



# INNOVARE L'INDUSTRIA CON L'ACCIAIO

I NUOVI MAGAZZINI  
AUTOPORTANTI VERTICALI  
IN CARPENTERIA METALLICA

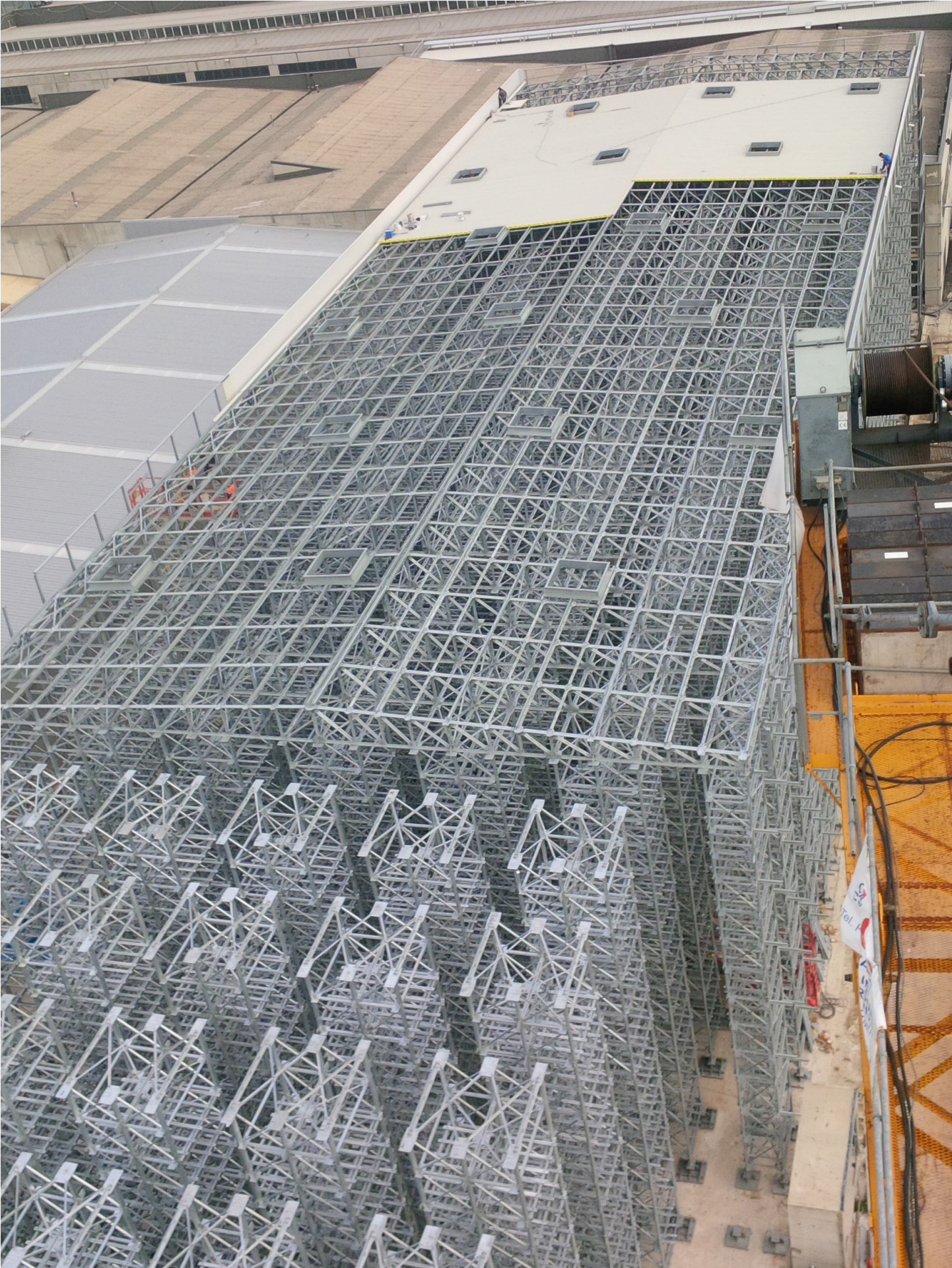




CONTENUTI:

IL MAGAZZINO AUTOPORTANTE VERTICALE  
IN CARPENTERIA METALLICA  
DELLA CERAMICA SANT'AGOSTINO

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE  
DI MAGAZZINI AUTOPORTANTI VERTICALI  
IN ZONA SISMICA SECONDO LE NTC08



# IL MAGAZZINO AUTOPORTANTE VERTICALE IN CARPENTERIA METALLICA DELLA CERAMICA SANT'AGOSTINO

AUTORE:  
Fondazione Promozione Acciaio

A seguito del sisma che ha colpito Emilia-Romagna e Lombardia nel 2012, lo stabilimento dell'azienda ferrarese specializzata nella produzione di rivestimenti e pavimentazioni in gres porcellanato ha subito gravi danni, rendendo necessaria sia la ricostruzione dell'area produttiva con un intervento in carpenteria metallica, sia la realizzazione, in sostituzione del precedente reso inutilizzabile, di un **nuovo magazzino automatico verticale**. **Quest'ultimo è stato concepito con una struttura fortemente innovativa: si tratta del primo deposito realizzato interamente con acciaio strutturale e della prima costruzione di questo tipo progettata con le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.08) in merito alla risposta alle azioni sismiche.**

## STRUTTURE PORTANTI

L'edificio sorge sul sedime del precedente ed ha un'impronta in **pianta di circa 134 x 26 metri** e si sviluppa in altezza per 18 m ; gli elementi destinati all'immagazzinamento si sviluppano per 16 metri in altezza e sono di tipo a cella monoposto e biposto. I cinque telai con celle a doppio posto sono disposti al centro dell'edificio, mentre le due spalle con celle monoposto sono ai lati del magazzino, in aderenza alle strutture di rivestimento; in totale i livelli di carico sono supportati da 64 telai metallici per una **capacità complessiva di 18.852 posti Pallet su 13 livelli**.

I graticci controventati in acciaio che formano i telai sono costituiti da montanti in profili tubolari 140 x 70 mm con spessori variabili da 8 a 10 mm, le diagonali sono in profili angolari L mentre i traversi in laminati ad U. Ciascuna spalla è vincolata alle fondazioni, recuperate dalle preesistenti, mediante piastre metalliche nervate in lamiera in acciaio di grosso spessore saldate e zincate; in sommità le spalle sono solidarizzate ad una capriata reticolare in acciaio formando di fatto una struttura intelaiata su più colonne; i collegamenti tra gli elementi metallici sono di tipo bullonato. In senso longitudinale i telai sono collegati tra loro mediante controventatura concentrica, costituita da piatti di spessore 10 mm per le diagonali e profilati ad U per i traversi.

Le celle destinate ad ospitare i prodotti del magazzino sono di altezza variabile in funzione della dimensione del pallet e della presenza dell'impianto antincendio; i piani di appoggio sono in profili a sezione scatolare di larghezza 80 e altezza 20 mm, disposti in direzione trasversale all'asse del capannone con un passo di 350 mm e supportati da travi porta-pallet. Quest'ultime sono in profili a C formati a freddo e appoggiano sui traversi dei montanti sul lato interno della cella, mentre sul lato esterno sono giuntate alle colonne mediante bulloneria. **Tutte le strutture: profili aperti (laminati mercantili e travi), tubolari e profilati sono di classe S355JR e zincate a caldo per la protezione alla corrosione.**

Sulla testata del magazzino, di fronte alle strutture preesistenti dove avviene la fase di caricamento e preparazione dei pallet, è presente una struttura a mensola in travi reticolari a sbalzo, in colonne HEB 180, con funzione di sostegno della copertura e delle pannellature frontali e laterali che ricadono nella zona smistamento.

Tale struttura e le pannellature sono dotate di un adeguato giunto sismico in corrispondenza del collegamento all'edificio preesistente. Esternamente e in copertura il magazzino è rivestito in pannelli sandwich in acciaio, di spessore 50 mm con isolamento in poliuretano ad eccezione della parete Nord, tamponata per prescrizione dei Vigili del Fuoco con pannelli di parete di spessore 100 mm e isolamento in lana di vetro EI90.

Le pareti sono collegate alle spalle mediante travi IPE 100.

## PROGETTAZIONE STRUTTURALE, ANTISISMICA E ANTINCENDIO

L'edificio è destinato esclusivamente a magazzino totalmente automatico e non sono presenti aree destinate al personale, se non per la manutenzione dei trasloelevatori e della copertura.

La progettazione strutturale ha tenuto conto di una Vita Nominale di 50 anni e una classe d'uso II.

Dal punto di vista sismico, il capannone è concepito per rispondere a terremoti con un comportamento di tipo non dissipativo, assumendo un fattore  $q$  di struttura pari a 1.

L'edificio è stato inoltre realizzato nel rispetto della normativa urbanistica e antincendio.

Per la protezione al fuoco, sono stati predisposti evacuatori di fumo in copertura, un impianto di estinzione di tipo a sprinkler e un sistema a lama di acqua è collocato sulla testata est del MAV.

## CONCLUSIONI

Il sisma che ha colpito uno dei territori cardine per l'economia italiana ha portato, oltre alla perdita di vite umane e di patrimonio culturale, anche il blocco delle attività produttive e la perdita di prodotti, con un impatto economico ingente per le aziende coinvolte.

I nuovi magazzini della Ceramica Sant'Agostino sono, in quest'ottica, un modello di efficienza:

- 2.400 tonnellate di acciaio strutturale,
- 8.700 mq di rivestimenti di parete,
- costruito in soli 12 mesi

L'innovativa concezione progettuale e la perizia costruttiva costituiscono un "caso studio": progettazione di un magazzino nel pieno rispetto delle normative vigenti a partire dal quale sarà possibile sviluppare una nuova generazione di magazzini in grado di garantire la sicurezza strutturale e la continuità produttiva anche in caso di eventi sismici.



*Vista delle capriate in acciaio di copertura e degli evacuatori di fumo prima della posa dei pannelli sandwich*

## CREDITS

MAV – MAGAZZINO AUTOPORTANTE VERTICALE CERAMICA SANT'AGOSTINO  
SANT' AGOSTINO (FE)

**Committente**

Ceramica Sant'Agostino spa

**Progetto esecutivo**

Associazione Consortile Sismica Engineering – Ing. Gianluca Loffredo

**Consulenza tecnica alla progettazione strutturale e D.L.**

Prof. Ing. Walter Salvatore

**Collaudatore**

Ing. Mauro Cuoghi

**Costruttore**

Stahlbau Pichler srl

**Direzione lavori**

Archliving srl





# PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI MAGAZZINI AUTOPORTANTI VERTICALI IN ZONA SISMICA SECONDO LE NTC08

AUTORI:

Prof. Ing. Walter Salvatore, Prof. Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Università di Pisa,  
e Coordinatore della Commissione Sismica di Fondazione Promozione Acciaio.

Dott. Ing. Francesco Lippi, S.I.T.A. srl, Studio di Ingegneria.

Dott. Ing. Francesco Morelli, Assegnista di Ricerca, Università di Pisa.

## INDICE

1. INTRODUZIONE
2. LE SCAFFALATURE INDUSTRIALI: Scaffalature a ripiani / Scaffalature a correnti
3. I MAGAZZINI AUTOPORTANTI VERTICALI - MAV
4. QUADRO NORMATIVO ATTUALE
5. LE SCAFFALATURE INDUSTRIALI IN ZONA SISMICA
6. IL TERREMOTO IN EMILIA DEL 2012
7. INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE: Il nuovo MAV della CERAMICA SANT'AGOSTINO SPA (FE)
8. INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE: Il nuovo MAV della VIPA SPA (RE)
9. METODI INNOVATIVI DI PROGETTAZIONE
10. CONCLUSIONI

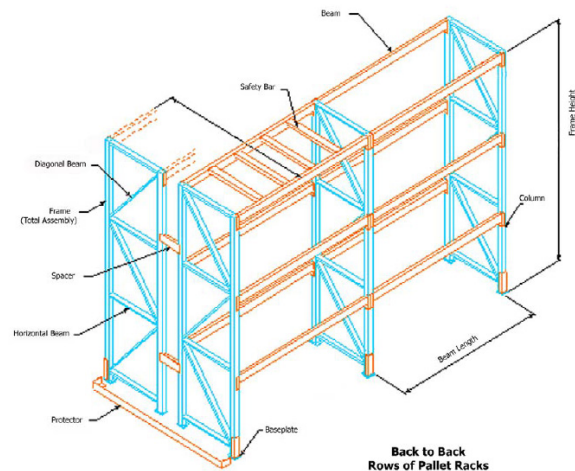
# 1. INTRODUZIONE

Il moderno processo di globalizzazione del commercio è stato reso possibile dallo sviluppo continuo ed esponenziale dei sistemi logistici di trasporto i quali, utilizzati da distributori internazionali che operano su volumi sempre crescenti di merci, necessitano di strutture di stoccaggio di grandi dimensioni e dotate delle più moderne tecnologie.

Tali strutture sono state adottate con sempre maggiore frequenza anche per la realizzazione di centri commerciali di grandi dimensioni dove la clientela ha accesso diretto alle aree di stoccaggio delle merci, eliminando di fatto la precedente suddivisione tra area di esposizione e magazzino al fine di ridurre i costi di gestione.



Magazzino commerciale aperto al pubblico (FEMA 460)



Configurazione tipica di scaffalatura metallica (FEMA 460)

Da questo punto di vista la quasi totalità delle soluzioni adottate per lo stoccaggio ad alta densità delle merci è costituita da scaffalature metalliche.

L'uso delle scaffalature metalliche al posto delle precedenti soluzioni in ligneo ha avuto inizio negli Stati Uniti negli anni '50 ed ha visto un incremento costante ed esponenziale in tutto il mondo sino ad occupare la quasi totalità del mercato degli scaffali, escluse alcune applicazioni particolari ormai di nicchia, grazie alla flessibilità di configurazione e installazione propria della natura modulare dei loro componenti.

Le scaffalature metalliche sono state considerate sin dalle prime realizzazioni come attrezzature da magazzino, soggette esclusivamente ai carichi verticali statici costituiti dal peso proprio delle merci. Solo successivamente, ed a seguito di eventi sismici rilevanti occorsi prevalentemente negli Stati Uniti, le associazioni di produttori ed i tecnici hanno favorito e sostenuto lo sviluppo di criteri di progettazione antisismici.

Tali criteri, tuttavia, non hanno risolto completamente tutti gli aspetti critici delle scaffalature metalliche tradizionali che continuano ad essere particolarmente esposte alle azioni sismiche a causa della natura modulare e componibile dei loro componenti e dell'adozione di profili con sezioni aperte in parete sottile ottenuti per sagomatura a freddo, particolarmente soggetti a fenomeni di instabilità locale/globale.



*Terremoto di Northridge (1994): Collasso scaffalatura metallica a Santa Clarita (FEMA 460)*

Tra le scaffalature metalliche, i magazzini automatici verticali MAV costituiscono le realizzazioni di maggiori dimensioni ed impegno statico e sismico. I MAV sono magazzini ad alta densità dotati di sistemi automatici di stoccaggio/prelievo dei pallet (trasloelevatori) disposti lungo corsie parallele all'asse longitudinale del magazzino. Le elevate dimensioni, tipicamente dell'ordine di 100x25 metri in pianta ed altezza 30 metri, li rendono particolarmente funzionali dal punto di vista logistico coniugando una grande capacità di carico con dimensioni in pianta contenute. I MAV sono stati concepiti come naturale evoluzione in altezza e larghezza di scaffalature metalliche tradizionali, realizzati con la medesima tecnologia e materiali dei magazzini ordinari di dimensioni decisamente più contenute.

I recenti eventi sismici emiliani ne hanno purtroppo evidenziato la vulnerabilità nei confronti delle azioni sismiche, sottolineando la necessità di una profonda revisione tecnologica e normativa dei criteri di costruzione delle scaffalature metalliche in zona sismica. Gli eventi sismici del 2012 hanno inoltre messo in luce una certa confusione normativa riguardo alla necessità o meno della progettazione antisismica delle scaffalature industriali, spesso in ultima istanza demandata alla sensibilità della committenza.

Nel presente articolo sono brevemente illustrate le tipologie tipiche di scaffalature industriali, un richiamo all'attuale quadro normativo con particolare riferimento alla progettazione per azioni sismiche e due esempi progettuali riguardanti i magazzini automatici verticali in corso di costruzione presso la Ceramica Sant'Agostino e recentemente progettato per lo stabilimento VIPA di Rolo.

E' infine brevemente descritto un nuovo metodo di progettazione di tali strutture, attualmente in fase di studio, che consentirebbe una progettazione ottimizzata di una struttura dissipativa con regole di progettazione in capacità più "rilassate" rispetto a quelle attualmente previste dalle NTC08.



*Terremoto in Emilia (2012): Collasso stadera parmigiano*

## 2. LE SCAFFALATURE INDUSTRIALI

Dal punto di vista del comportamento strutturale, le scaffalature metalliche sono state ideate e concepite per sostenere prevalentemente carichi verticali statici. Le scaffalature sono costituite, nella loro formulazione basilare, da piani di carico su montanti laterali di sostegno i quali, connessi e controventati tra di loro, costituiscono le "spalle".

Lo schema base di funzionamento può essere integrato da controventi aggiuntivi a livello di piano oppure in direzione longitudinale, al fine di garantire la stabilità della scaffalatura anche in presenza di azioni orizzontali.

Nonostante la grande varietà di prodotti sviluppati dai vari costruttori, dal punto di vista strutturale è comunque possibile classificare le scaffalature metalliche in due grandi tipologie:

- **Scaffalature a ripiani:** i piani di carico sono ottenuti mediante ripiani, tipicamente in lamiera pressopiegata, incernierati ai montanti delle spalle. Sono generalmente assenti controventi di piano, la scaffalatura può essere completata da un sistema di controventatura dorsale. Sono generalmente adottate per carichi medio-bassi.

- **Scaffalature a correnti:** i piani di carico sono ottenuti mediante correnti longitudinali, tipicamente profilati aperti in parete sottile, incastrati o semi-incastrati ai montanti delle spalle. Sono talvolta presenti controventi di piano, la scaffalatura è generalmente completata da una controventatura dorsale. Sono generalmente adottate per carichi medio-alti.

Ciascuna tipologia può essere adottata per la realizzazione di magazzini a varia destinazione d'uso (industriale, commerciale, etc.) in funzione delle caratteristiche geometriche, funzionali e di carico di ciascuna commessa. Dal punto di vista commerciale, e di riflesso progettuale, i parametri di partenza per il progetto di un magazzino sono le dimensioni volumetriche disponibili nell'area, la configurazione e le dimensioni geometriche dei corridoi di accesso (con particolare attenzione alle esigenze di accessibilità ed ingombro dei mezzi meccanici di movimentazione dei materiali come muletti e/o traslo automatici), le dimensioni ed i carichi dei materiali da immagazzinare ed, ovviamente, i volumi / pesi totali necessari per il funzionamento ottimale del magazzino.

A questo si aggiunge anche lo studio e la progettazione della logica di magazzino, che ha lo scopo di accelerare le operazioni di deposito / presa dei materiali mediante la disposizione dei prodotti in funzione della loro frequenza di richiesta. Tali parametri contribuiscono alla scelta dei ripiani di carico, dei montanti e delle spalle che costituiscono lo scaffale tipo del magazzino.



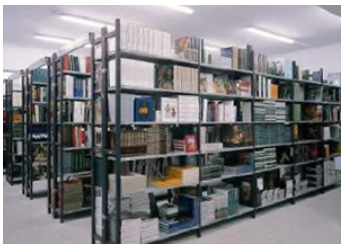
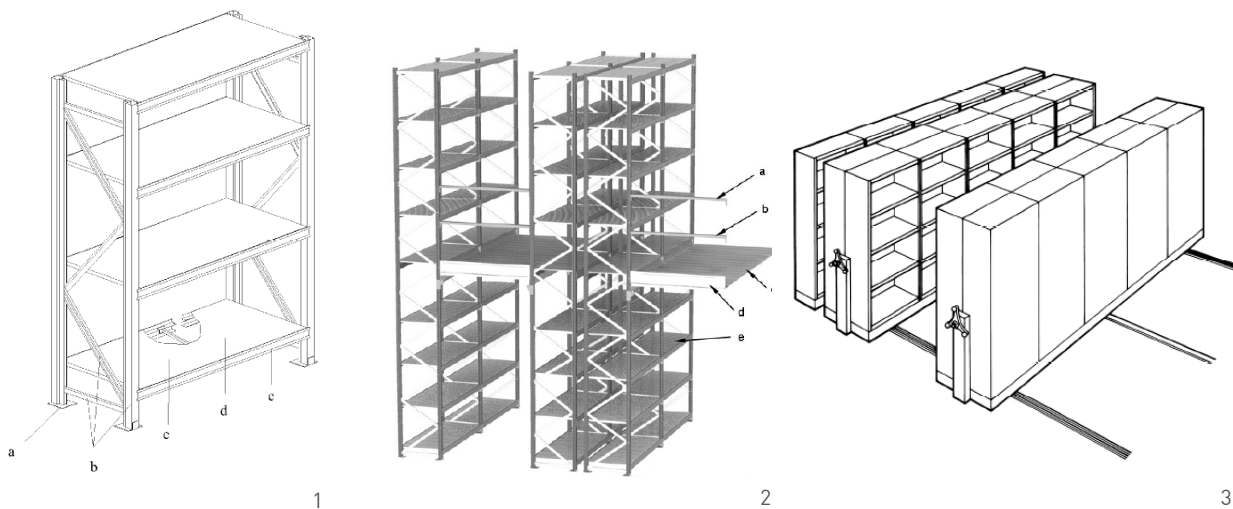
## SCAFFALATURE A RIPIANI

La scaffalatura a ripiani ("Shelving") è una delle soluzioni più diffuse per la realizzazione di magazzini per materiale "sciolto" di piccola dimensione a presa manuale.

La struttura è composta da spalle verticali, tipicamente costituite da due montanti uniti da traversi orizzontali o tralicciati, e dai ripiani di appoggio delle merci.

La scaffalatura a ripiani può essere utilizzata per la realizzazione di molte tipologie diverse di magazzini come ad esempio:

- Magazzini multipiano o "Multi-tier shelving", con passerelle di servizio costituite da travi fissate ai montanti delle spalle e grigliati metallici di calpestio;
- Magazzini compattabili costituiti da scaffalature a ripiani su carrelli scorrevoli che consentono la movimentazione di intere file allo scopo di eliminare lo spazio inutilizzato dei corridoi di accesso, riducendo in modo consistente l'ingombro. Il sistema di movimentazione può essere manuale, elettrico e/o elettronico;
- Scaffalatura monomontante a Gondola o "Cantilever shelving system" dove i ripiani di carico sono sostenuti da mensole.



4



5



6



7

1. Scaffalatura a ripiani o "Shelving": schema generale [EN 15878]
2. Scaffalatura multipiano o "Multi-tier shelving": schema generale [EN 15878]
3. Magazzini compattabili o "Mobile shelving": schema generale [EN 15878]
4. Scaffalatura a ripiani o "Shelving": esempi
- 5,6. Scaffalatura multipiano o "Multi-tier shelving": esempi
7. Magazzini compattabili o "Mobile shelving": esempio

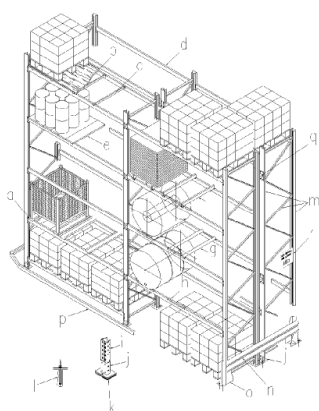
## SCAFFALATURE A CORRENTI

La scaffalatura a correnti costituisce la soluzione più diffusa per l'immagazzinaggio di unità di carico con dimensioni standardizzate ("Pallets" o altro) movimentate mediante mezzi meccanici.

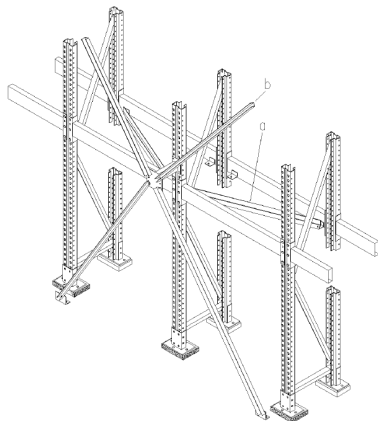
La struttura è composta da spalle verticali controventate secondo vari schemi (K, D, Z, X), dai correnti orizzontali o trasversi connessi ai montanti mediante sistemi di accoppiamento meccanico a incastro (connettori sagomati) o bullonati e, nella quasi totalità dei casi, da controventi verticali longitudinali, disposti sul lato interno dei ripiani di carico in modo da non interferire con il posizionamento delle merci.

La scaffalatura a correnti può essere utilizzata per la realizzazione di molte tipologie diverse di magazzini come ad esempio:

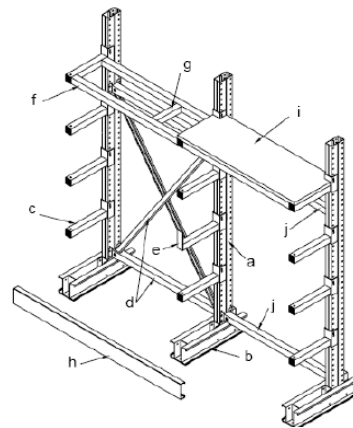
- Magazzini ad alta densità ("Drive-in and Drive-through pallet racking");
- Magazzini automatizzati ("S/R machine pallet racking");
- Magazzini aperti ("Open face pallet racking");
- Scaffalature Cantilever o "Cantilever racking";
- Magazzini compattabili meccanizzati o "Mobile racking";
- Magazzini a gravità o "Pallet live storage";



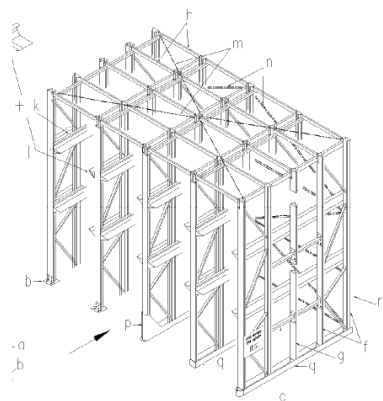
1



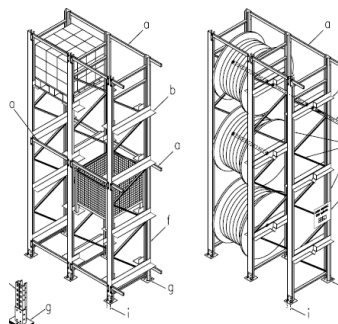
2



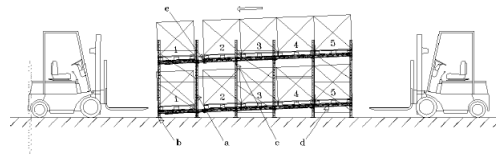
3



4



5



6

1. Scaffalatura a correnti o "Adjustable pallet racking APR": schema generale [EN 15878]

2. Scaffalatura a correnti o "Adjustable pallet racking APR": soluzione con controvento verticale dorsale o "Spine bracing" [EN 15878]

3. Scaffalatura Cantilever o "Cantilever racking": schema generale [EN 15878]

4. Scaffalatura "Drive-in": schema generale [EN 15878]

5. Scaffalatura "Adjustable pallet racking APR" a fronte libero (Open Front): schema generale [EN 15878]

6. Magazzino a gravità o "APR Pallet live storage": schema generale [EN 15878]



1



2



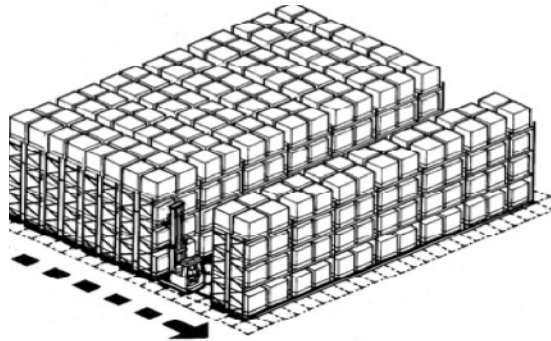
3



4



5



6

1. Scaffalatura a correnti o "Adjustable pallet racking APR" standard: esempio
2. Magazzino a gravità o "APR Pallet live storage": esempio
3. Scaffalatura "Drive-in": esempio
4. Magazzino APR compatto meccanizzato o "APR Mobile racking": esempio
5. Scaffalatura tipo "Open-Front" con sistema di carico robotizzato
6. Magazzino compatto meccanizzato o "APR Mobile racking": schema generale [EN 15878]

### 3. I MAGAZZINI AUTOPORTANTI VERTICALI - MAV

I magazzini autoportanti verticali possono essere considerati come la naturale evoluzione delle scaffalature a correnti. Queste strutture sono caratterizzate dallo svolgimento contemporaneo di due funzioni: lo stoccaggio delle merci ed il sostegno dell'involucro edilizio, costituito dalle pannellature laterali e dalla copertura.

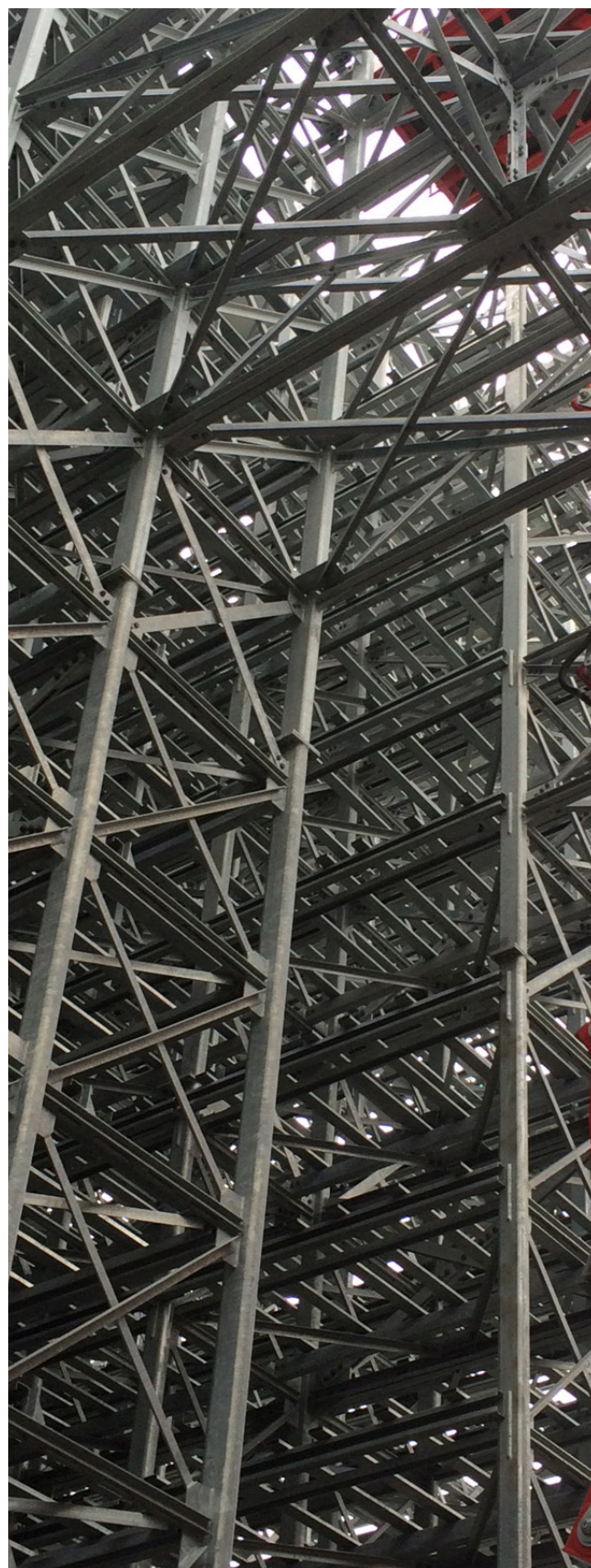
Le dimensioni caratteristiche dei MAV possono arrivare e, in alcuni casi, superare i 100 m di lunghezza, 30 m di altezza e 25 m di larghezza, con un numero di livelli di carico anche maggiore di 25.

Il magazzino è dotato di corridoi disposti nella direzione longitudinale all'interno dei quali si muovono i traslo-elevatori automatizzati per la messa a magazzino ed il prelievo dei pallet.

Il corpo centrale del magazzino non è generalmente accessibile durante l'esercizio da parte del personale, consentendo solo il passaggio dei traslo-elevatori. In questa particolare tipologia di magazzino le merci sono costituite da pallet di dimensioni standardizzate. Lo stoccaggio dei pallet avviene secondo logiche di magazzino appositamente calibrate per ottimizzare la specifica produzione industriale che dipende dalle procedure interne di lavorazione, dalla frequenza di prelievo della tipologia di merce immagazzinata, etc. Queste logiche di magazzino possono determinare asimmetrie di carico all'interno del magazzino con possibili effetti negativi e difficilmente prevedibili in caso di eventi sismici.

Sebbene realizzate con la medesima tecnologia adottata per gli scaffali ordinari, i MAV sono a tutti gli effetti degli edifici e pertanto soggetti alle prescrizioni normative dell'edilizia civile ed in particolare alla Legge n. 1086 del 1971, ovvero al deposito del progetto strutturale presso il Genio Civile ed al collaudo.

Tale interpretazione normativa è stata, tuttavia, frequentemente disattesa in passato e sostituita da normative antisismiche specifiche di settore, contenenti anche indicazioni e criteri progettuali differenti o non previsti dalle NTC08. E' stata quindi favorita la nascita di una moltitudine di approcci progettuali diversi a scapito di una visione chiara ed armonizzata della corretta filosofia di progettazione.





## 4. QUADRO NORMATIVO ATTUALE

Lo sviluppo delle scaffalature industriali è avvenuto nella fase iniziale esclusivamente dal punto di vista commerciale ed industriale e solo successivamente affiancato da criteri ingegneristici di dimensionamento ("Minimum Engineering Standards for Industrial Steel Storage Racks", RMI, 1964).

Tali criteri hanno considerato per lungo tempo come azioni di progetto e verifica delle scaffalature i soli carichi verticali delle merci immagazzinate, considerando trascurabili le azioni orizzontali tranne per alcune situazioni eccezionali, come l'urto dei mezzi di movimentazione. Normative contenenti criteri di dimensionamento delle scaffalature sotto carichi statici verticali sono attualmente disponibili sia a livello Europeo (EN, FEM) che Internazionale (RMI).

Solo più recentemente, a partire dai primi anni '90, sono stati gradualmente introdotti i primi criteri per la realizzazione di scaffalature statiche in zone sismiche, a seguito di alcuni eventi sismici di particolare intensità che provocarono danni estesi a scaffalature in ambienti industriali e commerciali (terremoti di Whittier 1987, Loma Prieta 1987, Landers 1992, Northridge 1994, e San Simeon 2003).

I principi di progettazione antisismica delle scaffalature sono stati sviluppati in primis negli Stati Uniti, come le precedenti normative per carichi statici verticali, e successivamente recepiti in Europa da parte della Federazione Europea della Manutenzione (FEM). Una norma di progettazione antisismica EN per le scaffalature industriali è attualmente in fase di elaborazione.

In ambito Italiano la situazione normativa presenta alcune particolarità dovute ai criteri di inquadramento delle scaffalature, che si traducono nei seguenti due casi:

- Magazzini Non-Autoportanti: in questo caso le scaffalature metalliche, contenute all'interno di opere ordinarie di ingegneria civile, sono generalmente considerate come "attrezzature da magazzino" non soggette ai requisiti delle NTC08. Eventuali certificazioni antisismiche sono redatte con riferimento alla norma Italiana UNI/TS 11379 e/o alla FEM 10.2.08;
- Magazzini Autoportanti: in questo caso la scaffalatura funge anche da struttura portante primaria dell'involucro edilizio che la contiene ed è per questo soggetta alle prescrizioni delle NTC08.

La suddetta classificazione funzionale delle scaffalature non è tuttavia univoca in quanto si possono frequentemente incontrare situazioni di dubbia interpretazione, più che altro nel caso dei magazzini autoportanti, dove le prescrizioni delle NTC08 sono sostituite in modo discrezionale dal progettista con i dettami della UNI/TS e/o FEM. Tali "sostituzioni" arbitrarie riguardano essenzialmente la progettazione sismica con riferimento, a titolo esemplificativo e non esaustivo, ai criteri di definizione degli spettri di progetto, alla verifica di deformabilità eccessiva sotto azione sismica (fattore  $\gamma$ ) e/o alla scelta dei fattori di struttura da associare agli schemi strutturali tipici delle spalle.

Attualmente sono in fase di realizzazione presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici delle Linee Guida per la realizzazione delle scaffalature industriali che consentiranno di chiarire i numerosi dubbi interpretativi attualmente esistenti, fornendo valide indicazioni sui criteri da adottare per il dimensionamento delle nuove scaffalature e per il miglioramento di quelle esistenti. Tali prescrizioni riguarderanno anche le scaffalature in zona sismica, caratterizzate da una risposta strutturale influenzata da diversi fattori e sostanzialmente diversa da quella tipica delle altre strutture dell'ingegneria civile.

## 5. LE SCAFFALATURE INDUSTRIALI IN ZONA SISMICA

Le scaffalature metalliche sono particolari strutture in acciaio dove la quasi totalità dei carichi permanenti (→95%) è costituita dal peso delle merci stoccato, e il rimanente dal peso proprio della struttura. In presenza di azioni sismiche, il comportamento strutturale delle scaffalature è profondamente differente rispetto a quello delle strutture ordinarie in acciaio.

Tale differenza è essenzialmente dovuta alla natura particolare del materiale che costituisce la massa sismica, ovvero le merci presenti sulla scaffalatura che possono variare in composizione materica, rigidità, forma geometrica e/o volumetrica, distribuzione planimetrica ed altimetrica all'interno delle celle di carico. Infine, una delle differenze maggiori rispetto alle opere ordinarie di ingegneria civile è costituita dal fatto che la massa sismica non è rigidamente connessa alla struttura metallica, dato che le merci sono semplicemente appoggiate sui ripiani di carico e generalmente libere di muoversi nel piano orizzontale.

Durante un evento sismico, quindi, all'interno di una scaffalatura si verificano una serie di fenomeni fisici caratteristici di questa particolare tipologia di opera metallica che riguardano elementi non strutturali (le merci) e che influiscono sulla risposta globale della scaffalatura attraverso:

- la dissipazione di energia dovuta alla deformazione delle merci stivate;
- l'effetto di scorrimento che si verifica tra i pallet e le strutture che li sostengono, quando le forze sismiche eccedono un certo limite, in funzione dell'intensità delle accelerazioni e dell'attrito effettivo tra le superfici a contatto;
- la possibile caduta accidentale delle unità di carico dalle travi di supporto;
- la distribuzione effettiva di massa sulla struttura, che determina variazioni significative del comportamento dinamico globale;
- la presenza di forti eccentricità di carico in senso planimetrico ed altimetrico, che potrebbero indurre effetti locali e/o globali imprevedibili sulla struttura.

La risposta delle scaffalature metalliche in presenza delle azioni sismiche è quindi marcatamente influenzata dalla tipologia strutturale adottata per la scaffalatura e dalla natura dei carichi stoccati, nonché dalle logiche di magazzino specifiche della scaffalatura in questione.

La natura delle azioni sismiche, di tipo dinamico e ciclico, richiede che le strutture di ingegneria civile ed i loro componenti verticali (spalle, controventi verticali) e orizzontali (piani di carico, controventi di piano) siano dotati delle sufficienti capacità di resistenza e riserve di duttilità per sopportare i cicli di carico elastici e/o plastici indotti dal terremoto.

Da questo punto di vista la progettazione e realizzazione delle scaffalature metalliche richiede una particolare attenzione al corretto dimensionamento dei sistemi di connessione, ad esempio trave-montante e di base dei montanti, che devono essere in grado di sopportare le forze cicliche indotte dai terremoti, così come i singoli componenti che, nel caso di utilizzo di profilati in parete sottile sagomati a freddo, non devono manifestare fenomeni di collasso per instabilità locale e/o globale che possono portare anche al collasso globale dell'intera struttura per effetto domino.

Gli eventi sismici avvenuti negli Stati Uniti ed in Italia hanno evidenziato la particolare criticità di queste opere metalliche nei confronti delle azioni orizzontali, generalmente trascurate a livello progettuale e costruttivo.

## 7. IL TERREMOTO IN EMILIA DEL 2012



1

L'evento sismico del 2012 in Emilia ha colpito, forse per la prima volta nella storia recente, un'area fortemente industrializzata mettendo a nudo le debolezze tecnologiche e normative di una serie di opere di ingegneria, tra le quali le scaffalature industriali. Il livello di danneggiamento è stato certamente influenzato dalla presenza di un esteso patrimonio edilizio ed industriale progettato e realizzato per le sole azioni statiche, in aree precedentemente considerate come non soggette alle azioni sismiche.

Nel caso particolare delle scaffalature industriali, la maggioranza dei danneggiamenti hanno riguardato scaffali di media dimensione che hanno subito collassi parziali e/o globali per fenomeni di ribaltamento alla base e/o di instabilità globale, mentre l'involucro edilizio (frequentemente realizzato secondo normative antisismiche) nella gran parte dei casi non ha subito danneggiamenti particolari.

In linea di massima tali danneggiamenti hanno riguardato scaffali progettati esclusivamente per azioni verticali, con scarsa o nulla attenzione alle azioni orizzontali (non previste specie nei casi di installazione all'interno di edifici).

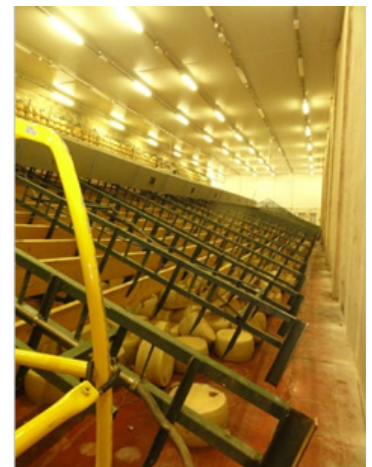
Il terremoto del 2012 ha prodotto danneggiamenti significativi anche ai Magazzini Automatici Verticali MAV, purtroppo con eventi di collasso globale.

In questi casi i danneggiamenti strutturali maggiori sono stati causati da collassi per instabilità locale/globale dei profili in parete sottile sagomati a freddo, particolarmente esposti a questo tipo di fenomeni, e all'adozione di sistemi di controventi con tenditori non adatti a sopportare azioni cicliche.

I MAV hanno inoltre risentito di danneggiamenti funzionali importanti dovuti alle deformazioni permanenti indotte dalle azioni sismiche, tradotti in spostamenti orizzontali permanenti crescenti con l'altezza che ne hanno compromesso la funzionalità impedendo il corretto funzionamento dei trasloelevatori, con perdite di portata in alcuni casi comprese fra il 35-40%.



2



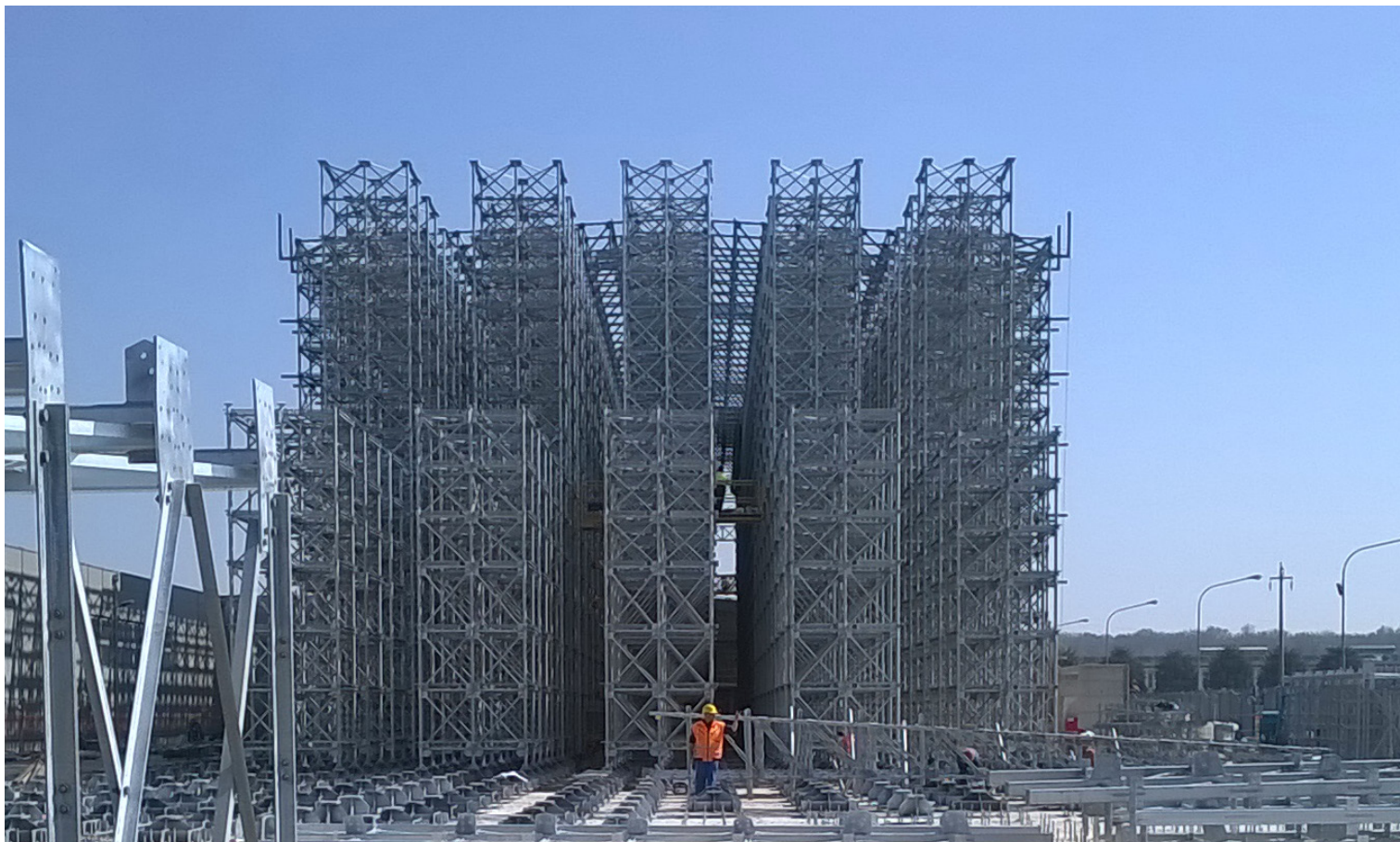
3

Il terremoto del 2012 ha quindi evidenziato l'intrinseca debolezza dei MAV tradizionali alle azioni sismiche, anche nel caso di strutture progettate secondo recenti criteri anti-sismici, che sono risultati soggetti a danneggiamenti strutturali ma soprattutto funzionali particolarmente gravosi dal punto di vista industriale ed economico. Risulta quindi necessaria una profonda revisione dei criteri progettuali di dimensionamento statico e sismico di tali strutture unitamente ad un miglioramento tecnologico che consenta di ottenere livelli di sicurezza omogenei tra i diversi produttori ed in linea con quanto richiesto dalle attuali NTC08.



1,2. Collasso globale di un MAV a seguito del terremoto in Emilia del 2012  
3,4. Spostamenti permanenti alla base dei montanti di un MAV a seguito del terremoto in Emilia del 2012  
5. Danneggiamenti delle travi di carico di un MAV a seguito del terremoto in Emilia del 2012  
6. Danneggiamenti delle crociere verticali di un MAV a seguito del terremoto in Emilia del 2012

## 7. INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE: IL NUOVO MAV DELLA CERAMICA SANT'AGOSTINO (FE)



*Ricostruzione MAV presso il sito della Ceramica Sant'Agostino*

Gli eventi sismici in Emilia del 2012 hanno causato estesi danneggiamenti alle infrastrutture industriali del territorio comprese le scaffalature metalliche.

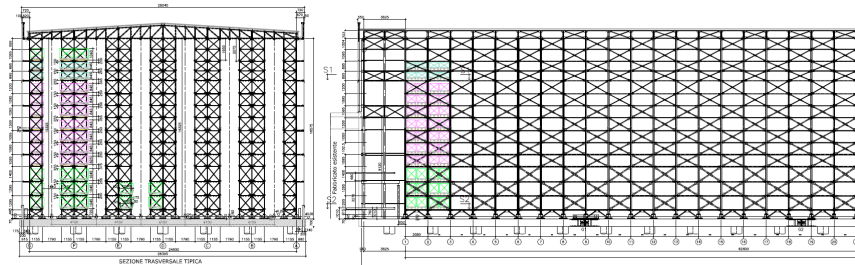
All'interno del sito produttivo della Ceramica Sant'Agostino (FE) le azioni indotte dal terremoto hanno purtroppo causato il collasso globale del magazzino automatico verticale esistente, realizzato nel 2001.

Grazie all'intervento di ricostruzione post-sismica finanziato dalla Regione Emilia-Romagna, un nuovo magazzino automatico verticale MAV è attualmente in fase avanzata di costruzione presso il sito della Ceramica Sant'Agostino.

Il nuovo MAV ha dimensioni in pianta 134 x 26 metri ed altezza 18 metri. Il magazzino ha una capacità di stoccaggio di 18.852 pallet su 13 livelli, per un carico totale pari a 23.341 tonnellate. La struttura del magazzino è interamente costituita da acciaio S355, gli elementi primari nei confronti delle azioni sismiche come spalle e crociere verticali sono costituite da profilati laminati a caldo secondo EN 10025 e da profili a sezione scatolare chiusa formati a caldo o a freddo secondo EN 10210 e EN 2019.

Rispetto alle soluzioni generalmente adottate nei magazzini verticali progettati per i soli carichi statici, in questo MAV i montanti delle spalle, particolarmente esposti agli effetti delle azioni sismiche, sono realizzati con sezioni scatolari chiuse (di classe 1 o 2 secondo NTC08) al posto dei tradizionali profili in parete sottile sagomati a freddo (di classe 4 secondo NTC08).

Inoltre le spalle centrali bifronte (accessibili da entrambi i lati da parte dei trasloelevatori) sono state progettate come spalla unica con un montante centrale e due montanti laterali invece che per semplice affiancamento di due spalle monofronte come nelle soluzioni standard. Lo schema strutturale del magazzino è costituito da controventi concentrici a croce di Sant'Andrea sia nel piano delle spalle che nel piano longitudinale.



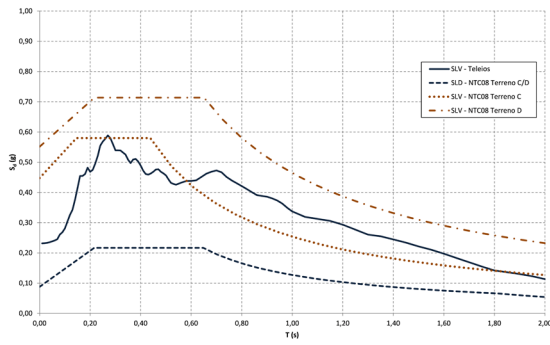
*Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: sezioni trasversale e longitudinale tipica*

Durante il dimensionamento si è osservato che in questa particolare tipologia di opera metallica le azioni sismiche di piano, originate dall'inerzia dei pallet, sono distribuite in modo graduale lungo l'altezza e determinano lo sviluppo di una fascia "non dissipativa" nella parte superiore della struttura, soggetta ad azioni di intensità medio-bassa tali da non indurre lo sviluppo di deformazioni plastiche nelle crociere di spalla e/o longitudinali.

Di fatto la particolare geometria e la distribuzione dei carichi dei magazzini automatici verticali determinano lo sviluppo delle deformazioni plastiche in caso di terremoto solamente nella parte inferiore della struttura, dalla base a circa 2/3 dell'altezza, lasciando sostanzialmente elastica la parte superiore.

L'applicazione delle usuali regole di progetto delle NTC08 per le costruzioni con controventi concentrici, con particolare riferimento ai fattori  $\Omega$  e  $\gamma$  che rappresentano la distribuzione omogenea / graduale delle azioni sismiche nelle crociere lungo l'altezza della costruzione e la loro snellezza, sono difficilmente applicabili al caso dei magazzini verticali automatici rendendo incerto il valore reale del corrispondente fattore di struttura.

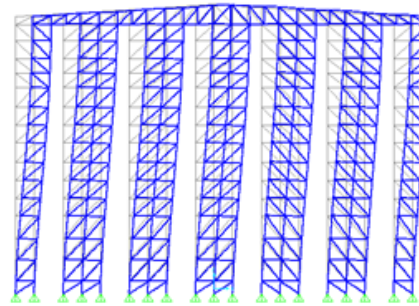
La struttura è stata progettata in modo da avere un comportamento non dissipativo ( $q=1$ ) adottando lo spettro elastico di progetto così come definito dalle NTC08, senza l'utilizzo di fattori correttivi riportati in alcune normative di settore. Lo spettro è stato definito mediante indagini sulla risposta dinamica locale di sito. Il magazzino è stato dimensionato mediante un modello 3D agli elementi finiti dell'intera struttura, secondo l'approccio indicato dalla NTC08 considerando il caso di magazzino con diversi livelli di riempimento (a seguire sono riportate le caratteristiche dinamiche del magazzino a pieno carico).



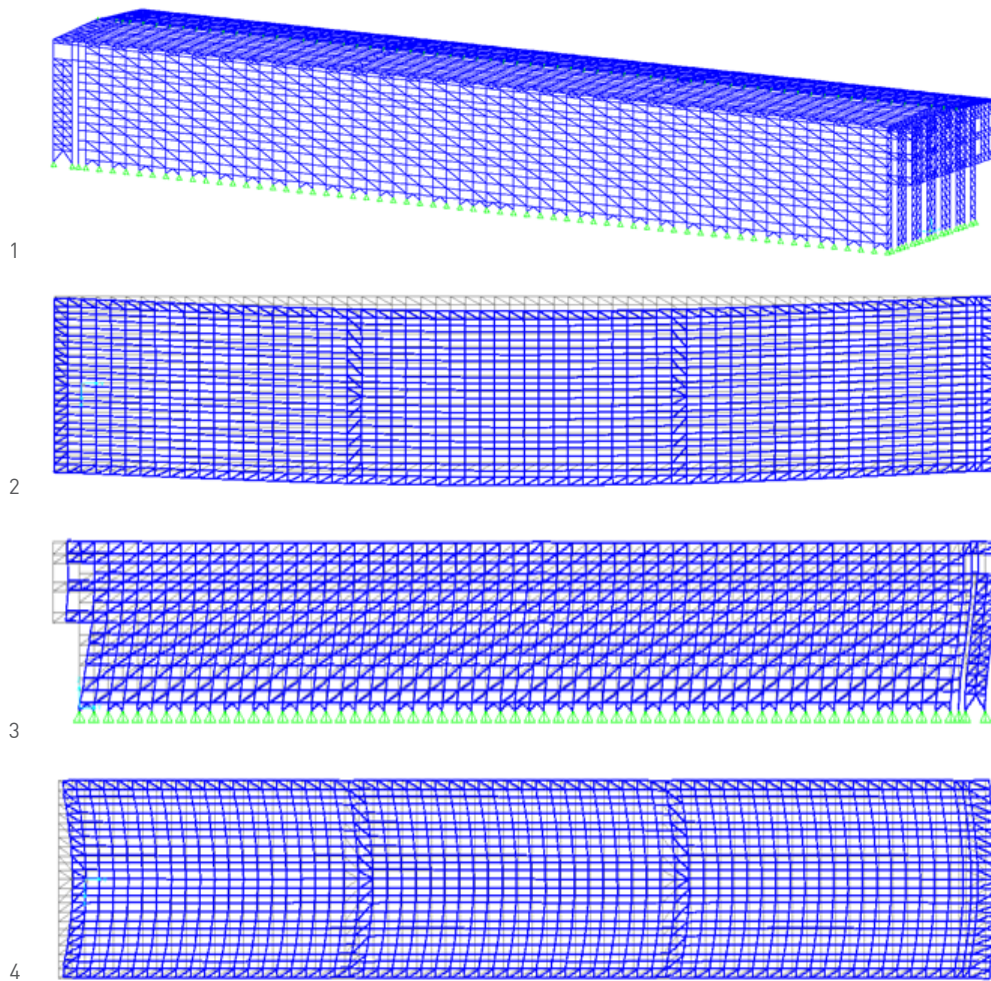
Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: vista laterale

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.653	0.62	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00
MODAL	Mode	2	0.644	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00
MODAL	Mode	3	0.623	0.07	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00
MODAL	Mode	4	0.585	0.01	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
MODAL	Mode	5	0.529	0.01	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00
MODAL	Mode	6	0.494	0.00	0.68	0.00	0.71	0.68	0.00
MODAL	Mode	7	0.478	0.00	0.00	0.00	0.71	0.68	0.00
MODAL	Mode	8	0.464	0.00	0.00	0.00	0.72	0.68	0.00
MODAL	Mode	9	0.460	0.00	0.04	0.00	0.72	0.72	0.00

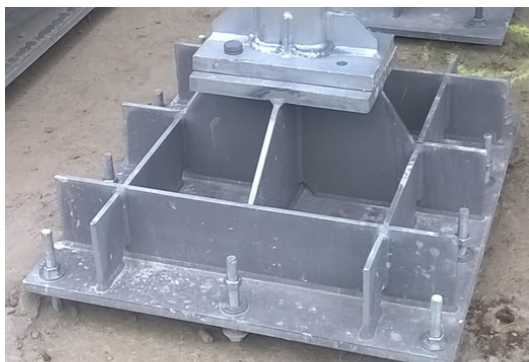
Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modi propri di vibrazione



Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modo di vibrazione principale trasversale (sez. trasversale)



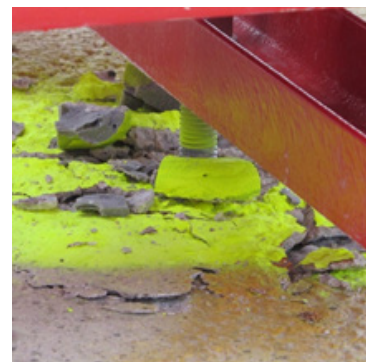
1. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modello numerico
2. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modo di vibrazione principale trasversale (vista in pianta)
3. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modo di vibrazione principale longitudinale (sez. longitudinale)
4. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: modo di vibrazione principale longitudinale (vista in pianta)



1



2



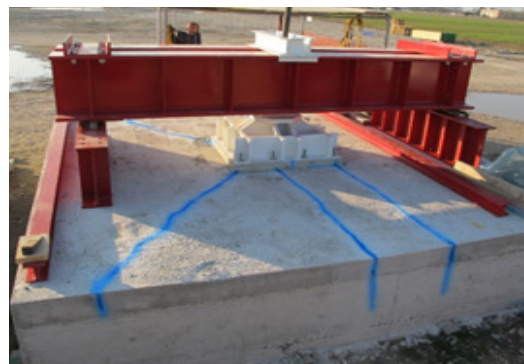
3

L'intervento di ricostruzione del MAV presso il sito della Ceramica Sant'Agostino è stato anche caratterizzato dalla necessità di posizionamento della nuova struttura metallica sopra la platea di fondazione esistente del precedente magazzino. Il collegamento dei montanti delle spalle alla platea è stato ottenuto mediante connettori metallici con legante chimico, dimensionati secondo i criteri riportati nelle normative di settore (EOTA TR 029, EOTA TR 45).

La progettazione è stata integrata da prove sperimentali di carico dei tasselli singoli e dei gruppi di ancoranti, che hanno sostanzialmente confermato i valori progettuali di resistenza ed i relativi coefficienti di sicurezza. In questo particolare caso, la limitazione del tiro in fondazione dettata dai valori massimi di resistenza degli ancoranti chimici ha determinato la scelta della controventatura verticale in direzione longitudinale continua, adottata al fine di ripartire l'azione sismica su tutta la lunghezza della platea senza zone di concentrazione, tipicamente alle estremità, nelle quali la trazione verticale alla base dei montanti avrebbe superato le resistenza di progetto. L'adozione delle piastre di base con connettori chimici e della controventatura verticale longitudinale continua non sarebbe stata necessaria nel caso di realizzazione da nuovo della platea di fondazione, dove le piastre di base dei montanti sarebbero state collegate alla fondazione mediante tirafondi tradizionali annegati nel getto di calcestruzzo.



4

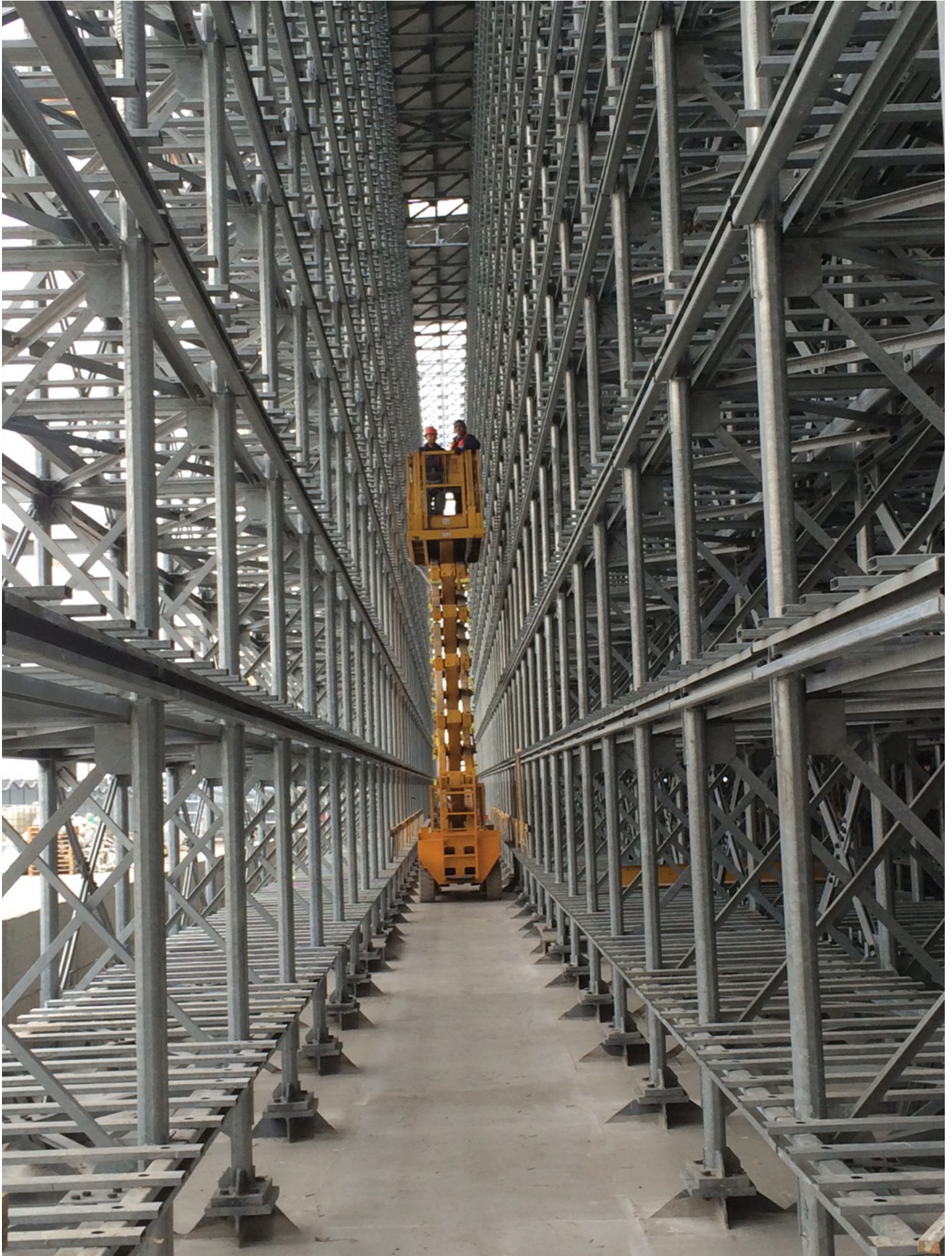


5

1. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: piastra di base montante  
2,3. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: prova di carico e rottura ancorante singolo  
4,5. Nuovo MAV Ceramica Sant'Agostino: prova di carico e rottura gruppo di ancoranti







*Il nuovo Magazzino Autoportante Verticale di Ceramica Sant'Agostino*

## 8. INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE: IL NUOVO MAV DELLA VIPA (RE)

Il terremoto in Emilia del 2012 ha determinato una serie di danneggiamenti strutturali e funzionali a due magazzini automatici verticali (MAV n.1 e MAV n.2) presenti dello stabilimento industriale della VIPA di Rolo.

I due magazzini esistenti, realizzati nel 2001 e nel 2006, hanno subito una serie di danneggiamenti strutturali agli elementi primari (crociere verticali, travi di carico) ed un importante danneggiamento funzionale costituito da spostamenti permanenti delle due strutture i quali hanno di fatto messo fuori servizio la parte superiore del magazzino, non più accessibile dal trasloelevatore a causa delle eccessive deformazioni.

I due magazzini hanno quindi subito una perdita di portata pari al 40% e 35% dei posti pallet, con un evidente danno economico e di produttività dell'impianto.

Nell'ambito degli interventi di ricostruzione post-sismica finanziati dalla Regione Emilia-Romagna, un intervento di adeguamento sismico al 60% dei due magazzini esistenti (MAV n.1 e MAV n.2) e di realizzazione di un nuovo MAV (MAV n.3) a reintegro della capacità di carico persa è in questo momento in fase finale di approvazione.

Il progetto di adeguamento sismico dei due magazzini esistenti prevede la chiusura dei livelli superiori di carico non più fruibili dal trasloelevatore e la diminuzione dei carichi nominali massimi dei pallet per i livelli inferiori, passando dagli originari 1000 kg cad. a 500-750-1000 kg, al fine di ridurre in modo significativo le masse sismiche e di conseguenza le azioni agenti sulla struttura. L'intervento è quindi completato mediante la sostituzione degli elementi danneggiati ed il rinforzo localizzato degli elementi esistenti critici, compresa la sostituzione dei tasselli di ancoraggio esistenti non idonei alle azioni sismiche con nuovi tasselli chimici di classe C2.



1



2



3

1. VIPA - MAV n.1 e n.2: danneggiamento trave di carico  
2. VIPA - MAV n.1 e n.2: danneggiamento crociera verticale  
3. VIPA - MAV n.1 e n.2: danneggiamento baraccatura per martellamento

Il nuovo MAV ha dimensioni in pianta 106 x 23 metri ed altezza 28 metri. Il magazzino ha una capacità di stoccaggio di 27.440 pallet da 500-750-1000 kg su 28 livelli, per un carico totale pari a 19.845 tonnellate.

La struttura del magazzino è interamente costituita da acciaio S355, gli elementi primari nei confronti delle azioni sismiche come spalle e crociere verticali sono costituite da profili laminati a caldo secondo EN 10025 e da profili a sezione scatolare chiusa formati a caldo o a freddo secondo EN 10210, EN 2019.

Anche nel caso del nuovo MAV della VIPA, i montanti delle spalle sono realizzati con profili laminati a caldo (HEA/HEB di classe 1 secondo NTC08) al posto dei tradizionali profili in parete sottile sagomati a freddo (di classe 4 secondo NTC08). Anche in questo caso le spalle centrali bifronte sono costituite da un unico montante centrale e due montanti laterali invece che per semplice affiancamento di due spalle monofronte.

Lo schema strutturale del magazzino è costituito da controventi concentrici a "V" nel piano delle spalle e da controventi concentrici a croce di Sant'Andrea nel piano longitudinale con passo di 1 campata ogni 4.

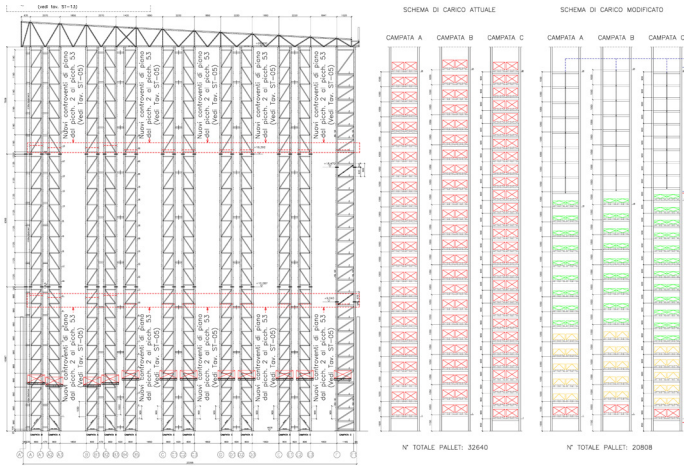
I criteri di progettazione per le azioni sismiche sono analoghi a quelli del MAV della Ceramica Sant'Agostino ovvero:

- struttura non dissipativa ( $q=1$ );
- modellazione statica/dinamica 3D dell'intero magazzino;
- analisi sismica delle condizioni fondamentali di utilizzo.

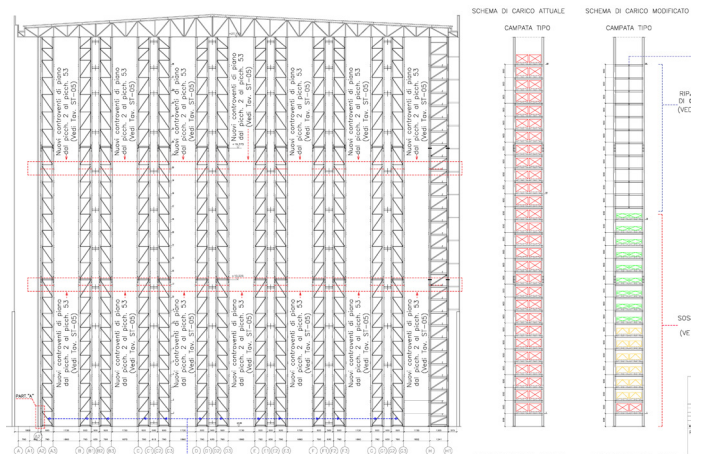
Nel caso del nuovo MAV della VIPA, la contestuale realizzazione della nuova platea in calcestruzzo armato ha consentito di utilizzare la soluzione con controventi verticali longitudinali disposti ogni 4 campate ed ancoraggio delle piastre di fondazione con tirafondi tradizionali annegati nel getto di calcestruzzo.

Il nuovo MAV della VIPA rappresenta un'ulteriore evoluzione nel settore della progettazione dei magazzini automatici verticali in zona sismica.

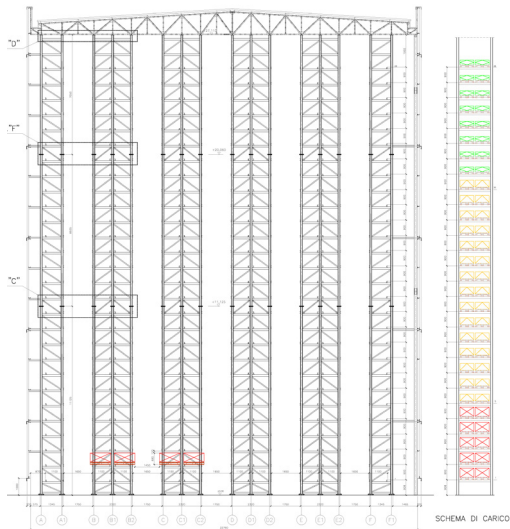
La soluzione strutturale sviluppata ha dimostrato, sia in termini di semplicità concettuale che di quantità/qualità di materiale impiegato, come sia possibile progettare questo genere di opere metalliche secondo i criteri delle NTC08 e mantenere allo stesso tempo i parametri di riferimento di qualità/quantità del materiale base molto prossimi se non uguali ai valori di riferimento delle scaffalature tradizionali con profili sagomati a freddo.



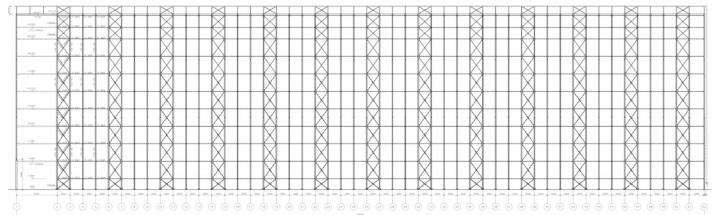
1



2



3



4

1. VIPA – MAV n.1: schema di carico e interventi
2. VIPA – MAV n.2: schema di carico e interventi
3. VIPA – nuovo MAV n.3: schema di carico
4. VIPA – nuovo MAV n.3: sezione longitudinale tipica

## 9. METODI INNOVATIVI DI PROGETTAZIONE

Nonostante la concreta possibilità di progettare le strutture dei MAV nel rispetto delle attuali NTC08 e di mantenere, allo stesso tempo, standard di economicità e funzionalità paragonabili a quelli ottenibili con le scaffalature tradizionali, i criteri di progettazione delle NTC08, specialmente quelli relativi a strutture di tipo dissipativo, possono portare a soluzioni strutturali non ottimizzate.

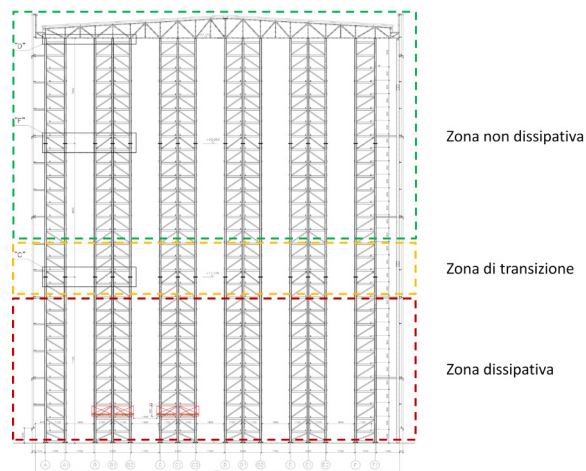
Le strutture dei MAV, e delle scaffalature in generale, sono caratterizzate da un elevato numero di piano di carico e da un'altezza di interpiano estremamente ridotta. Ne consegue che il rispetto dei valori limite di snellezza delle aste di controvento ( $1,3 \leq \lambda \leq 2$  per i controventi ad X) e di variazione della sovraresistenza ( $\Omega_{max} - \Omega_{min} \leq 25\%$ ) per l'intera struttura può risultare problematico o comunque portare all'utilizzo di una grande varietà di elementi in termini di sezione trasversale e/o qualità di acciaio.

L'adozione di un meccanismo dissipativo di tipo completo, resa obbligatoria dalle NTC08 per strutture di tipo dissipativo, permette di adottare fattori di struttura elevati ma impone anche il rispetto, oltre che dei sopra citati limiti, dei criteri di progettazione in capacità.

Per le strutture dei MAV tale filosofia di progettazione risulta spesso non giustificata e/o conveniente rispetto alla possibilità di adottare fattori di struttura ridotti (dell'ordine di 1.5-2.0) e regole di progetto più "rilassate".

A tal proposito, è attualmente allo studio da parte degli Autori, un nuovo metodo di progettazione in cui la capacità in termini di duttilità locale, di resistenza degli elementi ed il meccanismo dissipativo sono determinati in funzione del livello di duttilità globale che si intende raggiungere. Per far ciò, si impone lo sviluppo di un meccanismo dissipativo che coinvolge una porzione limitata, definita in sede di progettazione, della struttura, mentre gli elementi al di fuori di questa porzione rimangono in campo sostanzialmente elastico. In questo modo è possibile adottare regole di progettazione in capacità più "stringenti" nella zona dissipativa, e più "rilassate" in quella non dissipativa e nella zona di transizione tra le due, come schematicamente mostrato nella figura sotto riportata.

La possibilità di esprimere la duttilità globale come una funzione della duttilità locale, della distribuzione delle sovraresistenze e del meccanismo dissipativo, permetterebbe di ottimizzare, caso per caso, il rapporto tra resistenza e duttilità della struttura, evitando al contempo un'applicazione a volte difficilmente giustificabile delle regole di progetto in capacità all'intera struttura.



*Esempio di suddivisione della struttura in zona dissipativa, di transizione e non dissipativa*



## 10. CONCLUSIONI

Le scaffalature metalliche industriali, che rappresentano una parte essenziale del sistema industriale moderno, nate e sviluppate per sostenere i soli carichi verticali statici dovuti al solo peso proprio della merce stoccata, sono particolarmente esposte a danneggiamenti strutturali e funzionali in caso di eventi sismici.

Tali danneggiamenti, oltre a provocare una riduzione della sicurezza dell'opera o, nei casi più gravi, il suo collasso, possono determinare anche perdite significative di funzionalità e di portata con evidenti danni economici diretti (danneggiamento della merce) ed indiretti (riduzione dell'operatività del magazzino). Anche le strutture di dimensioni maggiore come i magazzini automatici verticali, MAV, possono subire danni sismici significativi con perdita importante di capacità di carico e fenomeni di collasso globale.

I recenti eventi sismici in Emilia hanno evidenziato l'elevata vulnerabilità del patrimonio industriale esistente con particolare riferimento alle scaffalature metalliche ed ai MAV, mettendo in luce la necessità di una profonda revisione dei criteri di dimensionamento e delle tecnologie utilizzate per la realizzazione di queste opere di ingegneria.

Gli interventi di ricostruzione progettati ed in corso di realizzazione hanno mostrato come sia possibile progettare e realizzare i MAV secondo i criteri propri delle costruzioni di ingegneria civile, sviluppando una nuova tipologia di magazzini caratterizzati da un approccio concettuale armonizzato e da livelli di sicurezza omogenei tra i vari costruttori.

A partire da queste realizzazioni, sarà possibile sviluppare una generazione rinnovata di MAV in grado di garantire la sicurezza strutturale e la continuità produttiva anche in caso di eventi sismici.



Fondazione  
**Promozione Acciaio**

CRESCE L'ACCIAIO, CRESCE IL PAESE

via Vivaio 11 20122 Milano | Italia  
tel +39 02.86313020  
[www.promozioneacciaio.it](http://www.promozioneacciaio.it)



**STAHLBAU  
PICHLER**

via Edison 15, 39100 Bolzano | Italia  
tel +39 0471 065000  
[www.stahlbaupichler.com](http://www.stahlbaupichler.com)

Documento presentato in occasione della conferenza  
e visita in cantiere al nuovo MAV di Ceramica Sant'Agostino  
Sant'Agostino (FE) - 6 Maggio 2016

SI RINGRAZIA:

**ceramica  
SANT'AGOSTINO**



CONFINDUSTRIA  
Emilia-Romagna

**Confartigianato**  
Imprese Emilia-Romagna



Collegio Provinciale  
Geometri e Geometri Laureati  
di Ferrara



Federazione Regionale Ordini  
Ingegneri dell'Emilia Romagna  
[www.fedinger.it](http://www.fedinger.it)