



Eurocodici vs. AISC. Normative a confronto

2 – La classificazione delle sezioni

Claudio Bernuzzi, Benedetto Cordova

A: Maestro, parliamo oggi della classificazione delle sezioni?

M: Volentieri.

L'Eurocodice 3, le NTC2008 e anche le AISC 360-10 classificano le sezioni trasversali dei profilati in funzione della snellezza delle parti che le compongono: flange ed anime, della classe dell'acciaio e dello stato di sollecitazione agente.

A: Perché? Nelle vecchie CNR UNI 100011 tale classificazione non c'era, peraltro.

M: Come in tutti i settori, lo stato della conoscenza evolve!

I metodi di verifica agli stati limite impongono di verificare la possibilità di formazione di cerniere plastiche, con capacità di rotazione più o meno grande, o più in generale di verificare la plasticizzazione di flange ed anime in compressione, flessione o pressoflessione, senza che sopravvengano fenomeni di instabilità locale a limitare tale capacità di plasticizzazione. Questa classificazione era assente nelle 10011, come giustamente dici, perché con le Tensioni Ammissibili (TA) non si indagava il comportamento della sezione in campo plastico, come abbiamo detto la volta scorsa. E comunque questa classificazione era stata adottata da altre normative alle TA coeve, come le AISC ASD 90.

A: Come vengono classificate le sezioni secondo l'EC3 e le NTC2008?

M: Le sezioni vengono distinte in 4 classi che rispondono alle seguenti caratteristiche:

Classe 1: sezioni in grado di generare una cerniera plastica con grande capacità di rotazione;

Classe 2: sezioni in grado di generare una cerniera plastica con limitate capacità di rotazione;

Classe 3: sezioni nelle quali flange ed anime arrivano a snervarsi, ma i fenomeni di instabilità locale si innescano praticamente subito dopo lo snervamento, cosicché non è possibile generare una cerniera plastica;

Classe 4: sezioni nelle quali si hanno fenomeni di instabilità locale già in fase elastica, prima del raggiungimento dello snervamento in qualsiasi punto della sezione stessa.

Questa classificazione varia se la sezione è in compressione, in flessione o in pressoflessione.

A: E come le classificano le AISC 360-10?

M: Le AISC distinguono tra sezioni compresse e inflesse.

Le compresse sono classificate come *non-slender* oppure *slender*.

Le inflesse sono classificate come *compact*, *non-compact* oppure *slender*.

A: Quindi le AISC non classificano le sezioni in pressoflessione?

M: No, e questa è una differenza tra mondo europeo e mondo americano. La classifica AISC è molto più semplice.

A: Si può fare una equivalenza tra classificazione europea e americana?

M: Si può dire che, genericamente, le sezioni *compact* corrispondono alle europee in classe 1 e 2; le *non-compact* a quelle in classe 3, le *slender* a quelle in classe 4. Ma la coincidenza non è perfetta, quello che ti ho detto è indicativo.

A: Sarebbe corretto affermare che le CNR UNI 10011 avevano come campo di applicazione le sezioni in classe 1, 2 e 3? In fondo si occupavano solo di acciai laminati a caldo....

M: Certamente no! Esistono profili laminati a caldo che sono in classe 4. Ad esempio il profilo IPE 600 compresso è sempre in classe 4!

A: Ma quando farò mai una colonna con una IPE 600?

M: Forse una colonna isolata no, ma magari una colonna tralicciata o calastrellata che ha come correnti delle IPE 600, quella sì!

A: Come si esegue in pratica la classificazione delle sezioni?

M: In entrambe le normative, valutando il rapporto lunghezza/spessore delle sue parti costituenti: flange ed anime. Una flangia, che è vincolata ad un estremo (ad un'anima, in genere) ed è libera all'altro estremo, è più esposta all'instabilità locale di un'anima che è irrigidita ad entrambi gli estremi. Tutto ciò, per quanto riguarda il mondo europeo, si trova espresso numericamente nella tabella 5.2 dell'EC3 e nella 4.2.I-III delle NTC2008 (che sono identiche). Se guardi le tabelle, ti accorgi che l'appartenenza o meno ad una classe è governata da disequaglianze del tipo:

$$\frac{c}{t} \leq n \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y \left[\text{N/mm}^2 \right]}}$$

Dove c è la parte di flangia che si estende dall'estremo libero all'incastro nell'anima (al netto dei raccordi o delle saldature), oppure, per le anime, la distanza tra una flangia e l'altra sempre al netto di raccordi o saldature; t è lo spessore, n è un numero che varia con la classe alla quale la disequaglianza si applica, ed

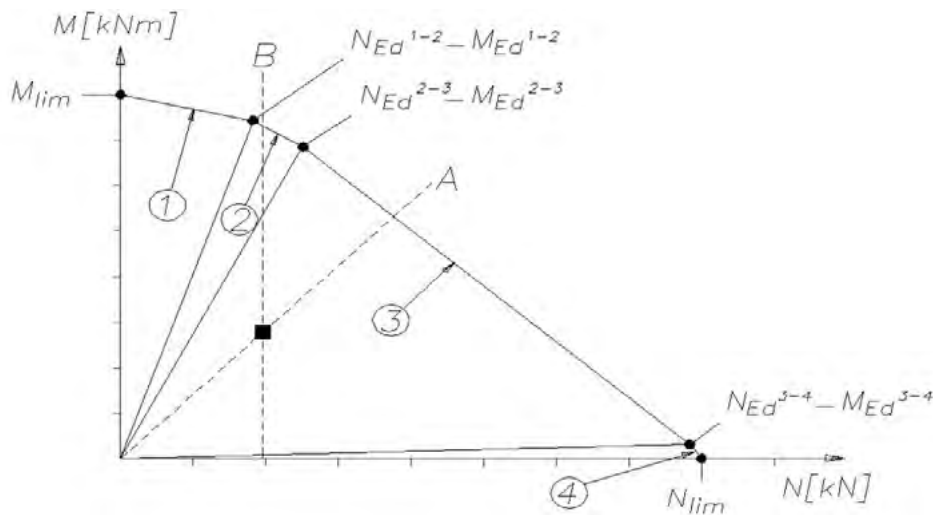


Fig. 1 - Dominio di classificazione delle sezioni

ε tiene conto del materiale.

Con le AISC 360-10 invece la relazione da rispettare è la seguente:

$$\frac{b}{t} \leq m \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

che è simile a quella europea, ma con la piccola differenza che qui b è pari a metà flangia, oppure alla distanza tra le flange se si tratta di anime, E è il modulo elastico, F_y la tensione di snervamento ed m un coefficiente numerico variabile.

Poi, per le norme europee, la classificazione varia se l'elemento, flangia o anima, è compresso, inflesso o pressoinflesso. E se è pressoinflesso, la sua classificazione dipende anche dalla posizione dell'asse neutro. Per le AISC invece l'elemento (flangia o anima) viene classificato diversamente se appartiene ad una sezione compressa o inflessa.

Infine, la classe di un profilo sarà la peggiore (cioè, se parliamo di Eurocodice 3, quella espressa dal numero più grande) delle classi degli elementi che la compongono. Perciò, ad esempio, se abbiamo un profilo ad H con l'ala in classe 2 e l'anima in classe 3, la sua classe sarà la 3.

A: Se uso i criteri delle AISC, mi pare che la classificazione sia semplice. Ma se uso quelli dell'EC3 ed ho una sezione pressoinflessa, allora la classificazione mi pare che dipenda anche dallo stato

di sforzo della sezione...

M: Bravo, hai colto nel segno. Con l'EC3 è tutto molto più complicato.

Immagina, per esempio, di avere una sezione ad H che, se semplicemente compressa, è classificata in classe 4, perchè le sue ali compresse risultano in classe 1 e la sua anima completamente compressa va in classe 4 (in genere le anime sono più snelle delle ali di una trave). Se invece la tua sezione ad H fosse semplicemente inflessa, una delle ali sarebbe compressa comunque, e quindi comunque in classe 1, mentre l'anima semplicemente inflessa si troverebbe in una situazione migliore di quella precedente di compressione uniforme e, poniamo, risulta in classe 1 anch'essa. È intuitivo che, se facciamo crescere la compressione, l'asse neutro si sposta, l'anima risulta sempre più compressa, e la sua classificazione finisce per passare dalla classe 1 alla 2, poi alla 3 e poi alla 4, e così l'intera sezione. Si può allora costruire un dominio limite come quello che ti mostro in figura 1.

Come vedi, per sezione soggetta solo ad N_{lim} siamo in classe 4, per sezione soggetta solo a M_{lim} in classe 1, e per coppie (N, M) diverse siamo nelle classi intermedie. Questo sul limite. Ma se io ho una coppia (N, M) all'interno del limite, come quella rappresentata dal quadratino nero in figura, mi sai dire che classificazione devo usare?

A: Se tengo ferma la N e faccio crescere la M, muovendomi secondo la linea B, allora interseco il dominio nel tratto della classe 2. Ma se facessi crescere N ed M proporzionalmente, muovendomi lungo la linea A, allora mi ritroverei in classe 3...

M: Bravissimo. E quale dei due metodi è corretto secondo te?

A: Non lo so Maestro. Lo dica lei.

M: Ah non lo so neanche io! E non lo sa probabilmente neanche chi ha scritto l'Eurocodice 3, tant'è che la norma non specifica nulla a riguardo. In alcuni documenti (non normativi ma esplicativi) si trova descritto e quindi consigliato il primo metodo, perché è fondamentalmente più semplice: possiamo, per ogni sezione, stabilire a priori per quale valore di N la sezione rimane in classe 1, 2, 3 oppure 4. Così basta controllare la nostra N per classificare la sezione. Ma il metodo 2 è altrettanto legittimo. Qualcuno addirittura si è domandato cosa occorrerebbe fare, per essere coerenti, se la sezione è soggetta a flessione deviata... ed ha anche trovato una risposta, necessariamente molto complicata.

A: Allora meglio il metodo AISC? Sarà più semplificato e quindi meno preciso, ma almeno è più semplice da applicare e non mi costringe a cambiare classificazione a seconda dello stato di sollecitazione!

M: Non posso che darti ragione. Eh, lo spirito pragmatico degli anglosassoni...

A: E se la sezione è in classe 4?

M: In questo caso gli elementi che compongono la sezione vanno incontro a fenomeni di instabilità locale per valori delle tensioni inferiori allo snervamento. Quindi queste sezioni avranno una N limite e/o una M limite inferiori ai valori raggiunti con sezione interamente plasticizzata, N_{pl} e M_{pl} .

A: Come se ne tiene conto?

M: Con l'EC3, si considera che parte della sezione si sottrae alle azioni, cioè si elimina parte della sezione e si calcolano un'area

efficace A_{eff} ed un modulo efficace W_{eff} inferiori a l'area lorda A ed al modulo elastico W_{el} , partendo appunto da questa geometria depurata di parte del materiale. Guarda la figura 2.

Rappresenta una sezione ad H, soggetta a compressione semplice, che ha sia ali che anima in classe 4. Le parti bianche sono quelle eliminate e l'area efficace si calcola sulla parte in grigio soltanto. Come vedi, l'estensione delle parti eliminate è in funzione di due parametri, ρ_f per le flange e ρ_w per l'anima.

A: Come si calcolano i due parametri, ρ_f e ρ_w ?

M: Le formule le trovi sull'Eurocodice 3 parte 1-5, oppure sulla Circolare che accompagna le NTC2008, oppure su vari libri che parlano di costruzioni in acciaio. Ma io qui non voglio darti formule, ma solo concetti. Considera dunque che, in questo caso di compressione semplice, i due parametri dipendono solo da parametri geometrici della sezione. Questo cosa vuol dire?

A: Che posso calcolarli a priori per ciascuna sezione e calcolare a priori A_{eff} .

M: Bravissimo. Infatti su alcuni testi trovi i valori di A_{eff} tabellati, e non ti serve altro. Considera adesso una sezione semplicemente inflessa come quella che ti mostro in figura 3.

L'ala compressa supponiamo non sia in classe 4, quindi non si parzializza. L'anima invece risulta in classe 4 in flessione e si parzializza. La parte eliminata si trova in zona compressa, come intuitivo. Sia l'estensione che la posizione della parte di sezione eliminata dipende dal parametro ρ_w che, in questo caso di sforzo non costante, dipende anche dalla forma del diagramma degli sforzi. Tienilo bene a mente, perché questa dipendenza ci creerà delle complicazioni di calcolo.

A: Come mai?

M: Ti spiego subito. Dunque, calcoliamo per cominciare ρ_w considerando che il diagramma degli sforzi dell'anima è "a farfalla" con valori uguali agli estremi. Noto

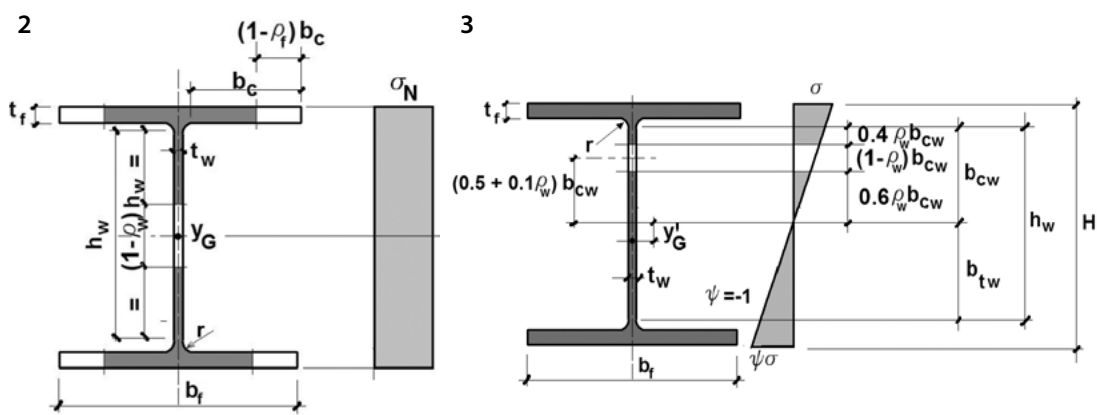


Figura 2 - Sezione a doppia simmetria compressa in classe 4. Figura 3 - Sezione a doppia simmetria inflessa in classe 4

ρ_w , ci calcoliamo estensione e posizione della parte di anima eliminata. E quindi possiamo calcolarci la nuova posizione del baricentro, spostato di y'_G in figura W_{eff}

A: E così abbiamo finito.

M: No che non abbiamo finito. Perché, se baricentro e asse neutro sono cambiati, è quindi cambiata anche la distribuzione degli sforzi che sull'anima è sempre a farfalla ma con valori adesso diversi agli estremi. E, non scordarlo, ρ_w dipende anche dalla forma del diagramma degli sforzi.

A: E quindi devo ricalcolare ρ_w ?

M: Certamente. Questo è espressamente richiesto dall'Eurocodice che dice che il calcolo è iterativo. Ricalcoli ρ_w , quindi ricalcoli la nuova posizione del baricentro, e quindi W_{eff} . E così via finché il metodo non converge.

A: Ci vogliono molte iterazioni? E cambiano molto i risultati con le iterazioni?

M: Non saprei darti una risposta generale a questa domanda, ma proviamo a fare 2 esempi di sezioni piuttosto alte e inflesse, una con la sola anima in classe 4 e l'altra con anche l'ala, e vediamo di quanto cambia il W_{eff} fermanoci alla prima iterazione.

1) Profilo composto saldato: 2 piatti 400×30 (ali, classe 1) + 1 piatto 1000×8 (anima, classe 4), acciaio S355:

$$W_{el} = 13271 \text{ cm}^3; W_{eff,0} = 12973 \text{ cm}^3 (-2,2\%); W_{eff,it} = 12939 \text{ cm}^3 (-0,3\%).$$

2) Profilo composto saldato: 2 piatti 500×12 (ali, classe 4) + 1 piatto 1000×8 (anima, classe 4), acciaio S355: $W_{el} = 7303$

$$\text{cm}^3; W_{eff,0} = 5001 \text{ cm}^3 (-31,5\%); W_{eff,it} = 4869 \text{ cm}^3 (-2,6\%).$$

W_{el} è il modulo di resistenza attorno all'asse y-y della sezione interamente reagente; $W_{eff,0}$ è il modulo efficace ottenuto fermanoci alla prima iterazione; $W_{eff,it}$ è infine il modulo efficace ottenuto iterando il procedimento sino a convergenza. Le percentuali tra parentesi sono le diminuzioni dei valori di ciascun W rispetto al valore precedente. Si nota in entrambi i casi come, passando dal modulo elastico a quello efficace ottenuto con una sola iterazione, c'è, specie se anche l'ala è in classe 4, una notevole diminuzione percentuale.

L'ulteriore diminuzione del valore eseguendo il processo iterativo appare abbastanza modesta e, almeno in questi casi, trascurabile ai fini pratici. Ma se vuoi rispettare la norma, le iterazioni devi farle comunque.

A: E l'AISC cosa prescrive?

M: Con l'AISC le regole sono formalmente diverse, ma la sostanza è la stessa: si diminuisce la resistenza in compressione e in flessione. E non sono prescritti procedimenti iterativi.

Per entrare più nello specifico, nel caso della compressione l'AISC 360-10 non calcola una A_{eff} ma modifica la tensione di snervamento F_y da usare nelle varie formule che danno la portata, moltiplicandola per un fattore di riduzione Q .

Q è dato da:

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

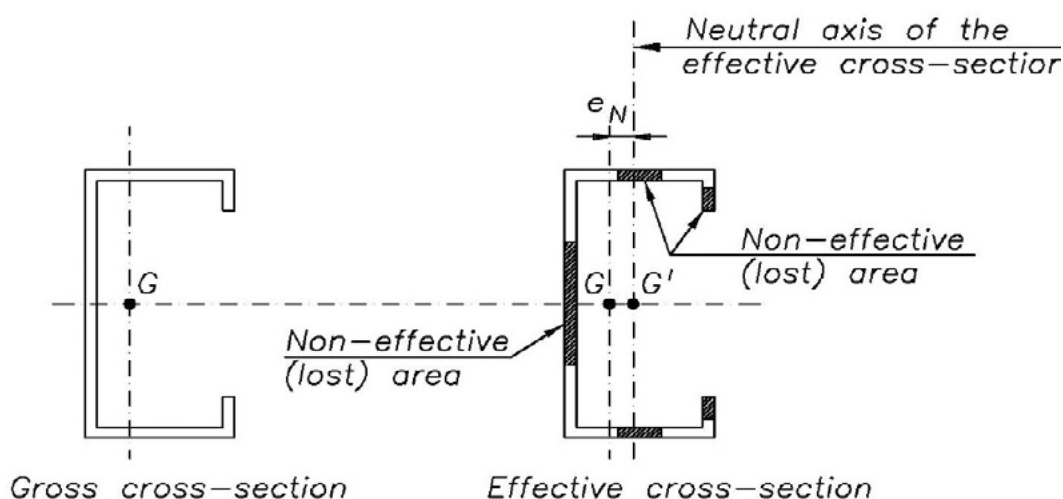


Fig. 4 - Sezione monosimmetrica compressa in classe 4

Q_s è la riduzione dovuta agli elementi non irrigiditi (le flange, in genere), mentre Q_a è il fattore che tiene conto degli elementi irrigiditi (le anime).

Q_s è una funzione del rapporto b/t , di F_y e di E , e non dipende dallo stato di sforzo.

$Q_a = A_e / A_g$, cioè è il rapporto tra l'area efficace A_e e l'area lorda A_g . L'area efficace a sua volta dipende, come nel mondo degli eurocodici, dalla larghezza efficace dell'elemento irrigidito b_e , a sua volta funzione di b/t , E e F_{cr} , la tensione critica, calcolata con $Q = 1$. Quest'ultima scelta esclude qualsiasi necessità di iterazioni.

Solo trattando di sezioni cave rettangolari, la larghezza efficace b_e delle pareti è definita anche in funzione di una tensione $f = P_n / A_e$, rapporto tra carico applicato e area efficace. Ciò condurrebbe ad un procedimento iterativo che la stessa norma invita a non impiegare sostituendo, a favore di

sicurezza, f con F_y .

Per quanto riguarda la resistenza a flessione, la norma non calcola un W_{eff} ma fornisce tante formule diverse per M_n , resistenza nominale a flessione, in funzione del tipo di profilo, del piano di flessione, della presenza o meno di fenomeni di instabilità flessotorsionale ed anche in funzione della possibilità di instabilità locale, ma sempre senza dipendenza dallo stato di sforzo, e quindi senza necessità di iterazioni.

A: E se il profilo ha un solo asse di simmetria?

M: La procedura è sostanzialmente simile, ma formalmente più complicata. Se l'elemento è compresso ma in classe 4, come vedi nella figura 4, il baricentro della sezione lorda può non coincidere con quello della sezione efficace, e quindi nascono flessioni parassite.

Caso	$\frac{c}{t} \leq n \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}}$
AISC 360-10 - Elementi compressi <i>Non-slender</i>	$\leq 0,56$
AISC 360-10 - Elementi inflessi <i>Compact</i>	$\leq 0,38$
AISC 341-10 <i>Moderately Ductile Member</i>	$\leq 0,38$
AISC 341-10 Highly Ductile Member <i>Non-slender</i>	$\leq 0,30$

Tabella 1

A: Un'ultima domanda: se calcolo una struttura dissipativa soggetta a sisma, non trovo nell'Eurocodice 8 una classificazione delle sezioni, perciò mi appoggio a quella dell'Eurocodice 3. E' lo stesso per le norme americane? Uso sempre quella delle AISC 360-10?

M: No, nel mondo AISC trovi due classificazioni delle sezioni:

- in campo statico, quella delle AISC 360-10, di cui ti ho già parlato;
- in campo sismico, quella delle AISC 341-10.

A: E sono molto diverse?

M: quella delle AISC 341-10 è più severa. Ti faccio un piccolo esempio: i limiti di snellezza b/t della flangia di un profilo ad H, secondo le due normative, sono quelli che ti riporto nella tabella 1.

Le AISC 341-10 definiscono due classi: *Moderately Ductile Member* (MDM) e *Highly Ductile Member* (HDM).

Come puoi vedere, in questo caso la classificazione per le MDM dell'AISC 341-10 coincide con quella delle *Compact* dell'AISC 360-10. Ma quella delle HDM è più severa. Parleremo in seguito di quando si usano queste due classificazioni, ma tieni a mente che, in campo sismico, la classificazione delle sezioni trasversali è in genere più severa.

A: Perché?

M: Perché, per dissipare energia durante un sisma, le sezioni devono plasticizzarsi e ruotare, prima in un senso e poi nell'altro, per un certo numero di cicli, non tanti ma comunque a sforzo elevatissimo. Le sezioni vanno quindi incontro a rischi di *fatica oligociclica* dalla quale ci si difende, tra l'altro, tenendo appunto basso il rapporto lunghezza-spessore delle parti componenti di una struttura.

A: Ma questo non c'è nell'Eurocodice 8...

M: No, e a mio avviso è un argomento che andrebbe rivisto all'interno degli Eurocodici. Ma ne riparleremo più avanti, a proposito delle strutture sismoresistenti.

A: Grazie Maestro!

BIBLIOGRAFIA

La classificazione delle sezioni secondo le normative europee ed italiane la si può trovare trattata esaustivamente al cap. 4 del volume:

C. Bernuzzi - "Progetto e Verifica delle Strutture in Acciaio secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni e l'Eurocodice 3 (UNI EN 1993)", Hoepli, 2011.

Oppure anche al capitolo 2 del volume:

B. Cordova - "Costruzioni in Acciaio - Manuale pratico per l'impiego delle Norme Tecniche per le Costruzioni e dell'Eurocodice 3 (UNI EN 1993)", Hoepli 2011.

Un confronto tra classificazione secondo Eurocodice 3 e secondo AISC 360-10 può essere trovato nel volume:

C. Bernuzzi, B. Cordova - "Structural Steel Design to Eurocode 3 and AISC Specifications", Wiley-Blackwell, 2016.

Tablelle di classificazione dei profili tipo IPE ed HE complete delle forze assiali N_{Ed} massime compatibili in pressoflessione con una certa classe, si trovano nel documento Access-Steel:

SD001a - "Data: Section classification tables for European hot rolled beam profiles (IPE and HE profiles)".

Ad elevate temperature, la normativa UNI EN 1993-1-2 impone una modifica della classificazione delle sezioni (§4.2.2). Tablelle di classificazione dei profili tipo IPE, HE, UB e UC così modificate, si trovano nel documento Access-Steel:

SD002a - "Data: Classification of sections at elevated temperature".

I documenti Access Steel citati possono essere reperiti nel sito di documentazione dello SCI, Steel Construction Institute: www.steelbiz.org

Riferimenti normativi

Normativa italiana

D.M. 14.01.2008 - "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC2008):
paragrafo 4.2.3.1

Circolare n. 617 del 02.02.2009 - "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 14.01.2008": Paragrafo C4.2.4.1.3.4.2

Eurocodici

UNI EN 1993-1-1 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici: Paragrafo 5.5

UNI EN 1993-1-5 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra: Paragrafo 4.4; Tabelle 4.1 e 4.2

Normative americane

ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings:
Paragrafo B4, Tabelle B4.1a e b.

La determinazione del fattore di riduzione Q per le aste compresse si trova al paragrafo E7.

ANSI/AISC 341-10: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings: Paragrafo D1.1.

Il giusto sostegno ai tuoi progetti



Telecomunicazioni

Agricoltura

Energia

Strutture metalliche

Costruzioni

Illuminazione

Impianti

Filettature fino a M155 metriche, whitworth, UN
Filettature a passo fine, destrorse e sinistrorse
Rullatura fino a Ø80 mm · Piegatura a freddo o a caldo
Assemblaggio in gabbie di fondazione · Tiranti con piastre
Bulloneria · Dadi a cappello · Accessori speciali
Zincatura a caldo intera, parziale, centrifugata
Pre-Montaggio bulloneria · Imballaggio a specifica
Prove e collaudi · Certificazione materiali
Consegne dirette a cantiere · Spedizioni "via mare"

Pezzi speciali su disegno del cliente
anche in piccoli lotti

Acciai strutturali S275-S355 JR-J0-J2 EN10025
Acciai bonificati al carbonio e legati laminati a caldo EN 10083
Acciai finiti a freddo EN 10277 - Acciai inox EN 10088-AISI
Acciai da cemento armato B450C D.M.14/2008

Impianto interno di zincatura a caldo
Dimensioni vasca m 4,5 x 0,7 x 1,6 (h)
Zincatura conto terzi a telaio e con centrifuga
conforme UNI EN ISO, CEI, ASTM, automotive, RAEE

Tel. +39 (0)423 722890 - Fax +39 (0)423 720905

Email: zardini@bisolzinco.it - Web: <http://zardini.bisolzinco.it>

Zardini srl - Via Sile 35 - 31033 Castelfranco Veneto (TV) - Italy