

L'ACCIAIO INOSSIDABILE COME MATERIALE PER LE COSTRUZIONI

Stainless steel as a structural material

Nancy Baddoo, Giuliana Zilli

L'acciaio inossidabile, oltre alle doti estetiche e di durabilità che gli vengono ampiamente riconosciute, ha anche capacità portante, resilienza e duttilità che lo rendono molto interessante in applicazioni prettamente strutturali.

La presentazione della quarta edizione del "Manuale di Progettazione per Strutture in Acciaio Inossidabile", che raccoglie i più recenti risultati sperimentali sul comportamento strutturale dell'acciaio inossidabile, è l'occasione per illustrarne le caratteristiche di resistenza meccanica, quali sono le differenze rispetto agli acciai comuni da costruzione e perché abbiamo bisogno di metodi di progettazione specifici per l'acciaio inossidabile.

Stainless steel, in addition to the aesthetic and durability awards that are widely recognized, also have load bearing capacity, resilience and ductility that make it very interesting in purely structural applications.

The presentation of the Fourth Edition of the "Stainless Steel Structural Design Manual", which collects the latest experimental results on the structural behavior of stainless steel, is an opportunity to illustrate the mechanical strength characteristics of this material, such as the differences from common construction steels and why we need specific design methods.

LA CRESCENTE DOMANDA di strutture in acciaio inossidabile ha portato allo sviluppo di standard di progettazione in tutto il mondo. Nel 2006 in Europa è stato pubblicato l'Eurocodice 3 Parte 1-4, che per quasi tutti i paesi europei è stato il primo standard di progettazione per l'acciaio inossidabile e l'unico standard di progettazione al mondo che tratta anche prodotti laminati a caldo, saldati e formati a freddo, così come la progettazione allo stato limite d'incendio.

A causa della carenza di dati sperimentali alcune delle regole di progettazione dell'edizione 2006 dell'Eurocodice 3 Parte 1-4 erano molto conservative. Tuttavia, negli ultimi 10-20 anni c'è stato un significativo aumento della ricerca sulle prestazioni strutturali dell'acciaio inossidabile, in Europa e nel mondo, grazie al quale sono state generate molte informazioni utili. Basti pensare che il database internazionale dei test strutturali è ora tre volte più grande di quello usato per ricavare le regole dell'edizione 2006 dell'Eurocodice 3 per l'acciaio inossidabile.

Nel 2015 è stata pubblicata la revisione della EN 1993-1-4, in

cui la modifica più significativa riguarda la classificazione delle sezioni: i rapporti tra larghezza e spessore sono stati aumentati per allinearli a quelli per l'acciaio al carbonio. Inoltre è stata inclusa una guida meno conservativa per la deformazione da taglio (importante per le travi degli impalcati dei ponti, un'area di applicazione in crescita) e una guida più chiara su come progettare l'acciaio inossidabile lavorato a freddo.

Nell'ambito del progetto europeo PUREST (Promotion of new Eurocode rules for structural stainless steel), parzialmente finanziato dal Fondo di ricerca dell'UE per il carbone e l'acciaio, è stata recentemente pubblicata la quarta edizione del "Manuale di progettazione per strutture in acciaio inossidabile" (figura 1), realizzato dal consorzio di ricerca Europeo di cui RINA Consulting – Centro Sviluppo Materiali S.p.A. rappresenta la parte italiana. Il Manuale, oltre ad aggiornare le regole di progettazione per allinearsi con la modifica del 2015 alla EN 1993-1-4, include anche:

- informazioni aggiuntive per la progettazione con acciai inossidabili ferritici;

- nuovi metodi di progettazione su come sfruttare l'incrudimento associato alle operazioni di formatura a freddo durante la fabbricazione (un aumento della resistenza di circa il 50% è tipico negli angoli formati a freddo delle sezioni trasversali e la resistenza del materiale nelle facce piane anche aumenta);
- un metodo (Continuous Strength Method) per calcolare le sezioni trasversali che tiene conto del legame costitutivo incrudente degli acciai inossidabili.

INTRODUZIONE AGLI ACCIAI INOSSIDABILI

L'acciaio inossidabile è una lega di acciaio contenente cromo, nichel, ferro e carbonio. La percentuale in massa del contenuto di cromo varia dal 10,5 al 30%. Il cromo è l'elemento che determina la resistenza a corrosione e consente la formazione del film passivo che protegge la superficie dagli attacchi atmosferici (figura 2). Al variare della percentuale di elementi in lega si ottengono diversi tipi di acciaio inossidabile caratterizzati da diversi gradi di resistenza alla corrosione, resistenza meccanica, lavorabilità, saldabilità e, non ultimo, di costo. Fare una scelta tra i numerosi gradi è già un'impresa non semplice.

Le famiglie di acciaio inossidabile che interessano l'ambito delle costruzioni civili sono principalmente: acciai inossidabili ferritici, acciai inossidabili austenitici e acciai inossidabili duplex (o austeno-ferritici) (figura 3).

Gli acciai inossidabili austenitici sono i più utilizzati per le applicazioni strutturali, sebbene l'uso di acciaio inossidabile duplex sia in aumento, specialmente in quelle applicazioni in cui si richiede elevata resistenza.

I gradi ferritici costano meno dei gradi austenitici, hanno resistenza alla corrosione equivalente e mostrano una minore volatilità dei prezzi; d'altro canto sono meno duttili e meno saldabili rispetto agli acciai inossidabili austenitici. Gli acciai inossidabili ferritici sono generalmente utilizzati con spessori minori o uguali a 4 mm e offrono un'alternativa resistente alla corrosione per molte applicazioni dell'acciaio zincato leggero.

Gli acciai inossidabili duplex hanno una microstruttura mista di austenite e ferrite, e talvolta sono chiamati acciai austeno-ferritici. Hanno una grande resistenza meccanica (equivalente ad un S460) con una buona resistenza alla corrosione, ma sono più difficili da trasformare rispetto agli acciai inossidabili austenitici. Poiché contengono meno nickel rispetto ai gradi austenitici, mostrano una minore volatilità dei prezzi (figura 4)

ESEMPI APPLICATIVI NELLE COSTRUZIONI METALLICHE

Gli acciai inossidabili sono materiali altamente versatili, che possiedono una combinazione di proprietà che possono essere sfruttate in applicazioni strutturali. Le tipiche applicazioni strutturali includono:

- Impianti di lavorazione per il trattamento delle acque, della car-

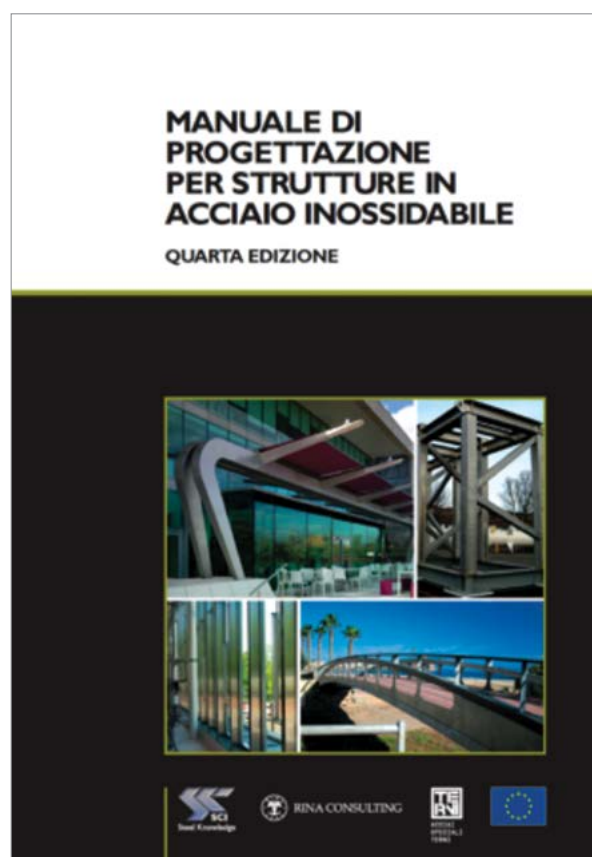


Fig. 1 - Manuale di progettazione per strutture in acciaio inossidabile, quarta edizione 2017

- ta, industria nucleare, chimica, farmaceutica e alimentare;
- Ponti: travi primarie e colonne, perni, barriere, parapetti, guaine per cavi e giunti di dilatazione;
- Strutture costiere (pareti frangiflutti, moli);
- Armature in strutture in calcestruzzo;
- Facciate continue, coperture, tettoie, rivestimento per gallerie;
- Sistemi di supporto per facciate e murature, elementi di fissaggio e sistemi di ancoraggio;
- Barriere di sicurezza, ringhiere a mano, arredo urbano;
- Elementi strutturali ed elementi di fissaggio negli edifici delle piscine (particolari precauzioni dovrebbero essere prese per i componenti strutturali negli ambienti delle piscine a causa del rischio di corrosione sotto stress nelle zone in cui possono formarsi condensati);
- Strutture resistenti alle esplosioni e agli impatti quali muri di sicurezza, cancelli e bitte delle banchine;
- Piattaforme *offshore* (pareti antincendio e antideflagranti).

La figura 5 mostra un tetto a cupola per un nuovo impianto di fertilizzanti a base di urea e nitrato di ammonio, in costruzione in Polonia. La struttura comprende 144 travi curve di sezione IPE270 saldate laser, lunghe 15 m, nonché travi laminate a caldo con sezione a C e L. Tutte le travi (95 tonnellate) sono realizzate in acciaio inossidabile austenitico di grado 1.4404.

In figura 6 si riportano alcune sequenze della fabbricazione di quattro travi d'impalcato di luce 174 m in acciaio inossidabile

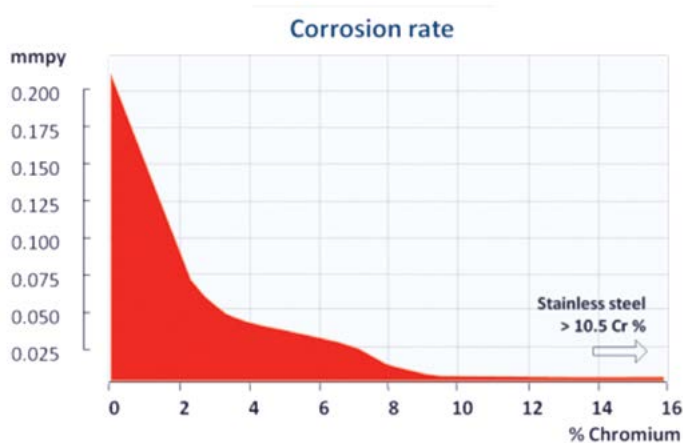


Fig. 2 - Variazione della velocità di corrosione all'aumentare del contenuto in cromo.

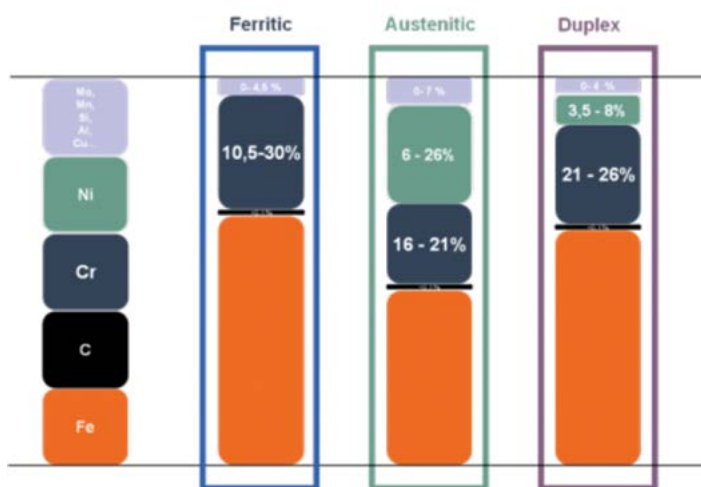


Fig. 3 - Composizione chimica delle principali famiglie di acciaio inossidabile per impieghi strutturali.

	EN Number	Popular Name	Approx. Relative Cost
Basic Cr-Ni Austenitic	1.4301	304	1
	1.4307	304L	
Cr-Ni-Mo Austenitic	1.4401	316	1.3
	1.4404	316L	
Lean Duplex	1.4162	2101	1
Duplex	1.4462	2205	1.3

Group	Strength	Ductility	Magnetic	Weldable	Formability
Austenitic	●●	●●●	✗	✓	●●●
Duplex	●●●	●●	✓	✓	●●
Ferritic	●●	●●	✓	(✓)	●●

Fig. 4 - Confronto delle caratteristiche delle principali famiglie di acciaio inossidabile per impieghi strutturali

duplex 1.4462 per un totale di 600 tonnellate. Le travi, alte 1 metro, sostituiranno le travi in acciaio al carbonio allo scopo di ampliare una linea ferroviaria suburbana a Stoccolma. Il proprietario del progetto, Stockholm Public Transport, ha scelto l'acciaio inossidabile per ridurre al minimo gli interventi di manutenzione. Le gallerie sono ambienti difficili in cui intraprendere attività di

costruzione e manutenzione e di conseguenza i costi aggiuntivi dell'acciaio inossidabile sono assorbiti durante il ciclo di vita della struttura. Allo scopo di garantire una vita di progetto di 80 anni con manutenzione minima, è stato utilizzato l'acciaio inossidabile austenitico di grado 1.4404 per la struttura di supporto del sistema Rigid Overhead Conductor Rail System (ROCS) in cinque tunnel del Great Western Electrification Project, che elettrifica la linea ferroviaria che collega Londra al Galles del Sud. Per i 7 km di binari che attraversano il Severn Tunnel, sono stati utilizzati acciai inossidabili più legati (super austenitico 1.4529 e super duplex 1.4410) perché l'ambiente era più aggressivo a causa dell'ingresso dei cloruri dall'estuario del Severn (figura 7)

PROPRIETÀ MECCANICHE

Sebbene molte proprietà meccaniche degli acciai inossidabili siano simili a quelle dell'acciaio al carbonio, osservando i loro legami sforzo-deformazione a confronto (figura 8) si capisce perché siano necessarie regole di progettazione specifiche per gli acciai inossidabili.

L'acciaio al carbonio presenta un comportamento elastico lineare fino a un punto di snervamento ben definito, dopo di che la deformazione può aumentare senza sostanziale aumento di stress sebbene possa esserci una piccola quantità di incrudimento. L'acciaio inossidabile mostra invece uno snervamento graduale, con elevato incrudimento in fase plastica. Inoltre l'acciaio inossidabile ha comportamento asimmetrico (resistenza diversa tra trazione e compressione) e anisotropo (la resistenza varia in direzione longitudinale e trasversale del prodotto). Queste differenze del legame sforzo-deformazione hanno ripercussione su:

- Differenti limiti d'instabilità, sia locale che globale;
- Deformazioni agli stati limite di servizio generalmente maggiori;
- Sostanziale incrudimento degli elementi strutturali durante l'esercizio.

SELEZIONE DEL GRADO

Una differenza chiave tra acciaio inossidabile e acciaio al carbonio è che esiste una vasta gamma di gradi di acciaio inossidabile, ciascuno con composizione chimica leggermente diversa e quindi diversa resistente alla corrosione. Nella revisione del 2015 della EN 1993-1-4 è stata inclusa una procedura per la selezione del grado di acciaio inossidabile. La procedura prevede i seguenti passaggi:

Determinazione del Corrosion Resistance Factor (CRF) relativo all'ambiente di servizio;

Determinazione della Corrosion Resistance Class (CRC) a partire dal CRF.

Il CRF dipende dall'aggressività dell'ambiente e viene calcolato come segue:

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

dove

F_1 = Rischio di esposizione ai cloruri dall'acqua salata o ai sali antigelo;

F_2 = Rischio di esposizione al biossido di zolfo;

F_3 = Regime di pulizia o esposizione al lavaggio dell'acqua piovana.

Il CRF considera tutti i rischi di corrosione, tra cui vaiolatura, corrosione interstiziale e incrinature da corrosione sotto sforzo che

possono compromettere l'integrità delle parti portanti. La procedura di selezione è pensata in maniera tale da evitare quel tipo di corrosione che potrebbe avere un impatto sull'integrità strutturale di un componente portante. Tuttavia, in alcuni casi potrebbe verificarsi corrosione cosmetica (colorazione o vaiolatura minore). Questi effetti possono essere sgradevoli e inaccettabili quando l'aspetto estetico è importante ma non sono dannosi per l'integrità strutturale.

I gradi di acciaio inossidabile sono classificati in cinque CRC (fi-



Fig. 5 - Sezioni strutturali in acciaio inossidabile utilizzate per la copertura di un impianto di fertilizzanti in Polonia (Courtesy: Montanstahl)



Fig. 6 - Travi del ponte ferroviario di Stoccolma in corso di fabbricazione (a) e in fase di installazione (b) (Courtesy: Lars Hamrebjörk)

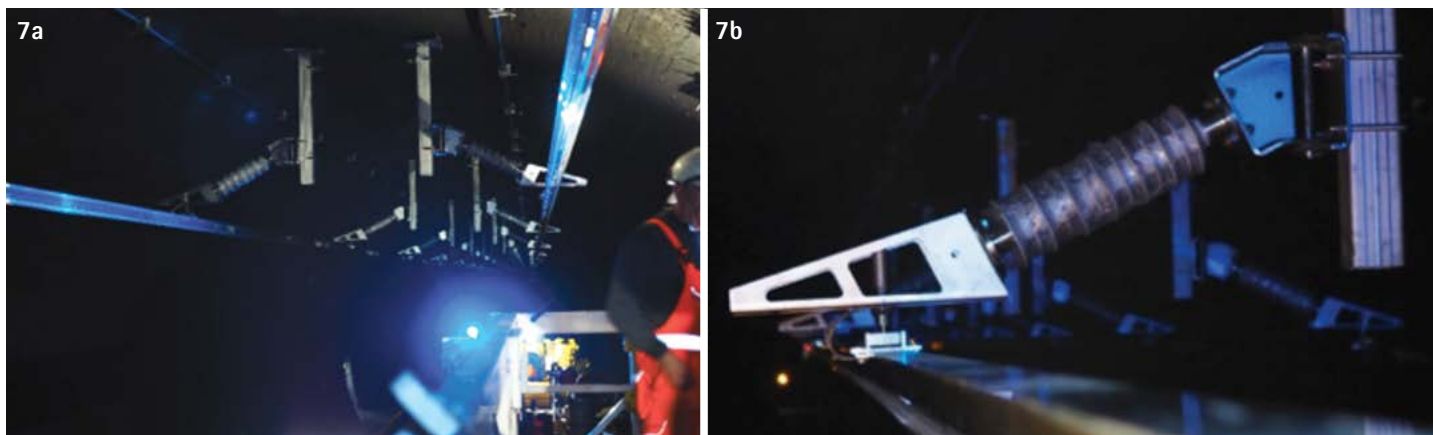


Fig. 7 - L'acciaio inossidabile è stato selezionato per tutti gli elementi strutturali in acciaio che supportano il ROCS al fine di garantire una durata di progettazione di 80 anni.) (Courtesy: Furrer+Frey)

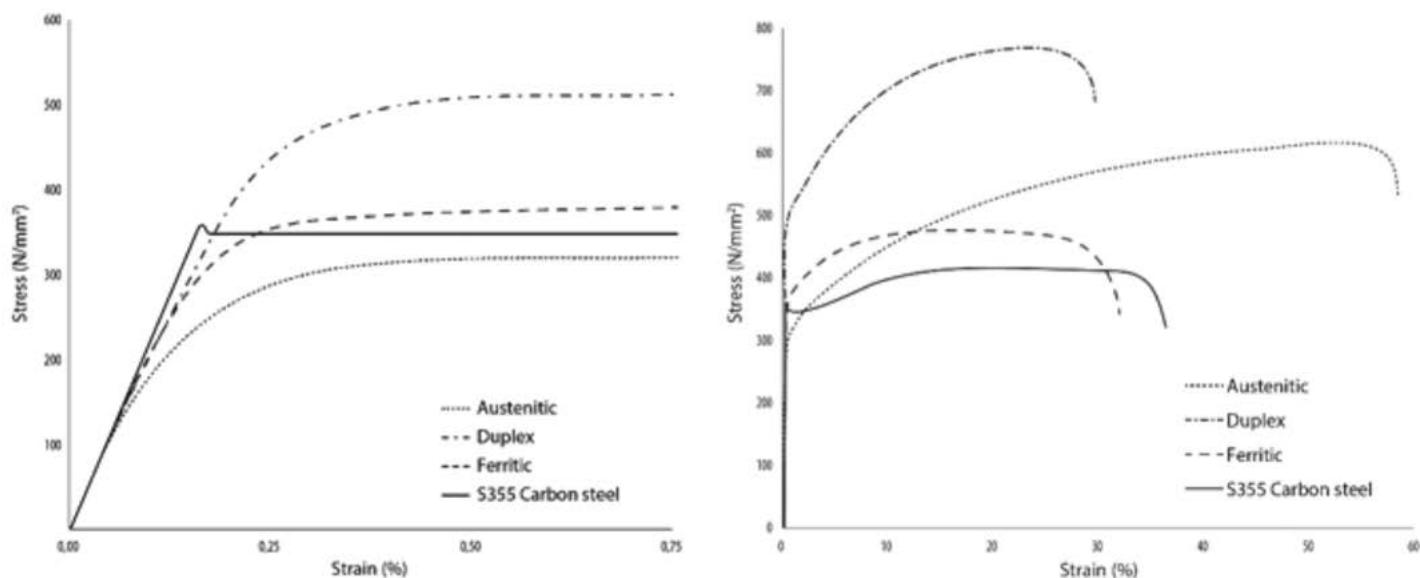


Fig. 8 - Curve sforzo deformazione degli acciai inossidabili e dell'acciaio al carbonio S355 a confronto: curve complete (sinistra) curve fino ad una deformazione dello 0.75 %.

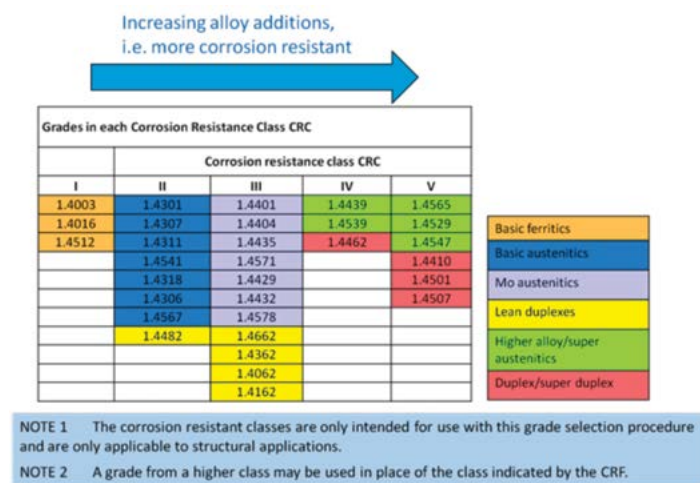


Fig. 9 - Classificazione dei gradi di acciaio inossidabile nelle cinque Corrosion Resistance Class (CRC)

gura 9), essendo CRC V il più duraturo. La scelta finale di un grado specifico all'interno di un CRC dipenderà da altri fattori che non hanno a che vedere con la resistenza alla corrosione, come la resistenza meccanica e la disponibilità del prodotto richiesto. Tutte le risorse progettuali sviluppate nel progetto PUREST saranno accessibili al seguente link <http://www.rinagroup.org> dall'inizio del 2018.

Ing. Nancy Baddoo
SCI - Steel Construction Institute (UK)

Ing. Giuliana Zilli
RINA Consulting
giuliana.zilli@rina.org

RIFERIMENTI

- [1] EN 1993-1-4:2006+A1:2015 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for stainless steels
- [2] Design Manual for Structural Stainless Steel, SCI Publication P413, 2017
- [3] EN 1993-1-1:2005+A1:2014 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings
- [4] EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting
- [5] EN 1993-1-5:2006 Eurocode 3. Design of steel structures. Plated structural elements
- [6] EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. Design of joints
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.