



VERIFICA DI STRUTTURE IN ACCIAIO Alcune considerazioni in accordo alle NTC 2018

Claudio Bernuzzi, Marco Simoncelli

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito,
Politecnico di Milano

claudio.bernuzzi@polimi.it, marco.simoncelli@polimi.it

SOMMARIO

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) sono ormai in vigore dal 22 marzo 2018. Con riferimento alla sola parte dedicata alla progettazione delle costruzioni in acciaio, si rileva la correzione di alcuni errori presenti nella precedente versione (NTC2008) e si osserva la leggera modifica di pochi contenuti proponendo comunque ancora e solamente una piccola parte di quanto riportato nella normativa europea di riferimento (EC3).

In questa breve nota, pur non essendo ancora completo il quadro normativo nazionale per la progettazione strutturale (mancano la Circolare ed il documento applicativo degli Eurocodici), si propongono alcune considerazioni generali relative alla progettazione delle costruzioni in acciaio secondo le NTC2018, cogliendo al contempo l'occasione per commentare alcuni contenuti dell'EC3, con riferimento anche al suo prossimo imminente aggiornamento.

ABSTRACT

Few remarks on the design of steel structures in accordance with NTC2018

The new Italian Code for the construction design (NTC2018) has to be mandatorily used since March 22th, 2018. Focusing attention to the sole design of steel structures, it is worth noting the amendments of few errors of the previous edition (NTC2008) and a limited number of changes in the contains. One again, it is proposed only a limited part of the contents of the corresponding European Steel provisions (EC3). Despite the fact that the set of the national provisions is not completed, owing to lack of the applicative NTC document ("circolare") and of the national documents for the Eurocodes in Italy, few remarks on the design of steel structures in our country are proposed in this short paper, by considering also the contents of the EC3, also with reference to the final draft of the next edition.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

NTC2018, strutture in acciaio, verifiche di resistenza e stabilità, profili monosimmetrici

the new Italian Code 2018, steel structures, stability and resistance checks, monosymmetric cross-section.

BREVE INTRODUZIONE

Nonostante le attese di molti progettisti strutturali, convinti dell’emanazione contemporanea delle Norme Tecniche per le Costruzioni (nel seguito indicate come NTC2018 [1]), circolare esplicativa (sostitutiva della circolare n. 617 del 2009 [2] relativa alle NTC2008 [3]) e documenti nazionali applicativi degli Eurocodici (DAN), sono ora disponibili, in vigore dal 22 marzo 2018, soltanto le NTC2018. Alcune componenti del sistema strutturale non possono quindi essere al momento dimensionate o perché saranno incluse auspicabilmente nella prossima circolare o perché relative ad argomentazioni affrontate dall’EC3 per cui mancano comunque i DAN. Tralasciando ogni tipo di commento, nel seguito si entrerà soltanto nel merito dei contenuti del paragrafo 4.2 (§4.2 *Costruzioni di acciaio*) delle NTC2018, ossia delle prescrizioni relative alla verifica strutturale, tralasciando quindi gli approfondimenti legati al capitolo 11 sui materiali. Con riferimento appunto a questo corposo paragrafo, deve essere rilevato che, dal punto di vista pratico-operativo, alcuni importanti argomenti sono ancora totalmente ignorati anche se frequenti nella corrente pratica professionale¹. Come accaduto con la precedente emanazione del primo *corpus legis NTC*, è auspicabile che l’imminente circolare aggiunga anche quei contenuti che sono al momento assenti nelle NTC2018, anche se, inevitabilmente molti argomenti non saranno trattati, obbligando di fatto il progettista a fare riferimento agli Eurocodici. In sostanza, ancora una volta viene proposto un ibrido tra norma prestazionale e norma prescrittiva: pochissimi temi sono trattati con dovizia di dettagli, alcuni sono del tutto ignorati² mentre per altri è presente la generica frase di circostanza che invita a fare riferimento a normative di *comprovata validità*. Le vecchie e care CNR-UNI 10011 [4] oppure le norme americane AISC [5], in aggiunta ai riferimenti specificati nel capitolo 12, potrebbero essere intese come normative di comprovata validità, anche se ammettono l’uso del metodo delle tensioni ammissibili?

1. A titolo di esempio si pensi ad una tettoia o una serra realizzata con profili in acciaio sagomati a freddo da coils zincato: nelle NTC non sono previste le classi di resistenza per l’acciaio di tipo GD e mancano le regole/formule per il dimensionamento di profili in parete sottile. Facendo riferimento alla verifica di una colonna presso-inflessa, mancano le formule per valutare le grandezze efficaci della sezione.

2. Mancano nelle NTC2018, così come mancavano nel corpus delle NTC 2008 indicazioni relative alle verifiche per i diversi tipi di collegamenti (trave-trave, trave-colonna, giunti di base).

Nel seguito si propone, oltre ad una presentazione delle principali variazioni rispetto alle NTC2008 [3] e relativa circolare n. 617 [2], una breve disamina su alcuni aspetti trattati nella normativa europea (Eurocodice 3), non solo nella versione al momento in vigore [6] ma anche riferendosi alla futura versione, al momento disponibile in forma di *draft* [7].

ASPETTI DI CARATTERE GENERALE

Un’importante miglioria presente nelle NTC 2018 riguarda il concreto riconoscimento della UNI EN 1090-2 [8] come riferimento di fondamentale importanza per garantire un uso sicuro della costruzione durante la sua intera vita. In particolare è esplicitamente dichiarato, nell’introduzione della parte dedicata alle strutture in acciaio (§ 4.2) che:

.....I requisiti per l’esecuzione di strutture di acciaio, al fine di assicurare un adeguato livello di resistenza meccanica e stabilità, di efficienza e di durata, devono essere conformi alle UNI EN 1090-2:2011, "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio", per quanto non in contrasto con le presenti norme.

Il concetto viene rafforzato anche nel punto §4.2.9:

.....L’ esecuzione delle strutture in acciaio deve essere conforme alla UNI EN 1090-2:2011, per quanto non in contrasto con le presenti norme.

Benché questa norma sia ormai obbligatoria nel territorio nazionale dal luglio 2015, a volte non solo i progettisti ma anche i direttori dei lavori ed i collaudatori ne ignorano i principali contenuti, sottovalutandone le concrete potenzialità per evitare

problemi che possono sorgere in diversi ambiti, dalle lavorazioni d'officina per produrre componenti nei centri di lavorazione, all'assemblaggio dell'opera rispettando i limiti di tolleranza. Al riguardo si precisa che nel capitolo 4 ("Specifiche e documentazione") della EN 1090-2 viene affrontato l'importante tematica delle classi di esecuzione, totalmente ignorato nelle NTC2018 e invece contenuto nella versione *final draft* dell'EC3 parte 1.1.

Relativamente ai materiali, vengono previste le medesime classi di acciai per prodotti laminati già presenti nel precedente corpus normativo; mancano invece gli acciai per i prodotti sagomati a freddo come tra l'altro nelle precedenti NTC2008 dove gli acciai regolamentati dalle UNI EN 10326 [9] e dalle UNI EN 10149 parti 2 [10] e 3 [11] venivano considerati soltanto in un sotto-sotto paragrafo della Circolare esplicativa n. 617 (§ C11.3.4.11.2.1 *Centri di produzione di lamiere grecate e profilati formati a freddo*). Nulla viene esplicitamente detto relativamente alla possibilità di uso di acciai di classe superiore che al momento sono trattati nella parte 1-12 [12] dell'Eurocodice 3. Al riguardo si precisa che nel *final draft* dell'EC3 parte 1-1 sono previsti acciai di classe superiore ed in dettaglio le classi S500, S550, S620 e S690 per i prodotti in acciaio laminati a caldo e le classi S500MC, S550MC, S600MC, S650MC e S700MC per i piatti piani laminati a caldo.

Per contro, è ora finalmente possibile, anche in Italia, realizzare senza particolari autorizzazioni ministeriali, strutture in acciaio inossidabile, osservando i dettami dell'EC3 parte 1-4 [13]. È infatti esplicitamente dichiarato nelle NTC2018 che:

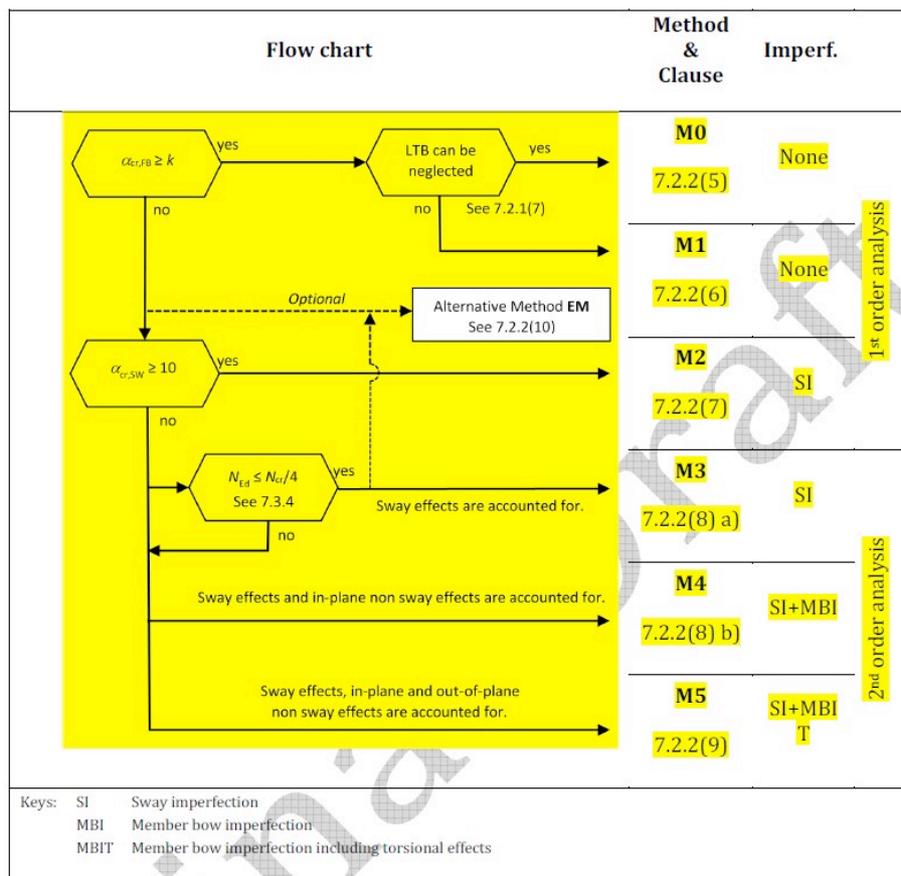
.....Gli acciai inossidabili per impieghi strutturali devono essere conformi a quanto previsto nel § 11.3.4.8. Per quanto attiene alla progettazione strutturale con acciai inossidabili, le indicazioni e le regole indicate nella presente norma devono essere integrate da norme di comprovata validità, quali, ad esempio, la UNI EN 1993-1-4.

SISTEMI INTELAIATI E METODI DI ANALISI

La parte relativa ai sistemi intelaiati e ai metodi di analisi è sostanzialmente inalterata e pertanto mantiene le medesime criticità che già caratterizzavano le NTC2008. Si osserva, in particolare, la mancanza di indicazioni e di riferimenti relative ai criteri di classificazione dei sistemi intelaiati in base alla rigidità dei collegamenti (telai pendolari, telai a nodi rigidi e telai semi-continui), argomento diffusamente trattato nella parte 1-8 dell'EC3 [14] e in tutte le altre principali normative, come ad esempio quella USA [5].

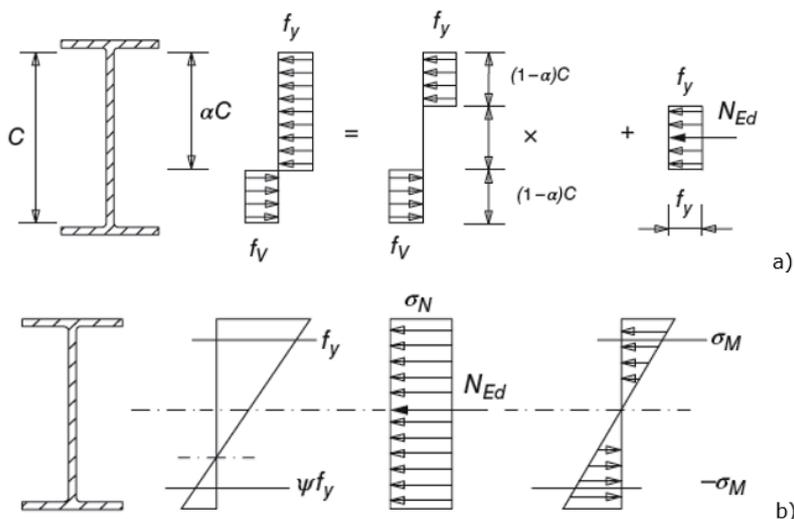
L'argomento relativo ai metodi di analisi dei sistemi intelaiati è sicuramente importante perché fornisce ai progettisti pratiche indicazioni operative: ad esempio quando tenere in considerazione, in fase di analisi, le imperfezioni locali di ogni membratura o quale valore di lunghezza efficace assumere per le verifiche. Nella parte generale dell'EC3 sono proposte alcune alternative [15,16] differenti per tipi di imperfezioni da considerare, tipo di analisi da effettuare e scelta della lunghezza libera di inflessione. Nel *final draft* dell'EC3 si propone un sostanziale ampliamento di queste alternative con la casistica dei diversi metodi di analisi riportati in figura 1.

Permangono ancora le forti criticità associate alla classificazione dei profili. In dettaglio, non entrando nel merito del criterio basato sulla definizione della capacità rotazionale C_{θ} , di fatto inapplicabile in quanto carente di indicazioni pratiche, l'approccio alternativo proposto dalle NTC2018 come pure dalle precedenti norme, che è sostanzialmente identico a quanto riportato nell'EC3, si presta a interpretazioni non univoche per casi pratici e ricorrenti nel mondo delle costruzioni in acciaio. In dettaglio, la classificazione dipende dalla snellezza della componente (ala o anima), dal tipo di acciaio e dalla sollecitazione.



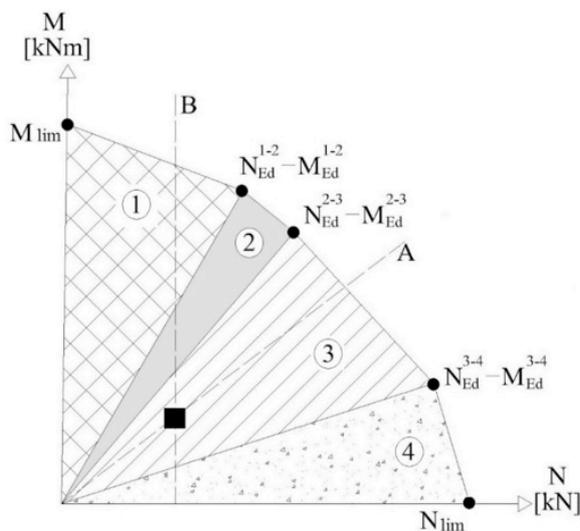
1. Metodi di analisi e indicazioni per le verifiche di stabilità in accordo a [7].

Per profili inflessi o compressi la definizione della classe è sicuramente meno laboriosa rispetto al caso di profili con componenti soggette ad azione assiale e momento flettente che richiedono un approccio più articolato in cui la classe dipende dall'eccentricità dell'azione assiale. Con riferimento all'anima tenso- o presso-inflessa, a seconda della classe del profilo, il diagramma risultante delle tensioni normali può essere scomposto nei due contributi base associati a momento flettente e azione assiale e distinti (figura 2) a seconda del fatto che si possa avere risposta in fase plastica oppure solo elastica.



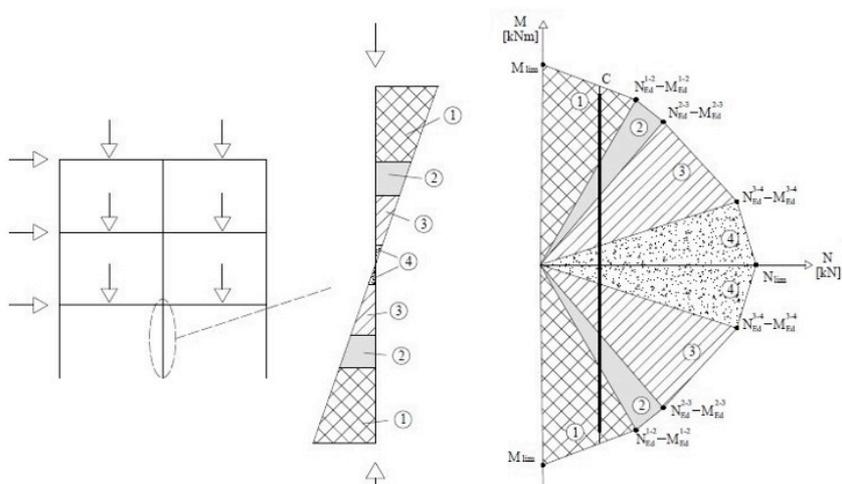
2. scomposizione dello stato di presso-flessione con distribuzione plastica (a) o elastica (b) delle tensioni normali nell'anima.

Considerando, ad esempio, il caso di profili dotati di due assi di simmetria, per la generica sezione trasversale si potrebbero costruire, nel caso non poi così raro che il profilo compresso sia in classe 4 e inflesso in classe 1, domini simili a quello di figura 3 [17] ma dal punto di vista pratico come andrebbero utilizzati? Se il quadratino nero rappresenta la sollecitazione interna in una sezione di una colonna presso-inflessa in termini di azione assiale (N) e momento flettente (M), come è possibile definire la classe di appartenenza della sezione? È lecito assumere l'ipotesi di crescita lineare tra azione assiale e momento flettente anche se si sta eseguendo un'analisi di push-over: nel caso specifico la classe della sezione è semi-compatta (classe 3) oppure duttile (classe 1)?



3. Tipico dominio azione assiale (N) - momento flettente (M) per una sezione trasversale che compressa è in classe 4 e inflessa è in classe 1.

Applicando poi concretamente questo criterio alle colonne di un sistema intelaiato anche semplicemente bi-dimensionale a nodi rigidi o semi-rigidi si palesa un'ulteriore problematica. A seguito di una delle molteplici combinazioni di carico, e sono davvero tante se dovessimo applicare in modo pedissequo la norma [18], una generica colonna è presso-inflessa ed i diagrammi dei momenti flettenti variano linearmente lungo il suo asse longitudinale: si ha quindi il profilo con sezione "a classe variabile", ossia in funzione del tratto di lunghezza in esame, sulla base della variazione del momento flettente la colonna cambia classe di appartenenza (figura 4).



4. Esempio di colonna a "classe variabile".

E se la colonna appartenesse ad un sistema intelaiato tri-dimensionale e ci fosse anche distribuzione di azione flettente lungo l'altro asse principale? Ci sarebbe sicuramente un dominio spaziale!

Forse, almeno per i profili a doppio T con due assi di simmetria, varrebbe la pena considerare la classe più sfavorevole tra quella risultante dalla sola classificazione a compressione e quella della sola classificazione a flessione. In fin dei conti anche la normativa U.S.A. prevede la classificazione solo per compressione e solo per azione flettente e nonostante ciò gli strutturisti americani riescono a lavorare serenamente e con la grande soddisfazione di progettare opere imponenti e sicure!

FORMULE DI VERIFICA

Le NTC2018, relativamente alle regole di verifica degli elementi si confermano perfettamente allineate con quanto riportato nell'EC3-1-1. Dal punto di vista pratico si rilevano formule dettagliate e spesso anche parecchio articolate, riferite però solo al caso di profili a doppio T oppure ai tubi. Si pensi ad esempio alla verifica di resistenza a presso-flessione: nelle NTC vengono proposte come pure nell'EC3 formule per la verifica di resistenza di elementi con sezione trasversale doppiamente simmetrica a doppio T in classe 1 e 2. In tutti gli altri casi viene dichiarato che:

... la presso- o tenso-flessione retta può essere trattata con riferimento a metodi di comprovata validità.

Ma se ci fosse una struttura tanto ardita da avere gli arcarecci realizzati con un profilo a C oppure con un profilo a Z e volessi verificarlo a flessione o presso-flessione in accordo alle NTC2018 (oppure all'EC3) cosa mai dovrei fare?

Il problema permane o forse si amplifica se si considera la possibilità che si possa manifestare l'instabilità, in quanto viene dichiarato che:

... Per elementi strutturali soggetti a compressione e flessione, si debbono studiare i relativi fenomeni di instabilità facendo riferimento a normative di comprovata validità.

È quindi auspicabile che la circolare esplicativa, come pure accaduto un decennio orsono, proponga formule di verifica al riguardo, sperando che venga mantenuto quanto già riportato nella circolare n. 617, derivante dall'approccio proposto nelle CNR UNI 10011, basato sull'uso del momento equivalente e non sui complessi coefficienti di interazione riportati in EC3.

UNIONI

Le modifiche inserite nelle NTC2018 legate alle parti delle unioni bullonate hanno un impatto notevole e portano a significativi cambiamenti. In primo luogo viene finalmente ammesso anche in Italia l'uso di fori maggiorati o asolati in quanto si dichiara che:

... Per fori asolati o maggiorati devono essere utilizzate le indicazioni riportate in UNI EN 1993-1-8.

Un'altra modifica è relativa invece ai valori del coefficiente di attrito da usare nella verifica delle unioni a taglio per attrito con bulloni ad alta resistenza.

Le NTC2008, in sintonia con tutte le precedenti normative/istruzioni nazionali dichiaravano infatti che:

... Il coefficiente di attrito tra le piastre a contatto nelle unioni "pre-caricate" è in genere assunto pari a

- 0,45 quando le giunzioni siano sabbiate al metallo bianco e protette sino al serraggio dei bulloni,
- 0,30 in tutti gli altri casi.

Ora, ancora una volta in linea con la parte 1-8 dell'EC3 [14], viene dichiarato che:
Il coefficiente di attrito tra le piastre μ a contatto nelle unioni "precaricate" è in genere assunto pari a:

$\mu = 0,5$ - superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, esenti da incrostazioni di ruggine e da vaiolature;

$\mu = 0,4$ - superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, e verniciate a spruzzo con prodotti a base di alluminio o di zinco. - superfici sabbiate meccanicamente o a graniglia, e verniciate con silicato di zinco alcalino applicando uno spessore dello strato di 50-80 μm ;

$\mu = 0,3$ - superfici pulite mediante spazzolatura o alla fiamma, esenti da incrostazioni di ruggine;

$\mu = 0,2$ - superfici non trattate.

Sempre relativamente ai bulloni pre-caricati sono state ora proposte direttamente nelle NTC2018 le tabelle delle coppie di serraggio per le viti di classe 8.8 e di classe 10.9. Rispetto alle precedenti, riportate in circolare esplicativa si rileva che ora sono state eliminate le colonne relative ai momenti di serraggio per valori del fattore k pari a 0,18, 0.20 e 0,22, in quanto non compatibili con le indicazioni normative europee.

Mancano indicazioni relativamente ai collegamenti ed agli approcci che possono essere impiegati per le più ricorrenti verifiche. Sarebbe auspicabile un concreto riferimento alla parte 1-8 dell'EC3 che traduce, mediante l'approccio per componenti, i risultati di decenni di ricerca scientifica in pratiche regole per i professionisti.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Dal 22 marzo 2018 si deve obbligatoriamente fare riferimento, per la progettazione strutturale, alle NTC2018 anche se mancano ad oggi, la Circolare esplicativa e i documenti applicativi dell'Eurocodice per il territorio nazionale. Una scelta presente nelle NTC2018, attesa ormai da qualche decennio, risulta essere l'abolizione del metodo di calcolo delle tensioni ammissibili. In sostanza, si nota un totale allineamento l'approccio europeo, nonostante negli Stati Uniti, anche le più recenti normative ammettano ancora il metodo delle tensioni ammissibili (da loro definito ASD: Allowable Stress Design). Al di là di questa epocale svolta, che interessa comunque tutte le costruzioni, indipendentemente dal materiale, con esplicito riferimento alla progettazione delle strutture in acciaio, le variazioni rispetto alla precedente versione delle NTC sono comunque modeste. Non entrando nel merito di come si possa oggi (maggio 2018) produrre una relazione di calcolo o di come si possano commercializzare, praticamente in *real time* dall'emanazione delle NTC2018, pacchetti software di calcolo aggiornati senza che siano disponibili né Circolare esplicativa né documenti applicativi degli Eurocodici, permangono comunque non piccole criticità, in parte presenti anche nel più vasto quadro normativo europeo di riferimento. Da una parte un *taglia e incolla* dall'EC3³ e dall'altra i continui e inevitabili rimandi a normative di comprovata validità giustificerebbero forse una semplificazione delle NTC che, per i tutti i sotto-paragrafi relativi alle costruzioni in acciaio, potrebbero elencare i principali riferimenti normativi ritenuti validi senza però riportarne i contenuti.

3. Come già dichiarato le NTC riportano solo alcuni contenuti dell'Eurocodice 3. A titolo di esempio, la parte delle NTC2008 e relativa Circolare dedicata alle costruzioni in acciaio (tralasciando i dettami del capitolo 1 sui materiali) era raccolta in 95 pagine a fronte delle 463 in totale relative alle parti 1-1 [6] (95 pagine), 1-3[19] (135 pagine), 1-5[20] (57 pagine), 1-8[14] (137 pagine) e 1-9[21] (39 pagine) dell'Eurocodice 3.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, "Norme tecniche per le costruzioni", supplemento ordinario n. 8, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018.
- [2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008", supplemento ordinario n. 27, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 27 del 26.02.2009.
- [3] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", supplemento ordinario n. 30, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008.
- [4] Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istruzioni CNR 10011: Costruzioni in acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione, 21.12.1997.
- [5] Specification for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 360-16, American Institute of Steel Construction, 2016.
- [6] UNI EN 1993-1-1: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici, 01.08.2005.
- [7] prEN 1993-1-1: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici, final-draft del 20.12.2017.
- [8] UNI EN 1090-2: Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio, 2011.
- [9] UNI EN 10326: Nastri e lamiere di acciaio per impieghi strutturali rivestiti per immersione a caldo in continuo – Condizioni tecniche di fornitura, 2004.
- [10] UNI EN 10149-2: Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo. Condizioni di fornitura degli acciai ottenuti mediante laminazione termomeccanica, 1997.
- [11] UNI EN 10149-3: Prodotti piani laminati a caldo di acciai ad alto limite di snervamento per formatura a freddo. Condizioni di fornitura degli acciai normalizzati o laminati normalizzati, 1997.
- [12] UNI EN 1993-1-12. Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700, 2007.
- [13] UNI EN 1993-1-4. Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili, 2007.
- [14] UNI EN 1993-1-8. Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti, 2005.
- [15] Bernuzzi C., Cordova B., Simoncelli M., "Unbraced steel frame design according to EC3 and AISC provisions", Journal of Constructional steel research, 114 (4274), 157-177, 2015.
- [16] Arduino V., Bernuzzi C., Simoncelli M., "Design rules for steel portal frames according to EC3 and AISC360 provisions", Structural magazine, 203, 1-19, 2016.
- [17] Bernuzzi C., "Progetto e verifica delle strutture in acciaio secondo NTC e EC3", Hoepli, 2018.
- [18] Rugarli P., "Combinazioni di verifica agli stati limite: il non detto delle normative", Ingegneria Sismica, n° 2, 2004.
- [19] UNI EN 1993-1-3: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo, 2007.
- [20] UNI EN 1993-1-5: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra, 2007.
- [21] UNI EN 1993-1-9: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica, 2005.