

# Le costruzioni di acciaio nel contesto del terremoto dell'Emilia

## Steel buildings within the Emilia earthquake

Beatrice Faggiano<sup>1</sup>, Antonio Formisano<sup>2</sup>, Mario D'Aniello<sup>3</sup>, Raffaele Landolfo<sup>4</sup> ■

### Sommario

Le costruzioni in carpenteria metallica appaiono convenienti per la riduzione del rischio sismico nel nostro Paese. L'articolo ne illustra i pochissimi casi che hanno subito danni e presenta gli aspetti più significativi che caratterizzano la competitività delle strutture di acciaio. Con riferimento alle scaffalature industriali, sono riportati i punti più salienti delle linee guida per la sicurezza sismica, scaturite dalle esperienze emiliane.

### Abstract

*The popularization of steel buildings could be a viable and profitable solution to mitigate the seismic risk in Italy. The paper describes the damages occurred to the small number of steel buildings. The main aspects characterizing the competitiveness of steel structures are illustrated, too. On the basis of the Emilia seismic events, the main issues regarding the seismic safety guidelines of industrial scaffolding are addressed.*

### 1. Introduzione

Il recente terremoto in Emilia ha evidenziato l'attualità e l'importanza del problema della riduzione del rischio sismico nel nostro Paese. A tal fine, una maggiore diffusione delle costruzioni in carpenteria metallica potrebbe risultare estremamente vantaggiosa. Infatti, tali costruzioni garantiscono elevate prestazioni strutturali grazie alle elevate qualità meccaniche del materiale e alla varietà degli schemi strutturali che, per i processi costruttivi, consentono elevati livelli di affidabilità. Tali considerazioni sono ormai comprovate dall'esperienza sul campo, motivo per il quale, nei paesi dove il pericolo sismico è estremamente elevato le strutture di acciaio sono ampiamente diffuse.

In occasione dei recenti eventi sismici emiliani, pochissime costruzioni di acciaio hanno subito danni. L'articolo ne illustra i casi singolari e notevoli. Si tratta di costruzioni principalmente industriali, prevalentemente di tipo non edificio, quali un silo e le scaffalature industriali, alle quali si accompagna un unico caso di edificio con struttura di acciaio.

Partendo da tali presupposti, in questa memoria sono brevemente argomentati gli aspetti che garantiscono alle strutture di acciaio un ottimo comportamento sismico, rendendole estremamente competitive rispetto ad altre soluzioni progettuali. Tale competitività è ancora più evidente se si considera che molti dei manufatti

presenti sul territorio emiliano sono progettati sulla base di normative superate, certamente meno esaustive di quelle attuali sotto l'aspetto della progettazione sismica, a dimostrazione quindi di una capacità intrinseca di queste strutture di resistere alle forze sismiche in virtù delle elevate doti di resistenza e duttilità del materiale di base. Non è un caso, infatti, se in Italia, ma non solo, i casi di crolli di costruzioni di acciaio a seguito di terremoti sono molto rari.

Gli eventi sismici emiliani hanno, tuttavia, evidenziato l'elevata vulnerabilità delle scaffalature industriali, il cui collasso ha comportato ingenti danni economici al tessuto produttivo. Tali manufatti, in genere realizzati in acciaio con profili sottili pressopiegati, sono da considerarsi in molti casi come strutture moltipiano a tutti gli effetti. In questa memoria, è dato particolare rilievo alle linee guida e di indirizzo per la sicurezza sismica di tali nuove categorie di strutture, scaturite dalle esperienze emiliane, di cui si riportano brevemente i contenuti più significativi.

### 2. Evidenza del comportamento delle costruzioni nel sisma emiliano

#### 1.1 Quadro sinottico dei danni

Le province di Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, Bologna e Rovigo (Figura 1) sono state le zone maggiormente interessate dai terremoti avvenuti in Emilia-Romagna nella prima-

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Napoli Federico II - ✉ faggiano@unina.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Napoli Federico II - ✉ antoform@unina.it

<sup>3</sup> Dip. di Costruzioni e Metodi Matematici per l'Architettura, Facoltà di Architettura, Univ. Napoli Federico II - ✉ mdaniel@unina.it

<sup>4</sup> Dip. di Costruzioni e Metodi Matematici per l'Architettura, Facoltà di Architettura, Univ. Napoli Federico II - ✉ landolfo@unina.it

vera del 2012. Nell'ambito dello sciame sismico che si è protratto per diverse settimane, si sono riconosciuti due eventi maggiormente significativi, ovvero: 1) la scossa di magnitudo  $M_l$  5.9 e  $M_w$  5.86 del 20 maggio con epicentro in Finale Emilia, a una profondità di 6.3 km; 2) la scossa di magnitudo  $M_l$  5.8 e  $M_w$  5.66, del 29 maggio, con epicentro situato tra Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro. Nei giorni successivi alla seconda scossa, ci sono stati altri tre eventi di magnitudo maggiore di 5. Nel tempo lo sciame sismico è proseguito con scosse di magnitudo variabile ma sempre di minore entità.

Tali eventi sismici hanno ancora una volta posto in luce il problema della vulnerabilità del patrimonio costruito in Italia, evidenziando un aspetto inedito e cioè che tale vulnerabilità non contraddistingue soltanto il patrimonio storico e monumentale, ma anche edifici di realizzazione recente, nella fattispecie gli edifici di carattere industriale. A titolo esemplificativo, dall'esame dei danni riscontrati nel solo comune di Mirandola (MO) è emerso che l'80% dei capannoni industriali è stato distrutto e/o considerato inagibile (Antinori, 2012).

Questo risultato non deve sorprendere, in quanto il territorio dell'Emilia Romagna colpito dagli eventi sismici, così come altre zone d'Italia, non era considerato sismico fino al 2003. Dopo l'OPCM3274, il territorio è stato classificato come zona sismica di III categoria con accelerazioni di picco al suolo (PGA, 10% in 50 anni) comprese tra 0.05 g e 0.15 g. Pertanto, la maggior parte del costruito esistente è stato progettato e realiz-

zato senza alcuna prescrizione antisismica.

Nel seguito vi è una breve disamina dei danni riscontrati (EPICentre, 2012), distinguendo due categorie di costruzioni, introdotte in occasione del terremoto de L'Aquila (Faggiano et al., 2009): le costruzioni tipo edificio, di edilizia sia ordinaria, sia industriale; le costruzioni di tipo non edificio, prevalentemente industriali (sili, scaffalature). Nelle Figure 2 e 3 sono riportati i danni tipici per ognuna delle categorie di edifici.

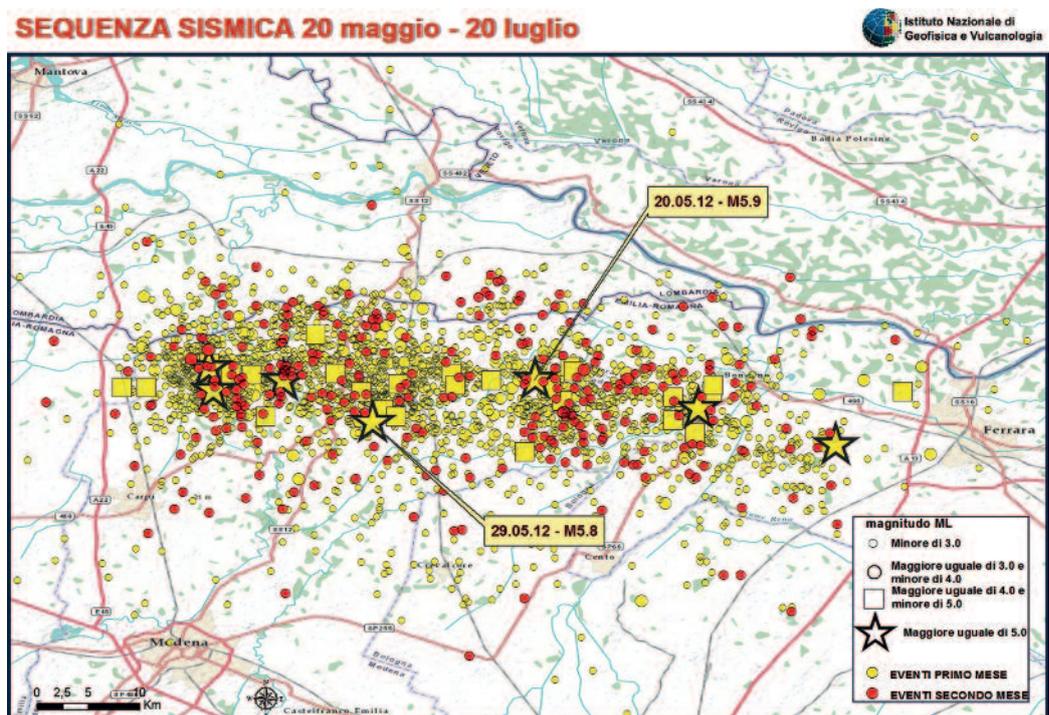
#### Costruzioni di tipo edificio

Nel caso degli edifici ordinari, le tipologie costruttive sono in prevalenza in muratura, con una numerosa rappresentanza di edifici in calcestruzzo armato.

Le costruzioni in muratura che hanno riportato danni maggiori sono state quelle più antiche realizzate con materiali poveri e tecniche costruttive scadenti, quali ad esempio gli edifici realizzati con mura a sacco, di pietra irregolare e riempimento in materiale incoerente. Frequenti sono stati gli episodi di ribaltamento dei pannelli murari, causato dal cattivo ammortamento dei cantonali d'angolo, ed il conseguente collasso di solai interni e delle coperture per la perdita d'appoggio delle travi portanti dovute alle deformazioni fuori piano delle mura (Cattari et al., 2012; Formisano, 2012).

Gli edifici in calcestruzzo armato presenti nel territorio emiliano sono prevalentemente costruzioni medio-basse (numero di livelli inferiore a 4) con struttura a telaio e tamponature in laterizi semipieni continue a tutta altezza (assenza di pilotis).

Figura 1  
Mappa sismica degli eventi  
dell'Emilia 2012  
(<http://ingvterremoti.wordpress.com>).





Tale tipologia costruttiva è poco vulnerabile, motivo per il quale gli edifici in c.a. non hanno evidenziato rilevanti danni strutturali e quelli riscontrati sono attribuibili a carenze progettuali. I danni più frequenti sono stati i seguenti: danneggiamento indotto dal martellamento tra corpi di fabbrica posti in adiacenza (assenza di giunti); danni localizzati in alcuni elementi strutturali (cerniere plastiche nei pilastri, taglio nel nodo dovuto alla tamponatura); lesioni e o collassi delle tamponature (per taglio e compressione).

Nel caso degli edifici industriali, la tipologia costruttiva maggiormente ricorrente è costituita da telai realizzati con elementi prefabbricati in calcestruzzo armato a ossatura portante di travi e pilastri, copertura realizzata con tegole e tamponature esterne realizzate con pannelli prefabbricati in c.a. verticali o, meno frequentemente, orizzontali, non nervati. Il danneggiamento delle parti strutturali e non strutturali è caratterizzato da collassi parziali dovuti all'elevata deformabilità dello schema statico, per i grandi spostamenti relativi tra gli elementi. Ciò è anche testimoniato dall'evidenza di fenomeni di martellamento tra i tegole e le travi di copertura. In particolare, il danno principale che si è verificato sistematicamente è stato il collasso per la perdita di appoggio delle travi dalla forcella senza spinotto in sommità dei pilastri (Marzo et al., 2012; Savoia et al., 2012).

Nella zona interessata dagli eventi sismici, le strutture di acciaio presenti sul territorio sono in numero piuttosto esiguo, prevalentemente destinate ad edifici con funzioni di carattere produttivo e commerciale. Esse non hanno subito alcun danno o al più danni limitati, dimostrando una

eccellente risposta agli eventi sismici occorsi. L'unico caso di edificio industriale di acciaio seriamente compromesso dal terremoto è stato l'impianto di ceramica Sant'Agostino (Ferrara). La struttura ha evidenziato un crollo parziale le cui cause sono da ricercarsi sia nell'errata concezione strutturale, non essendo presente un'orditura in entrambe le direzioni, sia nell'errato dimensionamento degli elementi strutturali, incapaci di sostenere già solo le azioni di progetto da carico verticale. Si riporta nel seguito la descrizione dettagliata.

#### *Costruzioni di tipo non edificio*

Tra le costruzioni di tipo non edificio, sono stati rilevati danni ai serbatoi in c.a., a un silo di acciaio, ma soprattutto alle scaffalature industriali (Figura 3).

I serbatoi pensili sono le costruzioni in c.a. che hanno esibito i danni strutturali più consistenti. In particolare, sono state riscontrate crisi per flessione e taglio delle travi ad anello che costituiscono il diaframma orizzontale ai vari livelli delle strutture dei serbatoi, in alcuni casi anche la plasticizzazione delle colonne di base che sostengono le vasche di accumulo.

Un silo di acciaio, facente parte di un impianto industriale di Bondeno, si è ribaltato, presentando una cerniera plastica alla base con schiacciamento della tramoggia e fenomeni di instabilità delle pareti con schiacciamento degli anelli lungo lo sviluppo longitudinale. Anche in questo caso si riporta nel seguito la descrizione dettagliata.

Gli eventi sismici emiliani hanno avuto un rilevante impatto sulle scaffalature industriali collocate negli immobili ad uso produttivo. Anche in

Figura 2  
Tipici danni delle costruzioni di tipo edificio per tipologia costruttiva: a) edifici residenziali in muratura (foto: Anna Marzo, 2012); b) edifici scolastici in c.a. (foto: Mario D'Aniello, 2012); c) edifici industriali in c.a. p. (foto: Mario D'Aniello, 2012); d) edifici industriali in acciaio (tg24.sky).

Figura 3  
Danni delle costruzioni di tipo non edificio: a) serbatoio in c.a. (EPICentre, 2012); b) silo di Bondeno (www.youreporter.it); c) scaffalature (www.agrimoto.it).

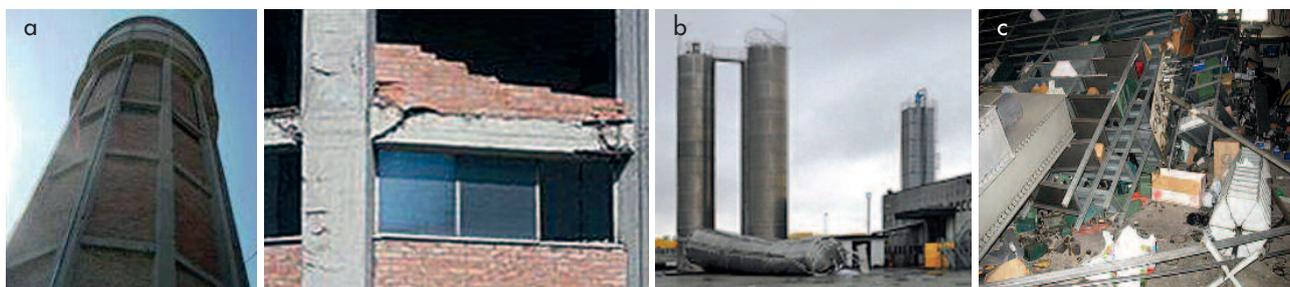
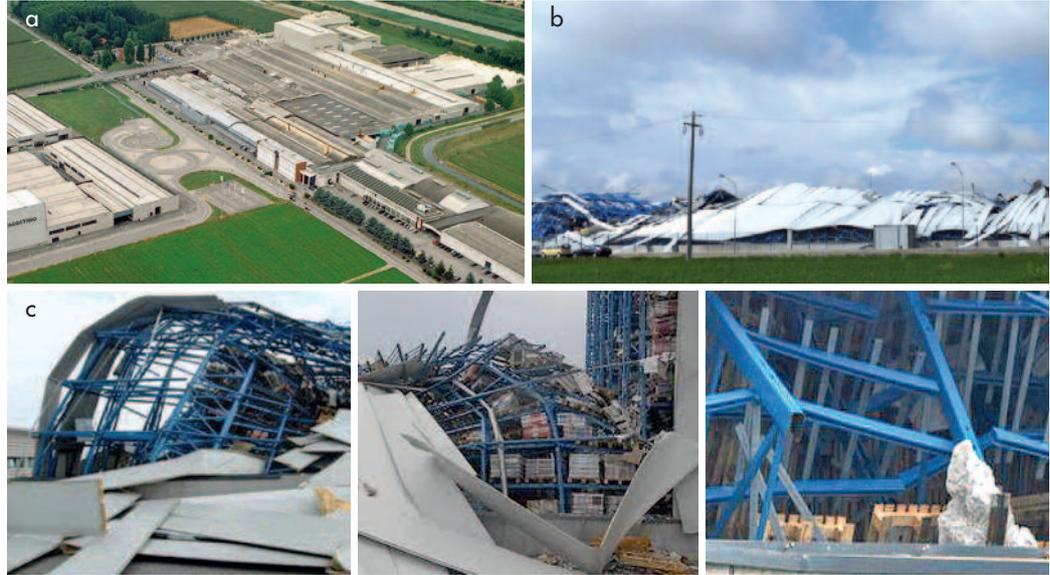


Figura 4  
Il crollo del MAV della  
fabbrica di Ceramica  
Sant'Agostino (FE):  
a) stabilimento prima del  
terremoto  
(www.ceramicasantagostino.it);  
b) e c) stabilimento dopo il  
terremoto (Global Risk  
Miyamoto, 2012;  
EPICentre, 2012).



aree non epicentrali, si sono infatti verificati numerosi crolli e danneggiamenti di scaffalature industriali che, insieme alla fuoriuscita del materiale in esse contenuto, hanno costituito sia una minaccia per l'incolumità dei lavoratori, ostruendo anche le vie di esodo, sia rilevanti danni economici dovuti alla perdita dei prodotti.

## 1.2 Le costruzioni di acciaio danneggiate dal sisma emiliano

### Costruzioni di tipo edificio

#### Magazzino della fabbrica di Ceramica Sant'Agostino, Sant'Agostino, Ferrara

Si tratta del Magazzino Automatico Verticale (MAV) della fabbrica di Ceramica Sant'Agostino nel Comune di Sant'Agostino (Ferrara, Figura 4). La costruzione risale all'anno 2001, essa è pertanto progettata e realizzata in accordo a normative che non contemplavano criteri di progettazione sismica.

Il magazzino era costituito da due telai di acciaio multilivello collegati longitudinalmente e trasversalmente in sommità da una trave reticolare di coronamento. I montanti principali avevano sezione ad U realizzata con profili pressopiegati mentre i correnti orizzontali e le diagonali erano realizzati con piatti rettangolari. Tutti

i nodi erano saldati in opera. All'interno era presente un totale di 12 file di scaffalature. Le chiusure verticali di perimetro erano realizzate con pannelli isolanti sandwich direttamente fissati alle colonne e ai montanti di acciaio situati lungo il perimetro del magazzino (EPICentre, 2012).

In seguito all'evento del 20 Maggio 2012 circa il 70% della struttura è crollata. L'osservazione della struttura dopo il crollo ha posto in luce i seguenti difetti, che hanno certamente contribuito al crollo: l'inadeguatezza dei nodi, molti collegamenti principali (per es. i nodi colonna-colonna, trave-diagonale-colonna, colonna-fondazione) sono collassati; l'inadeguatezza delle scaffalature, i telai delle scaffalature erano estremamente snelli e realizzati con schema perfettamente pendolare, ovvero con elementi ad L collegati con fazzoletti e un solo bullone, rendendo la struttura labile alle azioni orizzontali. Inoltre, si è osservato che nella parte della struttura non collassata solo i livelli superiori delle scaffalature erano riempiti di materiale a deposito; la presenza, quindi, di masse concentrate in sommità potrebbe avere contribuito in modo importante al ribaltamento delle scaffalature.

Figura 5  
Sede AIMAG S.p.A  
(Modena, Antinori 2012):  
a) edificio nello stato  
attuale; b) alcune fasi di  
costruzione; c) dettagli degli  
impalcati.



*L'edificio sede della società AIMAG S.p.A, Mirandola, Modena*

L'edificio, sede della società AIMAG S.p.A. di servizi per l'ambiente, l'acqua e l'energia, è stato progettato in accordo alle attuali norme tecniche per le costruzioni, NTC2008, ed è stato ultimato nel 2011 (Figura 5). Lo schema statico è a telaio. Gli eventi sismici non hanno causato danno alle strutture in carpenteria metallica, mentre le tamponature di perimetro esterne, realizzate in muratura per vincolo imposto dalla Sovrintendenza ai Beni Culturali, hanno subito significative lesioni. Il danno alle tamponature è evidentemente dovuto all'interazione tra il telaio di acciaio e le pareti di muratura.

· *Costruzioni di tipo non edificio*

*Il silo dell'impianto industriale URSA Insulation, Bondeno, Ferrara.*

Il silo di acciaio crollato appartiene all'impianto industriale URSA Insulation di Bondeno, multinazionale leader in Europa nella produzione e commercializzazione di prodotti per l'isolamento nel settore edile, le cui due principali linee di prodotto sono la lana di vetro e il polistirene estruso (XPS). Il silo si è ribaltato, presentando una cerniera plastica alla base con schiacciamento della tramoggia e degli anelli lungo l'altezza del silo, con imbozzamento più spiccato ai terzi dell'altezza per effetto dei fenomeni d'instabilità delle pareti (Figura 6). In particolare, si può osservare che le deformazioni anulari sono più accentuate al terzo in prossimità della base del silo, dove sono estese lungo tutta la circonferenza, per tale motivo queste sembrerebbero più plausibilmente da addebitarsi agli effetti del sisma sulla struttura del cilindro; mentre le deformazioni più prossime alla sommità sembrerebbero più da attribuirsi allo schiacciamento per l'impatto con il suolo e alla conseguente flessione, che ha causato l'imbozzamento degli anelli dal lato della compressione. Ad un esame visivo più ravvicinato si evidenzia anche che parte del materiale insilato è fuoriuscito dalla sommità del silo sul piazzale, dimostrando che il silo al momento del terremoto era pieno, almeno in parte. Come già illustrato in occasione del terremoto di L'Aquila nel 2009 (Faggiano et al.,

2009), il silo con struttura metallica ha un peso strutturale molto basso, normalmente inferiore rispetto al peso del materiale portato, e la struttura è molto snella con spessore dei pannelli di rivestimento dell'ordine dei micromillimetri. In tali condizioni la modalità di collasso più comune è l'instabilità delle pareti per effetto delle azioni assiali di compressione dovute all'attrito esercitato dal materiale insilato sulle pareti stesse. A ciò si aggiunge l'effetto delle imperfezioni costruttive in corrispondenza dei giunti tra le fasce anulari di rivestimento del silo, che rappresentano una discontinuità nel flusso delle tensioni longitudinali di compressione, con elevate tensioni localizzate. La pressione orizzontale diametrale esercitata sulla superficie del cilindro dal materiale insilato stabilizza lo stesso nei confronti dei fenomeni di instabilità, generando un regime membranale di tensioni di trazione. Il silo di Bondeno ha una forma allungata, tipicamente usata per lo stoccaggio di materiale plastico (Faggiano et al., 2009), quindi, nel caso di silo completamente pieno, lungo l'altezza del cilindro la pressione diametrale cresce verso il basso, assume un valore costante e in corrispondenza della variazione di sezione, che si restringe a partire dall'anello dove si innesta la tramoggia, presenta elevati picchi; nel caso di silo vuoto o parzialmente pieno invece si perde l'effetto stabilizzante delle pressioni diametrali nella parte vuota con conseguente brusca variazione della tensione critica. Variazioni di pressione all'interno del silo dipendono anche dalla fuoriuscita del materiale attraverso la tramoggia, che provoca un effetto di risucchio e quindi depressioni. Alla luce di ciò l'azione sismica può avere accentuato l'effetto di eventuali distribuzioni asimmetriche di pressioni, dovute ad eccentricità strutturali, imperfezioni costruttive, o al metodo di riempimento del silo o all'anisotropia del materiale insilato, provocando una riduzione dell'effetto stabilizzante delle pressioni diametrali stesse.

*Le scaffalature*

Le scaffalature sono strutture metalliche impiegate per lo stoccaggio di piccoli, medi e grandi volumi di materiale in ambienti sia industriali sia



Figura 6  
Il Silo dell'URSA Insulation di Bondeno (Ferrara), immagini tratte dal web (a) [www.bologna.repubblica.it](http://www.bologna.repubblica.it); (b) [www.paesaggiimutanti.it](http://www.paesaggiimutanti.it); (c) [www.bologna.repubblica.it](http://www.bologna.repubblica.it).

Figura 7  
 Collasso delle scaffalature di parmigiano, immagini tratte dal web (a) [www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it](http://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it); (b) [www.ilrestodelcarlino.it](http://www.ilrestodelcarlino.it); (c) [www.modena2000.it](http://www.modena2000.it); (d) [www.espresso.repubblica.it](http://www.espresso.repubblica.it); (e) [www.portedilo.it](http://www.portedilo.it).



Figura 8  
 Danneggiamenti e crolli di scaffalature colpite dal sisma emiliano. Immagini tratte da: (a) [www.edilio.it](http://www.edilio.it); (b) e c) Savoia et al., 2012; (d) e e) Parisi et al., 2012; (f) [www.usl2.toscana.it](http://www.usl2.toscana.it).



civili. In genere sono realizzate con elementi modulari ad aste forate collegate con bullonature. Tali manufatti sono generalmente considerati come elementi di arredo, dimensionati prevalentemente per resistere ad azioni gravitazionali. Il terremoto emiliano ha mostrato i limiti di questo approccio, come hanno dato prova gli ingenti danni e crolli avvenuti. In particolare i settori produttivi più colpiti sono stati quelli del Parmigiano Reggiano e Grana Padano (Figura 7), con perdite economiche superiori a 250 milioni di euro ([www.modenatoday.it](http://www.modenatoday.it)), nonché il comparto della produzione di Aceto Balsamico, con perdite stimate tra i 10 e 15 milioni di euro ([www.gazzettadimodena.gelocal.it](http://www.gazzettadimodena.gelocal.it)). Numerosi sono stati infine i danneggiamenti ed i crolli di scaffalature interne agli edifici produttivi contenenti altri tipi di prodotti, diversi dagli alimentari (Figura 8). Le scaffalature industriali sono costruzioni metalliche realizzate mediante l'impiego di

profili sottili piegati a freddo perforati in continuo e collegati fra loro con sistemi diversi da produttore a produttore. Le cause dei crolli delle scaffalature industriali possono essere diverse. Dall'esame delle strutture crollate sono state riscontrate carenze progettuali e difetti di fabbricazione e di montaggio. In alcuni casi, infatti, le piastre alla base dei montanti degli scaffali erano del tutto assenti o sottodimensionate e insufficienti per garantire la stabilità della scaffalatura, spesso addirittura non collegate alla base; la snellezza dei montanti, l'insufficiente rigidità laterale della struttura della scaffalatura e la deviazione di verticalità dei montanti hanno determinato il ribaltamento della scaffalatura in occasione del sisma. In altri casi, si è verificata la crisi dei collegamenti. In taluni casi il collasso degli elementi portanti della scaffalatura è stato provocato dal carico eccessivo portato, di gran lunga superiore al massimo consentito, certificato dal costruttore.

Altra circostanza, purtroppo elusa e sottovalutata da molti utilizzatori, è la mancanza di controllo e manutenzione periodica delle scaffalature, necessaria perchè durante la movimentazione delle merci possono indursi sollecitazioni nella struttura delle scaffalature che possono danneggiare o comunque modificare le condizioni rispetto allo stato originario, compromettendone la stabilità e la capacità portante.

### 3. L'acciaio quale strategia antisismica per le costruzioni

Il buon comportamento delle strutture di acciaio in occasione di eventi sismici è comprovato dall'esperienza e dalla diffusione di tali costruzioni nei paesi (quali il Giappone e la California), dove la pericolosità sismica è estremamente elevata.

Le ragioni alla base di tale evidenza si comprendono analizzando brevemente quali sono le scelte progettuali per la concezione e il dimensionamento di un organismo strutturale sismoresistente. In generale, per fronteggiare l'azione indotta dal sisma, esistono due opzioni progettuali fondamentali. La prima consiste nel realizzare strutture caratterizzate da membrature molto resistenti, le quali, anche in occasione di terremoti di forte intensità risultano soggette ad un regime di sforzi di tipo elastico, per cui la deformazione elastica accumulata è restituita integralmente post-sisma senza lasciare tracce di deformazioni residue. Tale approccio progettuale comporta un sovradimensionamento delle strutture, che produce soluzioni antieconomiche.

La seconda opzione consiste nel realizzare strutture che, attraverso la deformazione plastica controllata ed affidabile di alcune zone specifiche, riescono a dissipare parte dell'energia sismica in ingresso assumendo un comportamento globale "duttile". Strutture di tale tipo, dette "dissipative", consentono di considerare forze di progetto ridotte rispetto a quelle corrispondenti al progetto elastico. Di conseguenza le dimensioni strutturali sono più contenute e le membrature più leggere, determinando così un ulteriore contributo alla riduzione delle azioni sismiche, essendo queste proporzionali alla massa della costruzione. Tale condizione risulta benefica anche per le fondazioni. Il tutto comporta un'economia generale del progetto. La duttilità consente anche una maggiore capacità di deformazione, potendo sfruttare appieno le riserve in campo plastico, garantendo così la sicurezza anche nel caso in cui l'azione sismica risultasse più severa del previsto.

Le strutture dissipative sono quindi le tipologie migliori per resistere a un evento sismico e l'acciaio è il materiale che ottimizza il conseguimento del comportamento globale "duttile". Tale

prerogativa dipende in primo luogo dalla duttilità intrinseca del materiale stesso (duttilità puntuale), quindi dalla possibilità di realizzare numerosi meccanismi duttili a livello locale (duttilità locale) ed infine dalla varietà di tipologie e schemi strutturali dissipativi (duttilità globale), che l'uso dell'acciaio consente di realizzare; (Gioncu e Mazzolani, 2002; Landolfo, 2009).

Oltre all'alto rendimento meccanico e all'elevata duttilità, l'acciaio è conveniente anche dal punto di vista tecnologico ed ambientale. L'avanzato livello di industrializzazione dei processi produttivi e costruttivi, la facilità di trasporto e di montaggio garantiscono la qualità della costruzione nel rispetto delle indicazioni progettuali. Inoltre, la possibilità di riciclare completamente il materiale è in accordo con i principi di reversibilità e sostenibilità, oggi requisiti fondamentali in ogni segmento produttivo. Le tipologie strutturali di acciaio, infine, sposano le esigenze architettoniche e funzionali, valorizzando lo spazio planimetrico, consentendo grandi luci libere. Questo aspetto rappresenta un valore aggiunto nel caso specifico degli edifici industriali, in quanto grandi luci e spazi liberi consentono la movimentazione di mezzi e maestranze, nonché il deposito di grandi quantità di materiali e prodotti all'interno degli ambienti ad uso magazzini, archivi e laboratori.

Tale versatilità, unita alle caratteristiche prestazionali, consente di dare vita a pregevoli esempi di architettura strutturale anche in zone ad altissima pericolosità sismica, riuscendo così a colmare, in un soddisfacente connubio, l'ormai consolidato gap instauratosi tra architettura ed ingegneria (Landolfo, 2009).

Anche nelle zone colpite dal terremoto emiliano vi sono recenti costruzioni di acciaio di notevole interesse architettonico che sono rimaste illese. Sono certamente da citare i nuovi edifici della Ferrari S.p.A, nel comune di Maranello (Modena, Figura 9): il Centro Sviluppo Prodotto (CSP, Massimiliano Fuksas, 2005), e il Ristorante aziendale Ferrari (MDN Marco Visconti & Partners, 2008) a Maranello, il Museo Enzo Ferrari (Jan Kaplicky e Andrea Morgante, 2008) a Modena, località distanti dall'epicentro del sisma 20/05/2012 ore 4.03 rispettivamente di 50 km e 35 km. Le strutture presentano peculiarità che le caratterizzano dal punto di vista architettonico e strutturale, per es. il CSP presenta un corpo interamente aggettante dall'edificio originario in c.a., con struttura a trave reticolare, ma che dal punto di vista dei requisiti strutturali in zona sismica rappresentano delle significative irregolarità. Ciononostante e a conferma di quanto detto sopra, le strutture non hanno subito alcun danno durante gli eventi sismici del terremoto emiliano.

Il ruolo dell'acciaio non si esaurisce al caso delle



Figura 9  
Gli edifici con struttura in acciaio della Ferrari S.p.A (Maranello, Modena); a) il Museo Enzo Ferrari ([www.museocasaenzoferrari.it](http://www.museocasaenzoferrari.it)); b) il Centro Sviluppo Prodotto (Massimiliano Fuksas); c) il Ristorante Aziendale ([mvarchitects.it](http://mvarchitects.it)).

nuove strutture, ma si concretizza anche nel campo degli interventi di miglioramento e di adeguamento sismico degli edifici esistenti, siano essi in muratura o calcestruzzo armato prefabbricato e non. I sistemi di acciaio, infatti, sono idonei nel caso sia di rinforzi (cerchiature, chiodature, placcaggi, etc.) sia di riparazioni (sostituzioni, piattabande, catene, etc.), permettendo il conseguimento dei requisiti richiesti in sede di progettazione, assicurando elevate prestazioni, nel rispetto della ricchezza architettonica del patrimonio edilizio dei centri storici, senza stravolgerne l'identità culturale. Molti dei danni riscontrati sia negli edifici ordinari sia negli edifici industriali possono essere facilmente riparati mediante sistemi di acciaio, come ad esempio, per gli edifici in muratura, la disposizione delle catene a livello di solaio per conseguire l'effetto di confinamento della scatola muraria, o la realizzazione di selle di appoggio delle travi di solaio mediante la disposizione di profilati ancorati alla muratura al di sotto delle travi, oppure per gli edifici industriali in c.a. prefabbricato la realizzazione dei collegamenti trave-colonna. Tali interventi possono essere effettuati anche per la mitigazione degli effetti del sisma per le stesse categorie di edifici esistenti, qualora non abbiano subito alcun danno, nell'ottica di una

politica di prevenzione. L'efficacia di tali sistemi è stata dimostrata dall'evidenza che chiese e fabbricati storici consolidati hanno presentato una risposta sismica migliore rispetto alle costruzioni sulle quali nessun intervento di consolidamento fosse stato realizzato in tempi recenti.

#### 4. Linee guida per la sicurezza sismica delle scaffalature industriali in seguito all'esperienza emiliana

Il caso dei crolli delle scaffalature industriali, avendo provocato ingenti danni economici per la perdita della merce immagazzinata, da un lato ha richiesto una particolare attenzione per l'individuazione delle cause dei crolli, dall'altro ha evidenziato la necessità di considerare le scaffalature come strutture antisismiche e non semplici complementi di arredo industriale. Ciò è confortato dal fatto che anche in occasione degli eventi sismici emiliani, si è riscontrato il caso di scaffalature progettate con criteri antisismici, che ben hanno risposto alle azioni sismiche (Figura 10). Considerando il forte impatto che il sisma dell'Emilia Romagna ha avuto sugli edifici a finalità produttiva, già alla fine del mese di Giugno 2012 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ha elaborato con urgenza delle Linee Guida atte

Figura 10  
Scaffalature rimaste illese a seguito del terremoto emiliano: a) Med.Italia Biomedica, Medolla (MO) ([www.meditalia.net](http://www.meditalia.net)); b) Euroricambi, Crespellano (BO) ([www.rosss.it](http://www.rosss.it)).



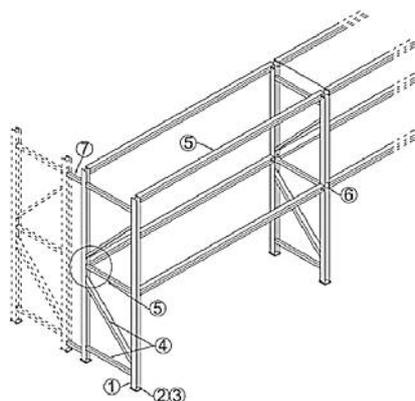
a fornire indicazioni operative sia per la valutazione della vulnerabilità sismica di tali costruzioni e delle relative attrezzature (con particolare riferimento alle scaffalature), sia per il rilascio, in via provvisoria, del certificato di agibilità sismica (CSLLPP, 2012), riconoscendo la presenza di gravi danni strutturali che possano comportare un collasso post-sisma. Tra le carenze strutturali da rilevare, in accordo all'art. 3, comma 8, del D.L. 74/2012 è da considerare anche la "presenza di scaffalature non controventate portanti materiali pesanti che possano, nel loro collasso, coinvolgere la struttura principale causandone il danneggiamento e il collasso".

Recentemente, nel mese di novembre 2012 sono state messe a punto dal Gruppo di Lavoro Agibilità Sismica dei Capannoni Industriali (GLASCI), composto da ReLUIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica), Protezione Civile, Assobeton e Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) in collaborazione con la Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri dell'Emilia Romagna, le *Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici*, che considerano al tempo stesso il problema della sicurezza sismica delle scaffalature metalliche per lo stoccaggio di lavorati e semilavorati, che risultano suscettibili di interazioni con le strutture principali degli edifici.

Dal punto di vista operativo sono indicate le seguenti attività: 1) effettuare una indagine conoscitiva, che prevede l'acquisizione del rilievo geometrico-strutturale, la relazione di calcolo o la scheda tecnica del fabbricante dalle quali desumere caratteristiche meccaniche dei materiali, norme di calcolo, tabelle di portata massima, dispositivi anti-ribaltamento ed anticaduta dei carichi, ancoraggi alla base, ecc.; 2) distinguere i danni prodotti dal sisma da quelli prodotti precedentemente durante il normale uso delle scaffalature; 3) adeguare il piano di evacuazione e di emergenza nell'eventualità del terremoto, redigere una procedura di accesso in sicurezza al magazzino, for-

nire adeguata informazione sui rischi in caso di evento sismico. A valle di tali operazioni, è possibile decidere di consentire l'uso della scaffalatura o di realizzare interventi di messa in sicurezza.

Ai fini del rilascio del certificato provvisorio di agibilità è necessario che le principali prescrizioni generali siano soddisfatte. Innanzitutto, le scaffalature, ad eccezione dei cosiddetti "magazzini autoportanti", per i quali la scaffalatura è anche la struttura portante dell'edificio, devono essere obbligatoriamente scollegate dagli elementi portanti, a meno che l'edificio non sia capace di assorbire le azioni trasmesse dallo scaffale. Le scaffalature, scollegate, devono essere verificate per garantire la stabilità ed adeguatamente controventate sia in elevazione sia in pianta. È necessario, pertanto, verificare la distanza tra sistemi di scaffalatura e struttura portante al fine di evitare fenomeni di martellamento. Per le scaffalature non controventate, che collassando possono coinvolgere la struttura principale causandone danneggiamento o eventuale collasso, qualora risulti difficile intervenire con provvedimenti di tipo strutturale, è necessario ridurre l'effetto della massa oscillante, diminuendo complessivamente il carico portato ed abbassando il suo baricentro. A tale scopo è prescritta la riduzione della portata al 60% di quella dichiarata, scaricando i ripiani più distanti da terra. I collegamenti con gli impianti del magazzino devono essere flessibili, in modo da non costituire vincolo o collegamento per nessuna parte della scaffalatura. Tutti i livelli di carico in uso devono essere dotati di traverse di supporto delle unità di carico, collegate ai correnti, o di altri dispositivi anticaduta. Le vie di transito e di esodo in corrispondenza delle scaffalature devono essere lasciate sgombre per consentire in ogni evenienza una rapida evacuazione degli occupanti. Deve essere predisposto un programma di controlli e manutenzioni periodiche da effettuare da parte di personale competente. Sono richiesti controlli accurati degli scaffali nei punti più critici, sche-



**Legenda:**

1. Montante
2. Piastra di base
3. Tassello
4. Tralicciatura della spalla
5. Trave
6. Connettori corrente-montante
7. Distanziale fra le spalle

Figura 11  
Punti critici di una scaffalatura metallica (CSLLPP, 2012).

maticamente mostrati in Figura 11.

I controlli, in generale, devono essere effettuati su base statistica analizzando un campione di elementi significativo. In particolare bisogna controllare che le membrature non presentino ammaccature gravi lungo il loro sviluppo longitudinale ed in corrispondenza degli angoli, torsioni e deviazioni dalla rettilineità superiori a 1/100, 1/120, 1/200 della loro lunghezza, rispettivamente nel caso dei montanti, delle diagonali e delle travi. Le piastre di base dei montanti non devono presentare deformazioni per torsione o flessione e devono essere completamente a contatto con la pavimentazione, la quale deve essere integra nella zona di appoggio, senza segni di cedimento dei collegamenti saldati e bullonati, onde evitare il sollevamento dei montanti. Bisogna controllare l'integrità dei collegamenti bullonati o saldati, nonché l'eventuale rifollamento del profilo della diagonale o del montante e l'instabilità delle diagonali. Sotto carico le travi devono presentare una freccia verticale non superiore a  $L/200$ . Ove realizzate con 2C accoppiati, i due profili devono apparire efficacemente collegati tra loro. I ganci del connettore corrente-montante ed i loro alloggiamenti nei montanti devono apparire integri e senza evidenti piegature o distorsioni; le saldature devono essere integre e senza cricche. I distanziali devono essere efficacemente collegati alle spalle.

Le unità di carico presenti sulle parti degli scaffali che non superano i controlli sopra elencati o che non rispondono alle prescrizioni generali devono essere rimossi, mentre le restanti parti della scaffalatura, sebbene con restrizioni di impiego, possono rimanere in servizio.

Le linee guida e di indirizzo, integrando anche le indicazioni del SSRE-R (2012) classificano le scaffalature in 3 categorie.

1. Scaffalature industriali autoportanti (SA): riescono a raggiungere fino a 40 m di altezza e rappresentano delle costruzioni autonome, in quanto ad esse risultano direttamente vincolati i pannelli laterali di tamponamento e la struttura di copertura. Esse devono sopportare anche i carichi climatici, oltre al peso delle merci immagazzinate e all'azione sismica. In tali costruzioni la movimentazione del carico è automatizzata ed è consentita l'accessibilità dei lavoratori solo per le operazioni di manutenzione. Tali scaffalature sono assimilate a vere e proprie costruzioni e pertanto per esse esiste l'obbligo di redazione di un progetto strutturale da depositare presso gli Uffici sia del Genio Civile che del Comune territorialmente competente.
2. Scaffalature industriali da interni (SDI): sono

installate all'interno di capannoni per lo stoccaggio delle merci e di magazzini aperti al pubblico. L'altezza varia da qualche metro (scaffalature in magazzini aperti al pubblico), fino a 18m-20m (magazzini intensivi). Per altezze superiori ai 10m la movimentazione dei bancali avviene soltanto in maniera automatica. In questa categoria di scaffali rientrano anche le scalere, ossia le scaffalature con altezze fino a 10-12 m per il deposito e la stagionatura delle forme di grana e parmigiano. Esse devono sopportare il peso delle merci immagazzinate e l'azione sismica. Tali scaffalature sono assimilate ad attrezzature di lavoro, per cui devono essere provviste di targhe di portata, da cui si ricavano le prestazioni nominali della scaffalatura; manuali di uso e manutenzione, dichiarazioni di portata e, talvolta, certificazioni di qualità dei Produttori; piano di manutenzione e controllo, legato all'analisi dei rischi relativi all'attrezzatura. Per tali scaffalature esiste l'obbligo del fabbricante e del progettista di garantire la sicurezza e la stabilità della scaffalatura, per cui anche per queste scaffalature è necessario redigere un progetto strutturale, ma non è obbligatorio il deposito.

3. Scaffalature leggere: sono quelle di altezza inferiore a 3 m ed assimilabili ad elementi di arredo interni (kit), in quanto di limitate dimensioni ed impegno statico. Tuttavia, nell'ottica di fornire comunque un prodotto sicuro, la concezione del prodotto dovrà essere conseguenza di una progettazione strutturale conforme alle regole di buona tecnica, lasciando ai singoli produttori la modalità con cui dimostrarne la capacità portante, applicando i metodi ritenuti più appropriati, anche attraverso apposite prove sperimentali di verifica e/o validazione del comportamento antisismico.

Entrambe le tipologie SA e SDI sono considerate strategiche (perché possono creare danni alle persone e determinare danni economici rilevanti) ed essendo strutture metalliche di grandi dimensioni, soggette a carichi elevati e installate in ambienti di lavoro, è importante garantirne la sicurezza in tutte le condizioni che si possono verificare durante la loro vita, pertanto anche nel caso dell'evento sismico.

Allo stato attuale, con l'emanazione della legge 122 del 1/8/2012, le scaffalature industriali, finora considerate generiche attrezzature, vengono equiparate alle costruzioni civili. La progettazione antisismica delle scaffalature per il magazzino, quindi, diventa requisito indispensabile nella progettazione degli edifici produttivi di tutt'Italia.

Le norme di riferimento per il progetto delle scaffalature riguardano dunque:

a) La sicurezza dei luoghi di lavoro (in particolare il D.lgs. 81/2008 o Testo Unico);

b) La progettazione delle strutture.

Per il progetto strutturale si considerano le Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. 14 Gennaio 2008, l'Eurocodice 8 (CEN-EN 1998-1, 2004), l'Eurocodice 3 (CEN-EN 1993-1-1, 2005; CEN-EN1993-1-8, 2005) e le specifiche tecniche costituite dalle Norme UNI/TS 11379:2012 "Scaffalature metalliche – Progettazione sotto carichi sismici delle scaffalature per lo stoccaggio statico di pallet" per il calcolo sismico, nonché la Norma UNI EN 15512 "Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione strutturale" per il calcolo statico.

## 5. Conclusioni

Lo sciame sismico che ha scosso profondamente l'Emilia ha riproposto con forza il problema del rischio sismico nel nostro Paese. Per mitigare il rischio sismico è necessario operare riducendo la vulnerabilità del costruito. A tale riguardo in questa memoria, partendo dall'esame dei danni prodotti dal terremoto, è stata evidenziata la convenienza in termini di competitività ed efficienza delle strutture di acciaio per limitare la vulnerabilità sismica delle costruzioni sia nuove sia esistenti. Infatti, le proprietà intrinseche del materiale e dei prodotti, nonché la razionalità degli schemi strutturali, sono solo alcune delle ragioni per le quali l'acciaio consente di realizzare costruzioni efficienti ed affi-

dabili, capaci di coniugare la sicurezza strutturale con i paradigmi dell'architettura contemporanea. Tuttavia, gli eventi sismici dell'Emilia-Romagna hanno posto in luce la mancanza in ambito normativo nazionale di specifici documenti per il consolidamento sismico di impianti industriali e di strutture speciali quali appunto serbatoi e sili. Il caso delle scaffalature industriali di acciaio è stato immediatamente affrontato redigendo le prime linee guida per la sicurezza sismica e le linee di indirizzo per il progetto degli interventi. Nel caso delle strutture civili, invece, le Norme Tecniche per le Costruzioni rappresentano indubbiamente un valido riferimento progettuale e hanno il grande merito di colmare definitivamente il gap tra il quadro normativo nazionale e quello europeo. Naturalmente, nel caso specifico delle strutture in acciaio, non mancano, come evidenziato, alcune discordanze anche sostanziali rispetto alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, che andrebbero opportunamente omogeneizzate. D'altro canto, la stessa normativa europea è ormai un po' datata e presenta non pochi aspetti meritevoli di approfondimenti e/o integrazioni. È in questo particolare contesto che si inserisce il lavoro della commissione TC13 – "Seismic Design" dell'ECCS (European Convention for Constructional Steelworks), che sta preparando, allo scopo, uno specifico documento nel quale tutte le lacune e/o inesattezze dell'attuale versione del EC8 sono raccolte, commentate e corredate da adeguate proposte migliorative, con l'auspicio che tale documento possa costituire il background per la prossima generazione della norma europea.

## Bibliografia

Antinori M. (2012) - Terremoto Emilia, le costruzioni in acciaio come risposta sicura. Fondazione Promozione acciaio, [www.promozioneacciaio.it](http://www.promozioneacciaio.it).

Associazione fra i Costruttori di Acciaio Italiani (ACAI) (2012) - "Linee guida per la progettazione ed esecuzione di scaffalature metalliche in zona sismica", 2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.vegasicurezza.com>.

Bruneau M., Uang C.M., Whittaker A. (1998) - "Ductile design of steel structures". McGraw-Hill, ISBN 0-07-008580-3., 1998.

Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Ottonelli D., Rossi M., Tralli A. (2012) - The seismic behaviour of ancient masonry buildings after the Earthquake in Emilia (Italy) on May 20<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup>, 2012. Special Issue of "Earthquake Engineering" dedicated to "Emilia Earthquake – May 2002", N. 2-3, April - September 2012, pp. 87-119.

Comité Européen de Normalisation (CEN)(1993) - EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2005.

Comité Européen de Normalisation (CEN)(1993) - EN 1993-1-8, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints, 2005.

Comité Européen de Normalisation (CEN)(1998) - EN1998-1, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, 2004.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP)(2012) - Linee guida sulla "Valutazione della vulnerabilità e interventi per le costruzioni ad uso produttivo in zona sismica", 2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.mit.gov.it>.

Decreto Legge 6 giugno 2012, n. 74 (2012) - Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici che hanno interessato il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, il 20 e il 29 maggio 2012. Gazzetta Ufficiale n. 131 del 7-6-2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.beniculturali.it>.

Decreto Ministeriale (Infrastrutture) (D.M.) 14 Gennaio (2008) - Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni, G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008.

- Earthquake Chronicles (2008) - Italy earthquake 2012. Global Risk Miyamoto.
- EPICentre (2012) - The 20<sup>th</sup> May 2012 Emilia Romagna Earthquake. Field Observation Report No. EPI-FO-200512, UCL (London).
- Faggiano B., Iervolino I., Magliulo G., Manfredi G., Vanzi I. (2009) - "Il comportamento delle strutture industriali nell'evento de L'Aquila". In *Progettazione Sismica*, n.3, pp.207-213, IUSS Press, ISSN 1973-7432.
- Formisano A. Seismic damage assessment of school buildings after 2012 Emilia-Romagna Earthquake. Special Issue of "Earthquake Engineering" dedicated to "Emilia Earthquake - May 2002", N. 2-3, April - September 2012, pp. 72-86.
- Gioncu V., Mazzolani F.M. eds. (2002) - "Ductility of seismic resistant steel structures". SPON Press, London, Great Britain, 2002.
- Gruppo di Lavoro Agibilità Sismica dei Capannoni Industriali (GLASCI)(2012) - "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", Novembre 2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.reluis.it>.
- Landolfo R. (2009) - Acciaio & sisma. *Costruzioni Metalliche*, (6), 53-69.
- Marzo A., Marghella G., Indirli M. (2012) - The Emilia-Romagna Earthquake: damages to precast/prestressed reinforced concrete factories. Special Issue of "Earthquake Engineering" dedicated to "Emilia Earthquake - May 2002", n. 2-3, April - September 2012, pp. 132-147.
- Parisi F., De Luca F., Petruzzelli F., De Risi R., Chioccarelli E., Iervolino I. (2012) - Field inspection after the May 20<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup> 2012 Emilia-Romagna earthquakes. Disponibile all'indirizzo web <http://www.reluis.it>.
- Savoia M., Bacci L., Vincenzi L. (2012) - Terremoto dell'Emilia - Danni e crolli nell'edilizia industriale. 2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.reluis.it>.
- Savoia M., Mazzotti C., Buratti N., Ferracuti B., Bovo M., Ligabue V., Vincenzi L. (2012) - Damages and collapses in industrial precast buildings after the Emilia Earthquake. Special Issue of "Earthquake Engineering" dedicated to "Emilia Earthquake - May 2002", N. 2-3, April - September 2012, pp. 120-131.
- Servizio Sanitario Regionale Emilia-Romagna (SSRE-R)(2012) - "Indicazioni sulla sicurezza delle scaffalature industriali", 2012. Disponibile all'indirizzo web <http://www.bioikosambiente.it>.
- UNI/TS 11379:2012 (2012) - "Scaffalature metalliche - Progettazione sotto carichi sismici delle scaffalature per lo stoccaggio statico di pallet", 2012.
- UNI EN 15512 (2009) - Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione strutturale, 14 maggio 2009.

### Siti web

- <http://www.archinfo.it>
- <http://www.ceramicasantagostino.it>
- <http://www.dodiciufficio.it>
- <http://espresso.repubblica.it>
- <http://gazzettadimodena.gelocal.it>
- <http://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it>
- <http://www.ilrestodelcarlino.it>
- <http://www.marcegaglia.com>
- <http://www.meditalia.net>
- <http://www.mericatservice.it>
- <http://www.modena2000.it>
- <http://www.modenatoday.it>
- <http://www.museocasaenzoferrari.it>
- <http://www.mvarchitects.it>
- <http://www.portedilo.it>
- <http://www.rosss.it>
- <http://tg24.sky.it>