



# GLI EFFETTI DEGLI ANGOLI ARROTONDATI NEI PROFILI SOTTILI PIEGATI A FREDDO

Domenico Leone

**fare sismica**  
 **APPUNTI**



# GLI EFFETTI DEGLI ANGOLI ARROTONDATI NEI PROFILI SOTTILI PIEGATI A FREDDO

---

**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 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)



## Gli effetti degli angoli arrotondati nei profili sottili piegati a freddo

### Le diverse interpretazioni della norma EN 1993-1-3 e NTC 2008

Il tema di seguito presentato riguarda un aspetto non sottovalutabile nella definizione delle caratteristiche geometriche di profili sottili in lamiera di acciaio piegata a freddo relativamente al modo di considerare la presenza dei raccordi curvi (pieghe) tra elementi piani di una stessa sezione. Esaminiamo innanzitutto il dettato normativo con riferimento sia alla norma europea EN 1993-1-3 sia alla norma nazionale NTC 2008.

La norma EN 1993-1-3 (di cui si riporta qui di seguito uno stralcio) dice testualmente che “l’influenza dei raccordi curvi va tenuta in conto, nel calcolo delle caratteristiche geometriche di una sezione, considerando lunghezze ridotte delle parti piane ( $b_p$ ) con riferimento al punto intermedio (P) della curvatura **individuando così una geometria nominale della sezione**”

La norma dice anche che “l’influenza dei raccordi curvi **può essere trascurata** se il raggio interno  $r$  è minore di  $5 \times t$  oppure minore di  $0,10 \times b_p$ ; in questo caso la sezione trasversale può essere costituita da elementi piani con spigoli vivi” ma aggiunge una frase “sibillina” che tradotta suona così: “... $b_p$  si riferisce a tutti gli elementi piani compresi quelli in trazione”.

#### 5.1 Influence of rounded corners

- (1) In cross-sections with rounded corners, the notional flat widths  $b_p$  of the plane elements should be measured from the midpoints of the adjacent corner elements as indicated in figure 5.1.
- (2) In cross-sections with rounded corners, the calculation of section properties should be based upon the nominal geometry of the cross-section.
- (3) Unless more appropriate methods are used to determine the section properties the following approximate procedure may be used. The influence of rounded corners on cross-section resistance may be neglected if the internal radius  $r \leq 5 t$  and  $r \leq 0,10 b_p$  and the cross-section may be assumed to consist of plane elements with sharp corners (according to figure 5.2, note  $b_p$  for all flat plane elements, inclusive plane elements in tension). For cross-section stiffness properties the influence of rounded corners should always be taken into account.

La norma italiana (Circolare 02-02-2009 n° 617 : istruzioni NTC2008) dice testualmente :

#### **C4.2.12.2.3 Classificazione delle sezioni, instabilità locale e distorsione delle sezioni trasversali**

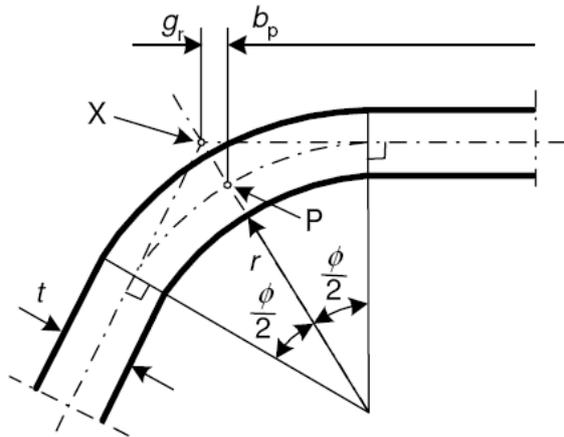
*Nelle membrature formate a freddo e nelle lamiere grecate, **al fine della utilizzazione delle Tabelle 4.2.I, II e III delle NTC per la classificazione delle sezioni**, la larghezza  $b_p$  degli elementi piani deve essere determinata a partire dai punti medi di raccordo di due lati adiacenti, secondo le indicazioni di Figura C4.2.26.(di seguito riportata)*

*In Figura C4.2.26 il punto P è il punto medio del raccordo da considerare per determinare la larghezza dell'elemento piano; X è l'intersezione degli assi degli elementi piani.*

Notiamo la prima incongruenza tra le norme ovvero, mentre per la EN 1993-1-3 la larghezza ridotta (**nozionale** o notional width) degli elementi piani  $b_p$  serve a definire una “**sezione nominale**” di cui determinare le caratteristiche geometriche, per la NTC 2008 la

larghezza nozionale  $b_p$  serve per classificare la sezione ponendo  $b_p = c$  nelle tabelle 4.2.I – 4.2.II e 4.2.III.

La larghezza nozionale  $b_p$  dell'elemento piano è misurata a partire dal punto medio del raccordo (P) ed è ottenuta riducendo la distanza tra i vertici (X) individuati dall'incontro degli assi medi di due parti piane adiacenti della quantità  $g_r$  rappresentata e descritta analiticamente nella seguente figura per ciascun raccordo curvo :



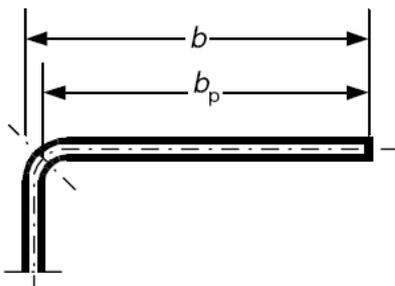
(a) midpoint of corner or bend

X is intersection of midlines

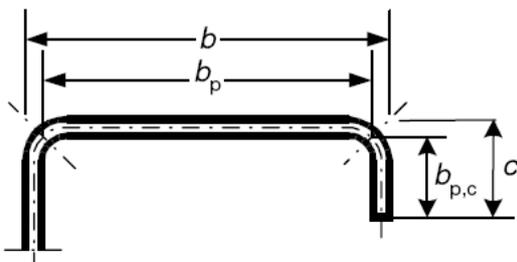
P is midpoint of corner

$$r_m = r + t / 2$$

$$g_r = r_m \left( \tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right)$$

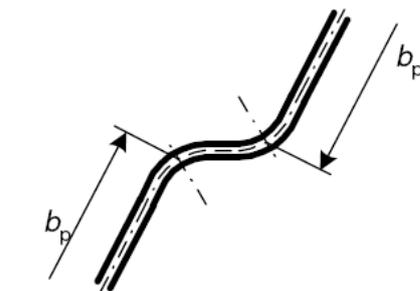


(b) notional flat width  $b_p$  of plane parts of flanges

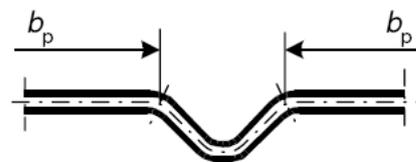


(c) notional flat width  $b_p$  for a web

( $b_p =$  slant height  $s_w$ )



(d) notional flat width  $b_p$  of plane parts adjacent to web stiffener



(e) notional flat width  $b_p$  of flat parts adjacent to flange stiffener

**Figure 5.1: Notional widths of plane cross section parts  $b_p$  allowing for corner radii**

La norma italiana non fa alcun accenno alla “**sezione nominale**” cui fare riferimento per il calcolo delle caratteristiche geometriche basate sulle lunghezze efficaci delle parti compresse e sulle lunghezze effettive delle parti tese; dall'altra parte, la norma europea non da una definizione chiara di “**sezione nominale**”.

La domanda che ci si pone è :

Ammetto che il calcolo delle sezioni sottili vada fatto con riferimento al piano medio della lamiera, accettato (con riserva !!) che la lunghezza della parte piana sia misurata a partire dal punto medio del raccordo (P), dovendo calcolare le caratteristiche geometriche della **sezione efficace** ( $A_{\text{eff}}$ ,  $W_{\text{eff}}$ ) **quale forma deve avere la sezione nominale** ?

La cosa “*certa*” (ma io ho dei dubbi !!!) è che la presenza dei raccordi curvi va tenuta in conto come “**riduzione delle caratteristiche geometriche**” della sezione altrimenti “*sovradimensionate*” dagli spigoli vivi generati dall'incontro delle parti piane (ma sarà vero visto che la piega produce incrudimento del materiale attribuendogli maggior resistenza anche se attira maggior tensione ??):

di seguito le espressioni normative di riduzione della **sezione lorda** :

$$\begin{aligned}
 A_g &\approx A_{g,\text{sh}} (1 - \delta) \\
 I_g &\approx I_{g,\text{sh}} (1 - 2\delta) \\
 I_w &\approx I_{w,\text{sh}} (1 - 4\delta)
 \end{aligned}
 \quad
 \delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}}$$

in cui  $m$  rappresenta il numero di elementi rettilinei di larghezza di calcolo  $b_{p,i}$  mentre  $n$  quello dei raccordi circolari di raggio  $r_j$  e  $\phi_j$  è il loro angolo di apertura espresso in gradi sessagesimali.

**$A_g$  = area della sezione lorda**

**$A_{g,\text{sh}}$  = area della sezione con spigoli vivi**

$I_g$  = momento di inerzia della sezione lorda

$I_{g,\text{sh}}$  = momento di inerzia della sezione con spigoli vivi

$I_w$  = costante di distorsione della sezione lorda

$I_{w,\text{sh}}$  = costante di distorsione della sezione con spigoli vivi

Si noti il segno di “circa uguale” ( $\sim$ ) che sta ad indicare l'approssimazione del calcolo su parti così infinitesimali della sezione quando le approssimazioni del calcolo sono bel altre per sezioni di classe 4 a partire dal calcolo dei fattori di riduzione delle lunghezze efficaci e dal numero di iterazioni che affinano il risultato.

La seguente frase riportata dalla norma EN 1993-1-3 dovrebbe aiutarci a capire cosa si intende per “sezione nominale” di un profilo sottile :

(5) The reductions given by expression (5.1) may also be applied in calculating the effective section properties  $A_{\text{eff}}$ ,  $I_{y,\text{eff}}$ ,  $I_{z,\text{eff}}$  and  $I_{w,\text{eff}}$ , provided that the notional flat widths of the plane elements are measured to the points of intersection of their midlines.

Ovvero :

*“Le riduzioni date dalle espressioni sopra-riportate possono essere anche applicate nel calcolo delle proprietà della sezione efficace  $A_{eff}$ ,  $I_{y,eff}$ ,  $I_{z,eff}$  e  $I_{w,eff}$  purchè le larghezze nozionali degli elementi piani siano riferite ai punti di intersezione delle loro linee medie”*

Ciò farebbe concludere che, per sezioni sottili di classe 4, la ricercata “sezione nominale” possa essere definita considerando solo le parti piane individuate dai propri assi intermedi convergenti in un vertice (X della figura precedente) e, una volta calcolate, per la sezione così definita, le caratteristiche geometriche efficaci, si applichino a queste le riduzioni citate prima.

Tale affermazione introduce un diverso significato della larghezza nozionale  $b_p$  che, per il calcolo delle caratteristiche della **sezione efficace** viene riferita al punto di intersezione delle linee medie delle parti piane.

Anche la seguente figura riportata sia dalla norma italiana che europea non aiuta a chiarire la definizione di “sezione nominale”; la larghezza  $b_{p,i}$  può riferirsi sia alla distanza tra i punti intermedi dei raccordi sia ai punti di intersezione delle linee medie delle parti piane. Si avrebbero così 3 possibili situazioni geometriche :

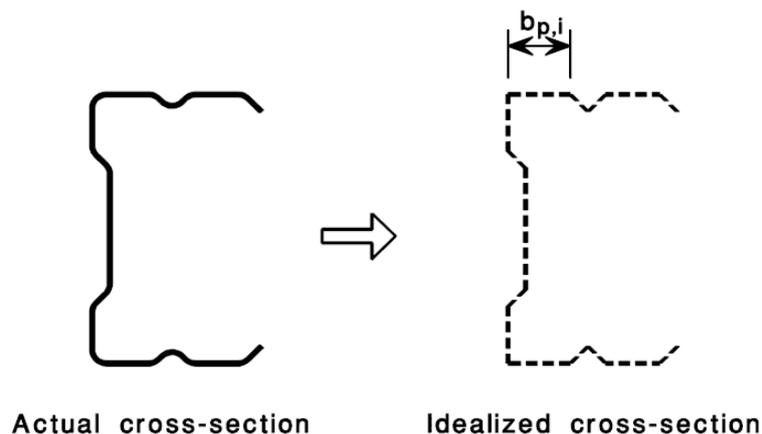
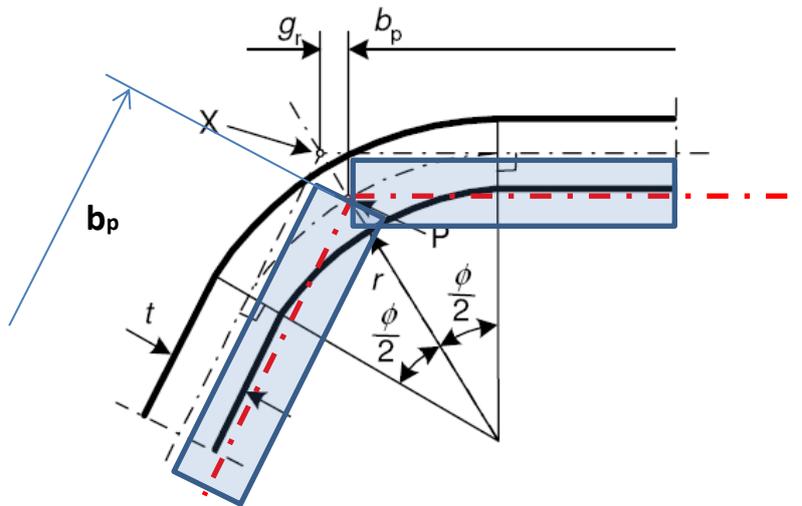


Figure 5.2: Approximate allowance for rounded corners

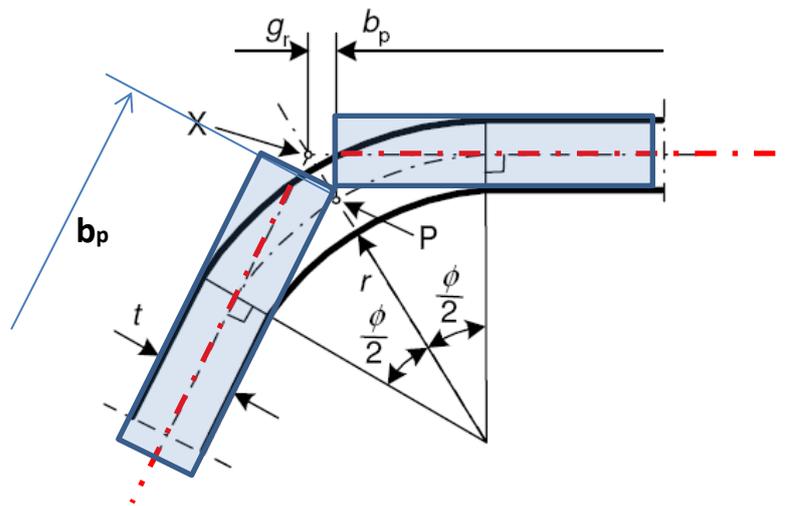
- 1 ) la sezione si modifica geometricamente riducendo le sue dimensioni globali per consentire la convergenza degli assi medi delle parti piane nei punti (P) medi dei raccordi
- 2) gli assi medi delle parti piane rimangono nella posizione geometrica originaria ma si interrompono in corrispondenza del punto medio del raccordo
- 3) gli assi medi delle parti piane convergono in un punto mantenendo la posizione geometrica originaria e le larghezze nozionali  $b_{p,i}$  sono utilizzate solo per il calcolo delle larghezze efficaci.

Le seguenti figure rappresentano i 3 casi

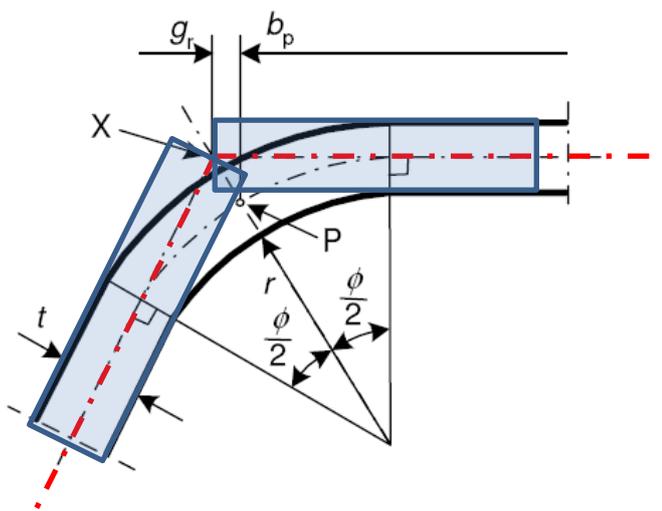
Caso 1)



Caso 2)

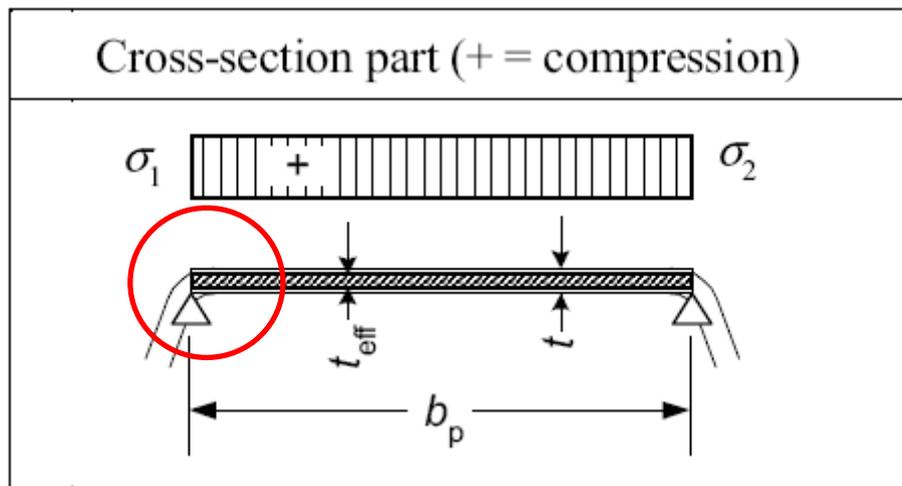


Caso 3)



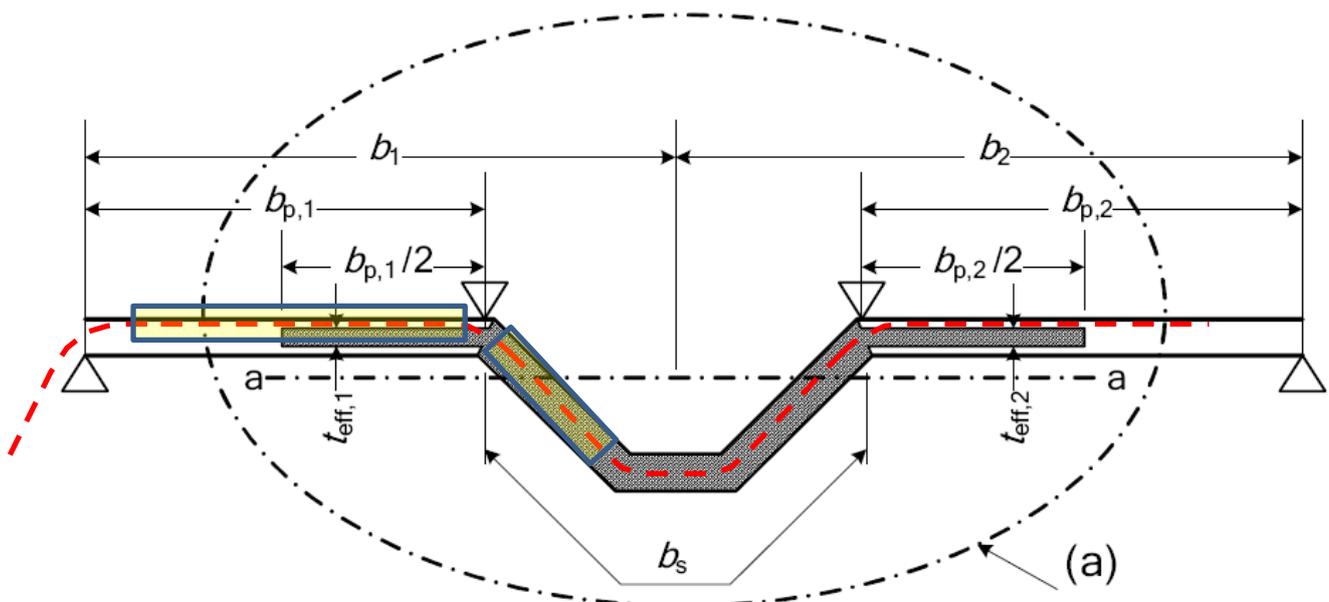
È evidente che i casi 1) e 3) consentono un calcolo automatico delle caratteristiche della sezione poiché gli elementi convergono in nodi ma il dubbio resta sulla corretta interpretazione della norma .

Se facciamo riferimento alla norma EN 1999-1-4 per le **sezioni sottili in alluminio**, la definizione di larghezza nozionale  $b_p$  coincide con quella delle sezioni in acciaio ma la rappresentazione grafica che ne viene data pare far riferimento al caso 2) sopra riportato :



Ovvero (tab. 5.3 EN 1999-1-4) la larghezza nozionale  $b_p$  si riferisce al punto medio del **raccordo curvo (P)** ma l'asse medio della parte piana rimane nella posizione originaria della sezione lorda non convergendo quindi nel punto **P**. Inoltre la rappresentazione grafica della sezione efficace di una flangia irrigidita (fig. 5.4) indurrebbe a pensare ad una schematizzazione a spigoli vivi individuati dall'incontro degli assi medi delle parti piane pur essendo chiaramente indicate le larghezze nozionali  $b_p$ .

Se sulla figura della norma tracciamo in rosso l'asse della lamiera che passa per i punti medi dei raccordi curvi, si nota che la sezione "nominale" non coincide con la reale dimensione della sezione lorda.



Anche la norma EN 1999-1-4 riporta lo stesso fattore di riduzione delle caratteristiche geometriche della sezione per la presenza dei raccordi curvi dicendo testualmente :  
*“l’influenza dei raccordi curvi sulle proprietà di una sezione può essere tenuta in conto riducendo le proprietà calcolate per una **sezione simile con spigoli vivi** usando le seguenti approssimazioni” ;*

(4) The influence of rounded corners on section properties may be taken into account by reducing the properties calculated for an otherwise similar cross-section with sharp corners, using the following approximations:

$$A_g \approx A_{g,sh} (1 - \delta) \quad (5.1a)$$

$$I_g \approx I_{g,sh} (1 - 2\delta) \quad (5.1b)$$

with:

$$\delta = 0,43 \cdot \frac{\sum_{j=1}^n (r_j \varphi_j / 90)}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}} \quad (5.1c)$$

come sia costruita la **“sezione simile con spigoli vivi”** non viene specificato a meno che, come per l’acciaio, non si faccia riferimento al successivo item :

(5) The reductions given by expression (5.1) may also be applied in calculating the effective section properties  $A_{eff}$  and  $I_{y,eff}$  provided that the notional flat widths of the plane cross-section parts are measured to the points of intersection of their midlines.

*“La riduzione data dalle espressioni (5.1) può anche essere applicata nel calcolo delle proprietà della sezione efficace ( $A_{eff}$  e  $I_{y,eff}$ ) purchè le **larghezze nozionali delle parti piane della sezione siano riferite ai punti di intersezione delle loro linee mediane”***

Concludendo, in base alle norme, le proprietà di una **sezione lorda** con raccordi curvi dovrebbero essere calcolate con riferimento ad una sezione nominale a spigoli vivi globalmente “modificata” con gli assi medi delle parti piane convergenti nel punto medio (**P**) del raccordo curvo usando il fattore di riduzione  $\delta$  mentre le proprietà di una **sezione efficace** possono essere calcolate sempre con l’uso del fattore di riduzione  $\delta$  ma con riferimento ad una sezione a spigoli vivi in cui gli assi medi delle parti piane mantengono la posizione individuata dalla sezione lorda convergendo in un vertice (**X**) esterno al raccordo curvo.

Cosa fare in generale ? La mia interpretazione è quella del caso 3) sempre, sia perché le caratteristiche della “sezione nominale” non possono prescindere dalle dimensioni globali della sezione sia perché la riduzione delle stesse caratteristiche (fattore  $\delta$ ) dovuta alla presenza dei raccordi curvi appare plausibile a differenza del caso 1) dove la riduzione delle dimensioni della sezione dovuta ai raccordi curvi genera caratteristiche geometriche ridotte che dovrebbero **teoricamente** essere ulteriormente ridotte dal fattore  $\delta$  avendo fatto riferimento ad una sezione con spigoli vivi.

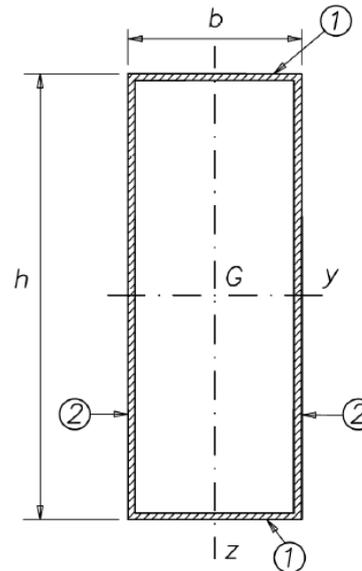
Inoltre a me pare corretto tener conto anche della limitazione del raggio di curvatura per cui se questo è inferiore a  $5 \times t$  ( $10 \times t$  per l’alluminio) ritengo trascurabile l’effetto di riduzione dovuto ai raccordi curvi (come dimostrato nell’esempio che segue) schematizzando la sezione solo con una serie di elementi piani convergenti nei vertici individuati dall’asse medio delle parti piane (spigoli vivi).

L'esempio che di seguito riporto mette a confronto i casi 1) e 3) e dimostra quanto sia effimera una trattazione così dettagliata della norma su un aspetto della verifica di resistenza e stabilità davvero insignificante rispetto a tutte le altre approssimazioni utilizzate nel calcolo delle sezioni sottili non ultima la scelta del coefficiente di sicurezza.

Si tratta di una sezione tubolare rettangolare soggetta a sola flessione nel piano principale, in acciaio S 235 e di lunghezza pari a 2 m.

Dati del profilo tubolare

Altezza	$h$	202 mm
Larghezza	$b$	52 mm
Spessore	$t$	1,0 mm
Raggio di raccordo	$r$	1,5 mm



Il primo passo è classificare il profilo con la procedura nota per sezioni solo flesse : la flangia superiore è uniformemente compressa e, tenendo conto della definizione della larghezza nozionale  $b_p = c = b - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 47$  mm si ha :

$$\frac{c}{t} = \frac{b - 2 \cdot t - 2 \cdot r}{t} = \frac{52 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 1,5}{1} = \frac{47}{1} = 47 > 42 (= 42 \cdot \varepsilon)$$

L'elemento 1 della figura (flangia superiore) è di classe 4

Le anime sono semplicemente flesse e per  $b_p = c = h - 2 \cdot t - 2 \cdot r = 197$  mm si ha :

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t - 2 \cdot r}{t} = \frac{202 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 1,5}{1} = \frac{197}{1} = 72 > 124 (= 124 \cdot \varepsilon)$$

L'elemento 2 della figura (anima) è di classe 4

Si riporta di seguito il calcolo eseguito con l'uso del programma "CARGEO plus" ([www.stadata.com](http://www.stadata.com)) per la sezione descritta attraverso le coordinate nodali ovvero senza tener conto delle curve di raccordo tra gli elementi della sezione

RAPPORTI LARGHEZZA/SPESSORE						CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI							
ELEM.	SPESSORE	LUNGH.	parti interne o sporgenti	l/s parti int.	l/s parti spor.	comp. elastico		comp. plastico		classe	classe	classe	classe elem.
i	s = cm	c = cm				$\Psi_{c,y}$	$\Psi_{c,z}$	$\alpha_{c,y}$	$\alpha_{c,z}$	1	2	3	
1	0,1	5,1	interna ▼	51	0	0	0	0	0	36	41,5	62,687	1
2	0,1	20,1	interna ▼	201	0	-1	0	0,5001	0	71,977	82,882	124	4
3	0,1	5,1	interna ▼	51	0	1	0	1	0	33	38	42	4
4	0,1	20,1	interna ▼	201	0	-1	0	0,5001	0	71,977	82,882	124	4

Gli elementi 2,3,4 che sono rispettivamente l'anima di sinistra, la flangia superiore e l'anima di destra sono di classe 4 ed i rapporti larghezza/spessore sono di poco superiori a quelli calcolati teoricamente per il fatto che si trascurano i raccordi circolari e lo spessore del profilo (ma ciò va a favore di sicurezza).

L'autore dell'esempio (non sono io) propone il calcolo della sezione in base all'interpretazione 1) della norma ovvero considerando una sezione nominale ridotta per tener conto delle curvature degli spigoli :

Per tener conto della presenza di spigoli arrotondati, si considera la sezione a *spigoli vivi* seguendo la procedura fornita dalla norma:

$$r_m = r + t / 2 = 2 \text{ mm}$$

$$g_r = r_m [\tan(\phi / 2) - \sin(\phi / 2)] = 0,586 \text{ mm}$$

Le dimensioni della sezione in esame sono:

$$h_p = h - t - 2g_r = 199,83 \text{ mm}$$

$$b_p = b - t - 2g_r = 49,83 \text{ mm}$$

Per il calcolo delle proprietà geometriche si è fatto riferimento ad una geometria a spigoli vivi. Di seguito sono presentati i valori di maggior interesse che saranno utilizzati successivamente in alcuni passaggi:

Area	$A_g$	499,31 mm <sup>2</sup>
Momento di inerzia secondo l'asse y	$I_y$	2324764 mm <sup>4</sup>
Modulo resistente rispetto all'asse y	$W_{y,inf} = W_{y,sup}$	23268 mm <sup>3</sup>
Momento di inerzia secondo l'asse z	$I_z$	268694 mm <sup>4</sup>
Modulo resistente rispetto all'asse z	$W_{z,dx} = W_{z,sx}$	10785 mm <sup>3</sup>
Costante torsionale	$I_t$	794299 mm <sup>4</sup>
Costante d'ingobbamento	$I_w$	0 mm <sup>6</sup>

In base alla mia interpretazione, poiché risulta  $r < 5.t$  (1,5 mm << 5 mm), i raccordi curvi possono essere trascurati e la sezione lorda resta geometricamente la stessa con spigoli vivi senza subire alcuna riduzione globale. Le caratteristiche geometriche della sezione lorda sono riassunte nel successivo foglio di calcolo da cui emerge il seguente confronto :

caratteristica geometrica	Calcolo teorico	Calcolo automatico
$A_g$	4,99 cm <sup>2</sup>	5,04 cm <sup>2</sup>
$I_y$	232,48 cm <sup>4</sup>	238,37 cm <sup>4</sup>
$I_z$	26,87 cm <sup>4</sup>	28,36 cm <sup>4</sup>
$I_w$	0 cm <sup>6</sup>	0 cm <sup>6</sup>

Le differenze sono dovute alla diversa geometria globale della sezione lorda

**COORDINATE DEL BARICENTRO :**

$y_G = 2,60$  cm  
 $z_G = 10,10$  cm

**COORDINATE CENTRO DI TAGLIO :**

$y_c = 2,60$  cm  
 $z_c = 10,10$  cm

**SEZIONE CHIUSA**

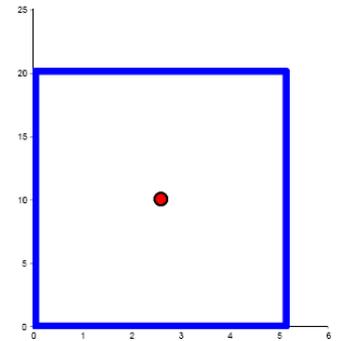
**MOMENTI DI INERZIA DELLA SEZIONE :**

$J_y = 238,366$  cm<sup>4</sup>  
 $J_z = 28,3509$  cm<sup>4</sup>  
 Momento di inerzia torsionale  $J_t = 83,3992$  cm<sup>4</sup>  
 $y_j = 0,00$  cm  
 $z_j = 0,00$  cm Costante di distorsione  $J_w = 0$  cm<sup>6</sup>

**SEZIONE CHIUSA**

**LIVELLI DI CALCOLO CARATTERISTICHE RESISTENZIALI :**

- LIV. 0 = BORDI DEL PROFILO SUGLI ASSI DI RIFERIMENTO
- LIV. 1 : 5 = LIVELLI DEFINITI DA INPUT LUNGO GLI ASSI Y E Z
- LIV. 6 = LIVELLO BARICENTRICO
- LIV. 7 = DIMENSIONI MASSIME DEL PROFILO
- LIV. 8 = LIVELLO ASSE NEUTRO PLASTICO PER FLESSIONE



**MODULI DI RESISTENZA E COEFFICIENTI DI TAGLIO :**

LIV.	hz cm	by cm	Wy cm <sup>3</sup>	Wpl.y cm <sup>3</sup>	kTz cm <sup>-2</sup>	hy cm	bz cm	Wz cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	kTy cm <sup>-2</sup>
0	0	0	24		0,00E+00	0	0	11		0,00E+00
1	0,05	0,10	23,72		1,08E-01	0,05	0,10	11,12		0,00E+00
2	0	0	24		0,00E+00	0	0	11		0,00E+00
3	0	0	24		0,00E+00	0	0	11		0,00E+00
4	0	0	24		0,00E+00	0	0	11		0,00E+00
5	0	0	24		0,00E+00	0	0	11		0,00E+00
6	10,10	0,2	=====		2,13E-01	2,60	0,2	=====		9,61E-01
7	20,2	0	24		0,00E+00	5,2	0	11		0,00E+00
	Zn	Ac	At	Wpl.y	k / I	Yn	Ac	At	Wpl.z	
8	10,10	2,50 = 2,50		30	0	2,60	2,50 = 2,50		12	

**MOMENTI STATICI BARICENTRICI :**

	LIV. 1	LEV. 2	LEV. 3	LEV. 4	LEV. 5	LEV. 6	COSTANTI SETTORIALI cm <sup>5</sup>	
							$J_{yw}$	$J_{zw}$
M. STAT. Y $S_y = \text{cm}^3$	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	-811,759	1145,17
M. STAT. Z $S_z = \text{cm}^3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,45		

Si procede quindi nel calcolo della sezione efficace con un calcolo iterativo che tiene conto, ad ogni step, dello spostamento del baricentro della sezione parzializzata nelle parti compresse.

Il calcolo analitico effettuato dall'autore dell'esempio è eseguito con riferimento alla sezione di dimensioni globali ridotte per la presenza dei raccordi curvi ed il processo di iterazione relativo alle anime è riassunto nella seguente scheda :

**Tabella A3.1**

	Iterazione (i)					
	i = 1	i = 2	i = 3	i = 4	i = 5	i = 6
$\psi_i = \frac{W_{y,eff,sup,i}}{W_{y,eff,inf,i}}$	-1,000	-0,796	-0,755	-0,747	-0,745	-0,745
$k_{\sigma,i}$	23,900	19,021	18,135	17,964	17,930	17,924
$\bar{\lambda}_{p,i}$	1,439	1,613	1,652	1,660	1,662	1,662
$\rho_i$	0,642	0,573	0,560	0,557	0,557	0,557
$h_{eff,i}$ [mm]	64,1	63,8	63,8	63,8	63,8	63,8
$h_{e1,i}$ [mm]	38,5	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3
$h_{e2,i}$ [mm]	25,6	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
$A_{eff,i}$ [mm <sup>2</sup> ]	420,45	397,10	391,85	390,79	390,58	390,54
$z_{gc,i}$ [mm]	111,24	113,86	114,39	114,50	114,52	114,52
$z'_{gc,i}$ [mm]	88,59	85,97	85,44	85,33	85,31	85,31
$I_{y,eff}$ [mm <sup>4</sup> ]	1963119	1913412	1905015	1903436	1903130	1903071
$W_{y,eff,sup,i}$ [mm <sup>3</sup> ]	17647	16805	16653	16624	16619	16618
$W_{y,eff,inf,i}$ [mm <sup>3</sup> ]	22160	22257	22297	22306	22308	22308

da cui risulta che il momento resistente ultimo avrebbe il seguente valore :

$$M_{y,Rd} = W_{y,eff,min} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 16,618 \cdot 23,5 / 1,05 = \mathbf{372 \text{ kNcm}}$$

Si noti che la lunghezza efficace dell'anima non cambia già dalla seconda iterazione pur variando il fattore di riduzione  $\rho$  e il parametro  $\psi$  e ciò non appare giustificato nonostante l'area efficace si riduca.

Il calcolo automatico da me impostato parte dallo stato effettivo di sollecitazione per determinare iterativamente la sezione efficace ovvero tiene conto del rapporto

$$\psi_i = \sigma_{y,ten,i} / \sigma_{y,com,i} \text{ relativo a ciascun elemento della sezione.}$$

I vari passaggi di iterazione (complessivamente 3) eseguiti sulla sezione globale originaria sollecitata dal solo momento  $M_{y,Ed} = \mathbf{372 \text{ kNcm}}$  sono di seguito riportati :

DATI GEOMETRICI					METODO CONGRUENTE - LUNGHEZZE EFFICACI - STEP 1								
ELEM.	SPESS.	LUNGH.	l/s	l/s	tensioni iniziali		parametri di stabilità					l eff.	l tesa
i	s = cm	c = cm	parti int.	parti spor.	$\sigma_s$	$\sigma_d$	$\Psi_i$	$k_{\sigma,int}$	$k_{\sigma,spor}$	$\lambda_p$	$\rho$	$c_{eff} = cm$	$c_{rid} = cm$
1	0,1	5,1	51	0	-15,684	-15,684	1	4	0	0	1	5,1	0
2	0,1	20,1	201	0	-15,684	15,684	-1	23,88	0	1,1832	0,76659	7,7042	10,05
3	0,1	5,1	51	0	15,684	15,684	1	4	0	0,73353	0,9544	4,8674	0
4	0,1	20,1	201	0	15,684	-15,684	-1	23,88	0	1,1832	0,76659	7,7042	10,05

DATI GEOMETRICI					METODO CONGRUENTE - LUNGHEZZE EFFICACI - STEP 2								
ELEM.	SPESS.	LUNGH.	l/s	l/s	tensioni step 2		parametri di stabilità					l eff.	l tesa
i	s = cm	c = cm	int. parts	out. parts	$\sigma_s$	$\sigma_d$	$\Psi_i$	$k_{\sigma,int}$	$k_{\sigma,spor}$	$\lambda_p$	$\rho$	$c_{eff} = cm$	$c_{rid} = cm$
1	0,1	5,1	51	0	-16,032	-16,032	1	4	0	0	1	5,1	0
2	0,1	20,1	201	0	-16,032	18,247	-0,8786	20,8867	0	1,36459	0,67016	7,1702	9,4007
3	0,1	5,1	51	0	18,247	18,247	1	4	0	0,79119	0,91247	4,6536	0
4	0,1	20,1	201	0	18,247	-16,032	-0,8786	20,8867	0	1,36459	0,67016	7,1702	9,4007

DATI GEOMETRICI					METODO CONGRUENTE - LUNGHEZZE EFFICACI - STEP 3								
ELEM.	SPESS.	LUNGH.	l/s	l/s	tensioni step 3		parametri di stabilità					l eff.	l tesa
i	s = cm	c = cm	int. parts	out. parts	$\sigma_s$	$\sigma_d$	$\Psi_i$	$k_{\sigma,int}$	$k_{\sigma,spor}$	$\lambda_p$	$\rho$	$c_{eff} = cm$	$c_{rid} = cm$
1	0,1	5,1	51	0	-16,181	-16,181	1	4	0	0	1	5,1	0
2	0,1	20,1	201	0	-16,181	19,741	-0,8197	19,5365	0	1,46757	0,62572	6,9117	9,054
3	0,1	5,1	51	0	19,741	19,741	1	4	0	0,82294	0,8903	4,5405	0
4	0,1	20,1	201	0	19,741	-16,181	-0,8197	19,5365	0	1,46757	0,62572	6,9117	9,054

Si noti come i valori tensionali e parametri geometrici tendano gradualmente alla convergenza anche se sarebbero necessari ancora due passi di iterazione per avere valori più affinati.

Le caratteristiche della sezione efficace sono di seguito riportate :

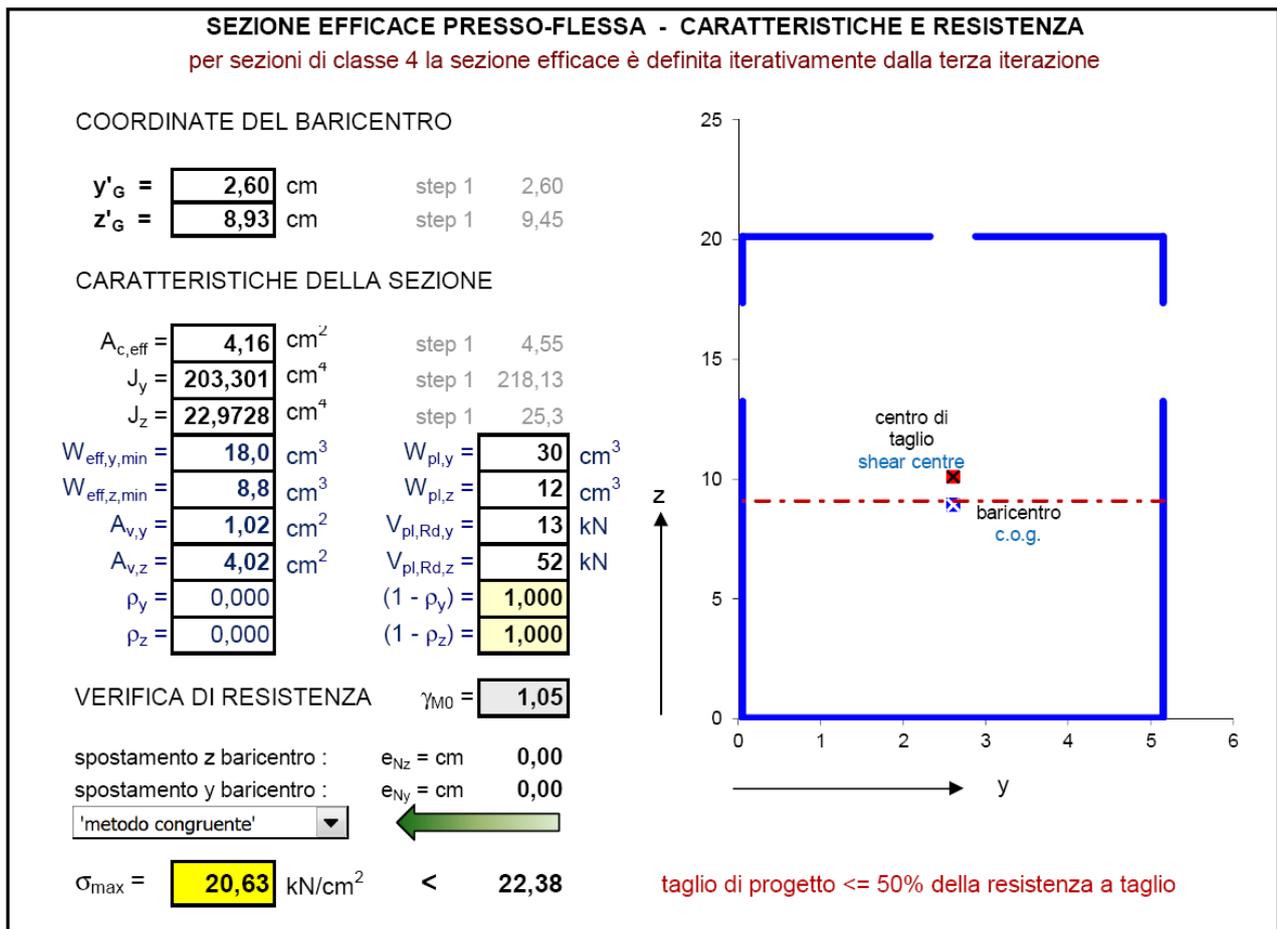
COORDINATE DEL BARICENTRO			
$y'_G =$	<b>2,60</b>	cm	step 1 2,60
$z'_G =$	<b>8,93</b>	cm	step 1 9,45
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE			
$A_{c,eff} =$	<b>4,16</b>	cm <sup>2</sup>	step 1 4,55
$J_y =$	<b>203,301</b>	cm <sup>4</sup>	step 1 218,13
$J_z =$	<b>22,9728</b>	cm <sup>4</sup>	step 1 25,3
$W_{eff,y,min} =$	<b>18,0</b>	cm <sup>3</sup>	$W_{pl,y} =$ <b>30</b> cm <sup>3</sup>
$W_{eff,z,min} =$	<b>8,8</b>	cm <sup>3</sup>	$W_{pl,z} =$ <b>12</b> cm <sup>3</sup>
$A_{v,y} =$	<b>1,02</b>	cm <sup>2</sup>	$V_{pl,Rd,y} =$ <b>13</b> kN
$A_{v,z} =$	<b>4,02</b>	cm <sup>2</sup>	$V_{pl,Rd,z} =$ <b>52</b> kN
$\rho_y =$	<b>0,000</b>		$(1 - \rho_y) =$ <b>1,000</b>
$\rho_z =$	<b>0,000</b>		$(1 - \rho_z) =$ <b>1,000</b>

Fermandoci al terzo step confrontiamo i valori teorici con quelli automaticamente calcolati :

caratteristica / parametro	Calcolo teorico (3° step)	Calcolo automatico
$k_{\sigma,i}$	18,14	19,54
$l_{p,i}$	1,65	1,47
$\rho_i$	0,56	0,63
$h_{eff,i} = l_{eff}$	6,38	6,91
$A_{eff}$	<b>3,91</b> cm <sup>2</sup>	<b>4,16</b> cm <sup>2</sup>
$Z_{g,eff}$	8,54 cm	8,93 cm
$I_{y,eff}$	<b>190,5</b> cm <sup>4</sup>	<b>203,3</b> cm <sup>4</sup>
$I_{z,eff}$	-----	22,97 cm <sup>4</sup>
$W_{y,eff,sup}$	<b>16,65</b> cm <sup>3</sup>	<b>18</b> cm <sup>3</sup>

I maggiori valori registrati col calcolo automatico dipendono dall'aver considerato la sezione senza riduzione delle dimensioni globali per la presenza dei raccordi curvi nonché dall'aver trascurato i raccordi curvi nel calcolo delle lunghezze efficaci.

La verifica di resistenza eseguita col programma automatico produce il seguente risultato :



Da cui si evince una riserva di resistenza di circa 8,5% cui corrisponde un momento resistente ultimo pari a :

$$M_{y,Rd} = W_{y,eff,min} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 18 \cdot 23,5 / 1,05 = 403 \text{ kNcm} > 372 \text{ kNcm}$$

Applichiamo ora alle caratteristiche geometriche della sezione calcolate automaticamente il criterio di riduzione previsto dalla norma per tener conto della presenza dei raccordi curvi

$$A_g \approx A_{g,sh} (1 - \delta)$$

$$I_g \approx I_{g,sh} (1 - 2\delta)$$

$$I_w \approx I_{w,sh} (1 - 4\delta)$$

$$\delta = 0,43 \frac{\sum_{j=1}^n r_j \frac{\phi_j}{90^\circ}}{\sum_{i=1}^m b_{p,i}}$$

$$\delta = 0,43 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 90^\circ/90^\circ / (2 \cdot 47 + 2 \cdot 197) = \mathbf{0,00529}$$

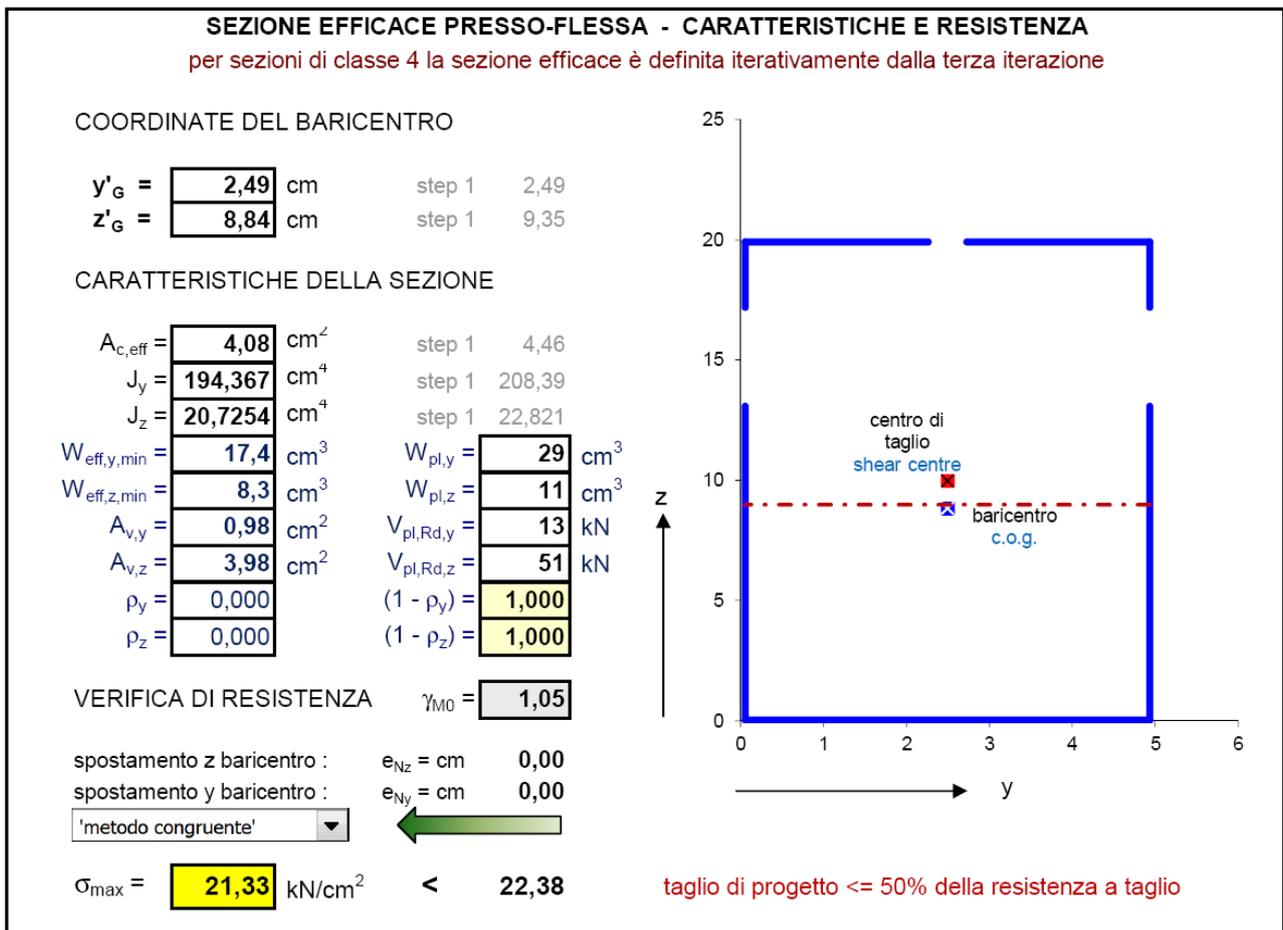
Valore estremamente basso che dimostra l'inutilità di considerare l'effetto dei raccordi curvi per valori di  $r < 5 \cdot t$  come suggerito dalla norma.

Applicato all'area efficace ed al momento di inerzia, il fattore  $\delta$  produrrebbe la seguente riduzione assolutamente trascurabile :

$$A_{eff,rid} = A_{eff} \cdot (1 - \delta) = 4,16 \cdot (1 - 0,00529) = \mathbf{4,14} \text{ cm}^2 \sim 4,16 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,eff,rid} = I_{y,eff} \cdot (1 - 2 \cdot \delta) = 203,3 \cdot (1 - 2 \cdot 0,00529) = \mathbf{201,1} \text{ cm}^4 \sim 203,2$$

Se provassimo a eseguire la verifica per la sezione ridotta dalla presenza dei raccordi curvi usando le dimensioni globali proposte dell'autore dell'esempio, otterremmo i seguenti risultati :



con un margine di sicurezza di circa il 5% avendo trascurato, nel calcolo delle lunghezze efficaci, i raccordi curvi.

Il momento resistente sarebbe pari a :

$$M_{y,Rd} = W_{y,eff,min} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} = 17,4 \cdot 23,5 / 1,05 = \mathbf{389 \text{ kNcm} > 372 \text{ kNcm}}$$

In conclusione, se si vuole considerare l'effetto riducente dei raccordi curvi sulla resistenza di una sezione va chiarito il giusto criterio da seguire poiché, a mio avviso, considerare una sezione nominale di dimensioni globali ridotte **pur di trasformare la curva di raccordo in uno spigolo vivo** è eccessivamente punitivo ai fini della verifica di resistenza e stabilità del profilo specie per raggi di raccordo prossimi a 5.t

A completamento del confronto si riporta di seguito la verifica di stabilità dell'elemento di lunghezza 2 m eseguita sia col calcolo teorico riferito ad una sezione di dimensioni globali ridotte, sia col calcolo automatico riferito ad una sezione di dimensioni globali originarie ma con spigoli vivi ovvero senza considerare la presenza dei raccordi curvi.

Il calcolo analitico, eseguito dall'autore dell'esempio, è di seguito riportato :

### Valutazione della capacità portante $M_{b,Rd}$

Essendo il profilo inflesso, la capacità portante potrebbe essere condizionata dal fenomeno dell'instabilità laterale.

Il momento critico per instabilità laterale di una sezione inflessa, calcolato in accordo a quanto presentato al par. 5.4.1.4 (eq. 5.69) ed assumendo il coefficiente  $C_1$ , legato alla distribuzione di momento flettente, unitario ( $C_1 = 1,0$ ), in quanto il momento flettente è costante su tutta la trave, si ha:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}} = C_1 \frac{\pi EI_z}{L_{cr}} \cdot \sqrt{\frac{GI_t}{EI_z}} = 95,49 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,eff} \cdot f_{yb}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{16618 \cdot 235}{95,49 \cdot 10^6}} = 0,202$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (0,202 - 0,2) + 0,202^2 \right] = 0,521$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_L^2}} = \frac{1}{0,521 + \sqrt{0,521^2 - 0,202^2}} = 0,999$$

Essendo  $\chi_{LT} < 1$  la capacità portante flessionale è data:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_{yb} / \gamma_{M1} = 0,999 \cdot 16618 \cdot 235 / 1,05 = 3,71 \text{ kNm}$$

Dal calcolo si evince che il momento resistente ultimo per l'instabilità coincide (a meno del fattore 0,999) con il momento resistente ultimo della sezione flessa (372 kNcm)

Il calcolo eseguito col programma automatico "CARGEO plus" da me realizzato fornisce risultati confrontabili col calcolo teorico tenendo conto della geometria della sezione originaria non ridotta per la presenza dei raccordi curvi.

VERIFICA DI STABILITA' PER EFFETTO COMBINATO MOMENTO - FORZA ASSIALE					
Distanza effettiva tra i vincoli torsionali :	L =	200	cm	↳	vincolo parziale
Lunghezza libera nel piano principale :	L <sub>y</sub> =	200	cm		
Momenti principali di estremità [+;-]	M <sub>1y</sub> =	372		M <sub>2y</sub> =	372
Momenti laterali di estremità (+;-)	M <sub>1z</sub> =			M <sub>2z</sub> =	
(1) Mom. per carichi trasv. nel piano principale	M <sub>Oy</sub>   =			ΔM <sub>y</sub> =	372
(1) Mom. per carichi trasv. nel piano laterale	M <sub>Oz</sub>   =			ΔM <sub>z</sub> =	0
Diagramma del momento flettente (*) :	(l,p,t,q) <sub>y</sub> =	I		(l,p,t,q) <sub>z</sub> =	I
Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1)	k =	1		rotazione z-z libera delle estremità	
Fattore di lunghezza effettiva kw (0,5-0,7-1)	k <sub>w</sub> =	1		distorsione libera delle estremità	
Fattore di distribuzione momenti estremi :	ψ <sub>y</sub> =	1,00		ψ <sub>z</sub> =	0,00
Max. spostamento dell'elemento :	δx <sub>y</sub>   =			δx <sub>z</sub>   =	
				M <sub>Z,Ed max</sub> =	0
nota (1) : momento calcolato per trave semplicemente appoggiata					
Coeff. di forma (*) :	C1 =	1		C2 =	0,00
				C3 =	1
(*) Fatt. di mom. unif. equival. nel piano princip.	β <sub>M<sub>y</sub></sub> =	1,100		diagramma lineare	
(*) Fatt. di mom. unif. equival. nel piano princip.	β <sub>M<sub>z</sub></sub> =	0,000		diagramma lineare	
β <sub>w</sub> = W <sub>calc</sub> /W <sub>pl,y</sub>	β <sub>w</sub> =	0,59		per sez. di classe 4	
z <sub>j</sub> = z <sub>s</sub> - 0,5 · ∫ <sub>A</sub> (y <sup>2</sup> +z <sup>2</sup> ) · z dA / J <sub>y</sub>	z <sub>j</sub> =	0,00	cm	β <sub>f</sub> =	0,5
I <sub>w</sub> = costante di distorsione :	I <sub>w</sub> =	0	cm <sup>6</sup>	per sezione chiusa	
z <sub>g</sub> = punto di applicazione del carico			baricentro		
<b>Momento critico elastico :</b>	<b>M<sub>cr</sub> =</b>	<b>9948</b>		kNcm	EN 1993-1-1
	M <sub>cr,0</sub> =	9947,56725			
Lunghezza libera nel piano laterale :	L <sub>z</sub> =	200	cm	EC3	
Snellezze effettive per presso-flessione :	λ <sub>y</sub> =	29		λ <sub>z</sub> =	84
Snellezze adimensionali corrispondenti :	λ̄ <sub>y</sub> =	0,281		λ̄ <sub>z</sub> =	0,816
Snellezza per l'instabilità flessio-torsionale :	λ <sub>LT</sub> =	25		λ <sub>0</sub> =	25,189
Snellezze adimensionali corrispondenti :	λ̄ <sub>LT</sub> =	0,206		λ̄ <sub>LT,0</sub> =	0,2
Rapporto altezza / larghezza sezione :	h/b =	3,8846154		λ̄ <sub>0</sub> =	0,206
Coeff. di imperfezione per presso-flessione :	α <sub>y</sub> =	0,21		α <sub>z</sub> =	0,76
φ = 0,5 · [1 + α · (λ̄ - 0,2)] + λ̄ <sup>2</sup>	φ <sub>y</sub> =	0,548		φ <sub>z</sub> =	1,067
Coeff. di imperfezione per flessio-torsione :	α <sub>LT</sub> =	0,76		per profilo laminato	
φ <sub>LT</sub> = 0,5 · [1 + α <sub>LT</sub> · (λ̄ <sub>LT</sub> - λ̄ <sub>LT,0</sub> )] + β · λ̄ <sub>LT</sub> <sup>2</sup>	φ <sub>LT</sub> =	0,524		β =	1
Coeff. di riduzione per presso-flessione :	χ <sub>y</sub> =	0,982		χ <sub>z</sub> =	0,570
Coeff. di riduzione per flessio-torsione :	χ <sub>LT</sub> =	0,995		χ <sub>min</sub> =	0,570
μ <sub>y</sub> =	-0,506	k <sub>y</sub> =	1,000	k <sub>yy</sub> =	1,000
μ <sub>z</sub> =	-3,262	k <sub>z</sub> =	1,000	k <sub>zy</sub> =	1,000
μ <sub>LT</sub> =	-0,015	k <sub>LT</sub> =	1,000	k <sub>zz</sub> =	0,600
				k <sub>zy</sub> =	1,000
				k <sub>zz</sub> =	0,600
				VERIFICA SECONDO EN 1993-1-1 - METODO 2	
fattore di correzione per distribuzione del momento tra i vincoli					
f = 1 - 0,5 · (1 - k <sub>c</sub> ) · [1 - 2,0 · (λ̄ <sub>LT</sub> - 0,8) <sup>2</sup> ]	f =	1,000		γ <sub>M1</sub> =	1
k <sub>c</sub> = 1,000	χ <sub>LT,mod</sub> = χ <sub>LT</sub> / f =	0,995		f <sub>d</sub> = f <sub>y</sub> / γ <sub>M1</sub> =	23,50
					kN/cm <sup>2</sup>
VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE					
ENV 1993	[N <sub>Ed</sub> / (χ <sub>min</sub> · A) + k <sub>y</sub> · (M <sub>y,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Ny</sub> ) / W <sub>y</sub> + k <sub>z</sub> · (M <sub>z,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Nz</sub> ) / W <sub>z</sub> ] / f <sub>d</sub> =				
EN 1993-1-1	[N <sub>Ed</sub> / (χ <sub>y</sub> · A) + k <sub>yy</sub> · (M <sub>y,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Ny</sub> ) / (χ <sub>LT</sub> · W <sub>y</sub> ) + k <sub>zy</sub> · (M <sub>z,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Nz</sub> ) / W <sub>z</sub> ] / f <sub>d</sub> =	0,882			< 1
VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSO-TORSIONE					
ENV 1993	[N <sub>Ed</sub> / (χ <sub>z</sub> · A) + k <sub>LT</sub> · (M <sub>y,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Ny</sub> ) / (χ <sub>LT</sub> · W <sub>y</sub> ) + k <sub>z</sub> · (M <sub>z,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Nz</sub> ) / W <sub>z</sub> ] / f <sub>d</sub> =				
EN 1993-1-1	[N <sub>Ed</sub> / (χ <sub>z</sub> · A) + k <sub>zy</sub> · (M <sub>y,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Ny</sub> ) / (χ <sub>LT</sub> · W <sub>y</sub> ) + k <sub>zz</sub> · (M <sub>z,Ed</sub> + N <sub>Ed</sub> · e <sub>Nz</sub> ) / W <sub>z</sub> ] / f <sub>d</sub> =	0,882			< 1

Si noti il valore del momento critico che per il calcolo manuale vale  $M_{cr} = 9549$  kNcm mentre per il calcolo automatico  $M_{cr} = 9948$  kNcm assolutamente confrontabili considerando la diversa geometria globale .

Anche nella verifica di stabilità si evidenzia una maggior riserva di resistenza valutabile intorno al 13%.

## Conclusioni :

L'esempio di calcolo qui presentato si riferisce ad un caso semplice di sola flessione che può essere eseguito manualmente tenendo conto dell'effettiva geometria della sezione (parti piane e parti curve) ma casi di sezioni complesse in condizioni di presso-flessione bi-assiale richiedono necessariamente un calcolo automatico nel quale la descrizione della sezione non può che avvenire per coordinate nodali considerando gli elementi piani che la costituiscono convergenti nei nodi in spigoli vivi trascurando quindi i raccordi curvi .

Per sezioni sottili la norma consente di calcolare le caratteristiche della sezione efficace con riferimento ad una sezione a spigoli vivi *in cui le larghezze nozionali degli elementi piani siano riferite ai punti di intersezione delle loro linee medie*"

Alle caratteristiche geometriche efficaci così calcolate può essere applicato un fattore di riduzione per tener conto dei raccordi curvi.

Si è dimostrato con un esempio quanto tale riduzione sia trascurabile per raggi di curvatura  $r < 5.t$  ritenendo valido il calcolo della sezione costituita da elementi piani convergenti nei vertici delle loro linee medie.

Creare una sezione nominale in cui gli elementi piani convergano nel punto medio della curvatura significa esaminare una sezione di dimensioni ridotte con penalizzazione eccessiva della sua resistenza.

Se l'istinto ci porta a comprendere che uno spigolo vivo offre maggior resistenza di un raccordo curvo (ma ripeto, dipende dal grado di incrudimento del materiale nella zona della piega) ci si può tutelare con un coefficiente di sicurezza del materiale anche maggiore del valore normativo (p.e.  $\gamma_{M0} = 1,05$  per NTC 2008 può diventare 1,1 o più). Questo approccio (agire sul coefficiente di sicurezza anziché sulla geometria della sezione) semplificherebbe non poco la vita a noi semplici progettisti e utenti di "norme sempre più complesse".

D. Leone