

ISSN n° 0010-9673 Poste Italiane SPA - Speculazione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (con. in L. 27.02.04 n° 46) Art. 1, comma 1, L.O./M. Pièzzò a copiar. € 15,00 - In caso di mancato recapito inviare al CMP di Milano-Rosefero per la restituzione al mittente previo pagamento reso



LUG/AGO 2021



RIVISTA BIMESTRALE  
PER LA DIFFUSIONE  
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

# COSTRUZIONI METALLICHE



Con il patrocinio  
del Comune di Genova



# Giornate Nazionali di Saldatura

# G N S 11

L'EVENTO CULTURALE DI RIFERIMENTO  
NEL MONDO DELLA FABBRICAZIONE  
DEI PRODOTTI SALDATI

GENOVA, 2 - 3/12/2021  
PORTO ANTICO | CENTRO CONGRESSI

SAVE  
THE  
DATE

WORKSHOP TECNICO SCIENTIFICI | CORSI DI FORMAZIONE | AGGIORNAMENTI | FAQ | ESPOSIZIONE

SPONSOR TECNICI UFFICIALI



CENTRI DI ECCELLENZA E DI FORMAZIONE IIS



ASSOCIAZIONI DI SETTORE



ASSOCIAZIONE  
ITALIANA  
DI METALLURGIA

[www.gns.iis.it](http://www.gns.iis.it)



# Tekla® Structures

## #differentbutbetter

Il BIM per l'ingegneria strutturale

La qualità di sempre  
al prezzo più conveniente di sempre

**Tekla Structures 2021**, ancora più facile da utilizzare, si presenta in una nuova modalità: la formula in Subscription, a noleggio.

**Quali sono i vantaggi della modalità Subscription?**



Investimento iniziale inferiore rispetto al passato



Sempre aggiornato alla nuova versione

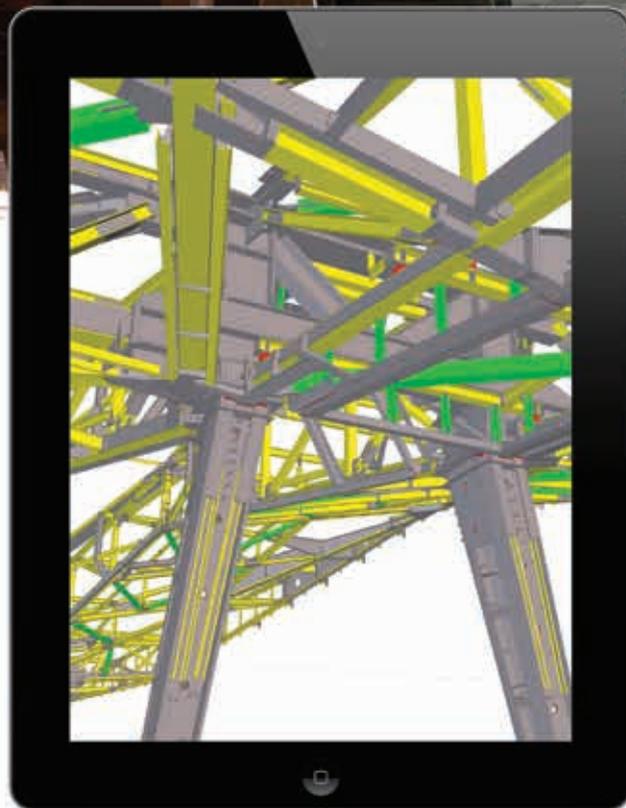


Supporto tecnico compreso nel canone di noleggio



Flessibile e adatto alle nuove esigenze del mercato

e molto altro...



Rivenditore esclusivo per l'Italia  
since 1990  
**HARPACEAS**  
More than BIM



Vieni a trovarci!  
PAD. 5 - Stand E03



# FORWARD

## INNOVATIVE SOLUTIONS

### GEMINI + KRONOS

**LA SINERGIA PERFETTA:**  
Gemini e Kronos sono studiate per lavorare come linee stand alone oppure combinate in un'unica soluzione che offre un ancor più alto livello di produttività e flessibilità.

#### STEEL CONSTRUCTION

##### GEMINI:

Linee gantry automatiche di foratura, taglio plasma e ossitaglio, maschiatura, tracciatura e scrittura a CNC per lamiere di grandi dimensioni.

- Fino a tre teste ossitaglio e due torce plasma
- Taglio dritto o inclinato
- Due teste di foratura con cambio utensili fino a 24 posizioni
- Fresatura fori in modo concentrico ed estremamente preciso - Asse ausiliario per fori fino a 400 mm



Play video

##### KRONOS:

Linee CNC gantry automatiche di taglio ad alta definizione con plasma e ossitaglio per lamiere.

- Gantry di taglio termico estremamente robusto
- Taglio dritto o inclinato
- Fino a quattro torce ossitaglio, una o due torce plasma ad alta definizione
- Generatori Hypertherm di diverso tipo per soddisfare qualsiasi esigenza di taglio

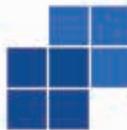


Play video

[www.ficepgroup.com](http://www.ficepgroup.com)

Contattaci subito e fatti trasportare verso il futuro!



 **Straus7**<sup>®</sup> L'eccellenza  
FEM  
accessibile.  
**www.hsh.info**

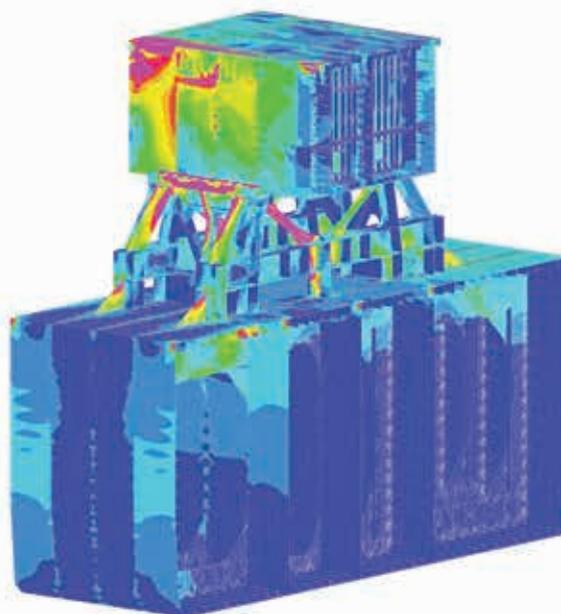
**Nativo Non-Lineare**

*Calcolo strutturale ad elementi finiti al vero secondo NTC 2018, EC2 e EC3*  
**Nessun limite pratico al calcolo strutturale**



## Jacket Lift System (JLS) Beam - 170 m

Cimolai ha costruito le due travi piu' lunghe del mondo, ognuna del peso di 6700t e di 170m di lunghezza, compresa la coda (tail) di 26m incernierata alla trave, e progettato il grillage e il seafastening per il loro trasporto via mare da Monfalcone fino a Rotterdam. Le due travi sono le travi principali del Jacket Lift System (JLS), un innovativo sistema di installazione o rimozione dei jacket delle piattaforme off-shore. Il JLS e' in grado di movimentare in un solo sollevamento elementi fino a 20000t di acciaio e verra' installato a poppa sulla nave da costruzione Pioneering Spirit di Allseas, lunga piu' di 380m e larga 124m. Cimolai ha utilizzato il codice di calcolo Straus7 per realizzare i modelli FEM del grillage abbinati a modelli parziali della trave JLS e della gigantesca barge Iron Lady ed eseguire le analisi lineari e non lineari, che hanno permesso di verificare lo stato tensionale e deformativo con differenti combinazioni di carico nelle fasi di load-out e navigazione considerando per quest'ultima, onde di calcolo pari a 7.0m. Modelli locali con mesh piu' raffinata sono stati utilizzati per le verifiche strutturali di resistenza e di sbandamento e per le verifiche a fatica delle saldature delle robuste interfacce con la barge e con la trave JLS stessa.



**Modello  
in  
Straus7<sup>®</sup>  
R3  
64-bit**

**Committente:** Allseas

**Progetto:** Allseas

**Carpenteria metallica:** Cimolai S.p.A.

**Progetto di trasporto via mare, grillage e seafastening:** Allseas

**Progetto di trasporto via terra e loadout:** Cimolai S.p.A.

Testo, foto e immagine del modello di calcolo Straus7 per gentile concessione di Cimolai S.p.A.

Distributore esclusivo  
per l'Italia del codice  
di calcolo **Straus7**



HSH srl - Tel. 049 663888  
Fax 049 8758747  
**www.hsh.info** - [straus7@hsh.info](mailto:straus7@hsh.info)

MasterSap is more

# PROGETTARE IN ACCIAIO. SEMPRE SULLA STRADA GIUSTA CON MASTERSAP.



**Un prodotto completo, flessibile e versatile che soddisfa le esigenze più avanzate della progettazione in acciaio.**

**Innovativo, intuitivo, completo.** L'utilizzo di MasterSap è immediato e naturale anche grazie all'efficienza degli strumenti grafici e alle numerose modalità di generazione del modello direttamente da disegno architettonico.

**Top performance.** Il solutore, potente ed affidabile, conclude l'elaborazione in tempi rapidissimi; i postprocessori per c.a., acciaio, legno, muratura, integrati fra loro, completano, in modo immediato, dimensionamento e disegno di elementi e componenti strutturali.

**L'affidabilità dell'esperienza.** MasterSap conta un numero straordinario di applicazioni progettuali che testimoniano l'affidabilità del prodotto e hanno contribuito a elevare i servizi di assistenza a livelli di assoluta eccellenza.

**Condizioni d'acquisto insuperabili, vantaggiose anche per neolaureati.**

AMV s.r.l.  
34077 Ronchi del Legionari (GO)  
Via San Lorenzo, 106  
Tel. 0481.779.903 r.a. - Fax 0481.777.125  
E mail: info@amv.it - www.amv.it



**AMV**  
SOFTWARE COMPANY

## COSTRUZIONI METALLICHE - FONDATA NEL 1949

## REDAZIONE

DIRETTORE RESPONSABILE: BRUNO FINZI

EDITOR IN CAPO: ELIDE NASTRI Università di Salerno, Italia

## COMITATO DI REDAZIONE:

NADIA BALDASSINO Università di Trento, Italia  
 ANDREA CAMPIOLI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 PAOLO CASTALDO "Politecnico" di Torino, Torino, Italia  
 MARIO DE MIRANDA IUAV Università di Venezia  
 MAURO EUGENIO GIULIANI Redesco Progetti srl, Milano, Italia  
 RAFFAELE LANDOLFO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 EMANUELE MAIORANA Isolcomit Srl, Legnaro (PD), Italia  
 ELENA MELE Università di Napoli "Federico II", Italia  
 GIOVANNI METELLI University of Brescia, Italia  
 PAOLO NAPOLI "Politecnico" di Torino, Torino, Italia  
 EMIDIO NIGRO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 VINCENZO PILUSO Università di Salerno, Italia  
 SHAHAB RAMHORMOZIAN University of Auckland, New Zealand  
 ATSUSHI SATO Nagoya Institute of Technology, Japan  
 SERGIO SCANAVINO Istituto Italiano di Saldatura, Italia  
 MARCO SIMONCELLI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 LUCIA TIRCA Concordia University of Montreal, Canada

COMITATO EDITORIALE ESECUTIVO: GIANCARLO CORACINA,  
 BENEDETTO CORDOVA, RICCARDO DE COL, ALBERTO VINTANI

## COMITATO SCIENTIFICO:

GIULIO BALLIO "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 CLAUDIO BERNUZZI "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 MARIO D'ANIELLO Università di Napoli "Federico II", Italia  
 LUIGINO DEZI Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia  
 ERIC DUBOSC Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris, France  
 DAN DUBINA Polytechnic University of Timisoara, Timisoara, Romania  
 MASSIMO MAJOWIECKI Università di Bologna  
 FEDERICO M. MAZZOLANI Università di Napoli "Federico II", Italia  
 ROSARIO MONTUORI Università di Salerno, Salerno, Italia  
 RENATO MORGANTI Università degli Studi dell'Aquila, Italia  
 VITTORIO NASCE "Politecnico" di Torino, Italia  
 D.A. NETHERCOT Imperial College London, London, UK  
 MAURIZIO PIAZZA Università di Trento, Trento, Italia  
 COLIN ROGERS McGill University, Montreal, Canada  
 LUIS SIMOES DA SILVA University of Coimbra, Portugal  
 ENZO SIVIERO Università Telematica E-campus, Italia  
 CARLO URBANO "Politecnico" di Milano, Milano, Italia  
 RICCARDO ZANDONINI Università di Trento, Trento, Italia

SEGRETERIA: VALERIA PASINA

EDITORE: GIANGIACOMO FRACCHIA EDITORE Srl  
 Via C. Goldoni 1, 20129 Milano, tel. 02 49524930  
 C.F./P.Iva: 07153040964 - CCIAA Milano REA n° 1939256

UFFICIO ABBONAMENTI: CTA Collegio Tecnico dell'Acciaio,  
 20129 Milano, Viale dei Mille, 19  
 tel. 02 784711; costruzionimetalliche@ctanet.it  
 http://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/

## CONCESSIONARIA PUBBLICITÀ:

Agicom srl, Viale Caduti in Guerra, 28,  
 00060 Castelnuovo di Porto (RM)  
 Tel. +39 069078285  
 www.agicom.it  
 Dott.ssa Manuela Zuliani, Cell: +39 3467588821  
 manuelazuliani@agicom.it

## IMPAGINAZIONE E GRAFICA:

Huttert Edgardo | SINAPSI |  
 www.sinapsiweb.info

## STAMPA:

GIERRE PRINT SERVICE Srl, Via Carlo Goldoni, 1  
 20129 MILANO Tel. 02 49524930  
 e-mail: commerciale@gierreprint.com

## ABBONAMENTI PER L'ANNO 2021 (6 NUMERI):

Italia: € 60,00 - Estero: € 150,00 - Studenti: € 20,00  
 Prezzo a copia: € 15,00

Garanzia di riservatezza per gli abbonati: l'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione. Le informazioni custodite nell'archivio elettronico dell'Editore verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati eventuali proposte commerciali (legge 675/96 tutela dati personali)

La rivista non assume alcuna responsabilità delle tesi sostenute dagli Autori e delle attribuzioni relative alla partecipazione nella progettazione ed esecuzione delle opere segnalate dagli stessi Autori

La rivista è inviata ai soci del Collegio dei Tecnici dell'acciaio (C.T.A.)

Iscrizione al Tribunale di Milano in data 8 febbraio 1949,  
 n. 1125 del registro.

Iscrizione ROC n. 020654 (Art.16 Legge 62 - 7/03/2001)

ISSN n. 0010-9673

Spedizione in A.P. - D.L. 353/2003 (conv. in L.27.02.14  
 N. 46) - Art. 1 comma 1 CNS PD

Questo numero della rivista è stato chiuso in  
 redazione e stampato nel mese di Ottobre 2021

È vietata e perseguibile per legge la riproduzione totale o parziale di testi, articoli, pubblicità ed immagini pubblicate su questa rivista sia in forma scritta, sia su supporti magnetici, digitali, ecc.

COSTRUZIONI  
METALLICHE

ANNO LXXIII LUG AGO 21

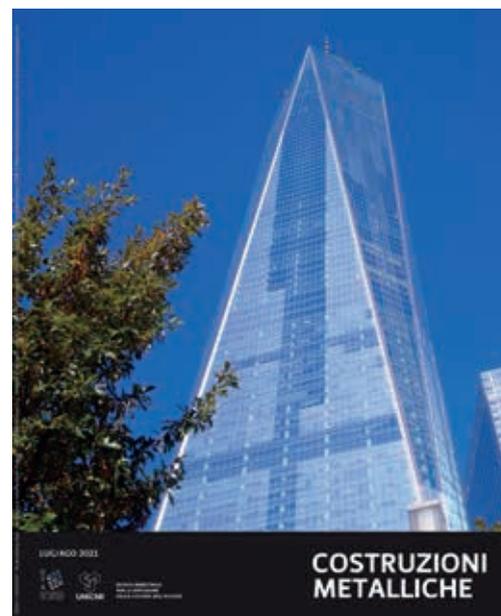


www.facebook.com/CMrivista

costruzionimetalliche@ctanet.it

In copertina:

*"One World Trade Center, Manhattan,  
 New York City" (Foto di Elena Mele)*



9	EDITORIALE ELENA MELE, RICCARDO ZANON	Webinar CTA Edifici Alti 2021: nuovi materiali, nuove soluzioni, nuove prospettive
12	INGEGNERIA FRANCESCO ESPOSITO, DIANA FAIELLA, ELENA MELE	PROGETTAZIONE STRUTTURALE DI EDIFICI ALTI - 20 ANNI DAL COLLASSO DEL WTC
28	RICERCA ALESSIA CAMPICHE, LUIGI FIORINO, RAFFAELE LANDOLFO	PARETI SISMO-RESISTENTI CONTROVENTATE CON BARRE PRETESE IN ACCIAIO ULTRA-ALTO RESISTENZIALE PER LE COSTRUZIONI LEGGERE IN ACCIAIO: IL PROGETTO "ECCEISA"
42	ARCHITETTURA CAROL MONTICELLI	ACCIAIO IN ROTAZIONE Bjarke Ingels Group BIG e Leo A Daly, WILS The Heights Building il nuovo edificio pubblico per la scuola secondaria, Arlington, Washington, Virginia, Stati Uniti, 2019.
55	CULTURA DELLE COSTRUZIONI METALLICHE ALESSANDRA TOSONE, RENATO MORGANTI, MATTEO ABITA, DANILO DI DONATO	L'industrialismo eterodiretto della CasMez e la fabbrica d'acciaio nel Meridione
74	PILLOLE DI CORROSIONE F. BOLZONI, A. BRENNIA	INTRODUZIONE ALLA CORROSIONE ATMOSFERICA DEI METALLI NON FERROSI
79	LA REDAZIONE	Sergio Scanavino è il nuovo Presidente dell'Istituto Italiano della Saldatura
80	PILLOLE DI BIM CARMINE ROBBE	Trimble XR-10 nel settore delle Costruzioni
83	LIBRI RICCARDO DE COL	Matteo Abita "ACCIAIO E CITTÀ - Roma 1945-1980" Edicom Edizioni
86	NOTIZIARIO CTA	Carlo Sigmund "Calcolo e fabbricazione delle Carpenterie Metalliche secondo norme AISC 360-16 e ASTM" Ed. Flaccovio
		XXVIII GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

# IL TEMPO CAMBIA TUTTO, TRANNE UN PONTE ZINCATO A CALDO.

Il mondo cambia in fretta con il passare del tempo, evolve tecnologicamente, si trasformano i modi di vivere e di muoversi, e inevitabilmente si deteriorano tutti quegli elementi, come l'acciaio, sensibili all'attacco degli agenti atmosferici e non solo. Il processo di zincatura a caldo permette di difendere i manufatti in acciaio dalla corrosione, mantenendo inalterate le proprietà delle strutture per un periodo che spesso supera il loro stesso ciclo di vita. Un ponte, i cui elementi sono protetti dalla zincatura a caldo, garantisce durabilità, sicurezza e solidità per il nostro futuro.



  
**GIAMBARINI GROUP**  
IL FUTURO PER TRADIZIONE  
[WWW.GIAMBARINIGROUP.IT](http://WWW.GIAMBARINIGROUP.IT)



**Prof. Elena Mele**  
Consigliere CTA  
Università Federico II di Napoli



**Ing. Riccardo Zanon**  
Consigliere CTA  
ArcelorMittal R&D

## Webinar CTA Edifici Alti 2021: nuovi materiali, nuove soluzioni, nuove prospettive

Nelle giornate del 10 e 17 Giugno 2021 si è svolto il webinar del CTA dedicato agli edifici alti. L'evento, organizzato con il patrocinio del Gruppo italiano dello IABSE, ha accolto un numero importante di partecipanti che hanno mostrato un grande interesse per gli interventi dei relatori e le sessioni di discussione collegiale.

Il webinar è stato infatti un'occasione importante per conoscere opere recenti appena realizzate o in corso di progettazione sul territorio nazionale.

La città di Milano è emersa come punto di riferimento a livello italiano con vari progetti recenti in corso di realizzazione ed altri in previsione.

A tali relazioni sono stati associati interventi di vari relatori nord-americani che hanno proposto esperienze e visioni diverse e complementari.

Il dialogo tra questi due mondi professionali ha creato delle riflessioni importanti sull'orientamento futuro di questa tipologia in ambito italiano.



Torre PWC, Milano.  
Copyright: Studio Libeskind

I lavori sono stati introdotti da Bruno FINZI (Vicepresidente CTA) e da Franco Mola (Presidente IABSE Italia).

Agostino GHIRARDELLI (SBGA) ha illustrato l'evoluzione del progetto architettonico della Torre Libeskind PWC, edificio che oggi costituisce un'icona inconfondibile di Milano.

Mauro Eugenio GIULIANI (Redesco) ha presentato gli aspetti strutturali dello stesso progetto, con un accento particolare posto sulla crown metallica dell'edificio.

Patricia VIEL (Citterio-Viel) ha introdotto uno dei progetti che caratterizzano la nuova skyline di Milano Sud: la torre Faro A2A. La sua forma ed i criteri progettuali e di sostenibilità creano dei nuovi riferimenti nel panorama italiano.

Alberto FERRARI (FACES Engineering), progettista responsabile della struttura e delle facciate, ha esposto le soluzioni tecniche identificate per corrispondere alle problematiche poste.

Francesco OSSOLA (Studio Ossola) e Stefano SECCHI (RS) con una relazione congiunta hanno evidenziato le specificità progettuali ed esecutive della Torre UNIPOL, attualmente in corso di realizzazione a Milano. La struttura di questo edificio con schema diagrid portante costituisce una novità strutturale in ambito nazionale.

Alberto VINTANI (BCV Progetti) ha proposto un excursus sull'utilizzo delle colonne metalliche in varie tipologie di edifici civili e in applicazioni particolari. L'interesse principale di questa scelta è di ridurre gli ingombri e di permettere la tecnologia *top-down* per le opere ipogee. Questa modalità costruttiva si sposa bene anche con le solette piene in calcestruzzo armato.

Elena MELE (Università Federico II di Napoli) ha riassunto il percorso di ricerca svolto presso il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Ateneo Federiciano sul tema degli Edifici Alti, ricordando le collaborazioni internazionali sviluppate e l'impegno nella formazione dei giovani professionisti *in fieri*.

Dario TRABUCCO (Università di Venezia) ha sviluppato il tema della sostenibilità negli edifici alti, ponendo interrogativi progettuali che vanno al di là dei principi strutturali.

Marina D'ANTIMO (ArcelorMittal Steligen) ha descritto l'impegno ambientale della filiera dell'acciaio che con innovazioni tecniche tende ad obiettivi ambiziosi in termini di decarbonizzazione. Si sono ripercorse anche le tipologie classiche utilizzate per gli orizzontamenti a struttura mista acciaio-clc.



Torre UNIPOL, Milano.  
Copyright: Studio Mcaarchitects



Torre GIAX Milano, Copyright: Beltrame Gelmetti Associates Architects



Torre Faro A2A, Milano.  
Copyright: Citterio Viel

In complemento ai relatori italiani, il CTA ha avuto l'onore di accogliere interventi di progettisti statunitensi di fama internazionale che hanno arricchito i temi di discussione.

Ron KLEMENCIC (MKA) è riuscito a stupire l'audience presentando un'applicazione rivoluzionaria: l'utilizzo di un nucleo irrigidente a base di acciaio in sostituzione del tradizionale calcestruzzo armato. Questa tecnica, conosciuta con il nome di SPEEDCORE, è stata studiata nell'ultimo decennio da varie università americane e finalmente comprovata sulla nuova torre Rainier Square a Seattle, dimostrando rapidità di esecuzione e proprietà prestazionali di eccezione.

Rob CHMIELOWSKI (MKA) ha presentato un edificio dal layout unico che ha permesso di creare un nuovo landmark nella già impressionante skyline di Chicago: 150N Riverside, sospeso tra cielo e acqua, dimostrazione delle possibilità realizzative estreme offerte dalle ossature metalliche.

Mark SARKISIAN (SOM) ha ripercorso le linee guida della sua straordinaria carriera di progettista e di innovatore nella concezione strutturale. Dall'analisi delle sue realizzazioni è emersa l'importanza di una progettazione in dialogo continuo con la natura e la sostenibilità.

Barry CHARNISCH (Entuitive) ha proposto il caso peculiare di Adelaide Bay a Toronto. Su questa stessa piazza ha avuto in effetti la possibilità di agire come progettista di tre edifici alti in tre decenni diversi, testimoniando quindi l'evoluzione della tecnica costruttiva in questa tipologia.

Shelley FINNIGAN (ArcelorMittal Chicago) ha descritto le specificità tecniche del materiale acciaio, con un accento particolare sui gradi alto-resistenziali e sulle potenzialità che offrono in termini di riduzione di costo e sull'impatto ambientale.

---

*Il CTA rinnova un ringraziamento di cuore a tutti gli oratori che con la loro professionalità e passione hanno contribuito al successo di questo evento, momento importante di studio delle tecniche dell'acciaio. Il riscontro positivo ricevuto dai partecipanti ha motivato il CTA a pianificare nel 2022 un corso dedicato alla progettazione degli edifici alti, che sarà a breve presentato sul sito del CTA e proposto agli Amici e Soci del CTA tramite i consueti canali di informazione.*

*Il tema degli Edifici Alti sarà anche trattato con interventi dedicati ed una sessione specifica al Congresso Nazionale CTA previsto nel Settembre 2022, occasione alla quale gli Autori sperano di rivedere dal vivo i Soci ed i partecipanti per una nuova occasione di studio, approfondimento e di collaborazione sul tema delle costruzioni metalliche.*



150 North Riverside, Chicago (US).  
Copyright AISC.



Rainier Square Tower, Seattle (US).  
Copyright AISC..

# PROGETTAZIONE STRUTTURALE DI EDIFICI ALTI - 20 ANNI DAL COLLASSO DEL WTC

## STRUCTURAL DESIGN OF TALL BUILDINGS - 20 YEARS AFTER WTC COLLAPSE

Francesco Esposito, Diana Faiella e Elena Mele\*

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.

Il collasso delle torri gemelle del World Trade Center, verificatosi l'11 settembre del 2001, costituisce un evento che ha segnato la storia dell'umanità, delineando una separazione tra ciò che era prima e ciò che è stato successivamente. Nel mondo delle costruzioni, in particolare, l'edificio alto è stato posto al centro di un ampio dibattito, che ha indagato e discusso la sua stessa esistenza e funzione, con tutti gli aspetti di tipo sociale ed economico connessi, ed i criteri per la sua progettazione dal punto di vista urbanistico, architettonico e strutturale. Mentre tale dibattito ha sostanzialmente confermato l'importanza dell'edificio alto quale elemento fondamentale dell'habitat urbano, smentendo coloro i quali catastroficamente presagivano "la fine dei grattacieli", la progettazione strutturale e le stesse tipologie strutturali sono oggi profondamente cambiate.

In questo articolo si analizzano due esempi paradigmatici di edifici realizzati dopo il 2001, il One World Trade Center e lo Shanghai World Financial Center. L'esame dei due casi studi, pur sviluppato ricorrendo ad alcune ipotesi semplificative ed assunzioni necessarie alla carenza di alcuni dati e informazioni, rivela chiaramente il ruolo prioritario che gli aspetti di ridondanza e robustezza strutturale hanno assunto nelle scelte progettuali, conducendo gradualmente alla scomparsa delle classiche tipologie strutturali per edifici alti proposte nel secolo scorso, ciascuna come traduzione di un singolo concetto meccanico, a favore di tipologie nuove, miste o ibride, molto più complesse.

*The collapse of the twin towers of World Trade Center, occurred on September 11, 2001, constitutes an event that marked the history of humanity, outlining a separation between what had been before and what has been after. In the world of construction, in particular, the tall building was placed at the center of a wide debate, which investigated and discussed its very existence and function, with all the related social and economic aspects, as well as the planning and design criteria from urban, architectural and structural point of view. While this debate has substantially confirmed the importance of the tall building as a fundamental element of the urban habitat, disproving those who catastrophically foreshadowed "the end of skyscrapers", the structural design and the structural types themselves have now profoundly changed.*

*This work analyzes two paradigmatic examples of buildings realized after 2001, the One World Trade Center and the Shanghai World Financial Center. The examination of the two case studies, although developed using some simplifying hypotheses and assumptions necessary for the lack of some data and information, clearly reveals the priority role that the aspects of redundancy and structural robustness have assumed in the design choices, gradually leading to the disappearance of classic structural typologies for tall buildings proposed in the last century, each as the engineering translation of a single mechanical concept, in favor of new, mixed or hybrid typologies, much more complex.*

\*Corresponding author. Email: [elenmele@unina.it](mailto:elenmele@unina.it)

## 1. INTRODUZIONE

Gli eventi dell'11 settembre 2001 ed il collasso delle torri gemelle del World Trade Center (WTC) hanno avuto un enorme impatto sulla comunità scientifica e professionale dell'ingegneria civile. Le questioni poste in maniera urgente da tali eventi hanno coinvolto moltissime problematiche e competenze di natura profondamente diversa: dagli aspetti squisitamente strutturali (le tipologie strutturali ed il loro grado di ridondanza e la possibilità di attivare percorsi dei carichi e meccanismi resistenti alternativi), di ingegneria dei materiali e resistenza al fuoco; alle problematiche di resistenza agli impatti e/o esplosioni; agli aspetti di filosofia progettuale e sicurezza strutturale (progettazione orientata alla prevenzione di collassi progressivi); fino a quelli di matrice puramente architettonica ed urbanistica.

Tutta l'attività di studio ed indagine sviluppata a seguito del collasso delle torri *"taken in the aggregate, represents a milestone in the forensic engineering of a disaster. I have never seen this level of technical knowledge and experience brought to bear on a single problem"* (J. Isenberg, Wedlinger Associates, consulente di Larry Silverstein, locatario delle torri WTC). Nell'ottobre 2001 è partito uno studio sviluppato congiuntamente da ASCE (American Society of Civil Engineers) e FEMA (Federal Emergency Management Agency), che nel maggio 2002 ha prodotto il documento *"World Trade Center Building Performance Study"* [1]. Successivamente, nell'agosto 2002 il NIST (National Institute of Standards and Technology) ha intrapreso una attività di indagine (*Federal Building and Fire Investigation into the World Trade Center Disaster*) i cui risultati sono riportata in rapporti e volumi, pubblicati in versione finale nel settembre 2005 [2], in cui si chiariscono gli effetti di danneggiamento conseguente all'impatto, gli effetti del fuoco e le modalità di iniziazione e propagazione del meccanismo di collasso. A queste attività, si sono affiancate ricerche finanziate dalla NSF (National Science Foundation) e da privati, anche nell'ambito della lite legale tra il gruppo assicurativo e la società che gestiva il WTC. Infine, forum, convegni e workshop sono stati organizzati da molte università e centri di ricerca, e numerose pubblicazioni su

riviste scientifiche hanno supportato diverse ipotesi sulle modalità di collasso.

### Le torri del WTC: il progetto e il collasso

Le torri del WTC rappresentano una delle prime applicazioni - e sicuramente la più estrema - di tubo intelaiato, tipologia che realizza la naturale trasposizione ingegneristica dell'idea che l'edificio alto si comporti come una mensola ad asse verticale, inflessa sotto le azioni orizzontali del vento, e che come tale vada progettato. Come spesso avviene nella storia delle idee e delle innovazioni tecnologiche, Fazlur Khan e Leslie Robertson propongono quasi contemporaneamente questa soluzione per i primi grattacieli veramente moderni dal punto di vista strutturale: una cortina di colonne disposte sul perimetro dell'edificio con interasse molto ravvicinato (da 3 a 1 m), collegate da travi molto alte e corte, che nel loro insieme danno luogo ad un sistema caratterizzato da elevata resistenza e rigidità flessionale. Ma mentre Khan sperimenta tale soluzione in cemento armato per il Dewitt Chestnut Apartment Building (Chicago) di 43 piani, Robertson spinge l'applicazione fino ai 110 piani delle torri gemelle del WTC, e lo fa con l'acciaio, anzi con dodici tipi diversi di acciaio (figura 1). Il tubo intelaiato delle torri, di altezza 417 m e pianta quadrata di lato 63,1 m, è costituito da 240 colonne perimetrali, 59 per lato più 4 in corrispondenza degli angoli smussati a 45°, poste a 1.016 mm di interasse, e collegate tra loro da piattabande di altezza 1.312 mm e luce netta tra le colonne di 700 mm. Le colonne, a sezione scatolare di dimensioni esterne 356 x 356 mm, costanti lungo l'altezza, sono in realtà finemente modulate, variando spessori e tipo di acciaio (figura 2), per assecondare diversi requisiti prestazionali. L'area della sezione, in composizione saldata, varia tramite lo spessore dei piatti (6,35 - 101,6 mm) in funzione del carico gravitazionale trasmesso dalla struttura di impalcato, con l'obiettivo di ottenere uguali valori di tensione di compressione e quindi di deformazioni verticali, evitando accorciamenti differenziali. I diversi tipi di acciaio, con resistenza tra 290 e 690 MPa, sono invece attribuiti alle diverse colonne in funzione dell'effetto delle azioni orizzontali da vento [3, 4].

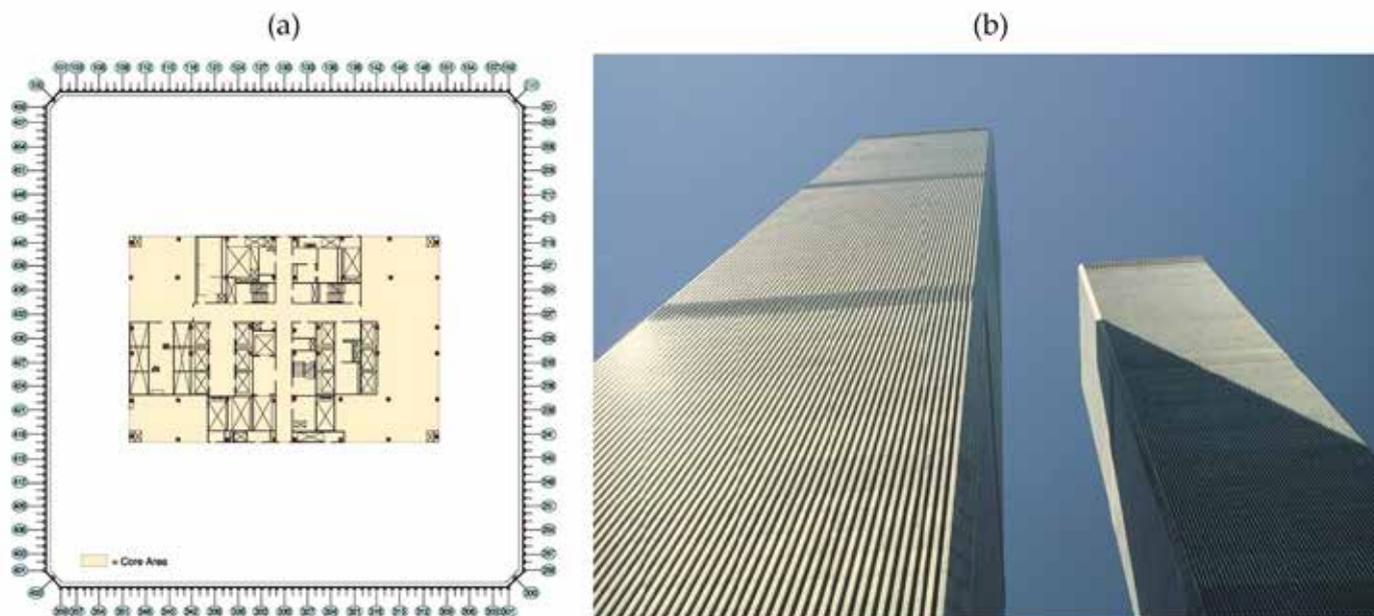


Fig.1 | Torri gemelle del WTC: (a) pianta, (b) facciata.

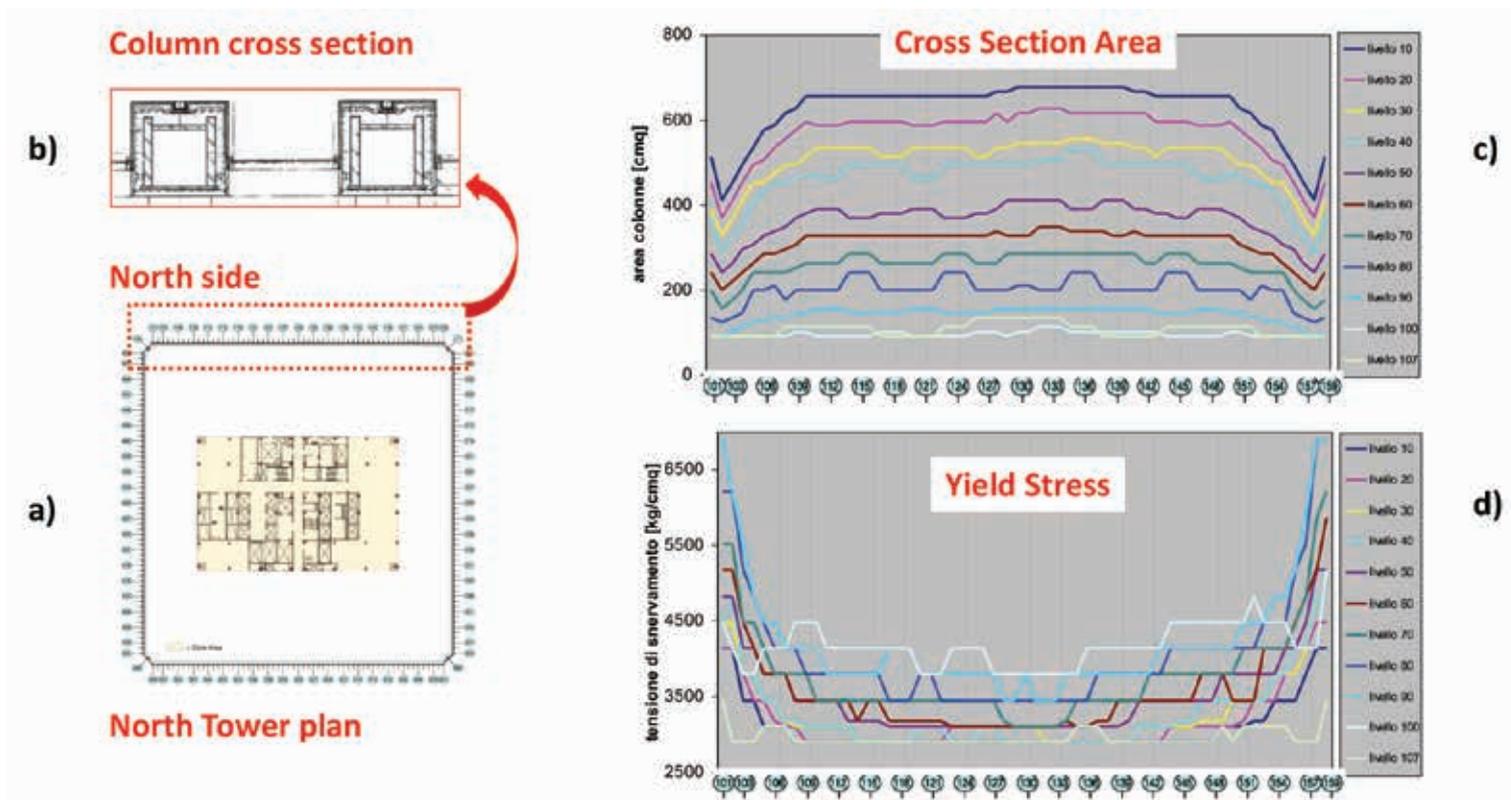


Fig.2 | Torre Nord del WTC: (a) pianta, (b) sezione delle colonne perimetrali, (c) variazione di area della sezione e (d) tipo di acciaio lungo il lato nord.

Il risultato netto di questa progettazione, raffinatissima nell'uso dell'acciaio, è una struttura caratterizzata da compressione uniforme per carichi verticali in tutte le colonne ad ogni piano, e da un tasso di lavoro (rapporto sollecitazione su resistenza) altresì uniforme per carichi orizzontali. Pertanto, le differenze di sollecitazione dovute allo scarico dei solai e soprattutto al vento, agente sulle varie facciate dell'edificio e proveniente da diverse direzioni in diverse condizioni orografiche e di rugosità, vengono soppresse grazie a un lavoro quasi artigianale di ingegneria, e sublimato nella rigida uniformità visiva della struttura e dell'architettura. Come osservato da Guy Nordenson, "l'invisibile creatività del progetto strutturale di Robertson è, specialmente dopo la distruzione delle torri, intensa e memorabile come una grande opera di arte concettuale".

La grande efficienza flessionale della soluzione perimetrale consente di ottenere un peso unitario delle strutture in acciaio molto basso ( $177 \text{ kg/m}^2$ ) e di poter fare a meno del contributo di resistenza del nucleo, che lavora essenzialmente per carichi verticali.

La soluzione a tubo intelaiato e la presenza di una struttura reticolare spaziale (*outrigger*) che collega la struttura perimetrale a quella del nucleo centrale assicura un'intrinseca ridondanza; inoltre i requisiti di rigidità orizzontale e verticale, l'uso sapiente dell'acciaio, nonché la scelta progettuale di assumere condizioni di carico che andassero ben oltre le minime prescrizioni normative determina una significativa sovraridondanza. La ratio alla base di tale approccio progettuale era che "... *this reserve strength can be drawn upon should the structure suffer severe damage for any reason*" [5]. Pertanto, l'idea che strutture importanti, come le torri del WTC e in generale i grattacieli, potessero andare soggette a condizioni di carico estreme e che la "robustezza" fosse un crite-

rio progettuale primario, non è una novità emersa dopo l'undici settembre. Come dichiarato dallo stesso Robertson in un'intervista del 2002, nel progetto delle torri fu considerato il carico derivante dall'impatto di un aereo di linea, "a slow-flying 707 lost in the fog and seeking to land at JFK or at Newark".

In occasione dell'attacco aereo, la ridondanza e sovraridondanza della struttura delle torri ha consentito la redistribuzione del carico gravitazionale a seguito del danneggiamento dovuto all'impatto. Il fuoco ha innalzato rapidamente la temperatura delle membrature metalliche, dopo che la protezione (schiuma ignifuga o rivestimenti in cartongesso) era stata danneggiata o divelta dai detriti e/o a causa delle forti vibrazioni generate dall'impatto; il conseguente indebolimento, dovuto alla riduzione di rigidità e resistenza dell'acciaio, ha condotto all'instabilità delle colonne, favorita anche dall'aumento della lunghezza libera di inflessione dovuto al collasso di alcuni impalcati nella zona dell'impatto. Con una combinazione di danneggiamento iniziale ed indebolimento dovuto al fuoco diversa nelle due torri, l'esito finale, del collasso, è stato inevitabile.

#### La risposta dell'ingegneria al 9/11

La risposta della comunità dell'ingegneria strutturale in questi venti anni dal 9/11 è stata ampia e globale, e ha condotto a progressi significativi sia nella ricerca che nella pratica professionale, finalizzati a: studiare gli effetti delle condizioni di carico estremo sulle strutture, comprendere e misurare la vulnerabilità dei sistemi strutturali alla propagazione di danno all'interno di un sistema a seguito di un danno locale, indipendentemente dalla causa, e sviluppare criteri pratici per la progettazione orientata alla prevenzione del collasso sproporzionato. Ciò che è emerso con maggio-

re forza dalla riflessione collettiva è la rinnovata consapevolezza dell'importanza esplicita del requisito di robustezza strutturale, soprattutto degli edifici alti.

In questo lavoro per motivi di spazio si tralascia la discussione dei contributi di ricerca sul tema, così come l'esame dei cambiamenti in normative e linee guida, concentrando l'attenzione sul mondo delle costruzioni, in particolare analizzando due casi studio, esempi paradigmatici di edifici realizzati dopo il 2001.

Il primo caso studio, il One World Trade Center, è l'erede naturale delle torri del WTC e simbolo della rinascita di New York e degli USA dalle ceneri di Ground Zero; dal punto di vista progettuale, è il frutto di quanto si è appreso in seguito al crollo delle torri, non solo termini strutturali, ma anche in ambito architettonico, impiantistico, logistico, di gestione delle emergenze, di protezione al fuoco.

Il secondo caso studio è lo Shanghai World Financial Center, scelto in quanto concepito e realizzato a cavallo degli eventi del 9/11. Il sistema strutturale, inoltre, è stato progettato dallo studio LERA di Leslie Robertson, lo stesso progettista delle torri gemelle del WTC, che, oltre a proporre un'altra bellissima struttura, ha posto particolare attenzione alla robustezza dell'edificio nei confronti delle azioni eccezionali.

## 2. GLI EDIFICI CASI STUDIO

Come accennato precedentemente, gli edifici oggetto di studio, One World Trade Center (figura 3a) e Shanghai World Financial Center (figura 3b), rappresentano una chiara testimonianza di come gli eventi del 9/11 abbiano influenzato la progettazione strutturale degli edifici alti, configurando una nuova pratica progettuale che potremmo definire post 9/11.

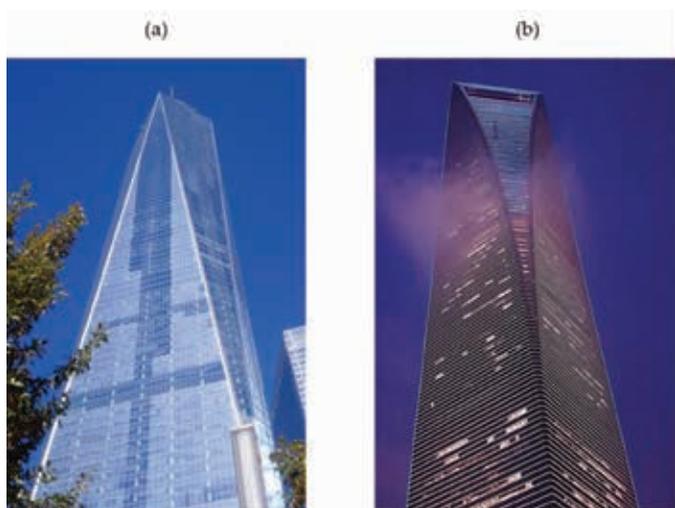


Fig.3 | (a) One World Trade Center; (b) Shanghai World Financial Center.

Il primo edificio, inizialmente noto come Freedom Tower, è l'emblema di un'opera di ricostruzione che ha interessato l'intera piazza del World Trade Center. Dato il suo forte significato simbolico, il progetto non poteva essere canonico né seguire le normative in vigore negli anni immediatamente successivi al 2001, piuttosto doveva anticiparne l'evoluzione, stabilendo così un nuovo standard per i futuri edifici alti [6]. Il One World Trade Center (OWTC) pre-

senta una pianta quadrata di 62 x 62 m alla base (figura 4a), che si ripete in altezza per circa 57 m, generando un volume pressoché cubico; a partire da questo livello, i quattro angoli della pianta iniziano a diventare sempre più smussati lungo l'altezza. La pianta si riduce a causa delle smussature che aumentano lungo l'altezza, e diventa prima ottagonale, per poi ricondursi in sommità ad una forma ancora quadrata, di lato 43,8 m e ruotata di 45° rispetto alla base. Le quattro facciate, nel seguire le variazioni della pianta, si sdoppiano in otto triangoli isosceli allungati che puntano in direzioni opposte (figure 3a e 5a). L'altezza dell'edificio, valutata con riferimento all'ultimo piano occupato, è di 386,5 m, mentre il punto più alto della facciata si trova a 417 m, l'altezza delle Twin Towers. Infine, l'altezza architettonica, considerando anche l'antenna, è di 541,32 m. Il numero totale di piani è 99, di cui 94 fuori terra (figura 5a).

Il secondo edificio, lo Shanghai World Financial Center (SWFC) ha un'altezza architettonica di 492 m, mentre il piano occupato più alto è a 474 m (figura 5b). L'edificio ha 104 piani, di cui 101 fuori terra. La pianta alla base è quadrata, 58 m di lato, con 4 mega-colonne poste agli angoli (MC-A e MC-B, Fig.4b). Sia la forma che le dimensioni della pianta variano lungo l'altezza conservando una simmetria diagonale. Alla quota di 66 m dal piano campagna le mega-colonne di tipo B si sdoppiano in due, per poi ricongiungersi in sommità alla mega-colonna di tipo A, configurando così quattro archi sulla facciata (figure 3b e 5b). L'edificio è diventato un'icona dello skyline di Shanghai grazie alla caratteristica apertura trapezoidale in sommità.

## 3. MODELLI STRUTTURALI E AZIONI DI PROGETTO

Alcuni dati impiegati per la definizione dei modelli strutturali sono derivati dalla letteratura (per OWTC [6, 7, 8, 9, 10], per SWFC [10, 11, 12, 13, 14]). Per dati geometrici, proprietà strutturali e azioni di progetto che non sono stati reperiti in bibliografia, vengono formulate alcune ipotesi ragionevoli e/o sviluppati calcoli di dimensionamento semplificati, anche in base ad osservazioni, misurazioni e scalatura di disegni ed immagini dei due edifici. Questo approccio ha permesso una modellazione completa, seppure semplificata ed approssimata della struttura degli edifici. In base al confronto tra i risultati ottenuti dalle analisi ed alcuni risultati in letteratura relativi alla risposta strutturale (spostamenti, sollecitazioni, periodi principali, etc.), si può affermare che i modelli implementati siano sufficientemente accurati per gli scopi di questo lavoro.

Il sistema strutturale di entrambi gli edifici può essere scomposto in una serie di sottosistemi (figura 6), il che consente di esaminare il contributo di ciascun singolo sottosistema alla risposta strutturale globale, in differenti condizioni di lavoro, ovvero sia sotto i carichi di progetto che in scenari di danneggiamento locale.

Il sottosistema principale del OWTC è il nucleo centrale in cemento armato, caratterizzato da proprietà geometriche e meccaniche variabili lungo l'altezza. In particolare, dalle piante architettoniche si desume che la disposizione e lo spessore delle pareti in c.a. cambiano in corrispondenza di 8 livelli (figura 7a), partendo dalla base con dimensioni in pianta di 35,8 x 33,5 m e spessore massimo di 1,25 m, fino a dimensioni 13,81 x 33,5 m spessore 0,40 m in sommità. La resistenza del calcestruzzo va da 96,53 MPa (14000 psi) alla base a 55,16 MPa (8000 psi) in sommità [8, 9]. Il sottosistema

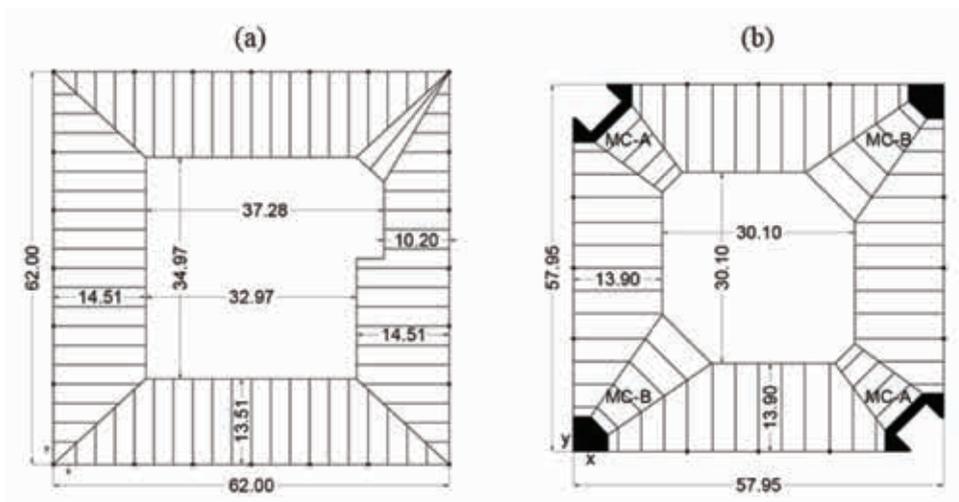


Fig.4 | Pianta dei piani inferiori: (a) OWTC (b) SWFC.

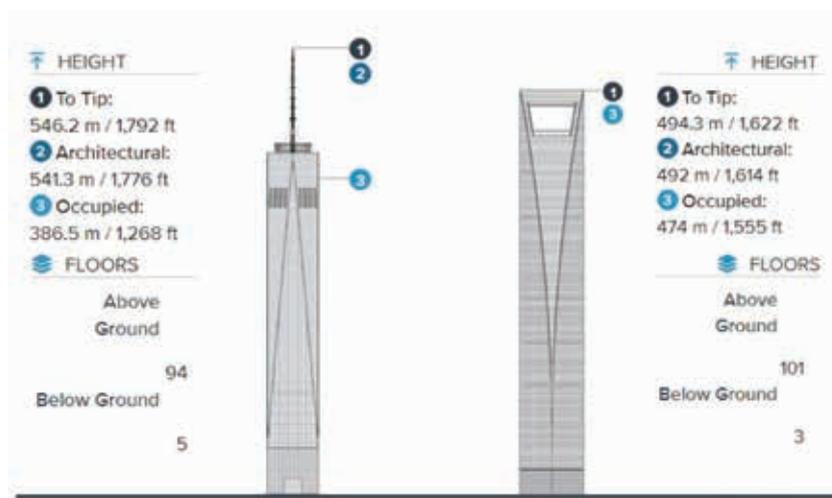


Fig.5 | Altezza e dati: (a) OWTC; (b) SWFC (www.skyscrapercenter.com).

perimetrale è un telaio in acciaio (acciaio di grado 65,  $f_{yk} = 450$  MPa [10]), con travi ipotizzate di sezione Jumbo W36x16,5x231 costanti lungo l'altezza e caratterizzate da riduzione della flangia a dog-bone (RBS) in corrispondenza dei collegamenti con le colonne. Le colonne del telaio perimetrale sono inglobate in pareti di c.a. (ipotizzate di spessore 75 cm) dalla base fino al nono piano; una trave reticolare di trasferimento sormonta tali pareti perimetrali, estendendosi dal nono al diciannovesimo livello, con membrature assunte di sezione W14x16x426. Sistema perimetrale e nucleo centrale sono connessi tra loro a tutti i piani da un solaio composto acciaio-calcestruzzo. Alla sommità dell'edificio un sistema *outrigger* [6, 7] attiva una più diretta interazione tra nucleo e telaio perimetrale; dalle pubblicazioni ed immagini si deducono quattro coppie di travi reticolari alte tre piani, con membrature delle travature qui ipotizzate di sezione quadrata cava 600 x 60 mm.

La soluzione adottata per il sistema strutturale dello SWFC è scaturita da una serie di eventi e di successive modifiche intervenuti durante il periodo di progettazione e costruzione. L'edificio era stato originariamente progettato nel 1993 con pianta quadrata di lato 55,8 m e altezza di 460 m ed utilizzava come sistema strutturale un nucleo centrale in c.a. più telaio perimetrale. Nel 1995 il processo di costruzione fu interrotto dopo la realizzazione delle strutture

di fondazione e nel 1999 il cliente richiese che l'altezza e le dimensioni in pianta dell'edificio fossero portate rispettivamente a 492 m e 58 m [12]. Tali variazioni comportavano un aumento del 15% circa di superficie totale (e quindi di carichi gravitazionali) e del 25% di momento ribaltante alla base dell'edificio [12]. Il progetto strutturale fu quindi revisionato e modificato: nella soluzione finale è stata conservata l'idea originale di un nucleo in calcestruzzo, sebbene con spessore delle pareti fortemente ridotto, in maniera da ridurre il peso; ad esso è stata accoppiata una struttura perimetrale molto più rigida e resistente del telaio originale, sia per compensare la diminuzione di rigidità del nucleo che per ridistribuire le sollecitazioni dovute al momento ribaltante globale in maniera più diffusa sulle fondazioni esistenti.

Nel modello sviluppato in questo lavoro, per il nucleo si è ipotizzato calcestruzzo di resistenza 50 MPa; lungo l'altezza si possono individuare tre variazioni nella disposizione delle pareti (figura 7b) e nello spessore, che varia tra 0,3 e 1,0 m. Il nucleo in c.a. si ferma al 91° piano, e ai piani superiori, dove è localizzata l'iconica apertura trapezoidale (figura 6b), è sostituito da una struttura in acciaio. All'interno dello spessore delle pareti sono inglobate colonne e travi reticolari d'acciaio per garantire la continuità nel trasferimento delle sollecitazioni nel nucleo in corrispondenza delle variazioni di geometria, e tra nucleo e *outrigger* truss, ai piani dove sono presenti queste ultime. La struttura perimetrale è un mega-telaio controventato, costituito da mega-colonne, *belt truss* e mega-diagonali. Questa configurazione consente di suddividere l'edificio in sette moduli di 12 piani, in ciascuno dei quali le colonne perimetrali (ipotizzate W14x16x550 acciaio HISTAR® 355 [10]) raccolgono i carichi gravitazionali di piano in ragione della loro area di influenza e li trasferiscono alle *belt truss* alla base del modulo, e quindi alle mega-colonne. Le mega-colonne sono in calcestruzzo con profilati in acciaio inglobati nel getto e fasci di armature di diametro fino a 50 mm [12]; le sezioni delle mega-colonne MC-A sono di forma assimilabile ad una C, di dimensioni esterne 13 x 5 m alla base, che dal 57° piano si riducono a 8,3 x 4,2 m. Le MC-B, di forma poligo-

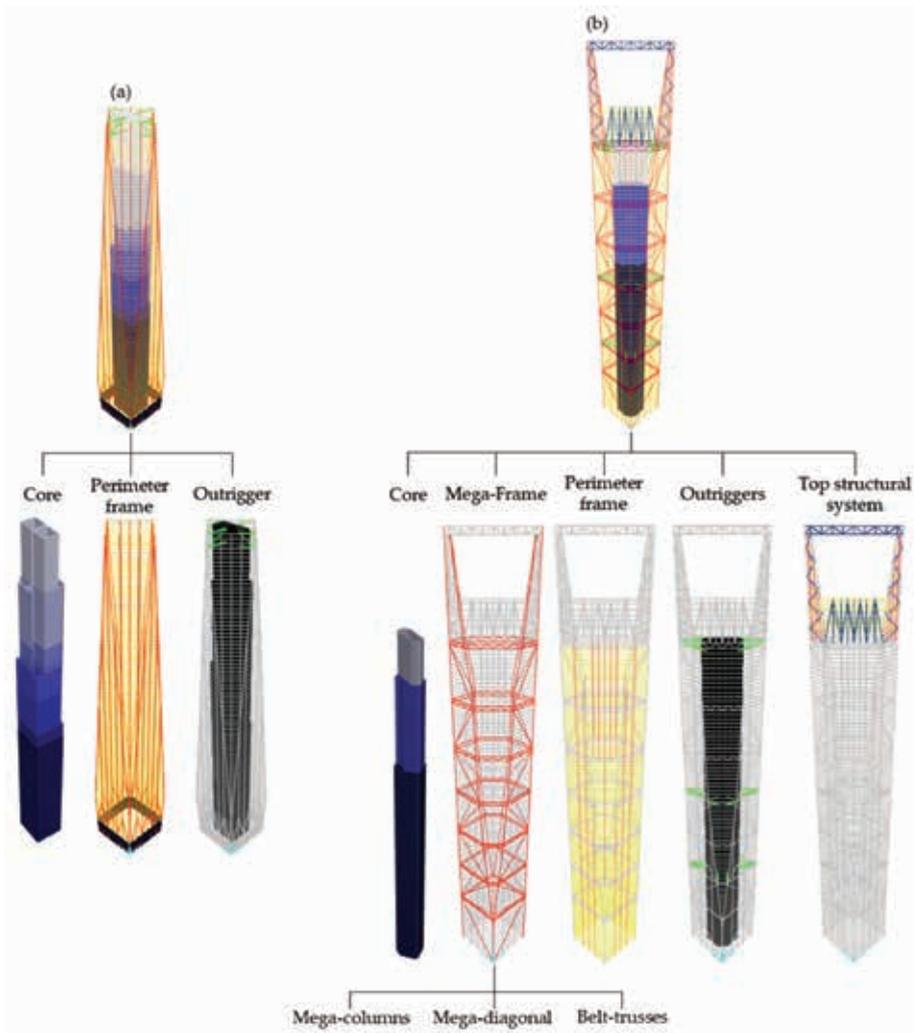


Fig.6 | Scomposizione del sistema strutturale in sottosistemi: (a) OWTC, (b) SWFC.

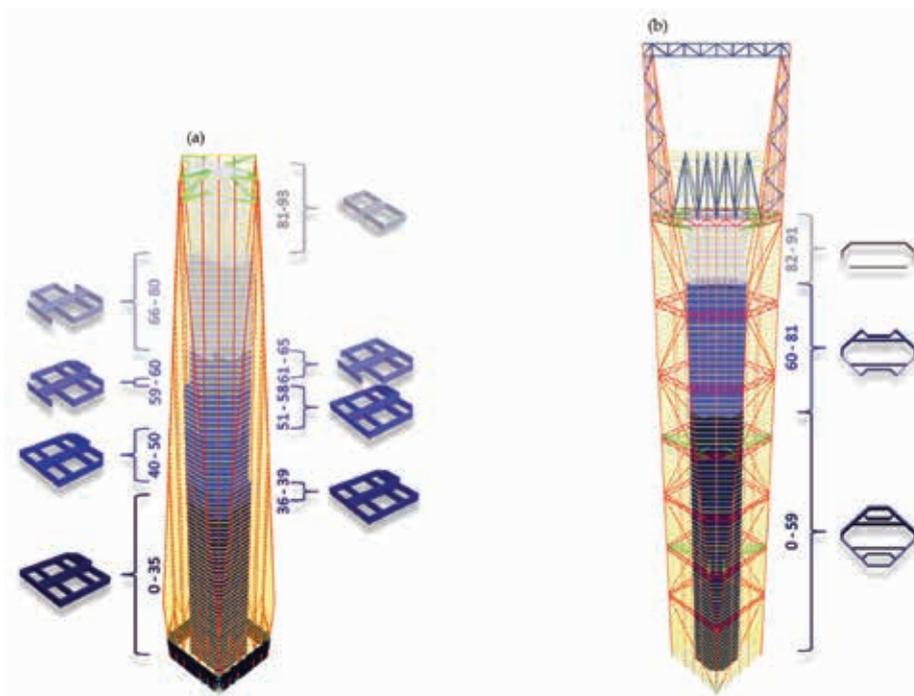


Fig.7 | Sezioni trasversali del core: (a) OWTC, (b) SWFC.

nale inscritto in un quadrato di lato 5,4 m alla base [12]), si sdoppiano al 15° livello, cambiando sezione e raggiungendo dimensioni 2 x 2 m fino all'81° piano, per poi ridursi ulteriormente (1,5 m) e ricongiungersi con MC-A in sommità. Il sistema perimetrale e il nucleo centrale sono collegati dalla struttura di impalcato acciaio-calcestruzzo ed interagiscono in modo più diretto tramite tre sistemi di *outrigger* alte tre piani (livelli 28-30, 52-54, 89-91), con membrature di sezione rettangolare riempita di calcestruzzo, di dimensioni 0,80 x 0,4 m e spessori d'anima e ala rispettivamente pari a 40 e 20 mm [11].

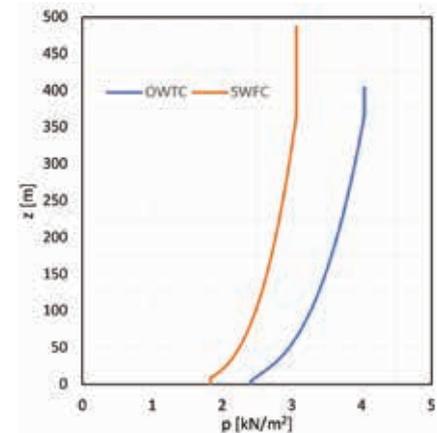


Fig.8 | Profili di pressione del vento. OWTC e SWFC.

Le norme adottate in questo lavoro per definire i carichi di progetto, per entrambi i casi studio, sono: IBC 2003 [15], ASCE 7-05 [16], ACI 318-14 [17], AISC 360-05 [18], ASCE 41-13 [19] e FEMA 350-2000 [20]. Inoltre, il documento UFC 4-023-03 [21] è usato come riferimento per le analisi orientate a valutare la robustezza strutturale. Per valutare i carichi permanenti, per entrambi gli edifici si è dimensionata una struttura di impalcato costituita da lamiera in acciaio (Arcelor Mittal Cofraplus 77) e soletta in calcestruzzo (93 mm). Da tale dimensionamento, risultano carichi permanenti pari a 5,10 kN/m<sup>2</sup>. I carichi variabili utilizzati per le analisi sono pari a 4,79 kN/m<sup>2</sup> per l'OWTC e 5,00 kN/m<sup>2</sup> per lo SWFC; per quest'ultimo, secondo quanto riportato in [14], si è considerato un carico maggiorato, pari a 8,00 kN/m<sup>2</sup>, per la fascia di solaio di larghezza 3,6 m adiacente al nucleo. Come indicato in [6], i carichi da vento per il progetto del OWTC sono derivati dall' IBC 2003 e dalla sezione 6 dell'ASCE 7, considerando velocità del vento alla base di 49 m/s. Per lo SWFC, in questo lavoro si adottano gli stessi riferimenti normativi, con velocità del vento pari a 43,53 m/s, derivata da [22, 23]. I profili di pressione da vento sono rappresentati in figura 8. Le analisi sui modelli strutturali dei due edifici,

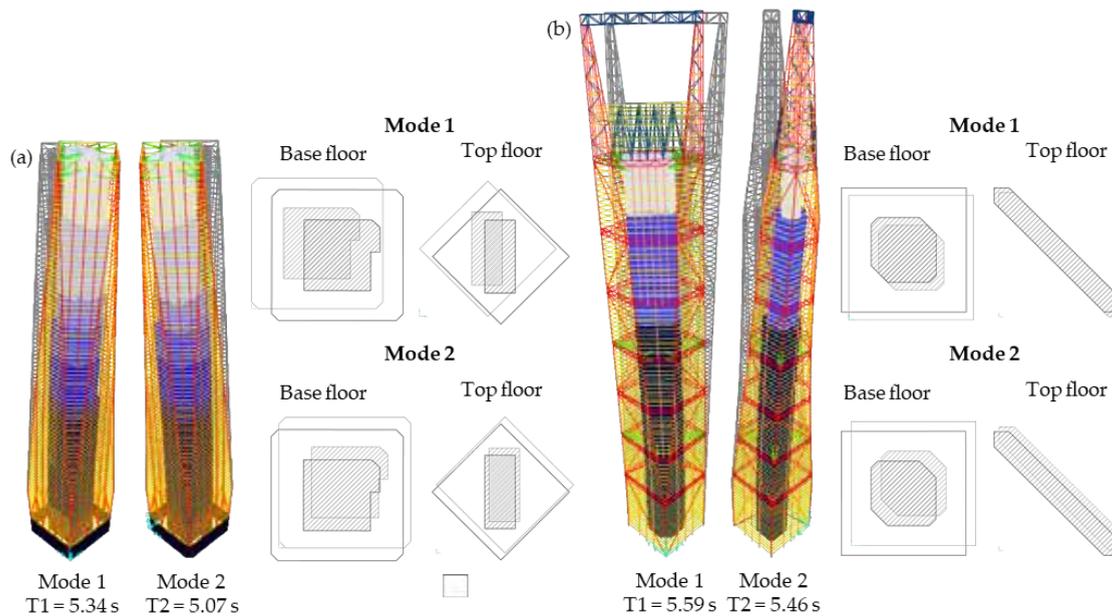


Fig.9 | Primo e secondo modo di vibrare: (a) OWTC; (b) SWFC.

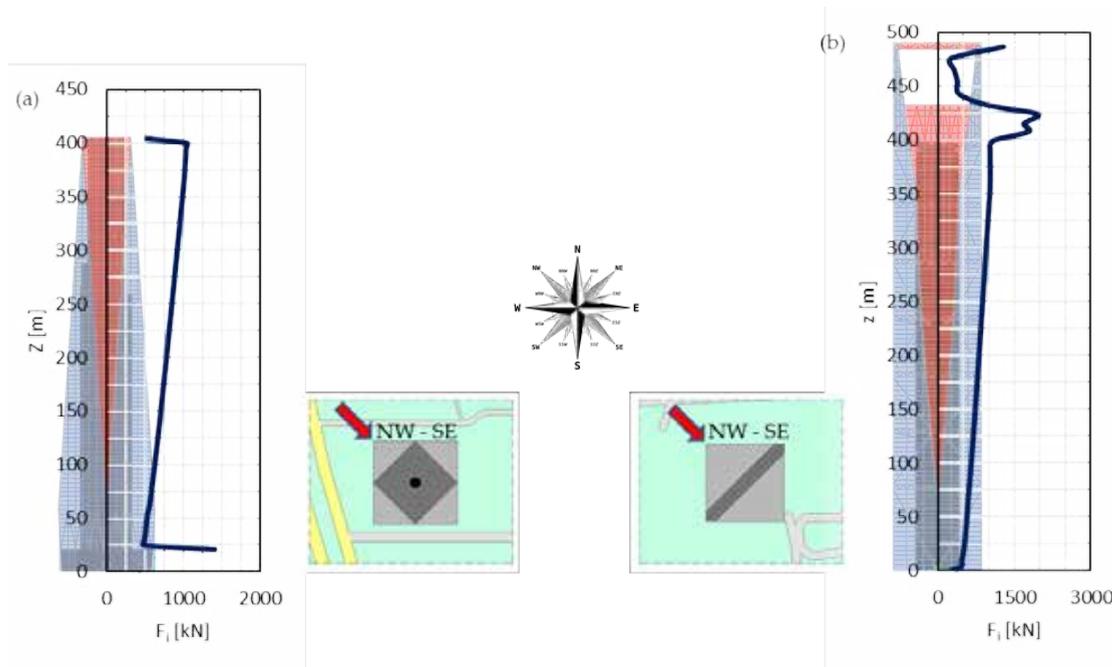


Fig.10 | Forze statiche equivalenti all'azione del vento in direzione NO-SE: (a) OWTC, (b) SWFC.

sviluppate in Sap2000, sono: analisi modali, analisi statiche sotto azioni da vento, analisi statiche non lineari sotto carichi verticali crescenti (Push-Down).

Le analisi modali, eseguite come primo step, consentono di individuare la modalità deformativa governanti e quindi la direzione più debole sotto azioni laterali. Per entrambi gli edifici i primi due modi di vibrare sono puramente traslazionali nelle due direzioni diagonali della pianta di base (figura 9). Tali risultati sono confermati da studi pubblicati in letteratura per lo SWFC [13], per il quale si ritrova anche concordanza in termini di periodi principali. Per il OWTC, invece, non sono stati trovati riferimenti in letteratura. Considerando l'applicazione dell'azione da vento in direzione NO-SE, le forze statiche equivalenti, derivate secondo [16], sono

zionalni tra nucleo e telaio perimetrale rimane pressoché uniforme, e approssimativamente pari a 60-65% e 40-35%, rispettivamente (figura 11). Il percorso dei carichi gravitazionali nello SWFC è più complesso a causa dell'organizzazione modulare e gerarchica del sistema perimetrale a megastruttura. Il carico gravitazionale di piano viene suddiviso tra il nucleo, il telaio perimetrale e le mega-colonne, secondo le rispettive aree di influenza ( $A_{core}$  - area in grigio chiaro,  $A_{frame}$  - area in nero, AMC - area in nero, in figura 12); alla base di ogni modulo di 12 piani, il carico delle colonne perimetrali è trasferito alla *belt truss* e infine alle mega-colonne. In termini globali, quindi, il carico gravitazionale arriva alle fondazioni tramite il nucleo ( $A_{core}$ ) e le mega-colonne ( $A_{MC,tot}$ ).

fornite in figura 10.

#### 4. PERCORSO DEI CARICHI GRAVITAZIONALI: VALUTAZIONI APPROSSIMATE E ANALISI STAGED-CONSTRUCTION

Preliminarmente alle analisi sotto azioni da vento e di push-down, si è proceduto all'individuazione del percorso dei carichi gravitazionali e del ruolo che in esso ricoprono i diversi sottosistemi strutturali; tale valutazione iniziale permette di riconoscere potenziali percorsi alternativi che possono emergere in seguito al verificarsi di un danno localizzato.

In generale, per una valutazione approssimata del percorso dei carichi possiamo fare riferimento alle aree di influenza geometrica e distinguere tra carichi di piano relativi a zone di impalcato disposte all'interno ed all'esterno del nucleo. Nel OWTC, i carichi gravitazionali all'interno del nucleo sono trasmessi alle fondazioni attraverso sollecitazioni di compressione nelle pareti del nucleo stesso. I carichi agenti sull'impalcato all'esterno del nucleo, invece, raggiungono le fondazioni attraverso il nucleo e la struttura perimetrale, approssimativamente secondo le rispettive aree di influenza. Nonostante la variazione della geometria dell'edificio lungo l'altezza, il rapporto tra l'area di influenza del nucleo ( $A_{core}$  - area in grigio chiaro) e quella del perimetro ( $A_{frame}$  - area in nero) non varia significativamente, pertanto la ripartizione dei carichi gravitazionali tra nucleo e telaio perimetrale rimane pressoché uniforme,

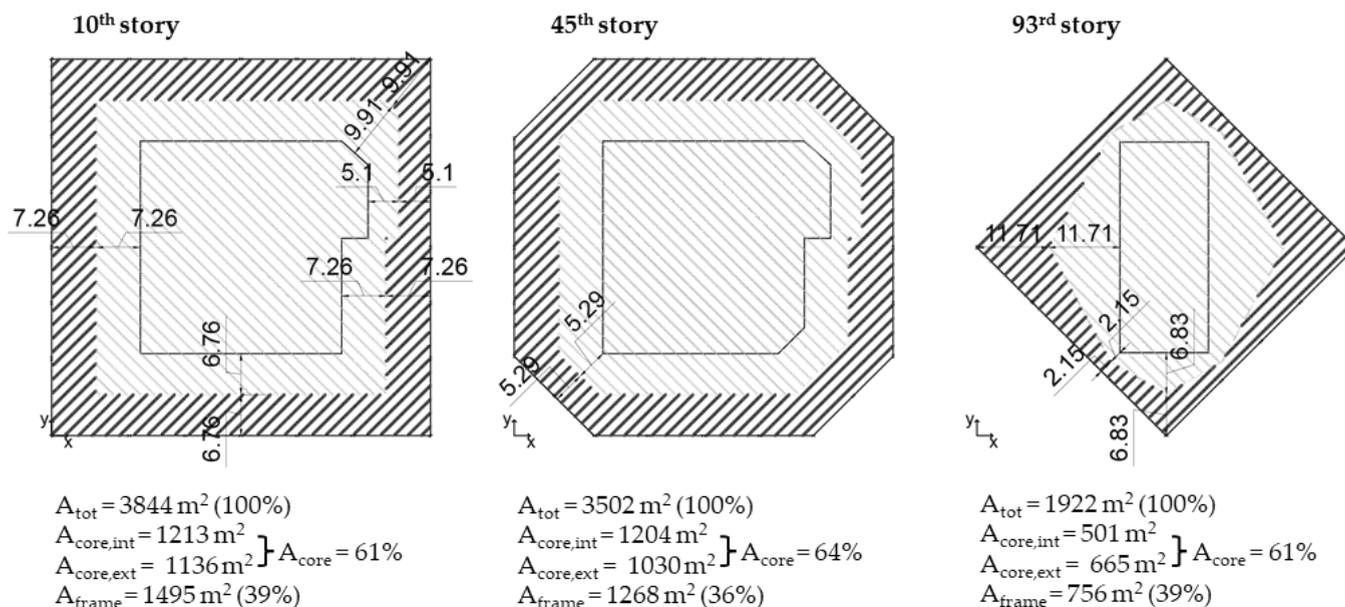


Fig.11 | OWTC: pianta a diversi piani, aree di influenza di telaio perimetrale ( $A_{frame}$ ) e nucleo ( $A_{core}$ ).

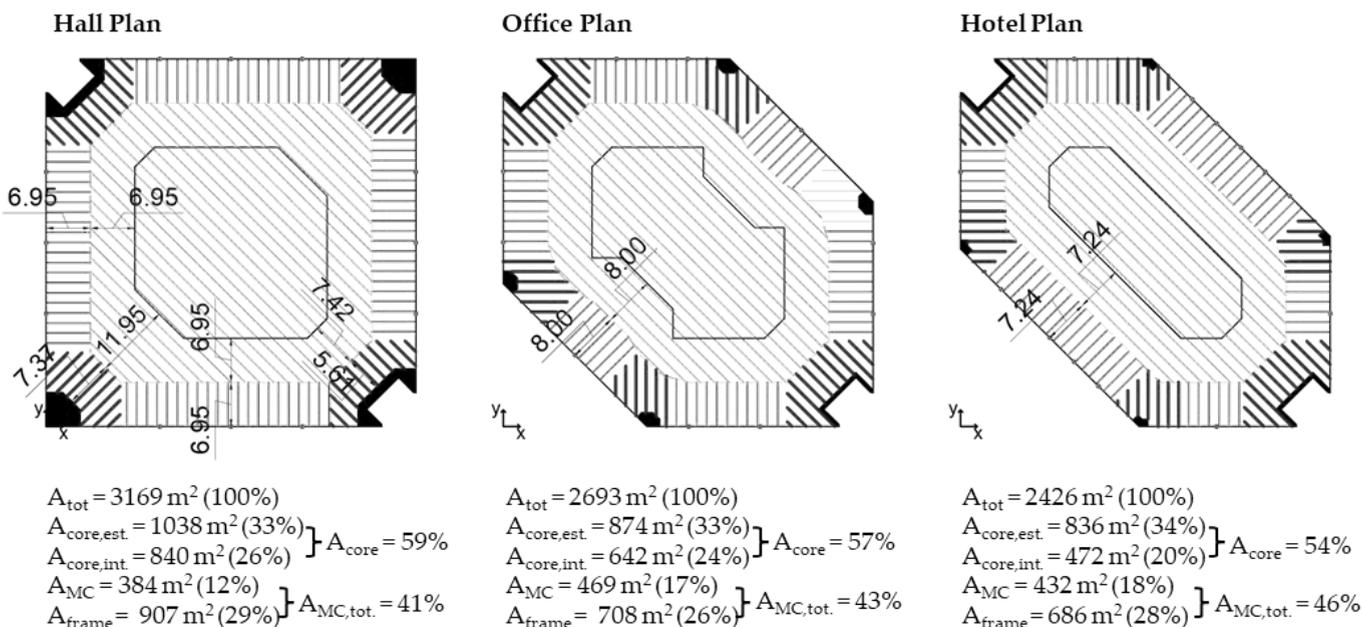


Fig.12 | SWFC: pianta a diversi piani, aree di influenza di telaio ( $A_{frame}$ ), mega-colonne (AMC) e nucleo ( $A_{core}$ ).

Considerando le variazioni dimensionali della pianta e del nucleo lungo l'altezza, si osserva che, come nel caso del OWTC, il rapporto tra aree di influenza del nucleo e delle strutture perimetrali si mantiene quasi uniforme lungo l'altezza, e pari a 55-60% per il nucleo e al 45-40% per le mega-colonne.

Un ulteriore aspetto da considerare nella valutazione del percorso dei carichi gravitazionali riguarda il regime di sollecitazione (e deformazione) da essi indotto nelle varie fasi di costruzione. Effettuando un'analisi per carichi gravitazionali sul modello del OWTC privo di *outrigger* si osserva una distribuzione delle solle-

citazioni di compressione tra nucleo e telaio perimetrale uniforme lungo l'altezza (figura 13a) e praticamente coincidente con quella valutata in base alle aree di influenza (a meno dell'effetto del peso proprio, maggiore per il nucleo in calcestruzzo armato). Inserendo nel modello l'*outrigger* che connette direttamente il nucleo al telaio perimetrale, invece, la ripartizione delle sollecitazioni di compressione diventa non uniforme lungo l'altezza (figura 13b, linea nera). In particolare, a partire da valori alla base prossimi a quelli valutati a mano e con il modello privo di *outrigger*, si osserva una graduale riduzione delle sollecitazioni nelle colonne perimetrali procedendo

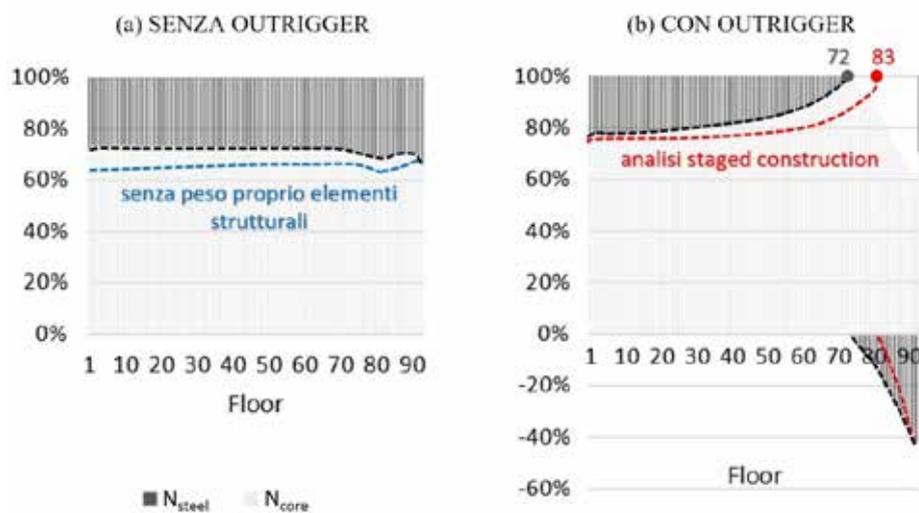


Fig.13 | OWTC - ripartizione di carico gravitazionale di piano tra telaio perimetrale ( $N_{frame}$ ) e nucleo centrale ( $N_{core}$ ): (a) modello senza *outrigger* (b) modello con *outrigger*.

verso l'alto, fino ad un'inversione del segno. Tale andamento denuncia un trasferimento di carico dalle colonne perimetrali (linee in nero) al nucleo (linee in grigio chiaro) attraverso l'*outrigger* in sommità.

Per tener conto della reale applicazione dei carichi gravitazionali, che procede parallelamente alla costruzione della struttura, si è svolta un'analisi "staged construction" (figura 13b, linea rossa), definendo diversi passi in cui variano sia il modello geometrico della struttura che i carichi applicati. Si parte da uno schema statico privo del sistema *outrigger*, al quale vengono applicati solo i carichi permanenti (D); successivamente viene inserito il sistema *outrigger* e vengono applicati i carichi variabili (L) e il 20% dei carichi permanenti, in modo da individuare, alla fine dell'ultimo step, la combinazione dei carichi di progetto 1,2D + 1,6L [16]. Tale analisi, che rispecchia più da vicino le fasi costruttive, porta ad una distribuzione delle sollecitazioni intermedia tra quelle ricavate precedentemente, con riduzione delle sollecitazioni nelle membrane dell'*outrigger*.

## 5. ANALISI PER AZIONI LATERALI: CONTRIBUTO DEI DIVERSI SOTTOSISTEMI ALLA RIGIDEZZA GLOBALE

La risposta strutturale sotto azioni da vento è analizzata in termini di spostamenti laterali e momento ribaltante nel nucleo. Al fine di valutare il contributo dei singoli sottosistemi strutturali precedentemente individuati per entrambi gli edifici, si considerano diversi modelli. In particolare, per il OWTC si considerano tre modelli, mentre per la struttura più complessa dello SWFC il numero di modelli considerati è sette. In entrambi i casi, partendo dal modello strutturale che tiene conto delle sole pareti in c.a. del nucleo, vengono poi aggiunte le strutture perimetrali, definendo uno o più modelli, per giungere infine al modello completo che include anche i sistemi di *outrigger* truss. Nella figura 14 sono riportati i diagrammi di spostamento laterale.

Per OWTC (figura 14a) i tre modelli rappresentano rispettivamente: 1) solo nucleo (linea blu); 2) nucleo più sistema perimetrale

senza *outrigger* (linea rossa); 3) sistema strutturale completo, cioè nucleo e struttura perimetrale collegati dall'*outrigger* in sommità (linea verde). Il confronto evidenzia una differenza trascurabile tra le tre linee, suggerendo che la struttura perimetrale e l'*outrigger* superiore non contribuiscono significativamente alla rigidezza laterale dell'edificio. Questo risultato è confermato anche dai progettisti, che affermano: "... reinforced concrete core wall system at the center of the tower, providing support for gravity loads as well as resistance to wind and seismic forces" [7]. La struttura quindi si comporta come se fosse un sistema costituito dal solo nucleo, e gli altri sottosistemi strutturali risultano ridondanti in termini di rigidezza per azioni orizzontali.

Sulla base di questo risultato, si può dedurre che verosimilmente l'*outrigger* agli ultimi piani sia stato inserito per fornire una seconda linea di difesa contro il collasso progressivo.

Per lo SWFC (figura 14b) i sette modelli tengono conto rispettivamente di: 1) solo nucleo (linea blu); 2) nucleo più mega-colonne (linea rossa chiara), 3) modello 2 più *belt truss* (linea rossa), 4) modello 3 più diagonali (linea rossa scura); 5) nucleo e megastruttura esterna (modello 4) più un *outrigger* (linea verde chiara), 6) nucleo e megastruttura esterna (modello 4) più due *outrigger* (linea verde), 7) nucleo e megastruttura esterna (modello 4) più tre *outrigger*, cioè il sistema strutturale completo (linea verde scuro). Il confronto tra le curve ottenute per i vari modelli mostra che il sistema mega-telaio esterno (mega-colonne, *belt truss*, e soprattutto, mega-diagonali) contribuisce significativamente alla rigidezza laterale, mentre i tre sistemi di *outrigger* forniscono un contributo limitato. Pertanto si può affermare che, diversamente da quanto osservato per il OWTC, sia la struttura del nucleo che la megastruttura perimetrale hanno un ruolo primario nella risposta sotto azioni orizzontali, e che la struttura lavora secondo un comportamento "tubo-in-megatubo"; il contributo degli *outrigger* è trascurabile, come già osservato anche per il OWTC.

Tali considerazioni sono confermate anche dal confronto tra modelli in termini di momento ribaltante nel nucleo. Per il OWTC, in figura 15a si osserva che il momento ribaltante nel nucleo è poco influenzato dalla presenza dell'*outrigger* (linea rossa) e del telaio perimetrale (linea blu). La maggiore differenza tra le tre curve è ai livelli più bassi, dove il telaio perimetrale è inglobato in pareti di calcestruzzo per un'altezza di 20,28 m e irrigidito dalla trave di trasferimento alta nove piani (da 20,28 a 57 m di quota). Per lo SWFC, nella figura 15b, il momento ribaltante nel nucleo lungo l'altezza è rappresentato considerando il nucleo come un sistema stand-alone (modello 1), o in presenza del mega-telaio esterno, senza e con *outrigger* (modelli 2, 3, 4 contro 5, 6, 7). Mentre si osserva una significativa riduzione (circa il 40%) dell'impegno del nucleo grazie al contributo della struttura esterna, l'effetto degli

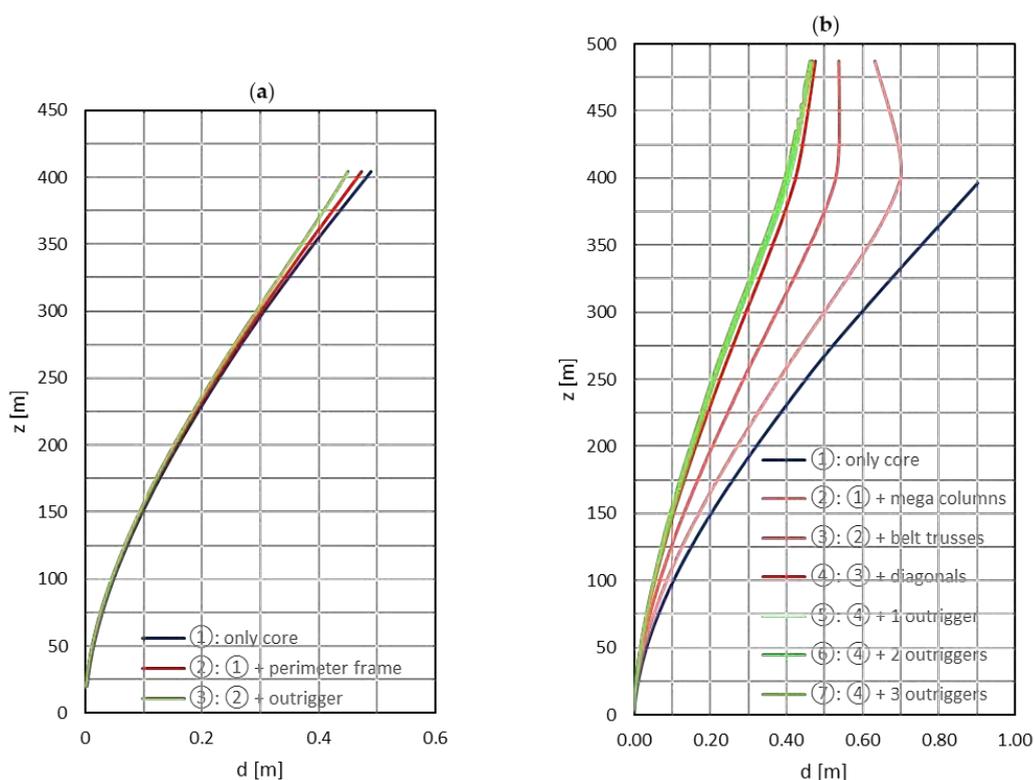


Fig.14 | Spostamenti laterali sotto azione da vento direzione NO-SE: (a) OWTC; (b) SWFC.

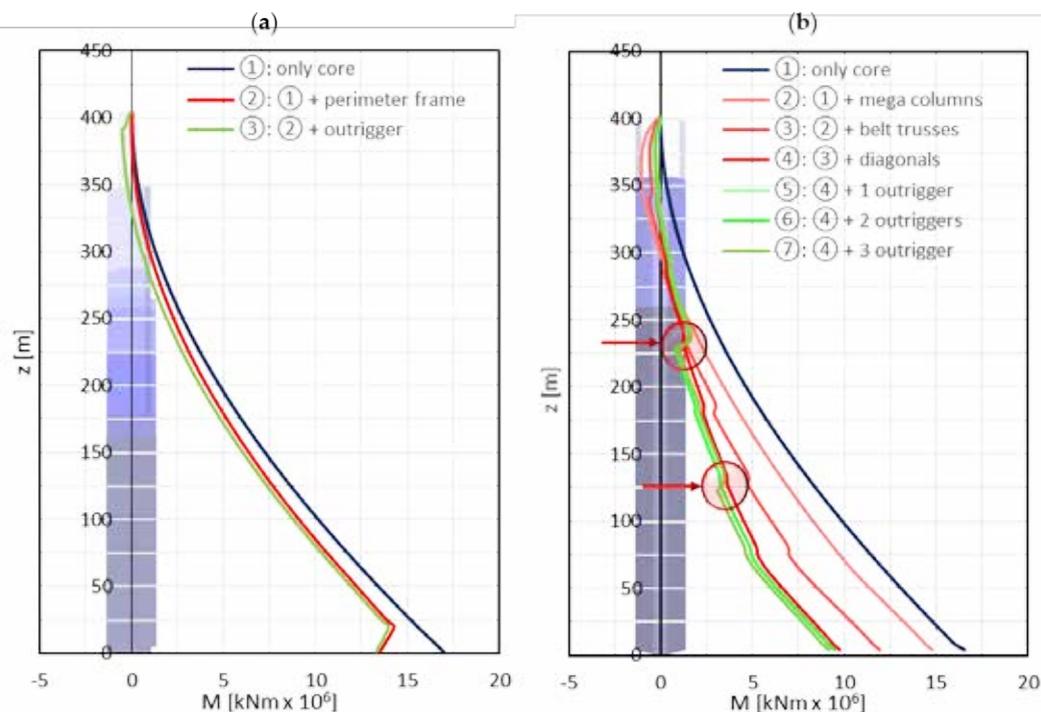


Fig.15 | Momento ribaltante nel nucleo sotto azione da vento direzione NO-SE: (a) OWTC; (b) SWFC.

*outrigger* è trascurabile (meno del 10%); anche i “salti” attesi nel diagramma del momento per effetto del vincolo rotazionale indotto dai tre *outrigger* sono modesti.

## 6. ANALISI PUSH-DOWN

Per studiare il comportamento degli edifici sotto azioni eccezionali, si è proceduto definendo specifici scenari di danno e valutando la risposta strutturale tenendo conto delle non linearità meccaniche e geometriche.

che e geometriche.

Come riferimento per questo tipo di analisi si è adottato il documento UFC 4-023-03 [21]. Le procedure suggerite nella [21], così come in altre norme che trattano la valutazione della robustezza e dell'integrità strutturale [24, 25], comprendono analisi statiche o dinamiche, in campo lineare o non lineare. In questo lavoro, le analisi statiche non lineari, anche dette analisi *Push-Down*, sono effettuate considerando la combinazione di carichi gravitazionali, permanenti (D) e variabili (L), (1,2D + 0,5L) [21, 25]. Per tener conto dell'effetto dinamico determinato dalla rimozione di uno o più elementi verticali sul resto della struttura [26], i carichi gravitazionali che agiscono sui piani adiacenti all'elemento rimosso sono amplificati da un fattore di incremento dinamico (DIF) [21, 25]  $\Omega_N$ , il cui valore numerico dipende dalla tipologia strutturale e dalla duttilità degli elementi strutturali orizzontali.

Preliminarmente alle analisi *push-down* presentate in questo lavoro, è stata sviluppata un'approfondita analisi di sensibilità su modelli non lineari delle sottostrutture. I risultati suggeriscono che le non-linearità geometriche possono essere rappresentate dai soli effetti P-Delta, evitando così analisi in grandi spostamenti e trascurando il contributo dell'effetto catenaria delle travi, che si raggiunge per valori di rotazione delle cerniere plastiche estremamente grandi [26, 27]. Le non-linearità meccaniche specificamente definite per tener conto delle deformazioni anelastiche che sorgono negli elementi strutturali dei due edifici, come riportato nel seguito.

### 6.1 One World Trade Center

Nelle analisi *Push-Down* eseguite sul modello del OWTC, vengono definiti due diversi scenari di danno, che si verificano rispettivamente alla base e al 77° piano.

Nel primo scenario si suppone che un'azione eccezionale, ad esempio un'esplosione, abbia causato un danno al piano terra, in particolare nella zona di accesso sul lato est. Per modellare questo scenario di danno, gli elementi shell che discretizzano la parete in calcestruzzo nella campata centrale della facciata est vengono rimossi dal modello; nella struttura d'acciaio, inoltre, vengono rimosse due travi e una colonna posizionate immediatamente al di sopra della zona del danno ipotizzato (elementi

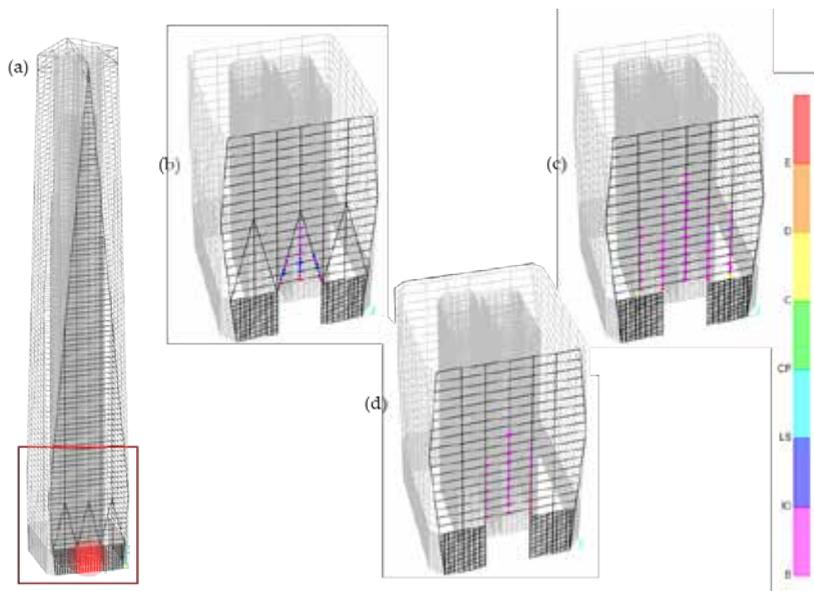


Fig.16 | OWTC - Primo scenario di danno. a) modello completo (elementi danneggiati in rosso); cerniere plastiche all'ultimo passo di analisi; b) modello completo; c) senza trave di trasferimento; (d) senza trave di trasferimento e outrigger.

in rosso nella figura 16a). Anche per le analisi *Push-Down* sono stati considerati diversi modelli al fine di studiare l'interazione tra i vari sottosistemi strutturali e il loro ruolo nel percorso dei carichi

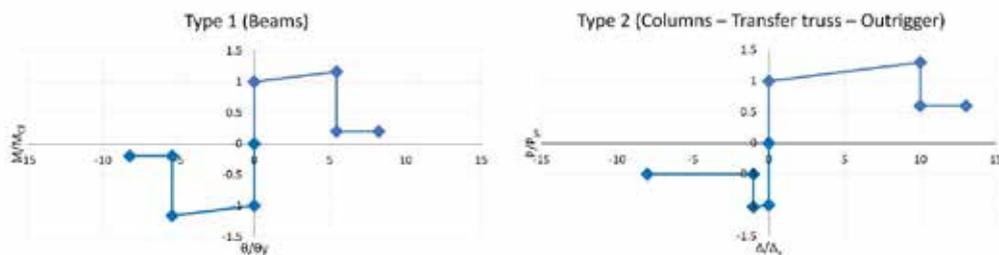


Fig.17 | Modelli di cerniera plastica utilizzati per elementi del OWTC.

a seguito di danneggiamento: il modello completo del OWTC (figura 16b), e due modelli aggiuntivi, rispettivamente senza la trave di trasferimento in acciaio che sormonta le pareti in calcestruzzo (figura 16c), e senza la trave di trasferimento e il sistema outrigger superiore (figura 16d).

Per descrivere il comportamento non lineare degli elementi strutturali coinvolti nel processo di redistribuzione del carico, vengono definite le relazioni momento-rotazione per le cerniere plastiche alle estremità delle travi con RBS (tipo 1 in figura 17) e sforzo-deformazione assiale per le cerniere plastiche a metà altezza delle colonne e degli elementi delle travi reticolari (trave di trasferimento alla base e outrigger in sommità) (tipo 2 in figura 17). Entrambi i diagrammi tipo 1 e 2 riportati in figura 17 sono conformi all'ASCE 41/13 [19] e presentano gli assi normalizzati rispetto al valore di snervamento calcolato in funzione delle caratteristiche meccaniche e geometriche dei vari elementi strutturali. Per il nucleo è stato assunto comportamento lineare.

Il valore del fattore di incremento dinamico DIF,  $\Omega_N$ , viene valutato in base ai valori di rotazione della cerniera plastica Tipo 1 al livello

di prestazione strutturale Life Safety ( $\theta_{LS} = 0,044$ ) e allo snervamento ( $\theta_y = 0,007$ ), secondo la relazione [19]:

$$\Omega_N = 1,08 + \frac{0,76}{\theta_{LS}/\theta_y + 0,48} = 1,19$$

Pertanto, nelle aree di impalcato adiacenti all'elemento eliminato la combinazione di carichi permanenti e variabili è:  $\Omega_N$  (1,2D + 0,5L). Per questo primo scenario di danno, nel modello completo in cui è presente la trave di trasferimento alla base, tale incremento dinamico è considerato solo per i piani compresi entro l'altezza della trave di trasferimento.

I risultati delle analisi sono forniti in termini di curve di Push-Down, che potremo definire locali (figura 18). Infatti, si diagramma: il moltiplicatore di carico locale,  $\lambda_{loc}$ , fornito dal rapporto tra la forza verticale al generico step di carico  $F_n$ , e lo sforzo assiale  $N_{col}$  presente nella colonna (o nelle colonne) successivamente rimossa, in funzione di  $\Delta_u$ , incremento dell'abbassamento di un punto di controllo, coincidente con l'estremità della colonna rimossa, rispetto allo spostamento dello stesso punto prima del danneggiamento,  $u_0$ ; ovvero:  $\lambda_{loc} = F_n/N_{col}$  e  $\Delta_u = (u_n - u_0)/u_0$ .

In figura 18, dalla curva ottenuta per il modello completo (linea verde), si può osservare che fino a valori di  $\lambda_{loc}$  intorno 3,5 il comportamento del sistema è praticamente lineare. La successiva escursione in campo plastico consente di sfruttare un'ulteriore riserva di resistenza, portando il moltiplicatore del carico  $\lambda_{loc}$  a valori

maggiori di 4,5, anche se a fronte di una notevole riduzione della rigidità ( $\Delta_u = 10$ ).

L'analisi si arresta quando la colonna e poi le travi immediatamente al di sopra della zona di danno iniziale raggiungono rispettivamente la capacità ultima di deformazione a trazione e di rotazione (figura 16b). La curva per il modello senza trave di trasferimento (linea rossa) mostra un comportamento non lineare del sistema già dalle prime fasi di carico e l'analisi si arresta precocemente rispetto al modello completo a causa dell'instabilità delle colonne adiacenti alla zona di danno iniziale (figura 16c). Le stesse considerazioni si possono fare osservando la curva relativa al modello senza trave di trasferimento e sistema outrigger superiore (linea blu), sebbene in quest'ultimo caso siano coinvolti meno elementi nella redistribuzione del carico (figura 16d). Il confronto della risposta strutturale del modello completo (linea verde in figura 18) con quelle ottenute per i due modelli aggiuntivi (linee rossa e blu in figura 18) evidenziano per lo scenario di danno considerato (danneggiamento alla base) il ruolo fondamentale della trave di trasferimento perimetrale e secondariamente dell'outrigger nell'individuazione di un percor-

so del carico alternativo.

Lo stesso approccio è stato adottato per analizzare la struttura nel secondo scenario, corrispondente ad un danno localizzato al 77° piano, rappresentato tramite la rimozione di tre colonne (elementi in rosso nella figura 19a). Il punto di controllo per l'analisi è posto in testa alla colonna centrale eliminata. In questo caso, vengono considerati due modelli, il modello completo ed il modello senza *outrigger* superiore (figura 19c), in quanto è presumibile che in questo scenario di danno la presenza o assenza della trave di trasferimento ai livelli inferiori non ha un effetto sensibile sulla risposta strutturale. La distribuzione di cerniere plastiche per i due modelli è rappresentata in figura 19b e in figura 19c, mentre le curve di Push-Down ( $\lambda_{loc}-\Delta_u$ ) sono fornite in figura 20. Come nel caso precedente, le curve sono significativamente diverse, sia in termini di carico raggiunto che di capacità di spostamento. In particolare, nel modello completo (linea verde) si raggiunge  $\lambda_{loc,max} = 24,6$ , mentre nel modello senza *outrigger* superiore (linea rossa)  $\lambda_{loc,max}$  è pari a 7,5, evidenziando il ruolo fondamentale nella ridistribuzione dei carichi in fase anelastica del sistema *outrigger*.

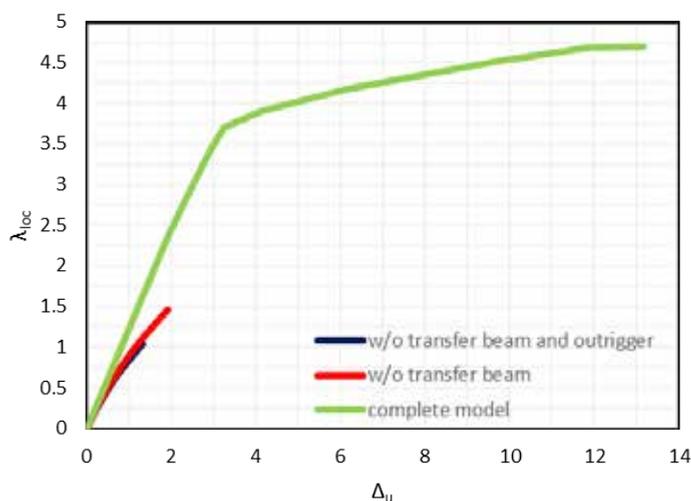


Fig.18 | OWTC - Primo scenario di danno: curve di *Push-Down*.

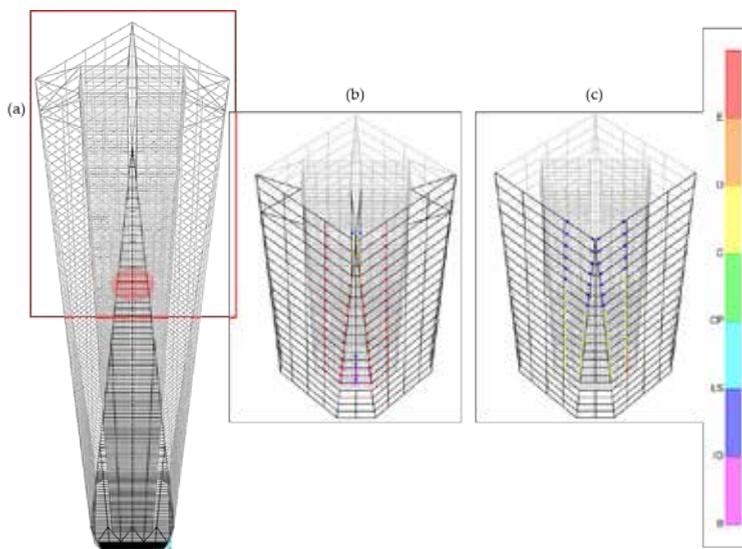


Fig.19 | OWTC - Secondo scenario di danno. a) modello completo con elementi danneggiati in rosso; cerniere plastiche all'ultimo passo di analisi: (b) modello completo; (c) senza *outrigger*.

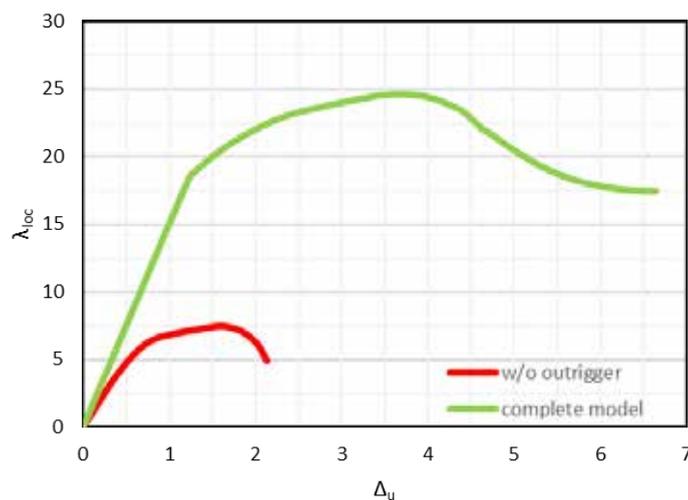


Fig.20 | OWTC - Secondo scenario di danno: Curve di *Push-Down*.

## 6.2 Shanghai World Financial Center

Anche per lo SWFC vengono considerati due scenari di danno, che coinvolgono rispettivamente: tre colonne perimetrali alla base dell'edificio; due colonne al 52° piano, immediatamente sotto la *belt truss*. Come per il OWTC, sono considerati sia modelli completi che parziali con lo stesso danno iniziale.

I modelli a plasticità concentrata per simulare il comportamento anelastico degli elementi strutturali, seguendo le indicazioni dell'ASCE 41/13. [19], sono forniti in figura 21 in termini di momento-rotazione e carico assiale - deformazione assiale per descrivere il comportamento nonlineare di travi (tipo 3), colonne (tipo 4), *belt truss* (tipo 5), diagonali e sistema *outrigger* (tipo 6).

L'unica differenza da menzionare rispetto al OWTC riguarda la modellazione del comportamento non-lineare degli elementi a sezione composta. In maniera semplificata, per questi elementi è stata considerata solo la sezione in acciaio per comportamento a trazione, trascurando il contributo del calcestruzzo, mentre nel calcolo del valore dello sforzo normale al limite elastico in compressione è stata considerata la sezione composta acciaio-calcestruzzo. A causa delle grandi dimensioni delle mega-colonne, si è ritenuto realistico che esse non raggiungessero in nessuno degli scenari analizzati il loro limite di snervamento. Una considerazione simile è stata fatta per il nucleo.

Come nel caso precedente, l'effetto di amplificazione del carico è considerato solo nelle zone di solaio adiacenti all'elemento eliminato e solo per i piani posizionati al di sopra della zona di danno e compresi tra due *belt truss* in facciata. Per il calcolo del valore del DIF secondo ASCE 41/13 [19], si considera  $\theta_{1s}$  uguale a 0,039, mentre  $\theta_y$  uguale a 0,013, da cui:

$$\Omega_N = 1,08 + \frac{0,76}{\theta_{1s}/\theta_y + 0,48} = 1,28$$

Per la prima configurazione di danno, con tre colonne perimetrali rimosse alla base dell'edificio (elementi in rosso nella figura 22a), si considerano tre modelli: il modello completo (figura 22b), il modello senza *outrigger* e *belt truss* (figura 22c), e il modello senza mega-diagonali (figura 22d). Il punto di controllo per le analisi *Push-Down* corrisponde all'estremità superiore della colonna centrale rimossa.

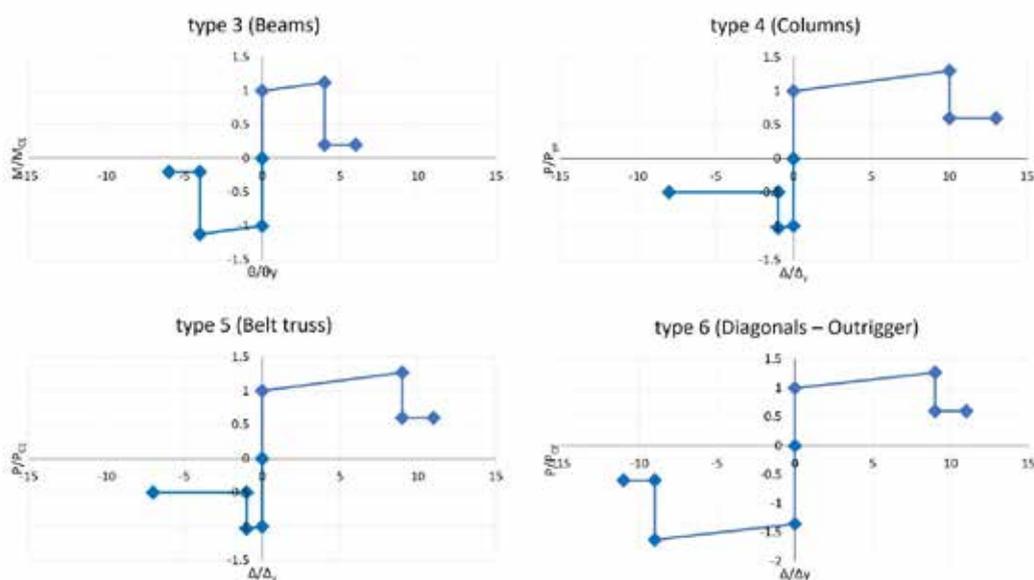


Fig.21 | Modelli di cerniera plastica utilizzati per elementi dello SWFC.

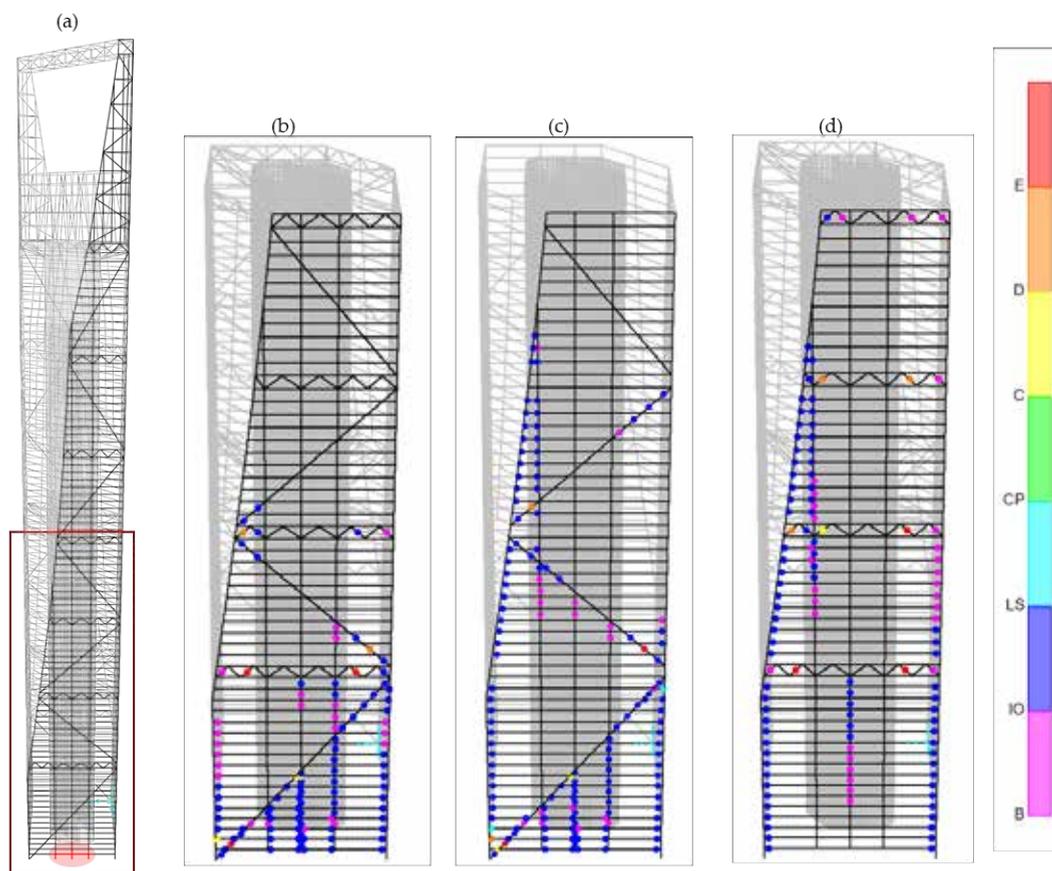


Fig.22 | SWFC - Primo scenario di danno. (a) modello completo con elementi rimossi in rosso. Cerniere plastiche all'ultimo passo di analisi: (b) modello completo; (c) senza belt truss e outrigger; (d) senza mega-diagonali.

Nel diagramma di figura 23 si confrontano le tre curve ottenute dalle analisi: per il modello completo (linea verde) si osserva un valore più alto del moltiplicatore  $\lambda_{loc}$  rispetto agli altri due modelli, senza mega-diagonali (linea blu), e senza *outrigger* e *belt truss* (linea rossa). La differenza tra le curve mostra che la presenza delle diagonali assicura una notevole robustezza oltre all'effetto di irrigidimento nel piano della facciata già osservato nelle analisi

elastiche sotto i carichi da vento.

La distribuzione delle cerniere plastiche (figura 22) indica che il meccanismo di collasso sviluppato per il modello completo interessa un minor numero di elementi strutturali (figura 22b) rispetto ai modelli senza *outrigger* e *belt truss* (figura 22c) e senza mega-diagonali (figura 22d). In questo primo scenario di danno emerge una buona robustezza del sistema strutturale, in quanto, nonostante l'estensione del danno iniziale alla base dell'edificio, il moltiplicatore del carico  $\lambda_{loc}$  raggiunge valori maggiori di due.

Il secondo scenario di danno prevede la rimozione di due colonne al 52° piano, immediatamente sotto la *belt truss* (elementi in rosso nella figura 24a). In questo caso il punto di controllo per l'analisi corrisponde all'estremo superiore della colonna di sinistra eliminata dal sistema. I modelli analizzati sono: modello completo (figura 24b), modello senza *outrigger* (figura 24c), modello senza *belt truss* (figura 24d) e modello senza *outrigger* e *belt truss* (figura 24e).

Nella figura 25, le curve ottenute per il modello completo (linea verde) e il modello senza *outrigger* (linea rossa) mostrano un andamento molto simile, anche se leggermente sfalsate tra di loro, con un'improvvisa riduzione di  $\lambda_{loc}$  per  $\Delta_u$  circa 4. Questa brusca caduta di capacità portante è dovuta al raggiungimento della deformazione ultima a trazione in una membratura diagonale della *belt truss* sovrastante la zona di danno. Il cedimento di questa asta compromette significativamente la capacità della *belt truss* di trasmettere i carichi alle mega-colonne. Infatti, la coppia di curve relative ai modelli senza *belt truss* (linea azzurra) e senza *outrigger* e *belt truss* (linea blu) mostra un andamento simile, e differenze significative fino a  $\Delta_u$  minore di 4 rispetto alla coppia di curve dei modelli con *belt truss* (modello completo e modello senza *outrigger*). Dopo il cedimento della *belt truss* le due coppie di curve risultano molto prossime ed esprimono la capacità portante residua offerta da nucleo e mega-colonne con mega-diagonali.

La distribuzione delle cerniere plastiche nei modelli con *belt truss*, rappresentati in figura 24b e c, mostrano che la redistribuzione del-

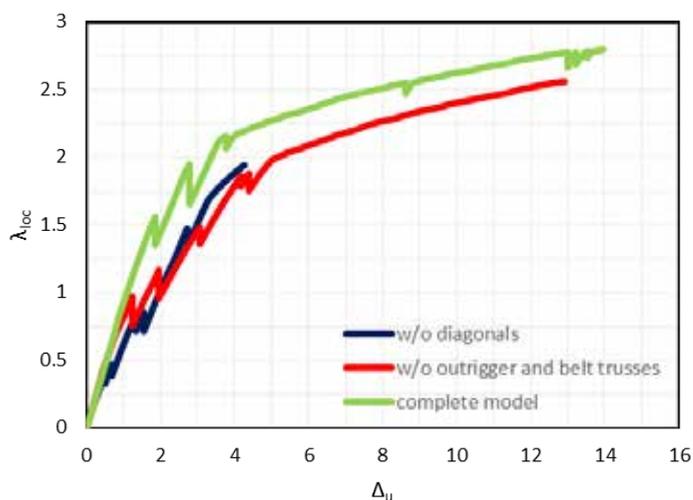


Fig.23 | SWFC - Primo scenario di danno: Curve di Push-Down.

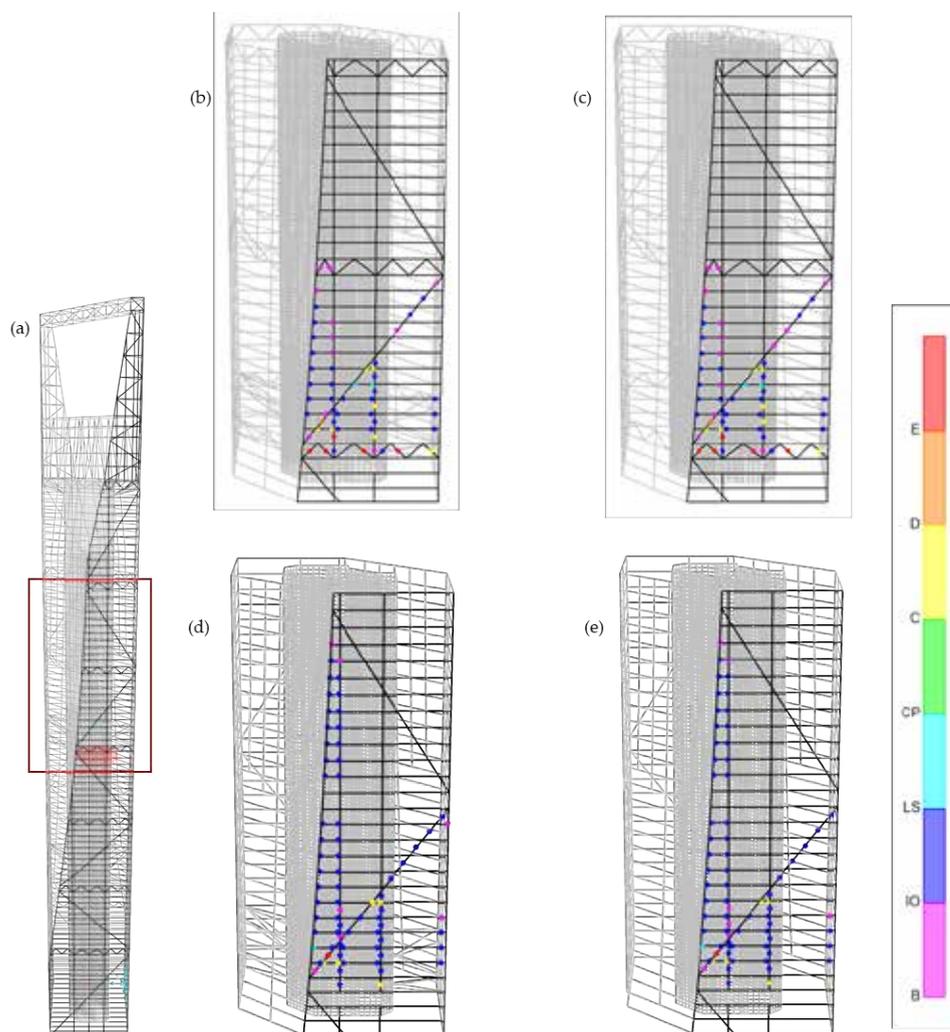


Fig.24 | SWFC - Secondo scenario di danno. (a) modello completo, elementi danneggiati in rosso. Cerniere plastiche all'ultimo passo di analisi: (b) modello completo; (c) senza *outrigger*; (d) senza *belt truss*; (e) senza *outrigger* e *belt truss*.

le sollecitazioni e la conseguente diffusione del danno rimangono confinate al modulo direttamente interessato dal danno iniziale. Pertanto, la scelta progettuale di suddividere la struttura dell'edificio in moduli lungo l'altezza, delimitati dalle *belt truss*, irrigiditi

dalle mega-diagonali e che scaricano direttamente sulle mega-colonne, si rivela un'ottima strategia per migliorare la robustezza della struttura contro scenari di danno localizzati che interessano il sistema perimetrale.

## 7. CONCLUSIONI

Il focus della progettazione degli edifici alti nel secolo scorso è stato la ricerca dell'efficienza strutturale, secondo il principio del "premium for height" formulato da Fazlur Khan negli anni 60-70, ovvero la minimizzazione di materiale strutturale necessario per stabilizzare l'edificio sotto azioni laterali tramite la disposizione ottimizzata degli elementi strutturali in pianta ed in elevazione. Questo approccio, che accompagna tutt'ora la progettazione, ha condotto alla proposta dei classici sistemi strutturali per edifici alti: il tubo, declinato in una serie di varianti (framed tube, braced tube, bundled tube), il nucleo, il nucleo con *outrigger*, il mega-telaio. Ciascuno di tali sistemi, nati ed utilizzati quasi prevalentemente

in carpenteria metallica, era la traduzione ingegneristica, chiara e trasparente, quasi leggibile, di un singolo concetto meccanico sviluppato secondo una specifica strategia (la strutturazione delle facciate tramite la maglia trave-colonna, la diagonalizzazione della facciata, la stabilizzazione del nucleo tramite elementi rigidi discreti lungo l'altezza, la gerarchizzazione).

Il terzo millennio è iniziato con l'attacco terroristico alle torri gemelle del WTC. Le torri sono drammaticamente crollate, ma l'edificio alto come tipologia edilizia è, forse inaspettatamente, sopravvissuto e rimane un elemento fondamentale della città. Nel 2001 molti ritenevano l'era dei grattacieli alla fine, e l'edificio alto una tipologia edilizia sperimentale che aveva fallito. I numeri e le statistiche di oggi (elaborate dal Council of Tall Building and Urban Habitat, [www.ctbuh.org](http://www.ctbuh.org)) affermano che è avvenuto esattamente il contrario:

- l'84% di tutti gli edifici di altezza maggiore o uguale a 200 m attualmente esistenti è stato costruito dopo il 2001;
- durante il decennio 1991-2001, sono stati costruiti in media 12 edifici di oltre 200 m all'anno; dal 2011 al 2021, tale media annuale è stata di 112;
- degli attuali 100 edifici più alti del mondo, 86 sono stati costruiti dopo il 2001;
- nei 20 anni dal 2001 a oggi, l'altezza media dei 100 edifici più alti del mondo è aumentata del 141%, da 284 m a 399 m.

Tuttavia, molto è cambiato. La differenza sostanziale emersa nella progettazione negli ultimi due decenni risiede nel mutamento dei requisiti

prestazionali richiesti al sistema strutturale: alla ricerca dell'efficienza è subentrata la consapevolezza della necessità di robustezza strutturale, diventata esplicitamente parte integrante dei requisiti di progettazione.

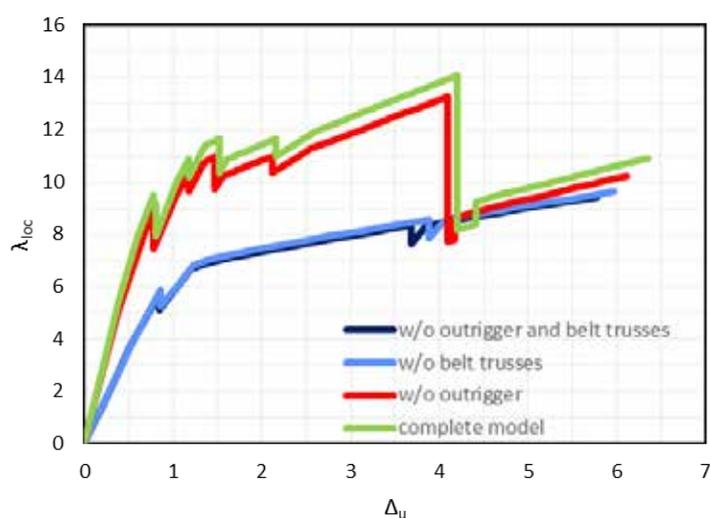


Fig.25 | SWFC - secondo scenario di danno: Curve di Push-Down.

Il crollo delle torri del WTC e gli studi che ne sono scaturiti, così come gli esempi progettuali presentati in questo articolo, hanno evidenziato l'importanza di continuità strutturale, sovraresistenza e ridondanza. La presenza di un nucleo in calcestruzzo ad alta resistenza, in grado di fornire robustezza e protezione delle vie di fuga, è probabilmente l'elemento maggiormente distintivo della filosofia progettuale post 9/11. Anche la modularizzazione tramite strutture gerarchiche si rivela una strategia che, analogamente alla compartimentazione della progettazione antincendio, previene o almeno ritarda la diffusione di un danno localizzato, e quindi il collasso progressivo.

La presenza di elementi e sottosistemi strutturali ridondanti, rispetto ai requisiti di rigidezza e resistenza nei confronti delle azioni laterali di progetto, che individuano percorsi alternativi per il carico, è anch'esso un tratto distintivo dell'attuale trend progettuale. Paradigmatica è la mutata concezione strutturale del sistema *outrigger* nel comportamento globale dell'edificio, da elemento funzionale alla stabilizzazione del nucleo e alla rigidezza laterale dell'edificio, a elemento strategico nella redistribuzione dei carichi e presidio nei confronti del collasso progressivo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. World Trade Center building performance study: Data collection, preliminary observations, and recommendations. Government Printing Office, 2002.
- [2] NIST NCSTAR1, Final Report on the Collapse of the World Trade Center Towers, Washington, U.S. government printing office, 2005, 302.
- [3] De Luca, A., Mele, E., Giordano, A., Grande, E. (2005). The collapse of WTC twin towers: General aspects and considerations on the stability under exceptional loading of columns with partial-strength connections. Improvement of Buildings' Structural Quality by New Technologies - Proceedings of the Final Conference of COST Action C12, 2005, pp. 341-349
- [4] De Luca, A., Di Fiore, F., Mele, E., Romano, A. (2003). The collapse of the WTC twin towers: preliminary analysis of the original design approach. Fourth International Conference STESSA 2003. Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas. 9-12 June 2003, Naples, Italy, pp. 81-87.
- [5] "How Columns Will Be Designed for 110-Story Buildings," Engineering News-Record, April 2, 1964
- [6] A. Rahimian, Y. Eilon, The Rise of One World Trade Center, Structure Magazine, 2012.
- [7] A. Rahimian, Y. Eilon, Rising to the Top, Modern Steel Construction, 2014.
- [8] Kenneth Lewis, Nicholas Holt, Case Study: One World Trade Center, New York, CTBUH Journal 2011 Issue III, 2011.
- [9] Rebirth: One World Trade Center, 2011.
- [10] Wood, A. Quenching and Self-Tempering (QST) Process for HISTAR® Steel. 88.
- [11] Xilin Lu, Yun Zou, Wensheng Lu and Bin Zhao, Shaking table model test on Shanghai World Financial Center Tower, Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com), 2006.
- [12] Paul Katz, Leslie E. Robertson, Case Study: Shanghai World Financial Center, CTBUH Journal, Tall buildings: design, construction and operation, Issue II, 2008.
- [13] Weixing Shi, Jiazeng Shan, Xilin Lu, Modal identification of Shanghai World Financial Center both from free and ambient vibration response, Engineering Structures 36, 2012, 14-26.
- [14] Shanghai World Financial Center - Office Floor | Office Leasing in China | Mori Building Co., Ltd. - MORI Building Available online: <https://www.mori.co.jp/en/office/china/swfc/outline.html> (accessed on 23 June 2021).
- [14] IBC 2003, International Building Code, 2003, 668.
- [15] ASCE/SEI 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2005, 419.
- [16] ACI 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2014.
- [17] AISC 360-05, Specification for Structural Steel Buildings, 2005, 518.
- [18] ASCE/SEI 41-13, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2013, 555.

- [19] FEMA 350, Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, 2000, 224.
  - [20] UFC 4-023-03, design of buildings to resist progressive collapse, 2016, 245.
  - [21] X. Zhaoa, J. M. Ding, H. H. Sun, Structural Design of Shanghai Tower for Wind Loads, Elsevier Ltd, 2011.
  - [22] D. Lungu, Pieter van Gelder, R. Trandafir, Comparative study of Eurocode 1, ISO and ASCE procedures for calculating wind loads.
  - [23] CNR-DT 214 /2018, Istruzioni per la valutazione della robustezza delle costruzioni.
  - [24] GSA General Services Administration, alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance, 2013.
  - [25] F. Parisi, N. Augenti, Influence of seismic design criteria on blast resistance of RC framed buildings: A case study, Elsevier Ltd, 2012.
  - [26] Meng-Hao Tsai, Bing-Hui Lin, Investigation of progressive collapse resistance and inelastic response for an earthquake-resistant RC building subjected to column failure, Engineering Structures, 2008.
- 

### **Francesco Esposito**



Dottorando in “Ingegneria Strutturale, Geotecnica e Rischio Sismico” presso il Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura (DiST) dell’Università di Napoli “Federico II”. Ha conseguito il titolo di ingegnere edile magistrale ad aprile 2020 con votazione di 110/110 e Lode e menzione alla carriera. Svolge attività di ricerca inerenti alla progettazione strutturale e al controllo delle vibrazioni.

### **Diana Faiella**



Assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura (DiST) dell’Università di Napoli “Federico II”. Ha conseguito i titoli di dottore di ricerca in “Ingegneria Strutturale, Geotecnica e Rischio Sismico” nel 2018 e di ingegnere edile nel 2014. Svolge attività di ricerca inerenti alla progettazione ed ottimizzazione strutturale, e al controllo delle vibrazioni.

### **Elena Mele**



Membro del Consiglio del CTA, professore ordinario di Ingegneria Strutturale presso l’Università di Napoli Federico II dal 2010, dove insegna Progetto di strutture in acciaio e Strutture per edifici alti, e svolge attività di ricerca su diverse tematiche inerenti le strutture metalliche, l’ingegneria sismica, il controllo delle vibrazioni, l’ottimizzazione strutturale.

# PARETI SISMO-RESISTENTI CONTROVENTATE CON BARRE PRETESE IN ACCIAIO ULTRA-ALTO RESISTENZIALE PER LE COSTRUZIONI LEGGERE IN ACCIAIO: IL PROGETTO “ECCEISA”

## SEISMIC-RESISTANT WALLS BRACED WITH PRE-TENSIONED ULTRA-HIGH-STRENGTH STEEL BARS FOR LIGHTWEIGHT STEEL CONSTRUCTIONS: “ECCEISA” PROJECT

Alessia CAMPICHE | Ph.D., Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples “Federico II”, Naples, Italy

Luigi FIORINO | Ass. Prof., Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples “Federico II”, Naples, Italy

Raffaele LANDOLFO\* | Full Professor, Department of Structures for Engineering and Architecture, University of Naples “Federico II”, Naples, Italy

In linea con le tendenze degli ultimi anni, che prevedono l'utilizzo di costruzioni altamente performanti ed a basso impatto, è appena terminato un progetto di ricerca dal nome “ECCEISA”, svolto in collaborazione tra l'Università di Napoli “Federico II” e l'azienda calabrese Lamieredil S.p.A. Il progetto ha avuto come principale obiettivo lo sviluppo di soluzioni innovative per le costruzioni leggere in acciaio, finalizzate all'ottenimento di elevate prestazioni strutturali, termiche e ambientali. A tal fine è stato concepito un nuovo sistema parete sismo-resistente, che consiste principalmente in una parete costituita da profili in acciaio formato a freddo controventata da barre di acciaio ultra-alto resistenziale pre-tese, poste in configurazione a “V”. Oltre allo sviluppo del sistema sismo-resistente, nell'ambito del progetto sono state studiate anche diverse soluzioni per l'involucro edilizio, che riducono i ponti termici e migliorano le prestazioni energetiche dell'intero edificio. Lo sviluppo del sistema parete sismo-resistente è stato condotto attraverso un approccio basato principalmente sulla sperimentazione fisica, che ha previsto un'ampia campagna sperimentale con prove di trazione sui materiali strutturali, prove di rilassamento sull'acciaio ultra-alto resistenziale, prove di trazione sull'assemblaggio barra-dado e prove su pareti in scala reale. Le prove sperimentali sono state condotte presso il Laboratorio del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università degli Studi di Napoli “Federico II”. I risultati sperimentali ottenuti hanno evidenziato una risposta soddisfacente della parete in termini di rigidità, resistenza e capacità di deformazione, confermando le previsioni teoriche. Come step conclusivo del progetto, al fine di validare le soluzioni sviluppate nonché analizzare i processi produttivi e la fase esecutiva, è stato costruito un edificio prototipo di due piani, progettato interamente in ambiente BIM e realizzato con l'ausilio di tecnologie di produzione CAD/CAM. termico ed acustico, lo studio delle combinazioni di accoppiamento tipiche dei sistemi a multistrato e a sandwich.

*In line with the construction market trends of recent years, which envisage the use of high-performance and low-impact constructions, an Italian research project developed in cooperation between the University of Naples “Federico II” and the company Lamieredil SpA, called “ECCEISA”, has just finished, which had as main objective the development of innovative solutions for lightweight steel constructions with higher structural, thermal and environmental performance. To this end, a new seismic-resistant system was developed, which mainly consists of a cold-formed steel frame braced by pre-tensioned ultra-high-strength steel bars, placed in a “V” configuration. In addition, several solutions have been developed for the building envelope, which minimize thermal bridges and improve the energy performance of the whole building.*

*The development of the innovative wall system has been carried out through an experimental campaign, which consisted of tensile tests on structural materials, creep tests on ultra-high strength steel, tensile tests on the bar-nut assembly and tests on full-scale walls. The experimental tests were carried out at the Laboratory of the Department of Structures for Engineering and Architecture of the University of Naples “Federico II”. The experimental results obtained showed a satisfactory response in terms of stiffness, strength, and deformation capacity, confirming the theoretical predictions.*

*Lastly, to demonstrate the validity of the solutions developed and analyse the production processes and the execution phase, a two-storey prototype building was completely designed in BIM environment and built through the help of CAD/CAM production technologies.*

\*Corresponding Author: landolfo@unina.it

## 1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni la richiesta crescente del mercato di costruzioni altamente performanti ed a basso impatto ha spesso orientato la scelta verso soluzioni competitive ed ecologiche, quali le costruzioni leggere in acciaio (LWS), basate sull'utilizzo di profili sottili piegati a freddo (CFS). Infatti, è oramai risaputo che le soluzioni LWS offrono notevoli vantaggi, derivanti sia dalle peculiarità delle strutture in CFS (leggerezza, alte prestazioni strutturali, semplicità di assemblaggio e disassemblaggio) sia dalle peculiarità delle soluzioni a secco (tempi di esecuzione e produzione di rifiuti ridotti, qualità dei prodotti controllata), che rendono queste soluzioni veramente competitive. Inoltre, il possibile utilizzo di materiali riciclati, la flessibilità dei sistemi e il possibile riutilizzo degli elementi garantiscono anche un basso impatto ambientale. Le caratteristiche appena elencate evidenziano la necessità di concepire modalità d'intervento integrate, finalizzate all'ottenimento di edifici strutturalmente sicuri e caratterizzati da ridotti impatti ambientali, con condizioni di comfort adeguate alle esigenze dei fruitori nonché bassi consumi energetici durante la fase di esercizio. Tale esigenza va letta, inoltre, in riferimento anche alle linee programmatiche della ricerca europea prevalentemente fondate sulla "questione energetica" (cfr. Direttive 2010/31/UE e 2012/27/UE), in cui la tematica relativa ai Net Zero Energy Building si colloca all'interno della "traiettoria tecnologica" relativa alla sicurezza, alla qualità architettonica e all'efficienza energetica degli edifici. Con questi presupposti è stato sviluppato il progetto di ricerca presentato in questa memoria, dal nome "Edifici Costruiti Con Elementi a Secco e profili in Acciaio" (ECCEISA), finanziato nell'ambito del POR Calabria FESR- FSE 2014-2020 Asse I- Promozione della ricerca e dell'innovazione e che vede come partner industriale l'azienda calabrese Lamieredil S.p.A. e come partner scientifico il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli "Federico II".

Il progetto ha avuto come principale obiettivo lo sviluppo di un sistema costruttivo basato su pareti sismo-resistenti innovative con alte prestazioni energetiche ed ambientali, costituite da elementi in CFS controventati attraverso barre pretese in acciaio ultra-alto resistenziale (UHS). Il sistema costruttivo è stato inoltre studiato anche dal punto di vista energetico ed ambientale, allo scopo di ottimizzare le performance attraverso lo sviluppo di possibili soluzioni di completamento ad alte prestazioni ambientali, termiche ed energetiche, e l'utilizzo di nuove tecnologie per ridurre tempi di produzione e sprechi. Pertanto, nell'ambito delle costruzioni leggere in acciaio, i principi ispiratori del Progetto ECCEISA sono stati:

- Miglioramento del sistema strutturale, con particolare riferimento alla risposta sismica, mediante soluzioni innovative ad elevata resilienza e caratterizzate dall'uso di acciai UHS, non presenti nelle attuali produzioni industriali edilizie.
- Sviluppo di una soluzione integrata capace di raggiungere una sostenibilità ottimale, in termini di sicurezza e di efficienza ambientale, mediante soluzioni avanzate di integrazione tra strumenti per la progettazione innovativi (BIM) e tecnologie di produzione (CAD/CAM), orientate alla concezione di elementi multifunzionali con adeguato isolamento, che consentono la massima semplicità ed il minimo tempo di produzione/

assemblaggio, il risparmio di materiale e di rifiuti durante l'intero processo di costruzione, il ridotto consumo energetico sull'intero ciclo di vita.

La validazione del *concept* e delle diverse scelte progettuali è avvenuta preliminarmente attraverso una estesa campagna sperimentale, che ha riguardato sia i materiali di base sia la parete nel suo complesso, e successivamente attraverso la realizzazione di un edificio prototipo in scala reale che potrà anche essere oggetto di futuri test e monitoraggi. Il presente articolo illustra tutte le attività condotte nell'ambito del progetto di ricerca ECCEISA. In particolare, si descrive il sistema parete sismo-resistente sviluppato, fornendo i dettagli dei principi ispiratori utilizzati, si illustra in dettaglio la campagna sperimentale condotta, analizzando i risultati ottenuti, si riassumono le scelte tecnologiche adottate per l'involucro e si presenta infine il progetto e la fase realizzativa dell'edificio prototipo.

## 2. IL SISTEMA SISMORESISTENTE

Come obiettivo principale, il progetto ECCEISA ha curato lo sviluppo di un sistema sismo-resistente innovativo, capace di migliorare le prestazioni strutturali dei sistemi più tradizionali usati nell'ambito delle costruzioni LWS, in modo da superarne le criticità ed ottemperare alle richieste del mercato delle costruzioni che diventano sempre più esigenti. Il sistema sismo-resistente concepito è un elemento verticale bidimensionale (parete), il cui telaio è composto da profili in CFS, controventati con barre diagonali pretese in acciaio ultra-alto resistenziale (UHS) opportunamente collegate al telaio ed alle strutture circostanti. Le principali innovazioni offerte dal sistema sviluppato consistono nell'utilizzo dell'acciaio UHS, non ancora particolarmente utilizzato nel settore dell'ingegneria civile, e nella pre-trazione delle barre. Infatti, l'utilizzo dell'acciaio UHS garantisce un incremento di resistenza alle azioni orizzontali, senza però ottenere sezioni con dimensioni troppo grandi, mentre la pre-trazione assicura che le diagonali lavorino entrambe, almeno fino al superamento del valore di pre-trazione, e che gli spostamenti globali della parete siano contenuti. Un esempio di parete sviluppata, avente la stessa geometria di quelle oggetto di sperimentazione (altezza di 2800 mm e larghezza di 2400 mm) è presentata in figura 1.

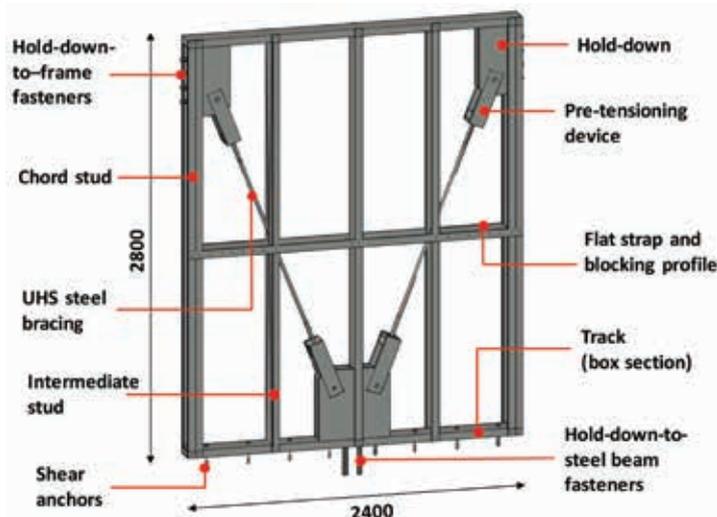


Fig. 1 | Parete sismo-resistente sviluppata

In particolare, nella parete sviluppata, il controventamento laterale è fornito da due barre diagonali, inclinate rispetto alla direttrice orizzontale di 68° circa, poste in configurazione a “V”, che presentano una sezione circolare variabile, con la parte centrale rastremata, e sulle quali viene applicata una pre-trazione. Per poter effettuare la pre-trazione, che avviene mediante il serraggio di dadi, le barre sono filettate alle due estremità. L'acciaio UHS utilizzato per le barre presenta tensioni nominali di snervamento,  $f_y = 1300$  MPa, e di rottura,  $f_u = 1450$  MPa.

Il dispositivo di pre-trazione è formato da tre piastre saldate tra loro e poste in configurazione ad “U”, la cui base è opportunamente forata per ospitare la barra, che viene poi fissata e pretesa attraverso dei dadi. Le dimensioni sono state progettate per consentire l'inserimento dei dispositivi di serraggio. L'altro elemento di connessione, progettato affinché trasmetta i carichi in fondazione ed eviti il ribaltamento della parete per azioni orizzontali, chiamato *hold-down*, presenta una sezione composta da tre piatti verticali e un piatto di base con spessori variabili tra 20 e 30 mm. Per le piastre del dispositivo di pre-trazione e quelle dell'*hold-down* è stato utilizzato un acciaio di tipo S355, con tensione nominale di snervamento,  $f_y = 355$  MPa, e di rottura,  $f_u = 470$  MPa. La connessione tra il dispositivo di pre-trazione e l'*hold-down* avviene mediante un perno in acciaio, che costituisce una cerniera cilindrica in modo da consentire libere rotazioni nel piano della parete.

Il telaio principale è costituito da elementi verticali, detti montanti (intermediate studs e chord studs), e da elementi orizzontali, detti guide (*tracks*). I montanti presentano una tipica sezione a C con ali irrigidite e sono posti ad un interasse di 600 mm. Alle estremità della parete, per i cosiddetti montanti di corda (*chord studs*), si utilizzano, invece, profili a C accoppiati per aumentarne la capacità. Per le guide si impiegano sezioni scatolari, formate da profili a C e a U saldati tra loro. Per guide e montanti si è utilizzato l'acciaio di tipo S280GD+Z, con tensione nominale di snervamento  $f_y = 280$  MPa e di rottura,  $f_u = 360$  MPa. Per diminuire la lunghezza libera d'inflessione dei montanti sono state inseriti, a metà altezza della parete, due piatti orizzontali (flat straps) e due elementi con sezione scatolare (*blocking profiles*) opportunamente collegati ai montanti attraverso delle viti auto perforanti.

Per garantire diversi livelli di capacità laterale della parete, in funzione delle esigenze di progetto, sono state progettate tre diverse configurazioni di parete, denominate: parete leggera (L), parete media (M) e parete pesante (H). Non essendo il sistema sviluppato già codificato dalla normativa vigente, sono state seguite le prescrizioni normative previste nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) e le relative istruzioni, Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 (Circolare 2019) per i sistemi non dissipativi, che suggeriscono un fattore di comportamento compreso tra 1,0 ed 1,5. In particolare, è stato scelto un fattore di comportamento pari ad 1,0. Volendo però, altresì, investigare il comportamento plastico del sistema, la progettazione è stata eseguita seguendo le regole di gerarchia delle resistenze, individuando come elemento dissipativo la barra in trazione.

Pertanto, per effetto della pre-trazione conferita inizialmente e della rastremazione delle barre diagonali, è possibile individuare, all'incrementare della forza orizzontale esterna agente, tre diverse

fasi comportamentali. Nella prima fase, corrispondente a forze orizzontali relativamente modeste, entrambe le barre sono tese, esibiscono un comportamento elastico e contribuiscono insieme alla rigidezza laterale della parete. Ovviamente, al crescere della forza orizzontale esterna, per effetto della geometria a “V” delle barre, il regime di trazione conferito inizialmente subirà una variazione, con decremento della trazione nella barra in cui la componente orizzontale dello sforzo è discorde alla forza esterna e con incremento della trazione nell'altra barra.

La prima fase comportamentale termina quando il decremento della trazione nella barra è tale da annullare tutta la pre-trazione iniziale. Da questo punto in poi, corrispondente all'inizio della seconda fase, caratterizzata da valori più elevati della forza esterna, una sola barra tesa è attiva, essa esibisce ancora un comportamento elastico e contribuisce da sola alla rigidezza laterale della parete, che risulta dunque inferiore alla rigidezza della prima fase.

È opportuno precisare che il dispositivo di pre-trazione è tale da impedire che le barre vadano in compressione e, dunque, impedisce la possibile perdita di rettilineità della barra, dovuta al fenomeno di instabilità. La seconda fase termina con il raggiungimento del limite elastico nella barra tesa che, per effetto della rastremazione, si verifica nella parte centrale rastremata.

Pertanto, nella terza fase comportamentale, contraddistinta da valori della forza esterna prossimi a quelli massimi compatibili con la capacità portante della parete, una sola barra tesa è attiva, è sollecitata in campo anelastico incrudente, e, di conseguenza, restituisce una rigidezza laterale della parete ulteriormente ridotta. La terza fase comportamentale termina con la rottura della barra tesa attiva nella parte centrale rastremata.

La lunghezza della parte rastremata delle barre è stata progettata in modo tale da assicurare alla parete un angolo di spostamento di interpiano a rottura pari ad almeno al 2,5%.

Pertanto, imponendo un allungamento massimo della parte rastremata compatibile con la deformazione a rottura del materiale (0,003) è stata individuata una lunghezza pari a circa 1100 mm per le configurazioni “Leggera” e “Media” e 1150 mm per la configurazione “Pesante”. I diametri scelti per le barre, la pre-trazione applicata e le resistenze di progetto per le varie configurazioni di parete sono riassunte in tabella 1.

È opportuno precisare che per garantire il comportamento trifase, con particolare riferimento alla terza fase (comportamento plastico) il sistema deve garantire una adeguata sovraresistenza. In questo ambito, uno specifico studio è stato necessario al fine di evitare il collasso per rottura fragile nella zona terminale di serraggio della barra (sistema di assemblaggio barra-dado).

Tutti gli altri elementi non dissipativi della parete, quali dispositivi di pre-trazione, *hold-down*, guide e montanti, sono stati progettati in modo da essere sovraresistenti rispetto alle diagonali. La resistenza di progetto di montanti e guide, dei dispositivi di pre-trazione e *hold-down* è stata valutata attraverso le prescrizioni delle NTC2018 [1] e della Circolare 2019[2].

Tab. 1:

Diametri dei controventi, pre-trazione applicata e resistenze di progetto per le varie configurazioni di parete

Configurazione	$d_i^{(1)}$ [mm]	$d_i^{(2)}$ [mm]	$d_c^{(3)}$ [mm]	$f_{pt}$ [MPa]	$H_{y,d}^{(1)}$ [kN]
Leggera (L)	16	20	21	300	83
Media (M)	19	24	26	250	117
Pesante (H)	24	30	31	250	199

(<sup>1</sup>)  $d_i$  = diametro minimo della barra; (<sup>2</sup>)  $d_i$  = diametro della parte filettata, (<sup>3</sup>)  $d_c$  = diametro massimo della barra

### 3. LA CAMPAGNA SPERIMENTALE

La campagna sperimentale è stata condotta presso il laboratorio del Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura dell'Università di Napoli "Federico II". In particolare, la risposta laterale delle pareti sismo-resistenti è stata valutata mediante l'esecuzione di 4 prove monotone e 3 cicliche su prototipi in scala reale. In aggiunta, con lo scopo di valutare l'influenza del comportamento dei principali componenti strutturali sulla risposta laterale del sistema sismo-resistente, la sperimentazione è stata completata con prove sui materiali e sui sistemi di assemblaggio barra-dado. Il programma di prova completo è riassunto in tabella 2.

Tab. 2:

Programma di prova

PROVE SUI MATERIALI		Provino	S3	S4	S20	S25	S30
		Spessore	3	4	20	25	30
		Grado acciaio	S280	S280	S355	S355	S355
		No. prove	3	3	3	3	3
PROVE SUI MATERIALI		Provino	TL	TM	TH		
		Grado acciaio	UHS1300	UHS1300	UHS1300		
		No. prove	3	3	3		
PROVE SU ASSEMBLAGGI BARRA-DADO		Provino	D1-10	D1-12	D2-10		
		Classe dadi	10	12	10		
		No. dadi	1	1	2		
		No. prove	2	3	3		
PROVE SU PARETI IN SCALA REALE		Provino	WL	WM			
		No. Prove monotone	2	1			
		No. Prove cicliche	1	1			

### 3.1 Prove sui materiali

La caratterizzazione meccanica dei materiali impiegati per la realizzazione della parete consta di prove a trazione convenzionali su tutte le tipologie di materiali strutturali e prove di rilassamento sull'acciaio UHS, necessarie per la determinazione delle proprietà viscoso dello stesso. In particolare, le prove di trazione hanno riguardato i materiali impiegati per la realizzazione delle membrature della parete (S280GD + Z.), per le barre di controvento (UHS1300), per il dispositivo di pre-trazione e per il dispositivo hold-down (S355). In particolare, sono state condotte 3 prove convenzionali a trazione in accordo alla EN ISO 6892-1:2009 (Allegato B) [3] per ciascun spessore adottato, per un totale di 24 prove. Una tipica prova di trazione su un provino di acciaio UHS illustrata in figura 2.

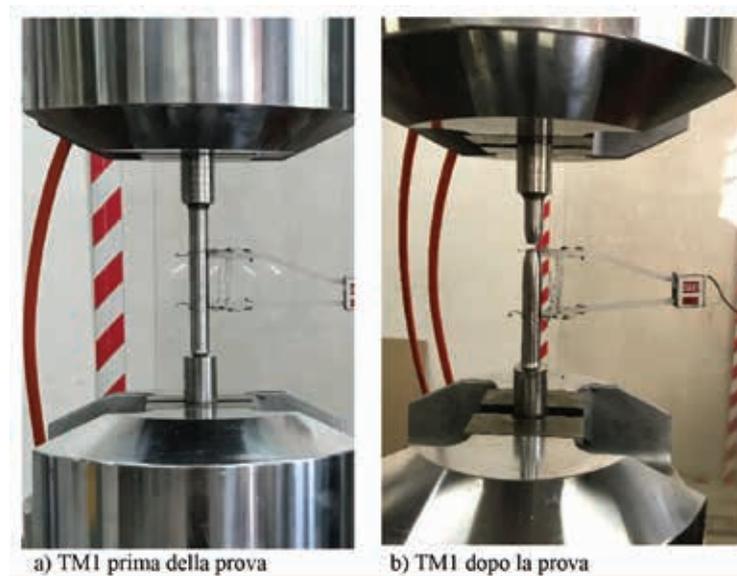


Fig. 2 | Prova di trazione su TM1 e S3:1

Poiché il sistema parete sismo-resistente prevede diagonali pretese in acciaio UHS, è importante valutare le proprietà viscoso del materiale, ancora poco investigate in letteratura. A tale scopo, nel progetto di ricerca sono stati condotti due test di rilassamento in camera a temperatura controllata, pari a 23°C. I provini sono costituiti da due barre di acciaio UHS con diametro di 26 mm e lunghezza di 1200 mm. Le barre presentano le estremità filettate per consentire la pre-trazione attraverso il serraggio dei dadi. Entrambi i provini sono stati precaricati con una coppia di serraggio di 800 Nm, corrispondente ad una pre-trazione di 175 kN, pari a circa il 50% del carico limite elastico. Per l'esecuzione delle prove di rilassamento è stato progettato uno specifico set-up, costituito da un tubolare di sezione 152,4 x 11 mm (diametro x spessore), di lunghezza 1200 mm, coassiale alla barra da provare, e dei profili saldati a forma di T aventi spessore 30 mm. I campioni sono stati dotati di un comparatore centesimale solidale ad un punto prossimo ad una estremità della barra che, collegato ad un rinvio prossimo all'altra estremità attraverso un filo invar, consente di misurare le deformazioni nel tempo su una base di misura di 800 mm. La figura 3 mostra i campioni utilizzati per le prove ed il set-up sviluppato. Le prove sono ancora in corso, ma

i risultati preliminari mostrano una caduta di tensione di circa il 10% a 16 mesi.

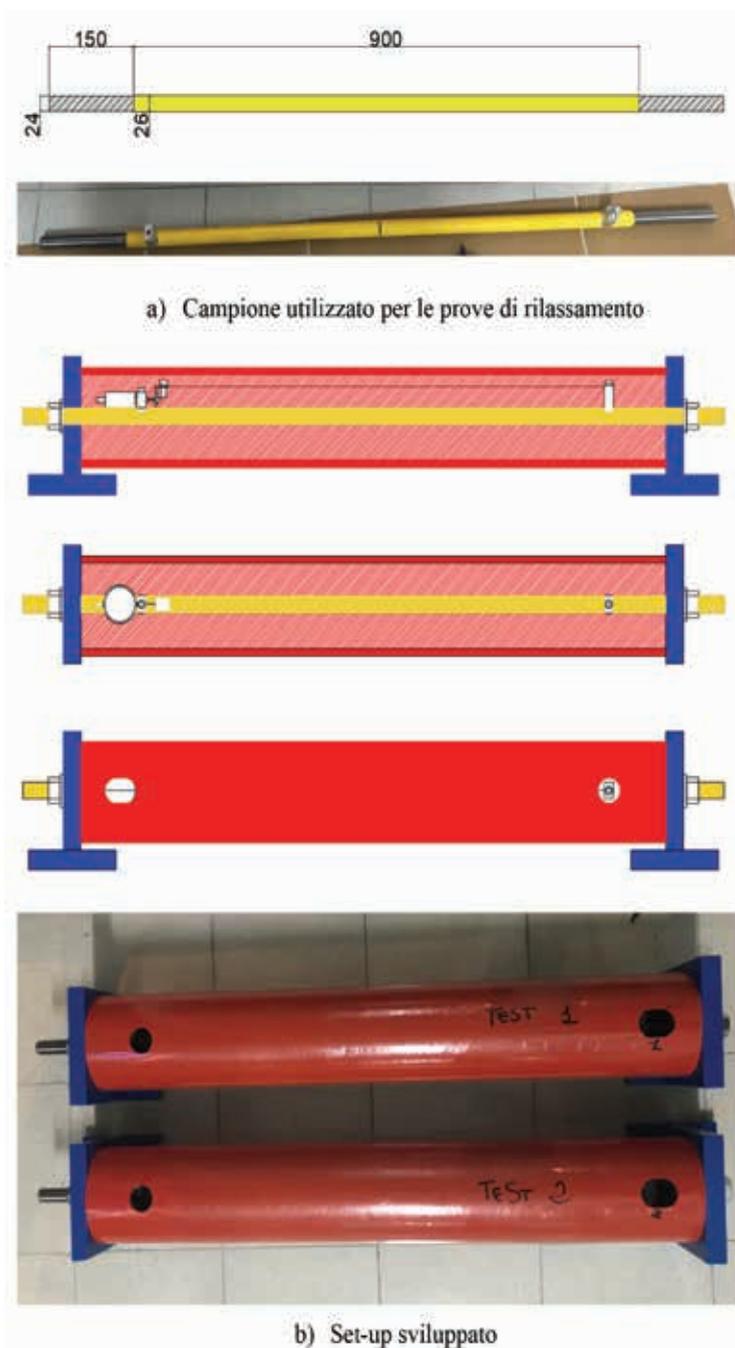


Fig. 3 | Campione utilizzato per le prove di rilassamento e set-up sviluppato

### 3.2 Prove su assemblaggio barra-dado

Dalla letteratura [4] è ben noto che la resistenza del dado potrebbe essere inferiore alla resistenza del bullone, in caso di bulloni ad alta resistenza. Poiché l'assemblaggio tra dado e barra in acciaio UHS non è codificato e il comportamento del sistema parete può essere influenzato dalla rottura fragile nella zona terminale di serraggio della barra, sono state eseguite una serie di 8 prove su diverse configurazioni barra-dado. In particolare, le prove sperimentali miravano a selezionare la Classe del dado (10 o 12) e il numero di dadi (1 o 2) da utilizzare, in modo da scongiurare possibili

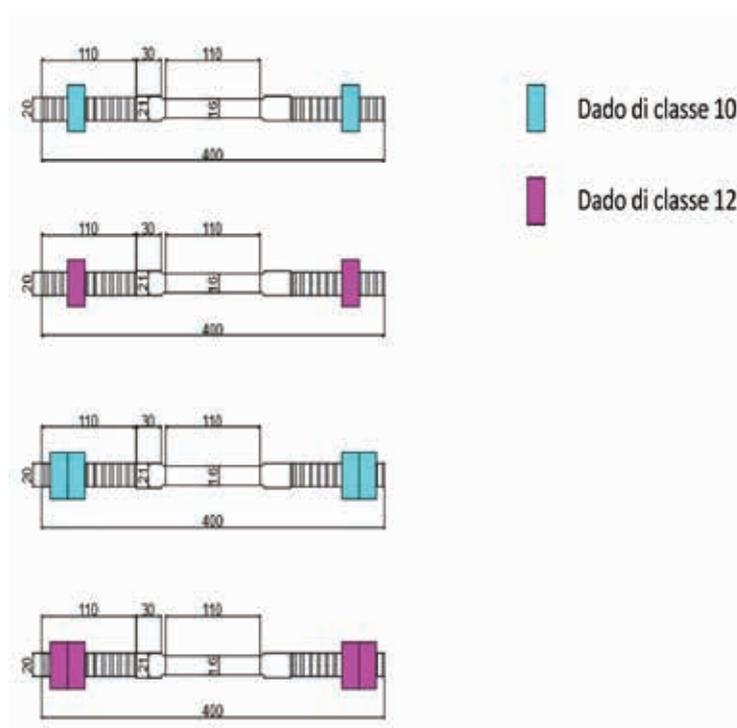


Fig. 4 | Provini per le prove su assemblaggi barra dado

rotture fragili. I test sono stati eseguiti utilizzando una macchina universale di prova. In particolare, i provini sono stati sottoposti a spostamenti imposti ad una velocità di 0,05 mm/s senza alcun precarico dovuto al serraggio. Nella figura 4 sono mostrati tutti i tipi di provini sperimentati.

Il *set-up* sviluppato per le prove su a ssemblaggi barra-dado, illustrato in figura 5, consiste in una coppia di profili saldati scatolari in acciaio posti in trazione dalla macchina di prova, in cui viene inserito il provino. Le piastre degli involucri sono state progettate con spessori tali da non deformarsi sensibilmente durante le prove.

I risultati per tutti i provini in termini di curva forza-spostamento sono presentati nella figura 6, dove  $F$  rappresenta il carico misurato, mentre  $d$  rappresenta lo spostamento imposto. In accordo ai risultati sperimentali, tutti gli assemblaggi con un dado di Classe 10 (D1\_10\_1 e D1\_10\_2) hanno mostrato la rottura del dado e la resistenza ultima a trazione della barra non è stata raggiunta. Al contrario, per tutti i provini con due dadi di Classe 10 (D2\_10\_1, D2\_10\_2 e D2\_10\_3) o con un dado di Classe 12 (D1\_12\_1, D\_1\_12\_2 e D1\_12\_3) si è verificata la rottura a trazione della barra. Partendo dunque dai risultati delle prove sugli assemblaggi barra-dado, sembrava possibile utilizzare per il sistema parete la soluzione che prevedeva l'utilizzo di un dado di Classe 12. Tuttavia, a causa degli effetti negativi della pre-trazione e delle imperfezioni, presenti nel sistema parete e non considerati esplicitamente nelle prove sugli assemblaggi barra-dado, questa scelta non ha avuto successo, e nella prima prova sul sistema parete, nella quale è stata adottata la soluzione con un dado di Classe 12, la risposta è stata condizionata dalla rottura del dado. Per questo motivo in tutte le prove successive alla prima sono stati adottati due dadi di Classe 12.

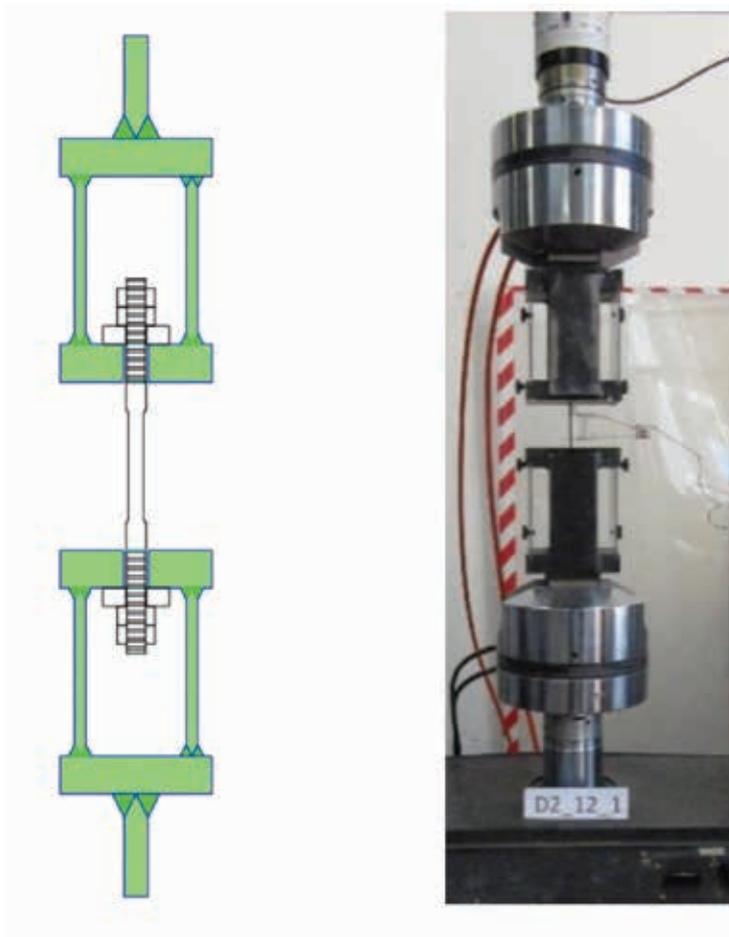


Fig. 5 | Set-up per i test su assemblaggi barra-dado

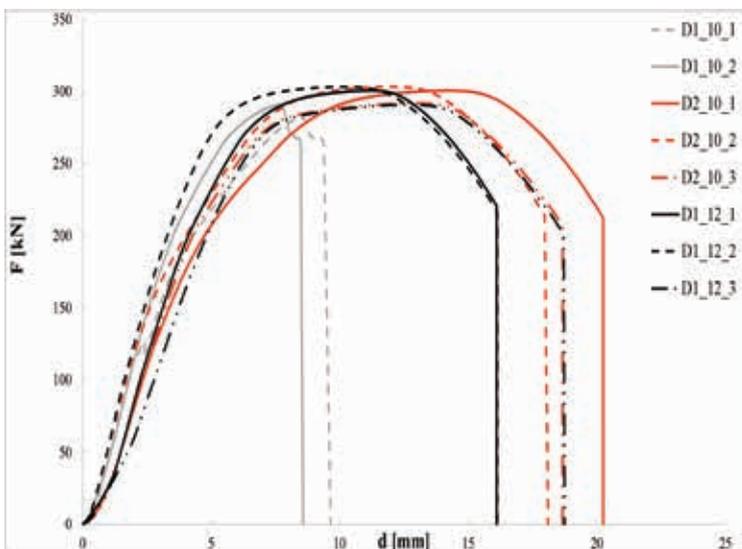


Fig. 6 | Risultati dei test su assemblaggi barra-dado

### 3.3 Prove in scala reale sui prototipi del sistema sismo-resistente

La fase principale dell'attività sperimentale è stata la valutazione del comportamento sismico del sistema parete. A tale scopo sono state eseguite 5 prove quasi-statiche, di cui 3 monotone e 2 cicliche, su provini scala reale di pareti aventi lunghezza di 2400 mm e

altezza di 2800 mm. Sono state provate le pareti rappresentative delle configurazioni "Leggera" (L) e "Media" (M) sviluppate nelle fasi iniziali del Progetto (figura 7).



Fig. 7 | Pareti provate: configurazione L (a) e M (b)

Il programma di prova è riassunto nella tabella 3, nella quale vengono mostrati, per ciascun prototipo, la relativa configurazione (Leggera o Media), il tipo di carico (monotono o ciclico) e il numero di prove condotte per ciascuna tipologia di prototipo. Per la sola configurazione "Leggera" sono state eseguite due diverse prove, nelle quali i prototipi differivano per il solo sistema di accoppiamento barra-dado adottato, un dado di Classe 12 nel prototipo M\_L1 e due dadi di Classe 12 nel Prototipo M\_L2. Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato un set-up già disponibile in laboratorio per prove di pareti con azioni agenti nel piano dell'elemento.

Sei LVDT e due potenziometri sono stati utilizzati per misurare gli spostamenti della parete. In particolare, sono stati installati tre LVDT (L1, L2 e L3) per registrare gli spostamenti orizzontali e verticali dell'*hold-down* inferiore, due LVDT (L4 e L5) per gli spostamenti verticali della trave superiore, un LVDT (L6) e un potenziometro (P2) per gli spostamenti verticali e orizzontali di un *hold-down* superiore e un potenziometro (P1) per gli spostamenti orizzontali in testa alla parete.

Le deformazioni in punti selezionati delle barre diagonali e delle membrature sono state misurate mediante quattordici *strain gauge*. In particolare, su ciascuna diagonale sono stati installati due *strain gauge* (SG1 e SG2 applicati in prossimità della sezione di mezzeria della barra, dove il diametro è ridotto, e SG3 e SG4 applicati in prossimità della sezione di estremità della barra, dove la sezione è maggiore); quattro *strain gauge* sono stati posizionati sul montante intermedio in due diverse sezioni prossime alle estremità dell'elemento (SG5 e SG6 estremità superiore, SG7 e SG8 estremità inferiore) e sei *strain gauge* sono stati posizionati su un montante di corda, sempre in prossimità delle sezioni di estremità (SG9, SG10 e SG11 estremità superiore e SG12, SG13 e SG14 estremità inferiore). La posizione della strumentazione è mostrata in figura 8. Una cella di carico è stata utilizzata per misurare la forza applicata.

Tab. 3: Programma delle prove su pareti in scala reale

Prototipo	Configurazione	Tipo di carico	Numero di prove
M_L1 e M_L2	Leggera	Monotona	2
M_M1	Media	Monotona	1
C_L1	Leggera	Ciclica	1
C_M1	Media	Ciclica	1

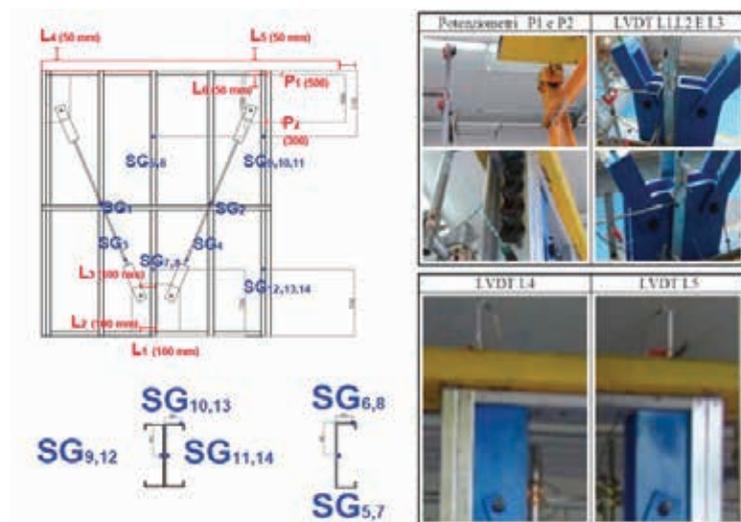


Fig. 8 | Strumentazione utilizzata per le prove su pareti

I risultati delle prove monotone hanno confermato che globalmente il comportamento laterale della parete è descritto dalle tre diverse fasi comportamentali descritte al Paragrafo 2 e, di conseguenza, le curve di risposta forza-spostamento sono caratterizzate da tre differenti rami (figura 9):

- (1) Prima fase: entrambe barre tese attive elastiche, con ramo della curva di risposta caratterizzato da rigidità iniziale  $k_1$ , massimo valore della forza  $H_1$  e massimo valore dell'angolo di spostamento di interpiano  $dr_1$ ;
- (2) Seconda fase: una sola barra tese attiva elastica, con ramo della curva di risposta caratterizzato da rigidità  $k_2$ , massimo valore della forza  $H_2$  e massimo valore dell'angolo di spostamento di interpiano  $dr_2$ ;
- (3) Terza fase: una sola barra tese attiva anelastica inelastica, con ramo della curva di risposta caratterizzato da rigidità  $k_3$ , massimo valore della forza  $H_3$  e massimo valore dell'angolo di spostamento di interpiano  $dr_3$ .

Per quanto concerne i meccanismi di collasso, è stato possibile constatare che, se vengono adottati due dadi di Classe 12 si ottiene la rottura a trazione della barra tesa nella parte rastremata (figura 10), mentre nella soluzione con un solo dado di Classe 12, adottata nel solo prototipo M\_L1, non è stata evitata la rottura del dado, che ha provocato un comportamento relativamente più fragile a livello di risposta globale del sistema parete.

La figura 11 presenta le curve di risposta, forza laterale applicata (H) - angolo di spostamento di interpiano (dr), ottenute dalle prove monotone (M\_L1, M\_L2, M\_M1). È possibile osservare che in tutti

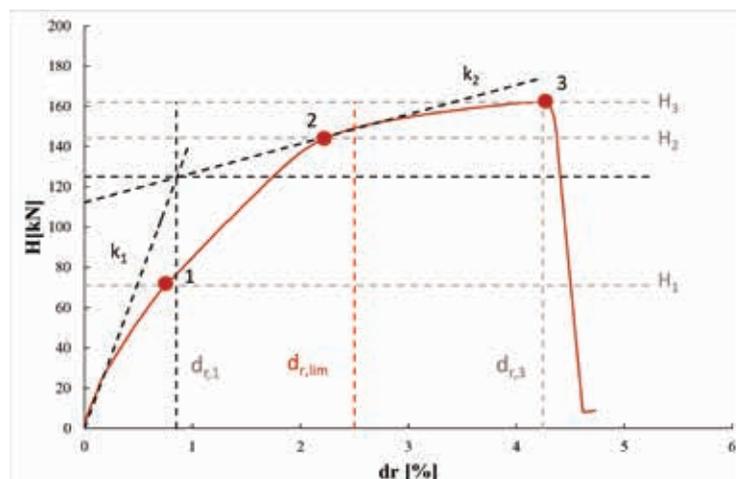


Fig. 9 | Tipica curva di risposta monotona

i casi la capacità deformativa delle pareti ha superato l'angolo di spostamento di interpiano minimo ( $dr_{lim}$ ) previsto nella fase di progettazione, pari al 2,5%.

In aggiunta, il prototipo rappresentativo della configurazione "Media" esibisce un comportamento più resistente e rigido rispetto al prototipo rappresentativo della configurazione "Leggera", confermando le previsioni progettuali. Si nota, infine, che ad una risposta più resistente e rigida (configurazione "Media", prototipo M\_M1) è associata una minore capacità deformativa rispetto a quella ottenuta per la configurazione meno resistente e rigida (configurazione "Leggera", prototipo M\_L1), la cui capacità



Fig. 10 | Collasso per rottura a trazione del controvento

deformativa è ridotta a causa della rottura fragile del dado.

Le prove cicliche sono state effettuate adottando un protocollo di carico noto come "CUREE test protocol" sviluppato per le pareti in legno da Krawinkler et al. [5] e adattato alle pareti LWS con controventi ad X da Velchev et al. [6] (figura 12).

I risultati delle prove cicliche sono illustrati in termini di curve H-dr in figura 13. Tali curve cicliche presentano un comportamento piuttosto simmetrico per spostamenti relativamente più piccoli

mentre, per spostamenti maggiori, il collasso avvenuto durante la fase di spinta (spostamenti positivi) ha dato luogo al termine della prova, senza la possibilità di proseguire la prova in tiro.

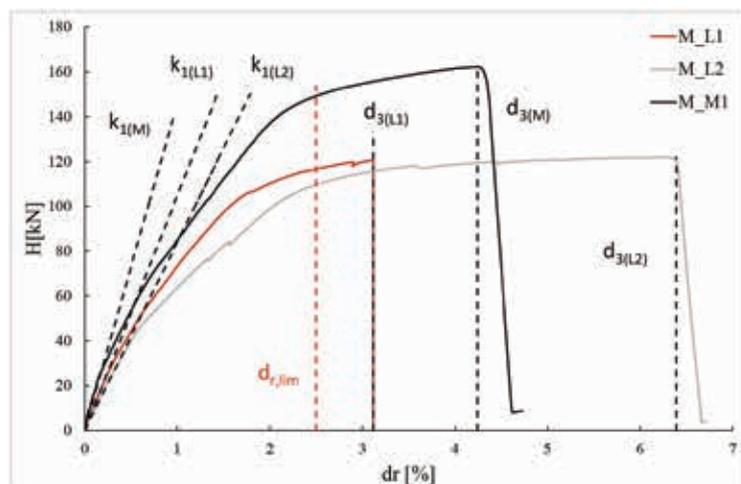


Fig. 11 | Curve monotone ottenute

Pertanto, durante le prove cicliche il tipico comportamento caratterizzato dalle tre fasi comportamentali è emerso chiaramente solo in fase di tiro. Per entrambe le configurazioni “Leggera” e “Media” il collasso è avvenuto per trazione della barra, secondo il meccanismo desiderato. Analogamente alle prove monotone, sono state ottenute le resistenze di progetto previste ed è stato possibile osservare che la capacità deformativa delle pareti ha superato l’angolo di spostamento di interpiano minimo del 2,5%, mostrando un valore massimo compreso tra 2,6% (Parete “Media”) e 3,3% (Parete “Leggera”), che però risultano ridotti rispetto a quelli ottenuti nelle prove monotone. Pertanto, è possibile concludere che il protocollo ciclico non influenza molto la resistenza della parete, ma influisce sulla capacità di spostamento in maniera non trascurabile.

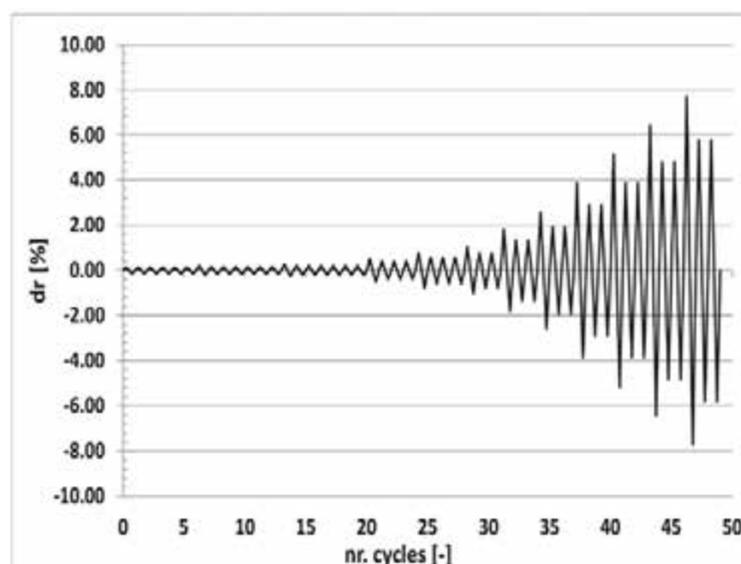


Fig. 12 | Protocollo ciclico CUREE adottato per le prove

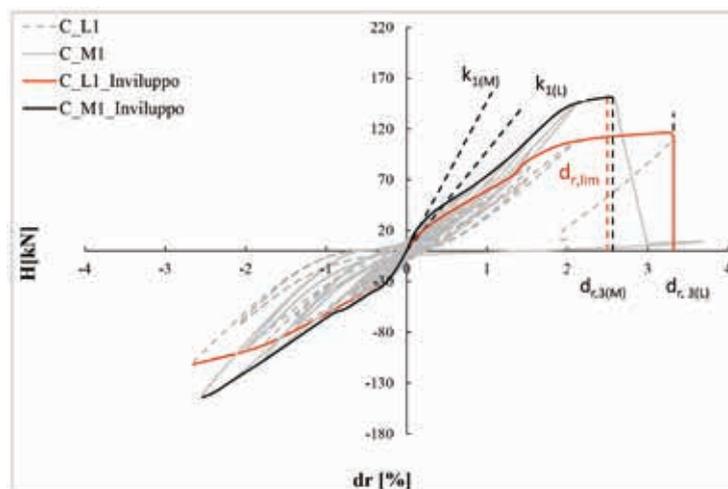


Fig. 13 | Risultati di risposta ciclica ottenuta per la parete leggera e media

#### 4. LE ANALISI TERMICHE ED ENERGETICHE

Il progetto di ricerca annoverava tra gli obiettivi anche l’analisi e lo sviluppo di possibili sistemi di involucro con elevate prestazioni energetiche per strutture LWS, attraverso la selezione di particolari tipi di materiali e prodotti, principalmente impiegati sotto forma di pannelli rigidi o flessibili, al fine di garantire per l’edificio la quasi totale autosufficienza in termini di consumi energetici. A tal uopo, è stato effettuato un vasto studio per la scelta dei materiali più adatti, in base alla zona climatica in cui sorge la costruzione, in modo da magnificare le prestazioni termiche del sistema e, quindi energetiche, dell’intero edificio. Lo studio termico dell’involucro è stato condotto seguendo due diversi approcci: in prima istanza si è effettuata un’analisi basata sul rispetto delle prescrizioni normative, poi, con maggiore grado di dettaglio, sono state effettuate analisi termiche più raffinate condotte con il software COMSOL [7], considerando anche la puntuale presenza dei ponti termici di varia natura.

Per le superfici verticali opache, quindi per le tamponature, sono state sviluppate due diverse stratigrafie con sistema a cappotto (figura 14a) o con facciata ventilata (figura 14b). Le due stratigrafie differiscono per spessore, prestazioni termiche e modalità di esecuzione: la soluzione a cappotto presenta uno spessore totale di circa 35 cm, una resistenza termica totale di 6,7 m<sup>2</sup>K/W ed una finitura più tradizionale, non a secco; la soluzione con facciata ventilata presenta uno spessore di circa 40 cm, una resistenza termica totale di 7,1 m<sup>2</sup>K/W ed una finitura completamente a secco. Al contrario, per le superfici orizzontali opache, solai e copertura, tenuto conto che la variazione della stratigrafia impatta meno sensibilmente sul comportamento globale, si è adottata una sola soluzione (figura 15).

Lo studio comparativo, basato sull’analisi energetica dell’intero edificio prototipo condotta attraverso il software Energy Plus [8], ha mostrato che è possibile ottenere un risparmio energetico del 37%, se la soluzione con facciata ventilata è adottata come alternativa alla soluzione a cappotto.

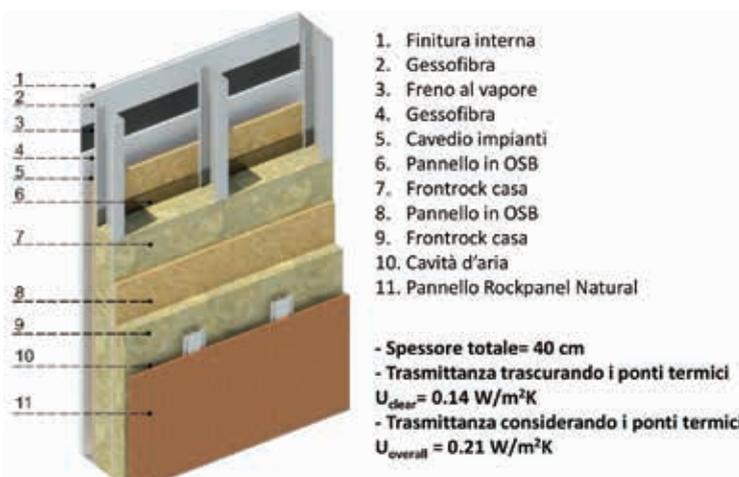
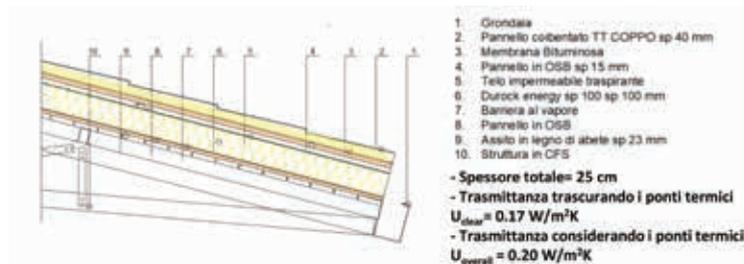


Fig. 14 | Soluzioni adottate per le pareti.

## 5. IL PROGETTO E LA COSTRUZIONE DELL'EDIFICIO PROTOTIPO

Per provare l'efficacia delle soluzioni sviluppate ed analizzare i processi di produzione ed esecuzione, il progetto di ricerca prevedeva la costruzione di un edificio prototipo adibito a spazio espositivo da realizzare all'interno dell'area in cui sorge



a) Solaio di copertura

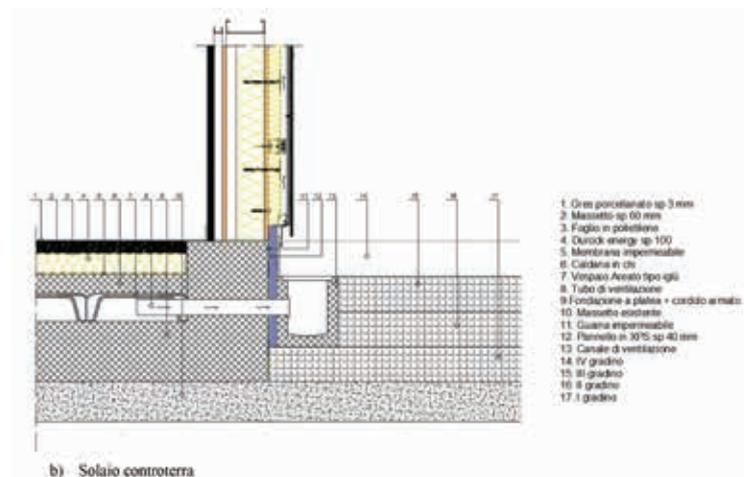


Fig. 15 | Soluzioni adottate per il solaio e la copertura.

lo stabilimento principale della Lamieredil S.p.A., nel Comune di Sellia Marina (CZ).

Il principio ispiratore seguito per lo spazio espositivo è stato quello di ricercare un'applicazione integrata di differenti soluzioni progettuali e tecnologiche finalizzate alla minimizzazione degli impatti, all'ottimizzazione dell'uso di fonti energetiche rinnovabili e al raggiungimento di elevate prestazioni ambientali (figura 16). Infatti, la progettazione è stata effettuata seguendo un approccio di tipo integrato, considerando l'aspetto architettonico, strutturale, energetico ed ambientale ed applicando le recenti innovazioni in termini di processo e prodotto, che hanno rafforzato il legame tra scelte tecnico-costruttive e processi produttivi. Le potenzialità dei procedimenti *file-to-factory*, infatti, aggiornando il concetto di standardizzazione, svincolano il progettista dall'adozione di



Fig. 16 | Progetto dello spazio espositivo: alcune viste esterne.

soluzioni predeterminate dall'industria, in favore di una maggiore personalizzazione dei prodotti, realizzabili a costi comunque contenuti. La continuità, che le tecnologie di fabbricazione digitale instaurano pertanto tra progetto e industria, permette la realizzazione di elementi non-standard in grado di ottimizzare le prestazioni offerte in termini tecnologici, strutturali, ambientali ed economici.

L'edificio presenta una superficie coperta pari a circa 42 m<sup>2</sup> e si articola su due livelli. L'ingresso all'edificio, disposto sul lato sud-est, è stato realizzato in corrispondenza della strada di accesso allo stabilimento. Le ampie aperture presenti su tale fronte, protette da elementi schermanti mobili in doghe di legno, assicurano l'ottimizzazione degli apporti naturali e il controllo della radiazione solare durante i mesi estivi. Il fronte nord-ovest presenta invece aperture di dimensioni ridotte, utili allo sfruttamento della ventilazione naturale. Le chiusure verticali opache e trasparenti assicurano elevate prestazioni non solo in rapporto alla trasmittanza termica, ma soprattutto in relazione al comportamento in termini di inerzia termica, sfasamento e attenuazione dell'onda termica, nel rispetto della normativa di riferimento (D.L. 4 giugno 2013 n. 63 e succ. modifiche [9]).

Il connubio vincolante tra l'approfondimento tecnologico-progettuale e l'accuratezza delle modalità di posa in opera ha consentito di valutare, modellare e simulare con accuratezza il comportamento finale delle soluzioni adottate, di rispondere in modo puntuale ed efficiente ai requisiti di progetto (tra i quali risultano prioritari quelli riferibili al rendimento energetico e alla minimizzazione degli impatti sull'ambiente), traducendo il lavoro degli operatori coinvolti nel processo in una sensibile riduzione dell'impiego di risorse materiali e immateriali, nel controllo della qualità dell'opera e nel contenimento dei costi di realizzazione e di gestione.

Il progetto strutturale è stato eseguito in accordo con le NTC2018 [1], Circolare 2019 [2] e con riferimento all'EN-1993-1-3 [10]. In particolare, l'approccio seguito è stato il cosiddetto "all steel design", secondo il quale la presenza del rivestimento è trascurata nel calcolo della capacità portante, la quale è valutata considerando i soli elementi in acciaio. Il materiale utilizzato per i profili formati a freddo è l'acciaio S280GD+Z.

Il solaio (figura 17) è caratterizzato da un'orditura di travetti, costituiti da profili CFS aventi sezione trasversale a C di dimensioni 270 x 60 x 30 x 3, posti ad un interasse pari a 600 mm e collegati tra loro mediante guide di piano (floor tracks), con sezione ad U di dimensione tale da accogliere i travetti, pari a 276 x 50 x 3. Al di sopra dei travetti, a completamento del sistema strutturale del solaio, è stata adottata una lamiera grecata tipo A 55/P 750 - V - HI-BOND di spessore pari a 0,8 mm completata con getto di calcestruzzo leggero strutturale LECA 1400, avente uno spessore al di sopra della lamiera pari a 50 mm.

La copertura, ad unica falda, è realizzata da capriate in profili CFS. Le capriate (figura 18), di luce massima pari a 6 m, sono disposte con un interasse pari a 600 mm. I correnti superiore e inferiore, sono costituiti da sezioni ad omega 70 x 40 x 15 x 1, mentre i montanti e le diagonali hanno sezione a C di dimensioni pari a 40 x 30 x 10 x 1.

Al di sopra delle capriate vi è un sistema di arcarecci con interasse



Fig. 17 | Dettagli della struttura del solaio



Fig. 18 | Capriata

pari a 1200 mm, su cui poggia il manto di copertura realizzato con il sistema "TT Coppo" sviluppato dalla Lamieredil S.p.A.

Le pareti (figura 19) sono costituite da un'orditura di profili CFS verticali (montanti), chiusi alle estremità da guide. I montanti, disposti con interasse pari a 600 mm, sono costituiti da profili a C di dimensioni pari a 150 x 60 x 20 x 1,5. Le piattebande considerate per la realizzazione delle aperture (figura 20) sono costituite da due profili a C accoppiati "schiena a schiena", ciascuno di dimensioni pari a 300 x 50 x 20 x 2.

Per la resistenza alle azioni orizzontali sono state adottate quattro pareti sismo-resistenti per ciascun piano (due per ciascuna direzione orizzontale) in configurazione "Pesante" per il piano terra e "Leggera" per il primo piano.

Anche l'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni delle NTC2018 [1]. In particolare, essendo l'edificio espositivo un'opera il cui uso prevede normali affollamenti è stata assunta una Vita nominale di 50 anni e una Classe d'uso II, che corrispondono ad un Periodo di riferimento dell'azione sismica pari a 50 anni. I parametri sismici di base sono riportati in Tabella 4. Il profilo stratigrafico ai fini della determinazione dell'azione sismica è riconducibile alla Categoria C. Gli spettri di risposta elastici in accelerazione sono mostrati in figura 22.



Fig. 19: Dettaglio delle pareti gravitazionali



Fig. 20: Dettaglio delle aperture

Tab. 4:  
Parametri sismici relativi al sito

STATO LIMITE	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0.054	2.346	0.279
SLD	50	0.071	2.330	0.307
SLV	475	0.204	2.399	0.369

$T_R$ = periodo di ritorno

$a_g$ = massima accelerazione attesa sul sito

$F_0$ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale

$T_C^*$ = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale



Fig. 21 | Dettagli del balcone

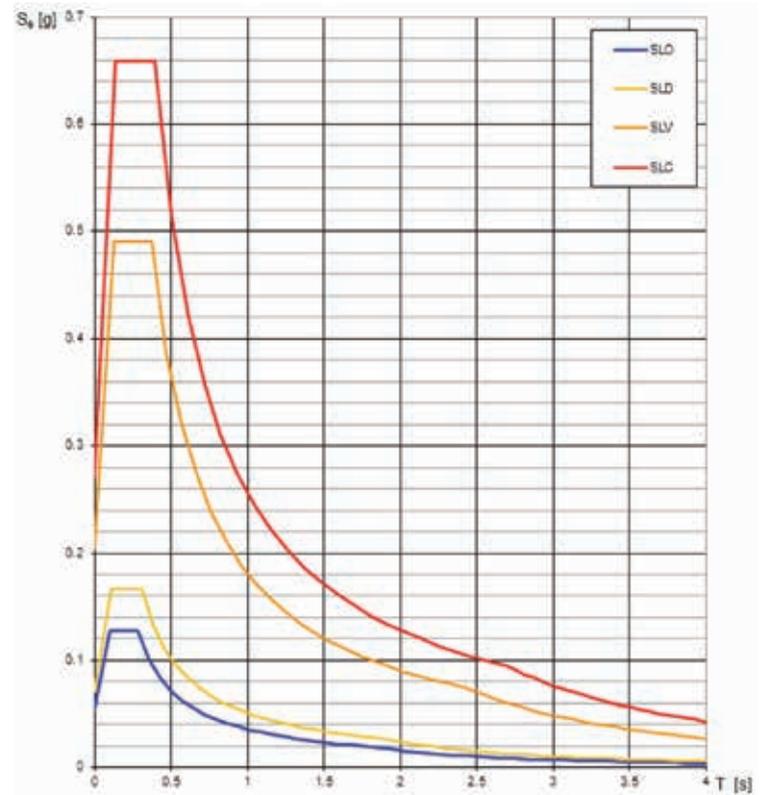


Fig. 22 | Spettro sismico

Con riferimento alla progettazione per gli Stati Limite di Esercizio e per gli Stati Limite Ultimi, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono stati calcolati considerando un comportamento strutturale non dissipativo (fattore di struttura pari a 1).

I lavori di realizzazione sono iniziati a febbraio 2020, ma sono stati interrotti dalla pandemia Covid19 fino a settembre 2020. La



Fig. 23 | Realizzazione dello spazio espositivo: ultimazione delle strutture



Fig. 24 | Edificio espositivo ad opera ultimata

parte strutturale (figura 23) è terminata a gennaio 2021, mentre le altre opere non strutturali sono terminate a marzo 2022 (figura 24).

## 5. CONCLUSIONI

La crescente richiesta del mercato di costruzioni ad alte prestazioni ed a basso impatto ha orientato la scelta degli ultimi decenni verso

soluzioni competitive ed ecocompatibili. Negli ultimi decenni, infatti, i sistemi Lightweight Steel (LWS) realizzati in Cold-Formed Steel (CFS) sono stati spesso preferiti alle tradizionali strutture in zona sismica, in quanto esibiscono grandi prestazioni strutturali con tempi di montaggio e costi di costruzione inferiori.

Con lo scopo principale di sviluppare soluzioni innovative per costruzioni LWS con prestazioni strutturali, termiche e ambientali più elevate, è appena terminato il progetto di ricerca "ECCELSA", che ha visto come partner l'Università degli Studi di Napoli "Federico II" e l'azienda calabrese Lamieredil S.p.A.

Gli obiettivi principali del progetto possono essere così riassunti: a) sviluppo di un sistema sismo-resistente (sistema parete) innovativo; b) ricerca di soluzioni avanzate per l'involucro edilizio; c) ottimizzazione dei processi produttivi ed esecutivi. Per raggiungere questi obiettivi si è fatto ricorso ad un approccio progettuale integrato, che ha reso possibile ottimizzare gli aspetti progettuali, produttivi ed esecutivi.

Relativamente al primo obiettivo, è stato sviluppato un innovativo sistema sismo-resistente, costituito principalmente da un telaio in profili di acciaio piegati a freddo controventato da barre di acciaio ultra-alto resistenziale pre-tese, poste in configurazione a "V". Il comportamento sismico di tale sistema è stato investigato attraverso un'ampia campagna sperimentale, che ha riguardato materiali, assemblaggi e pareti in scala reale, i cui esiti hanno evidenziato una risposta soddisfacente ed in linea con le previsioni teoriche.

Per quanto riguarda l'involucro, sono state progettate e analizzate due soluzioni per le superfici verticali opache dell'involucro edilizio,

in modo da minimizzare i ponti termici nel sistema parete e il fabbisogno energetico dell'intero edificio, ottenendo un risparmio energetico del 37% per la soluzione con facciata ventilata rispetto a quella a cappotto.

Infine, l'efficacia delle innovazioni sviluppate e l'ottimizzazione dei processi produttivi e della fase esecutiva sono state dimostrate attraverso la progettazione e la costruzione di un edificio prototipo, la cui esecuzione ha confermato anche l'efficacia dei processi di fabbricazione digitale.

## RINGRAZIAMENTI

Il progetto di ricerca presentato è stato finanziato dall'azienda calabrese Lamieredil S.p.A., attraverso i fondi del POR Calabria FESR- FSE 2014-2020 Asse I- Promozione della ricerca e dell'innovazione. Gli Autori esprimono il loro sentito ringraziamento alla Lamieredil S.p.A. per il supporto tecnico e finanziario. Inoltre, gli Autori voglio esprimere il loro grazie sentito al gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Sergio Russo Ermolli per il prezioso contributo fornito sulla progettazione architettonica, tecnologica e lo sviluppo del progetto in ambiente BIM dell'edificio prototipo.

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministero delle Infrastrutture, D.M. 17/01/2018, Norme Tecniche per le Costruzioni
- [2] Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018."
- [3] European committee for standardization, UNI EN ISO 6892-1 - Metallic materials - Tensile Testing - Part 1: Method of Test at Room Temperature, (2009) 65.
- [4] M. D'Aniello, D. Cassiano, R. Landolfo, Monotonic and cyclic inelastic tensile response of European preloadable gr10.9 bolt assemblies, *J. Constr. Steel Res.* 124 (2016) 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.05.017>.
- [5] H. Krawinkler, P. Francisco, L. Ibarra, A. Ayoub, R. Medina, CUREE publication No. W-02 Development of a Testing Protocol for Woodrume Structures, (2001).
- [6] K. Velchev, G. Comeau, N. Balh, C.A. Rogers, Evaluation of the AISI S213 seismic design procedures through testing of strap braced cold-formed steel walls, *Thin-Walled Struct.* 48 (2010) 846-856. .
- [7] COMSOL Multiphysics® v. 5.6. [www.comsol.com](http://www.comsol.com). COMSOL AB, Stockholm, Sweden.
- [8] EnergyPlus: Energy Simulation Program, U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO) and National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [9] Decreto-legge del 04/06/2013 n. 63 "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonche' altre disposizioni in materia di coesione sociale."
- [10] CEN, EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures-Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 2005



### **Alessia Campiche**

Borsista presso l'Università di Napoli Federico II. Ha svolto il Dottorato di Ricerca su tematiche inerenti le strutture sismoresistenti basati sull'utilizzo di profili di acciaio formati a freddo. È autrice di diverse memorie pubblicate su riviste internazionali e congressi nazionali ed internazionali.



### **Luigi Fiorino**

Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Napoli Federico II. Esperto di strutture metalliche, con particolare riferimento ai sistemi costruttivi basati sull'utilizzo di profili metallici formati a freddo, è relatore in Italia e all'estero in vari convegni e congressi, è coinvolto in numerosi programmi di ricerca ed ha dato alle stampe oltre 150 memorie, molte delle quali pubblicate su riviste internazionali.



### **Raffaele Landolfo**

Membro del Consiglio del CTA, professore ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Napoli Federico II, dove insegna, tra l'altro, Teoria e Progetto delle Costruzioni in Acciaio, e svolge attività di ricerca su diverse tematiche inerenti l'ingegneria strutturale e l'ingegneria sismica. Autore di oltre 300 memorie e di diversi libri. Chiarman della Commissione Tecnica n. 13 "Seismic Design" della Convenzione Europea per le Costruzioni Metalliche (ECCS) e Convenor del WG2 "Steel and Composite Structures" della Commissione TC250/SC8 dal 2015. Presidente della UNI-SC3 "Strutture in Acciaio" e della UNI-SC9 "Strutture in Alluminio".

# ACCIAIO IN ROTAZIONE

Bjarke Ingels Group BIG e Leo A Daly, WLS The Heights Building il nuovo edificio pubblico per la scuola secondaria, Arlington, Washington, Virginia, Stati Uniti, 2019.

## PIVOTING STEEL STRUCTURE

Bjarke Ingels Group BIG and Leo A Daly, WLS The Heights Building the new high school public building, Arlington, Washington, Virginia, United States, 2019.

Dott. Arch. Carol Monticelli | *Professore associato, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano (ABC, Architecture, Built Environment and Construction Engineering)*

La ristrutturazione della nuova scuola The Height di Arlington, Washington, in Virginia, Stati Uniti, ha apportato una svolta al design delle strutture educative grazie ad una configurazione innovativa. L'ambiguità di come questo edificio sia supportato è una delle caratteristiche più interessanti della struttura. Si configura sotto forma di cinque stecche come se fossero dei petali, costituite ognuna da una struttura indipendente a scatola con telaio reticolare di acciaio, sovrapposte tra loro, aprendosi a ventaglio attorno a un perno centrale. S'inserisce in un contesto ad alta densità, ma grazie alla disposizione volumetrica e alla continuità generata fra l'interno e l'esterno riesce a diluire le funzioni generando grandi aperture spaziali. La progettazione strutturale di questo complesso si basa su un concetto di trasmissione dei carichi tramite contrafforti a sbalzo per sostenere gli angoli di ogni parallelepipedo.

*The refurbishment of the new The Height School in Arlington, Washington, in Virginia, United States, has brought about a change in the design of the educational facilities thanks to an innovative configuration. The ambiguity of how this building is supported is one of the most interesting features of the structure. It configures in the form of five sticks as if they were petals, each consisting of an independent box structure with a steel reticular frame, superimposed on each other, opening a fan around a central pivot. It fits into a high-density context, but thanks to the volumetric arrangement and the continuity generated between the inside and the outside, it is able to dilute the functions by generating large spatial openings. The structural design of this complex is based on a concept of load transmission through buttresses and overhangs to support the corners of each parallelepiped.*

L'edificio della scuola The Heights, sede di due programmi educativi, si configura come una cascata di terrazze verdi che si aprono a ventaglio rispetto a un asse centrale, rispondendo alle esigenze accademiche dei due programmi scolastici della contea di Arlington, in Virginia e formando una comunità in verticale all'interno del suo denso contesto urbano. La sfida progettuale, su commissione, è stata dettata proprio dall'alta densità urbana in cui s'inserisce questo nuovo edificio pubblico, progettato con una geometria unica, incorporando cinque aule tradizionali con servizi a ogni piano, sovrapposte tra loro, ma ruotate attorno a un punto

di articolazione fisso.

Gli spazi di cui si compone l'edificio vogliono essere ben più di semplici contenitori: l'obiettivo compositivo e spaziale è di influire sulle esperienze e sull'acquisizione di conoscenze. In questa categoria funzionale di edifici, architettura e pedagogia inclusiva possono trovare un terreno fertile di confronto: gli spazi interni e esterni devono dialogare ed essere occasioni di esperienze, con una dimensione immateriale che è decisiva e contribuisce a rendere il servizio un luogo di relazione e di vita, oltre che un legame tra la scuola e il territorio.

[\*Corresponding author. Email: carol.monticelli@polimi.it]



Fig. 1 | Vista dell'edificio scolastico The Heights dal lato Nord con affaccio sul campo da gioco in erba (© BIG\_WILS).



Fig. 2 | Vista dall'ultima terrazza delle terrazze degradanti con aree svago e tetti verdi (© BIG\_WILS).



Fig. 3 | Vista dell'edificio scolastico The Heights dal lato Sud-Est sull'incrocio tra le due arterie viarie North Queen Street e Wilson Boulevard, con uno dei due ingressi (© BIG\_WILS).



Fig. 4 | L'edificio in una vista notturna in cui emergono le grandi finestre vetrate a tutta altezza sui lati longitudinali delle grandi scatole (© BIG\_WILS).

Analizzando il progetto emerge come la progettazione si articola secondo tre linee direttive portanti: il ripensamento degli spazi interni (spazi indoor), la fruizione degli spazi esterni (spazi outdoor) e l'integrazione col territorio (outdoor integration).

Come risultato del ripensamento degli spazi interni emerge un rapporto che descrive alcune caratteristiche fondamentali che dovrebbero avere i luoghi all'interno degli edifici scolastici, come la flessibilità per diversi tipi di didattica, la possibilità di attività laboratoriali, la sostenibilità e l'uso del verde e della tecnologia a integrazione della didattica. In questa prospettiva tutto ciò che sta all'esterno della scuola travalica il ruolo di spazio pertinenziale di servizio dell'edificio, diventando una preziosa occasione d'incremento del valore ambientale e un'estensione dei luoghi dell'apprendimento, filtro tra l'intimità dell'interno della scuola e lo spazio pubblico.

The Heights è stato progettato per ottenere la certificazione LEED Gold.

## La progettazione

È situato lungo la bretella stradale Rosslyn-Ballston di Arlington, The Heights unisce due scuole secondarie esistenti - l'HB Woodlawn Program e l'Eunice Kennedy Shriver Program - in un nuovo edificio per ospitare fino a 775 studenti. Lavorando a stretto contatto con la Arlington Public Schools (APS), la West Rosslyn Area Plan (WRAP) e la comunità di Arlington, il design ha soddisfatto sia gli orientamenti della scuola H-B Woodlawn, che insegna l'automotivazione responsabilizzando gli studenti delle loro scelte, sia le ampie risorse della scuola Shriver per gli studenti con esigenze educative speciali, con l'obiettivo temporale di star nei tempi e aprire per l'anno accademico 2019-20.

La società d'ingegneria Silman ha lavorato con gli studi di architettura BIG per la parte di progettazione preliminare e definitiva e Leo A. Daly per il progetto esecutivo, finalizzando un design che doveva prevedere un'organizzazione verticale efficiente tale da mantenere la sensazione di un edificio scolastico a un solo piano.

Situato all'interno di un lotto compatto delimitato da strade su



Fig. 5 | Planimetria dell'intero complesso scolastico (© BIG\_WILS).

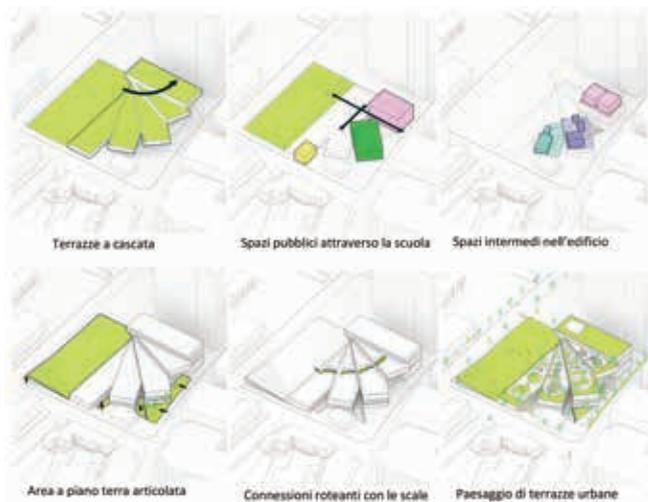


Fig. 6 | Il concept progettuale attraverso schemi funzionali e distributivi (© BIG\_WILS).

tre lati e una porzione di Rosslyn Highlands Park, The Heights è concepito come una sovrapposizione di cinque piastre rettangolari che ruotano attorno al punto di snodo, mantenendo la sensazione di comunità e l'efficienza spaziale. Le terrazze verdi sopra ogni piano diventano un'estensione dell'aula, creando un paesaggio di apprendimento indoor-outdoor sia per gli studenti sia per gli insegnanti: un'oasi educativa piuttosto che un ambiente scolastico tradizionale. I cinque grandi parallelepipedi rotanti offrono dalle aule la vista su terrazze a giardino, con una varietà di piantagioni intensive, che conducono dai vari campi educativi a quello sportivo,

creano anche ampi volumi sottostanti ideali per le funzioni scolastiche all'aperto. Mentre le terrazze superiori sono più adatte per classi e attività di dimensioni ridotte e aree studio tranquille, la prima terrazza spaziosa e il campo ricreativo di 1.700 m<sup>2</sup> servono anche come luoghi di eventi pubblici per attività scolastiche e di quartiere.

Il programma funzionale della scuola comprende aule, laboratori, aule di musica, una palestra, una caffetteria, un media center, un auditorium da 400 posti e spazi di supporto/servizio. Nel lotto a piano terra è stata prevista una piazza pavimentata e una corsia di accesso ed esodo dei genitori. Da Wilson Boulevard, studenti, insegnanti e personale sono accolti da una hall a tripla altezza con posti a sedere a gradoni che fungono anche da spazio di ritrovo interno sia per le assemblee studentesche che per le riunioni pubbliche, simile al concetto di anfiteatro. Molti degli spazi comuni della scuola, tra cui l'auditorium, la palestra principale, la biblioteca, la reception e la caffetteria, sono situati in posizione centrale e direttamente adiacenti alla hall. La facile accessibilità della comunità ospitata nella scuola agli spazi con le diverse funzioni è ben orientata. Incoraggia l'interazione pubblica in tutto l'edificio, creando un ambiente accogliente e aumentando la connettività visiva tra gli spazi condivisi. Gli spazi per studenti specializzati includono uno studio d'arte, laboratori scientifici e robotici, sale prove musicali e due teatri di arti dello spettacolo. I grandi volumi delle aule fungono da elementi organizzativi primari, circondando un nucleo verticale centrale che contiene ascensori, scale e servizi igienici. La scala centrale rotante taglia l'interno dell'edificio per collegare le terrazze a quattro livelli,

consentendo agli studenti di circolare all'esterno e creare un legame più forte tra il quartiere e la scuola. Quando gli studenti entrano dalla scala centrale, sono accolti da un esteso gradiente dello spettro dei colori. Le caratteristiche degli interni includono pareti di colore diverso per ogni piano, rivestendo le pareti delle aule di ogni stecca con il proprio colore, che diventa una guida intuitiva con una vibrante atmosfera sociale dalla terra al cielo. L'ispirazione per la differenziazione dei colori viene dal programma educativo di Woodlawn, con l'obiettivo che gli studenti utilizzino

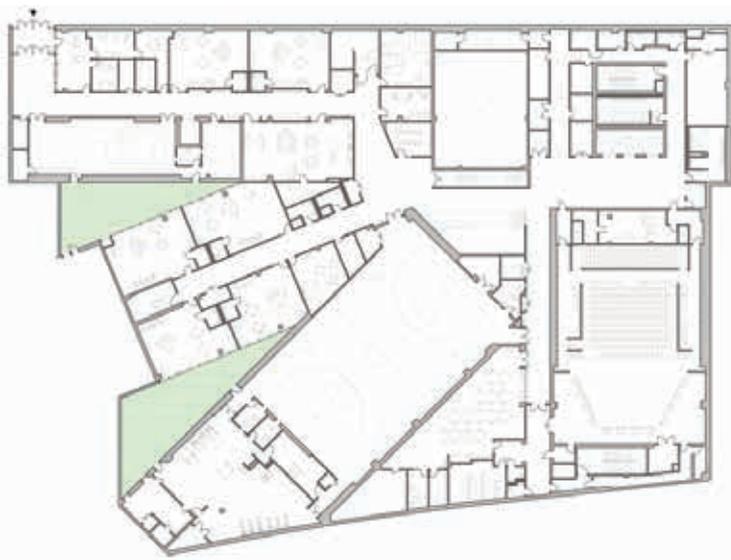
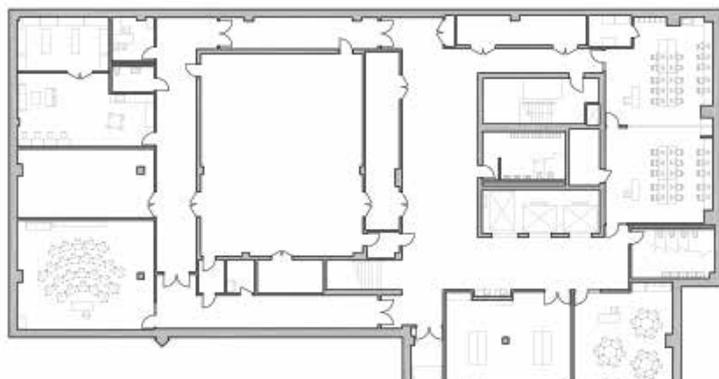


Fig. 7 | Pianta del piano interrato, del piano terra e del piano primo.  
(© BIG\_WILS).

le pareti interne come tela su cui poter scrivere a fine anno una frase di lascito per i futuri studenti.

Il programma Shriver, che fornisce una forma d'istruzione speciale per studenti dagli undici ai ventidue anni, occupa due piani dell'edificio accessibile dal piano terra e dispone di spazi specializzati dedicati a supportare il programma Functional Life Skills della Arlington Public Schools (APS), nonché la privacy e la facilità di accessibilità: la palestra, il cortile, la suite di terapia fisica occupazionale e il cottage sensoriale sono progettati per aiutare nell'elaborazione sensoriale. L'esterno di The Heights è materializzato in un grazioso mattone smaltato bianco per unificare i cinque volumi ed evidenziare gli angoli ruotati delle aule a ventaglio, consentendo alla forma scultorea, all'energia e all'attività dell'interno di essere al centro della scena. I lati lunghi dei volumi presentano ampie vetrate a nastro su tutta la facciata, offrendo molta illuminazione agli interni dell'edificio. Tenendo presente il quartiere circostante e l'ex Wilson School, la tavolozza dei materiali dell'edificio vuole, nell'intento del progettista, rendere omaggio all'architettura storica del nucleo vecchio di Alexandria, Washington.

### La geometria della struttura a ventaglio

Durante la progettazione e la costruzione, Silman ha lavorato a stretto contatto con il team di costruzione e il produttore di acciaio Banker Steel e l'appaltatore generale Gilbane per garantire soluzioni economiche e facile realizzabilità. I primi incontri sono stati essenziali per valutare la tipologia di acciaio in relazione ai requisiti progettuali e la sua configurazione in relazione alle sequenze di costruzione, i metodi di montaggio, i tipi di connessione preferiti e la logistica del cantiere. Silman ha integrato modelli di analisi e BIM durante tutto il processo progettuale per tenere traccia del peso e dei costi associati alla struttura, considerevole critica e atipica e per semplificare la continuità del percorso dei carichi attraverso la complessità geometrica delle connessioni nei punti critici.

L'ambiguità di come questo edificio sia supportato è una delle caratteristiche più interessanti della struttura, ed è tutto dovuto alle travi reticolari strutturali di acciaio "dietro le quinte" del rivestimento esterno. La progettazione strutturale di questo complesso edilizio ha portato allo sviluppo di un concetto innovativo di trasferimento dei carichi utilizzando dei contrafforti "galleggianti" a sbalzo per sostenere gli angoli di ogni parallelepipedo (figura 13).

Il perno (il corpo scale), quale luogo comune per la circolazione verticale e la distribuzione dei servizi, costruito come una scatola in cemento armato, funge anche da nucleo strutturale e da controvento ed è stato progettato per resistere alle forze torsionali, laterali e gravitazionali. I grandi parallelepipedo, impernati attorno al corpo scale, hanno gli angoli fluttuanti a sbalzo su ciascun lato. Il progetto esecutivo del sistema a contrafforti a sbalzo si è evoluto dal concetto di colonna elicoidale, come affermano i progettisti, e ogni pilastro di ciascuna stecca si sarebbe dovuto inclinare, in corrispondenza di ogni stecca che si apre a ventaglio (figura 16). Questo avrebbe creato un percorso elicoidale di scarico delle forze a ogni angolo dei volumi sovrapposti e, sebbene bello nell'eleganza strutturale e nella semplicità, avrebbe obbligato ad

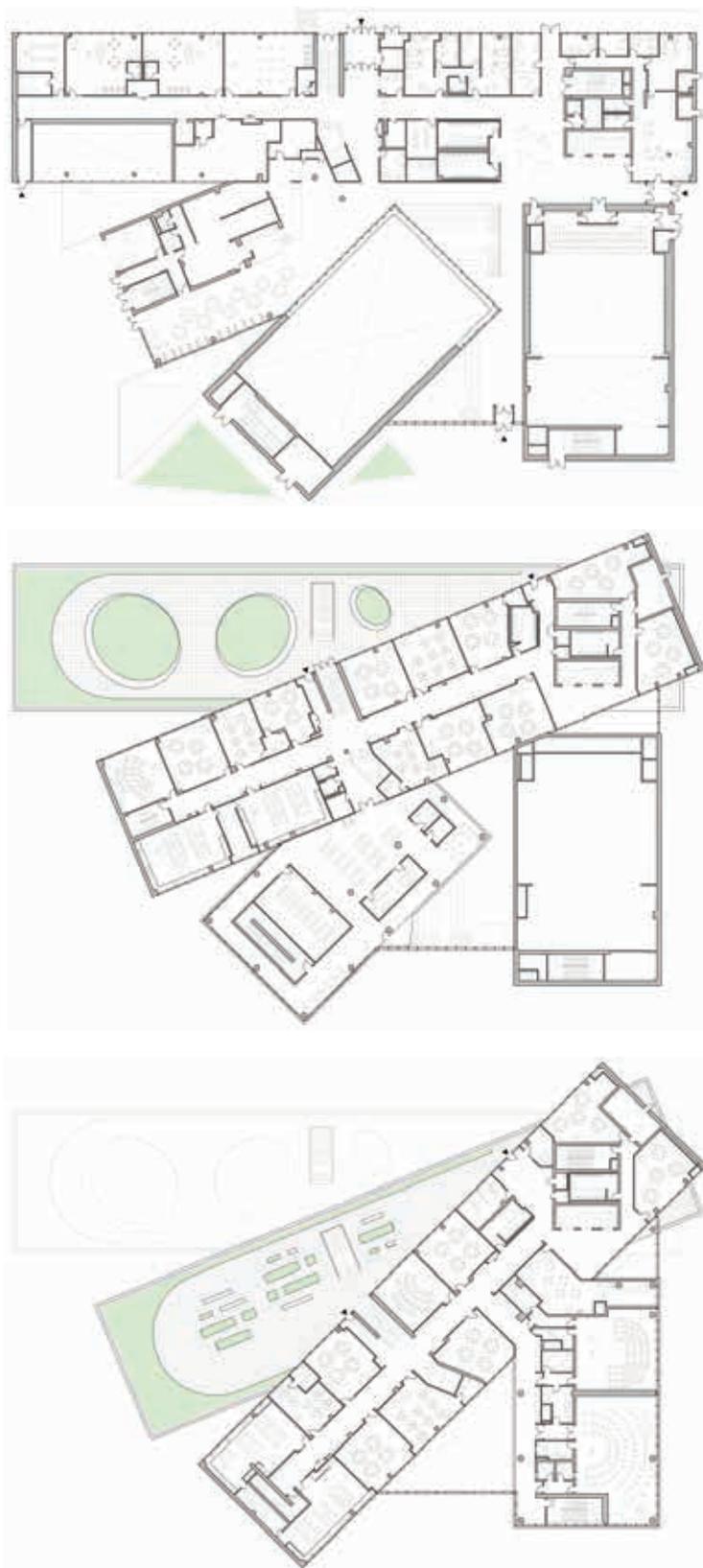


Fig. 8 | Piante del piano primo, secondo e terzo (© BIG\_WILS).

avere colonne inclinate in mezzo a uno spazio interno prezioso. Per preservare questo spazio, il progetto si è evoluto e le “colonne elicoidali” sono state traslate verso le pareti perimetrali corte, formando un sistema reticolare di tralicci e contrafforti a sbalzo incorniciati in un telaio rettangolare costituito da putrelle con

sezioni tipiche americane W12 (altezza 305 mm) e W14 (altezza 355 mm) a flangia larga (tolleranza ASTM A 484). Ogni traliccio utilizza connessioni a fazzoletto bullonate standard e piastre portanti, mentre i contrafforti utilizzano connessioni saldate. Dalla relazione tecnica esecutiva delle strutture si evince come sul piano orizzontale il telaio del diaframma, dallo spigolo a sbalzo, trasferisca le forze dello stesso al nucleo in calcestruzzo armato dei collegamenti verticali e resista a ulteriori forze fuori piano derivanti dai contrafforti diagonali (figura 21a).

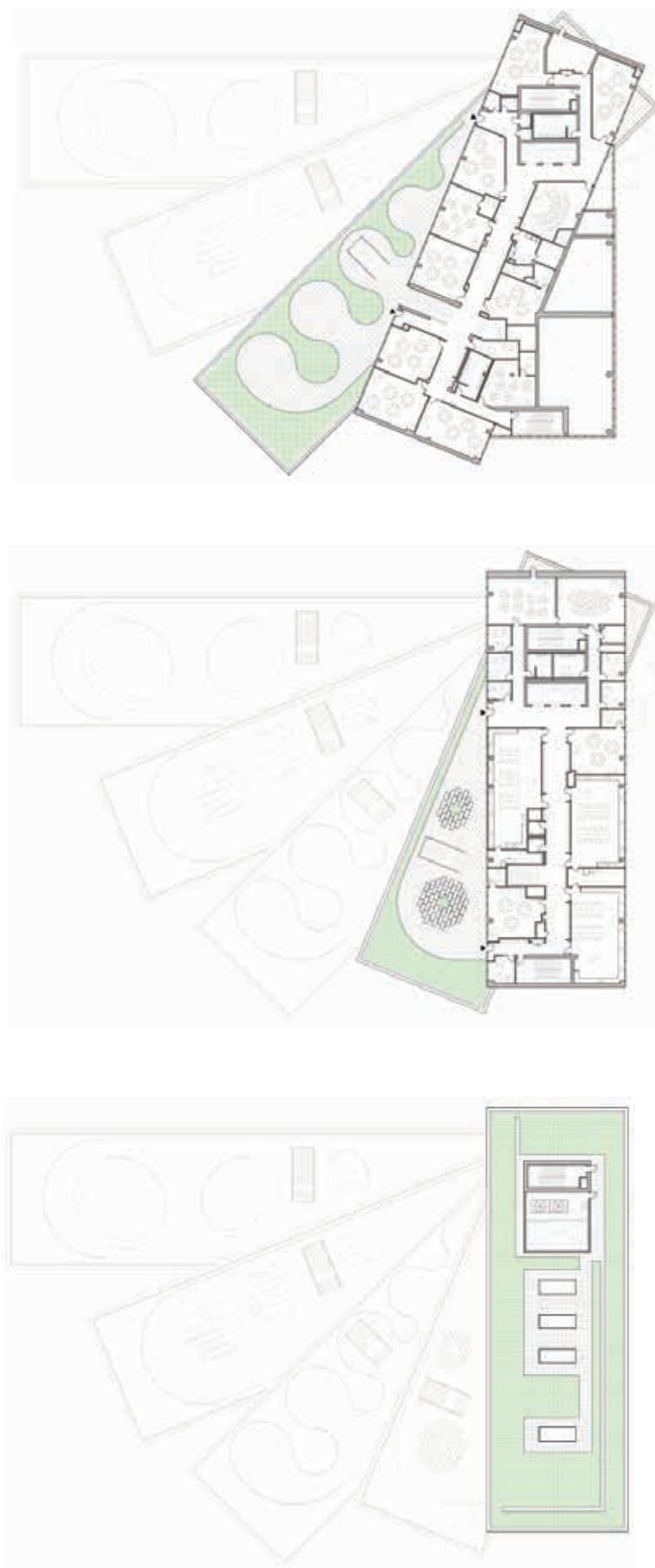
Ogni sistema reticolare a traliccio è stato progettato per essere prefabbricato, pre-assemblato, trasportato e completamente eretto in posizione mettendo un traliccio superiore su quello sottostante, utilizzando alcuni pali e puntelli provvisori per avere maggior stabilità durante l'erezione. Inoltre, in cantiere un'area di deposito molto limitata ha implicato la necessità di più gru elevatrici che lavorassero in contemporanea per movimentare le pesanti travi reticolari e travi a piastra rinforzate e metterle in posizione.

Dove le grandi travi reticolari s'intersecano in pianta, i giunti semplicemente passano l'uno sull'altro in elevazione, proprio come una sovrapposizione di scatole (figura 20).

L'intelaiatura dei solai sopra la palestra, la biblioteca e l'atrio è costituita da travi standard o sezioni su misura in alcuni punti, mentre l'intelaiatura dei solai in corrispondenza del teatro è stata costruita con travi reticolari a sezione ribassata (figura 22). Per lo spazio disponibile sopra la palestra, le travi reticolari non erano realizzabili, quindi sono state utilizzate travi a piastra irrigidite lungo la sezione e travi a sezione americana piena W36 (altezza 915 mm) per il trasferimento del peso dall'alto, tali da sostenere il pavimento della grande scatola e l'intelaiatura dei solai della terrazza sovrastante. Le travi W24 (altezza 610 mm) a sezione doppia che costituiscono il solaio insistente sull'atrio principale sono state scelte per essere le più economiche. I progettisti hanno scelto di utilizzare una trave a piastra irrigidita con lo spessore delle ali raddoppiato, con estremità appiattita e di 610 mm di profondità per l'intradosso, al fine di ottenere uno spessore ridotto del solaio.

Com'è tipico nel design per le scuole, le altezze dei moduli delle aule sono standardizzate per uniformità di programma e dettami normativi. Ogni grande stecca include aule su entrambi i lati di un corridoio centrale. Sono stati condotti i primi studi per economizzare le quantità di acciaio coinvolte, considerando due opzioni principali: una doppia linea di colonne lungo il corridoio o una sola linea lungo un lato del corridoio.

La doppia linea di pilastri con sezione HE a flangia larga (larghezza della sezione di 200 mm per le colonne di un lato e di 350 mm per le colonne dell'altro) è stata selezionata, poiché questo schema richiedeva meno materiali e facilitava il dimensionamento dell'intelaiatura del corridoio, in termini di altezza da pavimento a pavimento ridotta a 430 cm e di spessore del solaio superiore del corridoio, per integrare la tecnica degli impianti MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing). Tutte queste calibrature fra pesi strutturali, dimensioni e integrazioni con gli altri sistemi edilizi sono state possibili grazie alla progettazione BIM (Building Information Modelling) e anche grazie alla collaborazione interdisciplinare tra lo studio di ingegneria e il costruttore. Con lo stesso processo lo spessore dei solai è stato ridotto il più possibile per consentire



un maggiore ingresso di luce dalle ampie vetrate e allo stesso tempo per ospitare i diffusori HVAC (Heating, Ventilation & Air Conditioning) lineari.

Particolare attenzione è stata prestata durante l'ingegnerizzazione per lo sviluppo dei punti di snodo e intersezione tra una stecca e quelli superiore e inferiore. Per evitare trasferimenti di carichi su più colonne l'intelaiatura regolare al livello superiore è stata mantenuta al livello inferiore, cercando il più possibile delle corrispondenze, nonostante gli sfalsamenti geometrici.

### Le terrazze e le scale.

Le terrazze verdi sono state progettate dal punto di vista strutturale per sostenere una varietà di piante, alberi e sistemi di seduta e arredo per esterni.

I solai tra aule e terrazze sono stati abbassati a 50 cm di spessore, creando un'opportunità per accogliere le travi di bordo lunghe circa 21 m anche negli angoli acuti dove s'intersecano i volumi delle aule. Il collegamento tra le quattro terrazze, quindi tra le aule, avviene radialmente tramite una scala di acciaio e prefabbricata in cemento, che scende a cascata e crea un senso di comunità, e si allinea ortogonalmente al telaio della barra. Questa collega due livelli. Questa scala su più livelli costituisce una via di fuga nel layout emergenziale dell'edificio e volutamente è stata posta agli opposti del vano scala centrale sui volumi uno, tre e cinque. Nell'ingegnerizzazione della struttura tali scale sono state prese in considerazione, implementando le pareti di taglio in corrispondenza di ciascun vano, per creare una forza tangenziale resistente che, accoppiato con il nucleo, collabori a fornire resistenza alle forze laterali.

I diaframmi, nelle stecche intermedie, due e quattro, sono stati legati con connettori alle pareti di taglio delle stecche uno (in basso), tre (intermedia) e cinque (in alto) per assicurare un percorso di carico continuo radialmente attorno alle estremità delle stecche dell'edificio. Come le travi reticolari si aprono a ventaglio attorno al perno, un'inclinazione e una torsione globali si sono generate e il problema è stato risolto con puntoni in acciaio e il posizionamento di una corda unica al livello inferiore di ogni stecca. La scuola The Heights appare una chiara testimonianza di eccellenza di un processo virtuoso, attraverso la collaborazione concreta

Fig. 9 | Piante del piano quarto, quinto e della copertura (© BIG\_WILS).

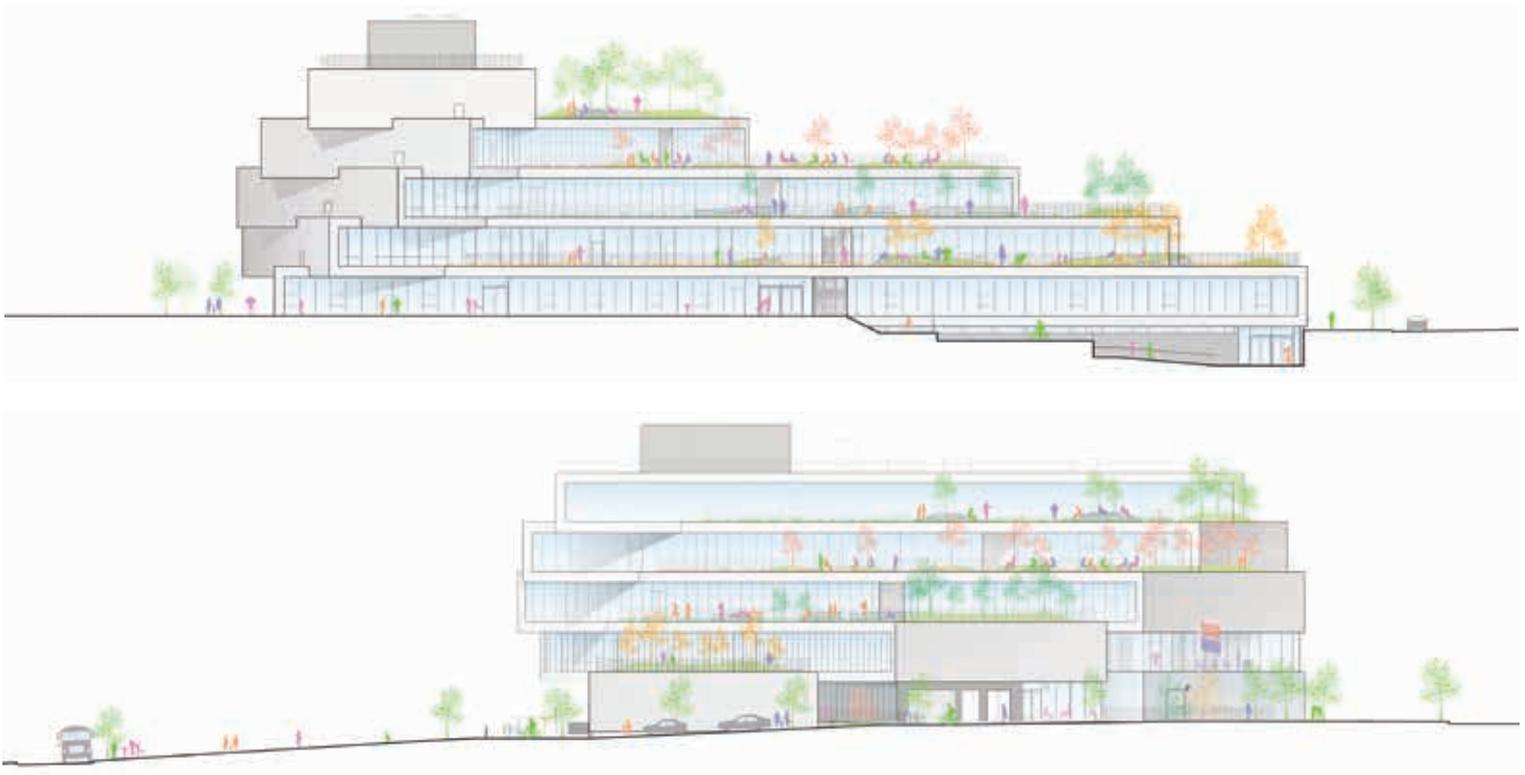


Fig. 10 | Prospetto Nord e prospetto Ovest dell'edificio The Heights (© BIG\_WILS).



Fig. 11 | Sezione architettonica longitudinale con l'evidenza della volumetria a gradoni e dei tetti praticabili, quali ambienti esterni a tutti gli effetti (© BIG\_WILS).

di tutti gli attori del progetto: dall'architettura, all'ingegneria, alla fabbricazione di acciaio, alla gestione del cantiere e alla costruzione. A ogni criticità, sono stati adottati e sviluppati approcci innovativi per trapiantare una visione monumentale dell'edificio e per soddisfare i programmi esigenti della scuola, consegnando infine a un'architettura equilibrata e funzionale al servizio degli studenti di Arlington.



Fig. 12 | Modello fisico di progetto (© BIG\_WILS).

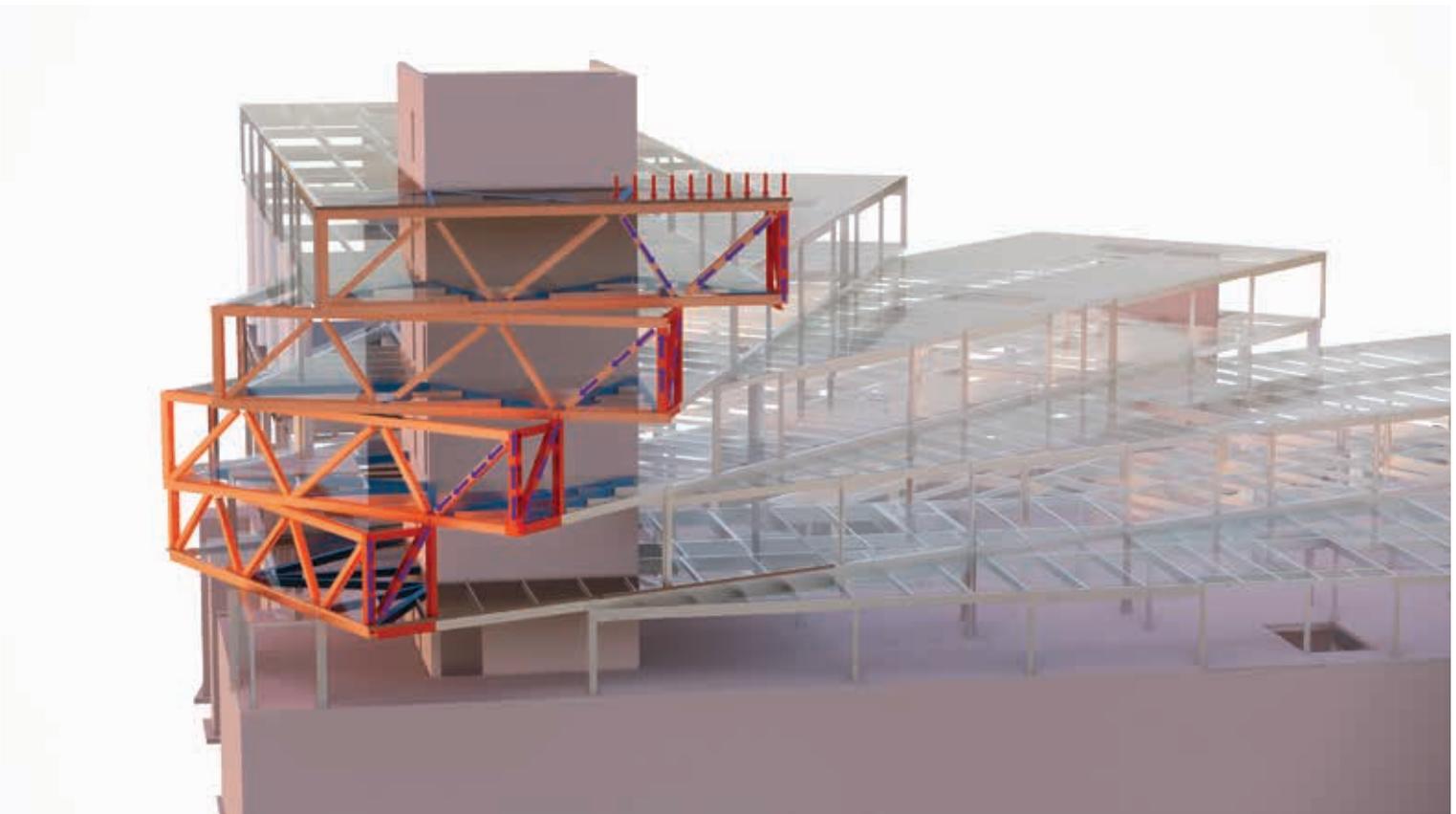


Fig. 13 | Rendering della struttura con l'evidenza delle parti più sollecitate delle grandi scatole reticolari attorno al nucleo di irrigidimento delle scale e ascensori (© Silman).



Fig. 14a 14b | Vista dal basso dei volumi a sbalzo ruotati rispetto all'asse, nell'immagine di destra con il rivestimento in mattoni bianchi e nell'immagine di sinistra nudi con il solo scheletro strutturale in travi di acciaio e solai leggeri in pannelli di lamiera grecata (©BIG\_WILS e Silman).



Fig. 15 | Vista degli interni con pareti di colore diverso per ogni piano per divenire una guida intuitiva legata ai diversi volumi degli edifici. (© BIG\_WILS).

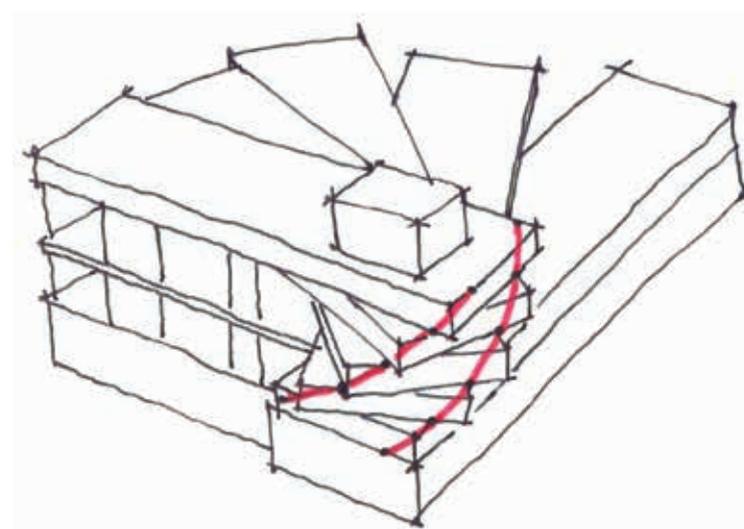


Fig. 16 | Concetto elicoidale per lo studio strutturale di distribuzione dei carichi delle parti a sbalzo (© Silman).

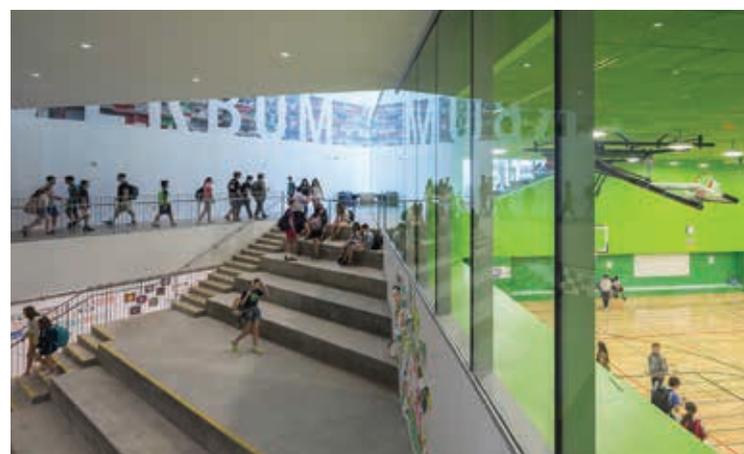


Fig. 17 | Vista dello spazio comune diviso da grandi vetrate dal campo da basket indoor con le pareti verdi (© BIG\_WILS, ©Silman).

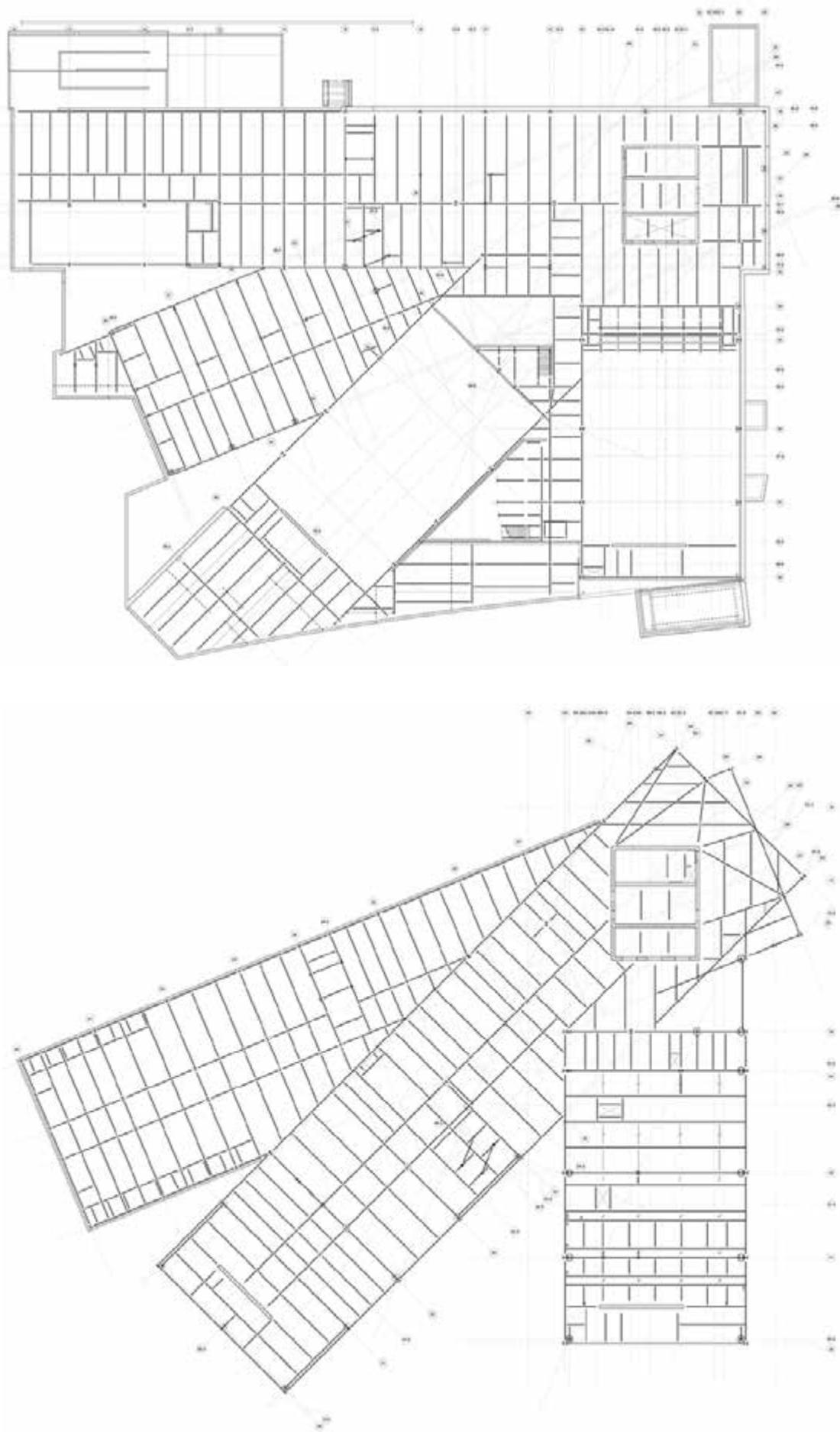


Fig. 18 | Pianta del progetto esecutivo del piano terra e del piano secondo (© Silman).



Fig. 19 | Modello 3D digitale della struttura in cui si evince l'orditura dei solai, la griglia strutturale e la posizione delle scale a metà delle stecche (© Silman).

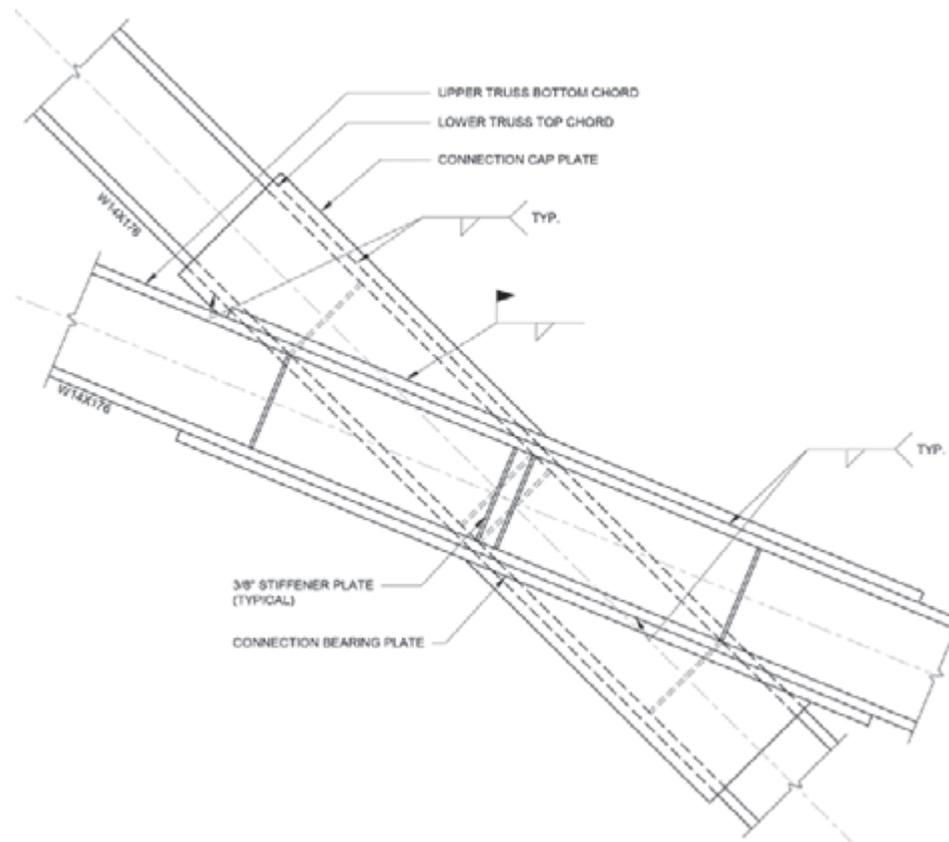


Fig. 20 - Disegno di dettaglio del nodo di intersezione fra i diversi volumi ruotati e si ripete ugualmente a ogni piano(© Silman).



Fig. 22 | Sopra il teatro, le travi reticolari ribassate sono state la soluzione ottimale per soddisfare le esigenze di espansione futura, il routing MEP e profondità del pavimento consentite (© Silman).



Fig. 23 | Un'intersezione del telaio in acciaio tra una stecca e la successiva (© Silman).

Fig. 21a e 21b | La fase di cantiere durante il montaggio, con autogrù, delle travi reticolari (© Silman).

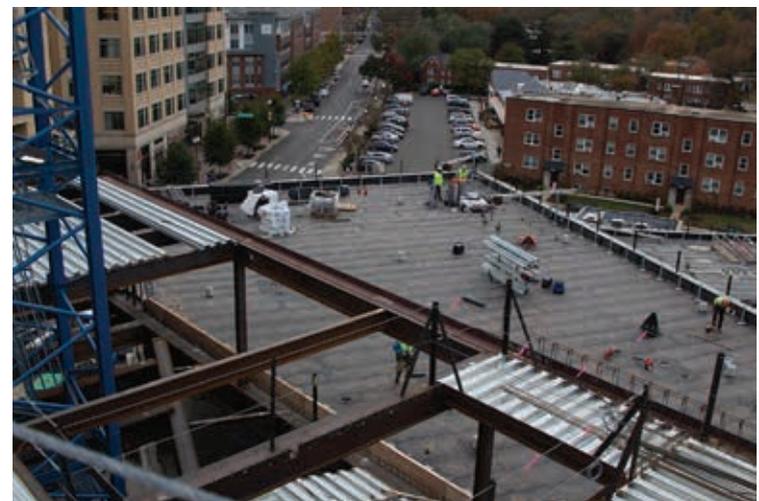


Fig. 24 | Fase di cantiere con la messa in opera dei solai (© Silman).



Fig. 25 | Vista aerea del complesso scolastico (© Silman).

## CREDITS

Nome del progetto:	WILS The Heights Building - il nuovo edificio pubblico per la scuola secondaria
Localizzazione:	Arlington, Virginia, Stati Uniti, (posizione 38.8946101,-77.07753939999998)
Committente principale:	Arlington Public Schools
General Contractor:	Gilbane, New York, USA
Progetto architettonico:	BIG - Bjarke Ingels Group, Brooklyn, N.Y., Leo A Daly, Washington, USA
Consulenti al progetto e alla realizzazione:	Gordon, Theatre Projects, Jaffe Holden, Faithful+Gould, GHD, Hopkins Food Service, GeoConcepts, Haley Aldrich, The Sextant Group, Tillotson Design Associates, EHT Traceries, Lerch Bates, Sustainable Design Consulting
Project management:	BIG - Bjarke Ingels Group, Brooklyn, N.Y.
Ingegnerizzazione:	Robert Silman Associates, Washington, USA, Interface Engineering
Carpenterie metalliche:	Banker Steel, Lynchburg, Virginia, USA
Ingegnerizzazione dei dettagli di acciaio:	Sanria Engineering, San Jose, California, USA

## Dati dimensionali

- Area del lotto: 16.700 m<sup>2</sup>
- Importo totale delle opere: circa \$ 100.000.000
- Tempi di progettazione: 2014-2017
- Tempi di realizzazione: 2017-2019

## Riconoscimenti

- 2021 American Institute of Steel Construction (AISC) IDEAS2 Award, riconoscimento nazionale nella categoria di investimenti tra \$75 e \$200 milioni

Si ringrazia lo studio Bjarke Ingels Group, lo studio Leo A Daly e Jason Myers di Silman Washington per le informazioni tecniche, i materiali grafici e fotografici gentilmente forniti.



**Carol Monticelli**, architetto, PhD in Tecnologia e design per la qualità ambientale alla scala urbana e edilizia e professore associato dal 2019 di Tecnologia dell'Architettura. Svolge attività di ricerca con il gruppo TAN (Textile Architecture Network) in relazione alle attività di ClusTex, cluster multidisciplinare sui tessuti innovativi, all'interno del laboratorio interdipartimentale TEXTILES Hub del Politecnico di Milano, sui temi della progettazione ecosostenibile degli edifici e dei processi di innovazione tecnologica e dei materiali, con attenzione alla valutazione degli impatti ambientali nelle varie fasi del processo edilizio.

# L'industrialismo eterodiretto della CasMez e la fabbrica d'acciaio nel Meridione

## *Other-directed industrialization promoted by CasMez and steel-built factories in Southern Italy*

Alessandra Tosone, Renato Morganti, Matteo Abita, Danilo Di Donato\*

*Dipartimento di Ingegneria Civile Edile-Architettura e Ambientale, Università degli Studi dell'Aquila*

La questione meridionale ha rappresentato, sin dall'unità d'Italia, un nodo irrisolto, cui diversi governi hanno cercato di porre rimedio, nel tentativo di impiantare nei territori del mezzogiorno modelli di industrialismo improntati a un capitalismo "eterodosso", solo in parte di matrice liberistica, poiché aperti sia a iniziative private, promosse da un'imprenditoria industriale nazionale o estera, sia all'intervento diretto dello stato. Tra i programmi attuati, spiccano per consistenza e continuità negli investimenti quelli intrapresi dalla Cassa del Mezzogiorno (CasMez), istituita nel 1950 e soppressa soltanto nel 1984. Ad essa si deve la diffusione di nuovi stabilimenti che si accompagna a una lenta rivoluzione del sistema produttivo meridionale, e che trova una sua diretta e privilegiata traduzione costruttiva nelle tecnologie del calcestruzzo armato e del precompresso. La costruzione in acciaio rappresenta invece un'alternativa possibile ma quasi mai praticata; malgrado ciò è oggetto di alcune significative sperimentazioni – quali, per esempio, la fabbrica Angus a Casavatore, di Massimo Pica Ciamarra, il deposito Brionvega ad Arzano, di Franco Albini e Franca Helg e il centro logistico regionale a Gioia del Colle, di Franco Sargiani – contributi sporadici eppur preziosi all'impervio traguardo dell'industrialismo meridionale.

*The "questione meridionale" refers to the extremely slow industrial development of Southern Italy which has been a crucial yet unsolved problem for the entire nation since the proclamation of the Kingdom of Italy in 1861. Several governments have attempted to find a workable solution through the support of specific institutions in order to advance industrialization. The "Cassa del Mezzogiorno" (Funds for the South) was one such organization that emerged among the initiatives to resolve this problem. It was established in 1950 and was only dissolved in 1984. It promoted the spread of new factories that found its privileged constructive systems in the technologies of reinforced and prestressed concrete. Although steel was an alternative option met some significant challenges – for example, the Officine Angus in Casavatore, by Massimo Pica Ciamarra, the Brionvega warehouse in Arzano by Franco Albini and Franca Helg, the Distribution Centre in Gioia del Colle by Franco Sargiani – sporadic yet precious contributions to the impervious goal of southern industrialism.*

### La questione meridionale

«Questo paese è come una miniera umana; cova fra le più profonde ricchezze d'uomini nel mondo. Noi siamo venuti a scoprire un nuovo, difficile oro, sepolto dalla natura e dalla storia» [1].

Il tesoro cui Ottiero Ottieri allude è la sconfinata leva di disoccupati e sottoccupati meridionali che aspira a trovare una collocazione stabile e definitiva all'interno del sistema industriale. Generazioni cresciute all'ombra di una precarietà lavorativa che è anche esistenziale intravedono la propria riscossa sociale nell'impiego in fabbrica. La comune speranza è che essa possa farsi carico dell'annoso problema dell'occupazione [2].

Nella contrapposizione tra il rigoroso sistema di regole che governa la fabbrica – «la legge dell'organizzazione» – e la pressante, seppur disordinata, rivendicazione del diritto al lavoro che proviene dalla massa di disoccupati risiede una chiave di lettura del memoriale di Ottieri, «Donnarumma all'assalto», coscienza autonoma di un proto-industrialismo meridionale che va oltre la retorica della propaganda ufficiale, quella di stato ma anche quella più colta e

raffinata, seguita ai celebri discorsi di Adriano Olivetti agli operai di Pozzuoli [3] o di Enrico Mattei a Gagliano Castelferrato [4]. Dal memoriale emergono alcune delle contraddizioni cui lo sviluppo industriale meridionale va incontro sin dalle pionieristiche sperimentazioni dei primi anni Cinquanta, contraddizioni che sono in parte riconducibili alla distanza che la fabbrica, come istituzione e tempio laico di un nuovo sistema produttivo, coltiva e stabilisce con la compagine del lavoro nel Meridione e con il folclore frammisto alla disperazione che da sempre la accompagna. Del resto la testimonianza di Ottieri, resoconto della sua personale esperienza alla Olivetti di Pozzuoli in qualità di addetto all'ufficio personale, non è la sola a denunciare gli aspetti critici e problematici dell'industrialismo nel mezzogiorno; accogliendo un diverso punto di vista – quello di coloro che sono in eterna attesa di occupazione – "Napoletani a Milano" di Eduardo De Filippo offre un altro spaccato, pur in chiave tragicomica e paradossale, delle incerte dinamiche che si accompagnano alla diffusione dei primi impianti nel sud Italia, risolte nel film con la mancata

\*Corresponding author. Email: danilo.didonato@univaq.it

costruzione dell'acciaiera partenopea e con una fortuita quanto risolutiva vicenda di emigrazione che si rivelerà salvifica anche per le stesse sorti dell'acciaiera.

Non sfugge naturalmente alla politica la necessità di fornire una risposta quanto più convincente ed efficace a questa atavica condizione di arretratezza, per alcuni versi acuitasi dopo il processo di unità nazionale e la conseguente espansione commerciale del capitalismo settentrionale, che talora aveva portato al soffocamento delle poche iniziative imprenditoriali di stampo meridionale.

La cosiddetta "questione meridionale" [5-6] si presenta infatti come il coacervo di situazioni pregresse all'avvento dei Savoia - l'alto tasso di analfabetismo delle popolazioni dello stato borbonico [7], un tessuto industriale acerbo e a prevalente iniziativa statale o estera e l'assenza di una classe imprenditoriale pronta a scommettere sullo sviluppo manifatturiero [8] - e di politiche economiche successive che spesso si rilevano più favorevoli agli interessi commerciali delle imprese del nord e non di quelle del sud, a prevalente vocazione agricola, come per esempio l'imposizione di regimi daziari negli anni Ottanta del XIX secolo [9]. Né alcune sporadiche iniziative riescono a risollevare le zone più disagiate dalla condizione di arretratezza tecnologica e produttiva in cui a lungo ristagnano e a ridurre il divario con le zone più ricche del settentrione: si rivelano

infatti inefficaci alcuni episodici programmi intrapresi dal governo italiano [10], come la legislazione speciale varata all'inizio del 1900 da Giolitti che porta alla costruzione dell'impianto siderurgico di Bagnoli a Napoli (figura 1), dell'acquedotto pugliese e della linea ferroviaria "direttissima" Roma-Napoli (figura 2) [11].

Dalla presa d'atto dei governi che si alternano in rapida successione nei primi anni della Ricostruzione seguita alla seconda guerra mondiale, scaturisce una prima organica pianificazione di strategie volte a garantire risposte efficaci alle problematiche imposte dalla questione meridionale. Agli inizi degli anni Cinquanta il palinsesto delle azioni governative approda così a una serie di iniziative sistemiche che si sostanziano in un ambizioso programma di industrializzazione per il Meridione cui è funzionale l'istituzione della Cassa per il Mezzogiorno.

### Industrialismo e Cassa per il Mezzogiorno

Il processo di industrializzazione del Meridione assume tratti più marcati alla fine degli anni '50, toccando il suo apice nel decennio successivo, gli anni della «Golden Age» italiana [12]. Uno dei primi atti ufficiali che ne sanciscono la propedeusi è la fondazione a Roma, il 2 dicembre 1946, della SVIMEZ, l'Associazione per lo Sviluppo dell'Industria nel Mezzogiorno. Come dichiarato nell'art.

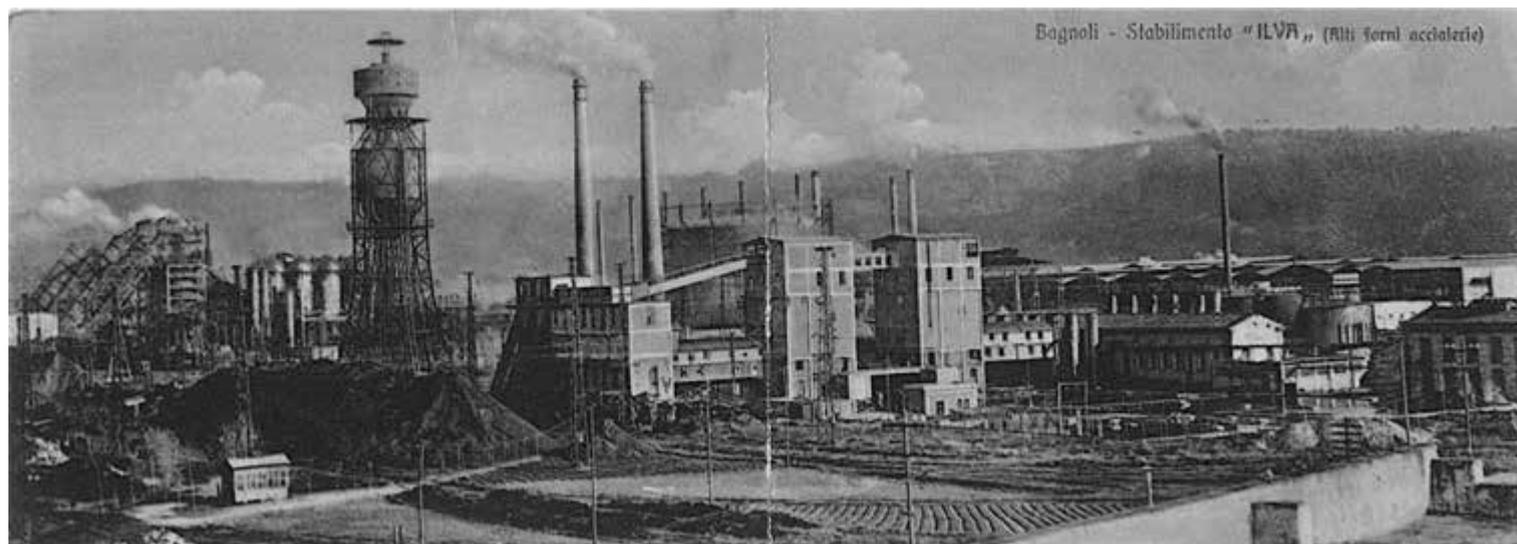


Fig. 1 | Stabilimento Ilva di Bagnoli, ultimato nel 1910; la sua costruzione si deve alla legge speciale per Napoli del 1904 (cartolina d'epoca).

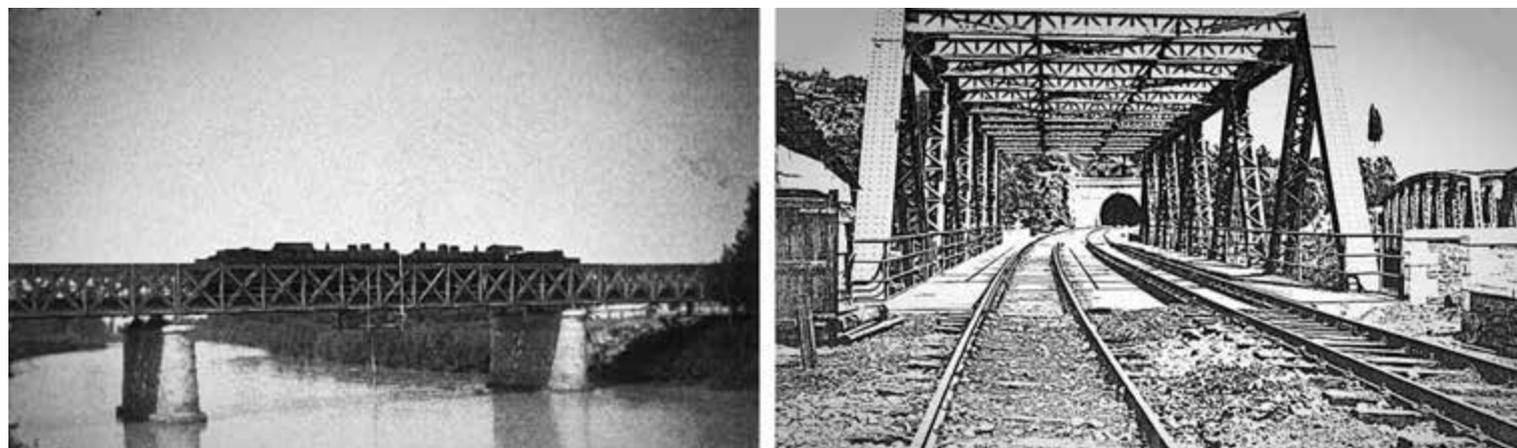


Fig. 2 | Ponti metallici costruiti lungo la linea ferroviaria della Direttissima Roma-Napoli (Archivio Istituto Luce; [www.societaitalianagallerie.it](http://www.societaitalianagallerie.it)).

2 del suo stesso statuto, il principale obiettivo del centro studi è la promozione di «concreti programmi di azione e di opere intesi a creare ed a sviluppare nelle Regioni meridionali e nelle grandi Isole quelle attività industriali le quali meglio rispondano alle esigenze accertate».

Agli stessi fondatori della SVIMEZ si deve l'ideazione della Cassa per il Mezzogiorno (CasMez), istituita dalla legge n. 646 del 1950 e sorta a seguito dell'adesione dell'Italia all'International Bank for Reconstruction and Development (BIRS) – prevista dagli accordi di Bretton Woods del Luglio 1944 – che eroga notevoli finanziamenti, utilizzati anche per le politiche a sostegno del Meridione italiano [13]. Il principale obiettivo perseguito dalla CasMez è il progresso economico e sociale del Centro-Sud Italia. A tal fine l'ente finanzia la costruzione di un sistema infrastrutturale quale incipit per il futuro sviluppo industriale. La legge del 1950 non prevede infatti incentivi all'industria se non quelli per la costruzione di impianti atti alla trasformazione dei prodotti agricoli; è la legge n. 166 del marzo 1952 ad assegnare alla Cassa il compito di supportare iniziative di carattere specificatamente industriale. Lo stesso ente si occupa anche di risorse umane e di formazione con la creazione di scuole professionali e di specializzazione. Le aree interessate dagli interventi promossi dall'ente sono le regioni del Sud, l'Abruzzo, il Molise nonché alcune aree di Lazio e Marche (figura 3).

Nel complesso delle vicende della CasMez lo Stato coinvolge «sia le imprese pubbliche, obbligate per legge a destinare al Mezzogiorno una parte cospicua dei propri investimenti, sia quelle private, che in cambio ricevono prestiti a tasso agevolato e contributi a fondo perduto. Si tratta di interventi dall'alto verso il basso concentrati nei settori «pesanti» a più alto valore aggiunto: la chimica, la

siderurgia, la meccanica avanzata» [16].

Di particolare rilievo per le dinamiche riconducibili alla CasMez è l'emanazione nel 1957 della legge 634, anche nota come legge Pastore cui si deve l'introduzione in Italia dei principi di François Perroux sullo sviluppo polarizzato [17] che sanciscono la “svolta in chiave industrialista” delle politiche dell'ente [18]. Vengono così introdotti i piani ASI (Aree di Sviluppo Industriale) e la conseguente istituzione di consorzi da destinare ad aree con una popolazione superiore ai 200.000 abitanti. Alle ASI si affiancano altre tipologie di insediamento, i Nuclei di Sviluppo Industriale (NSI) da destinare ad aggregati di più piccola dimensione. Alla politica dei poli di sviluppo si deve la costruzione di estese aree industriali dislocate nelle aree del Meridione (Bari, Brindisi, Cagliari, Salerno, Taranto, Gela) [19–20].

L'attività della Cassa si articola in diverse fasi: alle prime, pre-industrialismo (1950–1957), industrializzazione (1957–1965) e inserimento della politica regionale (1965–1973), è possibile far corrispondere un contributo effettivo al miglioramento del Sud Italia con un diretto contributo alla realizzazione del “miracolo italiano” [21]; le ultime due, avvio di progetti speciali (1971–1980), e proroghe di durata fino all'operatività della nuova AgenSud (1980–1993), coincidono con un progressivo decadimento delle attività della Cassa, più spesso chiamata a rispondere a ragioni di natura politica e clientelare. Con il D.P.R. del 6 agosto 1984, la Cassa viene soppressa e sostituita nel 1986 dalla AgendSud, Agenzia per la promozione e lo sviluppo del Mezzogiorno. Anche quest'ente viene successivamente liquidato nel 1992, quando il Ministero dell'Economia e delle Finanze decide di coordinare in modo diretto l'intervento pubblico nelle aree depresse.

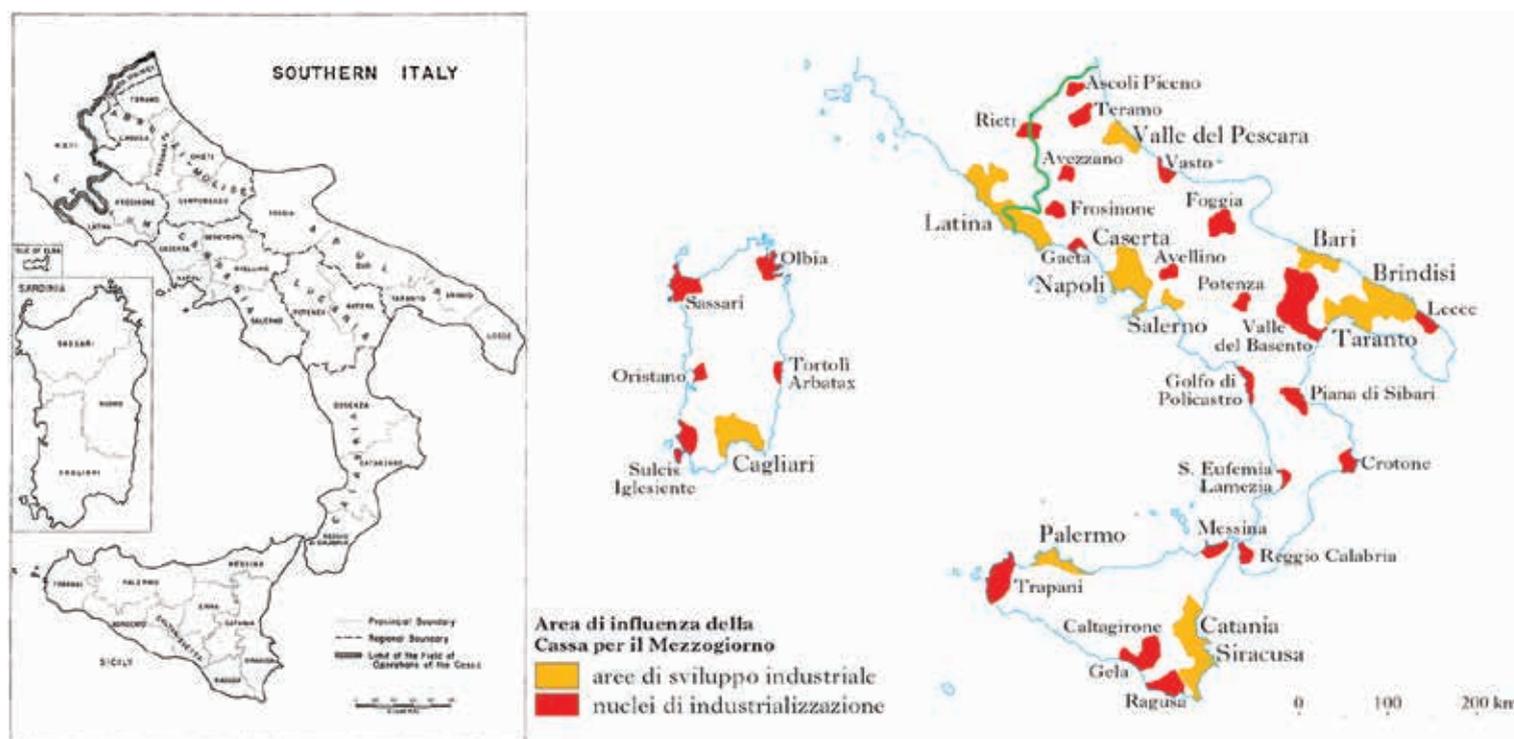


Fig. 3 | Aree interessate dagli interventi promossi dalla CasMez (IBRD, 1951) e planimetria delle ASI e delle NSI (Adorno, 2015).

## Acciaio e fabbriche del Meridione

I finanziamenti stanziati dalla BIRS per i programmi della CasMez si affiancano nei primi anni Cinquanta a quelli che il Piano Marshall, l'European Recovery Program (ERP) elargisce per il riammodernamento dei «settori portanti dell'industria italiana esportatrice» e per le politiche a sostegno delle aree arretrate della nazione [22]. L'ERP, secondo le intenzioni del suo ideatore, il segretario di stato statunitense George Marshall, viene concepito come un piano quadriennale, il cui avvio risale al 1947 e il termine al 1951, giusto in tempo per finanziare uno dei nuovi impianti industriali realizzati nel Meridione dopo la seconda guerra mondiale: la fabbrica Olivetti di Pozzuoli (figura 4).

La scelta del sito, nell'hinterland napoletano, scaturisce dalla volontà di porre un freno alle mire espansionistiche della principale rivale della Olivetti, la statunitense Redmington Rand che aveva espresso il proprio interesse a realizzare nella stessa area un proprio impianto di produzione [23].

Questo complesso assurge nel tempo a manifesto dello sviluppo

industriale nel Sud Italia. Non a caso la sua costruzione incontra un favorevole riscontro mediatico e viene più volte pubblicizzata su giornali e riviste dell'epoca [24]. La fiducia riposta da Adriano Olivetti nella nuova fabbrica meridionale è esemplificata dalla scelta di affidare l'incarico ad un progettista campano, Luigi Cosenza che pur affermatosi come uno dei più prestigiosi rappresentanti partenopei del Razionalismo Italiano, mai si era confrontato con il tema della fabbrica. La fiducia del *tycoon* di Ivrea viene però pienamente ripagata dagli esiti eclatanti dell'intera vicenda, con la costruzione di uno degli impianti industriali più noti nella storiografia architettonica sia italiana che europea .

Questa prova d'esordio, la cui eco si protrae negli anni, fa presagire le «magnifiche sorti e progressive» per l'industrialismo meridionale. La previsione si rivelerà in effetti solo in minima parte fondata. La lungimiranza di Olivetti e le felici intuizioni di Cosenza rappresentano infatti condizioni di eccezione che stenteranno più spesso a ripetersi, malgrado l'incipiente sviluppo industriale del Sud proceda negli anni del boom a passo più spedito.



Fig. 4 | La fabbrica Olivetti di Pozzuoli, ing. L. Cosenza, 1951-54 (www.storiaolivetti.it).



Fig. 5 | A sinistra, la fabbrica di ceramiche Solimene, arch. P. Soleri, Vietri sul mare, 1952-1954, in una foto di Franco Di Capua (Francesco Di Capua@Flickr CC-BY-SA 2.0 <https://flic.kr/p/79gr64>); a destra lo stabilimento Idrocarburi Montecatini, arch. E. Sgrelli, Brindisi, 1960-1964 (Archivio Giordani, Malaguzzi Valeri e Sgrelli, presso Niccolò Belloni Architetti).

Le dinamiche poste in essere dalla CasMez, – la promozione delle ASI e delle NSI con la creazione di estesi poli industriali (saranno circa 50 in tutto il Meridione) nonché il decisivo intervento dello stato e di grandi imprese settentrionali o estere nei processi di industrializzazione – non riescono a favorire la formazione di un substrato imprenditoriale più capillare, in grado di offrire un numero consistente di occasioni progettuali [25]. Non si forma quasi mai quella classe di piccole e medie imprese che invece nel nord del paese garantisce ad architetti e ingegneri innumerevoli opportunità di confrontarsi con il tema degli spazi per la produzione. Le ragioni di questa marcata differenza tra le due aree del paese sono molteplici e tra di esse non appare secondaria una certa ritrosia che parte della classe imprenditoriale meridionale mostra nei confronti delle iniziative industriali. Questo atteggiamento è stigmatizzato per esempio da Franco Rosi ne «Le mani sulla città» quando fa dichiarare al protagonista del film di preferire la speculazione edilizia all'avvio di una nuova fabbrica perché molto più redditizia.

Stentano pertanto a manifestarsi occasioni utili alla costruzione di architetture industriali che in apparenza non riescono a trovare approdi convincenti nel Meridione. In realtà ciò non è del tutto vero, ma queste iniziative assumono più spesso un carattere sporadico che ne ostacola la messa a sistema. Alcuni interventi sono particolarmente noti, quali per esempio l'impianto Pozzi Ginori a Sparanise di Luigi Figini e Gino Pollini, quello della Olivetti a Marcianise di Eduardo Vittoria e Marco Zanuso, lo stabilimento della SIAG, sempre a Marcianise di Angelo Mangiarotti, la fabbrica di Ceramica Solimene a Vietri sul mare di Paolo Soleri e il complesso Montecatini a Brindisi di Ezio Sgrelli (figura 5). Questi interventi, in continuità con molte delle vicende costruttive che interessano il Meridione, prevedono in forma pressoché esclusiva, il ricorso alla tecnologia del calcestruzzo armato o del precompresso [26].

Un duplice carattere di eccezione, rappresentato dalla condizione di appartenenza al complesso delle fabbriche meridionali e dal sistema costruttivo impiegato, attiene agli spazi per la produzione con struttura in acciaio. Se questa tecnologia è marginale nello

scenario tecnico-costruttivo del settentrione, lo è tanto più nel Mezzogiorno, dove è da sempre relegata a sperimentazioni episodiche. Particolarmente interessanti appaiono allora per la storia delle tecniche quegli interventi che ricorrono alla costruzione metallica per strutturare i nuovi spazi per l'industria. Tra di essi è possibile annoverare alcuni grandi complessi, come per esempio il IV polo siderurgico dell'Italsider a Taranto, realizzato dalla CMF – Costruzioni Metalliche Finsider [27], e l'Alfasud di Pomigliano d'Arco, su progetto di di Rudolf Hruska (figura 6) [18]. In questi interventi vengono esplorate le potenzialità della costruzione a secco in termini di flessibilità del sistema strutturale per la copertura di grandi luci e il contenimento dei tempi di costruzione. Ai grandi complessi si affiancano interventi di dimensioni più contenute, come nel caso delle industrie progettate da Eduardo Vittoria, che partecipa alla costruzione di numerose fabbriche nel Meridione tra le quali lo stabilimento Covit a Grumo Nevano (figura 7) e i laboratori farmaceutici Farminter e Esterfarm a Pomezia [28]. Funzionale a ciò si rivela anche la scelta della costruzione metallica, vero e proprio topos nella sperimentazione progettuale dell'architetto napoletano, che affida all'acciaio la soluzione di temi strutturali complessi e del processo di ottimizzazione di tecniche e procedimenti costruttivi.

Le linee di ricerca che Vittoria indaga si possono ritrovare, pur se in forma sporadica e talora episodica, anche in alcuni contributi, che portano alla realizzazione di edifici significativi: le officine Angus a Casavatore in provincia di Napoli, su progetto di Massimo Pica Ciamarra, il deposito della Brionvega di Franco Albini e Franca Helg ad Arzano, sempre nel napoletano, il centro logistico della ditta Sivam a Gioia del Colle, di Franco Sargiani, cui si deve anche la realizzazione di un altro complesso a struttura metallica, un centro produttivo a Battipaglia, commissionato sempre dalla Sivam (figura 8). In questi interventi si concentra maggiormente quella sperimentazione architettonica volta alla definizione di una via meridionale al tema della fabbrica, in grado di superare lo stereotipo delle «officine nere e senza spazio» del Nord [1].

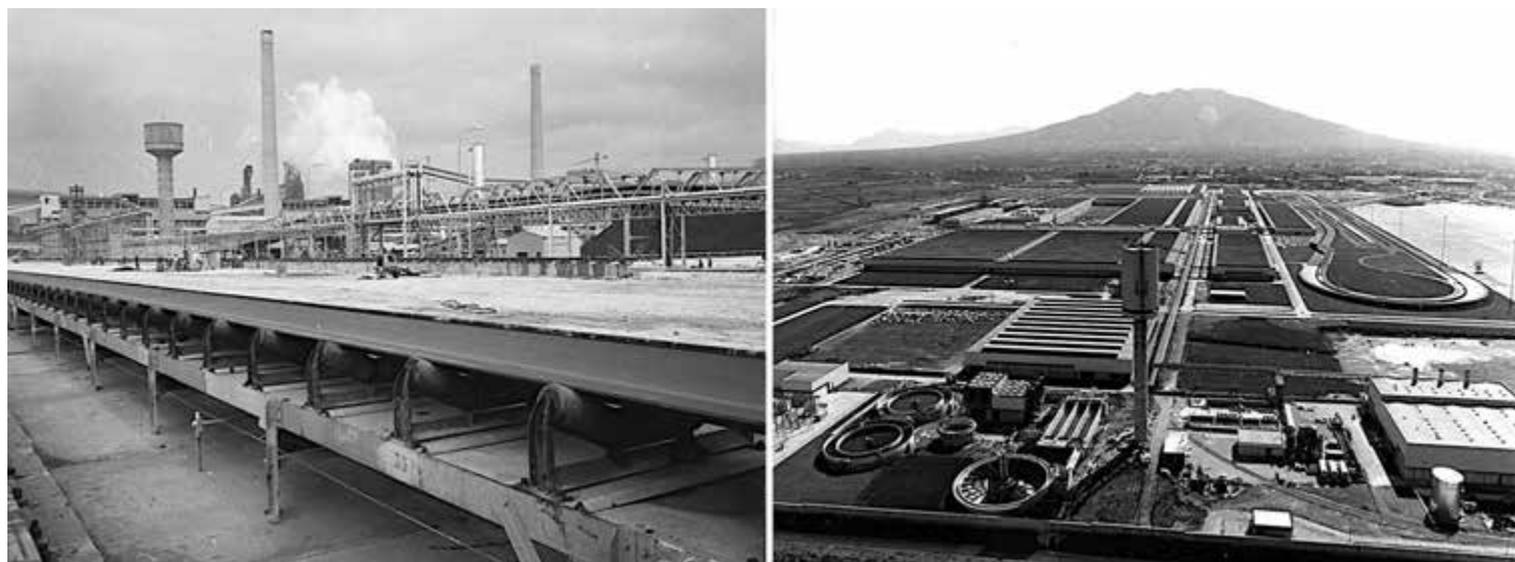


Fig. 6 A sinistra, IV Centro Siderurgico, Italsider, Taranto, 1960–1964, in una foto di Paolo Monti (Fondo Paolo Monti, di proprietà BEIC, collocato presso Civico Archivio Fotografico di Milano, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48042543>); a destra, Stabilimento Alfa Romeo di Pomigliano d'Arco, ing. R. Hruska, 1968–1972 (Centro Documentazione Alfa Romeo – La Macchina del Tempo – Museo Storico Alfa Romeo).

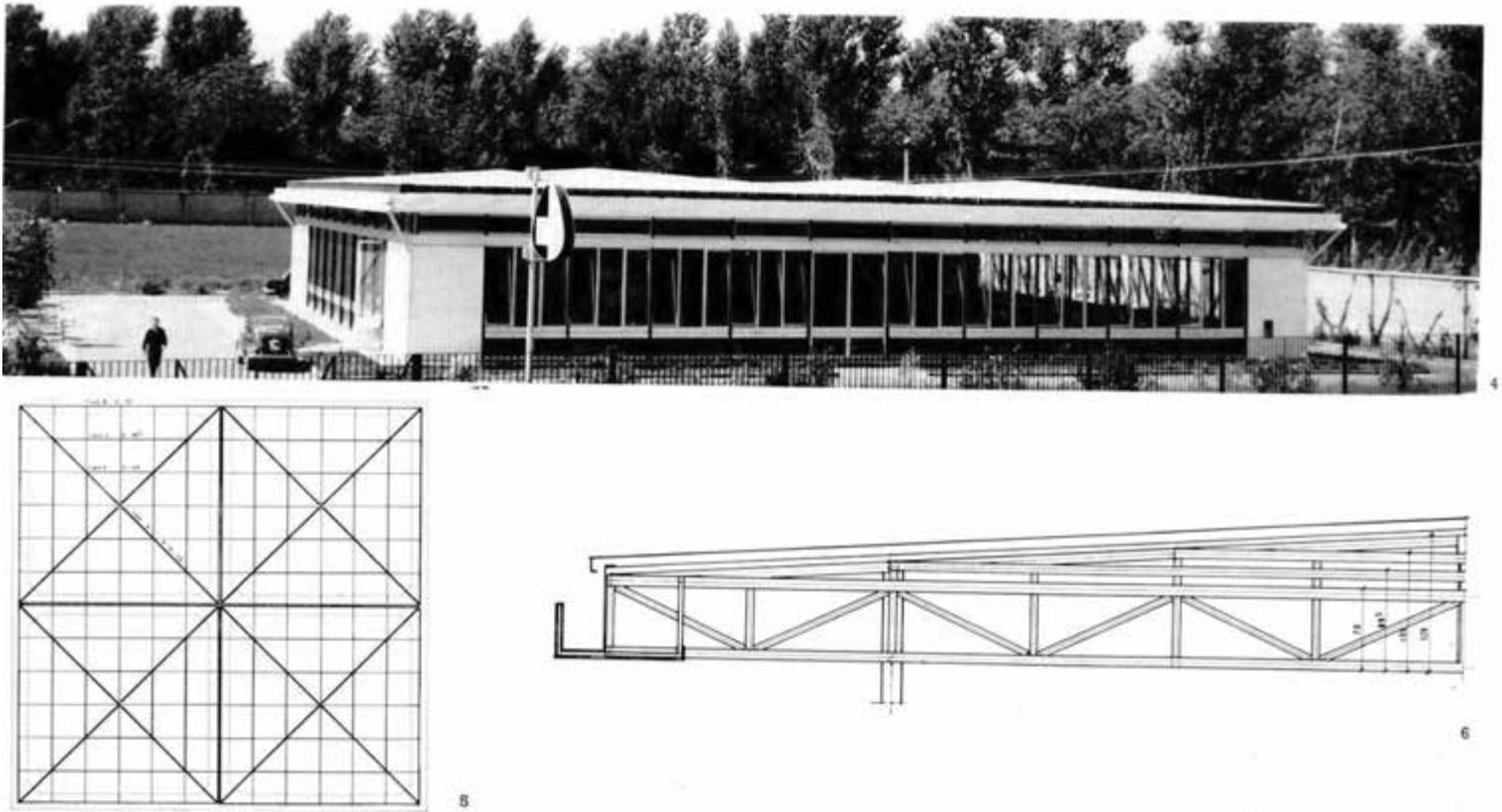


Fig. 7 | Stabilimento Covit, arch. E. Vittoria, Grumo Nevano, 1963–1964 (Vittoria, sd).



Fig. 8 | Mangimificio e centro di distribuzione Sivam di Battipaglia, arch. F. Sargiani, Battipaglia, 1972 (Franco Sargiani).

## Officine Angus a Casavatore, Napoli

Nel 1960 un'azienda anglo-svizzera, la Angus, produttrice di guarnizioni in gomma, neoprene e acciaio, decide di ampliare il proprio stabilimento di Casavatore, nell'hinterland napoletano e ne affida l'incarico a Massimo Pica Ciamarra, all'epoca ventiquattrenne. Al progetto collaborano anche gli ingegneri Luciano Boscotrecase ed Ettore Minervini che curano gli aspetti strutturali, nonché Nello Polese e Francesco Reale che si occupano dei sistemi impiantistici [29–31].

La scelta dell'impresa di puntare su un giovane professionista, pressoché agli esordi, viene ben presto ripagata. L'architetto napoletano, infatti, non si lascia intimorire dal tema progettuale, ma lo affronta con la ferma convinzione di voler/dover opporsi allo «stereotipo del convenzionale edificio industriale» [32]. Ne scaturisce un progetto complesso, sintesi di una ricerca architettonica, che è rivolta al superamento del «conflitto tra forma, funzione e struttura», e di una sperimentazione tecnologica, che insiste sull'accurata definizione di alcuni temi caratterizzanti: tra essi emergono il disegno della copertura, come elemento qualificante degli spazi per la produzione, e lo studio di soluzioni di dettaglio, ispirato al principio di una crescita organica dell'intero edificio (figure 9–10). La ricerca figurativa che l'architetto pone in essere si declina, pertanto, in «una forma che abbia, in ogni momento

una sua compiutezza ma che denunci attraverso “maglie di attesa” [33], la disponibilità alla crescita ed alla continua trasformazione», nell'ottica di assecondare al meglio «i caratteri evolutivi della struttura organizzativa».

Il primo intervento viene ultimato nel 1961; al suo interno si trovano già i topoi progettuali che incontreranno una più matura definizione nei successivi ampliamenti, realizzati nel 1964 e nel 1968. Funzionale alle «maglie di attesa» è il disegno di due componenti: la colonna e lo scheletro d'acciaio del modulo di copertura, dal cui assemblaggio e reiterazione scaturisce la logica di accrescimento modulare che governa il meccanismo di sviluppo dell'edificio (figure 12–13) [34]. Nell'intervento del 1961 il pilastro viene realizzato in calcestruzzo armato, ma nel successivo ampliamento del 1964 è in acciaio; questa colonna, di impronta quadrata, è a sezione cava, per favorire l'integrazione con gli impianti, ed è composta da quattro profilati a L, inseriti agli spigoli e resi solidali da piatti orizzontali perimetrali, posti ad intervalli regolari lungo lo sviluppo del ritto. Ogni colonna, in testa, presenta una piastra, forata per il passaggio degli impianti, su cui poggiano le strutture dei moduli di copertura: reticolari spaziali a sviluppo tronco-piramidale a base quadrata, di 10 m di lato, composte da profilati aperti e tubi, con aste orientate sulle giaciture parallele ai lati e alle diagonali.



Fig. 9 | Officine Angus a Casavatore, arch. M. Pica Ciamarra Associati, 1961–1968 (Pica Ciamarra Associati).

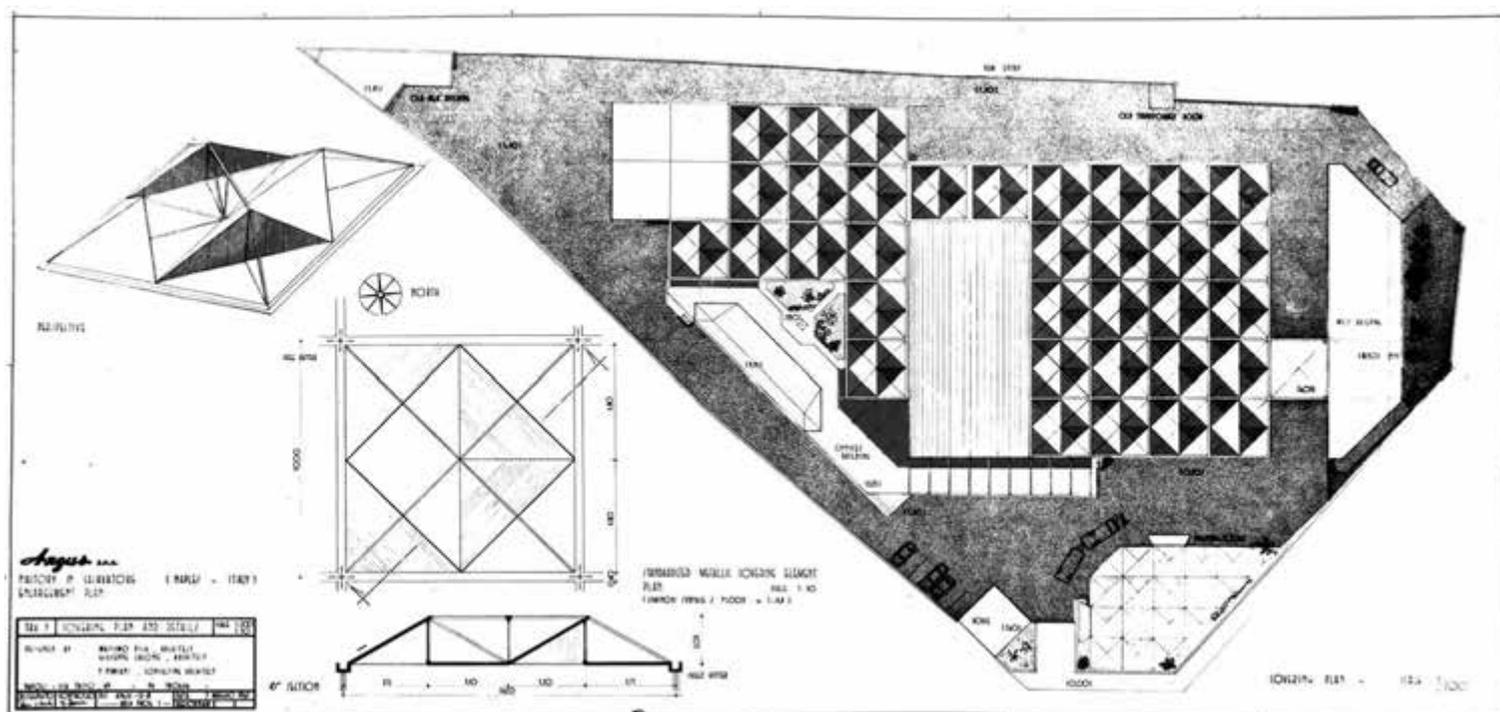


Fig. 10 Planimetria relativa al progetto del 1961; filo rosso tra questa proposta e le successive, in parte differenti, è la conformazione tronco-piramidale dei lucernari che articolano la copertura (Pica Ciamarra Associati).



Fig. 11 | Il sistema resistente in acciaio del corpo uffici: il disegno delle colonne integrato con gli stralli che riprendono gli sbalzi dei solai (Pica Ciamarra Associati).

Lo scheletro resistente così individuato sostiene le parti piane dell'impalcato e i quattro lucernari piramidali, a base triangolare, la cui geometria è generata da due maglie incrociate: quella parallela ai lati del modulo di copertura e quella individuata dalle sue diagonali. I lucernari sono a due a due orientati sui fronti nord-ovest e nord-est e disposti in configurazione chiasmica, la stessa che verrà riproposta anche nell'ampliamento del 1964 pur se con un diverso disegno della struttura. Le parti opache in copertura sono costituite da lastre in eternit, isolate con «schiume di poliuretano realizzate in opera». La configurazione così scelta per questo impalcato lascia esposte alcune aste della reticolare spaziale (figura 14). L'involucro verticale è realizzato in pareti di laterizio a vista.

Il terzo ampliamento corrisponde alla costruzione del corpo uffici, anch'esso a struttura d'acciaio; se nelle officine le «maglie di attesa» presuppongono uno sviluppo orizzontale, in questo blocco esse si sostanziano in una crescita in verticale (figura 15). Funzionale a ciò è il disegno della colonna e la scelta di ricorrere a collegamenti meccanici tra le parti, utili a garantirne un facile assemblaggio. Le colonne sono diversamente articolate in altezza: nei primi due livelli esse sono a sezione scatolare composta, ottenuta da quattro profilati a doppio T, irrigiditi agli spigoli da profilati a L; nei due livelli sovrastanti queste assumono, invece, una configurazione analoga a quella dei montanti impiegati nelle officine (figura 11). Gli impalcati di tale blocco sono sostenuti da orditi di profilati a sezione aperta. Il secondo piano, in aggetto rispetto al filo delle



Fig. 12 | Il montaggio delle colonne e dei moduli di copertura degli spazi per la produzione (Pica Ciamarra Associati).



Fig. 13 | Vista dello spazio interno delle officine (Pica Ciamarra Associati).



Fig. 14 | Le strutture tronco-piramidali dei moduli di copertura che accolgono il sistema dei lucernari (Pica Ciamarra Associati).

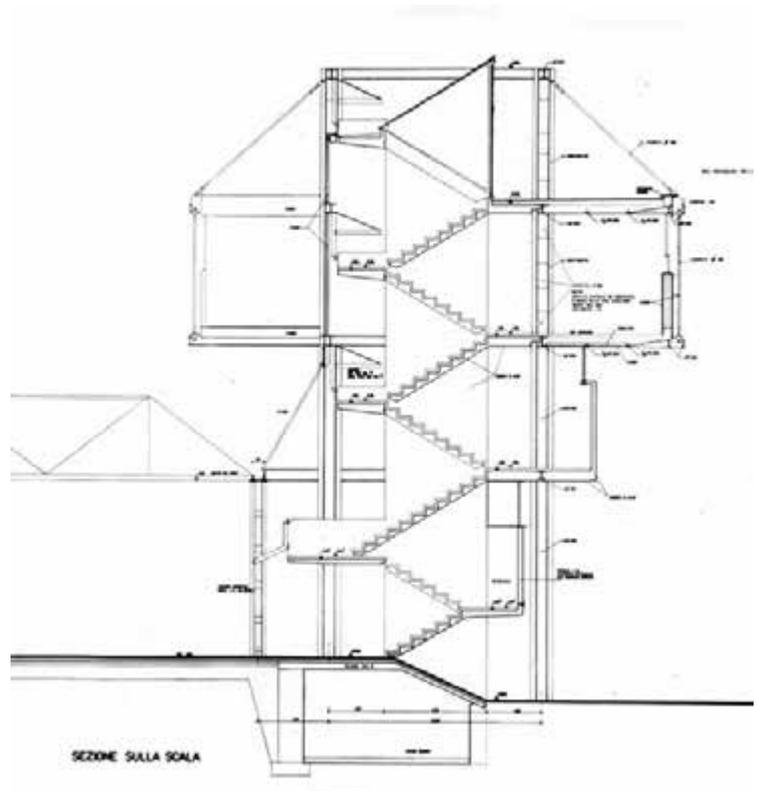


Fig. 15 | Sezione di progetto del corpo uffici (Pica Ciamarra Associati).



Fig. 16 | Il corpo uffici in una foto di Mimmo Jodice (Pica Ciamarra Associati).

pilastrate, viene sorretto da un sistema di tiranti inclinati, costituiti da cavi binati, collegati in alto alla testa delle colonne (figura 16). Il carattere di eccezione dell'intera vicenda costruttiva, si traduce in un'architettura alquanto originale, che non nega in alcun modo la funzione cui è destinata ma, al contrario, attraverso l'esposizione dello scheletro metallico celebra la meccanica precisione della fabbrica.

### Magazzino e uffici Brionvega ad Arzano, Napoli

Ad Arzano, a pochi chilometri dallo stabilimento Angus viene realizzato, a partire dal 1968, il complesso che accoglie gli uffici e il deposito della Brionvega, non un vero e proprio spazio per la produzione ma una di quelle strutture destinate alla logistica necessarie al sistema industriale per lo stoccaggio delle merci e la loro distribuzione alle reti di vendita locali [35–36]. L'azienda dei Brion, che in quegli anni può contare su una prestigiosa affermazione nel mercato degli apparecchi radiofonici e televisivi e su un unanime riconoscimento per quanto fatto nel campo dell'*industrial design*, affida il progetto di questa nuova sede campana allo studio Albini–Helg, che ha già lavorato per la famiglia di origini venete. Nel periodo in cui sono impegnati ad Arzano, gli architetti rinsaldano il rapporto con la compagnia che gli affida anche la realizzazione degli uffici a Padova, nel 1969, il progetto di quelli torinesi, nel biennio 1970–71, nonché lo studio di ulteriori depositi da costruire, rispettivamente, a Scandicci, nel 1969, e Sesto

Fiorentino, tra il 1971 e il 1974. In particolare, gli incarichi per i due centri logistici toscani si collocano sulla scia di quanto avviato con l'iniziativa campana; in base agli indirizzi aziendali l'edificio dell'hinterland napoletano deve infatti rappresentare un possibile modello di deposito–tipo da reiterare, con apposite modifiche e adattamenti, anche in altri contesti. Questa modalità operativa, pur episodica, non è un'eccezione nello scenario dell'architettura per l'industria italiana, poiché la stessa Olivetti ne aveva già esperito le potenzialità nel progetto della fabbrica a Scarmagno di Eduardo Vittoria e Marco Zanuso, ideata come un episodio prototipale, un vero e proprio banco di prova, da riproporre per la costruzione degli stabilimenti di Crema e Marcianise. Anche la Zanussi–Rex aveva adottato indirizzi analoghi affidando sia a Gino Valle che a Giuseppe Davanzo i progetti di modelli di filiali e depositi, utili alla costituzione di una rete di sedi destinate alla logistica. Tra questi, gli interventi che si devono a Valle – le filiali Rex di Padova e Milano tra le altre – mostrano singolari punti di contatto con il magazzino Brionvega ad Arzano, in particolare simile appare un presupposto progettuale: le logiche che presiedono all'ideazione del prodotto industriale vengono estese alla concezione dell'edificio, con l'acquisizione di prassi proprie dell'*industrial design* i cui esiti, nel caso di Arzano, portano ad assimilare «la scatola strutturale agli oggetti tecnici esposti al suo interno» [38]. Comune è anche la matrice tettonica, il telaio in acciaio che articola l'organizzazione modulare degli spazi.



Fig. 17 Magazzino e uffici Brionvega, F. Albini e F. Helg, Arzano, 1968–1971 (Fondazione Franco Albini).

Il magazzino napoletano viene ultimato nel biennio 1971-72; è caratterizzato da un impianto inscritto all'interno di un quadrato, i cui lati corrispondono a sei moduli; unica eccezione in pianta è data dall'arretramento di parte di uno dei fronti laterali in corrispondenza di uno spigolo, utile all'inserimento di una rampa che garantisce l'accesso al livello semi-ipogeo. L'edificio è allineato sulla direttrice Nord-Sud ed è ruotato rispetto all'asse viario dell'antistante Circonvallazione; questa disposizione consente una visione prospettica dell'intero complesso dalla strada, esaltandone

«gli effetti percettivi» [38] nonché il ricercato intento pubblicitario che esso deve garantire (figura 17) [39]. Al suo interno accoglie la zona espositiva, gli uffici, la sala riunioni e il magazzino ricambi, posti in prossimità alla strada; in posizione più arretrata si trovano il deposito, l'ambiente più vasto nonché il più alto, il laboratorio, la zona destinata allo scarico degli automezzi e la casa del custode (figura 18). Il sistema modulare che presiede all'organizzazione degli spazi e definisce anche il passo strutturale, pari a 7.2 m, è basato sulla maglia generata dal modulo base di 1.2 m. I telai

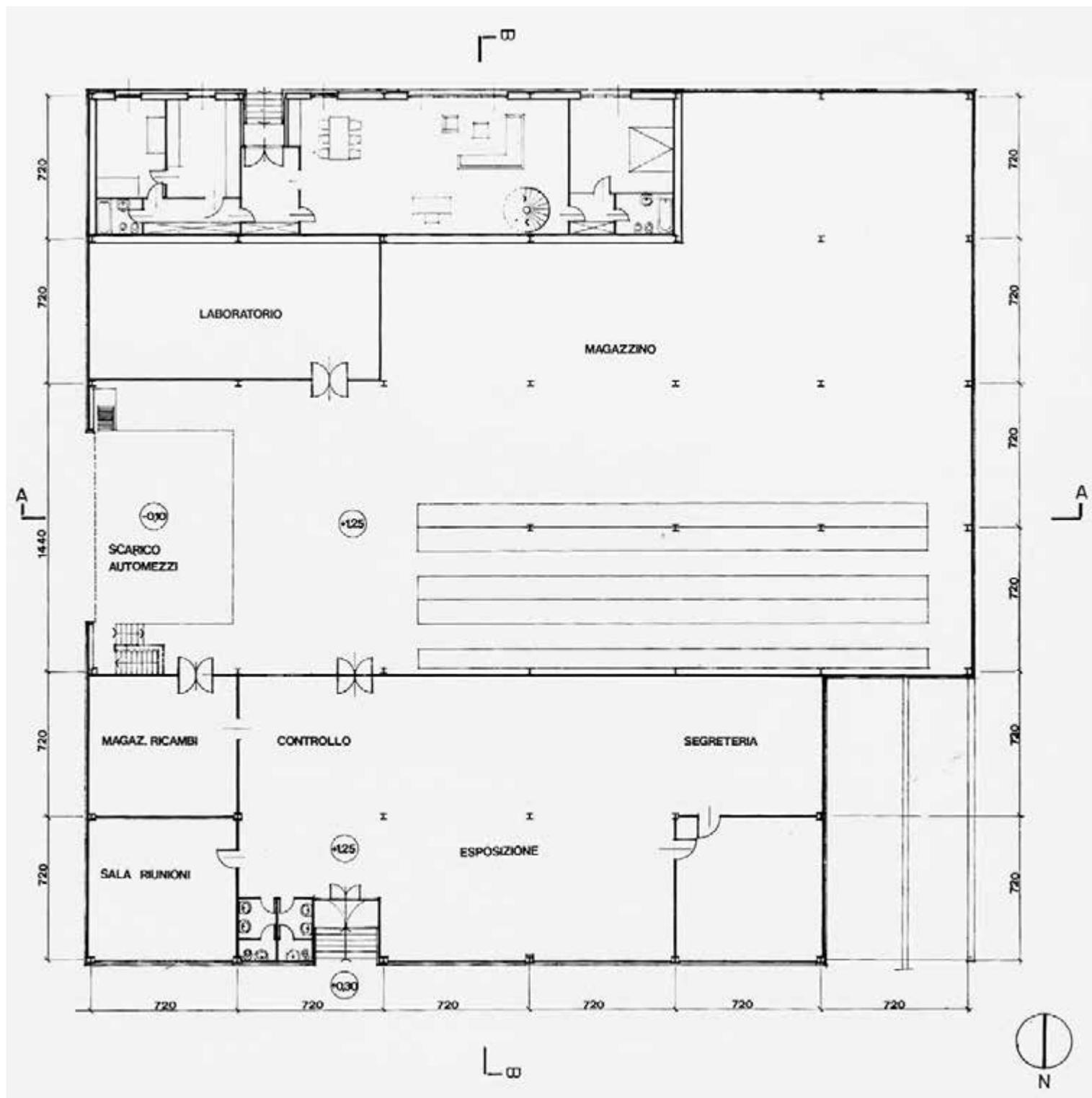


Fig. 18 | Planimetria del magazzino; sul fronte più basso che si affaccia sulla Circonvallazione esterna di Napoli sono posti gli spazi aperti al pubblico, sul retro il deposito e un laboratorio, nonché la casa del custode (Manfredini, 1972).

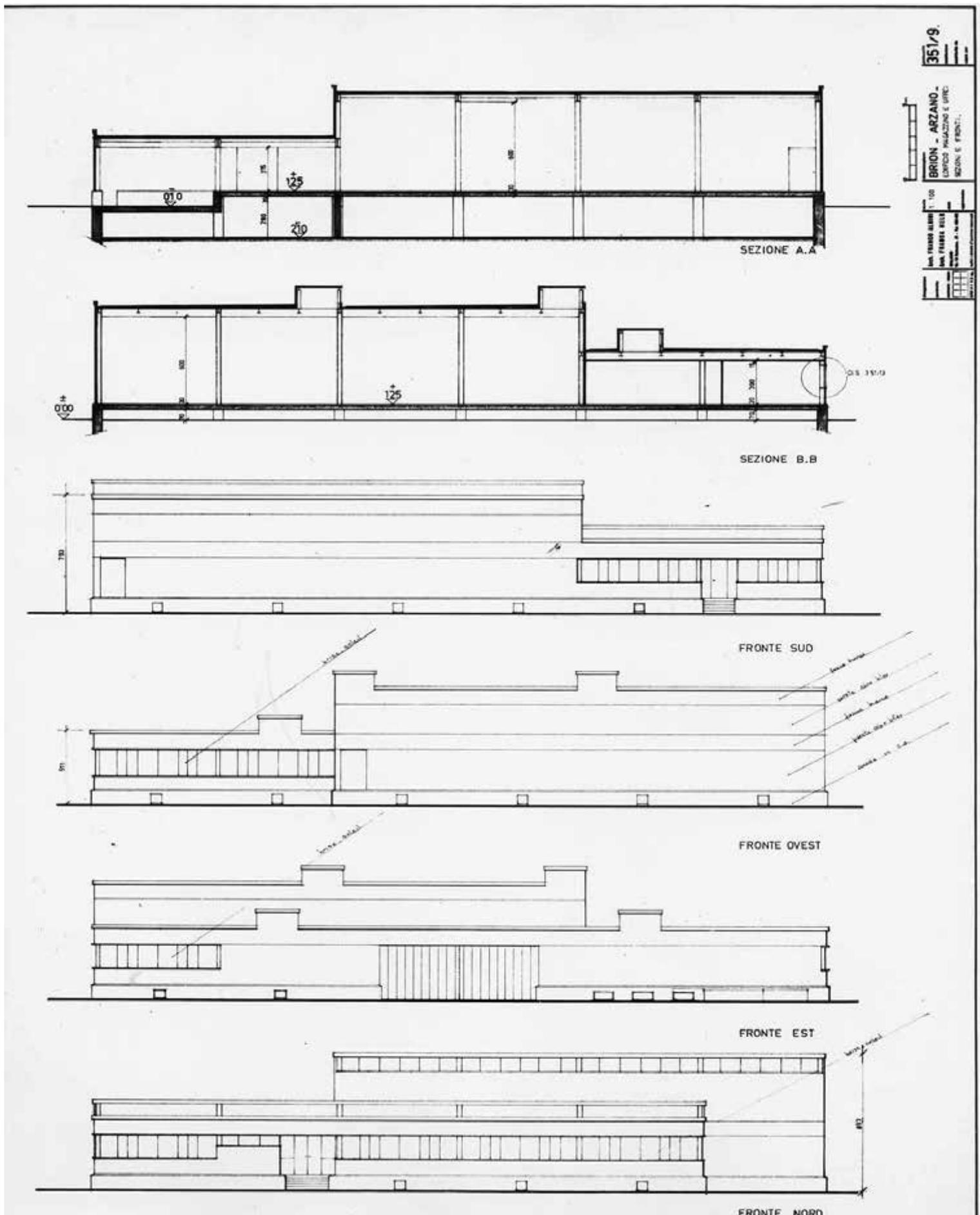


Fig. 19 | Prospetti e sezioni del magazzino con indicazioni relative ai materiali scelti per le soluzioni di involucro (Fondazione Franco Albini).

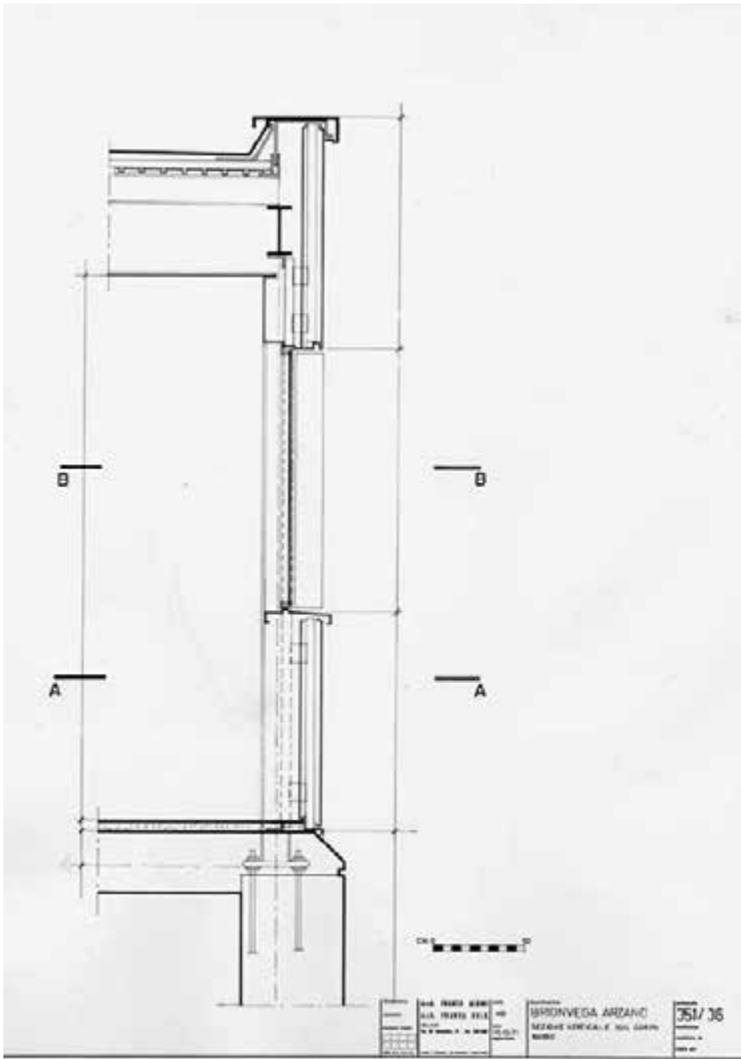


Fig. 20 | La stratigrafia dell'involucro, con il rivestimento esterno in pannelli di acciaio porcellanato (Fondazione Franco Albini).



Fig. 21 | Vista del magazzino, illuminato dalla luce naturale che filtra attraverso le superfici esposte a settentrione dei lucernari (Fondazione Franco Albini).

impostano sul basamento in calcestruzzo armato e sono costituiti da colonne HE e travi Ipe, più alte per l'ordito principale, tessuto lungo la direzione est-ovest, più basse per quello secondario, sovrapposto e trasversale al primo (figura 19). I telai sono celati negli spazi espositivi e negli uffici per mezzo di rivestimenti e controsoffitti, mentre restano esposti altrove. Unica eccezione alla regolarità strutturale viene introdotta nella zona di scarico degli automezzi, con l'interasse dei montanti a coprire una luce maggiore, pari a 14.4 m, per facilitare la movimentazione di mezzi e merci, la tessitura delle travi ortogonale alla prevalente e il piano di calpestio che coincide pressoché con il livello stradale e risulta pertanto ribassato rispetto agli altri ambienti, a garantire la continuità in quota tra il magazzino e i vani di carico degli autocarri.

L'impalcato di copertura è realizzato in lamiera grecata, opportunamente coibentata e impermeabilizzata. La luce naturale filtra negli spazi grazie a tre lunghi lucernari che alterano la continuità delle chiusure orizzontali e caratterizzano il profilo dell'edificio (figura 20).

Il carattere ferrigno del magazzino non si coglie solo al suo interno ma si percepisce chiaramente anche dall'esterno, grazie all'involucro in pannelli goffrati di acciaio porcellanato – posti al disopra del basamento in calcestruzzo armato – che vanno a definire campi orizzontali bicromatici, con l'alternanza di fasce bianche e “bleu”, di differente altezza ma modulate con la stessa scansione ritmica. I fronti risultano in prevalenza opachi e le uniche aperture sono poste in corrispondenza della casa del custode e del corpo più basso su strada, schermate da *brise-soleil* in lamelle scatolari girevoli, assemblate con la stessa lamiera utilizzata per il rivestimento (figura 21). Nelle soluzioni di involucro si manifesta la strategia comunicativa che Albini ed Helg perseguono: «L'edificio Brionvega riproduce all'esterno le forme del suo contenuto. Una sintassi che rende allusivamente trasparente l'involucro opaco» [38].

### Centro logistico Sivam a Gioia del Colle, Bari

Quando Sargiani progetta il centro logistico a Gioia del Colle nel 1971 è un architetto poco più che trentenne. Le sue precedenti esperienze professionali, seguite alla laurea in architettura al Politecnico di Milano, si articolano nella collaborazione con Bruno Morassutti – negli anni in cui il noto architetto padovano progetta una delle fabbriche in acciaio più note nello scenario italiano, l'edificio industriale a Longarone – e nel lungo tirocinio internazionale svolto nel Nord Europa. Il centro logistico viene commissionato a Sargiani dalla SIVAM, la Società Italiana Veterinaria Agricola Milano, azienda che si occupa della produzione di mangimi e di prodotti chimici per l'agricoltura. L'edificio di Gioia del Colle, completato nel 1972, è destinato ad ospitare attività di stoccaggio e distribuzione di prodotti per l'agricoltura (figura 22).

Alla presunta semplicità dell'impianto il progettista fa corrispondere un dettagliato programma di progetto definito sulla base di precise necessità funzionali e tecnologiche. La superficie coperta di circa 2.150 mq destinata al deposito e, in minima parte, ad uffici deve rispondere al criterio della massima flessibilità distributiva anche in relazione alla possibilità di accesso e movimentazione all'interno di mezzi meccanici molto ingombranti, come autocarri articolati e carri



Fig. 22 | Centro logistico Sivam, F. Sargiani, Gioia del Colle, 1971-1972 (Franco Sargiani).

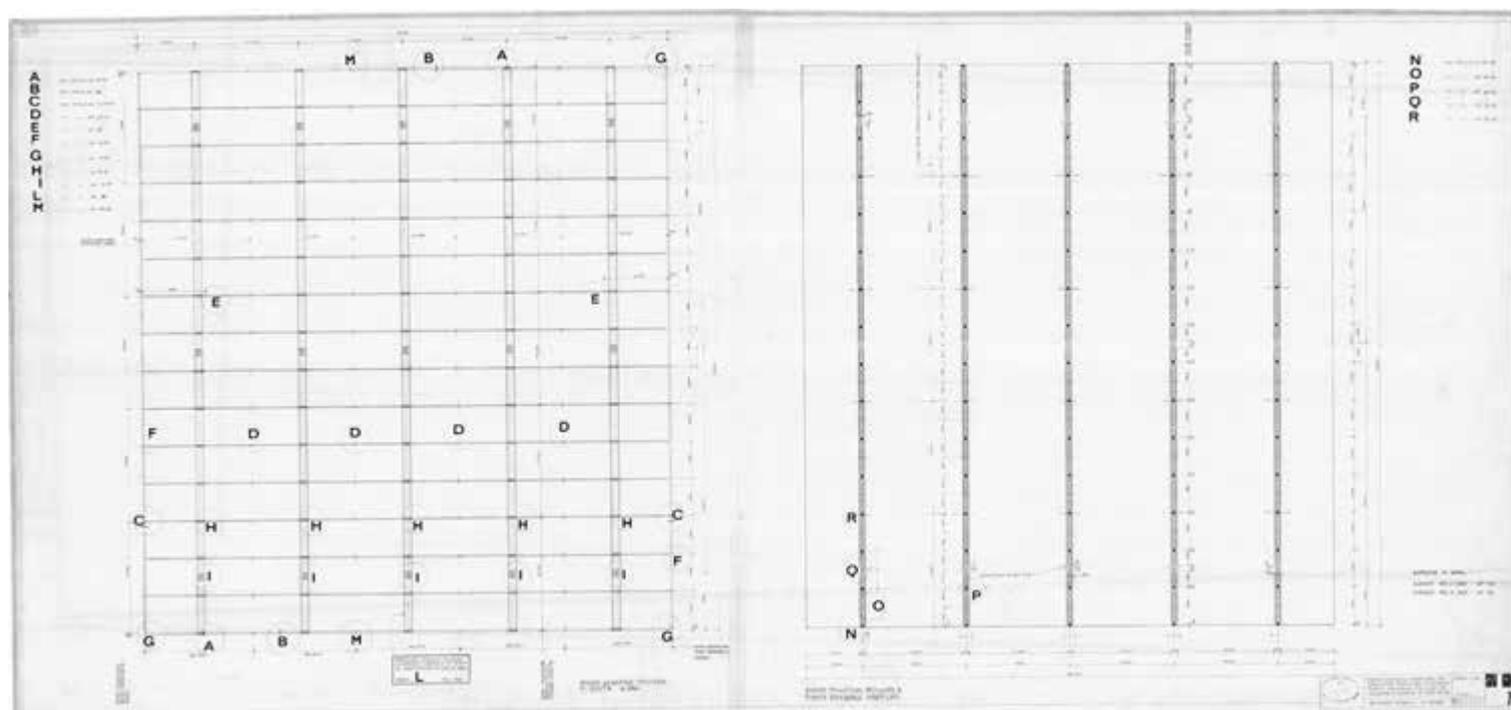


Fig. 23 | L'organizzazione modulare della struttura in acciaio (Franco Sargiani).

ferroviari su carrello stradale, che impongono anche la necessità di garantire agli spazi un'altezza libera di 6,00 m. L'ambiente che accoglie il deposito deve soddisfare precisi requisiti di comfort con una adeguata ventilazione interna e una contenuta illuminazione, al fine di permettere la buona conservazione dei prodotti agricoli. L'area di carico e scarico perimetrale, esterna al magazzino, deve essere anch'essa coperta e schermata dall'irraggiamento solare e dalla pioggia, a protezione non solo della merce, ma anche degli operatori.

Le scelte costruttive sono funzionali a garantire risposte a precise condizioni di durabilità e sicurezza delle pareti perimetrali a fronte di eventuali urti o appoggi dei materiali stoccati e a minime

necessità manutentive.

Il progetto, in cui lo spazio interno e quello esterno sono pensati come un unicum, trova in una precisa chiave tecnica la possibilità di dare piena attuazione al programma; ne scaturisce una configurazione dell'edificio che è risolta secondo due distinti registri architettonici: gli elementi lineari metallici a sorreggere la grande copertura, il continuum murario a caratterizzare l'involucro esterno.

La pianta del deposito è definita da una griglia dimensionale basata sui moduli M11 e M4, che norma il sistema resistente metallico definendo la posizione degli elementi verticali e l'ordine degli elementi di impalcato. Cinque colonne, formate da profilati saldati

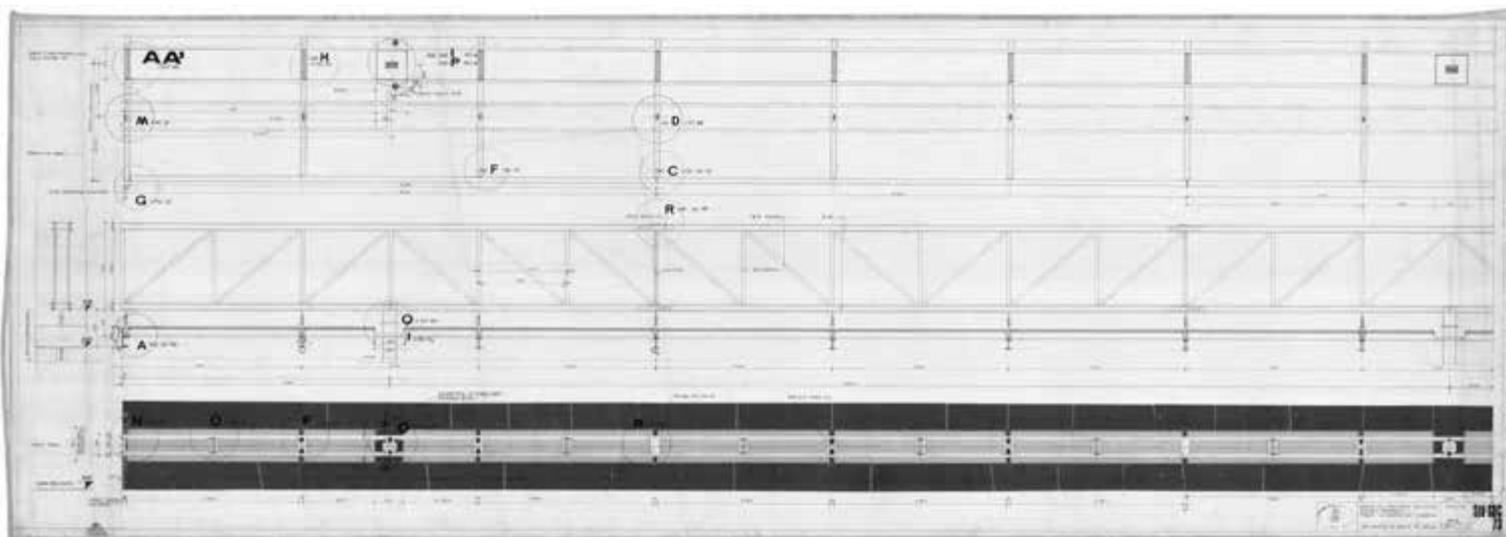


Fig. 24 | Il disegno delle reticolari multi-campata estroflesse (Franco Sargiani).



Fig. 25 | Le pareti in tufo perimetrali e la costruzione metallica, progettata dall'ingegnere napoletano Amodio e fornita da una ditta veneta, esperta in strutture zincate (Franco Sargiani).

tra loro, sono disposte, sui due lati più corti, secondo il passo di 11 metri e coprono l'intera luce con due capriate di 24 m rispondenti al multimodulo 6x4M (figura 23). Su di esse sono disposte travature reticolari binate, alte 2,50 m, - composte da profilati a doppio T, a C e L - cui è sospeso l'ordito secondario trasversale, costituito da IPE 240 poste ad interasse di 4 m (figura 24), a definire il piano d'appoggio per il manto di copertura, realizzato in pannelli sandwich coibentati e adeguatamente impermeabilizzati.

L'involucro pesante, in blocchi di tufo di grosso spessore, armati

internamente per poter sopportare la spinta dei materiali accatastati, è disgiunto dal sistema resistente metallico a sottolineare la sua diversa natura sia figurativa che costruttiva (figure 25-26).

La relazione tra pannello e colonna trova regole diverse: sui lati lunghi, gli elementi verticali sono estroflessi e l'involucro murario continuo si interrompe solo in corrispondenza degli ingressi; sui lati corti invece le colonne complanari restano inserite tra i pannelli che interrotti si piegano verso l'interno a segnare lo spazio di alloggiamento degli elementi verticali; questi vani, chiusi da lastre



Fig. 26 | Il montaggio delle reticolari di copertura e il sistema di sospensione dell'ordito secondario (Franco Sargiani).



Fig. 27 | Gli spazi interni, illuminati dalla luce zenitale che filtra attraverso i lucernari lunghi e stretti posti in corrispondenza delle reticolari sovrapposte (Franco Sargiani).

di cristallo montate su guide verticali a U che assicurano i movimenti relativi tra le diverse componenti, contribuiscono all'illuminazione interna del deposito (figura 27). La stessa soluzione caratterizza la scansione del prospetto per la parte occupata dagli uffici con asole verticali segnate dalla diversa altezza di interpiano.

Anche la relazione tra pannello e copertura viene negata: i muri autoportanti, alti 5,90 m, sono infatti contenuti in altezza al disotto della quota di copertura e risultando più bassi dell'intradosso delle travi secondarie, permettono l'inserimento di un'asola perimetrale continua, chiusa da una rete metallica che assicura un'adeguata ventilazione interna (figura 28).

La mancata relazione tra involucro e copertura enfatizza la ricercata leggerezza e il forte dinamismo della soluzione costruttiva

adottata per quello che appare il componente tecnico a più forte valore iconico del progetto: la grande copertura, un piano leggero e sottile scandito da lunghi lucernari, posti in corrispondenza delle travature reticolari estroflesse.

### Conclusioni

All'interno delle iniziative promosse dalla Cassa per il Mezzogiorno matura il sogno di una massiccia, ma non integrale, conversione della matrice agricola e artigiana del Meridione in una moderna realtà industriale. Sin da subito il modello di sviluppo proposto si sostanzia in una duplice declinazione in cui l'azione diretta dello stato si affianca a quella del capitale privato che può contare, del resto, su sostanziosi fondi pubblici. L'attuazione



Fig. 28 | La copertura distaccata quanto basta dai muri in tufo per la formazione di un'asola in grado di garantire una ventilazione costante (Franco Sargiani).

dei diversi programmi pluriennali finanziati dalla CasMez porta all'ammodernamento o alla nuova realizzazione delle reti infrastrutturali e alla costruzione di complessi industriali che trovano una diffusione capillare nelle diverse regioni del sud Italia. A ciò consegue una radicale trasformazione di territori a prevalente vocazione agricola, al cui interno irrompono, fino a colonizzarli, i nuovi "templi della società industriale", le fabbriche. All'interno di queste vicende la costruzione in acciaio rappresenta, quasi sempre, un'opzione alternativa, la cui condizione di marginalità è da riferire soprattutto a politiche di settore che non interessano in forma esclusiva i contesti locali e gli ambiti operativi di intervento, ma più spesso rispondono a dinamiche e decisioni che investono il più generale sistema Paese. Purtroppo gli episodi

proposti costituiscono per i professionisti coinvolti occasioni di un significativo impegno progettuale e di sperimentazione tecnologica che si sostanziano nella definizione di architetture manifesto lasciando intravedere tre differenti scenari di sviluppo: il primo volto alla ideazione di organismi architettonici aperti, suscettibili di meccanismi di crescita senza limiti, come nel caso della fabbrica progettata da Pica Ciamarra; il secondo improntato alle logiche dell'*industrial design*, e paradigmatico appare in tal senso l'intervento di Albini-Helg; il terzo funzionale alla definizione di un nuovo sistema di relazioni tra innovazione delle tecniche contemporanee e tradizione delle pratiche costruttive locali, come evidente nella sperimentazione progettuale proposta da Sargiani.

#### Ringraziamenti

Il materiale illustrativo pubblicato a corredo del testo è stato messo gentilmente a disposizione dall'Associazione Archivio Storico Olivetti e da [www.storiaolivetti.it](http://www.storiaolivetti.it) (fabbrica di Luigi Cosenza a Pozzuoli), dagli architetti Franco Di Capua e Niccolò Belloni (rispettivamente per l'edificio di Paolo Soleri a Vietri sul mare e per quello di Ezio Sgrelli a Brindisi), dalla BEIC – Fondazione Biblioteca Europea di Informazione e Cultura (Italsider di Taranto), dal Centro Documentazione Alfa Romeo – La Macchina del Tempo – Museo Storico Alfa Romeo (Alfasud di Pomigliano d'Arco), dall'architetto Massimo Pica Ciamarra (Officine Angus), dalla Fondazione Franco Albini (Brionvega di Arzano). A loro va la nostra riconoscenza per la sollecitudine con cui hanno reso disponibili le preziosissime fonti. Altrettanto grati siamo all'architetto Franco Sargiani per la concessione degli apparati iconografici relativi agli edifici Sivam di Battipaglia e Gioia del Colle, per il tempo che ci ha dedicato e per la dovizia di informazioni che sono state indispensabili per la ricostruzione delle vicende che hanno riguardato gli interventi da lui progettati.

---

## Ringraziamenti

*Il materiale illustrativo pubblicato a corredo del testo è stato messo gentilmente a disposizione dall'Associazione Archivio Storico Olivetti e da [www.storiaolivetti.it](http://www.storiaolivetti.it) (fabbrica di Luigi Cosenza a Pozzuoli), dagli architetti Franco Di Capua e Niccolò Belloni (rispettivamente per l'edificio di Paolo Soleri a Vietri sul mare e per quello di Ezio Sgrelli a Brindisi), dalla BEIC – Fondazione Biblioteca Europea di Informazione e Cultura (Italsider di Taranto), dal Centro Documentazione Alfa Romeo – La Macchina del Tempo – Museo Storico Alfa Romeo (Alfasud di Pomigliano d'Arco), dall'architetto Massimo Pica Ciamarra (Officine Angus), dalla Fondazione Franco Albini (Brionvega di Arzano). A loro va la nostra riconoscenza per la sollecitudine con cui hanno reso disponibili le preziosissime fonti. Altrettanto grati siamo all'architetto Franco Sargiani per la concessione degli apparati iconografici relativi agli edifici Sivam di Battipaglia e Gioia del Colle, per il tempo che ci ha dedicato e per la dovizia di informazioni che sono state indispensabili per la ricostruzione delle vicende che hanno riguardato gli interventi da lui progettati.*

---

## Bibliografia

- [1] O. Ottieri, *Donnarumma all'assalto*, Bompiani, Milano 1959.
- [2] A. Lepore, L'evoluzione del divario tra il Nord e il Sud dal dopoguerra a oggi, in *Estudios históricos CDHRPyB*, anno XII n. 23 luglio 2020, pp. 1-63.
- [3] A. Olivetti, *Ai Lavoratori*, Edizioni di Comunità, Roma-Ivrea 2012.
- [4] E. Mattei, *Scritti e discorsi 1945-1962*, Rizzoli, Milano 2002.
- [5] L. Franchetti, S. Sonnino, *La Sicilia nel 1876 per Leopoldo Franchetti e Sidney Sonnino. Libro Primo. Condizioni politiche e amministrative*, tipografia di G. Barbera, Firenze 1877.
- [6] P. Villari, *Le lettere meridionali ed altri scritti sulla questione sociale in Italia*, Le Monnier, Firenze 1878.

- [7] E. Felice, *Perché il Sud è rimasto indietro*, il Mulino, Bologna 2013.
- [8] F. Amatori, A. Colli, *Impresa e industria in Italia. Dall'Unità a oggi*. Marsilio, Venezia 1999.
- [9] G. Pescosolido, Meridionale, questione, in *Enciclopedia del Novecento. III Supplemento*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma 2004.
- [10] R. Petri, *Industria, territorio, intervento speciale. Riflessioni su una tradizione non solo meridionalista*, in «Meridiana», n. 11-12 maggio-settembre 1991, pp. 73-112.
- [11] G. Pescosolido, *La questione meridionale in breve: Centocinquant'anni di storia*, Donzelli editore, Roma 2017.
- [12] N. Crafts, M. Magnani, *The Golden Age and the Second Globalization in Italy*, in «Quaderni di Storia Economica – Banca d'Italia», vol. 17 2011, pp. 5-53.
- [13] M. Alacevich, *The world Bank loans to Italy and the history of postwar development policies*, Working paper, Columbia University Press, New York 2009.
- [14] IBRD, *An appraisal of the development program for South Italy, 1951*, oggi in A. Lepore (a cura di), *La Cassa per il Mezzogiorno e la Banca Mondiale: un modello per lo sviluppo economico italiano. Le fonti documentarie della IBRD (1951-1965)*, «Quaderni SVIMEZ» Numero speciale, Roma, ottobre 2012.
- [15] S. Adorno, *Le Aree di sviluppo industriale nella costruzione degli spazi regionali del Mezzogiorno*, in M. Salvati, L. Sciolla (a cura di), *L'Italia e le sue regioni. 1. Istituzioni*. vol. 1, Istituto dell'Enciclopedia Italiana Treccani, Roma 2015, pp. 375-394.
- [16] A. Brunetti et alii, *Reddito*, in G. Vecchi (a cura di), *In ricchezza e povertà. Il benessere degli italiani dall'Unità a oggi*, Il Mulino, Bologna 2011, pp. 209-234.
- [17] F. Perroux, *Note sur la notion de pôle de croissance*, in «Économie appliquée», n. 8 1955, pp. 307-320.
- [18] R. Parisi, *Fabbriche d'Italia. L'architettura industriale dall'Unità alla fine del secolo breve*, Franco Angeli, Milano 2011.
- [19] R. Parisi, *Stato e fabbriche. Architettura e urbanistica per le aree di sviluppo industriale nel secondo novecento meridionale*, in «Patrimonio industriale rivista semestrale AIPAI», anno V n. 08 ottobre 2011, pp. 57-69.
- [20] F. Castanò, *Fabbriche interrotte. La "Cassa" e l'industria a nord di Napoli nel secondo Novecento*, in «Patrimonio industriale rivista semestrale AIPAI», anno VI n. 09 aprile-ottobre 2012, pp. 114-119.
- [21] E. Felice, A. Lepore, *Intervento pubblico e strategie di convergenza: la spesa della Cassa a livello territoriale*, in «Quaderni SVIMEZ – Numero speciale», vol. 44 2014, pp. 241-260.
- [22] L. D'Antone, *L'«interesse straordinario» per il Mezzogiorno (1943-60)* in «Meridiana», n. 24 1995, pp. 17-64.
- [23] de Witt, G. 2005. *Le fabbriche ed il mondo. L'Olivetti industriale nella competizione globale (1950-90)*. Milano: Franco Angeli.
- [24] M. Labò, *Lo stabilimento ed il quartiere Olivetti dell'ing. Luigi Cosenza*, in «Casabella», n. 206 luglio-agosto 1955, pp. 57-61.
- [25] V. Castronovo, *Lo scenario dell'industrializzazione*, in V. Castronovo, A. Greco (a cura di), *Prometeo. Luoghi e spazi del lavoro*, Electa-Sipi, Milano-Roma 1993, pp. 13-28.
- [26] F. Castanò, *Dalle manifatture all'industria. Le architetture della produzione*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2005.
- [27] O. Petronio, *Problemi dell'edilizia industriale*, in R.O. Amato, C. Bifano, *Problemi delle costruzioni in acciaio*, Cremonese, Roma 1967, pp. 103-132.
- [28] E. Vittoria, *Eduardo Vittoria: esperienze di architettura: raccolta di scritti e opera*, s.n., s.l. s.d.
- [29] *Ampliamento dello stabilimento Angus di Casavatore*, in «L'architettura. Cronache e storia», n. 197 marzo 1972, pp. 736-737.
- [30] *Officine Angus a Casavatore*, in «L'Architecture d'Aujourd'hui», n. 165 dicembre 1972-gennaio 1973, pp. 94-95.
- [31] «Officine Angus» in Pica Ciamarra Associati, in «Architetture Pisane», (numero monografico), nn. 28-29 2014, pp. 56-57.
- [32] A.I. Lima, *Dai frammenti urbani ai sistemi ecologici. Architettura dei Pica Ciamarra Associati*, Jaca Book, Milano 2017.
- [33] P. Scaglione, *Pica Ciamarra Associati: architettura per i luoghi*, Edizioni Kappa, Roma 1985.
- [34] F. Mangone, *Pica Ciamarra Associati, Materiali per l'Immateriale*, in «L'Edilizia Popolare», vol. XLIII, n. 248 novembre-dicembre 1996, p. 33.
- [35] *Un involucro di acciaio smaltato*, in «Domus», n. 499 giugno 1971, pp. 8-10.
- [36] *Agenzia Brionvega Arzano (Napoli)*, in «Ottagono», vol. 6 n. 22 settembre 1971, pp. 90-91.
- [37] E. Manfredini, *Agenzia Brionvega ad Arzano (Napoli)*, in «Parametro», n. 11 1972, pp. 68-75.
- [38] F. Castanò, *Architetture per l'industria: modernità nella continuità*. In A. Giannetti, L. Molinari (a cura di), *Continuità e Crisi. Ernesto Nathan Rogers e la cultura architettonica italiana del secondo dopoguerra*, Alinea Editrice, Firenze 2010, pp. 177-185.
- [39] A.L. De Simone, *I magazzini "Brionvega" progettati da Franco Albini ad Arzano. Una "costruzione di idee" della contemporaneità*, in G. Civitillo, S. Fardello (a cura di), *50 anni di cooperazione europea: nuove opportunità di sviluppo per il Mezzogiorno*, Edizioni Spartaco, Santa Maria Capua a Vetere (CE) 2008, pp. 229-245.



### **Alessandra Tosone**

Associato di Architettura Tecnica e membro del collegio del Dottorato di Ricerca (ICEAA - L'Aquila) nonché del Consiglio direttivo di Docomomo Italia, svolge attività didattica nel corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura dove insegna Materiali e Tecniche per il Recupero e coordina il laboratorio integrato di tesi di laurea dei corsi inerenti il recupero e la conservazione degli edifici. Il lavoro di ricerca interessa la cultura tecnologica e in particolare quella relativa alla costruzione metallica. È autrice di numerosi contributi sul recupero del costruito e la cultura della costruzione metallica pubblicati in volumi collettanei, riviste e atti di convegno a carattere nazionale e internazionale.



### **Renato Morganti**

Ordinario di Architettura Tecnica e Presidente del Consiglio di Corso di Studi in Ingegneria Edile-Architettura UE, è membro del collegio del Dottorato di Ricerca (ICEAA - L'Aquila) e del comitato scientifico di collane editoriali e di riviste italiane ed estere. Dal 2006 coordina a L'Aquila ricerche sui temi della cultura della costruzione metallica e del recupero del costruito. È autore di monografie, saggi e articoli e le sue opere, più volte premiate, sono state pubblicate su riviste, monografie e rassegne di architettura in Italia e all'estero.



### **Matteo Abita**

PhD in Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale, svolge in qualità di assegnista presso il Dipartimento DICEAA (L'Aquila), attività di ricerca sulla cultura della costruzione metallica e sugli strumenti digitali utili alla sua valorizzazione e divulgazione, i cui esiti sono stati pubblicati in riviste e atti di convegno a carattere nazionale e internazionale. Dall'a.a. 2019-2020 è docente a contratto del laboratorio progettuale di Architettura Tecnica I (Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura UE).



### **Danilo Di Donato**

Associato di Architettura Tecnica e membro del collegio del Dottorato di Ricerca (ICEAA - L'Aquila), svolge attività didattica nell'ambito dei corsi di Laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura e Ingegneria Civile. Il lavoro di ricerca riguarda diversi ambiti di studio relativi alla cultura della costruzione metallica e in particolare l'architettura per l'industria. È autore di monografie e articoli sulla cultura della costruzione metallica e sul recupero e sulla conservazione del costruito pubblicati in riviste e atti di convegno a carattere nazionale e internazionale.

# INTRODUZIONE ALLA CORROSIONE ATMOSFERICA DEI METALLI NON FERROSI

## INTRODUCTION TO ATMOSPHERIC CORROSION OF NON-FERROUS METALS

F. Bolzoni\*, A. Brenna | *Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" Politecnico di Milano  
PoliLaPP – Laboratorio di Corrosione dei Materiali «P. Pedferri»*

I metalli non ferrosi sono poco utilizzati in ambito strutturale, nonostante ciò il loro comportamento in esposizione atmosferica è di grande interesse date le numerose applicazioni in coperture, facciate, impianti, opere artistiche, arredo urbano, veicoli. Nell'articolo si richiama in primo luogo l'approccio della normativa ISO alla determinazione o stima del comportamento alla corrosione atmosferica; in seguito si illustrano le principali caratteristiche di resistenza alla corrosione di rame, alluminio, titanio e loro leghe, con un cenno al piombo.

*Non-ferrous metals are not very used as structural materials; nevertheless, their atmospheric corrosion behavior is very interesting due to the numerous applications in roofing, cladding, facades, art work, vehicles.*

*In this paper, the approach to the estimation and evaluation of atmospheric corrosion behavior of the most used metallic materials according to ISO standard is firstly discussed; then, the main properties of corrosion behavior of copper, aluminum, titanium and their alloys is briefly revised, with an outline also on lead.*

### 1, INTRODUZIONE

L'articolo si focalizza sul comportamento alla corrosione atmosferica dei metalli non ferrosi: alluminio, rame, titanio e loro leghe. Sebbene questi materiali siano poco usati nell'ambito strutturale, con l'eccezione di alcune leghe di alluminio, sono utilizzati ampiamente per l'arredo urbano, coperture, facciate, impianti, opere artistiche.

Richiamiamo di seguito alcuni concetti fondamentali, rimandando alla bibliografia per approfondimenti [1-3]. Il comportamento a corrosione atmosferica dipende dalle caratteristiche del materiale (composizione chimica, presenza di patine protettive), dalla presenza o meno di un rivestimento e dall'ambiente [1-3]. Considerando questo fattore in particolare, si sottolinea che per avere corrosione è necessaria la presenza di acqua (condensa) alla superficie del metallo ed è molto importante l'inquinamento dovuto principalmente a ossidi di zolfo (ambienti urbani e industriali) e cloruri (ambienti marini). Da considerare anche la giacitura della superficie che influenza la presenza di acqua e il ruolo della temperatura, che è complesso perché in soluzione acquosa la velocità di corrosione in genere aumenta con la temperatura fino a raggiungere un massimo per poi diminuire, ma in esposizione atmosferica l'umidità relativa può diminuire al crescere della temperatura.

### 2. CORROSIONE ATMOSFERICA: APPROCCIO NORMATIVO

La letteratura sulla corrosione atmosferica è piuttosto ricca, sono

stati pubblicati anche testi di approfondimento oltre che numerosi articoli specialistici. Sono stati svolti anche programmi di ricerca con respiro internazionale, come ISOCORRAG e MICAT [4]. Tutte queste attività hanno portato a una razionalizzazione del fenomeno e alla comparsa di normative quali la serie ISO 9223, 9224, 9225 e 9226, apparse per la prima volta negli anni '90 e revisionate a partire dal 2012 [5]. La valutazione della corrosività atmosferica è funzione dei seguenti parametri: tempo di bagnato, vale a dire il numero di ore/anno nelle quali l'umidità relativa è superiore all'80% e la temperatura superiore a 0°C; contaminazione da ossidi di zolfo e da cloruri. Per maggiori approfondimenti si rimanda alla normativa e all'articolo su costruzioni metalliche dove è stato approfondito il comportamento di acciaio al carbonio e zinco [6]. L'approccio della normativa ISO prevede un primo passo, nel quale si determina, o si stima, la velocità di corrosione nel primo anno di esposizione. In Tabella 1 sono riportati i valori guida proposti dalla normativa ISO che prende in considerazione quattro metalli: acciaio al carbonio, zinco, rame e alluminio. Per le leghe di rame e alluminio sono riportate alcune brevi indicazioni.

Secondo l'approccio della stessa normativa, lo spessore corroso (D) nel tempo (t) segue una legge di potenza

$$D = r_{\text{corr}} \cdot t^b \quad (1)$$

Dove  $r_{\text{corr}}$  è la velocità di corrosione nel primo anno di esposizione (misurata o stimata) e l'esponente b per l'acciaio al carbonio è pari a 0,52, per lo zinco 0,81, per il rame 0,67 e per l'alluminio 0,73 (valori medi, nella normativa sono riportate anche le deviazioni standard) [5]. In pratica, e in misura diversa per i diversi metalli, c'è

\*Corresponding author. Email: fabio.bolzoni@polimi.it

un rallentamento della corrosione per esposizioni di lungo periodo a causa della formazione di prodotti di corrosione che, sebbene non siano sempre protettivi, possono ridurre l'apporto di ossigeno alla superficie del metallo e con esso la velocità di corrosione. Nella normativa si precisa anche che dopo 20 anni si può ritenere, con un approccio conservativo, che ci sia una stabilizzazione dello spessore dei prodotti di corrosione, quindi la velocità di corrosione in pratica non vari, e l'andamento prosegua linearmente con la velocità di corrosione valutata a 20 anni. In tabella 1 sono presentati i valori guida di velocità di corrosione del primo anno di esposizione proposti dalla normativa ISO [5].

La velocità di corrosione per l'alluminio nella normativa ISO è espressa solo come perdita di massa (g/cm<sup>2</sup>/anno) e non di spessore, a causa della localizzazione dell'attacco.

### 3. COMPORTAMENTO DEI MATERIALI METALLICI NON FERROSI IN ATMOSFERA

In questo paragrafo sono brevemente sintetizzate le informazioni relative a rame, alluminio, titanio e loro leghe, tratte prevalentemente dai libri di testo [1-2, 9], rimandando per l'acciaio al carbonio, lo zinco e gli acciai inossidabili a precedenti articoli della stessa rubrica [6, 8].

#### 3.1 Rame e leghe di rame

Il rame e le sue leghe (bronzi, ottoni) in generale presentano un buon comportamento alla corrosione atmosferica, confermato anche dai valori riportati in tabella 1. In ambiente rurale, cioè poco inquinato, se la patina nobile si forma correttamente le velocità di corrosione sono inferiori a 1 µm/anno; in ambienti più aggressivi le velocità di corrosione raggiungono pochi µm/anno. Solo in presenza di ambienti molto inquinati e di ristagni d'acqua sono possibili attacchi corrosivi non trascurabili. Nelle costruzioni, il rame è utilizzato ampiamente per coperture e sistemi di allontanamento delle acque. Dopo 1-2 anni, il rame assume un colore marrone

indicativo della formazione di uno strato protettivo, detto patina, stabile. In ambienti urbani o industriali con un basso contenuto di ossidi di zolfo, dopo un tempo variabile, nell'ordine di 5-7 anni, il rame si ricopre di una patina di colore verde (patina nobile) costituita prevalentemente da solfato basico di rame (figura 1). La patina si forma più lentamente sulle superfici verticali rispetto a quelle orizzontali, dove la superficie rimane bagnata per tempi più lunghi. In presenza di acque acide, come in atmosfere industriali molto inquinate o in vicinanza di ciminiere, la patina nobile non si forma, e l'acqua drenata dalla superficie contiene una concentrazione elevata di ioni rame: la stessa acqua, a causa della possibile riduzione degli ioni rame, può stimolare la corrosione su superfici di acciaio o alluminio.

Le leghe di rame come bronzi (lega rame-stagno) o ottoni (lega rame-zinco) sono caratterizzate da velocità di corrosione atmosferica simili a quelle del rame puro e con un'evoluzione temporale



Fig. 1 | Palazzo del Parlamento (Ottawa): coperture in rame, alcune di esse sostituite dopo circa 80 anni di esposizione [1].

Tab. 1.

Velocità di corrosione ( $r_{corr}$ , in µm/anno) dei più importanti materiali metallici nel primo anno di esposizione per le diverse classi di corrosività riportate nella norma ISO [5]

Corrosività		Ambiente esterno (esempi)	Acciaio al carbonio	Zinco	Rame	Alluminio (*)
C1	Molto bassa	Zone asciutte o fredde, ambienti con inquinamento e tempo di bagnato molto bassi, per esempio deserti e aree antartiche	<1,3	<0,1	<0,1	Trascurabile
C2	Bassa	Zone temperate con basso inquinamento, es. rurali	1,3-25	0,1-0,7	0,1-0,6	<0,2
C3	Media	Zone temperate con inquinamento medio, es. urbane	25-50	0,7-2,1	0,6-1,3	0,2-0,7
C4	Alta	Zone temperate con elevato inquinamento, es. industriali o marine	50-80	2,1-4,2	1,3-2,8	0,7-1,8
C5	Molto alta	Zone temperate o subtropicali con inquinamento elevato o ambiente costiero	80-200	4,2-8,4	2,8-5,6	1,8-3,7
CX	Estrema	Zone subtropicali o tropicali (tempo di bagnato molto alto), zone con inquinamento molto elevato, zone costiere o offshore	200-700	8,4-25	5,6-10	(**)

(\*) la velocità di corrosione per l'alluminio è indicativa: nella normativa ISO è espressa solo come perdita di massa (g/cm<sup>2</sup>/anno) e non di spessore, a causa della localizzazione dell'attacco; il valore riportato è stato stimato considerando la densità dell'alluminio e confrontato con la normativa EN 12500 [7]

(\*\*) I dati di corrosione generalizzata possono essere fuorvianti (nota nella normativa ISO [5])

(coefficiente  $b$  nell'equazione 1) analoga. Gli ottoni con tenore di zinco superiore al 20%, soprattutto quelli bifasici, possono subire dezincificazione in ambienti aggressivi, vale a dire corrosione selettiva dello zinco con arricchimento superficiale di rame.

Il rame fortemente incrudito può anche subire fenomeni di corrosione sotto sforzo in ambiente aggressivo.

### **L**a patina nobile (tratto da *Corrosione e protezione dei materiali metallici* [1])

Il nome di patina nobile è riservato alla patina verde creata dalla corrosione del rame o del bronzo. Alcune delle più antiche osservazioni e riflessioni sul fenomeno corrosivo riguardano proprio questa patina. Plutarco nel *De Pythiae Oraculis* parla di una statua posta all'entrata del santuario di Apollo in Delfi che, pur vecchia di secoli, si presenta coperta di una patina di un brillante colore uniforme e si chiede se questa sia stata prodotta dagli antichi maestri scultori con speciali miscele o lavorazioni, o se invece si sia formata per azione dell'atmosfera che penetrando nel bronzo ne ha spinto fuori la corrosione; o, infine, se è il bronzo stesso che, invecchiando, l'ha prodotta.

Nel mondo greco e romano, per le opere in bronzo, si preferisce una finitura che faccia risaltare il colore naturale del metallo e quindi, di solito, il problema è quello di evitare la formazione di ruggine (aerugo, ruggine del bronzo) con periodici interventi di pulitura e di oliatura. A volte, però, l'artista rompe la tradizione e cerca l'attacco corrosivo anziché impedirlo. Sui cavalli di San Marco, per esempio, intaglia la doratura della criniera per attenuare la lucentezza dell'oro con il colore del bronzo sottostante o, meglio, dei suoi prodotti di corrosione. Addirittura, in qualche caso, è stato utilizzato il processo corrosivo per esprimere sentimenti e stati d'animo. Racconta Plinio come lo scultore Aristonide, nel rappresentare Atamante sconvolto per aver gettato il figlio Learco da una rupe, utilizzasse una lega di rame e ferro in modo che il ferro, arrugginando all'interno della brillante superficie del metallo, potesse esprimere la vergogna e lo sgomento dell'uomo.

Nel Rinascimento l'arte della fusione del bronzo risorge e nasce la patinatura artificiale. Scrive il Vasari nel suo trattato sulla scultura: "Il bronzo piglia con il tempo per sé medesimo un colore che trae in nero e non in rosso come quando lo si lavora. Alcuni con l'olio lo fanno venire nero, altri con l'aceto lo fanno verde ed altri con la vernice li danno il colore di nero tale che ognuno lo conduce come più gli piace". La diffusione della patinatura artificiale su larga scala avviene solo nella prima metà del secolo scorso. Anche se si moltiplicano i trattamenti e le ricette usate e quindi i colori ottenuti, la patinatura continua ad essere un'arte basata sulla maestria e la creatività di coloro che la eseguono, più che sul loro sapere tecnico. E infatti spesso sono gli artisti stessi a realizzarla.

E nemmeno successivamente si trasforma in un'operazione in grado di portare a risultati completamente prevedibili e riproducibili, se uno scultore del calibro di Henry Moore, ancora nel 1967, la definisce un intervento molto eccitante ma dai risultati incerti. Scrive infatti: "Il bronzo quando è esposto all'aria aperta, in particolar modo se si è in vicinanza del mare, si

ricopre nel tempo di una bella patina verde. Ma qualche volta non si può aspettare che la natura faccia il suo corso, per cui cerchi di accelerare i tempi trattando il bronzo con acidi vari che producono effetti diversi. Alcuni rendono nera la superficie, altri rossa. Io, di solito, quando preparo il calco ho un'idea della finitura del bronzo che voglio scura o chiara e ho un'idea del colore che intendo ottenere. Quando il getto torna dalla fonderia passo a dare la patina e questa qualche volta viene bene ma qualche volta tu non riesci a rifare quello che hai già fatto in altre occasioni. È molto eccitante ma poco riproducibile questa operazione di patinatura del bronzo." (H. Moore, *Henry Moore on Sculpture*, 140, Philip James, New York, 1967).]

### 3.2 Alluminio e sue leghe

In un intervallo di pH tra 4,5 e 8,5 e in ambienti con inquinamento moderato, alla superficie dell'alluminio si forma un film di ossido di alluminio (detto anche film di passività) che protegge il metallo sottostante dalla corrosione, riducendo la velocità al di sotto di 1  $\mu\text{m}/\text{anno}$ . L'effetto protettivo del film di passività si riduce in presenza di elevato inquinamento da ossidi di zolfo o cloruri, portando a possibili attacchi di corrosione. Per aumentare la resistenza alla corrosione è possibile applicare il trattamento di anodizzazione, che rafforza il film protettivo e ne aumenta lo spessore. L'alluminio e le sue leghe sono ampiamente utilizzati nei serramenti, nelle coperture e nelle facciate; è comune anche



Fig. 2 | Grattacielo Pirelli (Milano): costruzione 1959, facciata in alluminio anodizzato [1].

l'utilizzo di alluminio preverniciato.

Il calcestruzzo e le malte cementizie, a causa dell'elevato pH che li caratterizza (compreso in genere tra 13 e 14) possono essere aggressivi nei confronti dell'alluminio: è opportuno evitare spruzzi di malta o calcestruzzo fresco sulle superficie di alluminio, proteggendo quest'ultimo con teli di plastica rimovibili.

Per quanto riguarda le leghe di alluminio, alcune leghe indurite per precipitazione sono caratterizzate da una ridotta resistenza alla corrosione, in particolare la serie 2 (leghe alluminio-rame) e la serie 7 (leghe alluminio-zinco), mentre è buono il comportamento della serie 6 (leghe Al-Si-Mg utilizzate per i serramenti). Nel caso di leghe meno resistenti alla corrosione è possibile proteggere dalla corrosione atmosferica con una placcatura di alluminio puro.

### 3.3 Titanio e sue leghe

Il titanio è caratterizzato da un'elevatissima resistenza alla corrosione, dovuta alla formazione di un film protettivo di biossido di titanio stabile anche in ambienti molto aggressivi. Sono pochi gli ambienti in grado di provocare attacchi corrosivi sul titanio, ma tra questi non ci sono gli ambienti naturali e in particolare l'ambiente atmosferico. Nonostante l'elevato costo il titanio a partire dagli anni '90 ha trovato applicazioni soprattutto nelle facciate. Nelle costruzioni è stato utilizzato sia il titanio con la sua colorazione grigia naturale sia il titanio colorato mediante anodizzazione.

#### **L**a colorazione del titanio (da "Titaniocromia Le altre cose" [10]).

Solo due metalli sono di per sé colorati: l'oro e il rame; tutti gli altri si presentano con tonalità più o meno chiare, comprese tra il grigio e il bianco. Alcuni metalli sono in grado di rivestirsi di film sottili, incolori, trasparenti e in grado di riflettere e rifrangere la luce; tra questi il titanio, che è in grado di ricoprirsi di colori di interferenza; questi colori sono presenti anche in natura, si pensi all'arcobaleno o alle ali delle farfalle. Nel caso del titanio, la strada maestra per ottenere la colorazione è l'ossidazione anodica per via elettrolitica. Quando un metallo scambia una corrente anodica con una soluzione elettrolitica, si ricopre di una pellicola di ossido dal cui spessore dipende la tinta che assume. Se non si prendono particolari avvertenze, si ottengono i colori cosiddetti della "prima scala cromatica". In condizioni ambientali ed elettrolitiche particolari, si ottengono i colori della seconda scala. Oltre ai notevoli risultati artistici che Pietro Pedferri ha ottenuto nel corso della sua lunga attività, il suo lavoro ha un'importanza storica perché si collega agli studi di Leopoldo Nobili e alle sue apparenze.

Per saperne di più, si può leggere il bellissimo libro "Titaniocromia ed altre cose" [10]

#### **L**e applicazioni architettoniche (da "Titaniocromia Le altre cose" [10])

L'aspetto attraente del titanio ossidato e la sua resistenza agli agenti atmosferici hanno aperto a questo materiale il settore architettonico. La maggioranza delle applicazioni è in Giappone e riguarda coperture, rivestimenti esterni ed interni di edifici importanti. In Italia non esistono opere architettoniche

importanti che utilizzano titanio colorato.

Spesso si ricorre al titanio con la sua colorazione naturale simile, a prima vista, a quella del ferro o dell'acciaio inossidabile. Ma anche in questo caso, la superficie del metallo, perlomeno in alcune sue finiture, dà riflessi colorati con tonalità che cambiano al variare dell'angolo di osservazione e del tipo di illuminazione. Così, ad esempio, può apparire gialla al mattino, oppure grigia se non c'è il sole, rosa al tramonto, blu di notte o con lampi cangianti e multicolori se illuminata con luce artificiale. Questo comportamento è ben illustrato dal Guggenheim Museum di Bilbao, inaugurato nel 1998.

L'architetto californiano Frank O. Gehry ha qui realizzato uno stupefacente involucro di titanio con una particolare finitura naturale grigia. Scrive François Burkhardt: "Una sorta di grande banda metallica avvolge le differenti scatole che costituiscono il museo e ne garantisce l'unità formando un credibile paesaggio che per la moltitudine dei piani inclinati ed arrotondati trasporta la luce rendendola in ogni punto di colore differente, fino a formare un monocromatismo di grande effetto che va dall'oro al blu e dal rosa al bianco".

Forse, quanto la bellezza dei colori e dei riflessi, affascina pensare che le superfici di titanio, preparate opportunamente e non soggette ad abrasione, la conserveranno intatta nel tempo. In un'epoca in cui la vita di un'opera di cemento armato, il materiale da costruzione dei nostri giorni, si misura più in decenni che in secoli, il titanio ridà quindi agli architetti la certezza di poter innalzare monumenti importanti "più alti delle moli regali delle piramidi" - che "né le piogge acide, né le atmosfere inquinate, né il vento sfrenato di tramontana possono distruggere e neppure il trascorrere inesorabile degli anni e la fuga dei tempi".

Insomma monumenti "più durevoli del bronzo", se è lecito, ad un ingegnere che non sia Gadda, parafrasare i versi di Orazio.



Fig. 3 | Museo Guggenheim: Bilbao, Frank O. Gehry, costruzione 1998, rivestimento in titanio [1]



Fig. 4 | Auditorium (Roma): Renzo Piano, costruzione 1996, copertura in piombo [1]

### 3.4 Piombo

Il meccanismo di protezione è simile a quello dello zinco, e porta alla formazione di un carbonato basico più resistente di quello che si forma sullo zinco. Esempio di applicazione sono le coperture dell'auditorium di Roma parco della musica, edificio progettato da Renzo Piano e costruito nel 1996.

#### **C**omportamento alla corrosione del piombo (ripreso da [1])

Il comportamento alla corrosione del piombo, e in particolare l'influenza di particolari specie chimiche, è un buon esempio dell'uso di diagrammi potenziale-pH, detti di Pourbaix dal nome del loro inventore (vedi figura). Questi diagrammi consentono di prevedere le condizioni di corrosione, immunità ter-

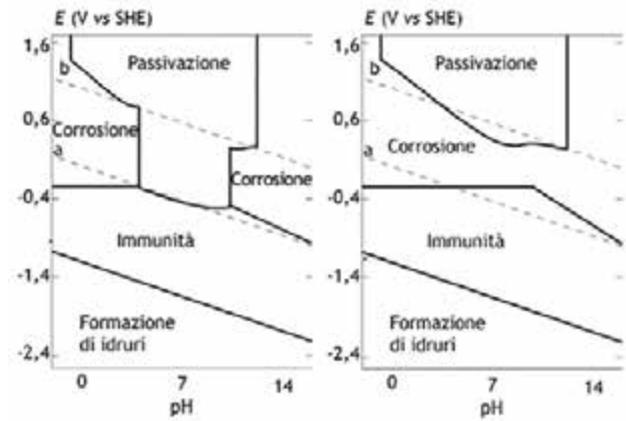


Diagramma potenziale - pH del piombo in presenza (a) o assenza (b) di anidride carbonica[1]

modinamica (impossibilità di corrodarsi) oppure passivazione (formazione di strati potenzialmente protettivi) in funzione del pH e del potenziale. In assenza di carbonati e bicarbonati (o solfati) il campo di corrosione passa senza interruzione dalla regione acida a quella basica, quindi in presenza di ossigeno il piombo si corrode in tutto l'intervallo di pH: è quello che succede in acqua pura o addolcita. In presenza di carbonati, bicarbonati o anidride carbonica esiste un campo di passività attorno a pH 7 dovuto alla separazione di carbonato di piombo con bassissima solubilità, per cui la quantità di ioni piombo rilasciata in soluzione è trascurabile. Questo spiega perché il piombo sia stato usato in passato per le tubazioni che trasportano acqua potabile.

Per saperne di più sulla corrosione del piombo e la caduta dell'impero romano vedi [1, 2]

### Riferimenti bibliografici

- [1] P. Pedferri, Corrosione e protezione dei materiali metallici, Vol. 1 e 2, Polipress, Milano, 2a Ed., 2010.
- [2] P. Pedferri, Corrosion science and engineering, Springer, 2018.
- [3] C. Leygraf, I. Odnevall Wallinder, J. Tidblad, T. Graedel, Atmospheric corrosion, 2nd edition, 2016, John Wiley & Sons.
- [4] D. Knotkova, K. Kreislova, S.W. Dean, "ISO CORRAG International Atmospheric Exposure Program: Summary of Results", ASTM Data Series 71. ASTM International, PA, USA, 2010.
- [5] ISO, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - ISO 9223 (2012): Classification, determination and estimation; ISO 9224 (2012): Guiding values for the corrosivity categories. ISO 9225 (2012): Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres; ISO 9226 (1992): Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
- [6] F. Bolzoni, S. Beretta, M. Gastaldi, "Corrosione atmosferica di acciaio al carbonio e zincato: analisi della normativa e confronto con i dati sperimentali", Costruzioni metalliche, 2020, n°6, pag. 78-82
- [7] EN 12500 Protection of metallic materials against corrosion - Corrosion likelihood in atmospheric environment - Classification, determination and estimation of corrosivity of atmospheric environments
- [8] A. Brenna, S. Beretta, F. Bolzoni, M. Ormellese, "Comportamento degli acciai inossidabili in esposizione atmosferica", Costruzioni metalliche, n° 1, 2021, pag. 101-105.
- [9] L. Bertolini, M. Carsana, "Materiali da costruzione. Volume I", Città Studi, III edizione, 2014
- [10] P. Pedferri, Titanio-cromia e altre cose, Interlinea, 1999.



### Fabio Bolzoni

è professore associato al Politecnico di Milano, presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta". Svolge attività di ricerca all'interno del gruppo PoliLaPP (Laboratorio di Corrosione dei Materiali "Pietro Pedefferri"). I principali ambiti di ricerca sono legati alla corrosione dei materiali metallici e sua prevenzione, con particolare interesse alla durabilità delle opere in calcestruzzo armato, alla corrosione in ambito industriale, in particolare infragilimento da idrogeno nel settore oil and gas, alla protezione catodica di strutture metalliche e in c.a.



### Andrea Brenna

è Ricercatore nel settore scienza e tecnologia dei materiali e collabora all'interno del gruppo PoliLaPP (Laboratorio di Corrosione dei Materiali "Pietro Pedefferri") del Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta" del Politecnico di Milano. L'attività scientifica si colloca nell'ambito della corrosione dei materiali metallici e sua prevenzione. I principali interessi sono: la corrosione dei metalli in ambienti naturali e industriali, con particolare riferimento al terreno e all'atmosfera, la protezione catodica, le tecniche di monitoraggio della corrosione, la corrosione delle opere in calcestruzzo armato

---

## Sergio Scanavino è il nuovo Presidente dell'Istituto Italiano della Saldatura

**Sergio Scanavino**, per molti anni consigliere del Consiglio Direttivo del CTA come rappresentante IIS, è stato eletto Presidente dell'Istituto Italiano della Saldatura. Egli succede al prof. Giovanni Solari prematuramente scomparso nello scorso anno. Laureato in Ingegneria Industriale Elettrotecnica presso l'Università di Genova, nel 1981, entra all'Istituto Italiano della Saldatura, Ente Morale, nel 1983. Allievo nei programmi educativi che storicamente formano i tecnici e gli ingegneri IIS, consegue i riconoscimenti di International Welding Engineer e International Welding Inspector e ottiene le qualificazioni nel settore dei controlli non distruttivi. Nei primi anni, accompagnano la sua crescita professionale le attività di docenza ai corsi di formazione, che contribuiscono ad arricchire il suo bagaglio tecnico, e le esperienze nel settore delle costruzioni civili ed in particolare delle strutture metalliche. Come ispettore e supervisore nelle officine e nei cantieri di montaggio e come consulente nelle fasi di progettazione, sono centinaia le opere che lo hanno visto a fianco di progettisti, costruttori e direttori lavori. Accumula una serie di esperienze uniche, seguendo la realizzazione delle più importanti opere metalliche in Italia, dagli stadi di Italia '90 ad una serie lunghissima di ponti e viadotti stradali e ferroviari, ma anche di costruzioni di rilevanza globale come il ponte Storebaelt, prefabbricato in Portogallo e montato in Danimarca (per citarne uno) o la realizzazione di moltissime opere iconiche installate in tutto il mondo in occasione di grandi eventi internazionali. Ha guidato dal luglio 2013 il gruppo IIS in qualità di Segretario Generale dell'Istituto Italiano della Saldatura, Presidente delle società controllate e Direttore Responsabile della Rivista Italiana della Saldatura. Il CTA plaude a questa scelta ricordando la sua concreta azione nell'animazione di attività per i soci del Collegio (convegni, visite, webinar), svolte con la modestia che lo contraddistingue, e gli porge i migliori auguri per questo suo nuovo impegno. Sappiamo che la sua esperienza tecnica e personale continuerà ad arricchire la vita dell'azienda.



*Auguri Sergio!!*

# Trimble XR-10 nel settore delle Costruzioni

Carmine Robbe

Harpaceas, Milano

La sfida più grande nel settore delle costruzioni è la mancanza di informazioni di qualità, coordinate e tempestive!

Sappiamo che la tecnologia e i software migliorano il modo in cui le imprese lavorano e collaborano, fornendo le soluzioni di gestione delle informazioni costruibili più complete. Stiamo parlando di condivisione di informazioni, collegamento di persone, software, hardware e macchinari con dati precisi e utilizzabili. Diamo un'occhiata più da vicino all'immagine di figura 1.

il cerchio verticale rappresenta le interazioni tra tutti i partecipanti



Figura 1

al progetto, mentre il cerchio orizzontale rappresenta l'interazione e il processo della tua azienda. In termini di modellazione, il cerchio verticale rappresenta il BIM (Building Information Modeling), ovvero il processo basato sul modello in cui diversi partecipanti al progetto lavorano insieme secondo un metodo per cui si combinano i modelli di progettazione per il controllo delle interferenze ed il coordinamento del progetto, fino alla gestione della struttura. Questo è importante per il processo complessivo e la produttività del progetto. Come detto in precedenza, il BIM è uno dei fattori chiave per la crescita della produttività delle costruzioni, soprattutto con un approccio Open BIM dove tutti i partecipanti al progetto possono selezionare lo strumento migliore per le proprie esigenze, pur continuando a produrre le informazioni necessarie per tutto il processo. Ciò consente all'architetto, al designer MEP, così come all'ingegnere, ai produttori di carpenteria e alle Imprese di Costruzioni, di selezionare il metodo preferibile e i migliori

strumenti per le proprie necessità. Il cerchio orizzontale rappresenta il processo di produzione - a partire dalla preventivazione, progettazione, dettagli costruttivi, produzione, fino al montaggio in cantiere. La chiave del successo è selezionare gli strumenti migliori per le proprie esigenze, gestire e semplificare il processo in modo da ottenere vantaggi in termini di produttività.

In un processo costruibile, tutte le fasi e le operazioni sono modellate e collegate. I modelli includono contenuti pronti per la costruzione che sono facilmente accessibili tramite formati aperti. I modelli costruibili guidano processi più intelligenti e snelli in ufficio, in produzione e in cantiere. Una parte fondamentale di questo processo è il modello 3D costruibile, ricco di dati che va oltre la semplice geometria e contiene informazioni intelligenti, accurate che possono essere utilizzate durante il ciclo di vita del progetto. La condivisione di modelli tra BIM Specialist (ex disegnatori) consente ai costruttori e agli appaltatori di comunicare e coordinare in modo più efficiente soluzioni complesse, risolvere aree di congestione prima dell'inizio della costruzione, garantire che ogni pezzo sia fabbricato alle sue dimensioni esatte e consegnato in cantiere in tempo e in modo ottimizzato, risparmiando tempo di costruzione e riducendo anche lo spreco di materiale.

Il grafico in figura 2, creato da Patrick MacLeamy, indica come il progetto di costruzione diventi sempre più difficile e costoso da modificare quanto più avanzato sia lo stato dei lavori. Questa è una delle parti chiave in cui la modellazione delle informazioni sull'edificio e il lavoro basato su modelli possono avere un effetto importante sull'intero progetto, migliorando la collaborazione tra le parti del progetto e migliorando la qualità del design. Tutti gli attori che prendono parte al progetto, lavorando insieme con un approccio Open BIM, possono anticipare molte decisioni riducendo errori progettuali ed eliminando problematiche in fase di costruzione.

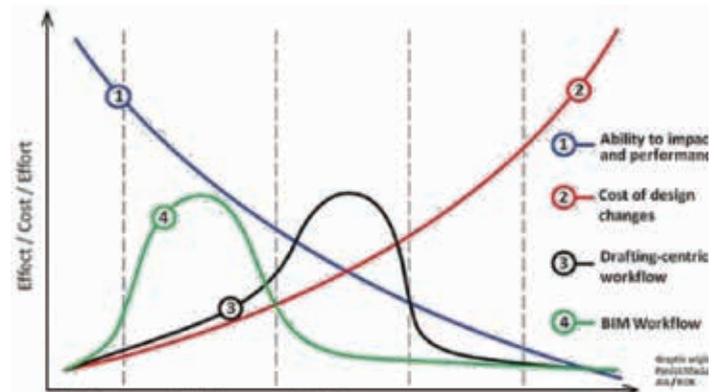


Figura 2



### Architects

- Design Review
- Stakeholder Buy-In



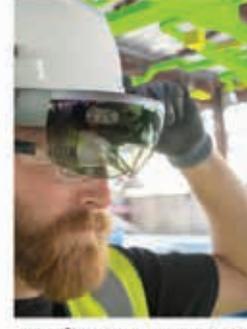
### General Contractors

- Coordinamento del modello
- Pre-costruzione
- Formazione
- Sequenze di costruzione
- Gestione attività 3D
- Verifica di installazione



### Costruttori

- Revisione del progetto
- Assemblaggio guidato
- Assistenza remota
- Audit di qualità



### Subcontractors

- Pre-costruzione
- Sequenze di costruzione
- Installazione guidata
- Assistenza remota
- Gestione attività 3D
- Verifica di installazione



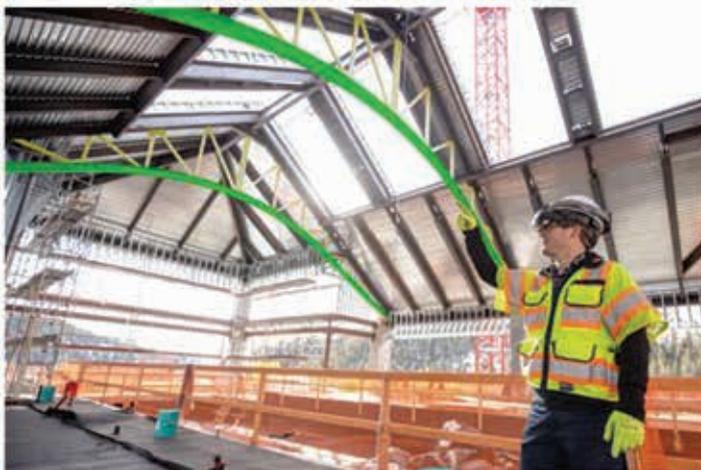
### Maintenance

- Hidden As-Built View
- 3D View of IoT Data
- 3D Task Management
- Remote Assistance

Una nuova tecnologia che utilizza occhiali olografici, che offre applicazioni che potrebbero avvantaggiare il settore della progettazione, produzione e costruzione, è stata rilasciata da Trimble: Trimble XR10 con HoloLens 2. Il dispositivo si adatta ad un elmetto e consente ai lavoratori, in ambienti controllati dalla sicurezza, di accedere alle informazioni olografiche sul luogo di lavoro. Il dispositivo, il primo creato con il programma di personalizzazione Microsoft HoloLens, applica dati olografici nel campo delle costruzioni. Con un ampio campo di visualizzazione unico e ribaltabile, Trimble XR10 con HoloLens 2 combina realtà mista all'avanguardia e funzionamento sicuro in aree di lavoro ad accesso limitato. La soluzione completa offre un'accessibilità ancora maggiore ai modelli 3D da parte dei lavoratori in prima linea. I flussi di lavoro orientati al campo consentono un'ampia adozione della realtà mista per le attività in cantiere per migliorare l'efficienza, la produttività e la qualità del

lavoro. Lo sviluppo continuo della piattaforma di collaborazione basata su cloud, Trimble Connect™ per HoloLens, consente ai lavoratori sul campo di ottenere più valore dai modelli 3D costruibili e trasformare il lavoro quotidiano come la costruzione e le ispezioni. La capacità di accedere ed interagire con contenuti olografici ha ispirato nuovi flussi di lavoro di visualizzazione, collaborazione e produzione. Per le persone che trascorrono le loro giornate sul luogo di lavoro, Trimble XR10 con HoloLens 2 e il portafoglio di software Trimble sbloccano la potenza della realtà mista aumentando la produttività.

Trimble XR10 soddisfa gli standard di certificazione internazionali di sicurezza sul luogo di lavoro. Il dispositivo include tutte le nuove funzionalità di HoloLens 2, tra cui una visiera ribaltabile, un ampio



campo e un'interazione più istintiva permessa dalla innovativa tecnologia di tracciamento delle mani. XR10 consente agli utenti di sovrapporre modelli BIM (Constructible Building Information Model) e altri dati digitali di progetto al contesto fisico del cantiere. Trimble ha portato con questo approccio un ulteriore passo avanti, incorporando le cuffie audio a conduzione ossea mobiWAN di Mobilus, per un'esperienza completamente immersiva sul campo. Il dispositivo Mobilus fornisce uno strato di contenuto audio digitale direttamente alle orecchie protette da appositi tappi. Con l'uscita audio mobiWAN e la gamma avanzata di microfoni di HoloLens, il sistema è in grado di trasmettere comunicazioni bidirezionali ed video assistenza in remoto in luoghi con rumore ambientale elevato.

Trimble Connect per HoloLens è un'estensione specifica dell'applicazione per Trimble Connect, una piattaforma di

collaborazione, basata su cloud, progettata per migliorare il coordinamento dei modelli 3D costruibili e dei dati associati. L'estensione HoloLens fornisce agli utenti di Trimble XR10 una collaborazione migliorata e consente di utilizzare i dati generati nell'ambiente di realtà mista. Le nuove aggiunte a Trimble Connect per HoloLens includono una guida esplicativa delle attività più complesse, l'assegnazione di attività da fare e RFI ad altre parti interessate.

Il dispositivo Trimble XR10 agevola il lavoro rispetto ad un approccio tradizionale, riducendo l'allontanamento dal cantiere per consultare un disegno, un documento o un modello, oppure agevolando il confronto con tutti coloro che sono coinvolti nel progetto e infine evidenziando immediatamente al committente eventuali inconsistenze.



### Carmine Robbe

Entra a far parte di Harpaceas nel 2004.  
Attualmente ricopre il ruolo di Direttore Commerciale  
Divisione BIM Strutturale.  
Ha maturato esperienza nell'ambito BIM Strutturale  
prima come tecnico e poi come commerciale.

# Diventa socio CTA

Il CTA, nato nel 1966, è una associazione culturale senza scopo di lucro, nata per creare occasioni di confronto tecnico, di studio e approfondimento, e di diffusione della cultura dell'acciaio. Il CTA ha al suo interno tre componenti paritetiche:

- Professori universitari
- Liberi professionisti
- Tecnici del mondo dell'industria

Il CTA svolge la sua missione di divulgazione della cultura delle costruzioni metalliche mediante:

- Congresso biennale
- Corsi e workshop di formazione
- Attività editoriale

[www.collegiotecniciacciaio.it/diventa-socio-cta](http://www.collegiotecniciacciaio.it/diventa-socio-cta)

 [c-t-a-collegio-dei-tecnici-dell'acciaio](https://www.linkedin.com/company/c-t-a-collegio-dei-tecnici-dell'acciaio)

 [CollegioTecniciAcciaio](https://www.facebook.com/CollegioTecniciAcciaio)





**MATTEO ABITA**

## **ACCIAIO E CITTÀ - Roma 1945-1980**

*Edicom Edizioni*

Pagg. 239 - Euro 25,00

**Matteo Abita** è un nome conosciuto ai lettori di *Costruzioni Metalliche*. Da qualche anno infatti cura articoli di storia delle costruzioni in acciaio, riportando alla luce storie e nomi che hanno prodotto opere notevoli. Egli fa parte di un gruppo di lavoro coordinato dai professori Renato Morganti ed Alessandra Tosone dell'Università degli Studi dell'Aquila. Di questo validissimo gruppo di ricercatori abbiamo già presentato tempo fa il libro "Acciaio e Committenza: La Costruzione Metallica in Italia (1948 - 1971)". In questo libro, come nel testo precedente, l'Autore analizza un periodo simile (1945 - 1980) focalizzandosi sulle costruzioni in acciaio sorte nella città di Roma. Si tratta di una stagione molto felice per la città che usciva dagli anni disastrosi della guerra e si presentava di nuovo al mondo con la sua bellezza millenaria. Evento clou di quel tempo furono le indimenticate Olimpiadi del 1960. E ricordiamo che proprio alle strutture metalliche costruite

per l'occasione (poche per la verità, ma significative), l'autore ha dedicato un articolo apparso sul n. 4/2018 di questa rivista.

L'analisi del lavoro prodotto in quegli anni a Roma penso sarà per molti una gradevole scoperta: committenze illuminate e validissimi interpreti hanno saputo innestare in un tessuto urbano stratificatosi nel tempo, opere che non hanno nulla da invidiare a quelle coeve che nascevano in altre parti del territorio nazionale e all'estero.

Il libro accompagna il lettore a passeggio per la città in uno spazio temporale molto più esteso di quello indicato in copertina (si parte infatti dalle prime opere "ferrigne" di epoca papalina e si arriva fino agli anni '80 del novecento), coinvolgendolo nella storia di ricostruzione e rinascita dell'ambiente che andava formandosi attorno al nucleo cittadino.

È un racconto avvincente che si avvale di un linguaggio multiforme: quello dello storico e quello dell'architettura, senza però tralasciare il rigore tecnico della tecnologia.

Scrive nella prefazione Renato Morganti: "...l'autore fa propri gli strumenti critici della cultura tecnologica dell'architettura, li innesta decisamente su un unico tema costruttivo che svolge in modo ampio e convincente, non rinuncia ad operare in una prospettiva storica e, infine, ben documenta ciò di cui scrive mettendosi in gioco su un campo poco praticato - la costruzione metallica - che sceglie di coniugare con la dimensione urbana per come solo le città sono in grado di esprimerla. Ma si spinge oltre rischiando di più: sceglie Roma, da sempre ipernarrativa ed affetta da eccedenza di senso cui, da un certo punto in poi, partecipano anche le architetture ferrigne."

Il testo si articola in cinque grandi capitoli: nel primo c'è una panoramica dei cento anni di costruzioni in ghisa e acciaio prima dell'ultimo dopoguerra. Nei successivi tre capitoli si analizza l'uso dell'acciaio nel secondo novecento organizzato secondo due criteri: il primo che sposa l'ordinamento cronologico, il secondo che segue la localizzazione delle opere in specifiche parti della città di Roma. Conclude il volume un breve capitolo che vuol riflettere sul nuovo linguaggio portato dalle costruzioni metalliche in un contesto urbano legato, per duemila anni, al mattone e al travertino. Si è colpiti dall'abbondanza del materiale iconografico (rigorosamente in bianco e nero) che Abita ha reperito passando giorni e notti in archivi e biblioteche e stabilendo innumerevoli contatti con gli eredi degli autori di quel periodo.

Ed a questo proposito si vede il cammino e l'opera di alcuni tra i più grandi progettisti italiani di quel periodo. Cito, solo per restare in ambito ingegneristico, strutturisti del calibro di Pier Luigi Nervi, Fabrizio De Miranda, Leo Finzi, Edoardo Nova, Calogero Benedetti, Andrea Bolocan, Gino Covre, Arrigo Carè, Giorgio Giannelli, Vannacci e Gandolfi e tanti altri bei nomi che emergono dal mare delle persone il cui lavoro, a volte oscuro, è fondamentale nella realizzazione di ogni progetto.

Il lettore di *Costruzioni Metalliche* sa che viene sempre riservato uno spazio alla rievocazione storica di progetti e costruzioni. Il difficile mestiere dello strutturista si fortifica e completa anche nella conoscenza delle opere del passato. Questo libro va in tal senso.

*(a cura di Riccardo De Col)*



> Carlo Sigmund

## Calcolo e fabbricazione di CARPENTERIE METALLICHE

secondo norme AISC 360-16 e ASTM

TOMO PRIMO  
ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO



- > Il materiale acciaio
- > Introduzione alle strutture
- > Profilati e loro produzione
- > Procedure di calcolo elementi

**Carlo Sigmund**

**Calcolo e fabbricazione  
delle Carpenterie Metalliche  
secondo norme AISC 360-16 e ASTM**

*Ed. Flaccovio*

Pagg. 684+513 - Euro 95,00

Circa 1200 pagine in due tomi, quasi 200 tra esercizi e schede di calcolo oltre ad una quarantina di tavole di dettagli. Il tutto raggruppato in 9 capitoli generali. Questo è l'impressionante lavoro di Carlo Sigmund, ingegnere civile, consulente di una grande società di carpenteria del nord Italia, da anni investigatore di problemi di progettazione delle strutture. Si tratta di una piccola enciclopedia della costruzione in acciaio secondo le norme AISC 360-16 e ASTM.

Direte: ma quale beneficio ne traiamo? Non ci sono forse già molti volumi dedicati alle strutture in acciaio? E che cosa ce ne facciamo di un'analisi delle norme USA?

Comincio dall'ultima domanda: chi progetta oggi sa che deve essere pronto ad utilizzare qualunque codice di calcolo. Dalle norme italiane, europee sino alle norme locali di ogni paese in cui le strutture che progetta saranno installate. Abbiamo ancora (fortunatamente) società di ingegneria, industrie e carpenterie che lavorano molto per l'estero e non si fermano davanti ad alcuna difficoltà ambientale o di progetto. La categoria dei progettisti ha sempre saputo assicurare un elevato livello di progettazione e non c'è studio importante di ingegneria strutturale che non abbia sulle proprie scrivanie i manuali AISC, ASCE o altro.

La seconda risposta è questa: ben vengano nuovi testi che hanno un taglio pratico come questo e sanno accompagnare il lettore all'uso consapevole delle norme di calcolo.

È vero, si tratta delle norme AISC 360-16 che non si utilizzano nel nostro paese. Ma la loro conoscenza ci apre lo sguardo su un mondo, il mondo USA che fa norme di uso pratico destinate al pubblico degli ingegneri che cercano semplicità e sicurezza nel codice di calcolo. Sono norme immediate come lo erano le vecchie CNR UNI 10011 ben più facilmente applicabili dell'attuale

corpo di norme degli Eurocodici che presentano formulazioni piene di coefficienti di non facile comprensione immediata e che addirittura possono presentare metodi multipli per la soluzione dello stesso problema disorientando così colui che deve applicarle.

Quindi ritengo culturalmente importante conoscere il mondo AISC per chi progetta acciaio. D'altra parte moltissime grandi strutture sono state progettate in quel paese che è stato pioniere in molti campi: impiantistica industriale ed edifici alti. E con grande regolarità le AISC vengono aggiornate con il concorso di tutto il mondo che ruota attorno all'acciaio: progettisti, industria e università.

Può esservi un'altra obiezione: tutti gli esercizi sono svolti con le unità di misura USA, piedi pollici, pounds. Anche questo non lo ritengo un ostacolo. Tutt'altro. Per chi deve rilasciare una relazione di calcolo secondo le norme USA, sarà questa un'utilissima preparazione.

Il libro è scritto con uno stile molto chiaro: semplici richiami di teoria, ma allo stesso tempo rigorosi e precisi, seguiti da esercizi applicativi. Schemi e disegni di dettagli molto nitidi. Dico la verità: non li ho ripercorsi uno per uno: sono un gran numero, circa duecento. Ma sono di grande aiuto, per quanto già spiegato, nella professione. Troverete molto utile la panoramica sulle strategie dei processi di fabbricazione, manutenzione e gestione. Estremamente interessante l'esempio della costruzione di nodi complessi soggetti ad elevate sollecitazione, sviluppati, per il progetto del complesso "30 Hudson Yard" a New York, dalle Officine Cimolai, uno dei nomi più significativi del lavoro italiano nel mondo.

L'autore è Carlo Sigmund di Tarcento. Di lui avevamo già presentato mesi fa un altro bel volume. Il suo stile è accattivante anche perché si intravede che l'autore ha interessi estesi dall'ingegneria alla matematica e che è abituato a trasformare complicate espressioni di calcolo in procedure standard. Questa ultima sua fatica, come dice all'inizio Sebastiano Florida nella sua breve presentazione, è il

suo capolavoro ed è un libro veramente bello e diverso dagli altri.

Un plauso va all'editore Flaccovio di Palermo che ha avuto la sensibilità ed il coraggio di pubblicare i due tomi.

Poteva essere un rischio. Ma ne è valsa la pena.

*(a cura di Riccardo De Col)*



> Carlo Sigmund

## Calcolo e fabbricazione di CARPENTERIE METALLICHE

secondo norme AISC 360-16 e ASTM

TOMO SECONDO

CONNESSIONI E NODI IN ACCIAIO, ELASTICITÀ



- > Procedure di calcolo delle connessioni
- > Cenni su equazioni di continuità/instabilità
- > Lavorazioni e assemblaggi di elementi di grandi dimensioni
- > Collegamenti nelle strutture in acciaio (Norme italiane) - Schede di calcolo

# XXVIII GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

C  
T  
A

COLLEGIO  
DEI TECNICI  
DELL'ACCIAIO

FRANCAVILLA A MARE (PESCARA)

29 SETTEMBRE - 1 OTTOBRE 2022

## COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO (C.T.A.)

Il Collegio dei Tecnici dell'Acciaio (C.T.A.) è una associazione culturale, composta da universitari, professionisti, società di ingegneria ed industrie di settore, che racchiude in una sola anima le diverse componenti del mondo della costruzione in acciaio. Il C.T.A. organizza da oltre 50 anni, di norma con cadenza biennale, un **Congresso Nazionale**, l'unico in Italia specificamente dedicato al campo delle costruzioni in acciaio, allo scopo di diffondere tra gli specialisti del settore gli avanzamenti della ricerca, della progettazione e della realizzazione di opere in carpenteria metallica.

## IL CONGRESSO

La **XXVIII edizione** del Congresso C.T.A. avrebbe dovuto svolgersi nel 2021, le ben note vicende dovute all'emergenza sanitaria conseguente alla epidemia da Covid-19 hanno impedito l'organizzazione dell'evento. In particolare, il Consiglio Direttivo ha preferito rimandare l'evento piuttosto che svolgerlo a distanza mediante piattaforma web, al fine di preservare i momenti di convivialità che da sempre hanno caratterizzato il Congresso e che contribuiscono a rafforzare i collegamenti tra tutti coloro che operano nell'ambito delle costruzioni in acciaio e che ne hanno a cuore la più ampia diffusione sul territorio nazionale.

Pertanto, nel 2022, il **XXVIII Congresso C.T.A.** storicamente denominato **"Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio"**, si terrà **in presenza a Francavilla a Mare (Pescara)**, nei giorni **dal 29 settembre al 1 Ottobre 2022**.

La XXVIII edizione sarà caratterizzata da una struttura organizzativa innovativa che prevede la partecipazione in presenza alle attività congressuali e la possibilità di partecipare sia in presenza che in modalità Live Streaming ai corsi di aggiornamento professionale che si svolgeranno in parallelo rispetto ai lavori congressuali.

L'auspicio è quello di una più forte commistione delle componenti coinvolte: ricercatori, professionisti dell'ingegneria e della architettura delle costruzioni in acciaio, rappresentanti dell'industria della costruzione in acciaio. Le attività congressuali e i corsi di aggiornamento professionale saranno affiancati da ampie sessioni Poster in cui i protagonisti della progettazione architettonica e/o strutturale di opere in acciaio potranno presentare i loro lavori più significativi dell'ultimo triennio, mentre i laureandi di ingegneria e architettura potranno presentare le loro tesi nell'ambito delle costruzioni in acciaio.

Un'altra importante novità è rappresentata dalla previsione di premi rivolti ai ricercatori (**Best Paper Awards**), ai progettisti (**Best Design Awards**) e ai laureandi (**Best Theses Awards**).

## CREDITI FORMATIVI

La partecipazione al Congresso fornirà la possibilità di accreditare fino a 18 CFP ai partecipanti iscritti all'Albo. Il CTA, in qualità di provider CNI, provvederà alla registrazione dei CFP.

## PROGRAMMA

Sulla base dell'esperienza maturata nell'ambito delle attività culturali promosse dal C.T.A. durante i periodi di lock down più o meno spinto che hanno caratterizzato l'era COVID, il programma della XXVIII edizione congressuale prevede un cambiamento nell'organizzazione dell'evento.

Il Congresso C.T.A., che è da oltre 50 anni il principale punto d'incontro, di scambio di idee, di confronto e discussione del mondo della Costruzione Metallica ha deciso di innovare nel rispetto della tradizione. La XXVIII edizione sarà, conseguentemente, caratterizzata da una struttura organizzativa innovativa che prevede la partecipazione in presenza ai lavori congressuali e la partecipazione, sia in presenza che in modalità Live Streaming, ai corsi di aggiornamento professionale che si svolgeranno in parallelo rispetto ai lavori congressuali.

L'organizzazione in parallelo dei lavori congressuali e dei corsi di aggiornamento professionale, a differenza del passato ove gli eventi erano in serie con i corsi di aggiornamento professionale tutti concentrati nell'ultima giornata, darà la possibilità ai professionisti interessati di frequentare tutti i corsi organizzati **rivolti sia ad Ingegneri che ad Architetti** che vorranno approfondire argomenti riguardanti la progettazione architettonica e strutturale delle costruzioni metalliche.

Lo svolgimento in parallelo delle attività di aggiornamento professionale è finalizzata alla promozione di una più forte commistione fra la componente accademica e la componente professionale durante l'intero svolgimento delle attività congressuali. Infatti, i corsi rivolti ai professionisti prevederanno una modalità mista in presenza e online. Inoltre, verranno organizzate delle sessioni poster in cui i protagonisti della progettazione architettonica e/o strutturale di opere in acciaio potranno presentare i loro lavori più significativi dell'ultimo triennio, mentre i laureandi di ingegneria e architettura potranno presentare le loro tesi nell'ambito delle costruzioni in acciaio. Sono, inoltre, previsti dei premi per le migliori realizzazioni, per diverse categorie di importo dei lavori, per le migliori ricerche presentate e per le migliori tesi di laurea.

La commistione tra le diverse componenti degli operatori del settore delle costruzioni in acciaio consentirà una maggiore visibilità alle aziende che vorranno presentare e promuovere i loro prodotti e le loro professionalità durante le tre giornate dell'evento. Inoltre, le aziende interessate potranno avere uno spazio ad esse dedicato, anche a distanza, durante il Live Streaming dei corsi di aggiornamento dedicati ai professionisti.

## DATE DA RICORDARE

- Scadenza per la presentazione dei sommari: **28 Febbraio 2022**
- Scadenza per l'accettazione dei sommari: **31 Marzo 2022**
- Scadenza per la presentazione dei lavori: **30 Giugno 2022**

## SCHEMA ORGANIZZATIVO DELLE GIORNATE

Le tabelle seguenti riportano lo schema organizzativo delle XXVIII Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio del C.T.A.

GIOVEDÌ 29 SETTEMBRE 2022		
09:00	Registrazione dei partecipanti	
09:20	Saluti di benvenuto	
09:50	Relazione ad invito - Ricerca Tema 1	
10:30	Spazio sponsor (on site)	
10:50	Coffee Break	
11:10	Relazione ad invito: Realizzazioni Tema 1	
11:50	Sessioni Parallele (A1, A2, A3)	
13:00	Colazione di lavoro	
	<b>ATTIVITA' CONGRESSUALI</b>	<b>AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE</b>
14:00	Sessioni Parallele (B1, B2, B3)	Corso Tema A - Lezione 1
15:00	Spazio sponsor (on site)	Spazio sponsor (on line)
15:20	Sessioni Parallele (C1, C2, C3)	Corso Tema A - Lezione 2
16:20	Coffee Break	Spazio sponsor (on line)
16:40	Sessioni Parallele (D1, D2, D3)	Corso Tema A - Lezione 3
17:40	Sessioni Parallele (E1, E2, E3)	Spazio sponsor (on line)
18:40	Fine lavori	
20:00	Cocktail di Benvenuto	

VENERDÌ 30 SETTEMBRE 2022		
09:00	Relazione ad invito - Ricerca Tema 2	
09:40	Relazione ad invito - Ricerca Tema 3	
10:20	Coffee Break	
10:40	Spazio sponsor (on site)	
11:00	Relazione ad invito: Realizzazioni Tema 2	
11:40	Sessioni Parallele (F1, F2, F3)	
13:00	Colazione di lavoro	
	<b>ATTIVITA' CONGRESSUALI</b>	<b>AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE</b>
14:00	Sessioni Parallele (G1, G2, G3)	Corso Tema B - Lezione 1
15:00	Spazio sponsor (on site)	Spazio sponsor (on line)
15:20	Sessioni Parallele (H1, H2, H3)	Corso Tema B - Lezione 2
16:20	Coffee Break	Spazio sponsor (on line)
16:40	Sessioni Parallele (I1, I2, I3)	Corso Tema B - Lezione 3
17:40	Sessioni Parallele (L1, L2, L3)	Spazio sponsor (on line)
18:40	Fine lavori	
20:15	Cena di gala - Premiazioni (Best Paper Awards - Best Design Awards - Best Theses Awards)	

SABATO 1 OTTOBRE 2022		
09:00	Relazione ad invito	
09:40	Relazione ad invito	
10:20	Spazio sponsor	
10:30	Coffee Break	
11:00	Relazioni Promotori/Sponsor	
11:40	Relazione ad invito	
12:20	Sessioni Parallele (M1, M2, M3)	Tavola rotonda
13:20	Colazione di lavoro	
	<b>RICERCA</b>	<b>AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE</b>
14:20	Spazio sponsor (on site)	Spazio sponsor (on line)
14:30	Sessioni Parallele (N1, N2, N3)	Corso Tema C - Lezione 1
15:30	Sessioni Parallele (O1, O2, O3)	Corso Tema C - Lezione 2
16:30	Coffee Break	Spazio sponsor (on line)
17:00	Assemblea dei soci C.T.A.	Corso Tema C - Lezione 3
18:00	Fine lavori	

## QUOTE DI PARTECIPAZIONE

QUOTE DI PARTECIPAZIONE IN PRESENZA		
Tipologia	Servizi inclusi	QUOTA
Socio C.T.A. in regola con quota 2022	Partecipazione alle 3 giornate congressuali Coffee break, Colazioni di lavoro, Cocktail di Benvenuto	€ 400
Altri partecipanti e soci non in regola con la quota 2022	Partecipazione alle 3 giornate congressuali Coffee break, Colazioni di lavoro, Cocktail di Benvenuto	€ 500
Dottorandi	Partecipazione alle 3 giornate congressuali Coffee break, Colazioni di lavoro, Cocktail di Benvenuto	€ 300
Partecipazione giornaliera professionisti con presentazione Poster	Partecipazione alla giornata congressuale prescelta Presentazione Poster, coffee break e colazione di lavoro	€ 165
Partecipazione giornaliera professionisti senza presentazione Poster	Partecipazione alla giornata congressuale prescelta Coffee break e colazione di lavoro	€ 125
Partecipazione pomeridiana professionisti	Partecipazione alle attività pomeridiane (successive alla colazione di lavoro, ossia: corso di aggiornamento professionale e coffee break)	€ 45
Attività extra-congressuali per accompagnatori	Coffee break, Colazioni di lavoro, Cocktail di Benvenuto, Visite turistiche (da definire)	€ 180
Cena di gala		€ 80
Volumi degli atti del Congresso	Presentazione memorie, copia dei volumi degli atti congressuali, stampa memorie in atti congressuali	€ 80

QUOTE DI PARTECIPAZIONE ON LINE (SU PIATTAFORMA MICROSOFT TEAMS)		
Tipologia	Servizi inclusi	QUOTA
Partecipazione al singolo corso	1 corso a scelta tra Tema A, Tema B e Tema C	€ 45
Partecipazione a 2 corsi	2 corsi a scelta tra Tema A, Tema B e Tema C	€ 75
Partecipazione ai tre corsi	3 corsi di aggiornamento professionale	€ 100
Volumi degli atti del Congresso	Presentazione memorie, copia dei volumi degli atti comprese le spese di spedizione, stampa memorie in atti congressuali	€ 85

### SPAZI PER GLI SPONSOR IN SEDE CONGRESSUALE

Le aziende che vorranno sostenere l'evento potranno acquisire uno o più servizi offerti dalla organizzazione del congresso che, in particolare, consistono in:

- appositi spazi attrezzati, dove sarà possibile interagire con i partecipanti al congresso durante i coffee break, le colazioni di lavoro e le sessioni poster;
- spazio sponsor "on site" da 10 minuti con presentazione della propria azienda, dei servizi offerti e delle proprie professionalità da parte di un tecnico proprio rappresentante durante le sessioni congressuali;
- spazio sponsor "on line" da 10 minuti con presentazione della propria azienda, dei servizi offerti e delle proprie professionalità da parte di un tecnico proprio rappresentante o la messa in onda di un video aziendale;
- spazio sponsor "on site" da 10 minuti che prevede un filmato pubblicitario da mandare in onda durante i coffee break e la colazione di lavoro.

Inoltre, a tutte le aziende che vorranno sostenere l'evento sarà garantita la presenza del proprio logo su tutto il materiale informativo del Congresso.

### CONTATTI

sig.ra Valeria Pasina  
Segreteria Amministrativa C.T.A.

E-mail: cta@ctanet.it  
Telefono: +39 02 78 47 11

informazione  
giornaliera  
per il professionista



Gazzetta di ingenio è una Newsletter giornaliera che viene inviata durante la settimana e dà evidenza ad alcuni dei principali articoli/notizie pubblicati sul portale ingenio.

Esce la mattina ed è spedita agli utenti registrati al portale.

Vista la sua diffusione e quotidianità, è **lo strumento ideale per promuovere eventi**, oppure annunciare l'uscita di **nuove tecnologie**.

La Gazzetta di ingenio è uno degli strumenti con cui ingenio comunica al suo pubblico di specialisti. Guarda un esempio - <https://bit.ly/2IQCLsP> oppure scopri di più su ingenio-web.

Publicizza la tua azienda su

## COSTRUZIONI METALLICHE



ADVERTISING SALES & COMMUNICATION AGENCY

Concessionaria  
di pubblicità  
per questa rivista

Tel 06.9078285 - Cell 346.7588821  
[comunicazione@agicom.it](mailto:comunicazione@agicom.it)  
[www.agicom.it](http://www.agicom.it)

APPROFITTA DEL  
**BONUS PUBBLICITÀ**

INSERITO NELLA LEGGE DI BILANCIO 2021  
CHE PERMETTE DI RECUPERARE  
IL 50% DEL TOTALE INVESTIMENTO  
PUBBLICITARIO ANNUO.

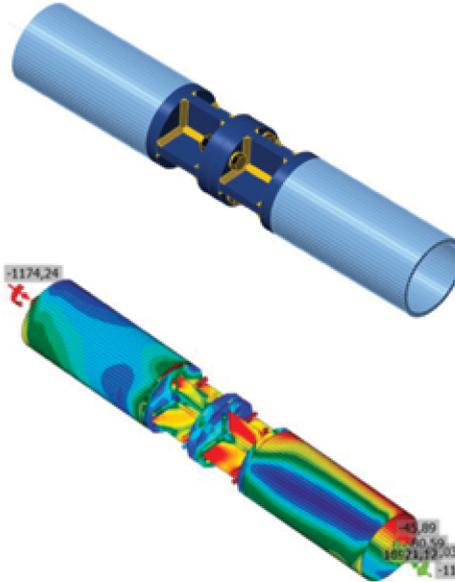
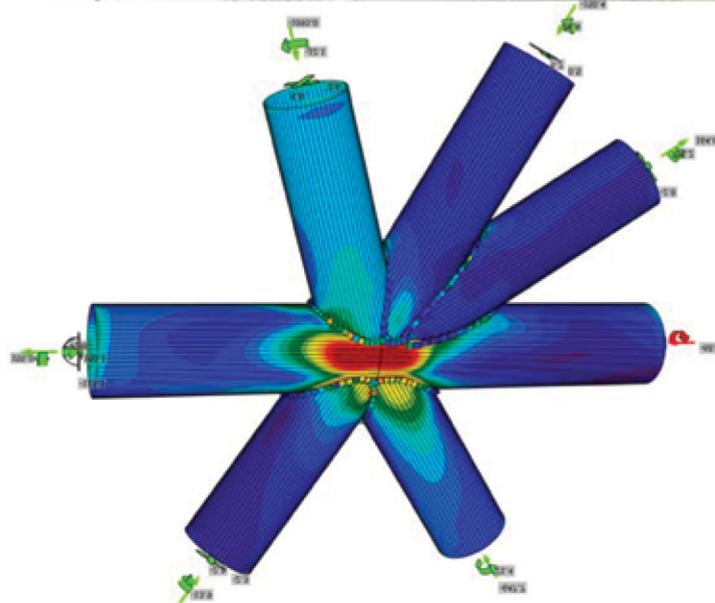
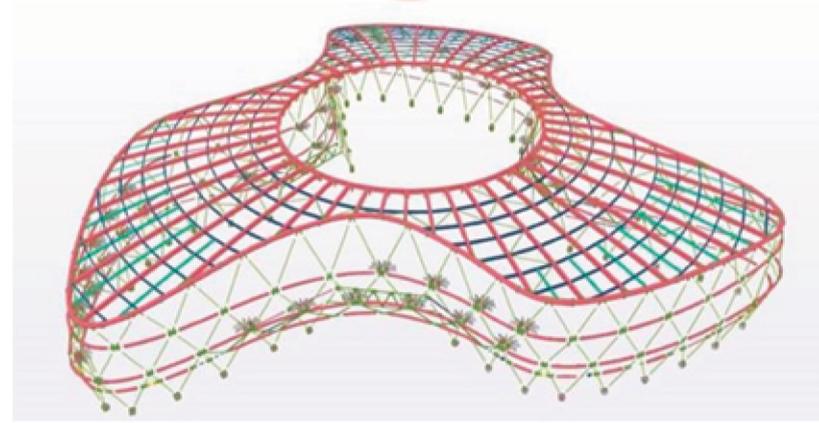
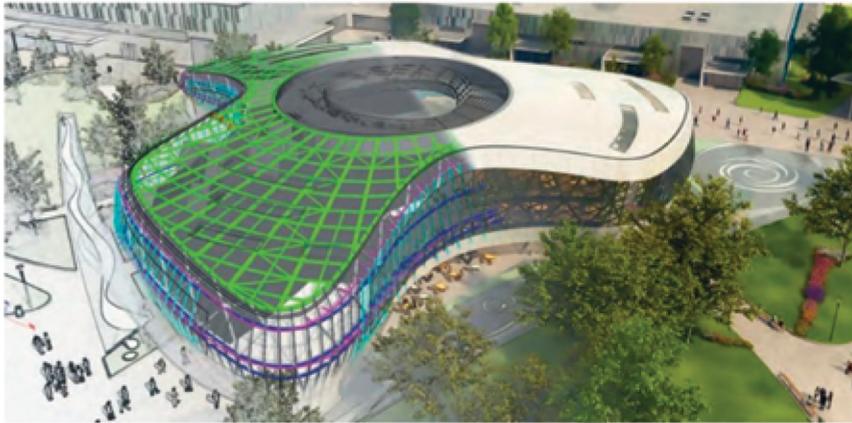
\*LEGGE 30 dicembre 2020, n. 178, art. 1

# IDEA StatiCa® CONNECTION

LEADER MONDIALE PER LA VERIFICA DI CONNESSIONI IN ACCIAIO GENERICHE  
BIM - ANALISI NON LINEARI - MULTILINGUA - NORME: 

Hungexpo Arrival Hall, Budapest  
Progetto: BIM Design Kft  
Realizzazione: KÉSZ Group

 Tekla Structures  IDEA StatiCa®



**EISEKO**  
COMPUTERS

**PROVA LA VERSIONE COMPLETA PER 14 GIORNI**

EISEKO COMPUTER S.R.L. - Viale del Lavoro 17, 37036 San Martino B. A. (VR)

idea@eiseko.it

+39 045 80 31 894

www.eiseko.it

**NUOVO**, POTENTE, AFFIDABILE, COMPLETO...  
**RIVOLUZIONARIO!**

**CDJ** *Win*

**Computer Design of Joints**  
*2021 Edition* **FEA Connection**

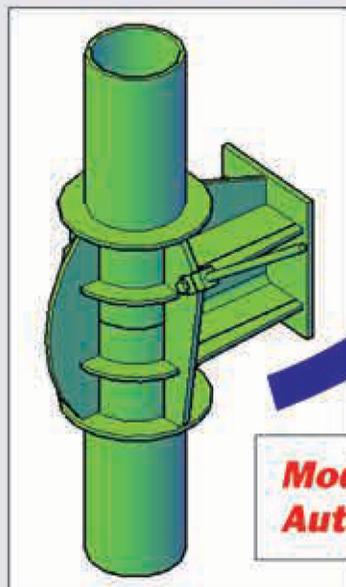
**Navigatore Fotorealistico  
dell'intera struttura\*\***

**Import nodi da  
AutoCAD® 3D\***

**Niente più problemi  
con le giunzioni metalliche...**

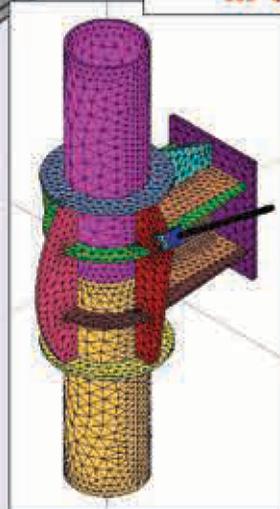
Software per l'analisi agli  
elementi finiti 3D delle unioni  
in acciaio di geometria qualsiasi,  
con input da CAD 3D integrato in  
modellazione solida:

- Elementi finiti 3D di tipo «tetraedo»
- Meshatura tridimensionale del nodo
- Soluzioni di elevatissima precisione
- Granularità meshatura personalizzabile

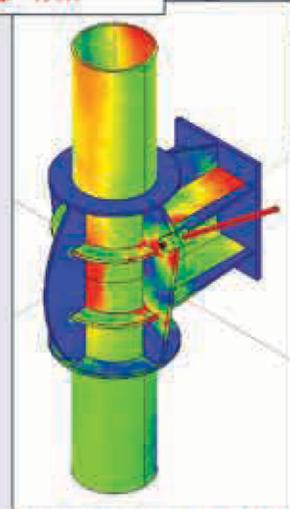


**Modello in  
AutoCad® 3D**

**Calcolo del nodo  
in CDJ *Win***



**Mesh Nodo**



**Mappatura tensioni  
di Von Mises**

Visita il nostro sito [www.stsweb.it](http://www.stsweb.it) per visionare i nostri video tutorials.

Richiedi una dimostrazione in connessione remota al seguente indirizzo email: [cdj@stsweb.it](mailto:cdj@stsweb.it)

\*Progettazione di nodo in acciaio\*  
per gentile concessione:  
arch. Pietro Giallongo

**Software Tecnico Scientifico®**

Visiona i nostri video tutorials su



Via Tre Torri, 11 - 95030 Sant'Agata Il Battiati (CT)  
e-mail: [sts@stsweb.it](mailto:sts@stsweb.it)  
tel. 095/7252559-7254855 fax 095/213813

Corso Gelone, 39 - 96100 Siracusa  
e-mail: [sts.siracusa@stsweb.it](mailto:sts.siracusa@stsweb.it)  
tel. 0931/66220

