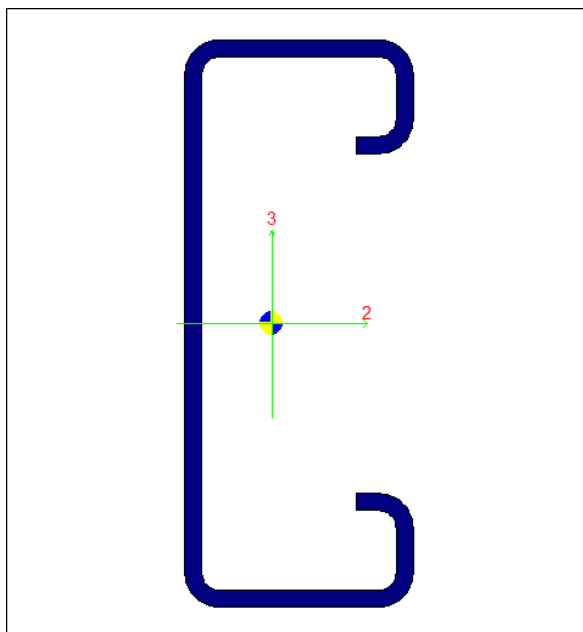


CLASS4

Guida all'uso del programma CLASS4

Versione 2.0.0



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 2011-2013 - Castalia srl

Revisione 2.0

Guida all'uso del programma CLASS4

Copyright © Settembre 2011 - 2013 Castalia s.r.l.

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questo lavoro può essere riprodotta in qualsiasi forma o mediante qualsiasi mezzo - grafico, elettronico - o meccanico inclusa la fotocopiatura, la registrazione - senza il consenso scritto del produttore. Fa eccezione l'uso interno alle loro strutture dei licenziatari del prodotto.

I prodotti a cui ci si riferisce in questo documento possono essere marchi commerciali e/o marchi commerciali registrati dei rispettivi proprietari. Il produttore e gli autori non hanno alcun diritto su questi marchi commerciali.

Sebbene ogni precauzione sia stata esercitata nella preparazione di questo documento, il produttore e gli autori non si assumono alcuna responsabilità per gli eventuali errori od omissioni, o per i danni derivanti dall'uso delle informazioni contenute in questo documento o dall'uso del programma che lo accompagna. In nessun caso il produttore e gli autori saranno perseguibili per qualsiasi perdita di profitto o ogni altro danno commerciale causato o sostenuto esser stato causato direttamente o indirettamente da questo documento

Creato: 14/03/2016 in Milano

All rights reserved. No parts of this work may be reproduced in any form or by any means - graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems - without the written permission of the publisher.

Registered user can freely copy this document for internal use only.

Products that are referred to in this document may be either trademarks and/or registered trademarks of the respective owners. The publisher and the author make no claim to these trademarks.

While every precaution has been taken in the preparation of this document, the publisher and the author assume no responsibility for errors or omissions, or for damages resulting from the use of information contained in this document or from the use of programs and source code that may accompany it. In no event shall the publisher and the author be liable for any loss of profit or any other commercial damage caused or alleged to have been caused directly or indirectly by this document.

Created: 14/03/2016 in Milan

Produttore:

Castalia srl

Autore:

Ing. Paolo Rugarli

Guida a cura di:

Ing. Paolo Rugarli

Web:

www.castaliaweb.com

Assistenza:

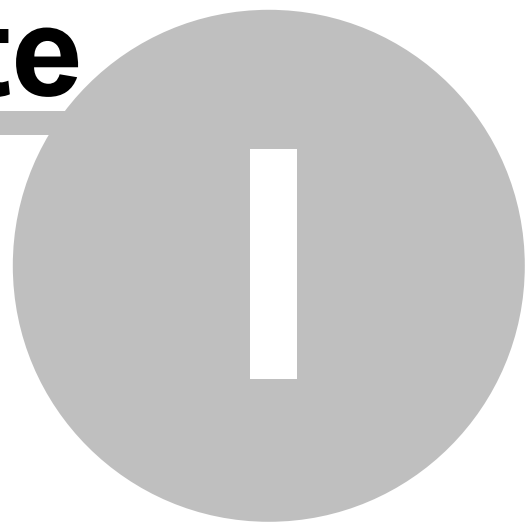
staff@castaliaweb.com

Sommario

	5
Parte I Contratto di concessione in uso	6
Parte II Installazione e registrazione di CLASS4	9
1 Installazione di CLASS4.....	10
2 Registrazione e attivazione di CLASS4.....	11
3 Trasferimento della licenza.....	14
Parte III Introduzione	16
1 Introduzione a CLASS4.....	17
2 Spiegazione di base del problema.....	19
3 Note in merito alla implementazione di EN 1993 per il calcolo delle aree efficaci.....	28
Parte IV Come...	54
1 Usare il programma.....	55
Riepilogo delle operazioni	61
2 Leggere il tabulato.....	64
3 Usare il Menu Informazioni.....	76
Parte V Dialoghi	77
1 Dialogo: archivio sezioni.....	78
2 Dialogo: sezioni laminate ad H.....	79
3 Dialogo: sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H.....	82
4 Dialogo: sezioni RHS.....	85
5 Dialogo: sezioni saldate ad H.....	88
6 Dialogo: sezioni saldate a U.....	91
7 Dialogo: sezioni saldate a T.....	93
8 Dialogo: sezioni saldate a cassone.....	96
9 Dialogo: sezioni a U (formate a freddo).....	98
10 Dialogo: sezioni a L (formate a freddo).....	101
11 Dialogo: sezioni a Z (formate a freddo).....	104
12 Dialogo: sezioni a Omega (formate a freddo).....	107
13 Dialogo: sezioni formate a freddo standard.....	109
14 Dialogo: calcolo sezioni efficaci.....	112
Parte VI Validazione	119
1 Validazione.....	120

Parte VII Riferimenti	135
Indice	137

Parte



1 Contratto di concessione in uso

Si conviene quanto segue:

Castalia s.r.l. dà in uso al Concessionario n. 1 copia del programma di elaborazione dati CLASS4 nel seguito denominato Programma.

Il Programma è composto dai supporti magnetici o ottici, dalla protezione software, dalla licenza d'uso e da tutti i materiali di supporto consegnati sotto forma di documenti elettronici in vari formati.

La concessione è regolata dalle seguenti condizioni:

- 1) Castalia srl, per accordo con gli Autori, ha e mantiene in via esclusiva i diritti di copyright sul programma, sul manuale e su tutto il materiale scritto di accompagnamento al Programma. Il Programma è tutelato dalle leggi sul diritto d'Autore e sul copyright dell'Italia, dalle disposizioni dei trattati internazionali e da tutte le leggi nazionali applicabili. Il Programma è composto da vari moduli ciascuno dei quali è e rimarrà di proprietà degli Autori e non del Concessionario.
- 2) Il Concessionario ha diritto di usare una sola copia del Programma in un solo elaboratore. Il Concessionario non potrà usare il Programma in più di un elaboratore o terminale allo stesso tempo.
- 3) Nè il Programma nè una sua copia potrà essere sub-licenziato a terzi.
- 4) Il Programma non potrà essere modificato od incorporato in altri programmi, convertito, decodificato, decompilato, disassemblato o sottoposto ad alcun processo mirante alla sua riconversione in programma sorgente.
- 5) In caso di inottemperanza alle condizioni di cui sopra, il presente contratto di concessione verrà risolto per fatto e colpa del Concessionario, il quale dovrà restituire il Programma unitamente al suo supporto materiale e a tutta la documentazione annessa, senza diritto a rimborso alcuno tutto ciò salvo il risarcimento degli ulteriori danni e le eventuali azioni penali.
- 6) Il Programma è fornito "come è". Castalia s.r.l. e gli Autori, nonostante che il Programma sia stato sottoposto ad accurati controlli, declinano ogni responsabilità nell'ipotesi che i risultati delle elaborazioni ottenuti con l'utilizzazione dello stesso risultassero affetti da errori o carenze di qualsiasi genere, intendendosi con ciò che il Concessionario è comunque tenuto al controllo

dei risultati dell'elaborazione.

7) Castalia srl garantisce che il prodotto e i supporti sui quali il software è fornito sono sostanzialmente privi di difetti significativi per un periodo di tre (3) mesi dalla data di consegna del prodotto. In caso di materiale o prodotto difettoso l'unico impegno di Castalia è quello – su sua scelta – di sostituire le parti difettose. Le parti sostituite diventeranno proprietà di Castalia srl.

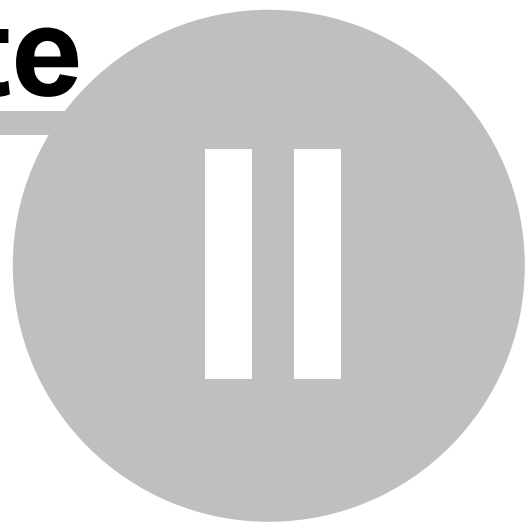
9) Richieste di sostituzioni in garanzia dovranno essere fatte entro sette giorni dalla data di osservazione del difetto, accompagnate da prove soddisfacenti e precise indicazioni.

10) Eccetto quanto qui sopra stabilito non c'è alcuna altra garanzia, affermazione o condizione riguardante il Prodotto, o i servizi o prestazioni di Castalia srl o degli Autori, esplicite e implicite, ivi inclusa (e non solo) la garanzia implicita di capacità di assolvere un determinato compito.

11) Le responsabilità di Castalia srl e degli Autori per danni al concessionario o ad ogni altra parte, per qualsiasi causa, non potrà mai eccedere il prezzo pagato per l'unità di prodotto che ha causato il danno. In nessun caso Castalia o gli Autori saranno responsabili per qualsiasi danno causato dal mancato assolvimento dei suoi obblighi da parte del Concessionario, o per qualsiasi perdita di dati, profitti, risparmi, od ogni altro danno consequenziale o incidentale, o per ogni reclamo basato su azioni di terze parti.

12) Per qualsiasi controversia il foro competente è quello di Milano.

Parte



2 Installazione e registrazione di CLASS4

2.1 Installazione di CLASS4

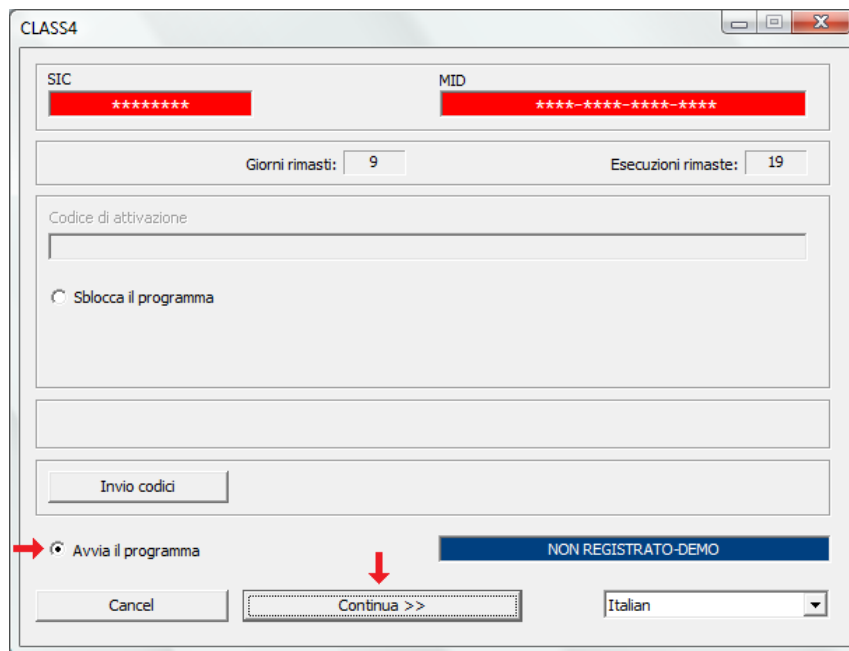
Per installare CLASS4 è sufficiente creare una cartella denominata ad esempio "c:\class4", e copiare i file estratti dal file zip iniziale. In alternativa copiare il file zip nella cartella ed estrarre i file ivi. La cartella si può anche chiamare in un altro modo o essere posizionata in un'altra cartella come sotto-cartella. Si consiglia però di tenere i file di CLASS4 disgiunti da ogni altro file, in una cartella appositamente dedicata.

CLASS4.exe può ora essere eseguito facendo doppio click sul nome del file "class4.exe". Potrà essere utile creare un collegamento dal desktop, o anche una voce di menu.

In nessun modo CLASS4 interferisce o può interferire con il sistema. Non viene modificato il registro e non sono necessari privilegi particolari per lavorare con i file del programma.

Il programma può funzionare per 10 giorni e 20 esecuzioni senza codice di attivazione. Trascorso tale periodo è indispensabile [registrare il programma](#)^[11] per poterlo far funzionare, attivandolo. Si consiglia di registrare il programma nella immediatezza dell'acquisto.

Finché il programma non è registrato è possibile eseguirlo, nei limiti chiariti, scegliendo *"Avvia il programma"* e poi *"Continua"* nella schermata di avvio.



Schermata di avvio (programma non registrato)

Si veda: [come registrare il programma](#) ¹¹.

2.2 Registrazione e attivazione di CLASS4

Una volta [installato](#) ¹⁰ il programma è possibile eseguirlo senza registrazione per 10 giorni e 20 esecuzioni. Trascorso tale periodo è indispensabile registrare il programma ed attivarlo per poterlo far funzionare. Si consiglia di registrare il programma nella immediatezza dell'acquisto.

Per registrare il programma occorre collegarsi alla seguente pagina web, che è possibile aprire automaticamente cliccando il bottone "Invio codici":

www.castaliaweb.com/ita/a/cl4/subscribe.asp

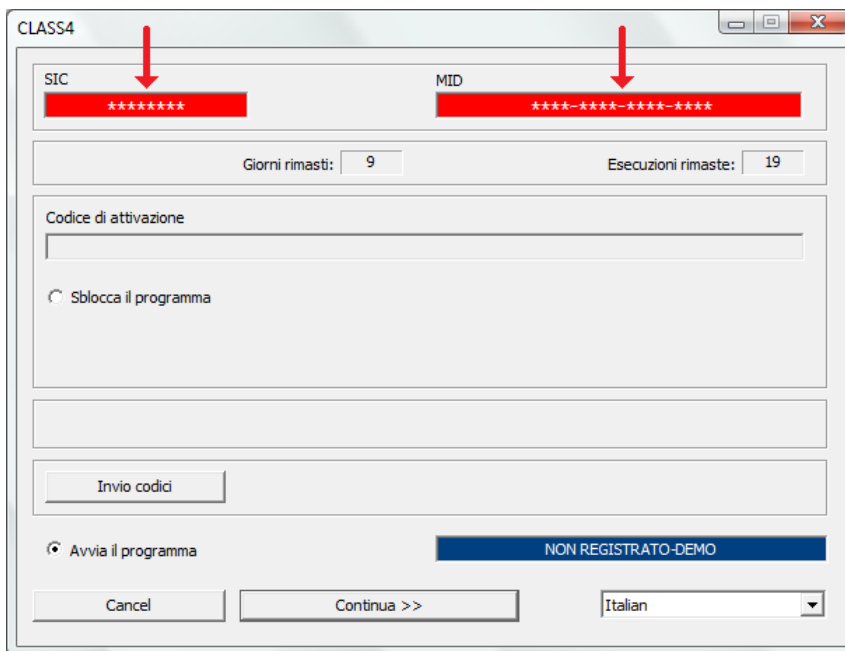
La pagina è illustrata nella figura seguente. In essa compare un form nel quale è necessario fornire una serie di dati, parte dei quali sono dati anagrafici, mentre altra parte è costituita da tre codici: SIC, MID e SN.

L'utente presta implicitamente il proprio consenso al trattamento dei dati, che verranno conservati da Castalia srl unicamente al fine di informare gli utenti di successive versioni del prodotto o di prodotti simili. I dati forniti non saranno forniti a terze parti.

head - Windows Internet Explorer
http://www.castaliaweb.com/ita/a/c4/subscribe.asp
Casella di ricerca Secure
McAfee
martedì 6 settembre 2011 - Ultimo aggiornamento: 6 settembre 2011 - staff@castaliaweb.com
CASTALIA
Prima Registrazione del Prodotto CLASS4
home
profilo
contatti
novità
prodotti
consulenza
validazione
sviluppo
assistenza
link
discussioni
pubblicazioni
download
espandi albero
Titolo
Sig.
Cognome *
Nome *
Indirizzo *
Città *
Stato * Italy
CAP*
Posta elettronica*
Conferma Posta elettronica*
Telefono*
SIC* (lo dà il programma)
MID* (lo dà il programma)
SN* (vedere etichetta bianca sulla custodia CD)
PROCEDI REIMPOSTA
SARBON
Samba
C.S.E.
CASTEL
E.Str.A.D.A.
Cesco+
Internet | Modalità protetta: attivata 100%

Pagina di registrazione

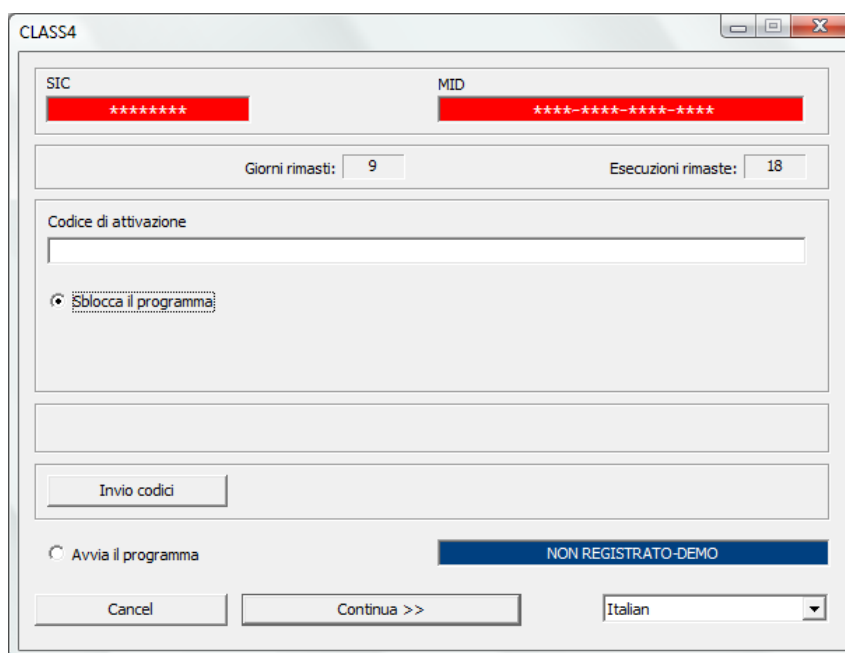
Il serial number (SN) è dato dal produttore o dal rivenditore, con l'acquisto del programma. I codici SIC e MID sono forniti dalla schermata di avvio del programma stesso: si consiglia di riportarli nel form usando copia e incolla per evitare errori: i codici devono essere riportati esattamente. Si consiglia, altresì, di conservare memorizzati in un file tali codici, per maggiore sicurezza.



Schermata di avvio (programma non registrato): codici SIC e MID

Una volta completato e inviato il form si devono attendere uno o due giorni lavorativi, poi si riceverà per e-mail, all'indirizzo indicato, il “codice di attivazione” (che anche converrà conservare memorizzato). Il codice di attivazione è necessario a registrare il programma, secondo le modalità ora chiarite.

Finché il programma non è registrato è possibile eseguirlo, nei limiti chiariti, scegliendo “*Avvia il programma*” come nella finestra precedente e poi “*Continua*”. Quando si provvede a registrarlo si deve scegliere “*Sblocca il programma*” ed inserire (sempre meglio mediante copia e incolla) il “*Codice di attivazione*” ricevuto per e-mail, poi “*Continua*”.



Schermata d'avvio (in corso di registrazione)

A questo punto il programma è registrato e potrà essere eseguito indefinitivamente sul computer prescelto.

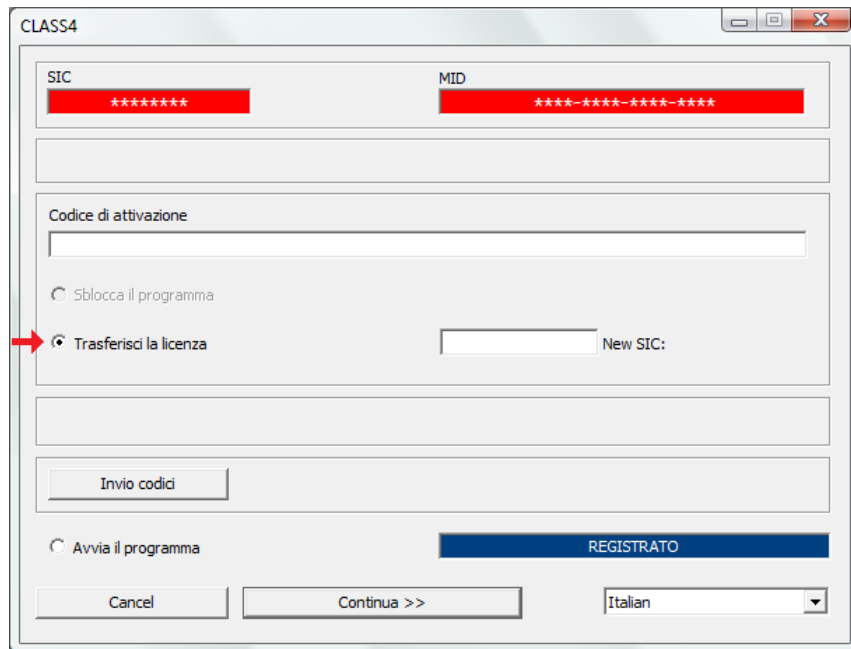
La pagina web indicata sopra serve solo per le prime attivazioni. Se per varie ragioni si ha bisogno di un nuovo codice di attivazione occorre scrivere una email a staff@castaliaweb.com specificando le ragioni della richiesta e indicando (con copia e incolla) i nuovi codici SIC e MID corrispondenti alla nuova installazione.

2.3 Trasferimento della licenza

Il programma funziona normalmente su un certo computer. Potete comunque trasferire la licenza da un computer all'altro seguendo la seguente procedura.

- 1) Il programma è installato e registrato al momento sul computer A.
- 2) Installate il programma sul computer B.
- 3) Eseguite il programma sul computer B e prendete nota dei codici SIC e MID.

4) All'avvio del programma sul computer A scegliete "Trasferisci licenza", comparirà il dialogo della figura seguente.



Schermata all'avvio (in corso di trasferimento)

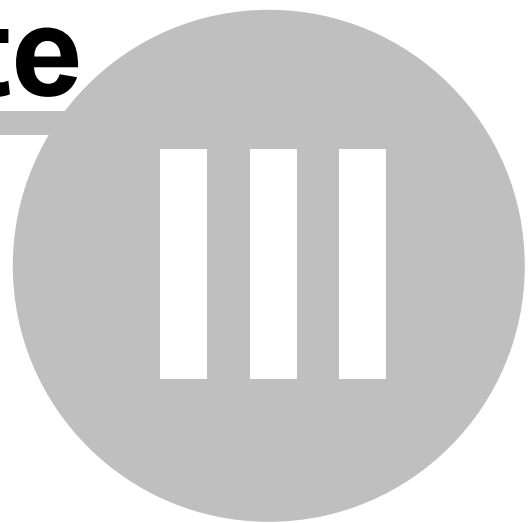
5) A questo punto inserite il codice di attivazione del computer A, quello che avete messo da parte a suo tempo, e poi inserite il codice "New SIC" (nuovo SIC), ovvero il codice SIC del computer B.

6) Premete il tasto "Continua".

7) A questo punto il programma risulta non più eseguibile sul computer A, ma riceverete a schermo il codice di attivazione per il computer B. Non avete che da inserire questo codice di attivazione sul computer B per completare lo sblocco del programma sul computer B.

8) La licenza è passata dal computer A al computer B.

Parte



3 Introduzione

3.1 Introduzione a CLASS4

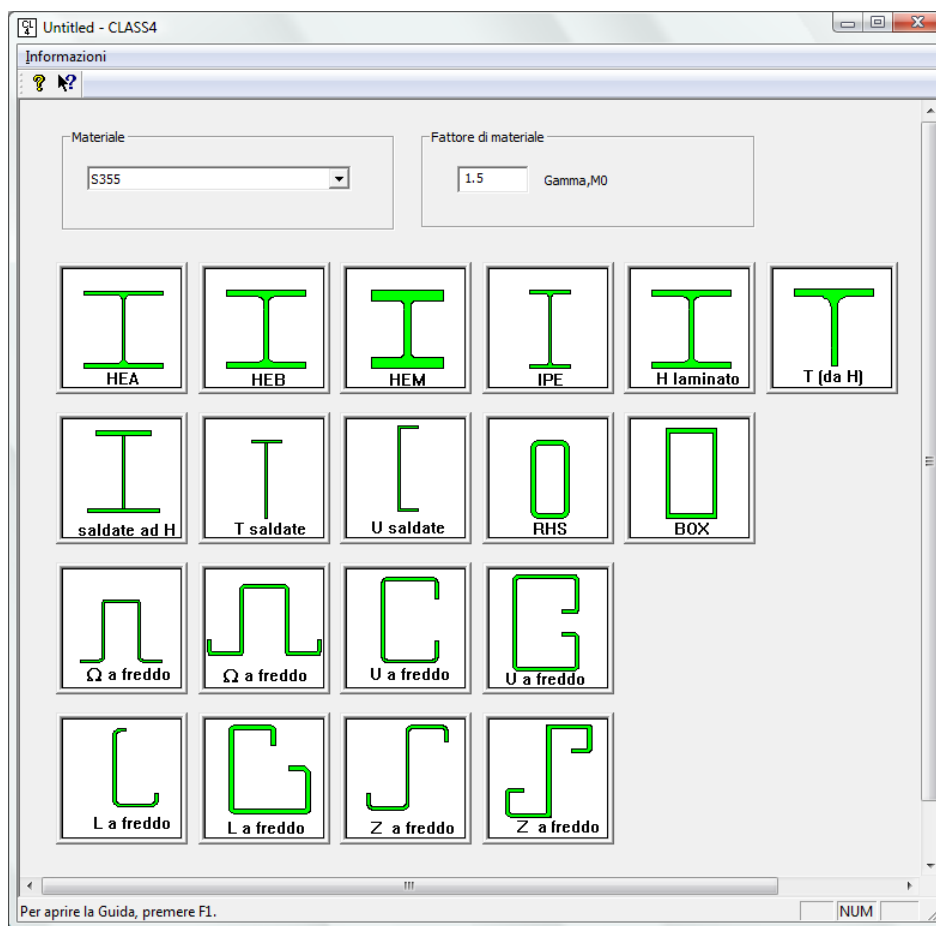
CLASS4 è un programma di agile uso, dedicato al calcolo delle caratteristiche efficaci di alcune tipologie sezionali in accordo all'Eurocodice 3 (EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5) ed in accordo alla normativa tecnica italiana vigente (NTC 2008: D.M. 14 gennaio 2008, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, C.S.LL.PP.).

Scopo del programma è calcolare le caratteristiche efficaci di una vasta gamma di profili, appartenenti a 19 diverse tipologie, chiaramente indicate sin dalla schermata iniziale (si veda la figura successiva).

Il calcolo delle caratteristiche efficaci dei profili in classe 4 è un compito computazionalmente tutt'altro che banale: in specie nell'ambito dei profili formati a freddo, ma anche nell'ambito dei profili saldati e laminati a caldo, vi è una certa ambiguità negli algoritmi sommariamente descritti dalla normativa. Sono necessari cicli iterativi, ed esiste (come si vedrà meglio più avanti) una pluralità di possibili metodi di calcolo.

Castalia srl ha fatto studi e ricerche sul problema della classificazione e del calcolo delle caratteristiche efficaci sin dal 1993, ed ha maturato una considerevole esperienza in questo campo (si vedano i [riferimenti](#) ¹³⁶ [5], [6], [7], [8], [9]).

CLASS4 mette a disposizione di un vasto pubblico, ad un costo limitato, alcuni dei risultati di questo lavoro, fornendo uno strumento utile per la progettazione di tutti i giorni.



Scopo di **CLASS4** non è la verifica di elementi strutturali, ma il calcolo delle caratteristiche geometriche e statiche di sezioni appartenenti a 19 tipologie, tra le quali le caratteristiche efficaci. Il calcolo di queste grandezze è un passo preliminare **indispensabile** per eseguire la verifica di un qualunque elemento strutturale che ricada in classe 4. Proprio tale calcolo, più che le formule di verifica a valle, rappresenta il maggior ostacolo per la applicazione delle regole di normativa, e quindi questo programma risolve, per una ampia casistica di profili, un problema molto complesso.

Questa guida è organizzata nel seguente modo:

- Una prima sezione introduttiva affronta in generale l'argomento "sezioni in classe 4" fornendo una utile spiegazione di base;

- Una seconda sezione (Come...) spiega in dettaglio come funziona il programma, peraltro molto semplice da usare.
- Una terza sezione (Dialoghi) descrive in dettaglio i Dialoghi accessibili dal programma.
- Una quarta sezione presenta dei risultati a mo' di validazione del programma.

Il calcolo delle caratteristiche efficaci è al momento un importante ostacolo che limita e rende difficoltoso il calcolo e la verifica di elementi con sezioni che ricadano in classe 4. Interi settori industriali (scaffalature formate a freddo, serre, produzione di elementi secondari come arcarecci o baraccature, ecc. ecc.) dipendono da profili formati a freddo che sono spesso in classe 4, e la difficoltà di calcolo collegata alle caratteristiche efficaci rappresenta un grande problema. La stessa comprensione della norma è ardua, dato che si presta a varie possibili interpretazioni e dato che mette in campo metodologie di calcolo molto complesse.

CLASS4 solleva il progettista da una mole considerevole di calcoli: il calcolo delle caratteristiche efficaci è laborioso, complesso e richiede varie iterazioni. Non sembri dunque riduttivo o limitato il campo di azione del programma che è dedicato appunto al calcolo delle caratteristiche efficaci. Come si vedrà meglio nel seguito, avute queste, le verifiche degli elementi (a resistenza e stabilità) diventano assai semplici, non richiedendo altro che il calcolo di alcune frazioni.

3.2 Spiegazione di base del problema

Premesso che non può essere la guida di **CLASS4** la sede ove spiegare la teoria delle sezioni efficaci o in dettaglio il problema della verifica di elementi in classe 4, di seguito si daranno alcune informazioni di base relativamente al problema, in modo da consentire a chiunque usi **CLASS4** di avere almeno le informazioni di base.

Si rimanda ai testi generali di costruzioni in acciaio per una trattazione teorica delle aree efficaci (ad esempio, [\[11\]](#)¹³⁶).

Qui verranno date informazioni generali in modo sintetico e pragmatico sulla

scia della impostazione critica (una critica costruttiva) già seguita nei nostri lavori pubblicati sull'argomento "normative acciaio" ([\[5\]](#) e [\[6\]](#)¹³⁶).

Cosa vuol dire classe 4

Le sezioni in classe 4 sono quelle in cui l'instabilità locale si manifesta prima del raggiungimento della tensione di snervamento in un punto del profilo. Quando le sezioni in classe 4 sono sottoposte ad azione assiale e/o a flessione, non tutta la sezione lorda reagisce, ma solo una sua parte detta "efficace". Per le verifiche di resistenza e di stabilità non vengono quindi utilizzate le proprietà della sezione lorda (area e moduli di resistenza lordi) ma quelli delle sezioni efficaci in base al tipo di sollecitazione in esame (area e moduli di resistenza efficaci). Il depauperamento della sezione è una complessa funzione del tipo di sollecitazione e della sua intensità.

Cosa sono i valori efficaci

I valori efficaci sono dei valori ridotti delle proprietà sezionali lorde di un profilo. Ad esempio se una sezione in classe 4 per compressione ha un'area lorda (o totale) pari a 1 e viene sottoposta a sola compressione, la sua area efficace sarà pari a un valore $A_{eff} \leq 1$ dove A_{eff} è l'area reagente a compressione, cioè l'area lorda depauperata delle zone non efficaci. L'area efficace dipende dalla risultante delle sollecitazioni applicate e a rigore esiste un numero indefinito di aree efficaci in funzione delle indefinite combinazioni di azione assiale e di momenti flettenti, considerando la presenza o l'assenza di ciascuna componente, la sua entità, il suo segno. La normativa prevede però [una semplificazione del problema](#)³³ disaccoppiando le componenti e calcolando aree efficaci distinte per la sola azione assiale, per la sola flessione attorno all'asse 2 e per la sola flessione attorno all'asse 3, considerando i segni positivo e negativo. Si ottengono quindi i differenti valori efficaci seguenti:

$A_{\text{eff},N-}$, area efficace per compressione (la trazione non comporta alcuna riduzione)

$W_{y+, \text{eff}}$ modulo di resistenza efficace (ovviamente minimo) per flessione positiva attorno all'asse y

$W_{z+, \text{eff}}$ modulo di resistenza efficace (ovviamente minimo) per flessione positiva attorno all'asse z

$W_{y-, \text{eff}}$ modulo di resistenza efficace (ovviamente minimo) per flessione negativa attorno all'asse y

$W_{z-, \text{eff}}$ modulo di resistenza efficace (ovviamente minimo) per flessione negativa attorno all'asse z

Ognuno dei valori precedenti è calcolato considerando, in generale, un'area efficace diversa: ad esempio, l'area efficace per il calcolo del modulo di resistenza $W_{y+, \text{eff}}$ non coincide con l'area efficace per il calcolo di $W_{y-, \text{eff}}$, ecc.

I valori efficaci sono utilizzati nelle formule di resistenza e stabilità previste dall'Eurocodice 3 parte 1-1 e dalle norme italiane NTC 2008.

Formule di verifica a resistenza per sezioni in classe 4

Formula 6.44 dell'EN1993-1-1:2006 per verifica di resistenza ad azione assiale e flessione per sezioni in classe 4:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{\text{eff},y,\min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{\text{eff},z,\min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

dove

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ sono le azioni interne (rispettivamente, azione assiale e momenti flettenti)

f_y è la tensione di snervamento del materiale

γ_{M0} è il fattore di sicurezza del materiale

A_{eff} è l'area efficace della sezione soggetta a compressione uniforme

$W_{eff,min}$ sono i moduli efficaci di resistenza della sezione soggetta a flessione attorno agli assi principali

e_N sono gli spostamenti della sezione efficace rispetto al baricentro della sezione lorda lungo gli assi principali della sezione.

Nelle NTC 2008 tale formula è vagamente accennata al par. 4.2.4.1.2.

Si noti che il pedice "min" è sostanzialmente superfluo. Infatti la formula di verifica *non è una formula che dia la tensione in un punto*, ma piuttosto esprime un dominio "limite" per la sezione nel suo complesso. Molto meglio sarebbe scrivere:

$$\left| \frac{N_{Ed}}{N_{lim}} \right| + \left| \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed}e_{Ny}}{M_{y,lim}} \right| + \left| \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed}e_{Nz}}{M_{z,lim}} \right| \leq 1$$

La disequazione deve essere verificata affinché il criterio di resistenza sia soddisfatto. Il primo termine si riferisce alla componente assiale, il secondo alla flessione attorno all'asse y e il terzo alla flessione attorno all'asse z. Come detto in precedenza, i valori efficaci utilizzati nei tre termini sono associati a sezioni efficaci generalmente diverse. Ciascun termine consiste nel rapporto tra una azione di progetto e il corrispondente valore di resistenza della sezione lorda associata a quell'azione (ad esempio, l'azione assiale di progetto N_{Ed} con la resistenza ad azione assiale dell'area efficace ad azione assiale, pari ad $A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}$). Nei termini che confrontano il momento flettente di progetto con la corrispondente resistenza della sezione efficace associata vengono considerati anche i momenti dati dal prodotto dell'azione assiale per il corrispondente shift del baricentro (e_{Ni}) della sezione efficace rispetto a quella lorda. La somma dei tre "coefficienti di sfruttamento" elementari legati alle tre sollecitazioni (azione assiale e due momenti flettenti) non deve superare l'unità affinché la verifica sia soddisfatta.

Si deve osservare che:

1. I tre termini sono numeri puri positivi. La norma non lo dice, ma occorre prendere il valore assoluto di ciascun addendo.
2. I modulo efficace da assumere a denominatore dipende dal segno del numeratore. Ad esempio se si ha una trazione si deve dividere per l'area lorda A , mentre se si ha una compressione si deve dividere per l'area efficace A_{eff} (che può anche coincidere con la lorda). Se si usa il simbolo A_g per indicare l'area lorda; si indica con il segno "+/-" la possibile alternativa tra caso positivo e caso negativo; si pone $e_{Ny+}=0$ ed $e_{Nz+}=0$ (ovvero in trazione non vi è alcuna differenza tra baricentro della lorda e baricentro della efficace, dato che essendo tutta la sezione in trazione, la sezione efficace coincide con la lorda); allora la formula di verifica della norma si potrebbe riscrivere in modo più pesante graficamente, ma molto più chiaro operativamente, nel modo che segue:

$$\left| \frac{N_{Ed,+/-}}{A_{g/eff} f_y / \gamma_{M0}} \right| + \left| \frac{M_{y,Ed,+/-} + N_{Ed,+/-} e_{Ny,+/-}}{W_{eff,y,min,+/-} f_y / \gamma_{M0}} \right| + \left| \frac{M_{z,Ed,+/-} + N_{Ed,+/-} e_{Nz,+/-}}{W_{eff,z,min,+/-} f_y / \gamma_{M0}} \right| \leq$$

Tale scrittura, comunque, non dice altro rispetto a quella già vista e che qui ripetiamo:

$$\left| \frac{N_{Ed}}{N_{\text{lim}}} \right| + \left| \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{y,\text{lim}}} \right| + \left| \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{M_{z,\text{lim}}} \right| \leq 1$$

Formule di verifica a stabilità per sezioni in classe 4

Formula 6.61 e 6.62 dell'EN1993-1-1:2006 per verifica di stabilità ad azione assiale e flessione per sezioni in classe 4:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

dove

$$N_{Rk} = f_y A_{eff}$$

$$M_{i,Rk} = f_y W_{eff,i}$$

$\chi_{y,z}$ sono i fattori di riduzione per instabilità flessionale

$\chi_{y,z}$ è il fattore di riduzione per svergolamento

Nell'EN1993-1-1 sono presenti due formule di verifica a stabilità distinte, ed entrambe devono essere soddisfatte. In ciascuna delle due formule sono presenti i termini relativi all'azione assiale e ai due momenti flettenti. Inoltre, rispetto alla verifica di resistenza si utilizza il γ_{M1} in luogo del γ_{M0} e sono presenti i fattori di riduzione χ_y , χ_z , e χ_{LT} relativi alle curve di instabilità (flessionali e svergolamento) e i fattori di interazione k_{ij} calcolati con uno dei due metodi previsti dall'Eurocodice (annessi A e B dell'EN1993-1-1).

Nelle NTC 2008 la situazione è simile, ma al metodo 1 di EN viene sostituito un metodo (detto A), che è una riedizione delle vecchie formule a stabilità delle CNR 10011, con la differenza che a denominatore si devono usare i moduli di resistenza efficaci.

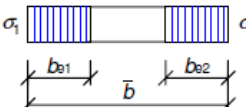
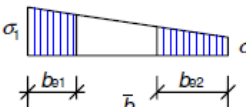
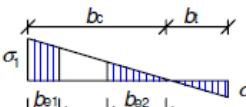
Per approfondimenti dettagliati e corredati da esempi sull'utilizzo di queste formule di verifica, e su formati semplificati delle stesse si consiglia [\[6\]](#)¹³⁶.

In che modo ottenere i valori efficaci

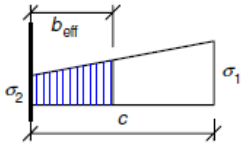
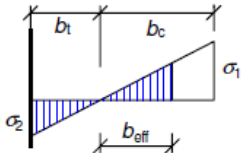
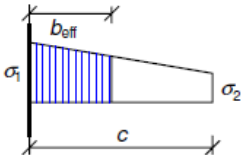
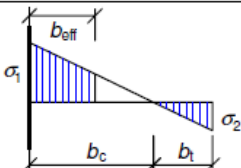
Stabilito un certo campo di tensioni normali σ variabili linearmente sulla sezione, e suddivisa la sezione in lati rettilinei o semplicemente appoggiati o doppiamente appoggiati, ciascun lato deve essere esaminato tenendo conto:

1. Dei suoi vincoli.
2. Della sua lunghezza b_p e del suo rapporto tra la lunghezza b_p e lo spessore t ;
3. Del rapporto ψ tra la tensione al secondo estremo σ_2 e la tensione al primo estremo σ_1 . Se σ_1 ed σ_2 sono entrambi di trazione il problema non si pone e il lato è interamente efficace. Se a uno dei due estremi vi è una compressione e all'altro una trazione (ψ minore di 0), allora il primo estremo (quello di σ_1) è quello in compressione. Se ad entrambi gli estremi vi è una compressione, allora σ_1 è la massima compressione (ψ compreso tra 0 e 1).
4. Della intensità di σ_1 rispetto a f_y , ovvero dal rapporto (σ_1/f_y) .

Ciò consente di stabilire quali parti del lato sono efficaci e quali no. La **sezione efficace** non è che la riunione di tutti i lati efficaci, eventualmente coincidenti con i lati originari. Il sistema è spiegato in [\[2\]](#)¹³⁶ nelle tabelle seguenti:

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

Lati doppiamente appoggiati

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

Lati vincolati solo ad un estremo

I valori efficaci e non efficaci dipendono da un fattore ρ che è determinato con

le seguenti formule.

Per lati doppiamente appoggiati:

$$\rho = 1 \quad \text{se } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1 \quad \text{se } \bar{\lambda}_p > 0,673$$

Per lati fissati a un estremo:

$$\rho = 1 \quad \text{se } \bar{\lambda}_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1 \quad \text{se } \bar{\lambda}_p > 0,748$$

dove si è assunto (b con il soprassegno è una misura della lunghezza del lato che dipende dal tipo di sezione: saldata, laminata o formata a freddo, per i formati a freddo b con il soprassegno è detto anche b_p):

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{(\bar{b}/t)}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y (\text{MPa})}}$$

Le formule precedenti valgono se $\sigma_1 = f_y$. Ove la tensione sia minore di f_y e di questo fatto si voglia tener conto, allora occorre usare una snellezza ridotta "red"

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1}{f_y}}$$

e calcolare i ρ con le seguenti formule modificate (appendice E della EN 1993-1-5):

Lati doppiamente appoggiati:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{p,red} - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_{p,red}^2} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1$$

Lati vincolati a un solo estremo:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{p,red} - 0,188}{\bar{\lambda}_{p,red}^2} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \leq 1$$

Con le formule precedenti ed uno stato di sforzo sulla sezione è possibile calcolare le parti non efficaci, la sezione efficace e i suoi moduli di resistenza. Il problema è che la sezione efficace è funzione dello stato di sforzo, e lo stato di sforzo limite è incognito. Infatti, se si assume uno stato di sforzo maggiore di quello corretto, la sezione efficace risultante sarà minore di quella corretta, e viceversa. E' dunque necessario un procedimento iterativo per trovare il limite di sollecitazione e la sezione efficace associata.

CLASS4 risolve tale problema in modo generale per 19 diverse tipologie sezionali.

3.3 Note in merito alla implementazione di EN 1993 per il calcolo delle aree efficaci

Premessa

I dettagli di implementazione degli algoritmi collegati al calcolo delle grandezze efficaci sono molto complessi, e con ogni probabilità esulano dallo scopo di questa guida. A tale riguardo, si accenna al fatto che è in programma un testo monografico su questo argomento (sul calcolo delle aree efficaci) che probabilmente farà seguito alla serie già pubblicata presso l'editore EPC sulle strutture in acciaio ([5], [6]¹³⁶).

Le informazioni che verranno date nel seguito sono soggette a copyright: possono essere utilizzate solo a patto di citare la fonte.

La esatta citazione di questo documento è la seguente:

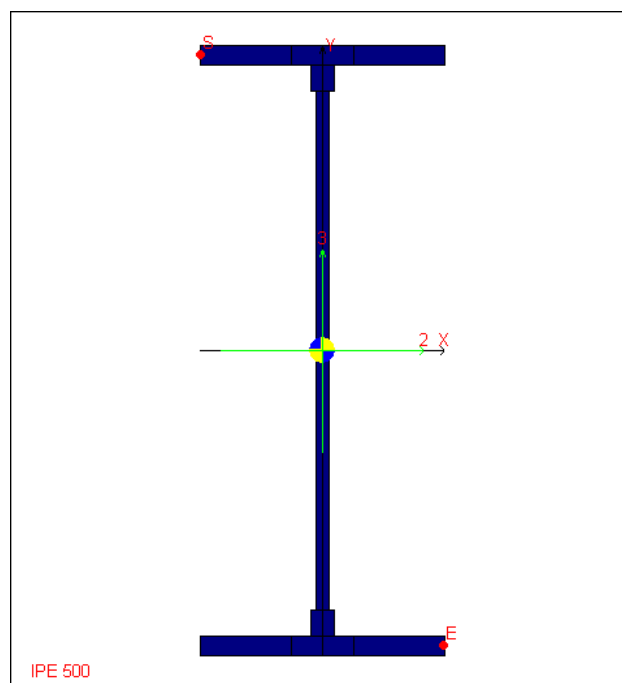
Rugarli P.
in "Guida al programma CLASS4"
"Note in merito alla implementazione di EN 1993 per il calcolo delle aree efficaci"
Castalia srl, Milano 2011.
(<http://www.castaliaweb.com/ita/p/cl4/HTML/index.html>)

E' appena il caso di dire che quanto qui sarà detto per EN 1993 (Eurocodice 3) vale anche per le norme italiane NTC 2008 ([3] e [4]¹³⁶) che pedissequamente riportano (brandelli del) le [1], [2], e [12]¹³⁶.

Il modello di calcolo di CLASS4

CLASS4 è un programma che utilizza un nucleo di calcolo generale, che non dipende dalla particolare tipologia sezionale introdotta. In effetti, **CLASS4** non è che la versione ridotta di questo algoritmo che è stato sviluppato nell'ambito del lavoro di ricerca di Castalia srl in merito ai profili formati a freddo.

Dato che l'algoritmo è generale, non possono essere sfruttate informazioni che sono tipiche di questa o quella forma sezionale: l'algoritmo è concepito per funzionare in una vasta pluralità di casi e non può fare assegnamento su ipotesi od assunzioni *ad hoc*.



IPE 500: modello di calcolo adottato da CLASS4

L'algoritmo generale lavora su un modello di sezione così concepito: la sezione è vista come un vettore di lati curvilinei (archi di cerchio) o rettilinei, i quali possono essere o a sbalzo ("outstand") o doppiamente appoggiati ("web"). Lo spessore dei lati può anche essere diverso. Dato che non si tiene conto mediante modellazione specifica dei bulbi di raccordo per i profili laminati, questi vengono modellati mediante tratti rettilinei corti, che hanno un'area pari all'area dei raccordi curvilinei. L'effetto di tale trucco computazionale è generalmente molto modesto. La corretta lunghezza dei lati b_p (sia dell'anima che delle flange) ai fini della valutazione dei rapporti larghezza spessore, è rispettata.

Il programma gestisce anche gli irrigidimenti terminali ("edge stiffener", [\[1\]](#)¹³⁶), a patto che l'utente spieghi quali lati compongono tali irrigidimenti. Vi è una certa dose di arbitrarietà su cosa considerare come "irrigidimento" e cosa no. Un aiuto è dato dal fatto che la norma [\[1\]](#) specifica dei limiti del rapporto larghezza spessore al di sopra e al di sotto dei quali i lati dell'irrigidimento sono troppo lunghi o troppo corti (e quindi l'"irrigidimento" non può agire come tale). Se si scelgono lati che non rispettano i limiti di norma (par. 5.2.(2) in [\[1\]](#)) **CLASS4** dà un messaggio di avviso. Resta tuttavia una

certa ambiguità, dato che se non si qualifica come "irrigidimento" una certa parte di sezione, l'algoritmo non verifica che questo possa portare la quota parte di carico assegnata e dunque non viene controllato il *distorsional buckling*. E' dunque compito dell'utente specificare quali lati (inclusi quelli curvi) facciano parte di un irrigidimento, *non introducendo quelli che non possono essere efficaci perchè troppo corti* (al punto 5.2(2) della [1] si dice infatti che se le pieghe sono troppo corte di esse non si deve tenere conto). Al punto 5.2(2) della [1] non si dice invece cosa si debba fare se le pieghe sono *troppo lunghe*.

Stabilita la forma sezionale di calcolo il programma procede a semplificarla ulteriormente eliminando i lati curvilinei, se presenti. Tale procedura è opzionale, ma fortemente consigliata. Se i lati curvilinei non vengono eliminati, infatti, il calcolo viene fatto facendo le seguenti ipotesi:

1. I lati curvilinei non sono sede di imbozzamento e restano sempre integralmente efficaci;
2. I lati rettilinei vengono verificati all'imbozzamento locale usando la loro lunghezza nominale b_r al fine del calcolo dei rapporti larghezza-spessore.

Se viceversa si decide di eliminare i lati curvilinei, allora questi vengono rettificati usando le regole di [\[1\]](#)^[136] (EN 1993-1-3) al par. 5.1.

In questo caso vi è una certa ambiguità di applicazione della norma, che si riscontra negli esempi disponibili in letteratura. L'argomento sarà approfondito in seguito ([Il problema del computo dei gr](#)^[39]).

Il programma assume che la sezione lorda sia assoggettata a 5 diverse sollecitazioni elementari (per le ragioni spiegate in dettaglio più avanti), ed in ognuno di questi 5 casi arriva a valutare il modulo di resistenza pertinente *della sezione efficace risultante dalla applicazione alla lorda della sollecitazione elementare*. La sezione efficace è in generale completamente diversa da quella lorda: cambia il baricentro e cambiano gli assi principali ([si veda più oltre](#)^[37]). I moduli di resistenza vengono calcolati in modo che il prodotto di questi per la tensione di progetto dia luogo alla

sollecitazione massima effettivamente applicabile sulla sezione efficace corrispondente alla sollecitazione elementare.

Il calcolo eseguito da **CLASS4** è molto complesso, di tipo iterativo e contiene numerose assunzioni che sono frutto di anni di studio e di lavoro. E' un programma ad alto valore aggiunto. Nondimeno, i risultati che si ottengono non possono essere considerati dotati di una precisione minimamente comparabile con quella di altre procedure numeriche, di altri ambiti della ingegneria strutturale. Ciò dipende dal fatto che il metodo di calcolo indicato nelle norme (si intende le [\[1\] e \[2\]](#)¹³⁶, "copiate" poi dalle norme [\[3\] e \[4\]](#)¹³⁶), è ancora molto poco preciso e soggetto (proprio a causa di questa mancanza di precisione originaria) a interpretazioni diverse e diverse applicazioni, anche all'interno del medesimo documento (si veda ad esempio [\[10\]](#)¹³⁶ che denuda involontariamente le incertezze ancora presenti nei normatori).

Tra gli autori vi sono discordanze ed anche opinioni differenti. In particolare, resta molto discutibile la incoerenza tra l'esigenza di procedure molto complesse e la scarsa precisione del metodo quando si osservino i risultati sperimentali. In [\[8\] e \[9\]](#)¹³⁶ vien fatto appunto vedere che gli errori sono ingenti (30-40%).

Relativamente al calcolo delle caratteristiche efficaci si osserva che differenze, tra i vari Autori, nell'ordine del 5% sono normali, raggiungendo talvolta anche soglie maggiori (più del 10% ad esempio in certi casi, tra [\[10\] e \[11\]](#)¹³⁶, si veda la pagina di [validazione](#)¹²⁰).

Nel seguito si darà brevemente conto di alcuni problemi di implementazione, chiarendo quali sono le ragioni che fanno propendere per una scelta da parte di chi scrive.

Alcuni problemi di implementazione

A causa della difettosa scrittura della norma [\[1\]-\[2\]](#)¹³⁶, molto probabilmente

causata dalla ricerca ancora in atto sugli algoritmi di calcolo dei profili in classe 4, sono possibili varie interpretazioni del dettato normativo, le quali danno luogo a diversi possibili algoritmi, tutti contemplati dal testo attuale della norma.

A seconda che si tenga o meno conto di certe opzioni, ed a seconda che si tenga o meno conto di certe circostanze, si può pervenire a risultati diversi per il calcolo delle grandezze efficaci. Il problema riguarda tutti i profili in classe 4, ma in particolare i profili formati a freddo. Nel seguito si darà conto di alcuni di questi possibili diversi modi di applicare la norma, discutendo le conseguenze e le ragioni per propendere per una scelta o l'altra.

1) Il problema della contemporaneità delle sollecitazioni

La presenza contemporanea di 3 sollecitazioni che danno luogo a tensione normale (N , M_y , M_z), porta alla necessità di esaminare la sezione sotto la terna di valori (N , M_y , M_z) pensati agenti contemporaneamente. Dato che ciò imporrebbe un procedimento iterativo su ogni singola sezione di ogni singolo elemento in ogni singola combinazione di carico, la norma [1]-[12]¹³⁶ fa una importante semplificazione (pur consentendo di usare il metodo più rigoroso): considera agenti separatamente le tre sollecitazioni, calcolando tra sfruttamenti elementari su tre sezioni differenti: la sezione "N" sotto l'azione assiale da sola; la sezione "M_y" sotto il solo M_y ; la sezione "M_z" sotto il solo M_z . La parzializzazione dei lati compressi a causa della instabilità locale fa sì che in generale sotto ogni diverso insieme di (N , M_y , M_z) si abbia una sezione "efficace" diversa.

Anzichè risolvere per ogni combinazione

$$(N, M_y, M_z) \rightarrow \Omega_{N, M_y, M_z}$$

essendo Ω_{N, M_y, M_z} una forma sezionale efficace, la norma consente di risolvere, una volta per tutte, i tre problemi

$$(N, 0, 0) \rightarrow \Omega_N$$

$$(0, M_y, 0) \rightarrow \Omega_{My}$$

$$(0, 0, M_z) \rightarrow \Omega_{Mz}$$

con una drastica riduzione dei tempi di calcolo (ma una drastica perdita del senso fisico del problema).

A dire il vero, tenuto conto che se $N > 0$, $\Omega_{N+} = \Omega$, e che la forma sezionale efficace dipende dal segno del momento applicato, di problemi occorre risolverne 5:

$$(N_+, 0, 0) \rightarrow \Omega_{N+}$$

$$(0, M_{y+}, 0) \rightarrow \Omega_{My+}$$

$$(0, 0, M_{z+}) \rightarrow \Omega_{Mz+}$$

$$(0, M_{y-}, 0) \rightarrow \Omega_{My-}$$

$$(0, 0, M_{z-}) \rightarrow \Omega_{Mz-}$$

In ognuno dei casi precedenti occorre trovare la forma sezionale efficace coerente con la sollecitazione applicata, ed in particolare di queste 5 diverse forme sezionali efficaci occorre trovare le seguenti grandezze:

$$\Omega_{N+} \rightarrow A_{\text{eff}, N+}, e_{yN+}, e_{zN+}$$

$$\Omega_{My+} \rightarrow W_{y+, \text{eff}}$$

$$\Omega_{Mz+} \rightarrow W_{z+, \text{eff}}$$

$$\Omega_{My-} \rightarrow W_{y-, \text{eff}}$$

$$\Omega_{Mz-} \rightarrow W_{z-, \text{eff}}$$

Nella norma, con un impoverimento di notazione che porta anche a qualche confusione, viene posto:

$$A_{\text{eff},N^-} = A_{\text{eff}}$$

$$e_{yN^-} = e_{Ny}$$

$$e_{zN^-} = e_{Nz}$$

$$W_{y+, \text{eff}} = W_{y, \text{eff}, \text{min}}$$

$$W_{z+, \text{eff}} = W_{z, \text{eff}, \text{min}}$$

$$W_{y-, \text{eff}} = W_{y, \text{eff}, \text{min}}$$

$$W_{z-, \text{eff}} = W_{z, \text{eff}, \text{min}}$$

ovvero non si fa capire da quali (diverse) forme sezionali efficaci derivino i moduli di resistenza e non si distingue esplicitamente (come invece occorre fare) tra W al positivo e W al negativo. Se il momento M applicato è positivo si dovrà prendere W_{+} , se è negativo si dovrà prendere W_{-} .

CLASS4 calcola tutte e 7 le quantità precedentemente elencate e dà il disegno di tutte e 5 le sezioni Ω coinvolte.

2) Il problema del livello di tensione iniziale f_y/γ_{M0}

Il calcolo di verifica di una sezione in classe 4 parte dalla ipotesi che questa possa in almeno un punto raggiungere la tensione di progetto f_y/γ_{M0} (in trazione o compressione). Se come nel caso delle norme italiane ([3] e [4]^[136]) avviene che $\gamma_{M0} > 1$, ne consegue che la tensione massima possibile su un lato non è f_y ma f_y/γ_{M0} . Ciò porta ad un beneficio, sia pur generalmente minimo, nel calcolo delle caratteristiche efficaci, dato che il valore da usare al posto di ε , è

$$\varepsilon \sqrt{\gamma_{M,0}}$$

Alcuni Autori non tengono conto di questo fatto, di cui invece **CLASS4** tiene conto. Ecco la ragione per cui nella videata iniziale, ed anche nel dialogo di lancio del calcolo,

viene esplicitamente chiesto il valore di γ_{M0} . E' anche chiaro che a causa di questo fatto i valori efficaci cambiano a seconda non solo del tenore di acciaio usato (a causa f_y) ma anche a seconda del valore di γ_{M0} usato nel calcolo.

3) Il problema del livello di tensione σ_{com} sul lato in esame nel corso della iterazione

La penalizzazione di un lato ottenuta scomputando le parti non efficaci del lato stesso è tanto più severa a parità di distribuzione di tensioni (ovvero a parità di ψ) tanto più è severo il livello della tensione di compressione. La norma [\[2\]](#)¹³⁶ dà dei valori di detrazione che assumono che la massima compressione sia pari ad f_y . Capita tuttavia molto spesso, in specie nei problemi di flessione, che un gradiente di tensione porti ad avere lati nei quali la massima compressione σ_{com} è minore, talvolta molto minore, di f_y . In questo caso penalizzare il lato come se la sua massima compressione sia pari ad f_y è troppo cattivo e porta ad una sottostima dei valori efficaci. Si noti che mentre qualche lato sulla sezione efficace avrà attinto in trazione o compressione al massimo valore di progetto di tensione, f_y/γ_{M0} , non è detto che questo sia vero per tutti i lati. Per questi occorre usare al posto di

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

il valore

$$\varepsilon \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{com}}}$$

pervenendo ad aree efficaci maggiori. Infatti ciò equivale ad usare una snellezza di lato ridotta:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y}}$$

con delle formule per il calcolo di ρ [lievemente diverse](#)^[27] (2] Annex E, formule E.1 e E.2).

CLASS4 consente di scegliere se usare il livello effettivo delle tensioni ("Usa il livello effettivo delle tensioni" nel dialogo di impostazione del calcolo), oppure no.

Alcuni Autori tendono ad usare questa possibilità data dalla norma (in [\[2\]](#)^[136] in 4.4.(4) e in Annex E), mentre altri no. E' chiaro che i valori efficaci ottenuti cambiano.

4) Il problema della iterazione sulla forma sezionale efficace

Non appena si applicano alla sezione lorda Ω gli stress block pertinenti ad una situazione limite (attingimento della tensione di progetto in uno o più punti della sezione), è possibile che questi stress block provochino in uno o più lati un depauperamento dovuto alla inefficacia di alcune parti. Ciò dà luogo ad una nuova sezione, detta sezione efficace, Ω_0 . Ora, dato che gli stress block con cui si è valutata l'efficacia dei lati sono stati calcolati usando Ω e non Ω_0 , occorre fare una nuova iterazione, 1, per calcolare dei nuovi stress block. Nel fare questo si dovrà tener conto del fatto che, essendo in generale cambiata la posizione del baricentro, i rapporti tra le tensioni agli estremi dei lati saranno differenti, dando luogo ad un calcolo di area efficace differente alla successiva iterazione 1.

Il procedimento è quindi un procedimento iterativo e viene arrestato quando il risultato che interessa, ovvero A_{eff} o W_{eff} , a seconda dei casi, muta per un valore reputato minimo. Detta D la quantità di interesse (A_{eff} o W_{eff}) il procedimento di **CLASS4** viene arrestato quando:

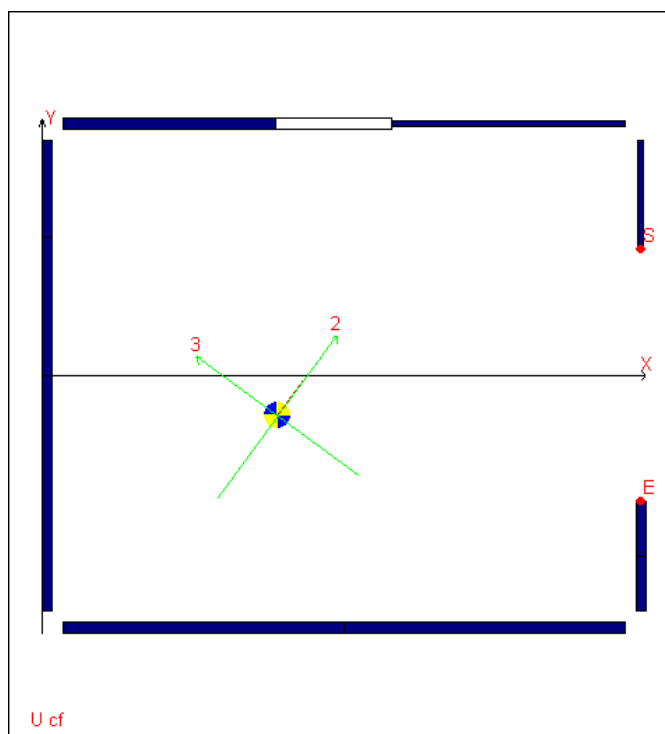
$$(D_{i+1} - D_i) / D_i < 0,001$$

Non tutti gli Autori e non tutte le procedure sembrano fare uso di tale procedimento iterativo. La lettera della norma [2]¹³⁶ fa riferimento ad un procedimento iterativo solo:

1. Nel punto 4.3(4), dove però si fa cenno alla possibilità di calcolare una $\Omega_{N,My,Mz}$;
2. Nel punto 4.4.(4) NOTA 1, dove però si accenna al problema di σ_{com} ;
3. Nel punto E.2.(4) dove a proposito del problema dell'area efficace degli irrigidimenti si dice che il procedimento iterativo è opzionale.

In [1]¹³⁶ si parla di questo problema in 5.5.2.(3) dicendo che il numero minimo di passi è due dopo aver usato il verbo "may" ad indicare che tale raffinamento iterativo è opzionale.

5) Il problema della rotazione degli assi principali della sezione efficace



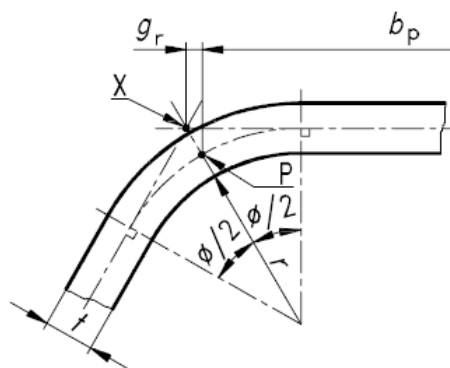
Assi principali ruotati di una sezione efficace

In **CLASS4** gli assi principali sono detti "2" e "3" e non "y" e "z".

Nel precedente punto 4) si è visto che il calcolo dovrebbe essere iterativo (anche a prescindere dagli irrigidimenti ed anche usando sollecitazioni elementari). Uno dei problemi che sorgono, e dei quali non si parla molto nei veri testi disponibili (ma invece sì in [8] e [9]¹³⁶) è il problema della rotazione degli assi principali della sezione efficace rispetto agli assi principali della sezione lorda. **CLASS4** tiene correttamente conto del problema, osservando che quella che in origine è una sollecitazione di flessione semplice per la sezione lorda (ad esempio M_{2+}), per la sezione efficace è una flessione deviata, e come tale deve essere trattata.

D'altro canto, pur essendo $\Omega_{My+,eff}$ soggetta a flessione deviata, è sempre possibile definire un numero " $W_{2,eff,+}$ " come il numero che moltiplicato per la tensione di progetto dà il momento limite (che dà luogo a una flessione deviata) sulla sezione efficace. In altre parole, noto il momento limite in flessione deviata sulla sezione efficace (ma con la direzione vettoriale pertinente per la sezione lorda iniziale), dividendolo per la tensione di progetto si ottiene il modulo di resistenza cercato.

6) Il problema del computo dei g_r



a) Punto medio dello spigolo o della piegatura

Definizione di g_r (da [1]).

Come già accennato, nel caso di presenza di raccordi curvilinei, questi devono

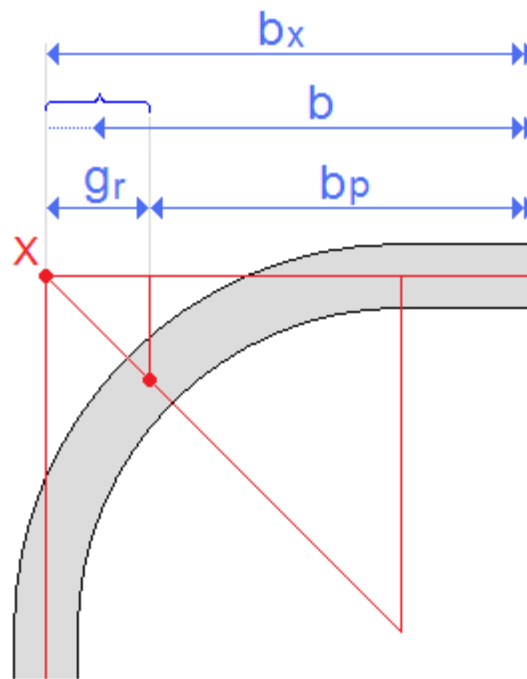
essere rimossi per poter lavorare su lati rettilinei. Questa necessità deriva dal fatto che il comportamento a instabilità locale di un lato rettilineo di lunghezza b_r con raccordi curvilinei aggiunti agli estremi, non è correttamente valutato impiegando come rapporto tra la larghezza e lo spessore t , il rapporto b_r/t . In questo modo la lunghezza del lato è sottostimata, a sfavore di sicurezza.

Dunque, non fosse altro che per valutare correttamente la larghezza da impiegare nel calcolo di " b/t ", occorre usare un valore intermedio tra la lunghezza netta del tratto rettilineo (" b_r ") e la lunghezza " b_x " che si otterrebbe prolungando la linea media dei due lati rettilinei adiacenti, raccordati da un lato curvilineo, sino al punto "X" della figura precedente (si veda anche la figura successiva). Se indichiamo con la norma con " b_p " la lunghezza da adoperare per il calcolo dei rapporti larghezza spessore (b_p/t), risulta (si veda la figura):

$$b_p = b_x - g_r$$

$$g_r = r_m [\tan(\phi/2) - \sin(\phi/2)]$$

essendo r_m il *raggio medio* del raccordo.



Fin qui, è tutto chiaro.

Non è invece del tutto chiaro, nella norma, se la sezione resistente efficace debba includere o meno i tratti g_r che si sono scomputati per calcolare b_p . Alcuni Autori ([10]¹³⁶) riaggiungono i tratti g_r al calcolo delle aree efficaci (pur avendo calcolato le parti non efficaci ed efficaci sulla base della lunghezza b_p), altri Autori, tra cui chi scrive (Autore) e ([11]¹³⁶), non lo fanno.

Per decidere cosa sia meglio fare è utile osservare che nel caso in cui la sezione sia interamente reagente, e dunque non vi siano parti non efficaci, si vorrebbe ottenere un'area identica o non troppo dissimile da quella della sezione lorda iniziale (coi lati curvilinei). Ebbene, le misure dei lati (pensati interamente efficaci) rettilinei rimanenti dopo la trasformazione sono le seguenti (1 e 2 per il primo e il secondo estremo del lato):

- se si riaggiungono i g_r :

$$b = b_x = b_r + r_{m,1} \tan(\phi_1/2) + r_{m,2} \tan(\phi_2/2)$$

- se non si riaggiungono i g_r :

$$b=b_p=b_x-g_{r1}-g_{r2}=b_r+r_{m1}\tan(\phi_1/2)+r_{m2}\tan(\phi_2/2)-g_{r1}-g_{r2}=b_r+r_{m1}\sin(\phi_1/2)+r_{m2}\sin(\phi_2/2)$$

La lunghezza corretta dovrebbe invece essere

$$b_r+r_{m1}\phi_1/2+r_{m2}\phi_2/2$$

Dato che $\phi/2$ è compreso tra $\sin(\phi/2)$ e $\tan(\phi/2)$ si potrebbe dire che le due soluzioni sono equivalenti. In realtà si vede chiaramente che l'errore che si commette è maggiore usando la tangente, ovvero riaggiungendo i g_r . Ad esempio per le tre pieghe seguenti:

$\phi/2=22,5^\circ$	$\phi/2=0,392699\text{rad}$	$\tan(\phi/2)=0,4142135$	$\sin(\phi/2)=0,3826834$
$\phi/2=45^\circ$	$\phi/2=0,7853981\text{rad}$	$\tan(\phi/2)=1$	$\sin(\phi/2)=0,7071067$
$\phi/2=67,5^\circ$	$\phi/2=1,1780972\text{rad}$	$\tan(\phi/2)=2,4142136$	$\sin(\phi/2)=0,9238795$

Del resto si può scrivere che l'errore è in un caso

$$e_{\tan}=\tan(\phi/2)-\phi/2=\sin(\phi/2)/\cos(\phi/2)-\phi/2$$

e nell'altro

$$e_{\sin}=\sin(\phi/2)-\phi/2$$

e dato che il coseno è <1 , $e_{\tan} > e_{\sin}$.

Sulla base di queste considerazioni appare senz'altro più corretto lavorare scomputando i g_r dal calcolo delle parti efficaci. Tuttavia, dato che la autorevole

pubblicazione [\[10\]](#)¹³⁶ usa un sistema diverso (non si sa se per errore o per convinzione), si è scelto di dare all'utente la possibilità di scegliere tra i due approcci. Così, in **CLASS4**, se viene sempre usato

$$b_p = b - g_r$$

ai fini del calcolo delle parti efficaci del tratto rettilineo di lunghezza b_p , mediante il rapporto b_p/t , a queste parti efficaci viene aggiunta una quantità fissa -per ogni estremo "e"- di tratto pieno pari a

$$(1 - K_{gr})g_{r,e}$$

essendo K_{gr} un fattore compreso tra 0 ed 1.

Il valore proposto dal programma (default) è $K_{gr}=1$, ovvero lo scomputo definitivo dei g_r dal calcolo delle parti reagenti.

Se si sceglie $K_{gr}=0$, allora si simula la procedura usata in [10]¹³⁶ che riaggiunge ad ogni estremo "e" un tratto pieno pari a $g_{r,e}$.

Se si sceglie un valore compreso tra 0 ed 1 si sceglie una via intermedia.

Infine una ultima molto importante osservazione. In funzione della misura del raggio medio r_m , può capitare che la eliminazione dei tratti rettilinei (quindi fuori sezione) ottenuta scomputando i g_r ($K_{gr}=1$), dia luogo ad una sezione fittizia (*notional*) nella quale i lati sono disgiunti, ovvero *presentano dei vuoti tra uno e l'altro*. Ciò avviene in particolare per $\phi/2=45^\circ$ se

$$g_r > t/2$$

ovvero se

$$t < 2g_r$$

A nostro parere tale circostanza è attesa e corretta e non inficia minimamente la bontà dell'algoritmo. Infatti, abbiamo riscontrato in [11]¹³⁶ che di fronte alla presenza di questi vuoti, l'Autore trasla i lati mantenendone inalterata la lunghezza al fine di riempire i vuoti che si creano (per così dire "ricompatta" i lati). Ebbene: tale

procedura non è a nostro parere condivisibile perchè mutando l'ingombro della sezione mutano significativamente (in certi casi) i suoi momenti di inerzia e quindi i moduli di resistenza, dando luogo a valori probabilmente a favore di sicurezza, ma troppo penalizzati. Come si vedrà nella [validazione](#)^[120], tale circostanza spiega differenze anche piuttosto sensibili riscontrate nel calcolo.

7) Il problema della verifica di stabilità degli irrigidimenti (*distorsional buckling*)

7.1) Generalità

Il problema dei profili in parete sottile è fundamentalmente costituito dalla possibile contemporanea presenza di ben tre forme di instabilità: la locale, la distorsionale e la globale (di membratura). L'interazione tra le prime forme di instabilità e la terza è trascurata dalla norma, che per la verifica a stabilità della membratura adotta un formato ibrido (si veda quanto detto a critica in [\[6\]](#)^[136] a proposito del punto 6.3.1.3.(1) della EN 1993-1-1). Nel lavoro [\[8\]-\[9\]](#)^[136] si è criticato tale approccio mostrando che si perviene ad un quadro molto più chiaro tenendo conto di tale interazione. Sintetizzando, è inutile calcolare i valori efficaci con la tensione di progetto se, a causa della instabilità globale, i valori di tensione di compressione di progetto non si potranno *mai* raggiungere. Inoltre, la verifica a stabilità dell'asta compressa deve essere fatta usando la stessa identica sezione Ω_{N-} , e non una volta la Ω_{N-} ed una volta la Ω . Tra l'altro si vede che così facendo (ancora in [\[8\]](#) e [\[9\]](#)) si ottengono risultati più precisi.

La EN 1993 esamina invece in dettaglio la interazione tra instabilità distorsionale ed instabilità locale, facendo in buona sostanza ragionamenti vagamente simili a quelli fatti in [\[8\]](#) e [\[9\]](#), ma applicandoli agli effetti della distorsionale sulla locale anzichè anche agli effetti della globale su entrambe. Probabilmente la ragione è consentire di calcolare delle caratteristiche efficaci di sezione che non dipendono dalla lunghezza globale della membratura a cui appartengono.

Con instabilità distorsionale *si intende la possibilità che una parte di sezione*

sbandi come una specie di sotto insieme, distorcendo la forma della sezione. Perché una parte compressa di sezione si possa instabilizzare da sola, la parte rimanente di sezione deve rimanere al suo posto, e quindi la parte instabilizzata, distorcendo la forma della sezione, trova una certa resistenza. Questa resistenza è eguale lungo lo sviluppo della linea d'asse dell'elemento e dà luogo per la parte instabilizzata ad un carico critico che è quello dell'asta compressa su suolo alla Winkler: l'asta compressa è la sottoparte, il suolo alla Winkler simula il ritegno delle parti che non sbandano. Se A_s e I_s sono l'area ed il momento di inerzia della parte che vuole sbandare da sola, e K è il ritegno offerto dalle parti che non si instabilizzano (e che la trattengono), la tensione critica elastica è pari a (cfr. 5.15 in [1]^[136]):

$$\sigma_{cr} = \frac{2\sqrt{KEI_s}}{A_s}$$

E' da notare che, a differenza di quanto avviene per l'asta di Eulero, la tensione critica distorsionale *non dipende dalla lunghezza dell'elemento*. Quindi se una parte di sezione voglia instabilizzarsi rispetto ad un'altra è deciso solo dalla geometria della sezione e dal livello di tensione applicata. Se questa però non viene mai raggiunta, perchè si instabilizza prima la membratura, allora il *distorsional buckling* non si evidenzia sperimentalmente. La tensione che si può applicare, in media, alla parte che si vuole instabilizzare, è data dalla consueta formula (si veda [6]^[136] per la dimostrazione della generalità del metodo):

$$\sigma_{lim} = \chi f_y$$

$$\chi = \chi(\underline{\lambda})$$

$$\underline{\lambda} = \sqrt{(f_y / \sigma_{cr})} = \sqrt{(\alpha_u / \alpha_{cr})}$$

La $\chi = \chi(\underline{\lambda})$ secondo la norma [1]^[136], formule (5.12), non segue le normali formule previste per le curve di stabilità a_0 , a , b , c , d in [12]^[136] (EN 1993-1-1):

$$\begin{aligned}
 \chi_d &= 1 & \text{se } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \\
 \chi_d &= 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_d & \text{se } 0,65 \leq \bar{\lambda}_d \leq 1,38 \\
 \chi_d &= \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} & \text{se } 1,38 \leq \bar{\lambda}_d
 \end{aligned}$$

Non è nota a chi scrive la ragione di tale distinzione, che porta a dare $\chi < 1$ se $\bar{\lambda}_d < 0,65$ e non come nel caso normale quando $\bar{\lambda} < 0,2$. Forse si è introdotta una variazione per meglio compensare altri errori dovuti al metodo proposto, e comunque si è scelto di far intervenire il *distorsional buckling* solo per snellezze adimensionali (*criticità*, [6]¹³⁶) già moderatamente alte ($> 0,65$) in modo da toglierselo di torno in molti altri casi.

Se esiste una sottoparte della sezione (che noi qui chiamiamo -per la prima volta a quanto consta- *isola*) che è soggetta ad una tensione di compressione $\sigma > \sigma_{\text{lim}}$, allora tale parte non potrà sostenere il livello di tensione applicato e si verificherà la instabilità distorsionale. Il fenomeno viene descritto nella norma per i profili sottili (dove le "isole" prendono il nome di "irrigidimenti di bordo" ed "irrigidimenti intermedi") perchè per questi appare più frequentemente, *ma in realtà il ragionamento si può e si dovrebbe applicare a tutti i profili*. E' chiaro che al crescere dello spessore dei piatti (t) la rigidezza K cresce (col cubo di t), e quindi σ_{cr} tende a diventare molto alta, così che $\bar{\lambda}$ tende a essere nulla. Ciò spiega perchè per profili laminati il *distorsional buckling* non si verifica.

La presenza di possibili "isole" che vogliano sbandare da sole dovrebbe essere sempre indagata e, nel caso in cui si constati che vi deve essere una riduzione di tensione, tale riduzione va applicata. Nel caso dei profili formati a freddo, il metodo previsto dalla norma è involuto e discutibile perchè di fatto funziona in questo modo, riferendoci per brevità ai soli irrigidimenti terminali o "di bordo" (per gli intermedi valgono ragionamenti del tutto simili):

1. Una prima indagine determina le parti non efficaci della sezione che delimitano parti disgiunte di sezione ("isole") il cui comportamento a instabilità va verificato a parte. Le parti terminali disgiunte dal resto che soddisfano certi criteri dimensionali vengono considerate "irrigidimenti di bordo" ("isole" come tutte le altre nella nostra terminologia), e si valuta la loro area A_s , il loro momento di inerzia I_s , ed il ritegno offerto loro dalle altre parti, K , pervenendo a una valutazione della loro σ_{lim} .
2. Se la σ_{lim} è inferiore a f_y , perchè $\chi < 1$ (il che avviene per la norma quando $\lambda_d > 0,65$, (5.5.3.1.(7) in EN 1993-1-3), allora l'"isola", ovvero l'irrigidimento, non può portare la tensione inizialmente ipotizzata potendo portare solo un carico $\chi f_y A_s$ e non $f_y A_s$. Ne consegue che per ridurre il carico globale agente sulla sezione la norma prevede un trucco, vale a dire, riferendosi al carico afferente sul solo irrigidimento (l'*isola*), pone:

$$(\chi f_y) A_s = f_y (\chi A_s)$$

ovvero sposta la riduzione dalla tensione f_y all'area dell'isola, che viene ad avere uno spessore ridotto χt . In questo modo si potrà far finta che il *distorsional buckling* non esista e continuare a lavorare su una tensione pari ad f_y , ma con un'area per l'isola ridotta a χA_s . Se inizialmente si aveva $A_{eff} = A_1 + A_s$, dopo il trucco si avrà $A_{eff} = A_1 + \chi A_s$.

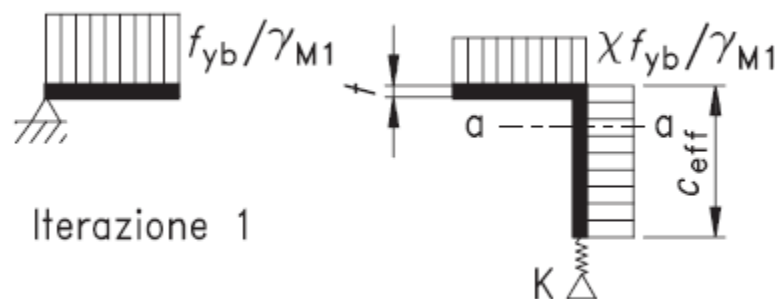
3. Tale ragionamento della norma, già di per sè molto discutibile e complicato, è ulteriormente complicato dalla opzione che viene data facoltativamente, di raffinare i valori di A_s e I_s sulla base di un nuovo ciclo iterativo. Infatti, a causa del fatto che il livello di tensione sulla isola non è f_y ma χf_y , le parti efficaci di questa (e solo di questa) saranno in realtà un po' maggiori (a causa dell'effetto σ_{com} già discusso) e dunque l'irrigidimento avrà una area A_s ed un momento di inerzia I_s maggiori. Di tale circostanza (iterazione sull'irrigidimento) **CLASS4** tiene opzionalmente conto avendo per default attivato l'opzione.

7.2) Critiche al metodo di normativa e suoi limiti

Come si è detto il metodo seguito dalla norma è molto discutibile e infatti si devono fare le seguenti critiche:

1. Vi è una sostanziale ambiguità nel fatto che tale ragionamento si applichi al caso degli "irrigidimenti" senza che in realtà esista nè possa esistere alcun criterio fisico e geometrico *a priori* che possa distinguere ciò che è un "irrigidimento" da ciò che non lo è. Tutte le parti idealmente immaginabili potrebbero sbandare separatamente come "isole", in teoria, ed essere chiamate "irrigidimento" se non lo fanno, e se non lo fanno è solo perchè il loro carico critico è superiore a quello di altre parti (incluso il tutto) che sbandano prima. L'ambiguità sulla definizione della parte di sezione che costituisce l'"irrigidimento" emerge in modo chiaro quando ci si debba occupare di sezioni che non hanno instabilità locale (sono tutte efficaci) ma hanno il *distorsional buckling*. Non essendoci in questo caso delle discontinuità nella sezione a causa della presenza di parti non efficaci, è quanto meno imbarazzante definire cosa faccia parte dell'"irrigidimento" e cosa no. In [11]¹³⁶ il problema non è neppure nominato. In [10]¹³⁶ il problema è risolto (esempi alla mano) continuando ad adoperare le stesse formule che attribuiscono una ripartizione tra parte efficace e parte non efficace, ovvero in sostanza prendendo come divisore tra la parte da considerare come "irrigidimento" e la parte che non lo è, il limite a cui tende la parte non efficace di un lato, al tendere a zero della sua estensione (diminuendo b/t sino a che l'estensione della parte non efficace diventa un punto, si annulla). Si tratta di un procedimento non del tutto convincente e non sufficientemente generale, che andrebbe migliorato. **CLASS4**, comunque, usa questo sistema perchè al momento è l'unico disponibile. In realtà, la separazione tra un *isola* e l'altra, nel caso di profili interamente reagenti, dovrebbe probabilmente essere trovata lasciando libero il punto di separazione tra un *isola* e l'altra (mediante una ascissa incognita x), e minimizzando $\sigma_{cr,isola}$ come una opportuna funzione di $A_s(x)$, $I_s(x)$ e $K(x)$.

2. E' da notare che mentre l'isola che sbanda per χf_y continua a lavorare a quel tasso di tensione, χf_y , *le altre parti lavorano ad una tensione maggiore (e infatti la loro area non è depauperata)*, il che vuol dire ammettere che raggiunto il primo carico che corrisponde al buckling dell'irrigidimento, successivamente il carico, incrementato, migri verso le parti ancora solidamente in posizione rimanendo costante sulle parti che potrebbero sbandare ("isole saturate", nella nostra terminologia, irrigidimenti al limite, in quella della norma). Tanto varrebbe allora dividere la sezione in parti ("isole") e calcolare il carico massimo su ciascuna disgiuntamente, nonché quello massimo della isola complessiva per la sua verifica di buckling (come in [8] e [9]¹³⁶). Infatti nell'algoritmo della norma avviene questo strano gioco di prestigio: un lato che in parte appartiene ad un irrigidimento e in parte no viene calcolato con lo stesso identico ψ , *ma con due tensioni di compressione massime diverse*: f_y per la parte che non appartiene all'irrigidimento e $\chi_d f_y$ per la parte che vi appartiene. Insomma, un vero pasticcio. Si noti la figura successiva, presa dalla norma:



Un lato ha due tratti con tensioni differenti: ciò non è coerente con le ipotesi iniziali (distribuzione lineare di tensione σ)

3. In linea di principio non vi è differenza *fisica* tra il buckling locale, il buckling distorsionale e quello di membratura, che invece vengono trattati in modo totalmente diverso dalla norma. La ragione per cui si indaga il distorsionale, è che facendo conto che certe parti non si instabilizzano, *si fa conto sul fatto che queste*

siano un ritegno per altre, che sono calcolate di conseguenza (doppiamente appoggiate). Venendo meno il ritegno, viene meno l'ipotesi di partenza. Se ad un lato a sbalzo aggiungiamo una piega minuscola, questa non vale a trasformare il lato a sbalzo in un lato doppiamente appoggiato. Una maggiore unità di approccio sarebbe comunque auspicabile.

4. L'idea di ridurre lo spessore di una parte di sezione (ed in modo diverso in varie parti) è a parere di chi scrive semplicemente balzana: la forma finale - un po' con certi spessori, un po' con altri - è un ibrido privo di qualsiasi senso fisico ed è tale da indurre in errore chi ne fa uso (la sezione finale, ad esempio, con gli spessori ridotti, **non potrebbe sostenere il carico $f_y(\chi A_{eff})$** se non facendo finta che il fenomeno del *distorsional buckling* non esista più in natura).
5. Forse anzichè ostinarsi a lavorare con il formato di verifica delle sezioni lorde anche quando questo non è più applicabile (formato che usa i moduli di resistenza A e W), basterebbe, per rendere tutto più chiaro, scrivere la formula di verifica come

$$(N/N_{lim}) + (M_y/M_{y,lim}) + (M_z/M_{z,lim}) < 1.$$

L'ambiguità verrebbe meno, non ci sarebbe nessun bisogno di introdurre i chimerici e assurdi spessori ridotti, e tutto sarebbe più chiaro. Si dovrebbe calcolare non A_{eff} ma N_{lim} , e non (i) W_{eff} ma (gli) M_{lim} .

6. La facoltatività della iterazione sull'irrigidimento è discutibile dato che si trovano valori molto diversi a seconda che questa venga fatta o no (si veda la [validazione](#) ¹²⁰).
7. La norma fa solo in modo molto involuto menzione del fatto che un conto è la f_y un conto è l'effettivo livello di tensione σ_{com} applicato. Mentre se $\chi_d < 1$ è sempre vero che $\chi_d f_y < f_y$, **non è detto** che $\chi_d f_y < \sigma_{com}$. Pertanto potrebbe anche capitare che non sia da applicare alcuna riduzione all'irrigidimento (nei problemi flessionali, dove vi è un gradiente di tensione sulla sezione, non è detto che tutti gli irrigidimenti siano compressi a f_y).
8. La norma applica un certo ragionamento alla interazione tra *distorsional buckling* e local buckling, tenendo conto del livello di tensione del *distorsional* per calcolare

l'entità di diffusione del *local*, ma omette di fare le medesime considerazioni, come sarebbe logico, per l'interazione tra buckling della membratura e buckling locale (il livello di tensione del *global* influenza anch'esso il *local*, cfr [8] e [9]¹³⁶).

9. Nel suo complesso, la norma appare come la sovrapposizione di ipotesi *ad hoc* e di trucchi, con varie varianti contemplate e possibili, privi di convincente senso fisico e coerenza, dando luogo ad un aggregato che stenta ad essere compreso ed applicato dalla maggior parte degli aventi diritto. In tali casi, quando i modelli sono complicati e danno luogo a forti errori rispetto ai risultati sperimentali, essi sono semplicemente fatti male. Nondimeno si è nella necessità di usare le norme perchè se no intere tipologie strutturali sono inutilizzabili.

7.3) Il metodo delle isole, cenni

Per poter affrontare in modo generale il problema occorrerebbe affrontare tutti assieme i tre problemi di buckling *locale*, *distorsionale* e *globale* che sono manifestazioni fisiche dello stesso fenomeno di base: l'instabilità. Ciò si potrebbe fare (ma si danno qui solo accenni) mediante una teoria che introduca sulla sezione un vettore di "isole", funzione del livello di carico applicato, all'interno del quale includere sempre anche la *sezione globale* (che sia efficace o lorda) come *isola globale* da verificare.

I valori limite dei carichi da applicare sulla sezione verrebbero trovati ordinando i carichi critici delle varie isole in modo crescente e considerando come limite per la sezione *quello che corrisponde alla massima capacità portante*.

Il carico della *isola globale* è limitato dallo sbandamento della membratura nel suo complesso.

Il carico delle isole propriamente dette (*isole locali*, con instabilità distorsionale) è limitato dal loro carico critico distorsionale corretto dal fattore χ_d ($\chi_d f_y A_{is}$). Quando un'isola riceve un carico pari al suo limite di compressione è detta saturata.

La capacità portante *della membratura* (non della sezione che in questo approccio non interessa) è eguale al minimo tra:

1. la somma dei carichi di saturazione di ciascuna isola e
2. il carico di instabilità della isola globale.

In certi casi (cfr. [8] e [9] ¹³⁶) dove il *distorsional buckling* non era ancora tenuto in conto) se la membratura è sufficientemente snella, la prima isola a sbandare sarebbe proprio quella della sezione globale (spesso coincidente con la lorda), senza che nè *distorsional* nè (eventualmente) *local buckling* possano avvenire, e dunque la verifica di resistenza-stabilità unificata porgerebbe

$$N < N_{\text{lim}} = N_{\text{lim}, g}$$

Tale risultato è stato indagato e dimostrato in [8] e [9].

In altri casi, per aste moderatamente tozze, le prime "isole" a sbandare sono proprio delle "isole" propriamente dette, e si ha il *distorsional buckling*. Ciò avviene quando

ma

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_g < \sigma_{cr,g} \\ \sigma_i > \sigma_{cr,i} \end{array} \right\} (1)$$

avendo indicato con σ_g la tensione di compressione media sull'area "isola" globale "g" (efficace o lorda in funzione del livello del carico raggiunto) e con σ_i la tensione media sull'isola "i".

Anche nel caso di sezione interamente reagente (*local buckling* assente), occorrerebbe indagare la possibilità che si distacchino isole distorsionali, ricercando le condizioni che diano luogo alle (1). Nel caso di profili formati a freddo con ascissa curvilinea unica si potrebbero cercare in funzione di x i minimi di $\sigma_{cr,i}(x)$, con "i" indice di isola "i".

Il formato di verifica non dovrebbe più prevedere una verifica di stabilità separata da una verifica di resistenza, ma si dovrebbe fare una unica verifica, nella

forma già detta $(N/N_{lim}) + \dots < 1$, come già fatto in [\[8\]](#)  136.

Parte

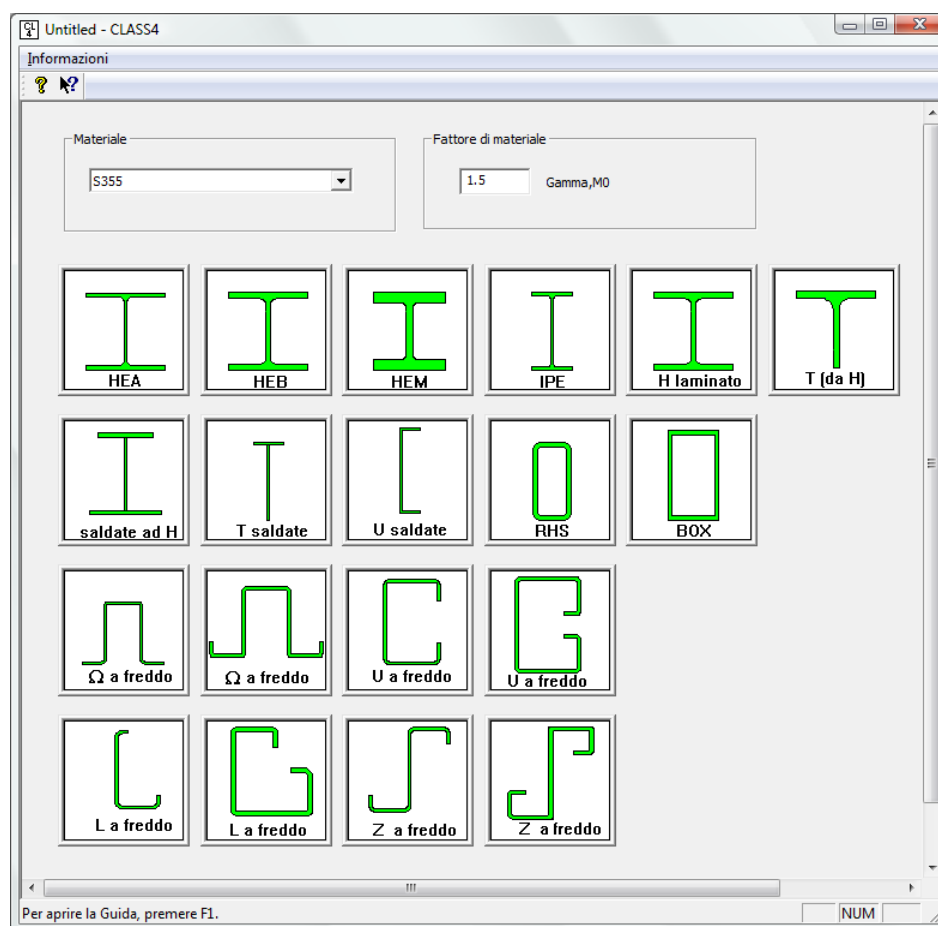
IV

4 Come...

4.1 Usare il programma

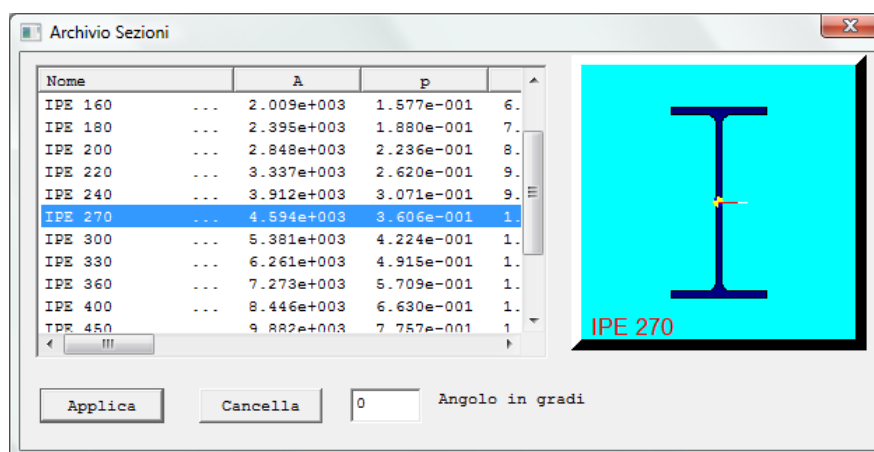
CLASS4 consente di calcolare i valori efficaci in accordo a EN1993-1-3 ed EN1993-1-5 dei 19 tipi di sezioni disponibili (lamine, saldate e formate a freddo). Riassumiamo brevemente i passaggi che si devono compiere per ottenere i valori efficaci: si definiscono le proprietà del materiale e si sceglie il tipo di profilo, si definiscono le quote, si stabiliscono le opzioni di calcolo e quindi si esegue il calcolo stesso; infine si analizzano i risultati. Di seguito sono descritti i vari passaggi appena elencati.

L'interfaccia che si presenta all'apertura di **CLASS4** è mostrata nell'immagine seguente.



Le impostazioni preliminari di scelta del materiale e definizione del suo fattore di sicurezza γ_{M0} (**Gamma,M0**) tramite i due box in alto sono facoltative; tali dati possono infatti essere ridefiniti più avanti.

Si sceglie il tipo di profilo che si vuole calcolare, cliccando l'immagine corrispondente.



Lista di profili IPE

Se si sceglie un profilo di tipo standard (HEA, HEB, HEM o IPE) viene mostrata una [lista](#)⁷⁸ dei profili disponibili per quel tipo di sezione (se si sceglie IPE, ad esempio, la lista comprenderà i profili IPE100, IPE120, IPE140, ..., IPE600). Selezionando un profilo e cliccando **Applica**, oppure facendo doppio click sul profilo desiderato, si apre un [dialogo](#)⁷⁹ in cui sono riportate le quote e le proprietà della sezione. Le quote (in millimetri) sono predefinite in base a quanto stabilito dalla normativa.

Se invece nell'interfaccia principale si sceglie un profilo non standard si apre un dialogo associato al tipo di profilo scelto, in cui le quote (in millimetri) vanno definite dall'utente. I profili disponibili sono:

[Sezioni laminate ad H](#)⁷⁹

[Sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H](#)⁸²

[Sezioni RHS](#)⁸⁵

[Sezioni saldate ad H](#)⁸⁸

[Sezioni saldate ad U](#)⁹¹

[Sezioni saldate ad T](#)⁹³

[Sezioni saldate ad cassone](#)⁹⁶

[Sezioni a U formate a freddo](#)⁹⁸

[Sezioni a L formate a freddo](#)¹⁰¹

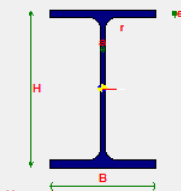
[Sezioni a Z formate a freddo](#) ¹⁰⁴

[Sezioni a Omega formate a freddo](#) ¹⁰⁷

[Ulteriori sezioni formate a freddo standard](#) ¹⁰⁹ (doppia piega)

Nelle due figure seguenti si vedono due esempi di tali dialoghi, uno per una sezione laminata, uno per una sezione formata a freddo:

Sezioni laminate ad H



H: 300
 B: 200
 a: 10
 e: 15
 r: 20

9043.3632 A
 144207792 J2
 20058054 J3
 698014.75 Jt
 126.27848 i2
 47.095500 i3
 1.8086726 X2

57.735027 it
 961385.25 W2
 200580.54 W3
 1082070.1 Wpl2
 309998.21 Wpl3
 1345.6636 U
 3.0144543 X3

H generico Nome

Links - Informazioni lunghezze limite

Short 789.81516 Intermediate 1480.9034 Long

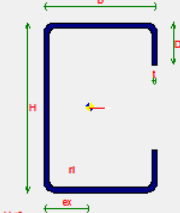
Classi tipiche secondo EC3

	S235	S275	S355	S420
N	1	1	1	1
M2	1	1	1	1
M3	1	1	1	1

Valori efficaci...

OK Aggiorna Cancel

Sezioni a U (formate a freddo)



H: 60
 B: 40
 D: 15
 t: 2
 r: 2
 ex: 16.365945

313.69909 A
 179615.75 J2
 72485.960 J3
 418.26550 Jt
 23.928504 i2
 15.200935 i3
 1.9606193 X2
 -20.604645 XCT
 73213752 lw

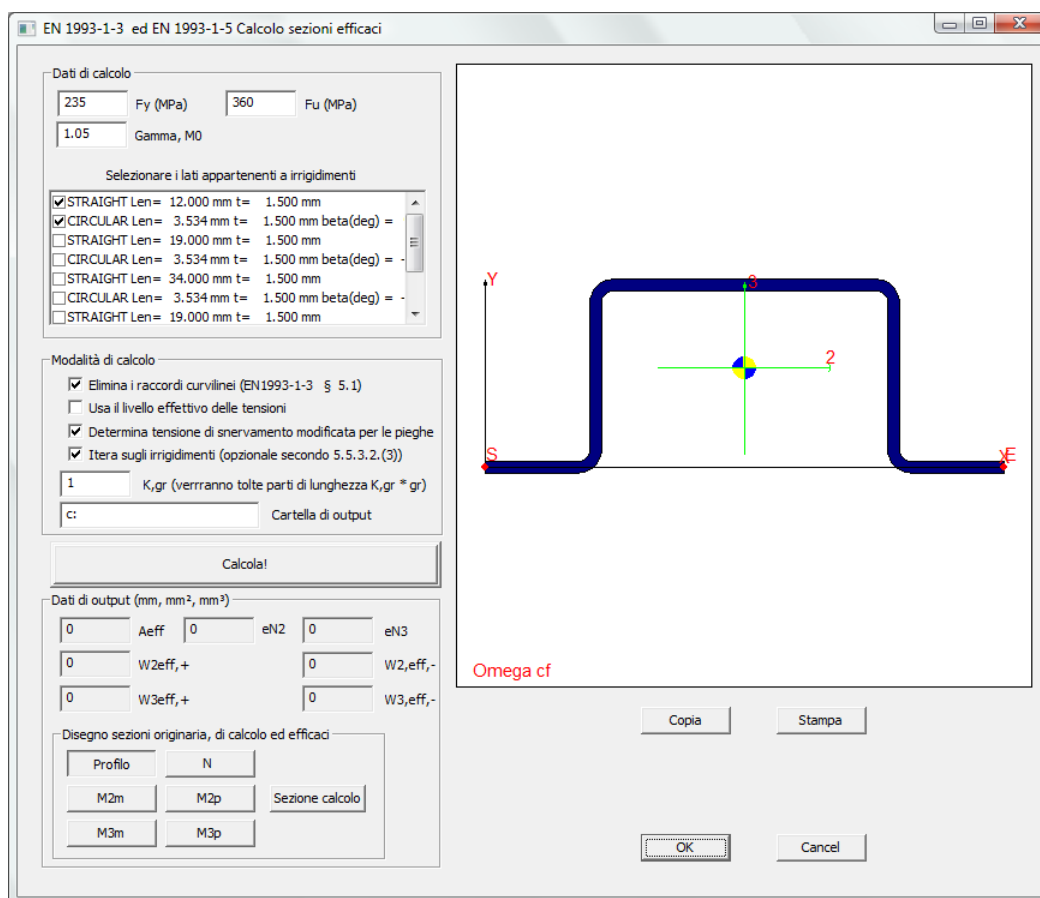
0 it
 5987.1918 W2
 3067.0134 W3
 7017.7275 Wpl2
 4287.2954 Wpl3
 35.424777 U
 2.6141591 X3
 -6.3930994 yCT

U cf Nome

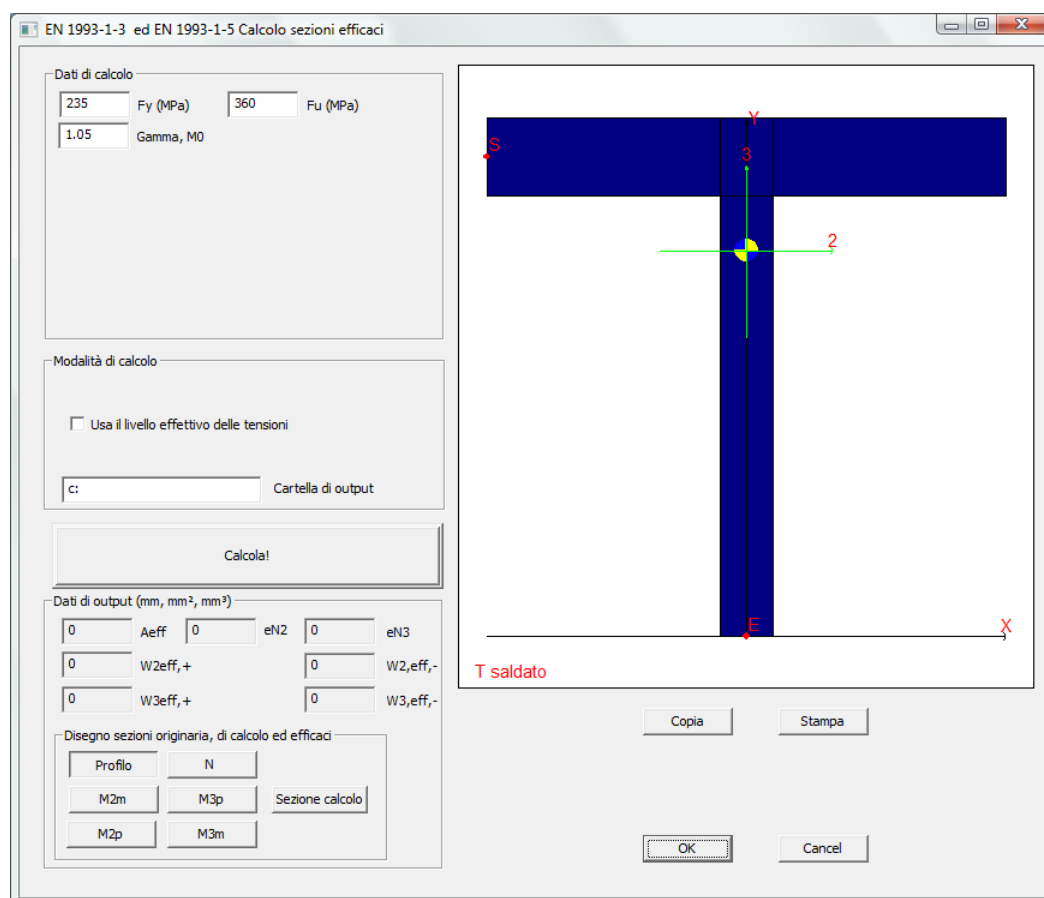
OK Aggiorna Cancel

EN1993-1-3...

Per passare al calcolo dei valori efficaci, va premuto il bottone **Valori efficaci...** per i profili laminati o saldati o il bottone **EN1993-1-3...** per i profili formati a freddo, dopo averne definito le quote. Si accede quindi al [dialogo per il calcolo](#)¹¹², mostrato nell'immagine seguente.



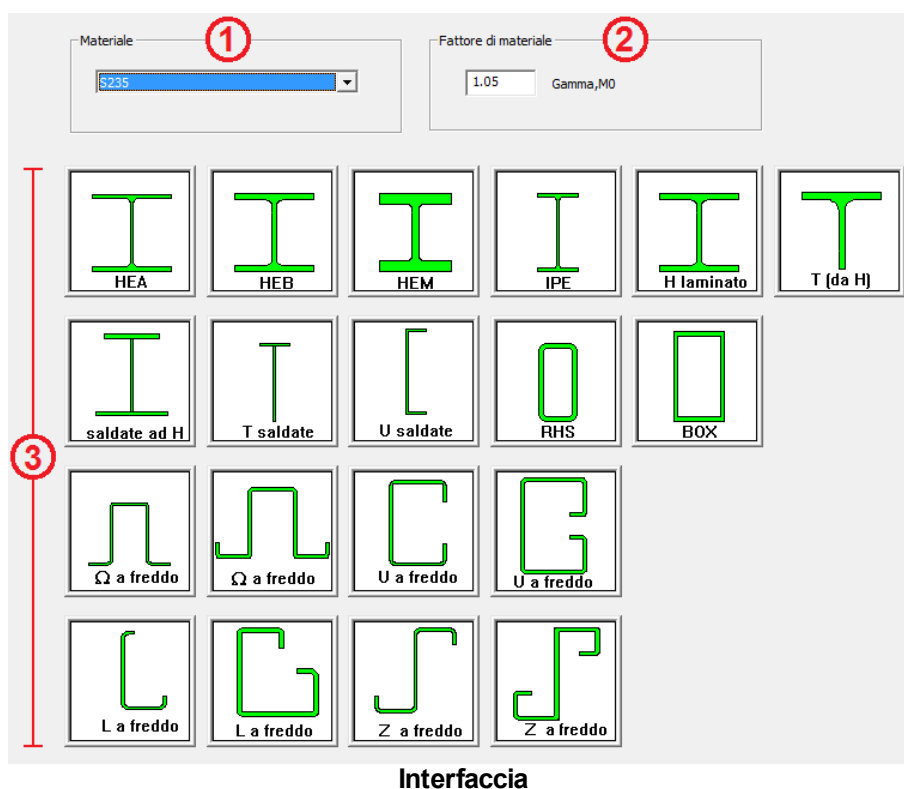
Questo dialogo si presenta leggermente diverso (non sono presenti alcune impostazioni) nel caso in cui il profilo scelto non sia formato a freddo. La logica di base e l'aspetto generale sono comunque comuni a tutti i profili. Si veda nell'immagine seguente l'esempio di un profilo a T saldato, dove non sono presenti alcuni riquadri necessari ai soli formati a freddo.



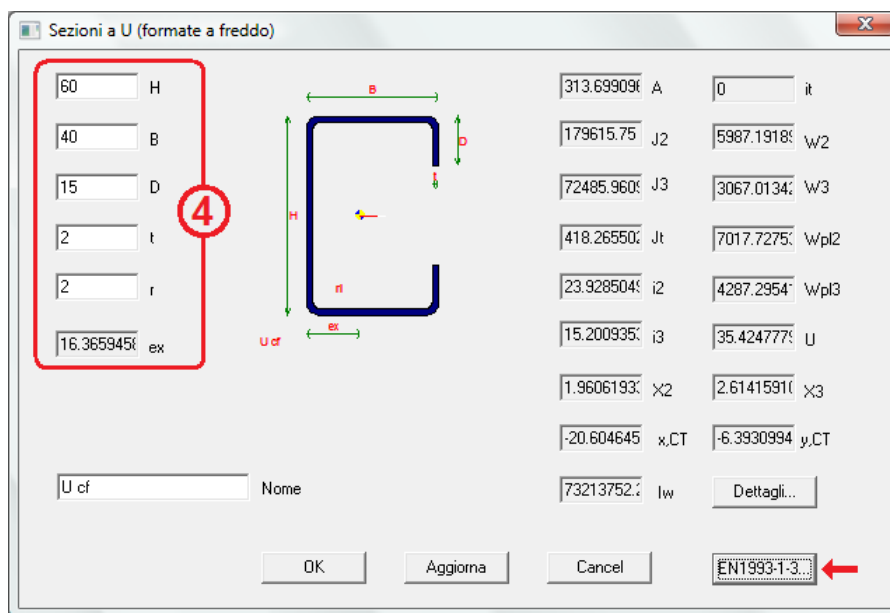
Dopo aver definito i parametri e le opzioni richiesti si procede al calcolo dei valori efficaci tramite il bottone **Calcola!**, dopodiché si analizzano i risultati a schermo e per mezzo del tabulato. Per una descrizione dettagliata delle impostazioni, del calcolo e della comprensione dei risultati si rimanda alla descrizione del [dialogo](#)¹¹² e a quella del [tabulato](#)⁶⁴.

Si veda anche il seguente [Riepilogo delle operazioni](#)⁶¹.

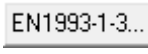
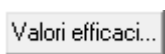
4.1.1 Riepilogo delle operazioni

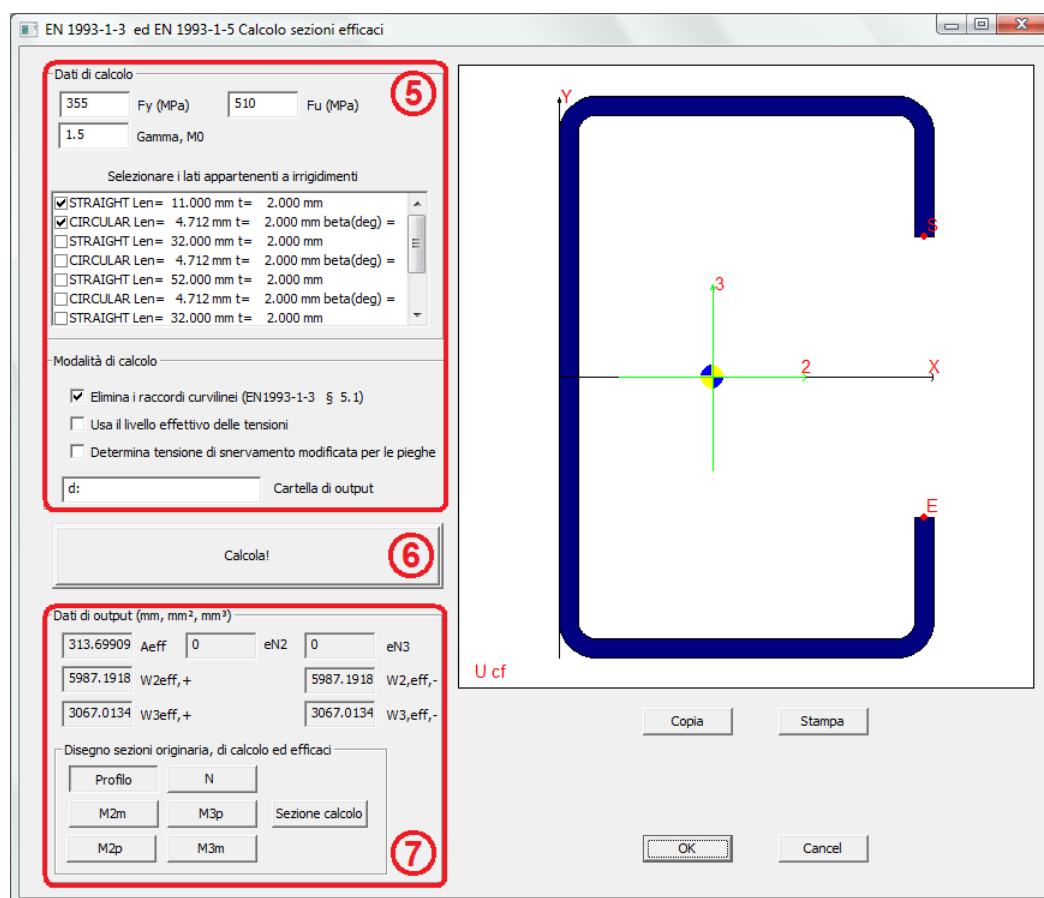


1. Si sceglie un materiale dal menu a tendina [facoltativo].
2. Si definisce il coefficiente di sicurezza [facoltativo].
3. Scelta del tipo di profilo: se si clicca un profilo di tipo HE o IPE verrà presentata una lista da cui scegliere uno dei profili standard, altrimenti si accede direttamente a un dialogo corrispondente al profilo cliccato.



Dimensioni del profilo scelto (varia a seconda del profilo*)

4. Dialogo del profilo: a eccezione dei profili di tipo HEX e IPE, per i quali le quote sono fisse, in tutti gli altri casi vanno definite le varie dimensioni in millimetri, dopodiché si preme l'opportuno bottone per accedere al [dialogo di calcolo](#) :  per i profili formati a freddo,  per gli altri profili.



Impostazioni e calcolo (varia a seconda del profilo)

5. Si definiscono le impostazioni di calcolo.
6. Si esegue il calcolo delle proprietà.
7. Si visualizzano i risultati (valori efficaci, disegno sezione originaria, disegno sezione di calcolo, disegno sezioni efficaci).
8. Si esamina il tabulato di output.

Per una spiegazione dettagliata dei punti 5, 6 e 7 si rimanda alla voce [Calcolo sezioni efficaci](#)¹¹². Per il punto 8 si rimanda alla voce [Tabulato](#)⁶⁴.

4.2 Leggere il tabulato

Il tabulato è in inglese e contiene informazioni sulla sezione lorda, sulla sezione di calcolo, sulle impostazioni e sui risultati.

Il tabulato si trova nella [cartella](#)  indicata dall'utente. Il nome del file ha questa struttura: "*nomesezione -fy=??? - gm=???.txt*", dove ??? sono i valori definiti per la tensione di snervamento e per il coefficiente di sicurezza.

L'esempio di tabulato qui riportato è corredato da commenti e spiegazioni alle varie sezioni; vengono inoltre forniti i significati dei simboli presenti e le traduzioni delle voci in inglese. Per maggior chiarezza, le parti appartenenti al tabulato sono su sfondo grigio.

```

*****
*                                                                 *
*           Effective data computation                           *
*                                                                 *
*           EN 1993-1-3 and EN1993-1-5                          *
*                                                                 *
*           Castalia srl - Italy - www.castaliaweb.com           *
*****

```

Dopo l'intestazione, la prima parte del tabulato contiene una descrizione della **sezione lorda** e dei suoi lati. Sono riportati il nome della sezione, il numero di lati, le coordinate x_g e y_g del baricentro rispetto all'origine del sistema di riferimento, l'area totale, i momenti d'inerzia rispetto agli assi principali J_2 e J_3 (gli assi 2 e 3 sono rispettivamente gli assi y e z), i moduli di resistenza a flessione W_2 e W_3 e l'angolo di rotazione degli assi principali, espresso in gradi.

Per ogni lato (*element*) sono riportati i seguenti dati: numero identificativo, tipo (*straight* = rettilineo, *circular* = curvilineo), lo spessore (*thickness*), le coordinate del primo e del secondo estremo rispetto all'origine del sistema di riferimento (x_1 , y_1 e x_2 , y_2), i segmenti che devono essere sottratti al lato rettificato ai due estremi (*gr1* e *gr2*), la lunghezza del lato (*Len*), la lunghezza bP , i segmenti *gr*.

Infine sono riportati i dati relativi al materiale: la tensione di snervamento f_{yb} , la

tensione ultima f_u , il fattore di sicurezza γ_{M0} (*gamma*), il valore f_d pari a f_{yb}/γ_{M0} e il valore f_{ya} in accordo al paragrafo 3.2.2(3) dell'EN1993-1-3:2006.

Dato che il primo blocco di informazioni si riferisce alla sezione originaria lorda (**Gross cross-section**), senza eliminazione dei raccordi curvilinei, i gr sono sempre nulli, e la lunghezza bp coincide con quella del lato rettilineo originario.

Mentre b_p è la lunghezza da assumere ai fini del calcolo dei b/t, "b" è la lunghezza bp con sommate le parti gr eventualmente riaggiate, ovvero:

$$b = b_p + (1 - K_{gr})g_{r,1} + (1 - K_{gr})g_{r,2}$$

-	Gross cross-section description

Cross-section name: Omega cf	
Number of sides : 9	
xg= 53.500 mm yg= 46.794 mm Area= 3.902e+002 mm ²	
J2= 3.370e+005 mm ⁴ J3= 5.071e+005 mm ⁴ W2= 7.088e+003 mm ³ W3= 9.478e+003 mm ³ Angle	
principal axes (deg)= 0.000	
Cross-section side description	
Element # 1 - Straight element - Thickness= 1.500 mm	
x1 = 0.000 mm y1 = 0.000 mm	
x2 = 12.000 mm y2 = 0.000 mm	
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm	
b= 12.000 mm bP = 12.000 mm	
Element # 2 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm	
xs = 12.000 mm ys = 0.000 mm	
xe = 14.250 mm ye = 2.250 mm	
xc = 12.000 mm yc = 2.250 mm bet(deg)= 90.000	
Element # 3 - Straight element - Thickness= 1.500 mm	
x1 = 14.250 mm y1 = 2.250 mm	
x2 = 14.250 mm y2 = 76.250 mm	
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm	
b= 74.000 mm bP = 74.000 mm	
Element # 4 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm	
xs = 14.250 mm ys = 76.250 mm	
xe = 16.500 mm ye = 78.500 mm	
xc = 16.500 mm yc = 76.250 mm bet(deg)= -90.000	
Element # 5 - Straight element - Thickness= 1.500 mm	
x1 = 16.500 mm y1 = 78.500 mm	
x2 = 90.500 mm y2 = 78.500 mm	
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm	
b= 74.000 mm bP = 74.000 mm	
Element # 6 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm	
xs = 90.500 mm ys = 78.500 mm	
xe = 92.750 mm ye = 76.250 mm	
xc = 90.500 mm yc = 76.250 mm bet(deg)= -90.000	
Element # 7 - Straight element - Thickness= 1.500 mm	
x1 = 92.750 mm y1 = 76.250 mm	

```

x2 = 92.750 mm y2 = 2.250 mm
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm
b= 74.000 mm bP = 74.000 mm
Element # 8 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm
xs = 92.750 mm ys = 2.250 mm
xe = 95.000 mm ye = 0.000 mm
xc = 95.000 mm yc = 2.250 mm bet(deg)= 90.000
Element # 9 - Straight element - Thickness= 1.500 mm
x1 = 95.000 mm y1 = 0.000 mm
x2 = 107.000 mm y2 = 0.000 mm
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm
b= 12.000 mm bP = 12.000 mm

fyb = 235.00 MPa fu= 360.00 MPa gamma= 1.050 fd= 223.81 MPa
fya = 249.42 MPa

```

Seguono le impostazioni dell'utente:

- è indicato se è stato richiesto di eliminare i lati curvilinei con la conseguente modifica dei lati rettilinei (*circular elements will be deleted...*) oppure di considerarli (*circular elements will be considered as fully effective*);
- è indicato anche se si è richiesto di considerare le tensioni effettive (*real compression stress levels on side will be considered*) o di considerare i valori massimi (*maximum compression stress levels...*);
- è indicato se devono essere eseguite iterazioni sugli irrigidimenti (*perform modification ("iteration") for stiffeners*) oppure se ci si deve arrestare (*stop at first step when dealing with stiffeners (5.5.3.2.(3))*) in accordo al paragrafo citato dell'EN1993-1-3.
- è riportato il valore *kgr* definito dall'utente; se tale valore è uguale a 1 i segmenti gr non vengono riaggiunti, se è uguale a 0 si; sono possibili anche valori intermedi.

```
User's choice: circular elements will be deleted modifying straight element size
```

```
User's choice: maximum compression stress levels on side will be considered
```

```
User's choice: perform modification ("iteration") for stiffeners
```

```
User's choice: gr addition modification factor (kgr=1-> gr are removed, kgr=0-> gr are kept) kgr = 1.00
```

Analogamente alla parte di tabulato in cui è stata descritta la sezione lorda, nella parte seguente viene descritta la **sezione di calcolo**, con la stessa struttura di dati. Se sono stati eliminati i lati curvilinei, il numero di lati è inferiore rispetto alla sezione lorda iniziale e la loro lunghezza risulta maggiore per via della modifica dei lati stessi legata alla rimozione dei lati curvilinei (di conseguenza risultano diverse anche le coordinate degli estremi dei lati). Inoltre i gr saranno in generale diversi da zero e, in generale, b sarà diverso da bp (a meno che sia stato assunto $K_{gr}=1$).

```

-----
-   Computing section data (circular sides removed) -
-----

Cross-section name:  Omega cf
Number of sides :  5
xg=      53.500 mm  yg=      46.835 mm  Area=   3.881e+002 mm2
J2=  3.338e+005 mm4  J3=  5.038e+005 mm4  W2=  7.015e+003 mm3  W3=  9.417e+003 mm3  Angle
principal axes (deg)=      0.000

Cross-section side description

Element #    1 - Straight element - Thickness=      1.500 mm
      x1 =      0.000 mm  y1 =      0.000 mm
      x2 =     13.591 mm  y2 =      0.000 mm
      gr1=      0.000 mm  gr2=      0.659 mm
      b=     13.591 mm  bP =     13.591 mm
Element #    2 - Straight element - Thickness=      1.500 mm
      x1 =     14.250 mm  y1 =      0.659 mm
      x2 =     14.250 mm  y2 =     77.841 mm
      gr1=      0.659 mm  gr2=      0.659 mm
      b=     77.182 mm  bP =     77.182 mm
Element #    3 - Straight element - Thickness=      1.500 mm
      x1 =     14.909 mm  y1 =     78.500 mm
      x2 =     92.091 mm  y2 =     78.500 mm
      gr1=      0.659 mm  gr2=      0.659 mm
      b=     77.182 mm  bP =     77.182 mm
Element #    4 - Straight element - Thickness=      1.500 mm
      x1 =     92.750 mm  y1 =     77.841 mm
      x2 =     92.750 mm  y2 =      0.659 mm
      gr1=      0.659 mm  gr2=      0.659 mm
      b=     77.182 mm  bP =     77.182 mm
Element #    5 - Straight element - Thickness=      1.500 mm
      x1 =     93.409 mm  y1 =      0.000 mm
      x2 =    107.000 mm  y2 =      0.000 mm
      gr1=      0.659 mm  gr2=      0.000 mm
      b=     13.591 mm  bP =     13.591 mm

```

Nella sezione seguente sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo all'annesso C della EN-1993-1-3. La terminologia è la stessa dell'annesso, con la

differenza che qui gli assi sono x e y invece di y e z.

- la sezione è calcolata in accordo all'EN1993-1-3:2006, Annesso C
- i lati curvilinei, se presenti, sono divisi in segmenti rettilinei
- nome della sezione
- numero dei lati originali (*number of original sides*) e di quelli assunti come rettilinei (*assumed straight sides*)
- Area della sezione
- momenti statici $Sx0$ e $Sy0$ rispetto agli assi x e y
- momenti d'inerzia $Ix0$, $Iy0$ e $Ixy0$ rispetto agli assi x e y
- coordinate del baricentro xg , yg
- momenti d'inerzia rispetto al baricentro Ix , Iy e Ixy
- momenti d'inerzia rispetto agli assi principali $Icsi$ e $Ieta$
- l'angolo di rotazione α degli assi principali
- il valor medio di ω , *omega*, *mean*
- le costanti settoriali $Ixom0$, $Iyom0$, $Iomom0$
- le costanti settoriali $Ixom$, $Iyom$, $Iomom$
- la costante di ingobbamento Iw e la costante torsionale It
- le coordinate del centro di taglio xct e yct
- i valori $xs=xct-xg$ e $ys=yct-yg$
- i fattori di non simmetria xj e yj

```

-----
- General data of computing section -
-----

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: Omega cf
N os:          5 - number of original sides
N ass:         5 - number of assumed straight sides
Area:          3.881e+002 - area      mm^2

Sx0:           1.818e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.076e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.185e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           1.615e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:          9.724e+005      mm^4 - mixed second area moment (x,y)

```

xg:	5.350e+001	mm - gravity center x coordinate
yg:	4.684e+001	mm - gravity center y coordinate
Ix:	3.338e+005	mm ⁴ - second area moment (xg, yg)
Iy:	5.037e+005	mm ⁴ - second area moment (xg, yg)
Ixy:	1.852e-003	mm ⁴ - mixed second area moment (xg, yg)
Icsi:	5.037e+005	mm ⁴ - second area moment (principal axes)
Ieta:	3.338e+005	mm ⁴ - second area moment (principal axes)
alpha:	6.242e-007 (deg)	rotation angle of principal axes
omega,mean:	-3.595e+003	mm ² - omega mean
Ixom0:	-1.320e+008	mm ⁵ - sectorial constant
Iyom0:	-4.769e+007	mm ⁵ - sectorial constant
Iomom0:	1.276e+010	mm ⁶ - sectorial constant
Ixom:	-5.735e+007	mm ⁵ - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	1.766e+007	mm ⁵ - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	7.744e+009	mm ⁶ - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	2.808e+008	mm ⁶ - warping constant
It:	2.911e+002	mm ⁴ - torsional constant
xct:	5.291e+001	mm - shear center x coordinate
yct:	1.138e+002	mm - shear center y coordinate
xs:	-5.889e-001	mm - = xct - xg
ys:	6.700e+001	mm - = yct - yg
xj:	-5.889e-001	mm - non symmetry factor
yj:	7.945e+001	mm - non symmetry factor

Sono quindi riportate informazioni sugli irrigidimenti eventualmente presenti agli estremi e nel mezzo del profilo. *There is no starting / end / intermediate stiffener* significa che non ci sono, rispettivamente, irrigidimenti all'inizio del profilo, alla fine o nel mezzo. Se invece sono presenti degli irrigidimenti, viene indicato da quante pieghe sono composti: ad esempio, *starting stiffener has 1 edge fold* significa che l'irrigidimento iniziale ha una sola piega.

```

-----
-   Stiffeners   -
-----

Starting stiffener has 1 edge fold
End stiffener has 1 edge fold
There is no intermediate stiffener

```

Nella sezione seguente vengono riportati tutti i dati calcolati per ottenere l'area efficace a compressione. Per ciascuno dei lati (*elements*) della **sezione di calcolo** vengono fornite le seguenti informazioni:

numero identificativo del lato (#);

- se si tratta di un lato interno (*doubly supported element*) o terminale (*outstand element*);
- in quest'ultimo caso viene indicato quale estremo (*end*) è libero (*free*) e quale è collegato a un altro lato (*supported*);
- b è la larghezza del lato come già chiarito ($b = b_p + (1 - K_{gr})g_{r,1} + (1 - K_{gr})g_{r,2}$);
- $gr1$, $gr2$ e bP sono stati già descritti in precedenza;
- t è lo spessore del piatto;
- $bP:t$ è il rapporto tra bP e t ;
- le coordinate dei due estremi del lato ($x1$, $y1$ e $x2$, $y2$);
- i valori di tensione; σ_1 e σ_2 (*sigma1* e *sigma2*) sono stati definiti [nelle spiegazioni di base](#)^[25];
- k_σ (*Ksigma*) è il coefficiente di instabilità ([spiegazioni di base](#)^[25]);
- Λ_{p} è la snellezza relativa del piatto ([spiegazioni di base](#)^[25]);
- ρ è il fattore riduttivo dato in EN1993-1-5:2006 par. 4.4(2) ([spiegazioni di base](#)^[25]);
- χ (χ) è il fattore di riduzione per instabilità *del lato*;
- $\Lambda_{p,red}$ ([si vedano le spiegazioni di base](#)^[27]).
- viene indicato quindi se il lato è completamente o parzialmente reagente (*Fully / partially effective element*);
- è riportata la sua *area* reagente, che nel primo caso coincide con l'area totale di quel lato e nel secondo caso è inferiore;
- è riportato inoltre il valore *Area, kgr*, cioè la porzione d'area legata ai segmenti *gr* eventualmente riaggiunti;
- b_{eff} è la larghezza efficace ai due estremi (*end 1* ed *end 2*);
- *uneffective width* è la larghezza non efficace.

Sono riportate le seguenti informazioni sugli irrigidimenti:

- *Start / end stiffener is in tension* se l'irrigidimento iniziale/finale è teso;
- *start/end stiffener will be/will not be modified* significa invece che l'irrigidimento iniziale/finale sarà/non sarà modificato: significa che l'irrigidimento in questione è compresso e sarà modificato o meno in base al raggiungimento dell'instabilità;
- sono riportati anche i valori di A_s e I_s , rispettivamente l'area e il momento d'inerzia dell'irrigidimento che tende a sbandare;
- K è il ritegno offerto dalle altre parti, s, cr (σ_{cr}) la tensione elastica critica
- lam, s (λ_s) è la snellezza dell'irrigidimento.

```

-----
- Effective area due to compression -
-----

Element      #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=         0.00 mm  y1=         0.00 mm  x2=        13.59 mm  y2=         0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma= 0.50  Lambda,p= 0.45  Chi=        0.66  Lambda,p,red=        0.37  rho=        1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        14.25 mm  y1=         0.66 mm  x2=        14.25 mm  y2=        77.84 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa  stress ratio psi=        1.00
Ksigma= 4.00  Lambda,p= 0.91  rho=        0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        14.91 mm  y1=        78.50 mm  x2=        92.09 mm  y2=        78.50 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa  stress ratio psi=        1.00
Ksigma= 4.00  Lambda,p= 0.91  rho=        0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        92.75 mm  y1=        77.84 mm  x2=        92.75 mm  y2=         0.66 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa  stress ratio psi=        1.00
Ksigma= 4.00  Lambda,p= 0.91  rho=        0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06

```

```

x1=      93.41 mm  y1=      0.00 mm  x2=    107.00 mm  y2=      0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma= 0.50  Lambda,p= 0.45  Chi=    0.66  Lambda,p,red=    0.37  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2  (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Start stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.631 mm2  Is=1.152e+003 mm4  K=2.030e-001 N/mm2, s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi=0.66

End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.631 mm2  Is=1.152e+003 mm4  K=2.030e-001 N/mm2, s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi= 0.66

```

Con lo stesso schema visto per il calcolo dell'area efficace a compressione, vengono riportati i dati relativi al calcolo del modulo efficace di resistenza a momento flettente M2 positivo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a positive M2 -
-----

Element      #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      0.00 mm  y1=      0.00 mm  x2=    13.59 mm  y2=      0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma= 0.50  Lambda,p= 0.45  Chi=    0.79  Lambda,p,red=    0.40  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2  (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=    14.25 mm  y1=      0.66 mm  x2=    14.25 mm  y2=    77.84 mm
sigma1= -220.81 MPa  sigma2=  130.30 Mpa  stress ratio psi=  -0.59
Ksigma= 14.93  Lambda,p= 0.47  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2  (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=    14.91 mm  y1=    78.50 mm  x2=    92.09 mm  y2=    78.50 mm
sigma1=  133.29 MPa  sigma2=  133.29 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma= 0.00  Lambda,p= 0.00  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2  (Area,kgr= 0.000e+000 mm2)

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=    92.75 mm  y1=    77.84 mm  x2=    92.75 mm  y2=    0.66 mm
sigma1=  130.30 MPa  sigma2= -220.81 Mpa  stress ratio psi=  -0.59
Ksigma= 14.93  Lambda,p= 0.47  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2  (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=    93.41 mm  y1=      0.00 mm  x2=   107.00 mm  y2=      0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -223.81 Mpa
Ksigma= 0.50  Lambda,p= 0.45  Chi=    0.79  Lambda,p,red=    0.40  rho=    1.000

```

```

Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Start stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

```

Lo stesso viene fatto per il momento flettente M2 negativo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a negative M2 -
-----

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=         0.00 mm  y1=         0.00 mm  x2=        13.59 mm  y2=         0.00 mm
sigma1=    223.81 MPa  sigma2=    223.81 Mpa  stress ratio psi=         0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=        14.25 mm  y1=         0.66 mm  x2=        14.25 mm  y2=        77.84 mm
sigma1=    220.55 MPa  sigma2=   -161.59 Mpa  stress ratio psi=        -1.36
Ksigma= 33.44      Lambda,p= 0.31      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=        14.91 mm  y1=        78.50 mm  x2=        92.09 mm  y2=        78.50 mm
sigma1=   -164.85 MPa  sigma2=   -164.85 Mpa  stress ratio psi=         1.00
Ksigma= 4.00      Lambda,p= 0.91      rho=      0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
x1=        92.75 mm  y1=        77.84 mm  x2=        92.75 mm  y2=         0.66 mm
sigma1=   -161.59 MPa  sigma2=    220.55 Mpa  stress ratio psi=        -1.36
Ksigma= 33.44      Lambda,p= 0.31      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=        93.41 mm  y1=         0.00 mm  x2=       107.00 mm  y2=         0.00 mm
sigma1=    223.81 MPa  sigma2=    223.81 Mpa  stress ratio psi=         0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Start stiffener is in tension.
End stiffener is in tension.

```

Quindi per il momento flettente M3 positivo...

```

-----
-   Effective bending modulus due to a positive M3   -
-----

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
      b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
      x1=         0.00 mm  y1=         0.00 mm  x2=      13.59 mm  y2=         0.00 mm
      sigma1=  149.72 MPa  sigma2=   102.27 Mpa  stress ratio psi=         0.00
      Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=      1.000
      Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
      b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
      x1=      14.25 mm  y1=         0.66 mm  x2=      14.25 mm  y2=      77.84 mm
      sigma1=  100.29 MPa  sigma2=   137.63 Mpa  stress ratio psi=         0.00
      Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=      1.000
      Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #3 : doubly supported element
      b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
      x1=      14.91 mm  y1=      78.50 mm  x2=     92.09 mm  y2=      78.50 mm
      sigma1=  135.65 MPa  sigma2=  -133.79 Mpa  stress ratio psi=        -1.01
      Ksigma= 24.25      Lambda,p= 0.37      rho=      1.000
      Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #4 : doubly supported element
      b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t = 51.45
      x1=     92.75 mm  y1=      77.84 mm  x2=     92.75 mm  y2=         0.66 mm
      sigma1= -136.41 MPa  sigma2=  -173.74 Mpa  stress ratio psi=         0.79
      Ksigma= 4.47      Lambda,p= 0.86      rho=      0.883
      Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
      beff at end 1=35.827 mm -beff at end 2=32.351 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
      b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
      x1=     93.41 mm  y1=         0.00 mm  x2=    107.00 mm  y2=         0.00 mm
      sigma1= -176.36 MPa  sigma2=  -223.81 Mpa
      Ksigma= 0.50      Lambda,p= 0.45      Chi=      0.65      Lambda,p,red=      0.37      rho=      1.000
      Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Start stiffener is in tension.
End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.816 mm² Is=1.152e+003 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65

```

E per il momento flettente M3 negativo.

```

-----
-   Effective bending modulus due to a negative M3   -
-----

```

```

Element      #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=         0.00 mm  y1=         0.00 mm  x2=        13.59 mm  y2=         0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2= -176.36 Mpa
Ksigma= 0.50  Lambda,p= 0.45  Chi=        0.65  Lambda,p,red=        0.37  rho=        1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        14.25 mm  y1=         0.66 mm  x2=        14.25 mm  y2=       77.84 mm
sigma1= -173.74 MPa  sigma2= -136.41 Mpa  stress ratio psi=        0.79
Ksigma= 4.47  Lambda,p= 0.86  rho=        0.883
Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.351 mm -beff at end 2=35.827 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        14.91 mm  y1=       78.50 mm  x2=        92.09 mm  y2=       78.50 mm
sigma1= -133.79 MPa  sigma2=  135.65 Mpa  stress ratio psi=       -1.01
Ksigma= 24.25  Lambda,p= 0.37  rho=        1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =        51.45
x1=        92.75 mm  y1=       77.84 mm  x2=        92.75 mm  y2=         0.66 mm
sigma1=  137.63 MPa  sigma2=  100.29 Mpa  stress ratio psi=         0.00
Ksigma= 0.00  Lambda,p= 0.00  rho=        1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=       93.41 mm  y1=         0.00 mm  x2=       107.00 mm  y2=         0.00 mm
sigma1=  102.27 MPa  sigma2=  149.72 Mpa  stress ratio psi=         0.00
Ksigma= 0.00  Lambda,p= 0.00  rho=        1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Start stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.816 mm² Is=1.152e+003 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65

End stiffener is in tension.

```

Viene riportata la classe calcolata per la sezione in esame.

```
The cross-section is in class 4
```

Infine, vengono riepilogati i valori salienti della sezione: l'area efficace A_{eff} , gli shift della sezione efficace lungo gli assi principali (e_{N2} , e_{N3}), i moduli di resistenza positivo e negativo della sezione efficace per flessione attorno all'asse 2 (W_{eff2p} e W_{eff2m}) e i corrispondenti valori rispetto all'asse 3 (W_{eff3p} e W_{eff3m}).

```

Aeff      : effective area
eN2       : shift of effective section center along axis 2

```

eN3	: shift of effective section center along axis 3
Weff2p	: effective modulus for positive bending M2
Weff2m	: effective modulus for negative bending M2
Weff3p	: effective modulus for positive bending M3
Weff3m	: effective modulus for negative bending M3

Aeff= 2.927e+002 mm ² eN2= 0.000e+000 mm - eN3= 4.278e+000 mm	
Weff2p= 6.006e+003 mm ³	- Weff2m= 6.941e+003 mm ³
Weff3p= 6.830e+003 mm ³	- Weff3m= 6.830e+003 mm ³

4.3 Usare il Menu Informazioni

Guida

Utilizzare questo comando per visualizzare la schermata iniziale della guida. Da questa schermata è possibile passare alle istruzioni dettagliate per l'utilizzo di **CLASS4** e a diversi tipi di informazioni di riferimento. Il comando può essere eseguito anche premendo il bottone  e cliccando su l'interfaccia in un punto.

Informazioni su CLASS4

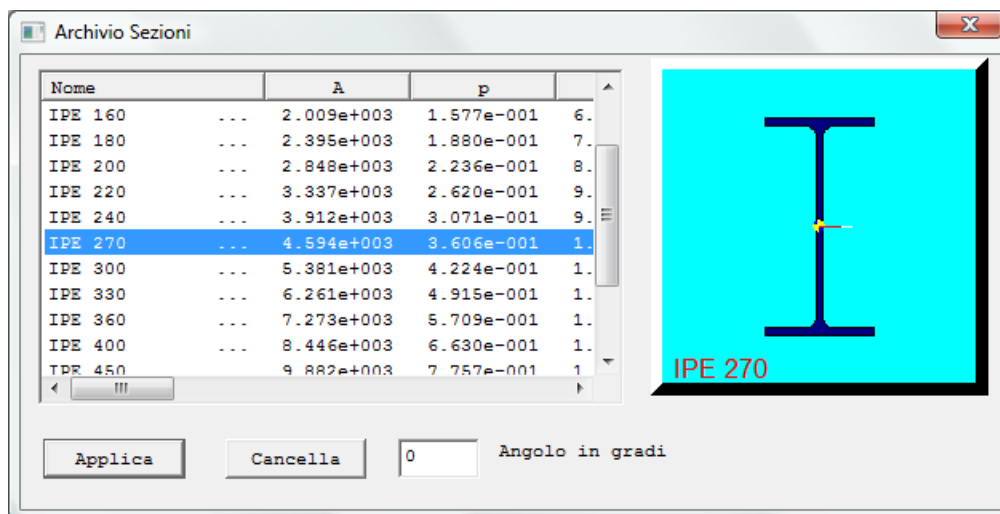
Utilizzare questo comando per visualizzare le note di copyright e il numero di versione della copia del programma. Il comando può essere eseguito anche premendo il bottone .

Parte



5 Dialoghi

5.1 Dialogo: archivio sezioni



Questo dialogo è usato per scorrere le sezioni disponibili per il tipo di profilo standard scelto, scegliendo quella desiderata. Per scegliere un profilo lo si seleziona e si clicca *Applica*, oppure si esegue un doppio click direttamente sul profilo desiderato.

5.2 Dialogo: sezioni laminate ad H

Sezioni laminate ad H

H
 B
 a
 e
 r

H generico

Nome:

Links - Informazioni lunghezze limite

Short: Intermediate: Long:

Classi tipiche secondo EC3

	S235	S275	S355	S420
N	1	1	1	1
M2	1	1	1	1
M3	1	1	1	1

Valori efficaci...

9043.3632 A 57.735027 it
 144207792 J2 961385.25 w2
 20058054 J3 200580.54 w3
 698014.75 Jt 1082070.1 wpl2
 126.27848 i2 309998.21 wpl3
 47.095500 i3 1345.6636 U
 1.8086726 X2 3.0144543 X3

Questo dialogo consente di definire le quote di una laminata ad H generica e di studiarne le proprietà. Nel caso di profili standard HEA, HEB, HEM e IPE le quote non sono modificabili.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

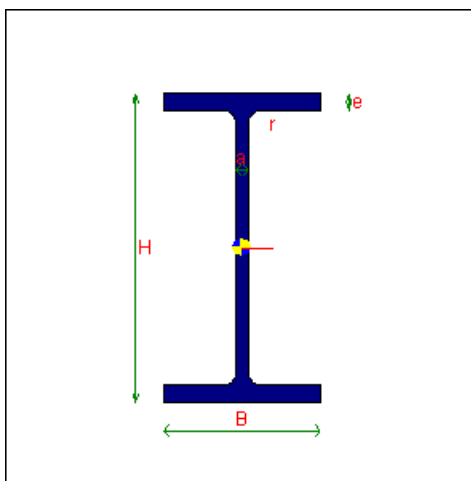
Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#) ¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Sono presenti anche informazioni relative alle lunghezze limite per i links corti e

intermedi in accordo a quanto specificato nell'Eurocodice 8 e alle classi tipiche secondo EC3.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq 2e + 2r$
- * $b \geq 2e + 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y . Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia torsionale
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.3 Dialogo: sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H

Sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H

Input fields (left):

- H: 200
- B: 200
- a: 10
- e: 15
- r: 15
- yg: 154.888519287109
- Nome: THSM

Diagram (center):

Diagram of a T-section with dimensions: B (flange width), H (web height), a (flange thickness), e (web thickness), r (fillet radius), and y_g (centroidal distance).

Calculated properties (right):

4946.5708	A	57.735027	it
16847202	J2	108769.85	W2
10022905	J3	100229.04	W3
286666.65	Jt	191971.87	Wpl2
58.359531	i2	152513.96	Wpl3
45.013698	i3	767.12390	U
1.9786282	x2	2.9679424	x3

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel, Valori efficaci...

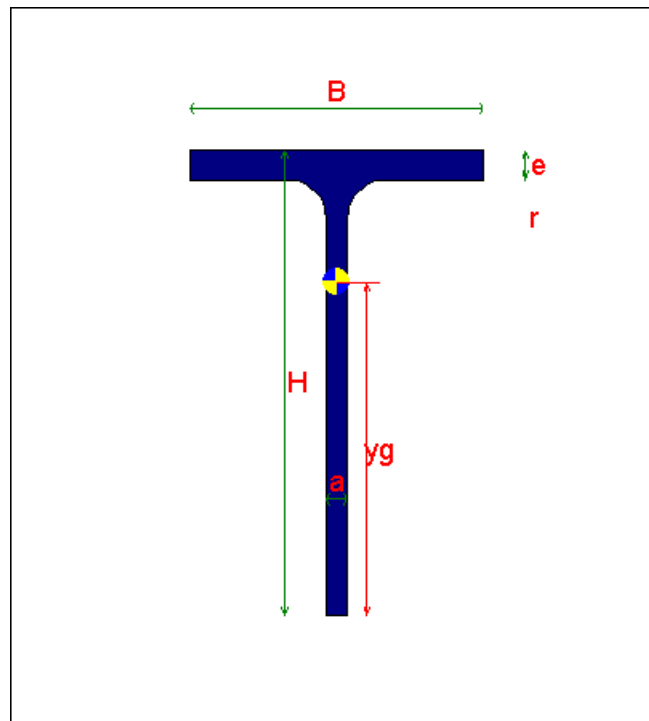
Questo dialogo consente di definire le quote di una laminata a T ottenuta per taglio di sezioni ad H e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq e+r$
- * $b \geq 2e+2r$

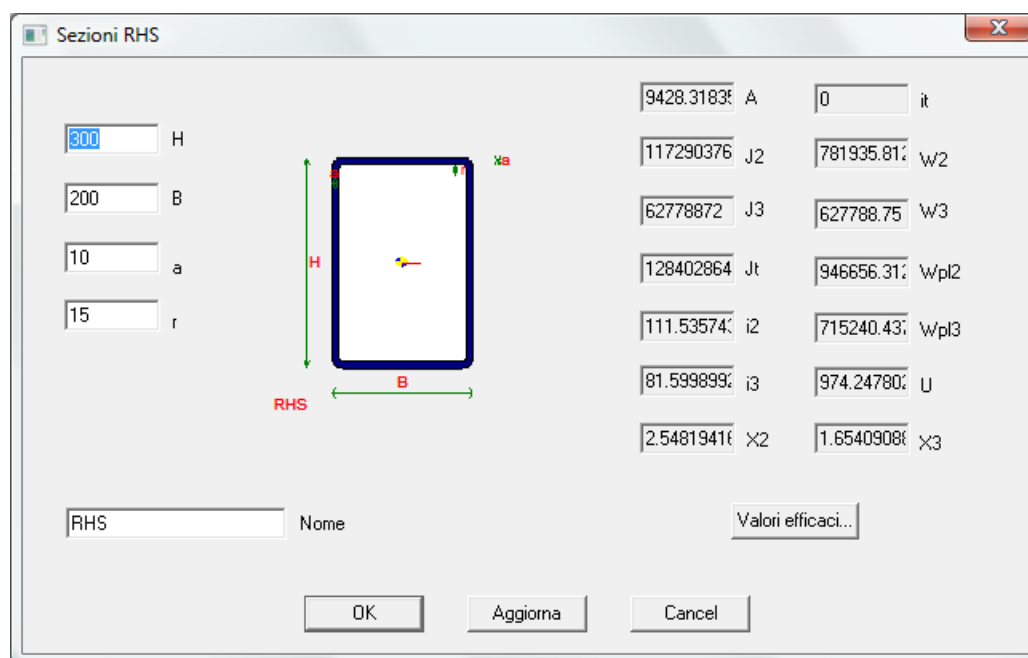
Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.4 Dialogo: sezioni RHS



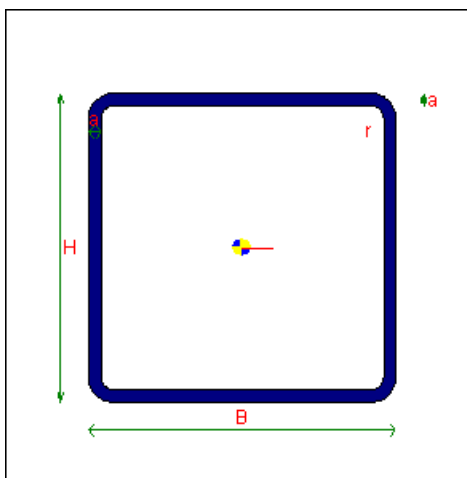
Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione RHS e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore
r	raggio esterno di curvatura

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $r \geq a$
- * $h \geq 2r$
- * $b \geq 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento d'inerzia torsionale
i2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
it	raggio d'inerzia
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.5 Dialogo: sezioni saldate ad H

Sezioni saldate ad H

Input fields (left):
 H: 100
 B: 100
 C: 150
 a: 10
 e: 15
 i: 10
 ey: 48.5

Diagram: H-section with dimensions B, C, H, a, e, i, ey.

Output fields (right):
 A: 3750
 J2: 6135312.5
 J3: 4068750
 Jt: 191666.67
 i2: 40.448528
 i3: 32.939338
 U: 680
 X2: 1.5
 X3: 3.75
 W2: 119132.28
 W3: 54250
 Wpl2: 145312.5
 Wpl3: 95625

Nome: H saldato

☐ Escludi piatto superiore dal computo dell'area

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel

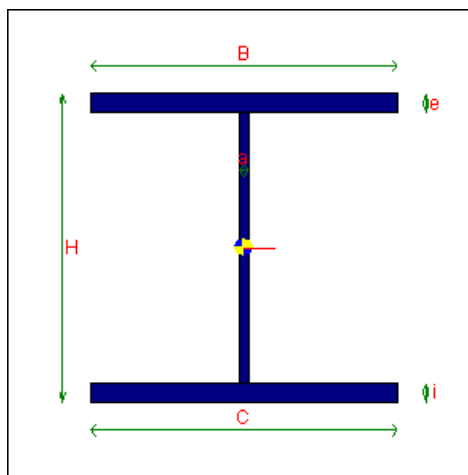
Valori efficaci...

Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione ad H e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza **ey** del baricentro dal bordo esterno inferiore della sezione.

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala superiore
c	larghezza dell'ala inferiore
a	spessore dell'anima
e	spessore dell'ala superiore
i	spessore dell'ala inferiore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq e+i$
- * $b \geq a$
- * $c \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y . Nella figura

sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento d'inerzia torsionale
i2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
it	raggio d'inerzia
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.6 Dialogo: sezioni saldate a U

3700	A	28.867513	it
5760833.5	J2	115216.67	W2
3655157	J3	62466.886	W3
248333.32	Jt	139750	Wpl2
39.458610	i2	102416.66	Wpl3
31.430562	i3	580	U
1.4800000	X2	3.7000000	X3

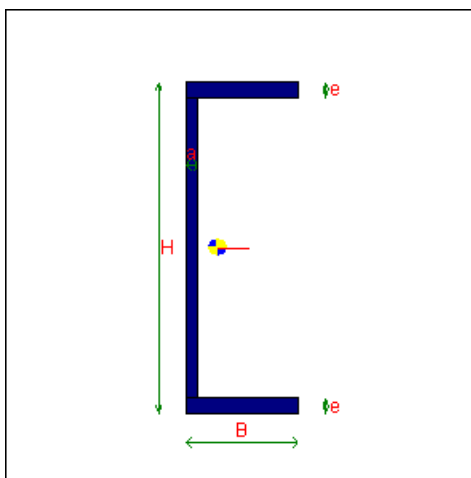
Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione ad U e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $h \geq 2e$
- * $b \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento d'inerzia torsionale
i2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
it	raggio d'inerzia
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.7 Dialogo: sezioni saldate a T

Sezioni saldate a T

Input fields:

- H: 100
- B: 100
- a: 10
- e: 15

Diagram of a T-section with dimensions H, B, a, and e. The section is labeled 'T saldato'.

Calculated properties:

2350	A	28.867513	it
1896278.7	J2	25482.515	W2
1257083.3	J3	25141.667	W3
140833.32	Jt	46318.75	Wpl2
28.406463	i2	39625	Wpl3
23.128534	i3	400	U
1.8799999	X2	2.8199999	X3

Nome: T saldato

Valori efficaci...

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel

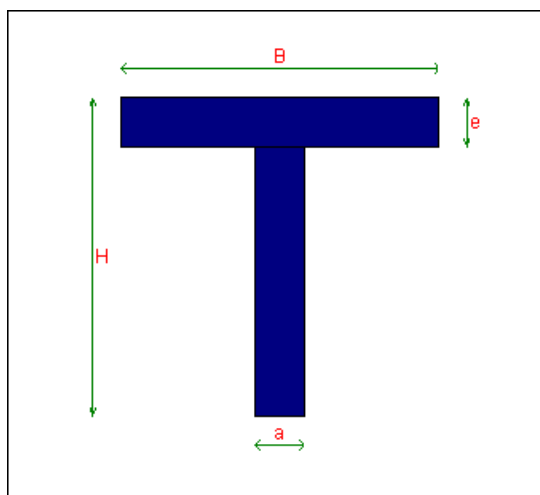
Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione a T e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza **ey** dal bordo inferiore della sezione.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#) ¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore dell'anima
e	spessore dell' ala

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;

- * $b \geq a$
- * $h \geq e$

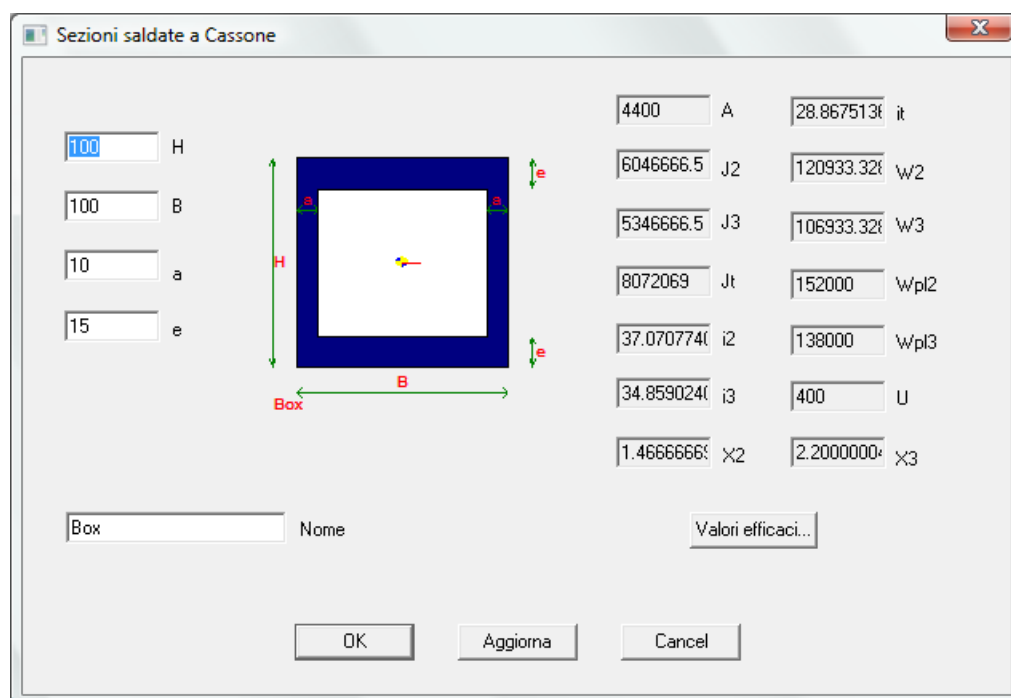
Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y . Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.8 Dialogo: sezioni saldate a cassone



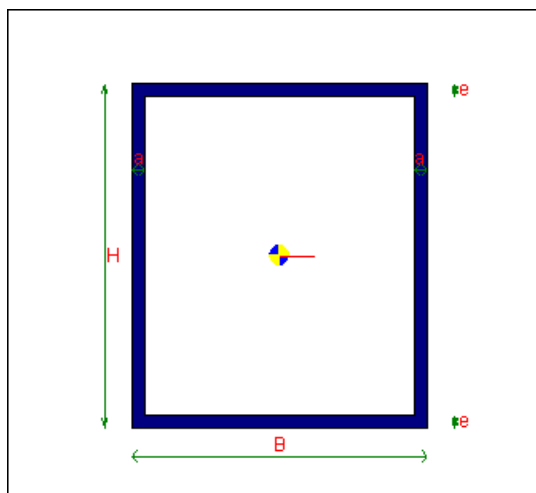
Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione a cassone e di studiarne le proprietà.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **Valori efficaci** rimanda al [dialogo](#) ¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore delle anime
e	spessore dei piatti orizzontali

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- * $b \geq 2a$
- * $h \geq 2e$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento d'inerzia torsionale
i2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
it	raggio d'inerzia
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.9 Dialogo: sezioni a U (formate a freddo)

Sezioni a U (formate a freddo)

H
 B
 D
 t
 r
 ex

Nome

A
 J2
 J3
 Jt
 i2
 i3
 X2
 x,CT
 Iw

it
 W2
 W3
 Wpl2
 Wpl3
 U
 X3
 y,CT

Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione a C (formata a freddo) e di studiarne le proprietà.

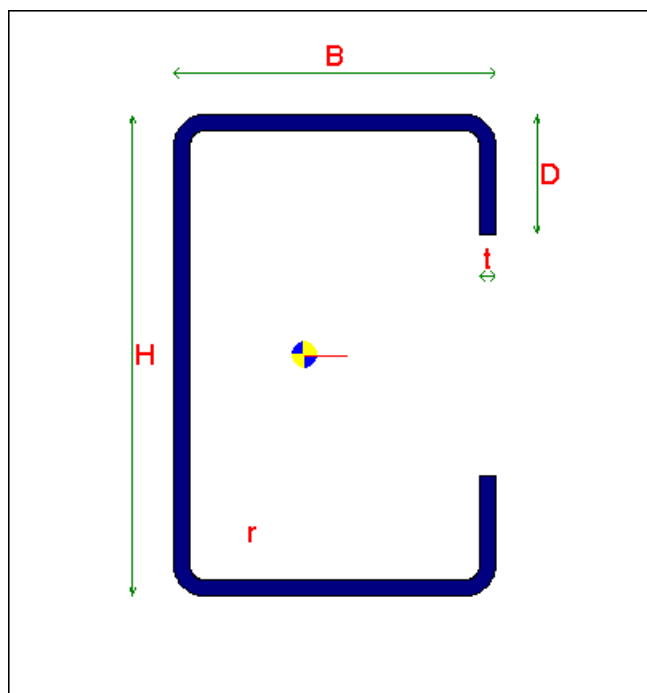
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3, presenti anche nel [tabulato](#)⁶⁷.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- | | |
|---|--------------------------------|
| H | altezza totale (fuori tutto) |
| B | larghezza totale (fuori tutto) |

D	lunghezza totale dell'irrigidimento (può essere nulla)
r	raggio di curvatura interno (può essere nullo)
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un C senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $H > 2D$
- * $B > 2t + 2r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3

- it raggio d'inerzia
- W2 modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
- W3 modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
- Wpl2 modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
- Wpl3 modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
- U superficie di verniciatura

5.10 Dialogo: sezioni a L (formate a freddo)

The dialog box 'Sezioni a L (formate a freddo)' is used for defining the dimensions and properties of an L-section. It features a central diagram of the L-section with dimensions labeled: H (height), B (width), D (thickness), t (flange thickness), and r (radius). To the left of the diagram are input fields for dimensions and moments of inertia. To the right are input fields for section properties. At the bottom are buttons for 'OK', 'Aggiorna', 'Cancel', and 'EN1993-1-3...'. A checkbox 'Calcola W plastici' is also present.

Parameter	Value	Parameter	Value
H	120	A	1010.6193
B	70	J2	1892061.1
D	20	J3	322153
t	5	Jt	8421.8291
r	7.5	i2	43.268692
Jx	1712496.5	i3	17.854072
Jy	501717.65	X2	0
ix	41.164329	x,CT	-1.7295353
iy	22.281061	y,CT	2.6590610
Jxy	-499656.43	Iw	100924401
ex	43.512161	Angolo assi princ.	19.7672316939137
ey	17.981292	Calcola W plastici	☐

Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione ad L (formata a freddo) e di studiarne le proprietà.

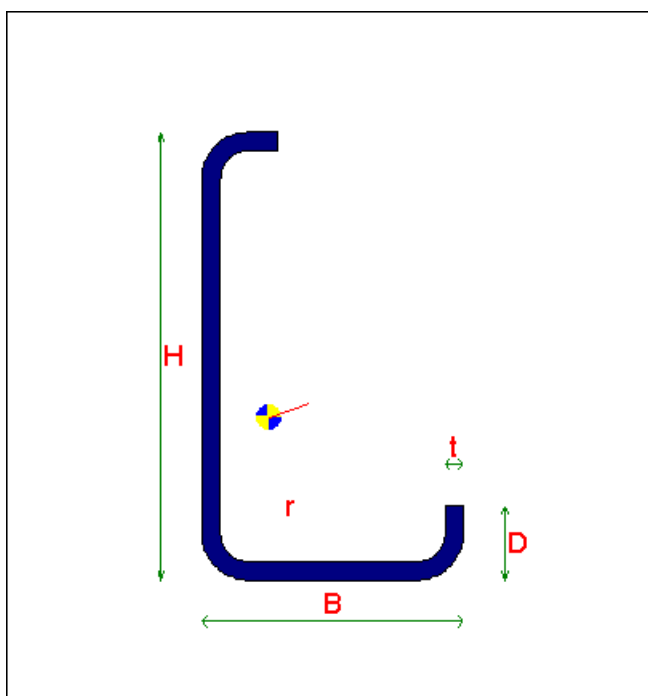
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3, presenti anche nel [tabulato](#)⁶⁷.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento (può essere nulla)
r	raggio di curvatura interno (può essere nullo)
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere

nulla, dando luogo a un L senza irrigidimento, e r che può essere nullo;

- * $H > t+r$
- * $H > D$
- * $B > D$
- * $B > t+r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.11 Dialogo: sezioni a Z (formate a freddo)

Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione a Z (formata a freddo) e di studiarne le proprietà.

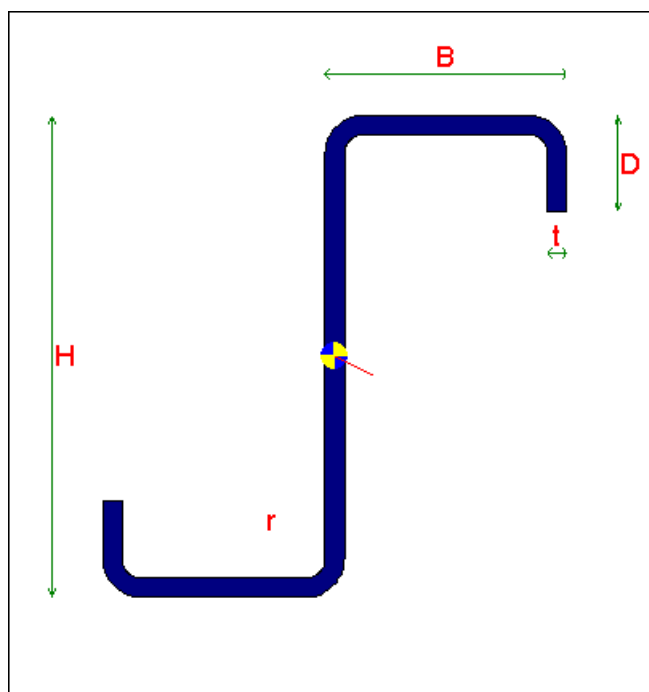
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3, presenti anche nel [tabulato](#)⁶⁷.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento (può essere nulla)
r	raggio di curvatura interno (può essere nullo)
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un Z senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $H > 2D$
- * $B > t + r$
- * $D \geq 0$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.12 Dialogo: sezioni a Omega (formate a freddo)

165.20574	A	0	it
16126.427	J2	1188.6639	w2
61586.050	J3	1838.3895	w3
123.90431	Jt	1506.4951	wpl2
9.8799896	i2	2927.7958	wpl3
19.307613	i3	34.068584	U
2.7534291	x2	2.2027432	x3
33.500000	x,CT	32.873533	y,CT
2270105.9	Iw	Dettagli...	
EN1993-1-3...			

Questo dialogo consente di definire le quote di una sezione ad Ω (formata a freddo) e di studiarne le proprietà.

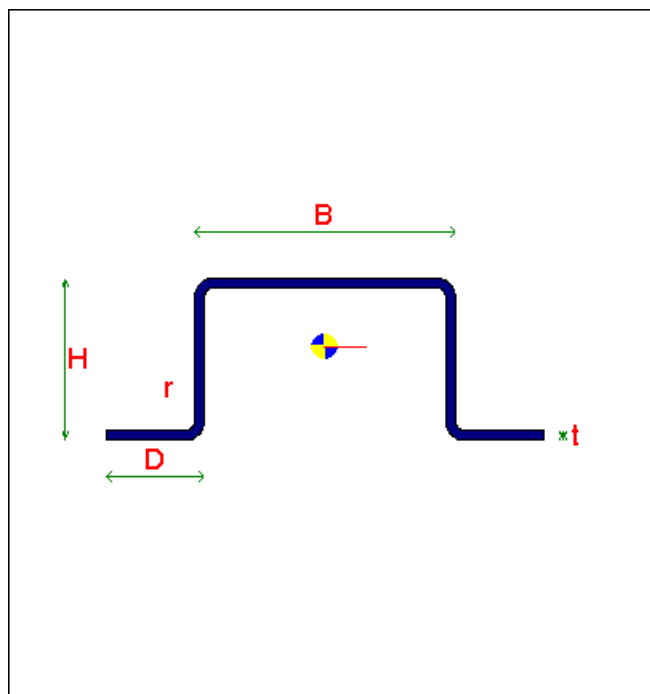
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda al [dialogo](#)¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3, presenti anche nel [tabulato](#)⁶⁷.

Quote



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale superiore (fuori tutto)
D	larghezza totale delle pieghe inferiori
r	raggio di curvatura interno (può essere nullo)
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- * tutte le quote devono essere maggiori di 0, ad eccezione di r che può essere nullo;
- * $H > 2t + 2r$
- * $B > 2t + 2r$
- * $B > t + r$
- * $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

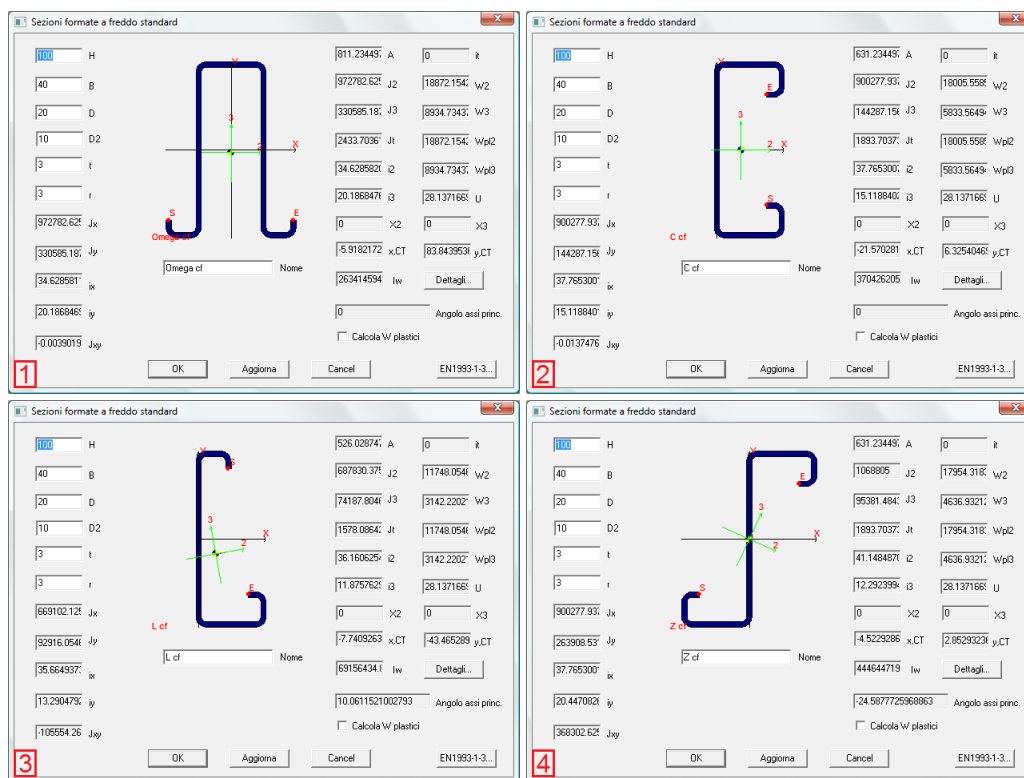
Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y . Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.13 Dialogo: sezioni formate a freddo standard

Questo dialogo è comune a quattro diverse forme sezionali e si presenta in uno dei quattro aspetti mostrati nell'immagine seguente, in base al tipo di profilo scelto nell'interfaccia principale. Si tratta di profili a Omega, a U, a L e a Z con ulteriori irrigidimenti.



Il dialogo consente di definire le quote di una sezione formata a freddo del tipo scelto e di studiarne le proprietà.

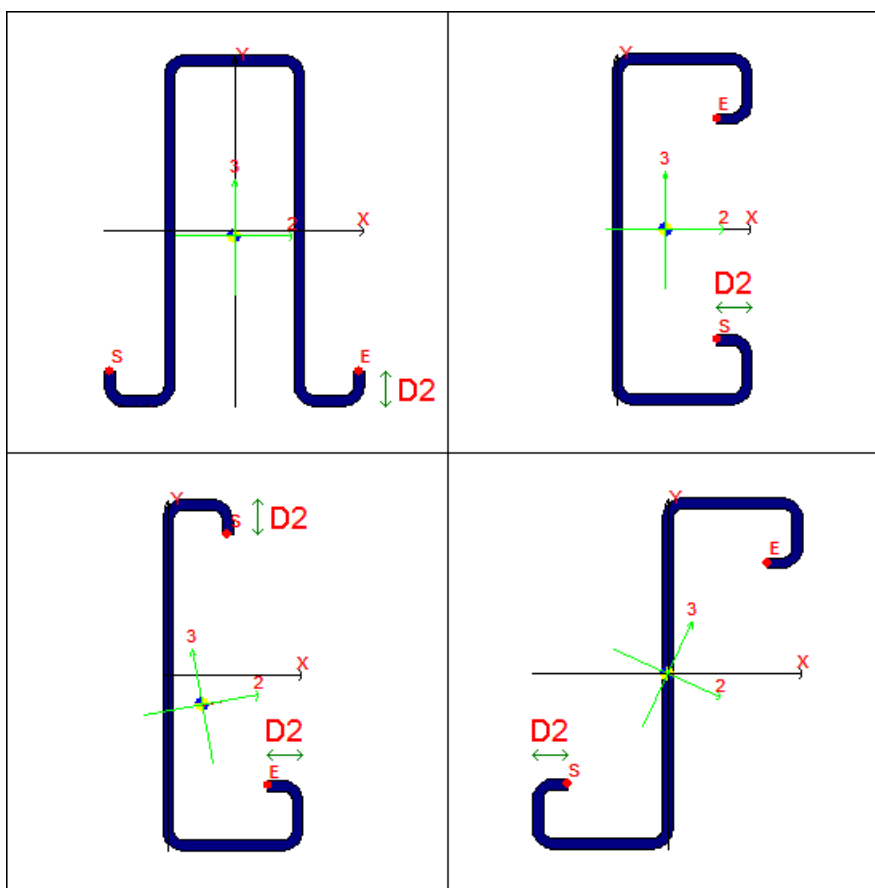
A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda al [dialogo](#) ¹¹² in cui si calcolano le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3, presenti anche nel [tabulato](#) ⁶⁷.

Quote



I quattro profili hanno le stesse quote dei profili corrispondenti senza gli ulteriori irrigidimenti, alla descrizione delle quali si rimanda:

[Sezioni a Omega formate a freddo](#)  107

[Sezioni a U formate a freddo](#)  99

[Sezioni a L formate a freddo](#)  102

[Sezioni a Z formate a freddo](#)  105

Inoltre questi profili hanno una quota ulteriore per gli irrigidimenti aggiuntivi:

D2 lunghezza totale delle pieghe aggiuntive

Assi principali di inerzia e proprietà della sezione lorda

Gli assi principali y e z della sezione sono chiamati rispettivamente 2 e 3. Il momento d'inerzia J_2 è quindi il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse y. Nella figura sono rappresentati il baricentro e l'asse principale 2 (y); l'asse 3 (z) è perpendicolare all'asse 2.

A	area totale
J_2	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2
J_3	momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3
J_t	momento d'inerzia torsionale
i_2	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 2
i_3	raggio d'inerzia rispetto all'asse principale 3
X_2	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 2
X_3	fattore di taglio per taglio parallelo all'asse 3
i_t	raggio d'inerzia
W_2	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_3	modulo elastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
W_{pl2}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 2
W_{pl3}	modulo plastico di resistenza per flessioni attorno all'asse 3
U	superficie di verniciatura

5.14 Dialogo: calcolo sezioni efficaci

Questo dialogo permette di calcolare le caratteristiche efficaci del profilo secondo EN1993-1-3 ed EN1993-1-5. Il suo aspetto presenta delle differenze a seconda che si tratti di un profilo formato a freddo o di un altro tipo di sezione, ma la struttura è sempre la stessa.

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235 F_y (MPa) 360 F_u (MPa)

1.05 Gamma, M0

Selezionare i lati appartenenti a irrigidimenti

☒ STRAIGHT Len= 12.000 mm t= 1.500 mm

☒ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 34.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

Modalità di calcolo

☒ Elimina i raccordi curvilinei (EN1993-1-3 § 5.1)

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

☒ Determina tensione di snervamento modificata per le pieghe

☒ Itera sugli irrigidimenti (opzionale secondo 5.5.3.2.(3))

1 K_{gr} (verranno tolte parti di lunghezza $K_{gr} * gr$)

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm², mm³)

0 A_{eff} 0 $eN2$ 0 $eN3$

0 $W2_{eff,+}$ 0 $W2_{eff,-}$

0 $W3_{eff,+}$ 0 $W3_{eff,-}$

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N Sezione calcolo

M2m M2p

M3m M3p

Omega cf

Copia Stampa

OK Cancel

Esempio: profilo formato a freddo

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235 Fy (MPa) 360 Fu (MPa)

1.05 Gamma, M0

Modalità di calcolo

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

1 K_{gr} (verranno tolte parti di lunghezza K_{gr} * gr)

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm², mm³)

0 Aeff 0 eN2 0 eN3

0 W2eff,+ 0 W2,eff,-

0 W3eff,+ 0 W3,eff,-

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N Sezione calcolo

M2m M2p

M3m M3p

T saldato

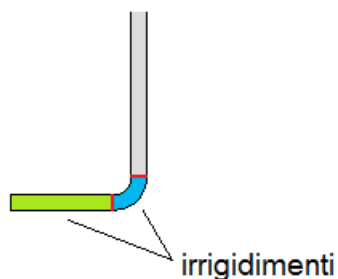
Copia Stampa

OK Cancel

Esempio: profilo non formato a freddo

Dati di calcolo

In questa sezione vanno indicate le proprietà del materiale (F_y , F_u e Γ , M_0), che sono già inizializzati in base alle scelte fatte nell'interfaccia principale ma possono anche essere modificate. Nella lista dei lati del profilo, *presente solo nel caso dei formati a freddo*, vanno spuntati i lati che costituiscono irrigidimenti per altri lati: devono essere spuntati sia i lati rettilinei che costituiscono irrigidimenti che i tratti curvilinei a essi adiacenti.

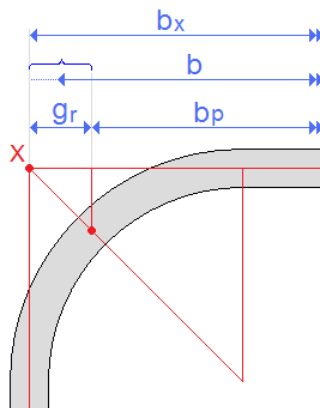


Modalità di calcolo

In questa sezione, *per i soli formati a freddo* si sceglie se trascurare i raccordi curvilinei (in accordo al paragrafo 5.1 della norma) e se si vuole che venga determinata una tensione di riferimento modificata per le pieghe (incrudimento). *Per tutti i profili* va indicato se si vuole usare il [livello effettivo delle tensioni](#)^[36] (se si spunta questa opzione, un lato che ad esempio è compresso, ma con un valore di compressione σ_1 minore di f_y , non viene calcolato usando λ_p , ma $\lambda_{p,red}$: si vedano le [spiegazioni di base](#)^[27]). *Per i soli formati a freddo*, si può richiedere che venga determinata una tensione modificata per le pieghe; si stabilisce inoltre se si vuole che quando un irrigidimento si instabilizza vengano eseguite delle [iterazioni](#)^[37] per ricalcolare la porzione efficace oppure si vuole che ci si arresti, in accordo al paragrafo 5.5.3.2(3) dell'EN1993-1-3; infine si determina il valore di k_{gr} , di default pari a 1: questo parametro serve a determinare la [lunghezza](#)^[39] dei lati nel caso si sia scelto di adottare un'area di calcolo rettificata, eliminando i raccordi; la lunghezza b_p del lato è pari a $b_x - g_r$, dove b_x è la lunghezza del lato ottenuto allungando ciascun asse fino alle intersezioni con i due lati adiacenti, dopo la rimozione dei lati curvilinei. Si ha:

$$b_p = b_x - g_{r,1} - g_{r,2}$$

$$b = b_p + (1 - k_{gr})g_{r,1} + (1 - k_{gr})g_{r,2}$$



Si può cambiare la cartella di destinazione del tabulato creato dal programma (cartella di output). Di default è proposta la cartella c:.

Calcola!

Cliccando il bottone *Calcola!* viene eseguito il calcolo delle caratteristiche efficaci secondo normativa. Se vi sono requisiti di normativa non soddisfatti (ad esempio un irrigidimento troppo lungo) si viene informati di ciò tramite un messaggio. Al termine del calcolo viene chiesto se aprire automaticamente il tabulato.

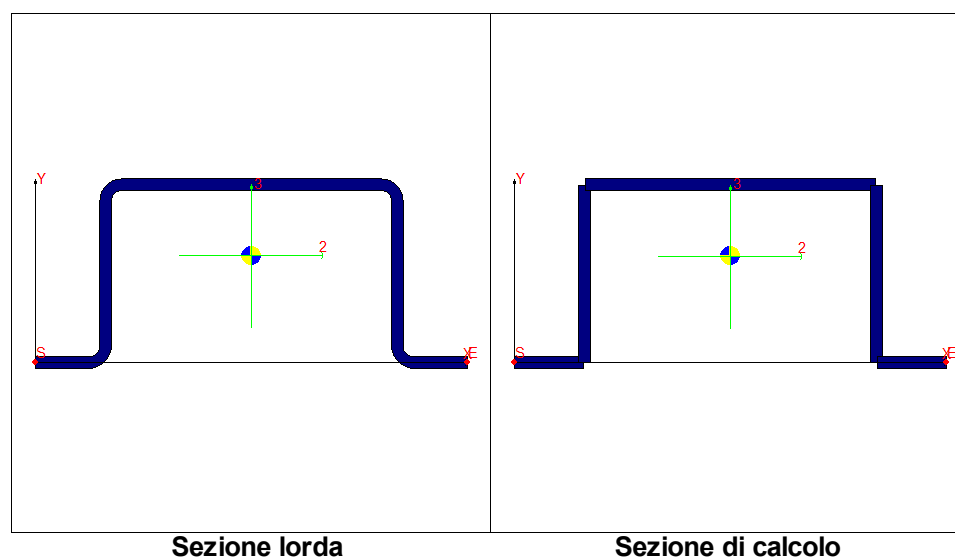
Dati di output e immagine

Dopo aver eseguito il calcolo, cliccando i bottoni in **Disegno sezione** è possibile visualizzare le seguenti immagini:

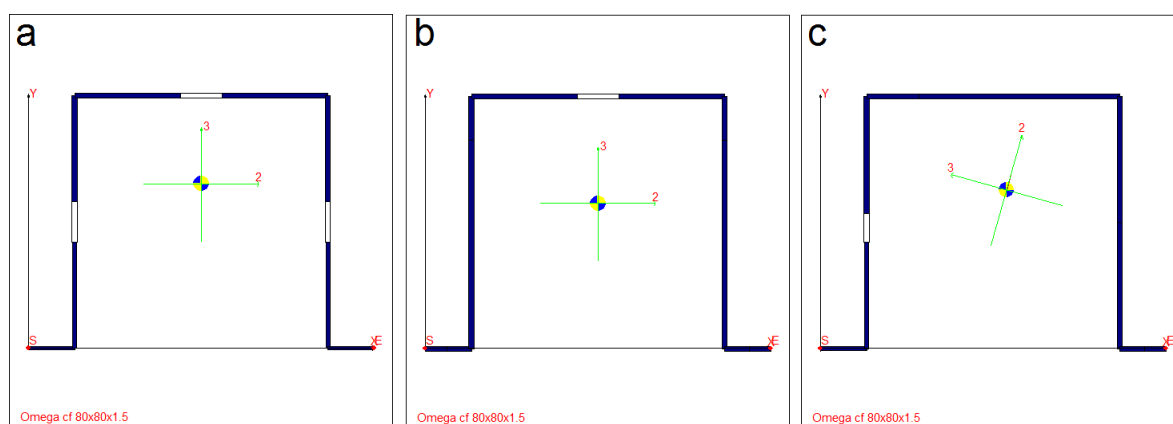
- *Profilo*: viene mostrato il profilo lordo (default, non è necessario aver eseguito il calcolo).
- *Sezione calcolo*: la sezione utilizzata per il calcolo, che può coincidere o meno con quella lorda.
- *N, M2p, M2m, M3p, M3m*: rispettivamente, le sezioni efficaci per azione assiale, per momento flettente attorno all'asse due positivo e negativo, per momento flettente attorno all'asse 3 positivo e negativo.

L'immagine corrente può essere stampata o copiata negli appunti e incollata in relazioni, documenti, ecc.

Nella figura seguente vengono mostrati un profilo lordo (formato a freddo) e la sezione di calcolo con i raccordi curvilinei non considerati.



Di seguito sono riportate tre immagini che mostrano le sezioni efficaci calcolate da CLASS4 in un profilo formato a freddo per le condizioni di azione assiale (a), momento flettente M2 positivo (b) e momento flettente M3 negativo (c).



In bianco le zone non reagenti

Note:

- Per i profili rettangolari cavi laminati (RHS) i raccordi curvilinei sono sempre considerati.
- Per i profili laminati ad H e a T i raccordi curvilinei sono sostituiti nella sezione di calcolo da tratti rettangolari.

- Se per una determinata azione la sezione di calcolo con raccordi curvilinei trascurati reagisce completamente, viene utilizzato il corrispondente valore lordo della sezione originaria, non di quella di calcolo.

Parte

VI

6 Validazione

6.1 Validazione

CLASS4 è stato sottoposto ad accurati controlli. Qui di seguito si danno alcuni risultati ottenuto per confronto con dati pubblicati.

Si fa rilevare che **CLASS4** funziona secondo un metodo generale, valido per profili di forma generica. Esistono numerose possibili interpretazioni del dettato normativo, e quindi il raffronto deve essere fatto tenendo in conto che errori di alcuni punti percentuali sono da considerarsi accettabili e dovuti alle diverse possibili attuazioni dell'algoritmo iterativo stesso (ad esempio se usare o meno la riduzione della snellezza adimensionale causata dal fatto di non avere una massima compressione, sul lato, pari allo snervamento, oppure l'effetto legato alla presenza del fattore di materiale γ_M , o, ancora, il differente modo con il quale si può tener conto dei raccordi curvilinei, o se fare o meno le iterazioni o limitarsi alla prima approssimazione, o se tenere conto o meno della rotazione degli assi principali di inerzia della sezione efficace - il metodo usato da **CLASS4** ne tiene conto - e così via).

Gli errori percentuali sulla distanza tra baricentro della sezione lorda e baricentro di quella efficace hanno un modesto significato ingegneristico dato che ciò che rileva, in questo caso, è la differenza assoluta. Essi sono probabilmente dovuti ad una certa ambiguità nella parte della norma che si riferisce al calcolo della efficacia degli irrigidimenti ed al loro eventuale depauperamento (in termini di ridotto spessore) per tener conto del fenomeno del distorsional buckling.

I risultati trovati indicano differenze nei valori raffrontati percentualmente molto inferiori agli errori commessi dal metodo di calcolo stesso ed indicano che **CLASS4** è un programma affidabile. Se e quando i normatori, in specie in sede europea, saranno in grado di produrre una normativa univocamente applicabile, e documenti di esempio che siano privi di errori ed incoerenze, **CLASS4** ne vorrà tenere conto: sino ad allora

CLASS4 va considerato come una delle possibili interpretazioni del dettato normativo, si intende, corroborata da circa venti anni di lavoro in questo settore e da solide considerazioni teoriche e numeriche, tutte attentamente valutate. Nonostante vi siano incertezze, la implementazione di **CLASS4** ha richiesto anni di studio e di lavoro: in nessun modo si tratta di un programma improvvisato.

Si tenga presente che il volume ECCS (European Convention for Constructional Steelwork) [\[10\]](#)^[136] al quale si farà riferimento nel seguito come una delle fonti per i raffronti, contiene 12 esempi in circa 240 pagine, ovvero circa 20 pagine ad esempio: ciò dà una idea della laboriosità dei calcoli da eseguire.

Sempre nel medesimo volume, vengono raffrontati (a pag. 139) i risultati in termini di portata in compressione ottenuti mediante due diversi metodi, entrambi possibili (EN 1993-1-3 §5.5 e §6.1 oppure EN 1993-1-3 Allegato D) ottenendo differenze comprese tra il 23 ed il 27%. Ciò dà una idea del fatto che i metodi di calcolo relativi ai profili formati a freddo sono tutti affetti da incertezze ed errori. Ad ulteriore riprova, nel lavoro [\[8\]-\[9\]](#)^[136] veniva dimostrato che le differenze i termini percentuali tra valori predetti dalle norme EN 1993-1-3 [\[1\]](#) e [\[2\]](#)^[136] (e di conseguenza NTC 2008, [\[3\]](#) e [\[4\]](#)^[136]) e i valori sperimentali, della capacità portante di membrature compresse realizzate con profili formati a freddo, era nell'ordine del 30%.

1) IPE500 in S355 $\gamma_M=1,0$

Riferimento ([\[6\]](#)^[136]):

Paolo Rugarli

Calcolo di Strutture in acciaio

EPC LIBRI, Roma, 2008

pag. 79

Il profilo è soggetto a compressione semplice.

	CLASS4	RIFERIMENTO	Differenza %
A_{eff}	10844,6 mm ²	10830,4mm ²	0,13

La differenza è dovuta al fatto che il programma CLASS4 approssima i raccordi circolari con tronchetti rettilinei di spessore maggiorato.

2) Profilo a C, formato a freddo, S350GD $\gamma_M=1,0$

Riferimento ([\[10\]](#)¹³⁶):

Worked Examples according to EN 1993-1-3

ECCS Technical Committee 7

N°123 - 2008

pag. 66

H = 80mm

B = 48mm

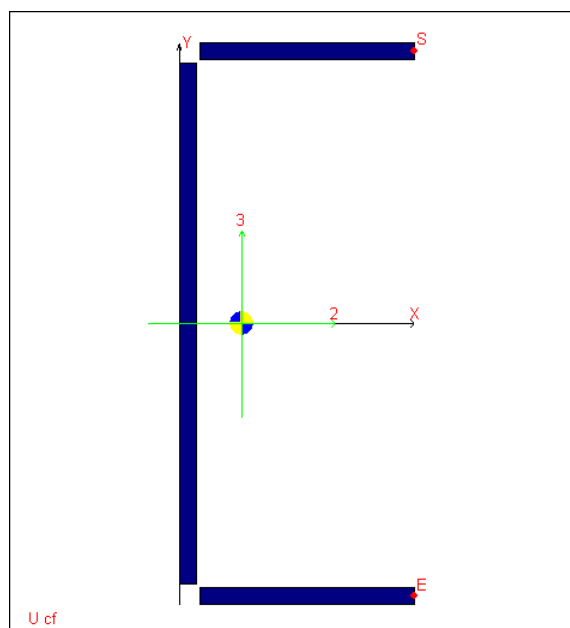
D = 0 mm

t = 2.36 mm

r = 4.8 mm

$f_y = 350$ MPa

$f_u = 420$ MPa



**Sezione efficace in compressione
semplice ($K_{gr}=1$)**

Il profilo è soggetto a compressione semplice e a flessione secondo l'asse 3 (positiva).

Eseguiamo dapprima il calcolo eliminando i tratti di lunghezza g_r dal computo dell'area ($K_{gr}=1$).

	CLASS4 ($K_{gr}=1$)	RIFERIMENTO	Differenza %
A_{eff}	341,2 mm ² (non rettificata)	324 mm ²	5,34% (eccesso)
A_{eff}	319,3 (rettificata)	324 mm ²	1,45% (difetto)

Le differenze sono dovute al fatto che nel Riferimento l'area efficace è ottenuta sottraendo all'area lorda della sezione quella non efficace (ovvero senza seguire la procedura normale che prevede la rettificazione dei lati curvilinei), mentre nella procedura automatica di CLASS4 i casi sono due:

1. o si usa la sezione rettificata, privata cioè dei tratti curvilinei (la cui area *non coincide* con quella lorda iniziale), ottenendo $A_{eff}=319,3\text{mm}^2$;

2. oppure non si modifica la sezione, tenendo i lati curvilinei, ma in tal caso è differente, e minore, b_p , e quindi si ottiene un'area non efficace, $A_{eff} = 341 \text{ mm}^2$ un po' maggiore.

Si osserva che a differenza di quanto fatto da altri Autori, qui si sono mantenuti i *gap* tra un lato e l'altro, dopo aver scomputato i g_r . Tali gap (vuoti) si formano talvolta a causa della eliminazione dei raccordi curvilinei, ad esempio nel caso di lati con raccordi a 90° , quando risulta soddisfatta la seguente condizione:

$$g_r > t/2$$

$$r_m > 0,5t/(\tan 45^\circ - \sin 45^\circ) = 1,707 t$$

Vediamo ora lo stesso esempio mantenendo le lunghezze g_r nel computo dell'area resistente.

	CLASS4 ($K_{gr}=0$)	RIFERIMENTO	Differenza %
A_{eff}	335.8 (rettificata)	324 mm^2	3,64% (eccesso)

3) Profilo a C irrigidito, formato a freddo, S355 $\gamma_M=1,0$

Riferimento 1 ([\[10\]](#)¹³⁶):

Worked Examples according to EN 1993-1-3
ECCS Technical Committee 7
N°123 - 2008
pag. 143

$$H = 102 \text{ mm}$$

$$B = 120 \text{ mm}$$

$$D = 26 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

$$r = 10 \text{ mm}$$

Analogo calcolo si trova, ovvero lo stesso esempio, anche in:

Riferimento 2 ([11]¹³⁶):

Bernuzzi, C.

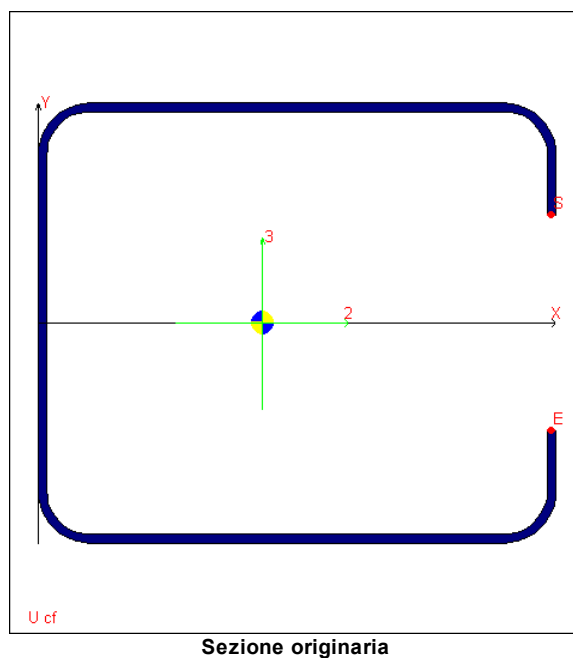
Progetto e verifica delle strutture in acciaio secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni e l'Eurocodice 3 (UNI-EN 1993)

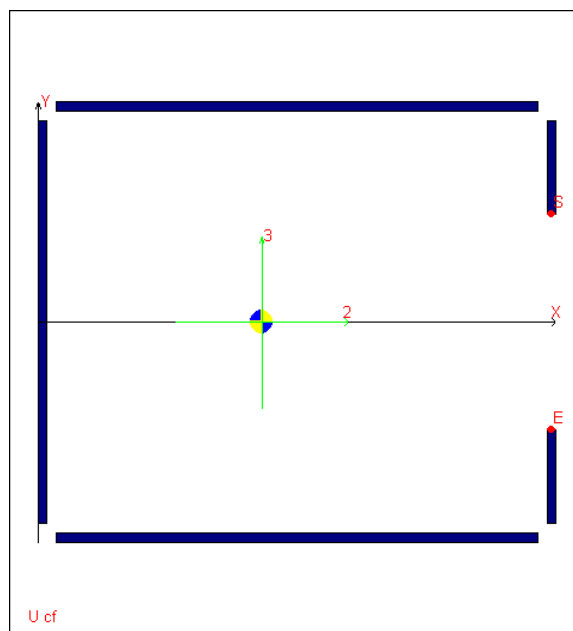
Hoepli, 2011

Cap. 6, Applicazione A6.4

Il profilo è soggetto a compressione semplice e a flessione secondo l'asse 3 (positiva). Il caso presenta particolare interesse in quanto è attivato il *distorsional buckling* e lo spessore dell'irrigidimento è ridotto (al fine di limitarne il carico portato ed evitare quindi il fenomeno citato).

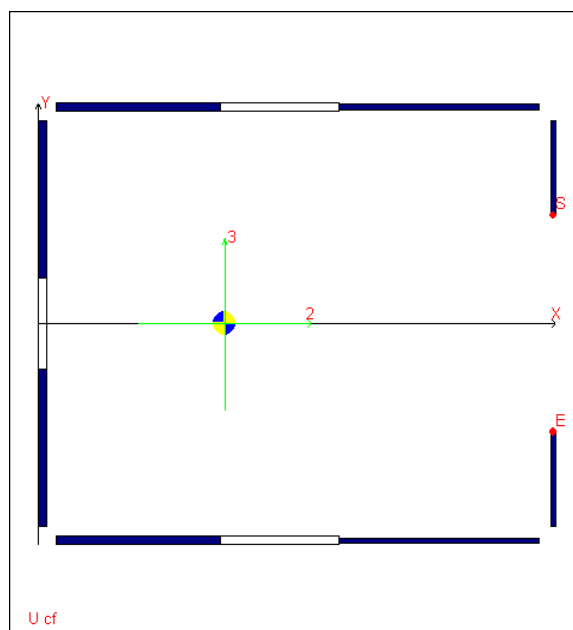
Vediamo dapprima i risultati dei calcoli di CLASS4 ottenuti scomputando interamente i tratti di lunghezza g_r dal calcolo dell'area resistente (ovvero ponendo $K_{gr}=1$).



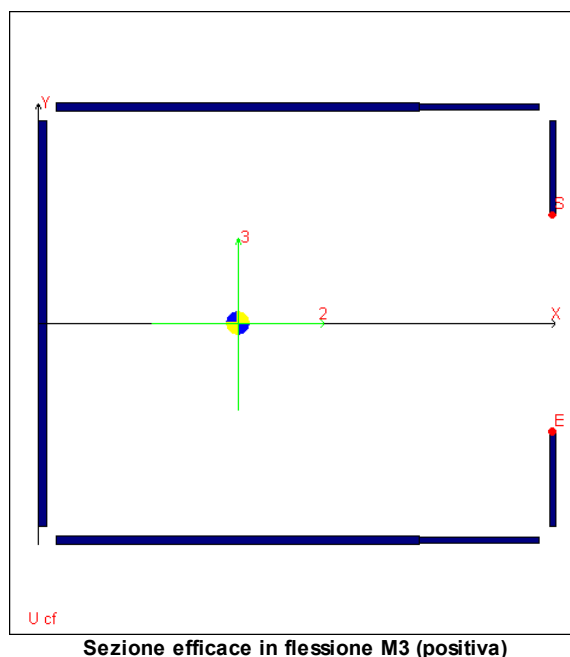


Sezione di calcolo (Kgr=1)

Anche in questo caso si formano dei vuoti tra un lato e l'altro.



Sezione efficace in compressione semplice



	CLASS4 ($K_{gr}=1$, iterazione sì)	RIFERIMENTO 1 ($K_{gr}=0$, iterazione sì)	Differenza Rif. 1 - CLASS4%
A_{eff}	453,1 mm ²	467 mm ²	2,98%
e_{N2}	8,84 mm	8,24 mm	0,6mm- 7.28%
$W_{eff,3,p}$	15549,5 mm ³	17040 mm ³	8,74%

Si fa notare che nel **RIFERIMENTO 1**, il calcolo è diverso per varie ragioni:

1. I lati vengono calcolati computando i g_r nell'area finale (ovvero $K_{gr}=0$), mentre in **CLASS4**, a nostro parere correttamente, i g_r per default non entrano nell'area efficace finale ($K_{gr}=1$, si vedano le [note](#)^[28]). Questa è la ragione fondamentale.
2. Vi sono (lievi) differenze nel calcolo della K della molla relativa al distorsional buckling. Questa ragione spiega solo piccole differenze.

A riprova della relativa possibilità di scelta, sulle varie modalità di implementazione della norma, si riportano i risultati del **Riferimento 2**:

	CLASS4 ($K_{gr}=1$, iter. sì)	RIFERIMENTO 1 ($K_{gr}=0$, iter. sì)	RIFERIMENTO 2 ($K_{gr}=1$, iter. sì)	Differenza Rif. 2 - Rif 1%	Differenza CLASS4-Rif. 2
A_{eff}	453,1 mm ²	467 mm ²	429,76 mm ²	7,97%	5,43%
e_{N2}	8,84 mm	8,24 mm	10,39 mm	26,09%	14,92%
$W_{eff,3,p}$	15549,5 mm ³	17040 mm ³	14535 mm ³	14,70%	6,98%

Come si vede si trovano differenze anche in questo caso, e ciò per la seguente ragione.

1. L'Autore del **Riferimento 2** ha utilizzato come regola lo scomputo dei g_r dalla larghezza del lato ($K_{gr}=1$), ai fini del calcolo delle caratteristiche efficaci. Tale approccio porta a calcolare proprietà efficaci minori. Invece in Riferimento 1, i " $g_r \cdot t$ " sono sommati alle parti reagenti ($K_{gr}=0$).
2. In **CLASS4**, in questo caso, non sono sommati alle parti reagenti i " $g_r \cdot t$ " ($K_{gr}=1$), e quindi si dovrebbero trovare risultati simili a quelli di **Rif. 2**. Si è visto che ciò è infatti vero prima del calcolo del *distorsional buckling* sull'irrigidimento, in seguito **CLASS4** e **Rif. 2** danno risultati diversi. Infatti:
 - a) L'Autore di **Rif. 2** ha scomputato i g_r pervenendo alla sezione con i vuoti mostrata nella figura precedente ("Sezione di calcolo"), tuttavia i lati sono poi stati traslati per colmare i vuoti a parità di dimensioni dei lati. Ciò porta a differenze significative nel calcolo di I_s (momento di inerzia dell'irrigidimento) a causa del fatto che in questo caso, data l'elevatezza di r_m (11mm), il valore di g_r è elevato anch'esso ($g_r=3,22mm$). Se in **Rif. 2** si ha alla fine della iterazione $I_s=5274mm^4$, **CLASS4** calcola $I_s=7647mm^4$. Dato che il momento d'inerzia dell'irrigidimento è maggiore, l'area efficace è anch'essa maggiore, avvicinandosi a quella calcolata da **Rif. 1** pur se ottenuta riaggiungendo i g_r .
 - b) **CLASS4** utilizza algoritmi generali per il calcolo della rigidezza K

dell'irrigidimento, e questo porta a piccole differenze.

Vediamo ora che risultati si ottengono con **CLASS4** aggiungendo interamente i tratti di lunghezza g_r al computo delle aree resistenti, ovvero ponendo $K_{gr}=0$.

	CLASS4 ($K_{gr}=0$, iter. sì)	RIFERIMENTO 1 ($K_{gr}=0$, iter. sì)	RIFERIMENTO 2 ($K_{gr}=1$, iter. sì)	Differenza Rif. 2 - Rif 1%	Differenza CLASS4-Rif. 1
A_{eff}	491,9 mm ²	467 mm ²	429,76 mm ²	7,97%	5,33%
e_{N2}	8,99 mm	8,24 mm	10,39 mm	26,09%	9,10%
$W_{eff,3,p}$	17481.5 mm ³	17040 mm ³	14535 mm ³	14,70%	2,59%

In conclusione si trova conferma al fatto che una varietà di possibili interpretazioni del dettato normativo porta ad una varietà di possibili risultati, con differenze anche superiori al 10% in certi casi. Tali valori di errore sono nei limiti degli errori della procedura di normativa, ancora lontana dal dare errori modesti rispetto ai dati sperimentali.

4) Profilo a Ω , formato a freddo, S355 $\gamma_M=1,0$

Riferimento ([10]¹³⁶):

Worked Examples according to EN 1993-1-3
ECCS Technical Committee 7
N°123 - 2008
pag. 168

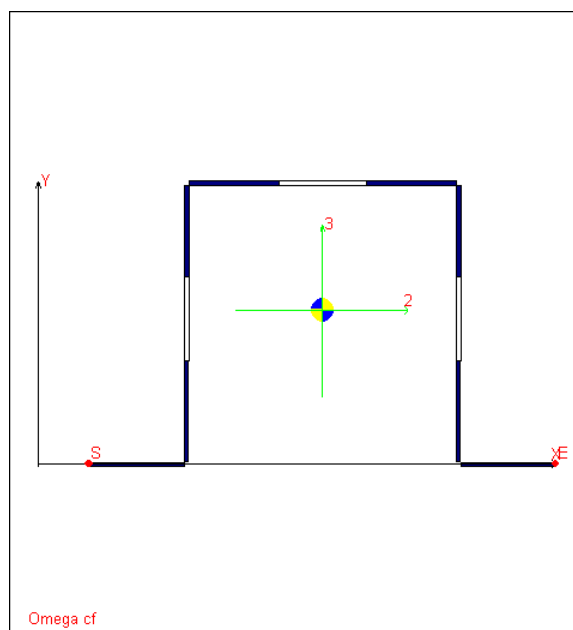
H = 180 mm

B = 175 mm

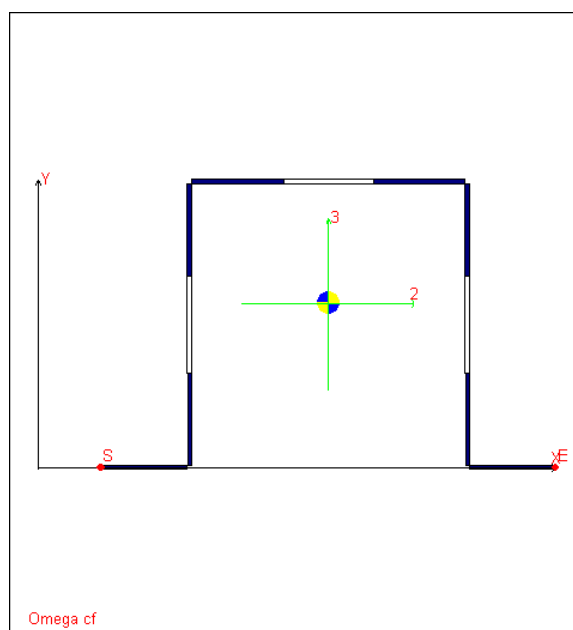
D = 95 mm

t = 3 mm

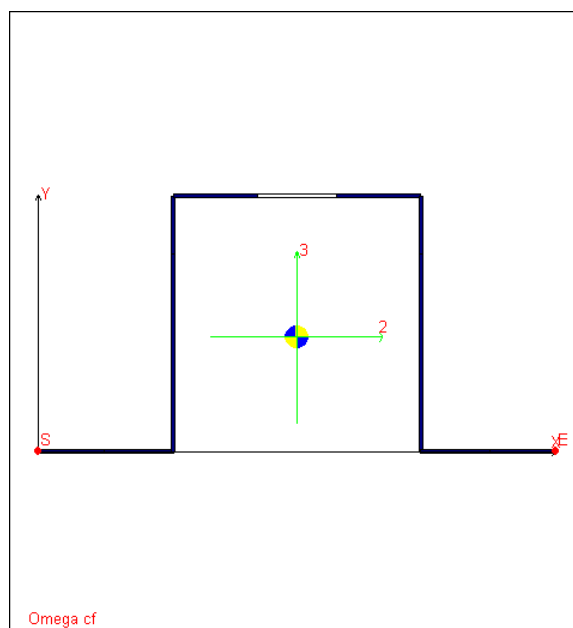
r = 3.5 mm



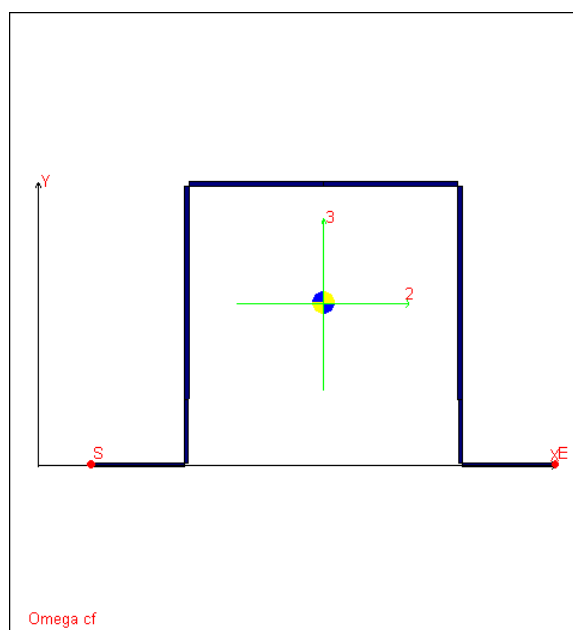
Sezione efficace in compressione semplice (con iterazioni)



Sezione efficace in compressione semplice (senza iterazioni)



Sezione efficace in flessione M2 (negativa: gli irrigidimenti sono tesi)



Sezione efficace in flessione M2 (positiva: irrigidimenti compressi)

Il profilo è soggetto a compressione semplice e a flessione secondo l'asse 2 (negativa). Il caso presenta particolare interesse in quanto è attivato il *distorsional*

buckling e lo spessore dell'irrigidimento è ridotto (al fine di limitarne il carico portato ed evitare quindi il fenomeno citato).

Come nel caso precedente esaminiamo dapprima i risultati di **CLASS4** con $K_{gr}=1$, ovvero scomputando i tratti di lunghezza g_r dal computo delle aree resistenti.

Nel **RIFERIMENTO**, per questo caso l'iterazione è stata evitata, quindi per il *distorsional buckling* ci si è arrestati al primo risultato. Il **RIFERIMENTO** quindi non itera in questo esempio.

Vediamo dapprima i confronti tra i risultati del **RIFERIMENTO** e quelli di **CLASS4** ottenuti applicando la correzione al *distorsional buckling* mediante iterazione (**CLASS4** itera, **RIFERIMENTO** no):

	CLASS4 ($K_{gr}=1$, iterazione sì)	RIFERIMENTO ($K_{gr}=0$, iterazione no)	Differenza %
A_{eff}	1240.59 mm ²	1188.3 mm ²	4,40%
e_{N3}	10,38 mm	15,41 mm	32,64%
$W_{eff,2,m}$	96302,7 mm ³	99280 mm ³	3,00%
$W_{eff,2,p}$	81014,03 mm ³	76370 mm ³	6,08%

Vediamo ora il raffronto senza alcuna correzione da parte di **CLASS4** (**CLASS4** non itera, **RIFERIMENTO** non itera):

	CLASS4 ($K_{gr}=1$, iterazione no)	RIFERIMENTO ($K_{gr}=0$, iterazione no)	Differenza %
A_{eff}	1164.6 mm ²	1188.3 mm ²	1,99%
e_{N3}	14,91 mm	15,41 mm	3,24%
$W_{eff,2,m}$	96302,8 mm ³	99280 mm ³	3,00%
$W_{eff,2,p}$	75141,4 mm ³	76370 mm ³	1,61%

Anche in questo caso il **RIFERIMENTO** computa i g_r nel calcolo dell'area efficace. Si è visto mediante attenta analisi che è questa la ragione che spiega quasi interamente le differenze (cfr. ultima tabella più oltre).

La rilevante differenza percentuale (32,64%) sulla distanza tra il baricentro della sezione efficace e quella lorda presente nella prima tabella è dovuta al fatto che la iterazione sull'irrigidimento aumenta la sezione resistente dell'irrigidimento stesso spostando significativamente il baricentro verso il basso (di circa 5mm). In altre parole la differenza è dovuta al fatto che **CLASS4** itera, il riferimento no.

Ora vediamo i risultati ottenuti con **CLASS4** ponendo $K_{gr}=0$, ovvero tenendo completamente conto dei tratti di lunghezza g_r nel calcolo dell'area resistente (e quindi come fatto dal **RIFERIMENTO**).

	CLASS4 ($K_{gr}=0$, iterazione sì)	RIFERIMENTO ($K_{gr}=0$, iterazione no)	Differenza %
A_{eff}	1270,7 mm ²	1188.3 mm ²	6,93%
e_{N3}	10,53 mm	15,41 mm	31,7%
$W_{eff,2,m}$	99291,2 mm ³	99280 mm ³	0,01%
$W_{eff,2,p}$	83375,7 mm ³	76370 mm ³	9,17%

	CLASS4 ($K_{gr}=0$, iterazione no)	RIFERIMENTO ($K_{gr}=0$, iterazione no)	Differenza %
A_{eff}	1193,7 mm ²	1188.3 mm ²	0,45%
e_{N3}	15,01 mm	15,41 mm	0.4mm ---- 2,59%
$W_{eff,2,m}$	99291,2 mm ³	99280 mm ³	0,01%
$W_{eff,2,p}$	77388,1 mm ³	76370 mm ³	1,33%

Come si vede bene dalla precedente ultima tabella, se si usano le medesime impostazioni, ovvero si fanno le stesse scelte sulle diverse modalità applicative del dettato normativo, si ottengono risultati molto molto vicini. Le differenze sono dovute alle modalità di calcolo della rigidezza dell'irrigidimento, K .

Le differenze dovute alla mera iterazione sull'irrigidimento, nei risultati di CLASS4, sono inferiori al 10%, ma comunque lasciano intendere una precisione, da parte delle normative, ancora oggetto di discussione e di necessari approfondimenti.

Ricapitolando: sulla base di considerazioni teoriche e di coerenza interna dell'algoritmo, si consiglia di usare le impostazioni di **CLASS4** nel seguente modo:

- Per avere quella che riteniamo sia la miglior stima: usare $K_{gr}=1$, iterare sugli irrigidimenti e tener conto dell'effettivo livello delle tensioni; l'algoritmo è in questo modo a nostro parere il migliore.
- Per avere una sovrastima dei valori, usare $K_{gr}=0$, iterare sugli irrigidimenti e tener conto dell'effettivo livello delle tensioni;
- Per avere una stima conservativa dei valori, usare $K_{gr}=1$, non iterare sugli irrigidimenti e non tener conto dell'effettivo valore delle tensioni.
- Poichè come si è visto i valori delle eccentricità tra baricentro della sezione efficace e baricentro della sezione lorda sono particolarmente sensibili alle modalità di calcolo scelte, si consiglia di applicare un fattore 1,3-1,4 a favore di sicurezza.

Parte

VII

7 Riferimenti

- [1] EN 1993-1-3:2006 "Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-3: General rules- Supplementaru rules for cold formed members and sheeting".
- [2] EN 1993-1-5:2006 "Eurocode 3- Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements"
- [3] Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14-1-2008. Cap. 4.2 "Costruzioni in Acciaio"
- [4] Circolare 2 febbraio 2009, N. 617, C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicaizione delle 'Norme Tecniche per le Costruzioni'". Cap. C.4.2.
- [5] Rugarli P. "Strutture in Acciaio: la classificazione delle sezioni", EPC Libri, Roma, 2007
- [6] Rugarli P. "Calcolo di strutture in acciaio-guida all'Eurocodice 3:EN 1993-1-1 e alle Norme Tecniche per le Costruzioni correlate", EPC Libri, Roma, 2008
- [7] Rugarli P. "Classification of I- or H- shaped cross-sections under mixed internal actions", Journal of Constructional Steel Research, 65 (2009), 1597-1606
- [8] Bernuzzi P., Rugarli P. "Prediction of the load carrying capacity of slender cross-section members under eccentric load", Part 1: the approach, Costruzioni Metalliche, Settembre- Ottobre. 2009
- [9] Bernuzzi P., Rugarli P. "Prediction of the load carrying capacity of slender cross-section members under eccentric load", Part 2: the validation, Costruzioni Metalliche, Novembre- Dicembre. 2009
- [10] ECCS Technical Committee 7, Cold-formed steel, Worked examples according to EN 1993-1-3, publication N° 123, 2008
- [11] Bernuzzi C. "Progetto e verifica delle strutture in acciaio secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, e Eurocodice 3 (UNI-EN 1993)", Hoepli, 2011
- [12] EN 1993-1-1:2006 "Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for building".

Indice

- acciaio 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- area efficace 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- attivazione 11
- Bernuzzi 120
- caratteristiche efficaci 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- Castalia srl 10, 11, 17, 19, 28, 120
- CLASS4 10, 11, 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- CLASS4, licenza,license 7
- dati di calcolo 112
- dati di output 112
- distorsional buckling 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- effective area 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- EN 1993-1-1 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- EN1993-1-3 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- EN1993-1-5 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- formati a freddo 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- implementazione delle norme 28
- informazioni 76
- instabilità locale 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- installazione 10
- installazione del programma 10
- introduzione 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- irrigidimenti 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- local buckling 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- NTC2008 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- output 64, 76, 120, 136
- parete sottile 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- procedura 55
- procedura (riepilogo) 61
- registrazione 11
- risultati 64, 76, 120, 136
- Rugarli 17, 19, 28, 55, 64, 76, 120
- sezioni a L formate a freddo 101
- sezioni a Omega formate a freddo 107
- sezioni a U formate a freddo 98
- sezioni a Z formate a freddo 104
- sezioni efficaci, calcolo delle 55, 112
- sezioni formate a freddo di forma standard 109
- sezioni laminate ad H 79
- sezioni laminate T tagliate H 82
- sezioni RHS 85
- sezioni saldate a cassone 96
- sezioni saldate a T 93
- sezioni saldate ad H 88
- sezioni saldate ad U 91
- stiffener 17, 19, 28, 55, 64, 120, 136
- tabulato 64, 76
- validazione 120
- verifica 17, 19, 28, 55, 64



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 2011-2011 - Castalia srl