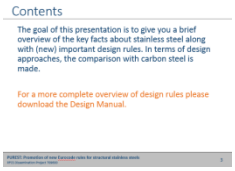
Contenuto

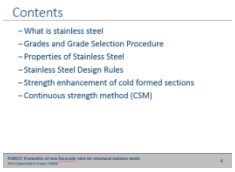
Introduzione 1
Cos'è l'acciaio inossidabile? 2
Applicazioni di successo 5
Gradi e procedura di selezione dei gradi 5
Proprietà dell'acciaio inossidabile 7
Regole di design per gli acciaio inossidabile 12
Deformazioni 21
Miglioramento alla resistenza delle sezioni formate a freddo 22
Metodo di forza continua (CSM) 22
Conclusione 24

Note di lettura

Introduzione

2 Questa quarta edizione del manuale di progettazione è stata
3 preparata da Nancy Baddoo di The Steel Construction Institute nell'ambito del progetto RFCS **Promozione delle nuove regole**
4 **Eurocode per gli acciai inossidabili strutturali** (PUREST).





È una revisione completa della terza edizione; i principali cambiamenti sono i seguenti:

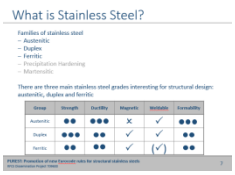
- Allineamento con la modifica del 2015 alla EN 1993-1-4,
- Inclusione di acciai inossidabili ferritici, basati sul lavoro delle applicazioni strutturali del progetto di acciaio inossidabile ferritico (SAFSS) (RFSR-CT-2010-00026),
- Nuovi dati vengono aggiunti sulle proprietà termiche e meccaniche degli acciai inossidabili a fuoco,
- Aggiornamenti dei dati di progettazione, le regole di progettazione e i riferimenti alle attuali versioni delle norme europee, tra cui EN 10088, EN 1993 e EN 1090,
- Aggiunta di un allegato alla modellizzazione dei materiali
- Aggiunta di un allegato che fornisce un metodo per calcolare una resistenza potenziata derivante dalla formatura a freddo,
- Aggiunta di un allegato che fornisce regole di progettazione meno conservative sfruttando i vantaggi della deformazione mediante l'uso del metodo di forza continua.

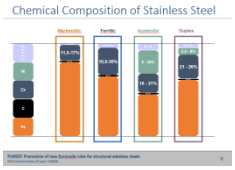
In totale sono presenti quindici esempi di design che mostrano l'approccio progettuale per vari casi. Per gli studenti è di grande interesse ricalcolare gli esempi e valutare i risultati.

Il commentatore presenta i risultati di vari programmi di test che consentono ai progettisti di valutare la base delle raccomandazioni. Inoltre facilita lo sviluppo delle revisioni man mano che i nuovi dati diventano disponibili.

Infine, è stata sviluppata un'app per PC, iOS e Android che consente agli utenti di calcolare facilmente la resistenza dell'acciaio inossidabile secondo la EN 1993-1-4 e il Manuale di progettazione. I membri possono essere selezionati da un database di sezioni standard o l'utente può inserire sezioni personalizzate.

Cos'è l'acciaio inossidabile?





6 L'acciaio inossidabile è una lega di acciaio esistente in cromo,
7 nichel, ferro e carbonio. La percentuale di massa del contenuto di cromo varia dal 10,5 al 30%. L'acciaio inossidabile può essere
8 diviso in quattro famiglie: martensitico, ferritico, austenitico e duplex (austenitico-ferritico). Tuttavia, non tutte le famiglie sono utili per scopi di costruzione. La distribuzione familiare dipende dalla microstruttura. La composizione chimica è responsabile delle proprietà chimiche, fisiche e meccaniche. Gli acciai inossidabili ferritici, martensitici, austenitici e duplex sono definiti più in dettaglio:

Ferritico: acciaio inossidabile con cromo come elemento di lega principale. Il tenore massimo di carbonio è limitato allo 0,1% e la quantità di cromo si trova tra il 10,5 e il 18%. Il nichel non è presente o in misura minima nel materiale e la loro struttura atomica centrata sul corpo è la stessa di quella degli acciai strutturali al carbonio. Costano meno dei gradi austenitici di resistenza alla corrosione equivalente e mostrano una minore volatilità dei prezzi. Sono generalmente meno duttili e meno saldabili rispetto agli acciai inossidabili austenitici.

Duplex: è in acciaio inossidabile con una miscela costituita principalmente da cromo e nichel. La quantità di cromo si trova tra il 20 e il 26% è superiore alla quantità di nichel che è circa 1-8%. Sono presenti anche altri componenti: molibdeno 0,05-5% e azoto 0,05-0,3%. Gli acciai inossidabili duplex hanno una microstruttura mista di austenite e ferrite, e talvolta sono chiamati acciai austenitici-ferritici.

I duplex hanno elevata resistenza meccanica con una buona resistenza alla corrosione, ma il materiale è più difficile da trasformare. Poiché contengono meno nickel rispetto ai gradi austenitici, mostrano una minore volatilità dei prezzi.

Austenitico: acciaio inossidabile austenitico costituito da cromo, nichel e talvolta molibdeno. Il nichel rende più facile la deformazione dell'acciaio inossidabile. L'acciaio austenitico contiene circa il 17-18% di cromo e l'8% e l'11% di nichel. In confronto agli acciai strutturali al carbonio, che hanno una struttura atomica cubica (cristallo) centrata sul corpo, gli acciai inossidabili austenitici hanno una struttura atomica cubica centrata sul volto. Di conseguenza, gli acciai inossidabili austenitici, oltre alla loro resistenza alla corrosione, hanno un'alta duttilità, sono facilmente formati a freddo e sono facilmente saldabili.

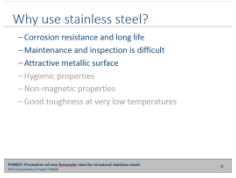
Martensitico: gli acciai inossidabili martensitici hanno una

struttura cubica simile al corpo centrale come acciaio inossidabile ferritico e acciai strutturali al carbonio, ma a causa del loro maggiore contenuto di carbonio, possono essere rafforzati dal trattamento termico. L'uso di acciaio inossidabile martensitico nella costruzione è limitato.

Tutte le varianti hanno la capacità di formare uno strato protettivo di ossido protettivo. Questo strato offre una migliore resistenza alla corrosione e all'ossidazione rispetto all'acciaio al carbonio. L'acciaio al carbonio è solitamente utilizzato per l'acciaio che non è inossidabile, ma include anche acciai legati. Il contenuto di carbonio varia dallo 0,12 al 2,0%, molto più basso rispetto all'acciaio al carbonio.

---

9 Gli acciai inossidabili sono stati utilizzati per le applicazioni di costruzione da quando sono stati inventati. Hanno una buona resistenza alla corrosione e sono ideali per applicazioni difficili da ispezionare e mantenere. La resistenza alla corrosione è possibile grazie alla naturale formazione di un film superficiale passivo.



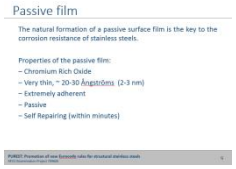
Sono disponibili in una gamma di finiture superficiali. Gli acciai inossidabili possono essere manipolati e fabbricati utilizzando un'ampia gamma di tecniche di ingegneria comunemente disponibili e sono completamente "riciclabili" alla fine della loro vita utile. Hanno buone proprietà di resistenza, tenacità e fatica.

Gli acciai inossidabili sono facilmente pulibili e quindi sono una scelta ovvia per le industrie di produzione di alimenti e bevande e le attrezzature per la ristorazione. Non ci sono rischi per la salute provati dall'uso normale degli acciai inossidabili.

Gli acciai inossidabili austenitici sono essenzialmente non magnetici, ma possono diventare leggermente magnetici quando lavorati a freddo.

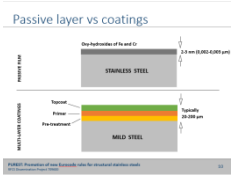
---

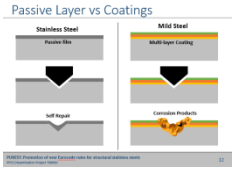
10 Con una combinazione del tenore di cromo superiore al 10,5%, una superficie pulita e l'esposizione all'aria o ad altri ambienti ossidanti, uno strato trasparente e strettamente aderente di ossido ricco di cromo si forma spontaneamente sulla superficie dell'acciaio inossidabile. Se il graffio o il taglio danneggiano il film, si riformano immediatamente in presenza di ossigeno. Sebbene il film sia molto sottile, circa 5 × 10-6 mm, è stabile e non poroso. Finché l'acciaio inossidabile è sufficientemente resistente alla corrosione per l'ambiente di servizio, non reagirà ulteriormente con l'atmosfera. Per questo motivo, si chiama un film passivo. La stabilità di questo strato passivo dipende dalla composizione dell'acciaio inossidabile, dal suo trattamento superficiale e dalla corrosività del suo ambiente. La sua stabilità aumenta all'aumentare del contenuto di cromo ed è ulteriormente migliorata dalla lega di addizioni di molibdeno e azoto.



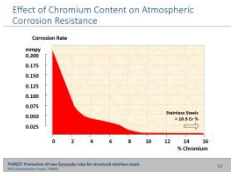
---

11 12 Quando si confronta il film passivo con un rivestimento multistrato si può notare che il film passivo è molto più sottile. Con uno spessore di 2-3 nm (0,002-0,003 µm) rispetto a 20-200 µm rispettivamente. Nel caso in cui lo strato sia danneggiato, il film passivo si auto-ripara automaticamente dopo la superficie danneggiata. In caso di un sistema di protezione multistrato il danno provocherà corrosione nell'area danneggiata. Come da diapositiva.





13 Il tasso di corrosione (mmpy = millimetri all'anno) nell'asse-y ed il contenuto di cromo (%) nell'asse-x. È chiaro che con un contenuto di cromo superiore al 10,5% la corrosione è quasi pari a zero.



L'acciaio inossidabile si macchia o si corrode?

Beh si. Se viene selezionato il grado sbagliato per l'ambiente o, se vi è esposizione a condizioni impreviste, o se il componente non viene pulito regolarmente, alcuni tipi potrebbero essere suscettibili alla corrosione localizzata. Tuttavia, nella maggior parte degli ambienti naturali l'acciaio inossidabile è resistente alla corrosione. Tuttavia, la corrosione localizzata può verificarsi a seconda del contenuto di lega e dell'ambiente di servizio. Vari tipi di corrosione sono:

- **Uniforme:** non si verifica in ambienti naturali e per leghe utilizzate in applicazioni strutturali.
- **Colorazione:** può verificarsi su leghe più sottili in un'ampia gamma di ambienti. Brutto ma cosmetico e senza conseguenze per l'integrità.
- **Pitting:** il rischio aumenta con il tasso di deposizione del cloruro. Il rischio aumenta con la diminuzione del contenuto di lega. Brutto ma cosmetico e di solito senza conseguenze per l'integrità.
- **Crevice**: il rischio aumenta con il tasso di deposizione del cloruro. Il rischio aumenta con la diminuzione del contenuto di lega. Richiede spazi molto sottili (<0,25 mm) e lunghi periodi di umidità. Potenzialmente serio.
- **Corrosione bimetallica:** solitamente un "problema" per gli altri metalli: acciaio al carbonio, zinco e alluminio si corrodono preferibilmente all'acciaio inossidabile. Per l'acciaio al carbonio è solitamente dipinto che risolve il problema.
- **Contaminazione della superficie**: contaminanti che interessano lo strato superficiale di ossido che protegge l'acciaio inossidabile sottostante.
- **Tinta del calore di saldatura:** è l'ispessimento dello strato di ossido trasparente naturale. Spesso visto nelle zone interessate dal calore della saldatura. Quando viene formata una tinta di calore, il cromo viene attratto sulla superficie dell'acciaio inossidabile (gli ossidi di cromo si formano più facilmente rispetto al ferro nell'acciaio). È

presente un'area con una resistenza alla corrosione ridotta.

Pertanto, è importante abbinare il contenuto di lega alla condizione di servizio.

Applicazioni di successo

15 Considerazioni sui costi

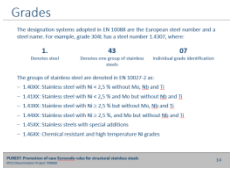
16 ▪ L'acciaio inossidabile è più costoso per tonnellata rispetto all'acciaio al carbonio.

17 ▪ Anche il prezzo dell'acciaio inossidabile tende ad essere più volatile, in quanto dipende dal prezzo del nichel.
▪ È necessario considerare il costo dell'intera durata perché è richiesta una minore manutenzione durante arco della vita. Le analisi dei costi del ciclo di vita mostrano che l'acciaio inossidabile può essere l'opzione più economica rispetto ai materiali che richiedono più manutenzione.

Gradi e procedura di selezione dei gradi

19 Esercizio: prova ad analizzare il nome dei seguenti gradi :

▪ 1.4301
▪ 1.4162
▪ 1.4016



---

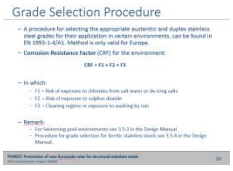
20 Una procedura per selezionare i gradi di acciaio inossidabile
21 austenitico e duplex appropriati per la loro applicazione in determinati ambienti, si trova nella EN 1993-1-4 / A1. Questo
22 metodo è valido solo per l'Europa. La procedura non tiene conto:

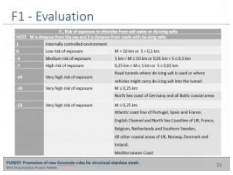
23 ▪ Grado/disponibilità del prodotto,
24 ▪ Requisiti di finitura superficiale, ad esempio per ragioni architettoniche o di igiene,
25 ▪ Metodi di unione/connessione.

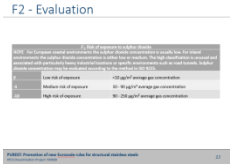
La procedura presuppone che vengano soddisfatti i seguenti criteri:

▪ L'ambiente di servizio è nel range di pH pressoché neutro (da pH 4 a 10),
▪ Le parti strutturali non sono direttamente esposte a, o parte di una sequenza di flusso per il processo chimico,
▪ L'ambiente di servizio non è permanentemente o frequentemente immerso nell'acqua di mare.

Se queste condizioni non sono soddisfatte, dovrebbe essere







richiesta una consulenza specialistica.

La procedura prevede i seguenti passaggi:

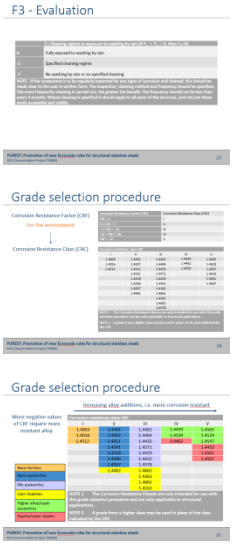
- Determinazione del fattore di resistenza alla corrosione (CRF) per l'ambiente (Tabella 3.3);
- Determinazione della classe di resistenza alla corrosione (CRC) dal CRF (Tabella 3.4).

Il fattore di resistenza alla corrosione è costituito da tre componenti ed è formulato da:

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

Quale:

- F1 = Rischio di esposizione ai cloruri o ai sali antigelo
- F2 = Rischio di esposizione al diossido di zolfo
- F3 = Regime di pulizia o esposizione al lavaggio a pioggia



Vedi tabella 3.3 nel Manuale di progettazione o la diapositiva 16.

Una volta ottenuto il CRF, la classe di resistenza alla corrosione deve essere determinata utilizzando la tabella 3.4 del Manuale di progettazione o la diapositiva 17.

Con la classe di resistenza alla corrosione (CRC) è possibile selezionare un grado di acciaio inossidabile corretto per la propria applicazione utilizzando la tabella 3.5 nel Manuale di progettazione (o nella diapositiva 17).

Per gli ambienti di piscine, vedere la sezione 3.5.3 nel Manuale di progettazione.

Procedura per la selezione del grado per acciai inossidabili ferritici vedere la sezione 3.5.4 nel Manuale di progettazione.

In aggiunta alla diapositiva 17.

Basic ferritics
Basic austenitics
Mo austenitics
Lean duplexes
Higher alloy/super austenitics
Duplex/super duplex

Increasing alloy additions, i.e. more corrosion resistant

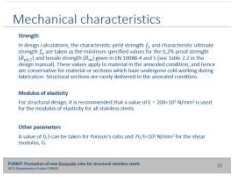
Corrosion resistance class CRC				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

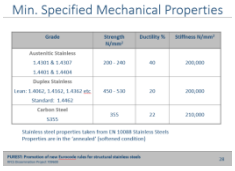
NOTE 1 The Corrosion Resistance Classes are only intended for use with this grade selection procedure and are only applicable to structural applications.

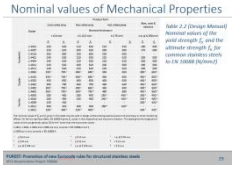
NOTE 2 A grade from a higher class may be used in place of the class indicated by the CRF.

Proprietà dell'acciaio inossidabile

27 **Forza**







28 Nei calcoli di progettazione, l'intensità di snervamento caratteristica
29 f_y e la resistenza finale caratteristica f_u sono considerati come i valori minimi specificati per la resistenza di prova dello 0,2% ($R_{p0,2}$) e la resistenza a trazione (R_m) dati in EN 10088-4 e 5 (cfr. Tabella 2.2 nel manuale di progettazione). Questi valori si applicano al materiale nella condizione ricotta, e quindi sono conservativi per materiali o sezioni che hanno subito un trattamento a freddo durante la fabbricazione. Le sezioni strutturali vengono raramente consegnate allo stato ricotto.

Modulo elastico

Per la progettazione strutturale, si consiglia di utilizzare un valore di E = 200×10³ N/mm² per il modulo di elasticità per tutti gli acciai inossidabili.

Il valore per l'acciaio al carbonio è E = 200×10³ N/mm².

NOTA: EN 1993-1-4 e EN 10088-1 danno un valore di 200×10³ N/mm² per il modulo di elasticità per tutti i tipi standard austenitici e duplex tipicamente utilizzati nelle applicazioni strutturali. Per i ferritici è indicato un valore di 220 × 103 N / mm². Tuttavia, i test sugli acciai inossidabili ferritici indicano costantemente che un valore di 2200×10³ N/mm² è più appropriato e quindi si prevede che la prossima revisione della EN 1993-1-4 raccomanderà questo valore per la progettazione strutturale di tutti gli acciai inossidabili.

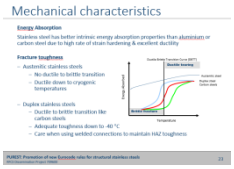
Altri parametri

Un valore di 0,3 può essere preso per il rapporto di Poisson che è lo stesso del carbonio. Viene utilizzato un valore di 76,9×10³ N/mm² per il modulo di taglio, G.

La diapositiva 28 offre una panoramica delle proprietà meccaniche minime specificate dell'acciaio inossidabile prese dalla EN 10088. Le proprietà sono del materiale allo stato ricotto.

---

30 **Assorbimento di energia**



L'acciaio inossidabile ha migliori proprietà intrinseche di assorbimento dell'energia rispetto all'alluminio o al carbonio, a causa dell'elevato tasso di incrudimento e dell'eccellente duttilità.

Resistenza alla frattura

- Acciai inossidabili austenitici
  - Nessuna transizione da duttile a fragile
  - Duttile fino a temperature criogeniche
- Acciai inossidabili duplex
  - Duttile a transizione fragile come gli acciai al carbonio
  - Resistenza adeguata fino a -40°C
  - Prestare attenzione quando si usano connessioni

---

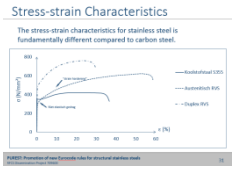
saldate per mantenere la tenacità dell'HAZ

Duttile = capace di deformare molto sotto tensione.

Fragile = solo in grado di deformare un po' sotto tensione dopo di che si rompe.

---

31 La differenza chiave tra acciaio al carbonio e acciaio inossidabile è nella curva di sforzo-deformazione, come mostra su questo vetrino. L'acciaio al carbonio (curva arancione) presenta un comportamento elastico lineare fino a un punto di snervamento ben definito, dopo il quale la deformazione può aumentare senza aumento di stress, sebbene possa esserci una piccola quantità di incrudimento. L'acciaio inossidabile mostra invece un comportamento gradualmente cedevole, con un elevato indeformabilità (curva verde).



Le caratteristiche di stress-deformazione per l'acciaio inossidabile sono fondamentalmente diverse rispetto all'acciaio al carbonio:

- Diagramma sforzo-deformazione non lineare. Questo porta a:
  - Differente comportamento di instabilità dei membri in compressione e flessione
  - Maggiori deviazioni
- Incrudimento importante (causato dalla lavorazione a freddo)

Inoltre, mostra di acciaio inossidabile:

- Non simmetria (trazione e compressione)
- Anisotropia (parallela e trasversale alle direzioni di laminazione).

L'acciaio inossidabile mostra anche:

- Non simmetria (trazione e compressione)
- Anisotropia (parallela e trasversale alle direzioni di laminazione).

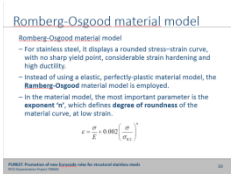
Anisotropy = Properties depend on the direction, thus different properties in different directions are applicable.

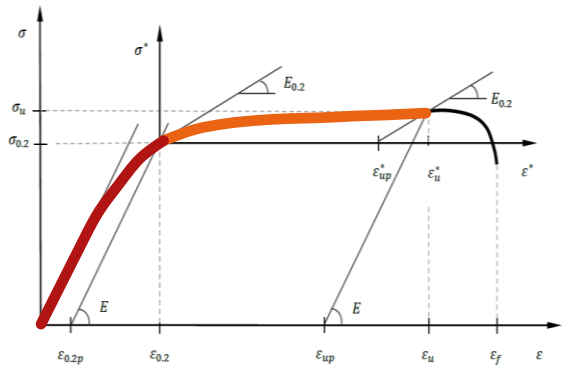
Anisotropia = Le proprietà dipendono dalla direzione, quindi sono applicabili diverse proprietà in diverse direzioni.

Tuttavia, da un punto di vista strutturale, l'anisotropia e la non simmetria non sono importanti quanto la non-linearità.

---

32 È necessaria un'approssimazione della curva di sforzo-deformazione per utilizzarla nei calcoli. L'uso di un modello elastico e plastico perfetta ignorerebbe l'effetto benefico dell'incrudimento. Pertanto il modello di materiale Ramberg-Osgood viene utilizzato per l'approssimazione della curva sforzo-deformazione.





$$\varepsilon = \begin{cases} \dfrac{\sigma}{E_0} + 0.002\left(\dfrac{\sigma}{\sigma_{0.2}}\right)^n & \sigma \le \sigma_{0.2} \\ \varepsilon_{0.2} + \dfrac{\sigma - \sigma_{0.2}}{E_{0.2}} + \varepsilon_u\left(\dfrac{\sigma - \sigma_{0.2}}{\sigma_u - \sigma_{0.2}}\right)^m & \sigma > \sigma_{0.2} \end{cases}$$

Equazioni basate su gradi austenitici e duplex. Non sempre valido per i ferritici. È necessaria una revisione per rappresentare tutti i gradi.

Un'attenta analisi di oltre 1000 risultati dei test ha dimostrato che:

- Il modello codificato nell'allegato C della EN1993-1-4 è una semplificazione valida per tutti i tipi di acciaio inossidabile
- Nessuna distinzione tra direzione di carico, senso di carico o livello di lavorazione a freddo.
- Alcune delle equazioni predittive devono essere riviste.

Parametri per l'incrudimento delle deformazioni:

Ferritici: comportamento meno duttile con minore incrudimento

$$n = \frac{\ln 20}{\ln\left(\dfrac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.01}}\right)} \qquad m = 1 + 3.5\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \qquad \varepsilon_u = 1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \qquad \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = 0.2 + 185\frac{\sigma_{0.2}}{E}$$

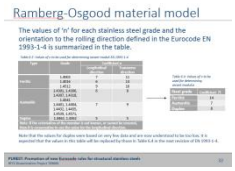
$$n = \frac{\ln 4}{\ln\left(\dfrac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.05}}\right)} \qquad m = 1 + 2.8\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} \qquad \varepsilon_u = 0.6\cdot\left(1 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u}\right) \qquad \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_u} = 0.46 + 145\frac{\sigma_{0.2}}{E}$$

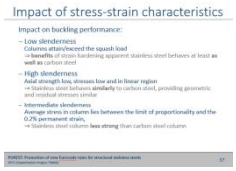
NUOVE PROPOSTE

33 Il coefficiente "n" deriva dallo stress al limite di proporzionalità e
34 quindi è una misura della non-linearità della curva sforzo-deformazione. Valori inferiori di "n" indicano un grado maggiore di non linearità. Il valore dipende dai seguenti fattori:

- gruppo di acciaio inossidabile,
- percorso di elaborazione / fabbricazione,
- livello di lavoro a freddo
- direzione di carico (tensione o compressione)

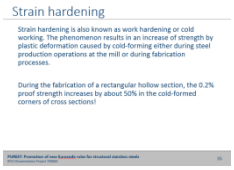
EN 1993-1-4 fornisce attualmente valori per "n" che dipendono dal grado e dall'orientamento alla direzione di laminazione (Tabella 6.5). Si noti che i valori per il duplex erano basati su pochissimi dati e ora si intendono troppo bassi. Si prevede che i valori in questa tabella

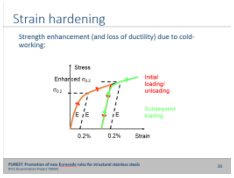




saranno sostituiti da quelli della Tabella 6.4 nella prossima revisione della EN 1993-1-4.

35 36 L'acciaio inossidabile è un materiale non lineare in cui non esiste un punto di snervamento ben definito, ma invece comporta uno snervamento graduale e un notevole incrudimento. In assenza di una resistenza allo snervamento, viene definita la resistenza della prova. La resistenza alla prova è la forza di un ceppo plastico offset, ed è più comune usare la resistenza a prova dello 0,2%.



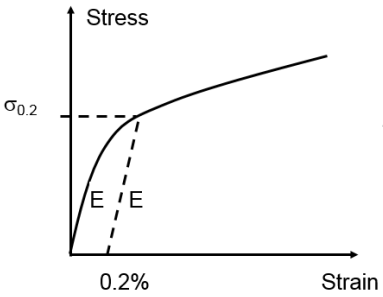


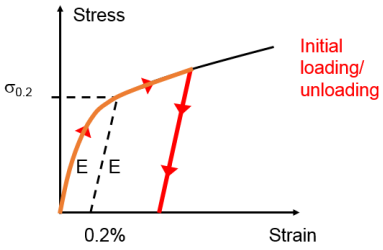
L'effetto della deformazione nella zona di plastica seguita dallo scarico determina una deformazione plastica permanente e una lavorazione a freddo del materiale. La lavorazione a freddo può avvenire durante:

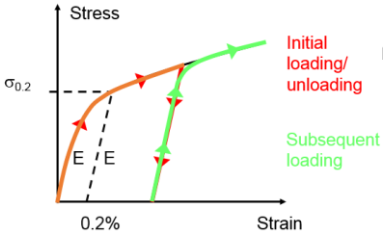
- Formatura di materiale in fogli (presso l'acciaieria)
- Formazione di sezioni (presso il negozio di fabbricazione)
- Sotto carico (in servizio)

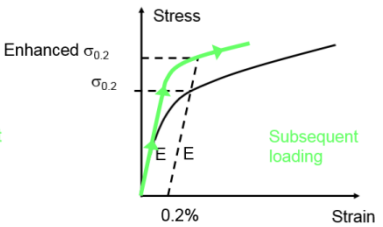
Quindi, sotto carico successivo, si vede una regione elastica estesa e una maggiore resistenza allo snervamento. Questa è la forza migliorata. C'è una perdita di duttilità, ma la duttilità dell'acciaio inossidabile ricotto è molto alta e la duttilità degli elementi formati a freddo è buona.

Le immagini seguenti illustrano il testo:

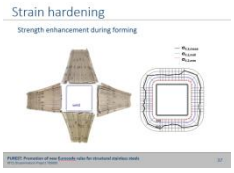








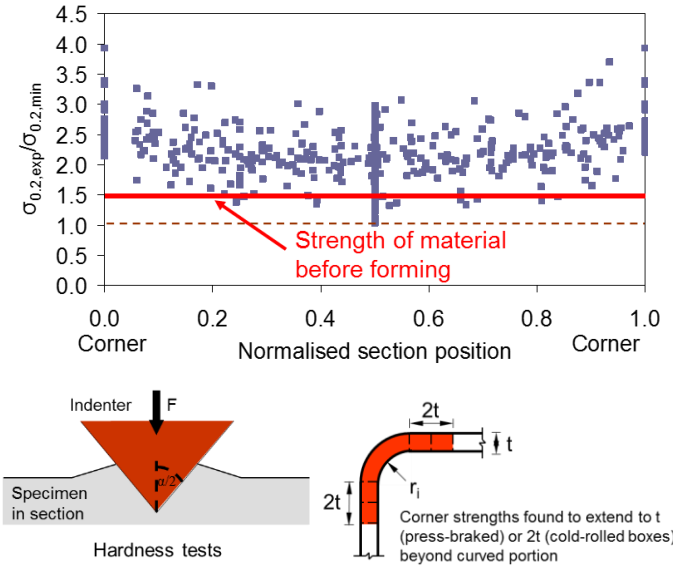
37 Affettando i campioni in una serie di strisce e quindi misurando le caratteristiche sforzo-deformazione è possibile costruire un profilo di forza attorno alla sezione. Con dati sufficienti, possono essere sviluppati strumenti predittivi - questo processo è in corso al momento.



Risultati fascicolati per una scatola sezioni laminata a freddo

- Espressioni predittive basate meccanicamente per facce piane sviluppate e verificate rispetto ai risultati dei test collazionati
- L'estensione delle regioni d'angolo è stata anche identificata

attraverso test di durezza più raffinati mediante una correlazione derivata con la forza



Modelli predittivi basati su meccanismi sviluppati e verificati rispetto ai test collazionati; processo in due fasi:

- Stima la deformazione plastica indotta durante la formazione di sezioni usando semplici relazioni geometriche (t e R)
- Determinare lo stress corrispondente a questa deformazione plastica dal modello del materiale da utilizzare come maggiore resistenza allo snervamento

Per le sezioni scatolate, i miglioramenti tipici sono del 30% nelle regioni piane e del 50% negli angoli.

Afshan, S., Rossi, B. and Gardner, L. (2013). Strength enhancements in cold-formed structural sections – Part I: Material testing. Journal of Constructional Steel Research. 83, 177-188.

Rossi, B., Afshan, S. and Gardner, L. (2013). Strength enhancements in cold-formed structural sections – Part II: Predictive models. Journal of Constructional Steel Research. 83, 189-196.

Cruise, R. B. and Gardner, L. (2008). Strength enhancements induced during cold forming of stainless steel sections. Journal of Constructional Steel Research. 64(11), 1310-1316.

In aggiunta: l'acciaio inossidabile è disponibile in condizioni standardizzate lavorate a freddo. Le regole della EN 1993-1-4 e del Manuale di progettazione possono essere applicate al materiale nelle seguenti condizioni lavorate a freddo:

- Per CP350, caratteristica f_y = 350 N/mm2
- Per CP500, la caratteristica f_y viene ridotta da 500 a 460 N/mm2 per tenere conto dell'asimmetria e dell'anisotropia

La deformazione plastica durante la formatura a freddo può introdurre sostanziali miglioramenti della forza. L'allegato B nel Manuale di progettazione consente al progettista di tenere conto di

questo potenziamento della forza.

Sostituisci f_y con il coefficiente di snervamento medio f_{ya}.

Il beneficio aggiuntivo dell'innalzamento della forza dovuto all'incrudimento in servizio può anche essere preso in considerazione nella progettazione usando il metodo CSM (Continuous Strenght Method), come descritto nell'Allegato D.

---

38 Lo strain hardening non è sempre utile:

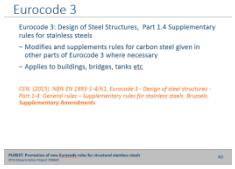
- Equipaggiamento di fabbricazione più pesante e più potente poiché sono richieste forze maggiori,
- Duttilità ridotta (tuttavia, la duttilità iniziale è elevata, specialmente per i gradi austenitici),
- Possono essere prodotte tensioni residue indesiderabili.

La riduzione della duttilità non è mai un problema con gli austenitici perché hanno una duttilità così elevata da iniziare.

Regole di design per gli acciaio inossidabile

40 Questa parte dell'Eurocodice 3 fornisce regole supplementari per l'acciaio inossidabile in cui il comportamento è diverso. Le regole sono generalmente presentate in modo simile a quelle presentate per l'acciaio al carbonio, al fine di aiutare gli ingegneri che possono avere più esperienza con l'acciaio al carbonio.

La parte principale dell'Eurocodice relativa all'acciaio inossidabile è EN 1993-1-4. Questa parte dell'Eurocodice 3 fornisce regole aggiuntive per l'acciaio inossidabile in cui il comportamento è diverso. Le regole sono generalmente in modo simile a quelle presentate per l'acciaio al carbonio.

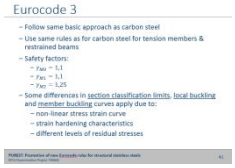


---

41 Una differenza importante per l'acciaio inossidabile sono i fattori di sicurezza. I seguenti fattori dovrebbero essere utilizzati per l'acciaio inossidabile:

- $\gamma_{M0} = 1{,}1$
- $\gamma_{M1} = 1{,}1$
- $\gamma_{M2} = 1{,}25$

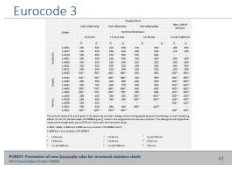
Questi valori sono diversi rispetto all'acciaio al carbonio.



---

42 Questa diapositiva fornisce i valori nominali della resistenza allo snervamento f_y e la forza finale massima per gli acciai inossidabili comuni secondo EN 10088 (N/mm²).

Vedere la tabella 2.2 nel Manuale di progettazione.



---

43 In compressione, a causa dei piccoli spessori, il comportamento delle piastre è influenzato da fenomeni di instabilità locale. L'instabilità locale impedisce alla sezione trasversale di raggiungere la resistenza elastica.

Quindi viene introdotta la classificazione. La classificazione delle sezioni trasversali influenza:

- Tipo di analisi,
- La verifica della sezione trasversale (resistenza plastica? Elastica?),
- Membro (vogliamo anche sapere se possiamo trarre profitto dalla plasticità).
-

---

44 La classificazione è necessaria per decidere sul tipo di verifica della sezione trasversale:

- Verifica elastica,
- Verifica di plastica (o plastica parziale),
- Proprietà efficaci della sezione trasversale (proprietà della sezione trasversale "ridotta": A_{eff} E I_{eff}).

Sono definite quattro classi:

- **Classe 1** può formare una cerniera di plastica, avere una capacità di rotazione sufficiente,
- **Classe 2** le sezioni trasversali sono quelle che possono sviluppare la loro resistenza plastica al momento, ma hanno una capacità di rotazione limitata a causa di instabilità locale,
- **Classe 3** le sezioni trasversali della sono quelle in cui lo sforzo nella fibra di compressione estrema dell'elemento di acciaio che assume una distribuzione elastica di sollecitazioni può raggiungere la resistenza allo snervamento, ma l'instabilità locale è tale da impedire lo sviluppo della resistenza al momento in plastica,
- **Classe 4** le sezioni trasversali della sono quelle in cui si verificherà l'instabilità locale prima del raggiungimento dello stress di snervamento in una o più parti della sezione trasversale.

A seconda della classe, la resistenza plastica può o non può essere presa in considerazione. Avere un profilo di classe 1 o 2 può essere molto utile per la maggior parte dei casi. Panoramica:

Resistenza plastica di classe 1 e classe 2,

Resistenza elastica di classe 3,

Proprietà della sezione trasversale efficace Classe 4.

Le proprietà efficaci dovrebbero essere utilizzate:

L'area effettiva della zona di compressione di una piastra con l'area della sezione trasversale lorda A_c deve essere ottenuta da:

La classificazione è necessaria per decidere sul tipo di verifica della sezione trasversale:

- Verifica elastica,
- Verifica di plastica (o plastica parziale),
- Proprietà efficaci della sezione trasversale (proprietà della sezione trasversale "ridotta": A_{eff} e I_{eff}).

Sono definite quattro classi:

A seconda della classe, la resistenza plastica può o non può essere presa in considerazione. Avere una sezione di classe 1 o 2 può

essere molto utile per la maggior parte dei casi. Panoramica:

- Classe 1 e 2 resistenza plastica ,
- Classe 3 Resistenza elastica ,
- Classe 4 Proprietà della sezione trasversale efficace.

  L'area efficace delle zone compresse di una piastra con area della sezione trasversale lorda A_c deve essere ottenuta da:

$$A_{c,eff} = \rho A_c$$

  dove ρ è il fattore di riduzione per l'instabilità della piastra.
  Elementi interni compressi (formati a freddo o saldati) (questa è un'espressione diversa da quella per l'acciaio al carbonio)

$$\rho = \frac{0{,}772}{\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}} - \frac{0{,}079}{\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}^2} \quad \mathrm{ma} \leq 1{,}0$$

  Elementi esterni compressi (formati a freddo o saldati):

$$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}} - \frac{0{,}188}{\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}^2} \quad \mathrm{ma} \leq 1{,}0$$

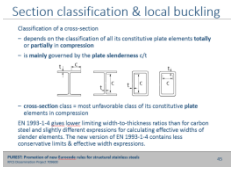
  $\bar{\lambda}_{\mathrm{p}}$ è la snellezza dell'elemento:

$$\bar{\lambda}_{\mathrm{p}} = \frac{\bar{b}/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

  Le formulazioni per ρ sono diverse per l'acciaio inossidabile e per l'acciaio al carbonio. L'approccio generale è lo stesso.

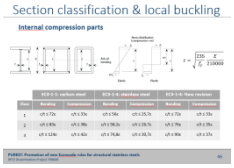
---

45 La determinazione della classe viene effettuata classificando tutti gli
46 elementi costitutivi della piastra parzialmente o totalmente in compressione. La classe dipende dalla snellezza della piastra c/t
47 che viene valutata rispetto ai limiti definiti per ogni classe. La classe delle sezioni trasversali è la classe più sfavorevole dei suoi elementi costitutivi della piastra in compressione.



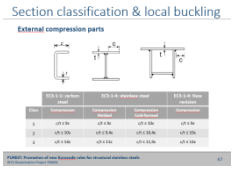
Si possono fare due note importanti:

- Classe di sezione trasversale = classe più sfavorevole dei suoi elementi costitutivi della piastra in compressione. Quindi le travi fabbricate con reti sottili sono di solito sezioni di Classe 4!



- La classe della sezione trasversale dipende da $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}\frac{E}{210000}}$.

  Così molte sezioni cadono in classe 3 (semi-compatte) e 4 quando vengono usati gradi più alti!

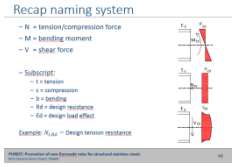


Da quando sono state ricavate le regole di progettazione nell'Eurocodice, sono stati resi disponibili molti più dati di prova per l'acciaio inossidabile strutturale e questi dati giustificano ora l'uso di limiti di classificazione delle sezioni meno conservativi, generalmente allineati ai limiti del carbonio. I limiti saranno pertanto sollevati nella prossima versione della EN 1993-1-4, che sarà pubblicata nel 2014.

Le diapositive 46 e 47 mostrano i diversi valori limite per acciaio al carbonio, acciaio inossidabile secondo EN 1993-1-4 e acciaio inossidabile secondo la revisione della EN 1993-1-4 nel 2014.

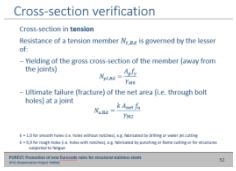
---

48 Riepilogo del sistema di denominazione con un esempio.



---

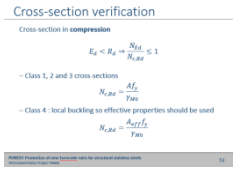
49 Non ci sono extra note.



---

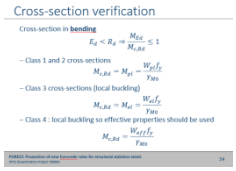
50 A seconda della loro snellezza, le colonne mostrano due tipi distinti di comportamento:

- Il comportamento di colonne brevi e tarchiate (snellezza dei membri bassi) sarà regolato dalle proprietà locali della sezione trasversale e il fallimento sarà causato dal cedimento del materiale (schiacciamento). Il carico di snervamento $N_y = Af_y$ (area x carico di snervamento)
- Il comportamento delle colonne lunghe e sottili (snellezza dei membri alti) sarà regolato dalle proporzioni globali e il fallimento sarà dovuto all'instabilità generale dei membri elastici (instabilità). Il carico elastico di instabilità è indicato con $N_{cr.}$ Vedi più avanti in questa presentazione.

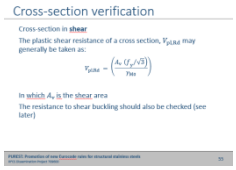


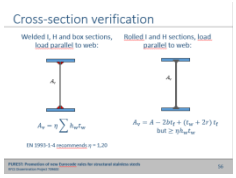
---

51 Non ci sono extra note.



52
53 Per ulteriori formulazioni per A_v, vedere la tabella 5.5 nel Manuale di progettazione.

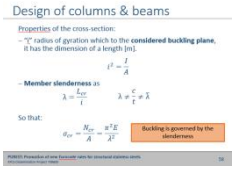




54
55 In compressione, a causa della dimensione globale della colonna, il comportamento è influenzato da fenomeni di instabilità. Queste instabilità spesso assumono la forma di instabilità laterale globale attorno all'asse debole.

L'instabilità è governata dalla snellezza:

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

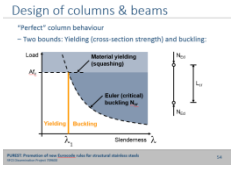


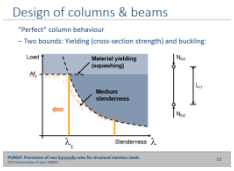
56 Questo grafico rappresenta il comportamento della colonna
57 "perfetto". È possibile specificare due zone nel diagramma carico-snellezza. Una zona cedevole, in cui la sezione non riesce a causa
58 della cedevolezza (resistenza della sezione trasversale, vedere la sezione in compressione) e una zona di instabilità, in cui si verifica l'instabilità prima che venga raggiunta la resistenza massima della sezione trasversale.

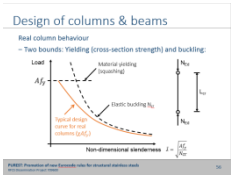
La forza effettiva delle colonne non segue esattamente la teoria (cioè resa del materiale + instabilità elastica) a causa di:

- Disallineamento geometrico iniziale
- Eccentricità di carico
- Non omogeneità del materiale
- Tensioni residue
- ...

Pertanto, le curve di instabilità del design si trovano sopra o sotto le curve teoriche.

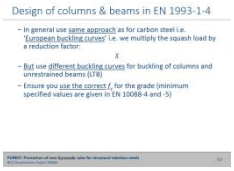






59 In generale, lo stesso approccio usato per l'acciaio al carbonio, vale a dire "curve di instabilità europee", vale a dire. Moltiplicare il carico di squash per un fattore di riduzione χ. Ma usa diverse curve di instabilità per l'instabilità di colonne e travi non vincolate (LTB).

Nota: accertarsi di utilizzare la f_y corretta per il grado (i valori minimi specificati sono indicati in EN 10088-4 e -5)



60 La resistenza alla deformazione di compressione $N_{b,Rd}$ è determinata
61 come segue:
62 Per le sezioni di classe 1,2 e 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

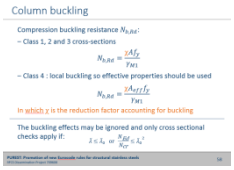
Per sezione di classe 4:

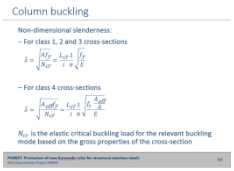
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

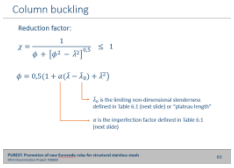
In cui χ è il fattore di riduzione che tiene conto dell'inarcamento. Il fattore di riduzione può essere calcolato utilizzando:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \left[\phi^2 - \bar{\lambda}^2\right]^{0,5}} \quad \leq \quad 1$$

La snellezza non dimensionale λ può essere calcolata usando:







Per le sezioni di classe 1,2 e 3:

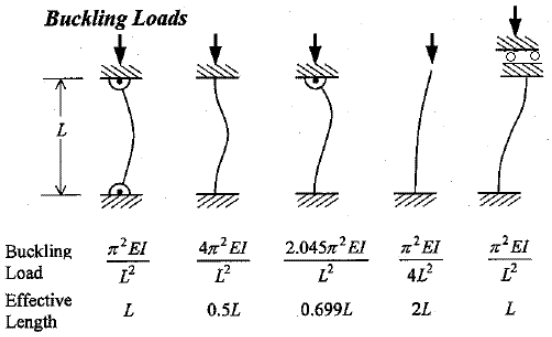
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{Cr}}{i}\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Per sezione di classe 4:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{Cr}}{i}\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{f_y\,\frac{A_{eff}}{A}}{E}}$$

N_{cr} il carico di deformazione critico elastico per la relativa modalità di instabilità in base alle proprietà lorde della sezione trasversale. Nella formulazione di N_{cr}, L_{cr} rappresenta la lunghezza di instabilità effettiva. La determinazione della lunghezza di instabilità dovrebbe essere basata sui principi della meccanica strutturale, tenendo conto delle condizioni al contorno.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{{L_{cr}}^2}$$



e,

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

Le curve di instabilità per l'acciaio inossidabile assumono la stessa forma matematica di quelle per l'acciaio al carbonio, ma il fattore di imperfezione (α tabella 6.1 (diapositiva 61)) e la limitatezza non dimensionale ($\bar{\lambda}_0$ tabella 6.1 (diapositiva 61), "lunghezza del plateau") sono diversi.

è il fattore di imperfezione definito in Tabella 6.1 (diapositiva 61).

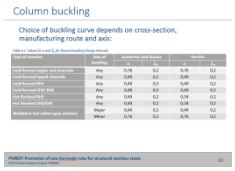
Per le sezioni in acciaio inossidabile gli effetti di instabilità possono essere ignorati e si applicano solo i controlli trasversali se:

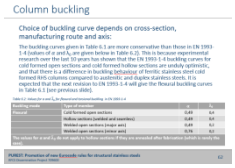
$$\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad \text{o} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{Cr}} \leq {\bar{\lambda}_0}^2$$

---

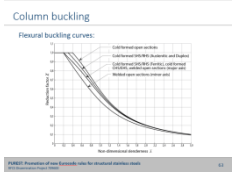
63 Nessuna nota.

64





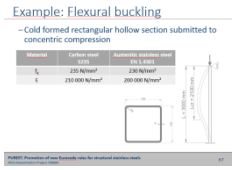
65 Le curve di instabilità per varie sezioni sono mostrate in questo grafico.

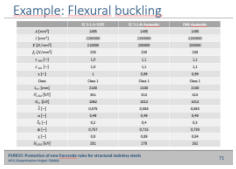


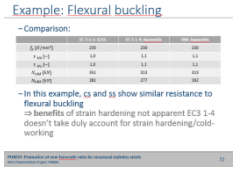
66
67
68 Vengono confrontate due colonne, una in acciaio al carbonio e una in acciaio inossidabile con proprietà simili. I calcoli per la colonna in acciaio inossidabile sono calcolati secondo la EN 1993-1-4 e il Manuale di progettazione. La differenza tra entrambi è solo correlata al fattore $\bar{\lambda}_0$.

In questo esempio, acciaio al carbonio e acciaio inossidabile mostrano resistenza flessionale simile. I vantaggi dell'incrudimento non sono evidenti, la EN 1993-1-4 non tiene debitamente conto della lavorazione a freddo.

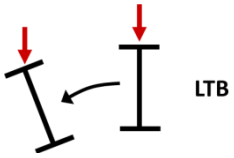
Devono essere applicati il valore della resistenza incrementato per lavorazione a freddo (Apendice B nel Manuale di progettazione) ed il Continuous Strength Method (Apendice D nel Manuale di progettazione).







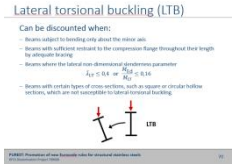
69
70
71 Travi di cui la flangia di compressione è libera di ruotare e spostare lateralmente è considerata un raggio non vincolato. I raggi non vincolati possono soffrire di instabilità flesso-torsionale (LTB). Il carico applicato introduce una forza diversa nelle due flange, una sotto compressione, una in tensione che provoca la rotazione laterale di quella sulla compressione. La deformazione torsionale laterale deve essere evitata nella costruzione.

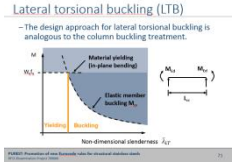


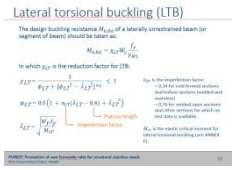
Nei seguenti casi LTB non dovrebbe essere considerato:

- Fasci soggetti a flessione solo attorno all'asse secondario,
- Travi con sufficiente ritenzione alla flangia di compressione per tutta la loro lunghezza da un adeguato rinforzo,
- Raggi dove il parametro di snellezza non dimensionale laterale,
  - $\bar{\lambda}_{\mathrm{LT}} \leq 0{,}4$ o $\frac{M_{\mathrm{Ed}}}{M_{\mathrm{Cr}}} \leq 0{,}16$
  - Travi con determinati tipi di sezioni trasversali, come sezioni cave quadrate o circolari, che non sono soggette a instabilità torsionale laterale

Per tutte le altre classi di membri, è necessario verificare la resistenza







alla deformazione torsionale laterale. L'approccio progettuale per LTB è analogo al trattamento di instabilità della colonna. La resistenza alla deformazione può essere calcolata usando:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

W_y = $W_{pl,y}$ per sezioni di Classe 1 o 2

W_y = $W_{el,y}$ per sezioni di Classe 3

W_y = $W_{eff,y}$ per sezioni trasversali di Classe 4

χ_{LT} un fattore di riduzione che tiene conto della deformazione torsionale laterale, data da:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}{}^2 - \bar{\lambda}_{LT}{}^2]^{0,5}} \leq 1$$

Dove:

$$\phi_{LT} = 0,5\left(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + \bar{\lambda}_{LT}{}^2\right)$$

α_{LT} è il fattore di imperfezione. I valori di α_{LT} sono diversi per l'acciaio inossidabile rispetto all'acciaio al carbonio.

> α_{LT} = 0,34 per profilati a freddo e profilati cavi (saldati e senza saldatura)
>
> α_{LT} = 0,76 per sezioni aperte saldate e altre sezioni per le quali non sono disponibili dati di prova

Il valore 0,4 nelle formule sopra rappresenta la "lunghezza del plateau" vedere sulla diapositiva 71 (diversa per l'acciaio al carbonio).

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{Cr}}}$$

M_{cr} è il momento critico elastico per l'instabilità laterale torsionale (vedi Appendice E del Manuale di progettazione).

L'approccio di calcolo è identico a quello per i membri in acciaio al carbonio.

La distribuzione del momento tra i vincoli laterali dei membri può essere presa in considerazione mediante l'uso di un valore modificato per χ_{LT} dove:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

Ma, $\chi_{LT,mod} \leq 1$ e $\chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}{}^2}$

Si consiglia il seguente valore minimo per f:

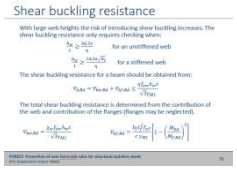
$$f = 1 - 0,5(1 - k_c)\left[1 - 2,0\left(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8\right)^2\right] < 1,0$$

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{C_1}}$$

I valori di C_1 si trovano nell'Appendice E del Manuale di

progettazione.

72 Con altezze dell'anima della trave di grandi dimensioni, aumenta il rischio di introdurre instabilità per taglio. La resistenza all'instabilità per taglio deve essere verificata solo quando:



$\frac{h_w}{t} \geq \frac{56,2\varepsilon}{\eta}$ per anima non irrigidita

$\frac{h_w}{t} \geq \frac{24,3\varepsilon\sqrt{k_t}}{\eta}$ per anima irrigidita

La resistenza all'instabilità per taglio si calcola come segue:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3}\gamma_{M1}}$$

è determinata dal contributo dell'anima e dal contributo delle flange. Per semplicità, il contributo delle flange χ_f può essere trascurato. Tuttavia, se la resistenza della flangia non è completamente utilizzata per sostenere il momento flettente ($M_{Ed} < M_{f,Rd}$), il contributo delle flange all'instabilità per taglio può essere ottenuto come segue:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3}\gamma_{M1}}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c\,\gamma_{M1}}\left[1-\left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}\right)^2\right]$$

Per i valori di η, vedere EN 1993-1-5 (EN 1993-1-4 raccomanda η = 1,20.)

L'Allegato Nazionale del Regno Unito fornisce η = 1,20 quando la resistenza di prova dello 0,2% dell'acciaio non è superiore a 460 MPa e quando la temperatura dell'acciaio non supera i 400 ° C. Il valore η = 1,0 deve essere utilizzato quando la resistenza di prova dello 0,2% supera 460 MPa e / o la temperatura dell'acciaio supera i 400 ° C.

Nota: lo stesso valore di η deve essere utilizzato per calcolare la resistenza plastica al taglio utilizzata per il calcolo della resistenza alla deformazione di taglio.

Per una panoramica completa del design a taglio, vedere 6.4.3 nel Manuale di progettazione.

Per l'acciaio al carbonio l'approccio progettuale è simile. Tuttavia, vengono forniti diversi valori limite. Ad esempio, la resistenza alla deformazione del taglio per i membri in acciaio al carbonio richiede solo il controllo quando:

$\frac{h_w}{t} \geq \frac{72\varepsilon}{\eta}$ per anima non irrigidita (acciaio al carbonio)

$\frac{h_w}{t} \geq \frac{31\varepsilon\sqrt{k_t}}{\eta}$ per anima irrigidita (acciaio al carbonio)

Deformazioni

74 La determinazione delle deviazioni deve essere eseguita utilizzando
75 il relativo stato limite di servizio.

76 Le deviazioni dei fasci elastici (cioè quelli che non contengono una cerniera di plastica) può essere stimata dalla teoria strutturale standard, eccetto che il modulo di elasticità secante dovrebbe essere usato al posto del modulo di elasticità. Il valore del modulo secante varia con il livello di sollecitazione nel raggio e può essere ottenuto come segue:

$$E_S = \frac{(E_{S1} + E_{S2})}{2}$$

E_{S1} è il modulo secante corrispondente allo sforzo nella flangia di tensione.

E_{S2} è il modulo secante corrispondente allo sforzo nella flangia di compressione.

Il modulo secante E_S per un determinato sforzo allo SLS (determinato dal modello sforzo-deformazione di Ramberg-Osgood):

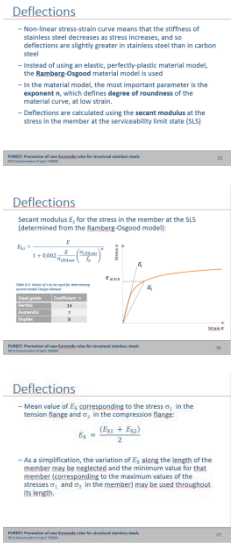
$$E_{S,i} = \frac{E}{1 + 0{,}002\dfrac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}}\left(\dfrac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y}\right)^n}$$

$\sigma_{i,Ed,ser}$ è la sollecitazione del progetto di esercizio nella tensione o nella flangia di compressione

n deriva dallo stress al limite di proporzionalità e quindi è una misura della non-linearità della curva sforzo-deformazione, con valori più bassi che indicano un maggior grado di non-linearità. I valori per n dipendono dal gruppo in acciaio inossidabile, dal percorso di lavorazione/fabbricazione, dal livello di lavoro a freddo e dalla direzione di carico (tensione o compressione). C'è una grande variazione nei valori misurati. I valori consigliati sono riportati nella tabella 6.4.

Antefattto

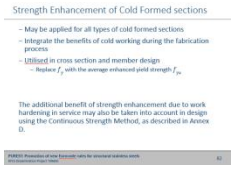
La relazione sforzo-deformazione dell'acciaio inossidabile non lineare significa che il modulo di elasticità varia all'interno della sezione trasversale e lungo la lunghezza di un membro. Quindi sono necessarie procedure complesse non lineari per la determinazione accurata delle deflessioni nelle travi in acciaio inossidabile. Come semplificazione, la variazione di E_S lungo la lunghezza dell'elemento può essere trascurata e il valore minimo di E_S per quel membro (corrispondente ai valori massimi delle sollecitazioni σ_1 e σ_2 nell'elemento) può essere usato per tutta la sua lunghezza. Si noti che questo metodo è accurato per prevedere le deflessioni quando il modulo secante si basa sulla sollecitazione massima nell'elemento e questa sollecitazione massima non supera il 65% della resistenza di prova dello 0,2%. A livelli più elevati di stress, il metodo diventa molto conservativo e dovrebbe essere usato un metodo più accurato (ad esempio quello che implica l'integrazione lungo la lunghezza dell'elemento).



EN 1993-1-4

EN 1993-1-4 fornisce attualmente valori per n che dipendono dal grado e dall'orientamento alla direzione di laminazione (Tabella 6.5). Si noti che i valori per il duplex erano basati su pochissimi dati e ora sono considerati troppo bassi. Si prevede che i valori in questa tabella saranno sostituiti da quelli della Tabella 6.4 nella prossima revisione della EN 1993-1-4.

Miglioramento alla resistenza delle sezioni formate a freddo

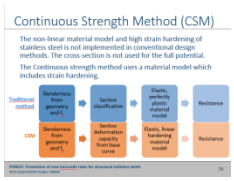


78 Potenziamento della forza può essere applicato per tutti i tipi di
79 sezioni formate a freddo. I vantaggi della lavorazione a freddo durante il processo di fabbricazione possono essere utilizzati nella
80 sezione trasversale e nel design del membro sostituendo f_y con la resistenza di snervamento media f_{ya}.

Il beneficico innalzamento della forza dovuto all'incrudimento in servizio può anche essere preso in considerazione nella progettazione usando il metodo CSM (Continuous Strength Method) , come descritto nell'Allegato D.

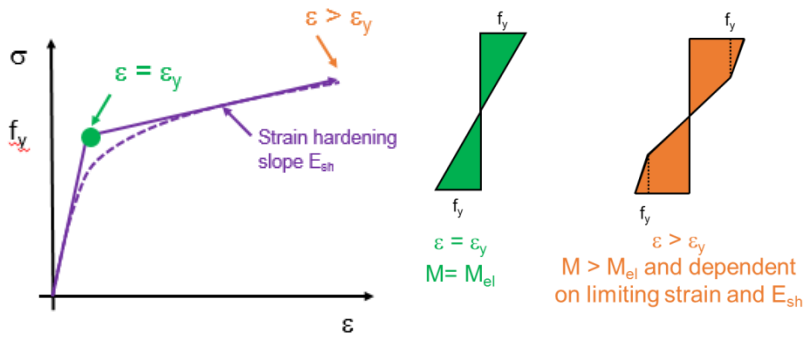
Metodo di calcolo vedi allegato B nel Manuale di progettazione.

Metodo di forza continua (CSM)



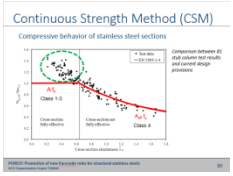
82 Come accennato prima il modulo del giovane e la forza di
83 snervamento dell'acciaio inossidabile sono sostanzialmente simili all'acciaio al carbonio. Ma la curva di sollecitazione è fondamentalmente diversa:

- L'acciaio al carbonio ha un punto di snervamento ben definito con un plateau plastico (seguito da incrudimento)
- L'acciaio inossidabile mostra uno snervamento graduale, con un elevato incrudimento plastico. Modello di materiale con incrudimento lineare (strain hardening):



---

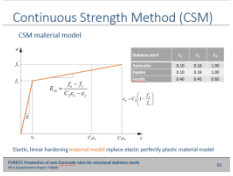
84 Questo grafico mostra i dati di test raccolti su sezioni trasversali in
85 acciaio inossidabile in compressione. Sull'asse verticale il carico finale raggiunto durante la prova, normalizzato dal carico di snervamento e sull'asse orizzontale, la snellezza delle sezioni trasversali locali. La linea rossa rappresenta l'attuale approccio progettuale simile alla filosofia dell'acciaio al carbonio - cioè un comportamento del materiale elastico e perfettamente plastico.



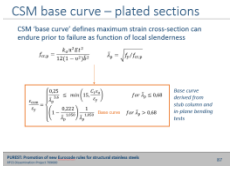
I dati interessanti si trovano sul lato sinistro della curva. Tutti questi campioni si deformano lungo la curva sforzo-deformazione e raggiungono capacità ben superiori al carico di snervamento a causa dell'incrudimento, ma i codici attuali limitano la loro capacità al carico di snervamento, che si può vedere molto conservativo. Conclusione: le attuali disposizioni di progettazione sono eccessivamente conservative, in particolare per le sezioni trasversali in acciaio inossidabile. Lo stesso si osserva confrontando la resistenza alla flessione.

---

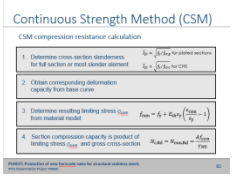
86 Il modello di materiale indurente lineare elastico sostituisce il modello
87 in materiale plastico perfettamente elastico.



88 Il primo passo in CSM è la determinazione della capacità di deformazione della sezione trasversale. In altre parole, qual è la quantità di deformazione che la sezione trasversale può resistere prima del cedimento causato dall'introduzione locale. Questa è la relazione tra la capacità di deformazione e la snellezza della sezione trasversale locale, indicata come curva di base.



Ora utilizza questo valore limite, epsilon CSM, in combinazione con il secondo componente chiave del CSM, che è il modello del materiale incrudente, con pendenza di incrudimento variabile che varia con il grado dell'acciaio inossidabile. Gradi diversi possono mostrare diverse caratteristiche di incrudimento.



$\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_y/f_{cr,p}}$ per sezioni a pareti piane

$\bar{\lambda}_p = \sqrt{f_y/f_{cr,c}}$ per sezioni circolari cave

$$f_{csm} = f_y + E_{sh}\varepsilon_y\left(\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} - 1\right)$$

Per sezioni placcate con $\bar{\lambda}_p \leq 0{,}68$ e per CHS con $\bar{\lambda}_c \leq 0{,}30$, corrispondente a $\varepsilon_{csm}/\varepsilon_y \geq 1{,}0$ la resistenza di compressione della sezione trasversale è determinata come:

$$N_{c,Rd} = N_{csm,Rd} = \frac{Af_{csm}}{\gamma_{M0}}$$

Per sezioni placcate con $\bar{\lambda}_p > 0{,}68$ e per CHS con $\bar{\lambda}_c > 0{,}30$, corrispondente a $\varepsilon_{csm}/\varepsilon_y < 1{,}0$, la resistenza di compressione della sezione trasversale viene determinata come:

$$N_{c,Rd} = N_{csm,Rd} = \frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y}\frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

Per i calcoli CSM alla resistenza in flessione, vedere il Manuale di

progettazione allegato D.

Conclusione

90 L'acciaio inossidabile è un materiale straordinario che offre vantaggi significativi rispetto all'acciaio al carbonio. A causa della mancanza di chiare indicazioni di progettazione, questo materiale è ancora ampiamente utilizzato nella costruzione. Con lo sviluppo del manuale di progettazione speriamo di ispirare le generazioni esistenti e nuove a scoprire l'acciaio inossidabile come materiale da costruzione.

Tutti i prodotti PUREST in tutte le lingue sono disponibili per il download gratuito qui: www.steel-stainless.org/designmanual

---