

Evoluzione e contenuti delle norme tecniche per la progettazione antisismica delle scaffalature

Dott. ing. Stefano Sesana – capogruppo del CEN/TC344 WG5 “Seismic design for steel static pallet racking”

Dott. Ing. Barbara Orsatti – relatore del GdL UNI Scaffalature Metalliche

Le scaffalature industriali sono strutture metalliche particolari sia dal punto di vista costruttivo che dei carichi, e solo in parte riconducibili a edifici realizzati con sistemi costruttivi tradizionali.

La tipologia di scaffalatura più comune, lo scaffale “porta pallet”, è anche chiamato APR, “adjustable pallet racking”, cioè scaffale porta pallet “modulabile”, poiché consente di variare le configurazioni, utilizzando una gamma ristretta di componenti.

Una tipologia particolare di scaffalatura “porta pallet” è costituita dai magazzini autoportanti, che da essi derivano la concezione costruttiva di base, a meno delle caratteristiche di modulabilità. Queste costruzioni costituiscono una struttura autonoma, tamponata ed esposta alle azioni meteoriche, a differenza delle scaffalature industriali, che sono normalmente installate al chiuso all'interno di capannoni. Le dimensioni inoltre sono in genere molto maggiori rispetto alle scaffalature industriali, sia in altezza che in estensione. Mentre una scaffalatura industriale non supera di norma i 12 m, un magazzino autoportante può superare i 40 m di altezza.

In un magazzino autoportante, la movimentazione delle unità di carico avviene per lo più mediante traslo elevatori automatici, e in questi casi è raro che vi sia permanenza di persone, almeno nelle zone di stoccaggio; l'accessibilità è richiesta esclusivamente per operazioni di manutenzione.

Dal momento che in entrambi i casi si tratta di strutture di grandi dimensioni, soggette a carichi elevati, installate in ambienti di lavoro o in locali aperti al pubblico (si pensi ad esempio alle aree dei centri commerciali destinate al retail), è importante garantirne la sicurezza in tutte le condizioni che si possono verificare durante la loro vita.

Tuttavia, la Legislazione Italiana tratta in modo diverso le scaffalature industriali e i magazzini autoportanti.

Infatti, mentre i magazzini autoportanti sono fatti ricadere nell'ambito della normativa sugli edifici (la circolare del Servizio Tecnico Centrale del Min. LL.PP del 14/2/1974 Prot. N. 11951 cita i “magazzini” come esempio di opere ricadenti nell'ambito di applicazione della Legge 1086/71), le scaffalature sono assimilate ad “attrezzature di lavoro”, e ricadono solo nell'ambito della Legislazione sulla sicurezza dei posti di lavoro (dlgs 9 aprile 2008 , n.81).

La Normativa tecnica italiana, invece, non ha prodotto sino ad ora istruzioni e indicazioni specifiche per la progettazione di queste tipologie strutturali, per le quali i metodi di progettazione delle strutture civili e industriali, e in particolare quelle in carpenteria metallica tradizionale, possono essere applicati solo in parte. Infatti in Italia le regole di buona pratica per la progettazione delle scaffalature (FEM e UNI) non sono incluse in documenti cogenti a termini di legge.

L'applicazione di standard specifici, per strutture al di fuori dell'iter della Legge 1086, è comunque sempre volontaria e dipende dalle condizioni contrattuali tra Cliente e Fornitore. Ne consegue che, molto spesso, il livello di sicurezza delle scaffalature realizzate fino ad oggi dipende dalla percezione del rischio dell'utilizzatore in relazione alle valutazioni economiche dell'investimento.

L'esigenza di avere regole tecniche di riferimento per la progettazione, comune anche agli altri paesi europei, ha spinto i costruttori europei di scaffalature e di magazzini a sviluppare una normativa specifica, basata sugli Eurocodici, applicata alle diverse tipologie, ciascuna con le proprie peculiarità legate alla concezione, alla costruzione e all'utilizzo.

Lo sviluppo di tale Normativa è in corso da circa 20 anni, ed è iniziato nell'ambito della FEM Section X (Federation Europeen de la Manutention), con il supporto di docenti e ricercatori universitari e attività di ricerca specifica sviluppate in università di tutta Europa. Recentemente, la normativa FEM è stata formalizzata e portata a livello di Normativa Tecnica Europea in ambito CEN, dove è costituito il Comitato tecnico TC 344 "Steel Storage Static Systems"; è del 2009 l'emissione della prima Normativa tecnica europea per la progettazione delle scaffalature porta pallet "APR", la EN 15512:2009, insieme ad altre tre relative alla gestione della sicurezza nelle varie fasi di progettazione e utilizzo; tali Norme sono recepite dall'UNI, quindi considerabili applicabili ai sensi del Cap.12 delle NTC2008.

La EN 15512:2009 è la conversione in Norma CEN della Norma FEM 10.2.02, frutto del lavoro decennale di studio e ricerca promosso dall'Industria con il contributo di diverse Università europee.

Il CEN TC 344 è tutt'ora attivo, in particolare nello sviluppo della Normativa per la progettazione delle scaffalature in zona sismica la cui emissione è prevista per il primo semestre del 2015.

In ambito sismico la FEM Section X ha recentemente rilasciato la Norma FEM 10.2.08, oggi nella versione 1.04 del maggio 2011. Questa Norma è stata sviluppata dall'ERF – European Racking Federation - , che raggruppa le maggiori associazioni europee di produttori di scaffalature industriali, con la collaborazione di alcune Università, in particolare il Politecnico di Milano e l'Università di Liegi, che hanno condotto diverse ricerche sull'argomento. L'approccio metodologico della FEM 10.2.08 è quello di seguire l'EC8, introducendo regole e parametri modificativi per modellare gli effetti delle peculiarità costruttive e di comportamento degli scaffali.

I principi di base delle più aggiornate raccomandazioni europee

Il presupposto fondamentale della FEM 10.2.08 è che gli scaffali, realizzati in genere con profili formati a freddo, sono strutture a bassissima duttilità strutturale, e vengono fatti rientrare nella categoria delle strutture poco dissipative in accordo con l'EC8; nella norma sono sviluppati metodi di calcolo con riferimento a tale principio, rimandando all'Eurocodice 8 per la progettazione in campo dissipativo, dove in genere i componenti di produzione standard non sono utilizzabili.

Il fattore di struttura definito dall'EC8 (EN 1998-1:2004 Cap. 2.2.2) è riferito alla capacità della struttura di sviluppare una risposta in campo non lineare attraverso il comportamento isteretico del materiale. Tuttavia, per strutture metalliche classificate come "poco dissipative" il comportamento isteretico del materiale soggetto a carichi ciclici è poco significativo, l'EC8 definisce un fattore di struttura compreso tra 1.5 e 2; in questo modo si tiene conto di plasticizzazioni locali e di meccanismi di sovraresistenza che vengono attivati in presenza di sisma, ma che non è

necessario considerare nel calcolo strutturale.

La risposta alla sollecitazione dinamica di uno scaffale, non è però legata alla sola duttilità del materiale, ma anche all'interazione e all'accoppiamento del sistema strutturale portante con le unità di carico, che rappresentano la grande maggioranza della massa. La FEM 10.2.08, mantenendo la definizione del coefficiente di struttura q dell'EC8, tiene conto di questa interazione mediante coefficienti che modificano lo spettro di progetto, in particolare:

- il coefficiente E_{D1} , che tiene conto dell'effetto globale del movimento macroscopico delle unità di carico sulle travi porta pallet, il quale si manifesta al superamento di una soglia di sollecitazione orizzontale, funzione del coefficiente d'attrito tra pallet e travi; numericamente E_{D1} modifica l'ordinata dello spettro di progetto

La formula per il calcolo di E_{D1} è stata sviluppata mediante studi numerici condotti all'Università di Liegi.

- il coefficiente E_{D2} , che tiene conto del fatto che non tutta la massa del pallet partecipa alla risposta sismica dello scaffale per effetto della sua flessibilità e dello smorzamento interno; tale parametro definisce un valore di massa partecipante non superiore alla massa gravante, modifica il periodo di oscillazione e in genere riduce la sollecitazione.

- Il coefficiente E_{D3} , che raggruppa l'effetto di altri fenomeni e comportamenti evidenziati in varie ricerche, le quali contribuiscono a loro volta a dissipare energia e ridurre la sollecitazione sullo scaffale, come evidenziato fin dalle prime ricerche condotte negli USA sin dagli anni 70 (John A Blume and Associates, 1973; Chen, Scholl, and Blume, 1980), e più recentemente in Europa (ricerca Seisracks); E_{D3} è un valore forfetario che modifica l'ordinata dello spettro di progetto.

Questi coefficienti hanno l'effetto di modificare la sollecitazione sismica sugli scaffali rispetto a strutture ordinarie in carpenteria metallica, riducendola globalmente, e vengono considerati nella FEM 10.2.08 sulla base di parametri caratteristici, che di volta in volta sono assunti con opportuni coefficienti parziali di sicurezza in funzione dell'effetto che hanno in favore ovvero sfavore di stabilità per la struttura. Il coefficiente di struttura q è infine definito in funzione delle tipologie strutturali, in accordo con quanto prescritto dall'EC8.

Nell'ambito delle strutture "poco dissipative" (con $q \leq 2$), le principali tipologie sono:

- Spalle: strutture verticali tralicciate, generalmente a diagonali tese e compresse ($q=1.5$)
- Telaio longitudinale: telaio non controventato a nodi semirigidi ($q=2$)
- Controventi verticali ($1.5 \leq q \leq 2$)

Si noti che negli schemi di spalle in cui la stabilità nei confronti delle azioni orizzontali è affidata alla resistenza di elementi compressi, questi ultimi e i loro collegamenti sono calcolati con un coefficiente parziale di sicurezza aggiuntivo pari a 1.5, per cautelarsi nei confronti della formazione di meccanismi fragili.

Confronto con le norme tecniche precedenti alle recenti Ordinanze (D.M. 16/01/1996)

Facendo un passo indietro, anche la vecchia normativa (D.M. '96) era basata sullo stesso tipo di analisi delle norme più recenti (analisi modale a spettro di risposta), ma l'azione sismica applicata alla struttura era in generale meno severa di quella che si ottiene oggi.

Infatti lo spettro di progetto era definito sulla base di un livello di duttilità convenzionale molto alto, che pertanto produceva una riduzione dell'azione sismica ed un apparente sottodimensionamento degli elementi.

Tuttavia, per soddisfare i requisiti di sicurezza al sisma delle parti strutturali, la norma richiedeva anche la verifica che gli spostamenti relativi totali η_t non causassero perdita di connessione nei vincoli o martellamento tra strutture adiacenti.

Tali spostamenti dovevano convenzionalmente essere valutati mediante una formula che tiene conto della differenza tra l'azione sismica prevista nella norma ed il moto effettivo del terreno durante un terremoto di forte intensità, nonché del comportamento non lineare della struttura:

$$\eta_t = (\eta_p \pm 9 \eta_d) / \chi$$

Lo spostamento totale η_t è funzione dello spostamento elastico prodotto dai carichi sismici " $\lambda \eta_d$ " (con $\lambda = 9$) ed allo spostamento dovuto a tutti gli altri carichi ($\chi = 1.5$ per verifiche agli stati limite).

Il coefficiente di struttura nella formulazione dello spettro di progetto era quindi forfettariamente ipotizzato pari a: $q = 9/1.5 = 6$ (alta duttilità), salvo poi verificarlo a posteriori attraverso il controllo degli spostamenti.

Un altro utile riferimento: le norme americane

In ambito internazionale esistono normative specifiche per scaffalature industriali, o che le richiamano specificamente. Negli Stati Uniti in particolare, la Normativa tecnica ha approfondito da tempo il tema della progettazione sismica delle scaffalature industriali, sia attraverso Normative federali (ASCE 7, FEMA 386, Uniform Building Code e International Building Code, NFPA 5000), che dall'Industria (RMI – Rack Manufacturer INSTITUTE). Attualmente la Norma RMI del 2008 "Specification for Design, Testing and Utilization of Industrial Steel Storage Racks" MH16.1:2008, è stata approvata dall'American National Standard Institute (ANSI) ed ha a tutti gli effetti valore di normativa. La Norma RMI è inoltre assunta come riferimento per altre norme internazionali specifiche sulle scaffalature (Norme Australiane). L'approccio di calcolo proposto dall'RMI è più semplificato rispetto a quello proposto dalla FEM 10.2.08. Va premesso che la definizione dell'azione sismica di progetto è analoga a quella definita dalle Norme europee: il sisma di progetto di riferimento per il calcolo alla SLU è quello valutato con periodo di ritorno di 475 anni (vi è tuttavia una differenza formale nella sua definizione, in quanto lo spettro di progetto è ricavato dallo spettro del "sisma di massima intensità", definito al 2% di probabilità di eccedenza in 50 anni, equivalente a un periodo di ritorno di 2000, per il quale sono definite le mappe). Per la valutazione delle sollecitazioni, vengono considerati i seguenti parametri di calcolo:

- il coefficiente di modificazione della risposta R, che può essere assimilato al rapporto $q/(E_{D1} * E_{D3})$; rispetto al coefficiente di struttura dell'EC8, R tiene conto di tutti i fenomeni e meccanismi dissipativi che modificano la sollecitazione sismica sulla struttura, oltre all'isteresi e alle sovra resistenze.
- un coefficiente moltiplicativo 0.67 del peso delle unità di carico, valido per tutte le tipologie e condizioni di utilizzo, assimilato al coefficiente E_{D2} , per tenere conto in modo forfetario della massa del prodotto stoccato partecipante alla risposta sismica (tale coefficiente deve essere assunto di valore unitario quando si verifica lo scaffale al ribaltamento caricato solo al livello superiore).

Il coefficiente di modificazione della risposta R è assunto pari a 4 nella direzione controventata (spalla trasversale e direzione longitudinale in presenza di controventi), e 6 nella direzione non controventata (per una scaffalatura industriale ordinaria in direzione longitudinale la stabilità è garantita dal comportamento a telaio). Si noti che la direzione longitudinale risulta in genere quella

che beneficia maggiormente della flessibilità della struttura, ed $R=6$ può essere utilizzato sfruttando tale effetto solo a condizione che sia dimostrata una sufficiente duttilità e capacità rotazionale delle connessioni corrente-montante. A parte specifiche indicazioni sulla capacità rotazionale dei nodi corrente-montante, la Norma non fornisce alcuna indicazione circa la richiesta di duttilità, e in generale prescrizioni sugli schemi di controvento.

L'applicazione delle Norme FEM porta a un dimensionamento in generale più severo rispetto all'RMI; infatti:

- Per le tipologie ordinarie di spalle a diagonali tese e compresse, il rapporto $q/(E_{D1} \cdot E_{D3})$ varia tra 2.24 e 3.75, e vengono imposti coefficienti di sicurezza addizionali sui componenti fragili (diagonali e loro collegamenti), mentre per l'RMI si ha sempre $R=4$
- Per i telai longitudinali non controventati, il rapporto $q/(E_{D1} \cdot E_{D3})$ varia tra 2.24 e 5, mentre per l'RMI si può avere $R=6$ (ove siano soddisfatti requisiti di duttilità sui nodi)
- Il coefficiente moltiplicativo della massa E_{D2} è compreso tra 0.7 e 1, e dipende dal tipo di prodotto stoccato nell'unità di carico, mentre l'RMI assume un valore fisso 0.67.

Le linee guida dell'ACAI – dal “vecchio” decreto del 1996 ad oggi

Prima del 2010, in Italia non esistevano documenti tecnici specifici per la progettazione antisismica delle scaffalature; ciò nonostante il livello di sicurezza di una scaffalatura non soggetta alla normativa sulle costruzioni doveva, come oggi, essere stabilito sulla base di un'analisi dei rischi formulata dall'Utilizzatore finale, che doveva obbligatoriamente considerare anche il rischio sismico.

In questo contesto è risultato necessario stabilire le regole e gli standard di buona pratica da applicare nella progettazione antisismica.

Pertanto, basandosi sui principi generali della normativa tecnica a suo tempo cogente (DM'96) e sulle conoscenze tecnico-scientifiche disponibili, l'ACAI-CISI ha formulato regole di buona pratica ed emesso linee guida per la progettazione delle scaffalature anche in campo sismico; queste regole sono state obbligatorie per i produttori associati e, in assenza di norme tecniche con valore legale, sono state il riferimento di “buona tecnica” per il mercato italiano.

Dopo l'entrata in vigore dell'OPCM 3274 del 2003 in Italia è cambiato sostanzialmente l'approccio alla progettazione antisismica; è stata inoltre aggiornata la zonazione del territorio italiano. A quel tempo l'industria delle scaffalature non era preparata per il cambiamento, in quanto non erano ancora disponibili regole specifiche per il nuovo approccio.

La FEM stava procedendo nello sviluppo delle norma 10.2.08, ma il primo documento sufficientemente completo per essere considerato pre-standard è stato prodotto nel 2005.

L'ACAI ha quindi richiesto ai produttori associati di utilizzare l'approccio nel seguito descritto.

Nel periodo transitorio dall'aprile 2006 all'aprile 2007 è stato consentito di utilizzare in alternativa l'approccio basato sul DM'96, o la prFEM10.2.08 - dicembre 2005.

A partire da maggio del 2007, l'ACAI ha richiesto di applicare le regole della "pr-FEM10.2.08 – dicembre 2005" e delle edizioni rilasciate successivamente; queste comunque contenevano modifiche minori e migliori specificazioni delle regole di progettazione, senza modifiche sostanziali sui requisiti della progettazione e sulla definizione dell'azione sismica.

A partire dal 2008, anno di entrata in vigore dell'attuale Testo unico per le costruzioni (DM 2008) l'ACAI ha sponsorizzato il processo di ufficializzazione delle regole di progettazione delle Norme FEM in Italia attraverso la pubblicazione di una norma tecnica UNI. Questo processo ha richiesto circa due anni e nel settembre 2010 la UNI/TS11379 è stata pubblicata. La filosofia di progettazione alla base di questa norma UNI è quella di fare riferimento ai dettami generali della legge vigente (DM2008) insieme alle prescrizioni peculiari delle norme di prodotto.

Situazione attuale

La specifica tecnica UNI/TS 11379, si basa quindi su una edizione preliminare della FEM 10.2.08 superata dalla versione definitiva pubblicata nel 2011; la UNI/TS è attualmente in fase di revisione, per essere aggiornata alla versione ufficiale FEM 10.2.08 maggio 2011. Nel frattempo il CEN TC/344 WG5 sta sviluppando una norma EN basata sulla FEM 10.2.08, la cui pubblicazione è attesa per il 2015.

In conclusione, la situazione normativa attuale in Italia è la seguente:

- UNI/TS 11379:2010 - Specifica tecnica vigente (ma non obbligatoria), emessa dall'UNI, valida a livello nazionale: rappresenta lo "stato dell'arte" non ancora aggiornato
- FEM 10.2.08 v1.04 maggio 2011 - Raccomandazioni tecniche definite dai produttori di scaffalature: attualmente riconosciuta dall'industria come il più aggiornato "stato dell'arte" delle conoscenze in questo settore.

Con l'applicazione – obbligatoria – degli standard sopra citati è possibile progettare scaffalature che garantiscano un ben preciso grado di sicurezza; si auspica pertanto che anche il mercato percepisca l'importanza di una progettazione adeguata di queste strutture e che ne riconosca il valore aggiunto in termini di sicurezza, salvaguardia delle persone e delle merci immagazzinate.