

$\alpha_{3,w} = W_{el,haz} / W_{el}$  or may alternatively be taken as:

$$\alpha_{3,w} = \left[ \frac{W_{el,haz}}{W_{el}} + \left( \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left( \frac{W_{pl,haz} - W_{el,haz}}{W_{el}} \right) \right]$$

**In fine la verifica di stabilità dell'elemento compresso, in presenza di saldatura localizzata, viene eseguita, nell'esempio, senza tener conto della variazione della snellezza relativa  $\bar{\lambda}$  come richiesto al punto 6.3.3.3 (3) della EN 1999-1-1 e al punto II-5.3.4 della CNR DT 208:**

(3) Calculation of  $\chi$  ( $\chi_y$  or  $\chi_z$ ) and  $\chi_{LT}$  in the section with the localized weld should be based on the ultimate strength of the heat affected material for the relative slenderness parameters

$$\bar{\lambda}_{haz} = \bar{\lambda} \sqrt{\omega_0} \tag{6.68a}$$

$$\bar{\lambda}_{haz,LT} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\omega_0} \tag{6.68b}$$

La valutazione di  $\chi$  ( $\chi_y$  oppure  $\chi_z$ ) e  $\chi_{LT}$  in una sezione con saldature localizzate deve essere basata sulla resistenza ultima del materiale affetto da alterazione termica con riferimento al relativo parametro di snellezza:

$$\bar{\lambda}_{\text{haz}} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\omega_0} \quad (\text{II-5.57})$$

$$\bar{\lambda}_{\text{haz,LT}} = \bar{\lambda}_{\text{LT}} \cdot \sqrt{\omega_0} \quad (\text{II-5.58})$$

L'esempio della CNR DT 208 fornisce il seguente risultato di verifica:

Dalla Tabella I-1.4,  $\rho_{u,\text{haz}} = 0.59$

$$\omega_0 = \omega_x = \frac{\rho_{u,\text{haz}} f_u / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} = \frac{0.59 \cdot 170 / 1.25}{140 / 1.10} = 0.63$$

Verifica:

$$\left( \frac{N_{\text{Ed}}}{\chi_{\text{min}} \omega_x N_{\text{Rd}}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \left[ \left( \frac{M_{y,\text{Ed}}}{M_{y,\text{Rd}}} \right)^{1.7} + \left( \frac{M_{z,\text{Ed}}}{M_{z,\text{Rd}}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = \left( \frac{110.0}{0.59 \cdot 0.63 \cdot 439.9} \right)^{0.80} + \frac{1}{0.63} \left[ \left( \frac{7.6}{22.12} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = 0.728 + 0.534 = 1.262 > 1.0$$

La sezione trasversale della colonna deve essere incrementata.

Da cui si evidenzia che la verifica non è soddisfatta.

Eseguiamo il calcolo di verifica con l'uso del programma "PrefledevEC9AI" ([www.stadata.com](http://www.stadata.com)) tenendo conto dei fattori  $\alpha$  e  $\lambda_{\text{haz}}$  previsti da entrambe le norme

METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1999-1-1 (Eurocodice 9)					
MATERIALE	EN AW 6060 Ex T6 - t < 15	$f_0 = 14,00$ kN/cm <sup>2</sup>	$f_u = 17,00$ kN/cm <sup>2</sup>	$\varepsilon =$	1,34
SEZIONE	LAMINATA O ESTRUSA	TIPO: COLONNA	BI-SIMMETRICA	$\gamma_{M1} =$	1,1
<b>resistenza      stabilità</b>					
<b>SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :</b>		<b>Momento principale</b>	$M_{y,\text{Ed}} =$ kNcm	760	760
combinazione di carichi NON sismica		<b>Taglio principale</b>	$V_{z,\text{Ed}} =$ kN		0
		<b>Compressione Assiale</b>	$N_{\text{Ed}} =$ kN	110	110
		<b>Momento laterale</b>	$M_{z,\text{Ed}} =$ kNcm		0
		<b>Taglio laterale</b>	$V_{y,\text{Ed}} =$ kN		0

La sezione è di classe 3 agli effetti della sola compressione assiale mentre se si tiene conto dell'effetto combinato di presso-flessione la sezione sarebbe definita di classe 2 al fine di un comportamento globale mentre, al fine di una verifica basata sulla sovrapposizione degli effetti, la sezione efficace va definita separatamente per la compressione uniforme e per la flessione. **L' esempio normativo non esegue la classificazione per sola flessione che individuerrebbe, come di seguito riportato, una sezione di classe 2 che richiederebbe l'applicazione del modulo di resistenza plastico anziché elastico con conseguente variazione del fattore  $\alpha_y = W_{pl}/W_{el}$**

## Classificazione per comportamento globale (sezione presso-flessa):

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 $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	18,56	18,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\eta =$	0,66	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\psi =$	-0,12	-0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLASSE	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flangia superiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		

Larghezza/spessore anime interne e anime di sezione a T

classe 1	$\beta_1 =$	14,70	controllo flange interne $\psi_{t, is} = 1,11$ $\psi_{t, ii} = -0,14$	$\alpha_y = 0,695$ $\psi_y = -0,16$ $\eta_y = 0,653$
classe 2	$\beta_2 =$	21,38		
classe 3	$\beta_3 =$	29,40		

Larghezza/spessore flange e anime sporgenti

classe 1	$\beta_1 =$	4,01	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 =$	14,70	ELEMENTI INTERNI
classe 2	$\beta_2 =$	6,01		classe 2	$\beta_2 =$	21,38	
classe 3	$\beta_3 =$	8,02		classe 3	$\beta_3 =$	29,40	

CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2) **A**

CLASSE SEZIONE **2**

## Classificazione per sola compressione:

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 $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	28,00	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\eta =$	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\psi =$	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLASSE	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flangia superiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		

Larghezza/spessore anime interne e anime di sezione a T

classe 1	$\beta_1 =$	14,70	controllo flange interne $\psi_{t, is} = 1,09$ $\psi_{t, ii} = 0,02$	$\alpha_y = 0,695$ $\psi_y = 1$ $\eta_y = 1$
classe 2	$\beta_2 =$	21,38		
classe 3	$\beta_3 =$	29,40		

Larghezza/spessore flange e anime sporgenti

classe 1	$\beta_1 =$	4,01	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 =$	14,70	ELEMENTI INTERNI
classe 2	$\beta_2 =$	6,01		classe 2	$\beta_2 =$	21,38	
classe 3	$\beta_3 =$	8,02		classe 3	$\beta_3 =$	29,40	

CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2) **A**

CLASSE SEZIONE **3**

## Classificazione per sola flessione:

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 $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	11,20	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\eta =$	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\psi =$	-1,00	-1,00	0,00	0,00	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	1	1
Flangia superiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
CLASSE	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1		

Larghezza/spessore anime interne e anime di sezione a T

classe 1	$\beta_1 =$	14,70	controllo flange interne $\psi_{t, is} = 1,19$ $\psi_{t, ii} = -0,97$	$\alpha_y = 0,5$ $\psi_y = -1$ $\eta_y = 0,4$
classe 2	$\beta_2 =$	21,38		
classe 3	$\beta_3 =$	29,40		

Larghezza/spessore flange e anime sporgenti

classe 1	$\beta_1 =$	4,01	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 =$	14,70	ELEMENTI INTERNI
classe 2	$\beta_2 =$	6,01		classe 2	$\beta_2 =$	21,38	
classe 3	$\beta_3 =$	8,02		classe 3	$\beta_3 =$	29,40	

CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2) **A**

CLASSE SEZIONE **2**

La verifica di resistenza della sezione di mezzaria con saldatura localizzata produce il seguente risultato:

### VERIFICA DI RESISTENZA

Area resistente a taglio : $\beta = d / t = 28 < 39 \epsilon = 52,1$	$b_{\text{haz}} =$ <input type="text" value=""/>	cm	$A_v =$ <input type="text" value="20,16"/>	cm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto a taglio : $v_1 = 1$	$V_{Rd} = v_1 \cdot A_v \cdot (f_o / 3^{1/2}) / \gamma_{M1} =$	<input type="text" value="148,14"/>	kN	
$a = \text{cm}$ <input type="text" value="100"/>	$V_{Ed} < 50\% V_{Rd}$	$\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 =$	<input type="text" value="0"/>	
Verifica di resistenza per sezione di classe <input type="text" value="2"/>		$f_d = f_o / \gamma_{M1} =$	<input type="text" value="12,727"/>	kN/cm <sup>2</sup>

$A_{f1} = 7,20 \text{ cm}^2$	$A_{f2} = 7,20 \text{ cm}^2$	$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d =$	<input type="text" value="2672,12"/>	kNcm
$\alpha_z = 1,145181$	$1,145181$	$R = [1 - (N_{Ed} / (A_{f1} + A_{f2}) / f_d)^2] =$	<input type="text" value="0,64"/>	
$\alpha_y = 1,207753$	$1,207753$	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot R =$	<input type="text" value="1709,52"/>	kNcm
$\eta_o = 1,3$	$\gamma_o = 1$	$\xi_o = 1$	$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot f_d =$	<input type="text" value="2212,47"/>
sezione con saldature locali (HAZ) o fori		$\gamma_{M2} = 1,25$	$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_d =$	<input type="text" value="439,85"/>
in assenza di taglio : $\omega_o = 0,63$		$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_o} =$		<input type="text" value="0,747"/> < 1
per $V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$ $t_{w,r} = t_w \cdot [1 - \rho]$		$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{V,Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{yV,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{zV,Rd})]^{z_o} =$		<input type="text" value="0,000"/> < 1
interazione $M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq$		$(M_{Ed} + M_{f,Rd}) / 2 \cdot M_{N,Rd} + V_{Ed} / V_{Rd} \cdot (1 - M_{f,Rd} / M_{N,Rd}) =$		<input type="text" value="-----"/> < 1

La verifica di stabilità dell'elemento presso-flesso tenendo conto di quanto non eseguito nell'esempio normativo produce il seguente risultato:

### RESISTENZA ALL'INSTABILITA'

Lunghezza dell'elemento tra gli appoggi :	$L =$ <input type="text" value="380"/>	cm	$k_y =$ <input type="text" value="1"/>
<b>Lunghezza libera nel piano principale :</b>	$L_y =$ <input type="text" value="380"/>	cm	$k_z =$ <input type="text" value="1"/>
Momenti principali di estremità (+;-)	$M_{Ed,1} =$ <input type="text" value="0"/>	$M_{Ed,2} =$ <input type="text" value="0"/>	kNcm
(1) Momento dovuto ai carichi laterali nel piano	$ M_Q  =$ <input type="text" value="760"/>	$\Delta M =$ <input type="text" value="760"/>	kNcm
Diagramma del momento flettente (*) :	$(l, p, t, q) =$ <input type="text" value="t"/>	triangolare	
Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1)	$k =$ <input type="text" value="1"/>	rotazione z-z libera delle estremità	
Fattore di lunghezza effettiva $k_w$ (0,5-0,7-1)	$k_w =$ <input type="text" value="1"/>	distorsione libera delle estremità	
Fattore di distribuzione momenti estremi :	$\psi =$ <input type="text" value="0,00"/>	$-1 < \psi < 1$	
Dist. sezione da appoggio o punto di flesso	$x_s =$ <input type="text" value="190"/>	confirma!	<input type="text" value="190"/>
nota (1) : momento calcolato per trave semplicemente appoggiata			
Coeff. di forma (*) :	$C1 =$ <input type="text" value="1,348"/>	$C2 =$ <input type="text" value="0,55"/>	$C3 =$ <input type="text" value="0,411"/>
Dist. centro di taglio - baricentro	$e = \text{cm}$ <input type="text" value="0,000"/>	$k_{wt} =$ <input type="text" value="0"/>	
Carico applicato all'estradosso della sezione ? (S, N)	<input type="text" value="N"/>	$\zeta_g =$ <input type="text" value="0"/>	
Distanza centro di taglio - centro di carico	$z_g = \text{cm}$ <input type="text" value="0,00"/>	$\zeta_j =$ <input type="text" value="0"/>	
I.1.2 (1) $\psi_f = (J_{tf} - J_{ti}) / (J_{tf} + J_{ti})$	$\psi_f =$ <input type="text" value="0,00"/>	$\mu_{cr} =$ <input type="text" value="1,35"/>	(*)
$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_s$	$z_j = \text{cm}$ <input type="text" value="0,00"/>	$N_{cr,y} =$ <input type="text" value="748,5397"/>	kN
$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot J_z \cdot (h_s/2)^2$	$I_w = \text{cm}^6$ <input type="text" value="0"/>	$N_{cr,z} =$ <input type="text" value="396,3441"/>	kN

**Momento critico :  $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot [E \cdot J_z \cdot G \cdot J_t]^{0,5} / L = 56462$  kNcm** EN 1999-1-1

**Lunghezza libera nel piano laterale :**

$L_z =$	<b>380</b>	cm	EC9
$i_y =$	6,73	cm	$i_z = 4,90$ cm
$\lambda_y =$	56		$\lambda_z = 78 < 250$
$\bar{\lambda}_y =$	0,702		$\bar{\lambda}_z = 0,965 \leq 2$
$\bar{\lambda}_0 =$	0,1		$\alpha'_y = 1,207753 < W_{y,pl} / W_{y,e}$
$\lambda_{LT} =$	<b>0,199</b>		$\lambda_{LT,0} = 0,6$

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 :

**verifica di stabilità flesso-torsionale non necessaria**

Coeff. di imperfezione per presso-flessione :

$\alpha_y =$	0,2	$\alpha_z =$	0,2
$\phi_y =$	0,807	$\phi_z =$	1,052
$\alpha_{LT} =$	0,10	$\alpha'_z =$	<b>1,145181</b> $< W_{z,pl} / W_{z,e}$
$\phi_{LT} =$	0,500		

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 :

$\chi_y =$	<b>0,830</b>	$\chi_z =$	<b>0,679</b>
$\chi_{LT} =$	<b>1,000</b>	$\chi_{min} =$	<b>0,679</b>

Coeff. di riduzione per flesso-torsione :

Fattori di progetto della sezione :

$\omega_o =$	<b>0,629</b>	$\eta_c ; \xi_{yc} =$	<b>0,883</b>
$\omega_x =$	<b>0,629</b>	$\gamma_c =$	<b>1,000</b>
$\omega_{LT} =$	<b>0,629</b>	$\xi_{zc} =$	<b>1,000</b>
$\alpha''_y =$	<b>1,207753</b>	$\alpha''_z =$	<b>1,145181</b>

Capacità del momento flettente intorno a y :  $M_{y,Rd} = \alpha''_y \cdot W_y \cdot f_o / \gamma_{M1} =$  **2672** kNcm

Capacità del momento flettente intorno a z :  $M_{z,Rd} = \alpha''_z \cdot W_z \cdot f_o / \gamma_{M1} =$  **2012** kNcm

**VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE - item 6.3.3.1 (1)-(5)**

$[N_{Ed} / (\chi_{min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{1,0} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{1,0} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{1,0} =$  **1,065**  $< 1$  **NO!**

**VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSO-TORSIONE - item 6.3.3.2 (1)-(2)**

$[N_{Ed} / (\chi_z \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{1,0} + [M_{Ed} / (\omega_{LT} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{y,Rd})]^{1,0} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{1,0} =$  **1,076**  $< 1$  **NO!**

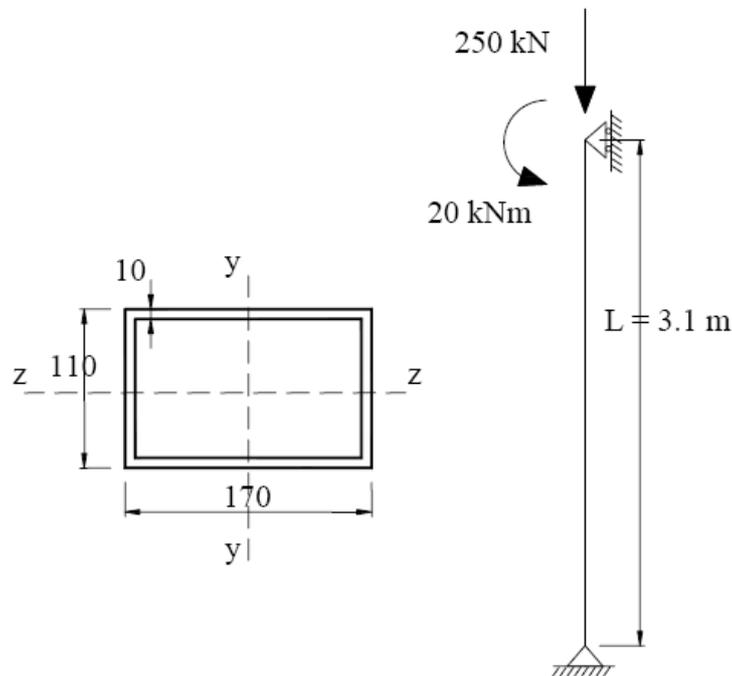
Che evidenzia ancora un **non** soddisfacimento della verifica ma con valori dei rapporti tensionali ben inferiori a quelli dell'esempio normativo:

esempio CNR DT 208:  $M_{y,Rd} = 2212$  kNcm con  $\alpha_y = 1$  ; verifica **1,262**  $> 1$   
 calcolo PrefledevEC9AI:  $M_{y,Rd} = 2672$  kNcm con  $\alpha_y = 1,2$  ; verifica **1,065**  $> 1$

Anche in questo esempio si verificano differenze rispetto al testo della norma.

## Esempio VIII-3.5 CNR DT 208

Colonna presso-flessa incernierata alle estremità saldata localmente in testa e al piede; il materiale base è AW-6082 T6 ( $f_0 = 260$  MPa)



La sezione viene definita di **classe 2** ma ciò è vero se si considera la sola compressione assiale: in presso-flessione piana la sezione diviene di **classe 1** ma in ogni caso con un comportamento plastico:

I fattori  $\alpha$  del momento resistente sono di seguito calcolati:

$$\alpha_y = W_{y,pl} / W_y = 1.240$$

$$\alpha_z = W_{z,pl} / W_z = 1.188$$

Il momento resistente a flessione è quindi dato dalla seguente espressione:

$$M_{y,Rd} = \alpha_y W_{y,el} f_0 / \gamma_{M1} = 1.24 \cdot 2.320 \cdot 10^5 \cdot 260 / 1.10 = 68.0 \text{ kNm}$$

La snellezza relativa è calcolata per la sezione lorda senza tener conto delle HAZ locali come richiesto dalla norma (& 6.3.3.3 (3) della EN 1999-1-1 e & II-5.3.4 della CNR DT 208):

I valori delle snellezze relative calcolati nell'esempio sono di seguito riportati:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A} \cdot \frac{f_0}{E}} = \frac{3100}{61.58} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{260}{70000}} = 0.976$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A} \cdot \frac{f_0}{E}} = \frac{3100}{43.29} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{260}{70000}} = 1.39$$

Mentre i valori da tenere in conto per la presenza delle saldature locali alle estremità sarebbero i seguenti:

La valutazione di  $\chi$  ( $\chi_y$  oppure  $\chi_z$ ) e  $\chi_{LT}$  in una sezione con saldature localizzate deve essere basata sulla resistenza ultima del materiale affetto da alterazione termica con riferimento al relativo parametro di snellezza:

$$\bar{\lambda}_{haz} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\omega_0} \quad (\text{II-5.57})$$

$$\bar{\lambda}_{haz,LT} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \sqrt{\omega_0} \quad (\text{II-5.58})$$

$$\bar{\lambda}_{haz} = \bar{\lambda} \cdot \omega_0^{0,5} = 0,976 \cdot (0,63)^{0,5} = \mathbf{0,775}$$

Da cui discende il calcolo degli altri parametri  $\phi$  e  $\chi$

La verifica di stabilità con riferimento alla sezione HAZ di estremità darebbe, secondo l'esempio normativo, il seguente risultato:

$$\omega_0 = \frac{\rho_{u,haz} f_u / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} = \frac{0.60 \cdot 310 / 1.25}{260 / 1.10} = 0.630$$

$$x_s / l_c = 0 \text{ forniscono un valore } \omega_x = \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi \cdot x_s}{l_c}} = \frac{\omega_0}{\chi} = \frac{0.630}{0.421} = 1.50$$

Sostituendo i valori numerici nella formula,

$$\left( \frac{250}{0.421 \cdot 1.50 \cdot 1229} \right)^{0.8} + \frac{1}{0.630} \left[ \left( \frac{20.0}{68.0} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = 0.404 + 0.456 = 0.860$$

**Nel calcolo di verifica è stato usato un fattore  $\omega_x = 1,5 > 1$  mentre per saldature localizzate lungo l'elemento viene imposta la limitazione seguente:**

$$\omega_0 = \omega_x = \omega_{x,LT} = \frac{\rho_{u,haz} \cdot f_u / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} \leq 1.0$$

**Tale limitazione non è però riproposta dalla norma per saldature prossime alle estremità dell'elemento.**

D'altra parte, la presenza di una saldatura locale non può che indebolire la sezione mentre un valore di  $\omega_x > 1$  sarebbe più favorevole del caso di elemento con saldature locali anche "prossime" (distanza maggiore o uguale alla minima larghezza della sezione) alle estremità con valore di  $\omega_x$  limitato a 1. In questo caso il rapporto tensionale sarebbe **1,015 > 1**

Inoltre  $\omega_x$  viene definito per il solo piano di instabilità z-z mentre a mio avviso dovrebbe essere preso come **valore minimo** tra i valori calcolati nei due piani di instabilità dovendo ricercare la **minima resistenza a compressione**.

Nel caso in esame  $\omega_{x,min}$  (per  $x_s = 0$ ) sarebbe dato da:

$$\omega_{x,min} = \text{MIN} [ \omega_0 / \chi_{y,haz}; \omega_0 / \chi_{z,haz} ] = \text{MIN} [ 0,630/0,756; 0,630/0,525 ] = \mathbf{0,833 < 1}$$

**Su questo punto la norma dovrebbe essere più chiara**

Se eseguiamo il calcolo con l'uso del programma PrefledevEC9AI tenendo conto delle osservazioni qui poste si avrebbero i seguenti risultati:

**METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1999-1-1 (Eurocodice 9)**

MATERIALE	EN AW 6082 Ex T6 - t < 15	$f_o = 26,00 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 31,00 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon =$	<b>0,98</b>
SEZIONE	LAMINATA O ESTRUSA	TIPO: COLONNA	BI-SIMMETRICA	$\gamma_{M1} =$	<b>1,1</b>

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :		resistenza		stabilità	
combinazione di carichi NON sismica	Momento principale	$M_{y,Ed} =$ kNcm	<b>2000</b>	<b>2000</b>	
	Taglio principale	$V_{z,Ed} =$ kN		<b>0</b>	
	Compressione Assiale	$N_{Ed} =$ kN	<b>250</b>	<b>250</b>	
	Momento laterale	$M_{z,Ed} =$ kNcm		<b>0</b>	
	Taglio laterale	$V_{y,Ed} =$ kN		<b>0</b>	

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 $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	<b>9,49</b>	<b>9,49</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\eta =$	0,63	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\psi =$	-0,23	-0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>CLASSE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Flangia superiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	<b>9,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>CLASSE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	0,00	0,00	<b>9,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>CLASSE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		

Larghezza/spessore anime interne e anime di sezione a T	classe 1	$\beta_1 = 10,79$	controllo flange interne $\psi_{f,is} = 1,20$ $\psi_{f,ii} = -0,26$	$\alpha_y = 0,66$		
	classe 2	$\beta_2 = 15,69$		$\psi_y = -0,28$		
	classe 3	$\beta_3 = 21,57$		$\eta_y = 0,615$		
Larghezza/spessore flange e anime sporgenti	classe 1	$\beta_1 = 2,94$	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 = 10,79$	ELEMENTI INTERNI
	classe 2	$\beta_2 = 4,41$		classe 2	$\beta_2 = 15,69$	
	classe 3	$\beta_3 = 5,88$		classe 3	$\beta_3 = 21,57$	

**CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2)** **A**      **CLASSE SEZIONE** **1**

## VERIFICA DI RESISTENZA

Area resistente a taglio :  $\beta = d / t = 15 < 39 \varepsilon = 38,2$   $b_{haz} =$   cm  $A_v =$   cm<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto a taglio :  $v_1 = 1$   $V_{Rd} = v_1 \cdot A_v \cdot (f_o / 3^{1/2}) / \gamma_{M1} =$   kN  
 $a =$   cm  $V_{Ed} < 50\% V_{Rd}$   $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 =$    $f_d = f_o / \gamma_{M1} =$   kN/cm<sup>2</sup>

$A_{f1} =$	<input type="text" value="11,00"/> cm <sup>2</sup>	$A_{f2} =$	<input type="text" value="11,00"/> cm <sup>2</sup>	$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d =$	<input type="text" value="6819,09"/> kNcm					
$\alpha_z =$	<input type="text" value="1,188248"/>	<input type="text" value="1,188248"/>	$R = [1 - (N_{Ed} / (A_{f1} + A_{f2}) / f_d)^2] =$	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot R =$	<input type="text" value="5242,93"/> kNcm					
$\alpha_y =$	<input type="text" value="1,243324"/>	<input type="text" value="1,243324"/>	$\eta_o =$	<input type="text" value="1,3"/>	$\gamma_o =$	<input type="text" value="1"/>	$\xi_o =$	<input type="text" value="1"/>	$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot f_d =$	<input type="text" value="5484,56"/> kNcm
sezione con saldature locali (HAZ) o fori			$\gamma_{M2} =$	<input type="text" value="1,25"/>	$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_d =$	<input type="text" value="1229,09"/> kN				
in assenza di taglio :		$\omega_o =$	<input type="text" value="0,63"/>	$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_o} =$		<input type="text" value="0,693"/> < 1				
per $V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$ $t_{w,r} = t_w \cdot [1 - \rho]$		$\omega_o =$	<input type="text" value="0,000"/>	$[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{V,Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_o} =$		<input type="text" value="0,000"/> < 1				
interazione		$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	<input type="text" value="0"/>	$(M_{Ed} + M_{f,Rd}) / 2 \cdot M_{N,Rd} + V_{Ed} / V_{Rd} \cdot (1 - M_{f,Rd} / M_{N,Rd}) =$		<input type="text" value="-----"/> < 1				

----- omissis -----

## RESISTENZA ALL'INSTABILITA'

Lunghezza dell'elemento tra gli appoggi :  $L =$   cm  $k_y =$

**Lunghezza libera nel piano principale :**  $L_y =$   cm  $k_z =$

Momenti principali di estremità (+;-)  $M_{Ed,1} =$    $M_{Ed,2} =$   kNcm

(1) Momento dovuto ai carichi laterali nel piano  $|M_Q| =$    $\Delta M =$   kNcm

Diagramma del momento flettente (\*) :  $(l, p, t, q) =$   *lineare*

Fattore di lunghezza effettiva  $k$  (0,5-0,7-1)  $k =$   *rotazione z-z libera delle estremità*

Fattore di lunghezza effettiva  $k_w$  (0,5-0,7-1)  $k_w =$   *distorsione libera delle estremità*

Fattore di distribuzione momenti estremi :  $\psi =$    $-1 < \psi < 1$

Dist. sezione da appoggio o punto di flesso  $x_s =$   **conferma!**  cm

nota (1) : *momento calcolato per trave semplicemente appoggiata*

Coeff. di forma (\*) :  $C1 =$    $C2 =$    $C3 =$

Dist. centro di taglio - baricentro  $e =$

Carico applicato all'estradosso della sezione ? (S, N)  $N =$

Distanza centro di taglio - centro di carico  $z_g =$

I.1.2 (1)  $\psi_f = (J_{tf} - J_{ti}) / (J_{tf} + J_{ti})$   $\psi_f =$

$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_s$   $z_j =$

$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot J_z \cdot (h_s/2)^2$   $I_w =$   cm<sup>6</sup>

$k_{wt} =$

$\zeta_g =$

$\tilde{\zeta} =$

$\mu_{cr} =$   (\*)

$N_{cr,y} =$   kN

$N_{cr,z} =$   kN

**Momento critico :  $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot [E \cdot J_z \cdot G \cdot J_t]^{0,5} / L = 108018$  kNcm** 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 :

$L_z =$	310	cm	EC9	
$i_y =$	6,16	cm	$i_z =$	4,33
$\lambda_y =$	50		$\lambda_z =$	72
$\bar{\lambda}_y =$	0,844		$\bar{\lambda}_z =$	1,200
$\bar{\lambda}_0 =$	0,1		$\alpha'_y =$	1,243324
$\lambda_{LT} =$	0,228		$\lambda_{LT,0} =$	0,6

$< 250$   
 $\leq 2$   
 $< W_{y,pl} / W_{y,e}$

**verifica di stabilità flesso-torsionale non necessaria**

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 :

$\alpha_y =$	0,2	$\alpha_z =$	0,2
$\phi_y =$	0,930	$\phi_z =$	1,331
$\alpha_{LT} =$	0,10	$\alpha'_z =$	1,188248
$\phi_{LT} =$	0,507		
$\chi_y =$	0,756	$\chi_z =$	0,525
$\chi_{LT} =$	1,000	$\chi_{min} =$	0,525
$\omega_o =$	0,626	$\eta_c ; \xi_{yc} =$	0,800
$\omega_x =$	0,828	$\gamma_c =$	1,000
$\omega_{LT} =$	0,626	$\xi_{zc} =$	1,000
$\alpha''_y =$	1,243324	$\alpha''_z =$	1,188248

$< W_{z,pl} / W_{z,e}$

Capacità del momento flettente intorno a y :  $M_{y,Rd} = \alpha''_y \cdot W_y \cdot f_o / \gamma_{M1} = 6819$  kNcm

Capacità del momento flettente intorno a z :  $M_{z,Rd} = \alpha''_z \cdot W_z \cdot f_o / \gamma_{M1} = 4975$  kNcm

### VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE - item 6.3.3.1 (1)-(5)

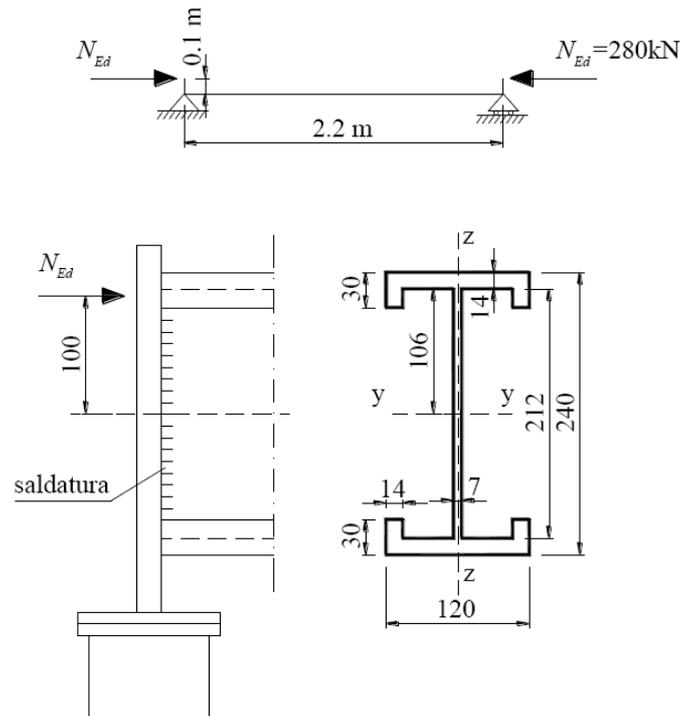
$$[N_{Ed} / (\chi_{min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{m_c} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{r_c} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_c} = 1,002 < 1 \quad \text{NO!}$$

Da questo esempio emergono forti dubbi di interpretazione della norma (sia europea che italiana) per quanto riguarda la definizione dei parametri  $\omega_x$  e  $\omega_{LT}$  in presenza di saldature locali e se questi debbano essere limitati oppure no a 1 anche per saldature di estremità.

Un aspetto fondamentale da chiarire è se il valore di  $\omega_x$  da assumere nel calcolo sia il valore **minimo** tra quelli calcolati per i due piani di instabilità oppure sia da considerare solo il valore di  $\omega_x$  calcolato per l'instabilità intorno all'asse di minore inerzia ( $\omega_x$  max per  $x_s = 0$ ). La mia interpretazione, riportata nel programma di calcolo automatico, è la prima e, in ogni caso, è a favore di sicurezza.

## Esempio VIII-3.4 CNR DT 208

Trave soggetta a sforzo normale eccentrico **saldata alle estremità** in alluminio AW-6061-T6 ( $f_0 = 240 \text{ MPa}$ ):



La trave è soggetta a uguali momenti di estremità  $M_{y,Ed} = 2800 \text{ kNcm}$

Questo esempio è una dimostrazione di come, seguendo strade diverse, ovvero, con parametri di stabilità diversamente calcolati, metodo di classificazione diverso, non tenendo conto da parte delle CNR della instabilità relativa dovuta alla presenza della HAZ di estremità ( $\lambda_{haz}$ ), calcolando col programma "PrefledevEC9AI" le caratteristiche geometriche con riferimento agli assi medi dei singoli piatti della sezione, **si arrivi (casualmente) ad uno stesso risultato di verifica.**

Il seguente confronto passo-passo illustra il calcolo eseguito dalle CNR DT 208 e dal programma automatico "PrefledevEC9AI"

CNR DT 208	PrefledevEC9AI
Caratteristiche della sezione lorda $A = 57,4 \text{ cm}^2$ $I_y = 5710 \text{ cm}^4$ $I_z = 655 \text{ cm}^4$	Caratteristiche della sezione lorda $A = 58,38 \text{ cm}^2$ $I_y = 5801 \text{ cm}^4$ $I_z = 642 \text{ cm}^4$

<p>Classificazione della sezione  <b>Metodo semplificato</b>          Classe <b>4</b> per uniforme compressione          Classe <b>2</b> per anime in flessione          Classe <b>1</b> per piattabande  <math>A_{eff}</math> compressione = <b>54,86</b> cm<sup>2</sup></p>	<p>Classificazione della sezione  <b>Metodo iterativo</b>          classe per <u>presso-flessione</u> = <b>3</b>          con riferimento all'anima presso-flessa  <math>A_{eff}</math> compressione = <b>58,38</b> cm<sup>2</sup></p>
<p>Verifica di stabilità flesso-torsionale</p> $\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}}\right)^{\eta_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \omega_{x,LT} M_{y,Rd}}\right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}}\right)^{\xi_{zc}} \leq 1$ <p>In cui:  <math>\eta_c = 0,8</math>  <math>\gamma_c = 1</math>  <math>i_z = 3,38</math> cm  <math>\bar{\lambda} = 1,19</math></p> <p><math>\chi = 0,55</math></p> <p><math>\bar{\lambda}_{LT} = 1,21</math> (definita senza aver calcolato il momento critico)</p> <p><math>\chi_{LT} = 0,552</math></p>	<p>Verifica di stabilità flesso-torsionale</p> $\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}}\right)^{\eta_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \omega_{x,LT} M_{y,Rd}}\right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}}\right)^{\xi_{zc}} \leq 1$ <p>In cui:  <math>\eta_c = 0,8</math>  <math>\gamma_c = 1</math>  <math>i_z = 3,32</math> cm  <math>\bar{\lambda}_z = 1,287</math>  <math>\bar{\lambda}_y = 0,428</math>  <math>\bar{\lambda}_{z,haz} = \bar{\lambda}_z \cdot \omega_0^{0,5} = 1,031</math>  <math>\bar{\lambda}_{y,haz} = \bar{\lambda}_y \cdot \omega_0^{0,5} = 0,343</math>  <math>\chi_z = 0,636</math>  <math>\chi_y = 0,948</math>  <math>\bar{\lambda}_{LT} = 0,716</math> (per <math>M_{cr} = 24519</math> kNcm)  <math>\bar{\lambda}_{LT,haz} = 0,574</math>  <math>\chi_{LT} = 0,952</math></p>
<p>Affermazione CNR DT 208          “siccome sono presenti saldature solo agli appoggi (<math>x_s=0</math>) <math>\omega_0 = \omega_x = \omega_{LT} = 1</math>”</p> <p><math>N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_0 / \gamma_{M1} = 1197</math> kN</p>	<p><b>In presenza di saldature di estremità:</b></p> $\omega_x = \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}}$ $\omega_{x,LT} = \frac{\omega_0}{\chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}}$ $\omega_0 = \frac{\rho_{u,haz} \cdot f_u / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} \text{ but } \omega_0 \leq 1,00$ <p><math>\omega_0 = 0,642 &lt; 1</math>  <math>\omega_x = \text{MIN} [\omega_{x,\chi y}; \omega_{x,\chi z}] = 0,677</math>  <math>\omega_{LT} = 0,674</math>  <math>N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_0 / \gamma_{M1} = 1274</math> kN</p>
<p>Momento resistente  <math>M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{el,y} \cdot f_0 / \gamma_{M1} = 10380</math> kNcm</p>	<p>Momento resistente  <math>M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{el,y} \cdot f_0 / \gamma_{M1} = 10547</math> kNcm</p>

$[280/(0,55 \cdot 1,0 \cdot 1197)]^{0,8} + [2800/(0,552 \cdot 1,0 \cdot 10380)]^1 = \mathbf{0,995} < 1$	$[280/(0,636 \cdot 0,677 \cdot 1274)]^{0,8} + [2800/(0,952 \cdot 0,674 \cdot 10547)]^1 = \mathbf{0,998} < 1$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Di seguito si riportano i passaggi fondamentali eseguiti con l'uso del programma "PrefledevEC9A1":

**METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1999-1-1 (Eurocodice 9)**

MATERIALE	EN AW 6061 Ex T6 - t < 20	$f_0 = 24,00 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 26,00 \text{ kN/cm}^2$	$\epsilon =$	1,02
SEZIONE	LAMINATA O ESTRUSA	TIPO: TRAVE	BI-SIMMETRICA	$\gamma_{M1} =$	1,1

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :		resistenza		stabilità	
combinazione di carichi NON sismica	Momento principale	$M_{y,Ed} =$ kNcm	2800	2800	
	Taglio principale	$V_{z,Ed} =$ kN		0	
	Compressione Assiale	$N_{Ed} =$ kN	280	280	
	Momento laterale	$M_{z,Ed} =$ kNcm		0	
	Taglio laterale	$V_{y,Ed} =$ kN		0	

**CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE**

Altezza totale	(h)	cm	24
Larghezza flangia superiore	(b <sub>f</sub> )	cm	10,6
Larghezza flangia inferiore	(b <sub>i</sub> )	cm	10,6
Distanza anime accoppiate	(d <sub>w</sub> )	cm	0
Spessore minimo anima	(t <sub>w</sub> )	cm	0,7
Sp. min. flangia superiore	(t <sub>f</sub> )	cm	1,4
Sp. min. flangia inferiore	(t <sub>i</sub> )	cm	1,4
Raccordo anima-flangia	(r)	cm	0
Altezza netta anima/e	(d)	cm	21,2
Sporgenza ala superiore	(c <sub>f</sub> )	cm	0,00
Sporgenza ala inferiore	(c <sub>i</sub> )	cm	0,00
Area della sezione	(A)	cm <sup>2</sup>	58,38
Posiz. asse baricentrico	(z <sub>G</sub> )	cm	12,00
Posizione asse neutro plastico	(z <sub>n</sub> )	cm	3,67
Posiz. a.n.p. per flessione pura	(d <sub>2,z</sub> )	cm	12,00
Momento di inerzia max.	(J <sub>y</sub> )	cm <sup>4</sup>	5801
Momento di inerzia min.	(J <sub>z</sub> )	cm <sup>4</sup>	642
W <sub>ys</sub> esterno lembo superiore		cm <sup>3</sup>	483
335,813 W <sub>yi</sub> esterno lembo inferiore		cm <sup>3</sup>	483
335,813 W <sub>yas</sub> asse flangia superiore o interna		cm <sup>3</sup>	513
W <sub>yai</sub> asse flangia inferiore o interna		cm <sup>3</sup>	513
W <sub>zd</sub> esterno lembo di destra		cm <sup>3</sup>	107
W <sub>zs</sub> esterno lembo di sinistra		cm <sup>3</sup>	107
W <sub>el,y,min</sub> = MIN (W <sub>ys</sub> , W <sub>yi</sub> ) sez. lorda		cm <sup>3</sup>	483
W <sub>el,z,min</sub> = MIN (W <sub>zd</sub> , W <sub>zs</sub> ) sez. lorda		cm <sup>3</sup>	107
W <sub>pl,y,rid</sub> = 555	W <sub>pl,y</sub> =	cm <sup>3</sup>	555
W <sub>pl,z,rid</sub> = 147	W <sub>pl,z</sub> =	cm <sup>3</sup>	147

SEZIONE MONO-SIMMETRICA

SEZIONI SEMPLICI CON INPUT AGEVOLATO

PRESSO-FLESSIONE VERTICALE

La classificazione della sezione è eseguita col metodo iterativo:

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 $\beta = \eta \cdot d / t_w =$	0,53	1,59	21,98	0,53	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\eta =$	0,33	0,97	0,68	0,33	0,97	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
$\psi =$	-1,46	0,89	-0,06	-1,46	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CLASSE	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flangia superiore $\beta = c/t =$	3,79	3,79	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		
Flangia inferiore $\beta = c/t =$	3,79	3,79	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	$\beta_1 =$	11,23	controllo flange interne	$\alpha_y =$	0,713		
classe 2	$\beta_2 =$	16,33		$\psi_{f,is} =$	0,97	$\psi_y =$	-0,09
classe 3	$\beta_3 =$	22,45		$\psi_{f,ii} =$	-0,06	$\eta_y =$	0,672
classe 1	$\beta_1 =$	3,06	ELEMENTI SPORGENTI	classe 1	$\beta_1 =$	11,23	ELEMENTI INTERNI
classe 2	$\beta_2 =$	4,59		classe 2	$\beta_2 =$	16,33	
classe 3	$\beta_3 =$	6,12		classe 3	$\beta_3 =$	22,45	

Larghezza/spessore flange e anime sporgenti

CLASSE DI INSTABILITA' (BC - tab. 3.2)

**A**

CLASSE SEZIONE

**3**

La verifica di resistenza nella sezione HAZ (appoggi) fornisce il seguente risultato:

### VERIFICA DI RESISTENZA

Area resistente a taglio :  $\beta = d / t = 30,3 < 39 \epsilon = 39,8$   $b_{haz} =$  cm  $A_v =$  28,70 cm<sup>2</sup>

Resistenza di progetto a taglio :  $v_1 = 1$   $V_{Rd} = v_1 \cdot A_v \cdot (f_o / 3^{1/2}) / \gamma_{M1} =$  361,53 kN

$a =$  cm 220  $V_{Ed} < 50\% V_{Rd}$   $\rho = (2 \cdot V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2 =$  0

Verifica di resistenza per sezione di classe **3**

$f_d = f_o / \gamma_{M1} =$  21,818 kN/cm<sup>2</sup>

$A_{f1} =$	14,84 cm <sup>2</sup>	$A_{f2} =$	14,84 cm <sup>2</sup>	$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_d =$	12119,98 kNcm				
$\alpha_z =$	1,372079	$R = [1 - (N_{Ed} / (A_{f1} + A_{f2}) / f_d)^2] =$	0,81	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot R =$	9854,01 kNcm				
$\alpha_y =$	1	$\eta_o =$	1	$\gamma_o =$	1	$\xi_o =$	1	$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot f_d =$	10546,63 kNcm
sezione con saldature locali (HAZ) o fori $\gamma_{M2} =$ 1,25								$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_d =$	1273,75 kN
in assenza di taglio : $\omega_o = 0,64$ $[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_o} =$								0,756 < 1	
per $V_{Ed} > 50\% V_{Rd}$ $t_{w,r} = t_w \cdot [1 - \rho]$ $[N_{Ed} / (\omega_o \cdot N_{V,Rd})]^{n_o} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{y_o} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_o} =$								0,000 < 1	
interazione $M_{Ed} / M_{c,Rd} \circ (M_{Ed} + M_{f,Rd}) / 2 \cdot M_{N,Rd} + V_{Ed} / V_{Rd} \cdot (1 - M_{f,Rd} / M_{N,Rd}) =$								< 1	

mentre la verifica di stabilità per cui è stato eseguito il confronto con l'esempio della norma CNR DT 208 è rappresentata nel seguente foglio di calcolo in cui si evidenzia lo schema statico assunto ovvero di trave non vincolata sugli appoggi ai fini della rotazione e dello svergimento con diagramma lineare uniforme del momento:

## RESISTENZA ALL'INSTABILITA'

Lunghezza dell'elemento tra gli appoggi :	L =	220	cm	$k_y =$	1
<b>Lunghezza libera nel piano principale :</b>	$L_y =$	220	cm	$k_z =$	1
Momenti principali di estremità (+;-)	$M_{Ed,1} =$	2800		$M_{Ed,2} =$	2800
(1) Momento dovuto ai carichi laterali nel piano	$ M_Q  =$			$\Delta M =$	2800
Diagramma del momento flettente (*) :	(l,p,t,q) =	1		lineare	
Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1)	k =	1		rotazione z-z libera delle estremità	
Fattore di lunghezza effettiva $k_w$ (0,5-0,7-1)	$k_w =$	1		distorsione libera delle estremità	
Fattore di distribuzione momenti estremi :	$\psi =$	1,00		$-1 < \psi < 1$	
Dist. sezione da appoggio o punto di flesso	$x_s =$	110	cm	conferma!	0
nota (1) : momento calcolato per trave semplicemente appoggiata					
Coeff. di forma (*) :	C1 =	1		C2 =	0,00
				C3 =	1

Dist. centro di taglio - baricentro	e = cm	0,000		$k_{wt} =$	1,194619
Carico applicato all'estradosso della sezione ? (S , N)		S		$\zeta_g =$	1,268622
Distancia centro di taglio - centro di carico	$z_g =$	12,00		$\bar{c} =$	0
I.1.2 (1) $\psi_f = (J_{if} - J_{ti}) / (J_{if} + J_{ti})$	$\psi_f =$	0,00		$\mu_{cr} =$	2,83 (*)
$z_j = 0,45 \cdot \psi_f \cdot h_s$	$z_j =$	0,00		$N_{cr,y} =$	8279,971
$I_w = (1 - \psi_f^2) \cdot J_z \cdot (h_s/2)^2$	$I_w =$	82034,78	cm <sup>6</sup>	$N_{cr,z} =$	917,0511

**Momento critico :  $M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \pi \cdot [E \cdot J_z \cdot G \cdot J_t]^{0,5} / L = 24519$  kNcm** EN 1999-1-1

<b>Lunghezza libera nel piano laterale :</b>	$L_z =$	220	cm	EC9	
Raggi di inerzia nei due piani :	$i_y =$	9,97	cm	$i_z =$	3,32
Snellezze effettive per presso-flessione :	$\lambda_y =$	22		$\lambda_z =$	66 < 250
Snellezze adimensionali corrispondenti :	$\bar{\lambda}_y =$	0,343		$\bar{\lambda}_z =$	1,031 <= 2
Limite della snell. adim. per flessio-torsione :	$\bar{\lambda}_0 =$	0,1		$\alpha'_y =$	1 < $W_{y,pl} / W_{y,e}$
Snellezza per l'instabilità flessio-torsionale :	$\bar{\lambda}_{LT} =$	0,574		$\bar{\lambda}_{LT,0} =$	0,4

verifica di stabilità flessio-torsionale necessaria

Coeff. di imperfezione per presso-flessione :	$\alpha_y =$	0,2		$\alpha_z =$	0,2
	$\phi_y =$	0,583		$\phi_z =$	1,124
Coeff. di imperfezione per flessio-torsione :	$\alpha_{LT} =$	0,20		$\alpha'_z =$	1,372079 < $W_{z,pl} / W_{z,e}$
$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})] + \bar{\lambda}_{LT}^2$	$\phi_{LT} =$	0,682			
Coeff. di riduzione per presso-flessione :	$\chi_y =$	0,948		$\chi_z =$	0,636
Coeff. di riduzione per flessio-torsione :	$\chi_{LT} =$	0,952		$\chi_{min} =$	0,636
Fattori di progetto della sezione :	$\omega_o =$	0,642		$\eta_c ; \xi_{yc} =$	0,800
	$\omega_x =$	0,677		$\gamma_c =$	1,000
	$\omega_{LT} =$	0,674		$\xi_{zc} =$	0,800
	$\alpha''_y =$	1		$\alpha''_z =$	1,25

Capacità del momento flettente intorno a y :  $M_{y,Rd} = \alpha''_y \cdot W_y \cdot f_o / \gamma_{M1} = 10547$  kNcm

Capacità del momento flettente intorno a z :  $M_{z,Rd} = \alpha''_z \cdot W_z \cdot f_o / \gamma_{M1} = 2920$  kNcm

### VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE - item 6.3.3.1 (1)-(5)

$$[N_{Ed} / (\chi_{min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{n_c} + [M_{y,Ed} / (\omega_o \cdot M_{y,Rd})]^{r_c} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_c} = 0,998 < 1 \quad \text{OK!}$$

### VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSIO-TORSIONE - item 6.3.3.2 (1)-(2)

$$[N_{Ed} / (\chi_z \cdot \omega_x \cdot N_{Rd})]^{n_c} + [M_{Ed} / (\omega_{LT} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{y,Rd})]^{r_c} + [M_{z,Ed} / (\omega_o \cdot M_{z,Rd})]^{z_c} = 0,998 < 1 \quad \text{OK!}$$

L'esempio illustrato, oltre ad essere in contraddizione col dettato normativo sulle saldature locali di estremità, è in contrasto con l'esempio precedente (VIII-3.5) in cui i fattori di instabilità  $\omega_0$ ,  $\omega_x$ ,  $\omega_{LT}$  sono calcolati considerando la presenza delle saldature di estremità. Non è allora chiara l'interpretazione data dalle CNR DT 208 alla saldatura locale di estremità differenziando il caso di colonna presso-flessa dal caso di trave presso-flessa. Non è neppure chiaro come venga definita la snellezza relativa  $\bar{\lambda}_{LT}$  senza avere definito i vincoli di estremità ed il valore del momento critico di instabilità flessio-torsionale.

## Conclusioni:

La trattazione qui riportata evidenzia quanto che il testo normativo Europeo Nazionale restano ancora di dubbia interpretazione per quanto riguarda gli effetti prodotti dalle HAZ.

Inoltre gli esempi riportati in calce alla CNR DT 208 non chiariscono tutti gli aspetti ed anzi appaiono in contrasto col testo normativo stesso.

Queste difficoltà interpretative ed applicative diventano un pesante ostacolo nella fase di implementazione in un software per il calcolo automatico, in quanto lo sviluppatore deve comunque colmare dubbi e lacune per ottenere una ragionevole genericità.

Nel software presentato, il cui dettaglio può essere esaminato al sito [www.stadata.com](http://www.stadata.com) sono state fatte scelte a favore di sicurezza quali quella di considerare le sezioni composte saldate (saldature continue) o le sezioni con saldatura locale estesa ad una parte intera (p.e. flangia) con una resistenza globale ridotta  $f_{0,haz}$  e di considerare il fattore di stabilità  $\omega_{x,min} = \text{MIN} [ \omega_0 / \chi_{y,haz}; \omega_0 / \chi_{z,haz} ]$

D. Leone