

LA TORRE PROVE DELLA DIVISIONE RICERCA E SVILUPPO DI METALSISTEM S.p.A.

THE TEST TOWER OF METALSISTEM S.p.A. R&D DIVISION

Lucio Gelmini, Arturo di Gioia

L'articolo descrive una struttura reticolare spaziale realizzata da Metalsistem S.p.A., azienda produttrice di scaffalature metalliche, per prove su modelli al vero di sistemi intelaiati.

The paper describes a spatial triangulated structure built by the steel rack manufacture Metalsistem S.p.A., to test full-scale framed systems.

1. INTRODUZIONE

L'articolo riguarda una particolare struttura metallica realizzata a Rovereto, in provincia di Trento, e progettata in ottemperanza ad una peculiare specifica delineata dalla società committente Metalsistem S.p.A. In dettaglio, l'Azienda, leader europea in sistemi e strutture nel settore della logistica di magazzino, ha maturato la consapevolezza della necessità di condurre prove in scala reale di installazioni con altezza elevata, e con geometria dei campioni e punti di applicazione delle forzanti che possono variare sensibilmente a seconda delle tipologie strutturali da testare. Questa attività di sperimentazione si rende particolarmente necessaria per la caratterizzazione di strutture metalliche in parete sottile in quanto, per poter prevedere correttamente il comportamento sia in campo statico che dinamico, sono necessarie prove sperimentali sia sui particolari costruttivi sia su una porzione significativa del costruito al fine di delineare la rigidità e duttilità del sistema e poter così calibrare i modelli numerici di calcolo e i metodi di verifica. Dalla metà del secolo scorso il settore delle scaffalature industriali è caratterizzato a livello mondiale dall'uso pressoché esclusivo dei profili metallici in parete sottile, uso che in tempi più recenti ha iniziato ad affermarsi anche in diversi settori dell'edilizia (facciate continue, coperture, involucri edilizi ed intere strutture portanti). Metalsistem S.p.A. opera da oltre 40 anni a livello mondiale pro-

gettando, producendo e commercializzando scaffalature industriali in acciaio zincato in parete sottile ed è da sempre protesa all'innovazione [1]. In questo contesto la Società è fortemente intenzionata a realizzare un laboratorio permanente che permetta di sottoporre a prova in scala reale varie tipologie di strutture "voluminose", in un contesto climatologicamente protetto, geometricamente modificabile e scalabile, strutturalmente potenziabile e funzionalmente adattabile; laboratorio che sarà accessibile anche ad altre realtà imprenditoriali locali e non, e aperto alle strutture accademiche interessate.

2. L'IMPORTANZA DELLA SPERIMENTAZIONE

Il settore delle scaffalature industriali è a livello mondiale, e quindi anche europeo e italiano, uno dei principali ambiti di impiego dei profili formati a freddo. Rappresenta un settore strategico per la competitività della filiera della logistica, che a sua volta è fondamentale per tutto il tessuto economico nazionale, dalla manifattura alla grande e piccola distribuzione. Lo sviluppo di soluzioni modulari basate su profili in acciaio formato a freddo si è consolidata dalla metà del secolo scorso come naturale risposta all'esigenza di strutture industrializzate ed economiche, capaci di garantire elevate prestazioni di sostegno dei carichi verticali, con carichi orizzontali di progetto relativamente bassi, sufficienti a garantire

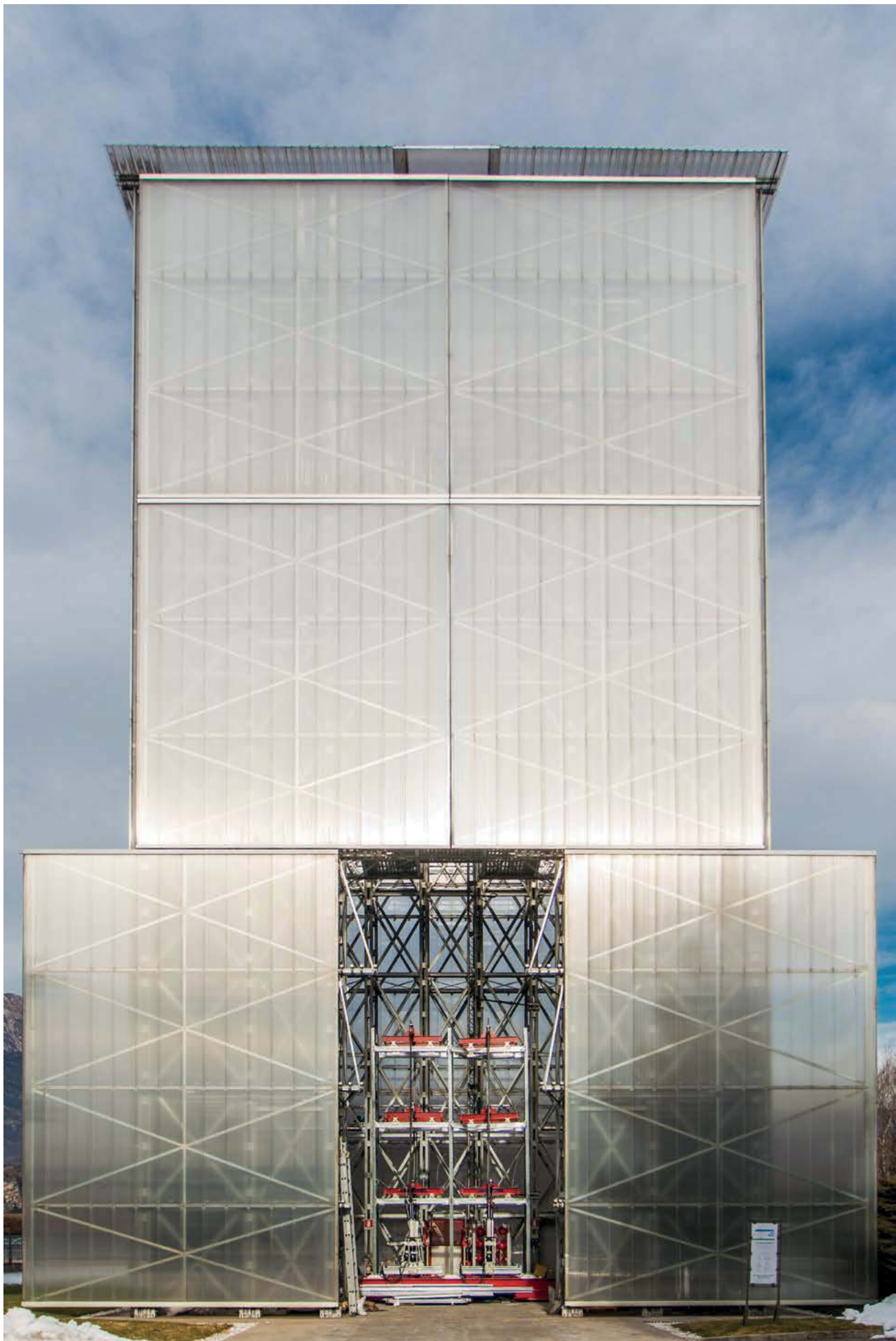




Fig. 1 – Torre di prova Metalsistem

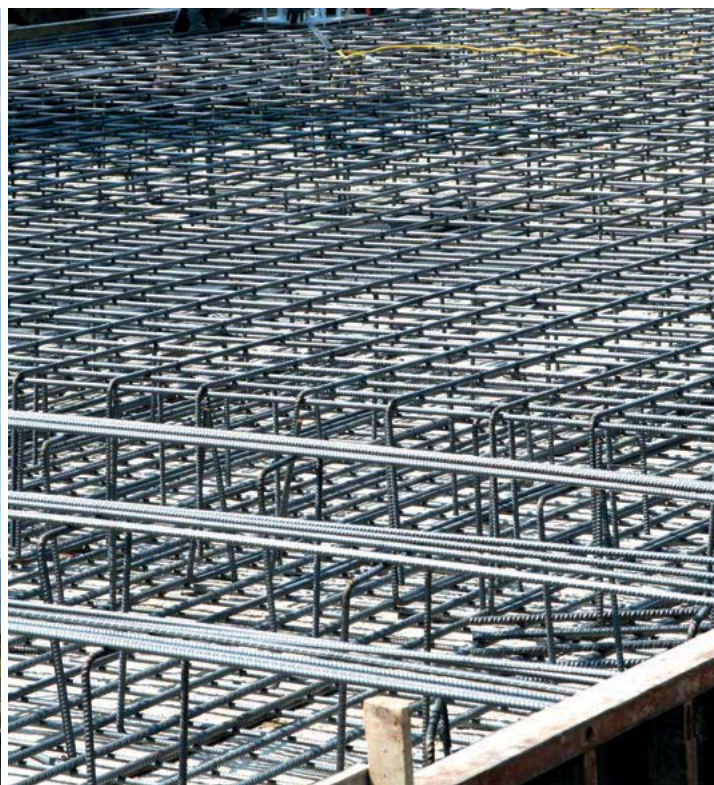


Figura 2: realizzazione della soletta

la corretta operatività.

Queste strutture non sono classificate, nella maggior parte dei casi, come strutture principali secondo le attuali normative per le costruzioni. Non è tuttavia possibile analizzarle come elementi secondari per il semplice fatto che il metodo di progettazione previsto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni [2] per gli elementi strutturali secondari e per gli elementi non strutturali (par. 7.2.3) permette la semplificazione del calcolo imponendo per contro una sovrastima delle sollecitazioni che porterebbe a un sovradimensionamento tale da rendere tecnicamente irrealizzabili le strutture di stoccaggio, con l'eccezione delle più modeste.

Proprio per questo negli ultimi anni in Europa il settore delle scaffalature industriali è stato interessato, grazie anche alla volontà delle principali aziende produttrici riunite nelle associazioni nazionali di categoria, da una notevole evoluzione delle normative tecniche di settore [3,4], specialmente per quanto riguarda gli aspetti legati alla sicurezza nei confronti del sisma.

Allo stato attuale queste evoluzioni non sono tuttavia ancora stabilizzate e sedimentate; questo se da una parte non può che essere visto con favore da chiunque abbia interesse al miglioramento tecnico di questo tipo di strutture, dall'altra parte porta all'attuale situazione di incertezza sul modo più corretto di affrontare la tematica, nei confronti di un settore cruciale per la competitività di tutti i comparti produttivi nazionali.

La tematica della resistenza al sisma delle strutture di stoccaggio interessa anche settori contigui, quale quello delle pavimentazioni industriali, che non possono essere concepite soltanto come ri-

partitori di carico, ma devono essere progettate e verificate come fondazioni soggette a notevoli azioni di trazione localizzata. Anche in questo caso l'impatto economico in termini di inadeguatezza delle pavimentazioni esistenti, anche di recentissima costruzione, e di costi di progettazione e realizzazione di fondazioni adeguate impone una conoscenza della struttura che permetta di ottimizzarne la progettazione.

Occorre inoltre considerare, guardando al nostro paese, che il tessuto economico, anche nel settore della logistica, è caratterizzato da piccole e medie aziende con l'esigenza di impianti di immagazzinaggio di piccola taglia, per i quali è molto difficile assorbire i costi della progettazione antisismica ottimizzandola per ogni singola installazione, e per i quali, per i motivi anzidetti, non è in alternativa possibile semplificare il dimensionamento sovrastimando le sollecitazioni. Da qui la necessità, come unica via percorribile, di definire percorsi e procedure che permettano di progettare in modo sicuro, efficiente ed economicamente sostenibile i singoli impianti, compresi i più modesti.

Metalsistem ha avviato con l'Università degli Studi di Trento e con il Politecnico di Milano un percorso di attività comuni di ricerca applicata, con lo scopo sia di indagare alcuni filoni di ricerca che riguardano la progettazione non solo delle scaffalature industriali, ma più in generale le strutture in parete sottile, sia di finalizzare le procedure di progettazione che ne derivano.

A tale scopo è nata l'esigenza di attivare un laboratorio di prova che permetta di supportare l'attività progettuale e di ricerca con la possibilità di eseguire sia prove sui componenti che su strutture

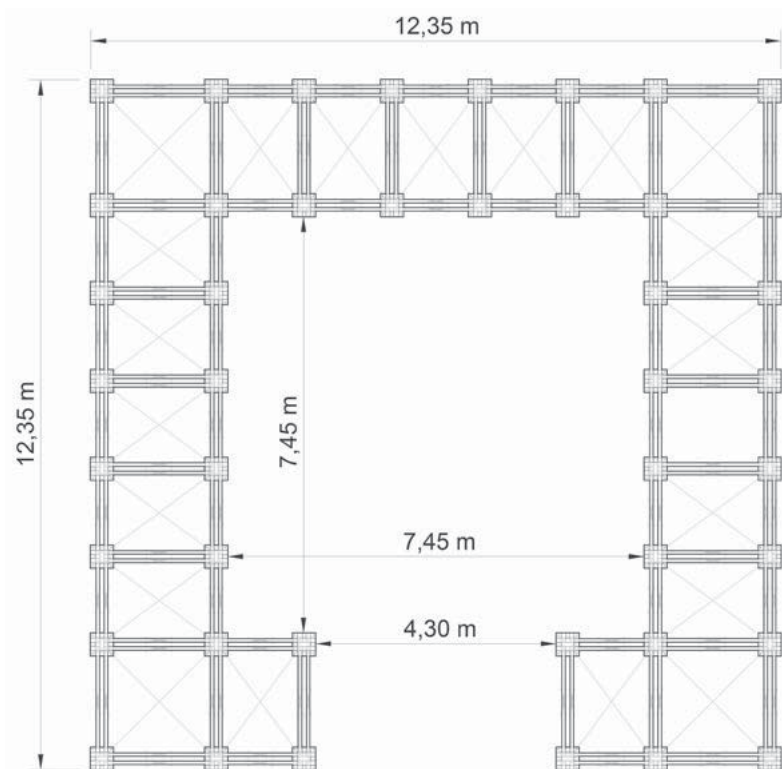


Fig. 3 - Principali dimensioni in pianta

in scala reale.

In particolare sono previste sia prove di collasso per carico verticale che prove di spinta, sia monotona che ciclica.

Le prime consentiranno di validare sperimentalmente le procedure di analisi e verifica di stabilità dei telai multipiano a nodi spostabili ai quali possono essere ricondotte le scaffalature non controventate a nodi semirigidi. In particolare verranno indagati gli aspetti relativi alle modalità di instabilizzazione dei profili monosimmetrici e quelli relativi alla valutazione degli effettivi fattori di sicurezza rispetto al collasso per instabilizzazione globale delle procedure di analisi e verifica previste dalle normative sia europee (Eurocodici e normative di settore per le scaffalature industriali) che extraeuropee.

Le prove di spinta permetteranno invece di indagare il comportamento indotto dalle sollecitazioni sismiche, analizzando sia i meccanismi di dissipazione che l'effetto del degrado delle prestazioni dei nodi, per la corretta taratura dei modelli numerici all'interno di percorsi di progettazione assistiti da prove.

L'obiettivo è stato quindi quello di disporre di una struttura che funga sia da edificio adatto a ospitare in un ambiente protetto dagli agenti atmosferici le attrezzature di prova, sia da torre di contrasto per i carichi applicati ai campioni durante le prove (figura 1).

3. LA TORRE DI PROVA

La torre di prova è stata progettata in modo da poter accogliere campioni con altezza massima superiore ai 20 metri, con lunghezza in pianta fino a 15 metri. La struttura è completamente tampo-



Fig. 4 - Profilo Metalsistem Super 4-5-6

nata, per consentirne l'uso indipendentemente dalle condizioni atmosferiche.

La torre poggia su una platea di fondazione spessa 60 cm (figura 2), alla quale è connessa attraverso basi imbullonate a tirafondi realizzati con barre filettate con piastra annegata nel calcestruzzo. La struttura in elevazione è un parallelepipedo a pianta quadrata con ingombro esterno 12,3 x 12,3 m, di altezza massima 24,5 m, composto da tre pareti disposte rispettivamente lungo i lati Ovest, Nord e Est. Il lato sud presenta un portone che la rende apribile a tutta altezza. Il vano interno ha dimensioni utili pari a 7,5 x 7,5 x 22 m (figura 3). L'apertura lungo il lato Sud permette di alloggiare campioni più lunghi rispetto alla massima dimensione interna del vano. La soletta si estende infatti per circa 15 m frontalmente al portone.

La principale caratteristica della struttura è di essere realizzata interamente con profili formati a freddo prodotti dall'azienda committente Metalsistem S.p.A.

Le colonne sono realizzate utilizzando un particolare profilo a sezione quadrata, chiuso a passo tramite graffatura (figura 4).

La particolarità del profilo risiede nelle imbutiture ricavate a passo 33 mm, che consentono la realizzazione di connessioni su ogni lato, sia sfruttando direttamente le bugne sia agganciando piastre e accessori aggiuntivi che permettono la realizzazione di connessioni bullonate.

Sotto l'aspetto prettamente strutturale il profilo chiuso utilizzato non risente dei fenomeni di instabilità latero-torsionale e distorsionale tipicamente presenti nel caso dei profili aperti solitamente



Fig. 5 – Nodi di tralicciatura con elementi bullonati e a incastro

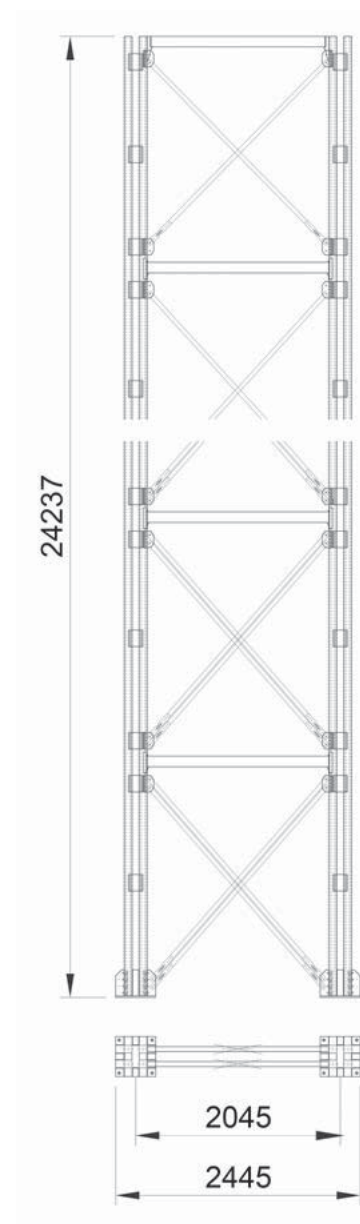


Fig. 6 – Sezione di spalla



Fig. 7 – Passerelle di servizio

Massimo carico orizzontale (kN) applicabile alla singola spalla in funzione della quota		
Quota [m]	Struttura attuale	Controventatura rinforzata
4	40	120
8	40	60
12	20	40
16	20	30
20	20	25

Tabella 1 – Capacità di contrasto della torre prove

utilizzati nel settore delle lamiere formate a freddo.

La struttura sfrutta le caratteristiche del profilo sia nella realizzazione della calastrellatura delle colonne composte, sia nella realizzazione delle connessioni con gli elementi orizzontali e di controventatura, impiegando componentistiche derivate da quelle utilizzate nell'assemblaggio delle strutture per magazzino (figura 5). Il fatto che le linee di produzione fossero a pochi metri dal cantiere, all'interno dello stabilimento attiguo, ha permesso di realizzare le colonne, alte oltre 24 metri, senza necessità di ricorrere a giunzioni fra i profili.

La completa continuità delle colonne permette da un lato una maggiore versatilità nel posizionamento delle strutture di supporto degli attuatori e di tutti gli accessori necessari per le prove previste,

dall'altro la possibilità di aggiornare la struttura sostituendo componenti e modificandone la geometria in funzione delle specifiche esigenze di progettazione delle singole prove.

Grazie all'uso di profili formati a freddo e alla possibilità di ottenere le prestazioni richieste sfruttando uno schema reticolare senza eccessivi limiti di ingombro in pianta, la struttura risulta nel complesso molto leggera; la realizzazione nella configurazione attuale impiega circa 60 t di acciaio.

La struttura è composta da tre pareti che possono essere utilizzate come strutture di contrasto per carichi perpendicolari o paralleli. Le pareti sono a loro volta realizzate affiancando una serie di spalle reticolari. La singola spalla comprende due colonne composte da quattro profili, collegate da un traliccio di controventatura (figura 6). Ogni parete è completata dalla controventatura sia orizzontale che verticale nella direzione ortogonale al piano delle spalle.

Ne risulta quindi un sistema reticolare tridimensionale aggiornabile in funzione delle specifiche esigenze di uso futuro.

L'aggiornabilità futura è garantita dalla possibilità di sostituire gli elementi orizzontali e diagonali, di riconfigurare gli ancoraggi di base e di aggiungere spalle intermedie, avendo cura di rispettare i limiti di resistenza delle colonne esistenti e della soletta.

La massima capacità di contrasto delle singole spalle, sia per la struttura così come configurata ad oggi che nell'ipotesi di rinforzo della controventatura, è riassunta in Tabella 1.

Forze maggiori possono essere assorbite ripartendole su più spalle o in generale su più moduli di controventatura.

La modularità del sistema costruttivo permette di sospendere alla



Fig. 8 – Applicazione del rivestimento in policarbonato

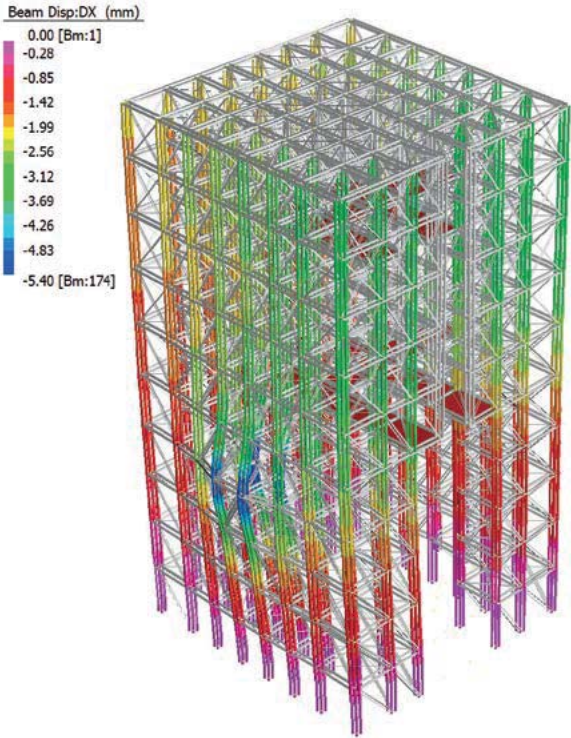


Fig. 9 – Spostamento orizzontale delle colonne a seguito dell'applicazione di un carico orizzontale in una simulazione d'uso della torre di contrasto



Fig. 10 – Dettaglio della macchina di prova in allestimento all'interno della torre di contrasto

copertura e alle pareti passerelle di servizio e di ispezione installabili a qualsiasi quota. Al momento sono presenti due passerelle, la prima a quota 16 m e la seconda a quota 20 m (figura 7).

Un ulteriore elemento di versatilità è costituito dalla possibilità di sospendere in sicurezza i carichi verticali applicati ai campioni. Anche in questo caso, è possibile progettare in funzione delle necessità di prova elementi orizzontali che permettano di trasferire i carichi alle colonne. La capacità portante delle singole colonne composte da 4 profili supera i 300 kN di carico assiale, calcolati considerando l'attuale configurazione con lunghezza critica per la verifica di stabilità dei profili pari a circa 2400 mm; l'infillimento della calastrellatura e della controventatura permetterà, all'occor-

renza, di superare i 500 kN di carico sulla singola colonna.

La scelta di realizzare la struttura utilizzando componenti modulari parzialmente imbullonati e parzialmente connessi sfruttando meccanismi a incastro, ha imposto infine la necessità di tenere in conto la fisiologica deformabilità dei sistemi strutturali impiegati. Per quanto riguarda l'aspetto architettonico, la struttura è rivestita con lastre in polycarbonato (figura 8) che permettono di assecondare le deformazioni, sia dovute ai carichi ambientali che ai carichi di utilizzo. Dal punto di vista invece della funzionalità del manufatto la maggiore deformabilità rispetto a una struttura monolitica dalle equivalenti prestazioni in termini di resistenza è un aspetto assolutamente secondario e ampiamente compensato dalla maggiore versatilità d'uso ed economia di realizzazione della soluzione strutturale adottata.

Alla luce di questa attesa, fisiologica, deformabilità aggiuntiva prevista in virtù delle tecnologie strutturali impiegate, le controventature sono state completamente realizzate utilizzando piatti con tenditore, che permettono di contenere gli effetti locali legati agli eventuali scorrimenti delle connessioni. Questa soluzione non garantisce la completa eliminazione delle deformabilità locali, che a loro volta determinano la deformabilità globale della struttura. Per questo motivo in concomitanza con l'inizio delle attività del laboratorio di prova ospitato all'interno della torre, previsto nella prima metà del 2018, l'esatta deformabilità della struttura verrà saggiata tramite prove di carico che permetteranno la puntuale calibrazione del modello a Elementi Finiti utilizzato per analizzare le sollecitazioni indotte dall'uso come struttura di contrasto (figura 9). In sintesi, il laboratorio in fase di allestimento (figura 10) all'interno della torre di prova realizzata per Metalsistem SpA rappresenta non solo un utile strumento a supporto della ricerca applicata e della sperimentazione, sia per l'azienda committente che per i partner accademici e per altre realtà produttive locali e non, ma è esso stesso un esempio delle prestazioni raggiungibili impiegando in modo ragionato le possibilità costruttive permesse dai profili modulari formati a freddo.

Lucio Gelmini

Arturo di Gioia

Metalsistem S.p.A.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] www.metalsistem.com

[2] D.M. 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"

[3] UNI EN 15512:2009 "Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione strutturale"

[4] UNI EN 16681:2016 "Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione sismica"