

ISSN n° 0010-9673 Poste Italiane Sp.A. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 358/2003 (conv. in L. 27.02.04 n° 46) Art. 1, comma 1, LO MI Prezzo a copia: € 15,00 - In caso di mancato recapito inviare al CMP di Milano - Rosario per la restituzione al mittente previo pagamento reso



MAG/GIU 2022

C
T
A
COLLEGGIO
DEI TECNICI
DELL'ACCIAIO



RIVISTA BIMESTRALE
PER LA DIFFUSIONE
DELLA CULTURA DELL'ACCIAIO

COSTRUZIONI METALLICHE



Il **PROGETTO SALDATORE** è un progetto IIS volto a riqualificare la figura professionale degli addetti alla realizzazione di giunzioni saldate e brasate, incrementando, soprattutto fra i giovani e gli studenti, la percezione di professionalità e competenza che caratterizza queste figure, in modo da stimolare un processo di avvicinamento a questo mestiere e, in ultima analisi, contrastare la carenza di saldatori a livello nazionale in molti settori industriali.

// **SALDATORE** è un **PROFESSIONISTA!**

Oggi esistono le condizioni ideali
per il *rilancio* e la *riqualificazione*
di queste *professionalità!*

Raggiungeremo le scuole, le imprese, le istituzioni, e raggiungeremo i saldatori, per raccontare storie di successo e storie di vita, che testimonino il fatto che il ruolo del **bravo saldatore** è centrale nella produzione industriale.

Segui sui social    il **#progettosaldatoreIIS**

...troverai le storie raccontate dai protagonisti
e potrai condividere le finalità del Progetto!



Trimble XR10
WITH HOLOLENS 2

Mixed Reality in cantiere

- Per il coordinatore della sicurezza, durante la fase di progettazione, una migliore visione delle possibilità di rischio
- Esercitazioni in contesti rischiosi ma simulati, gestione puntuale della situazione rischiosa
- Verifiche di conformità del piano della sicurezza in fase di esecuzione
- Controllo di conformità montaggio ponteggi e sistemi di sicurezza
- Monitoraggio affaticamento degli operatori

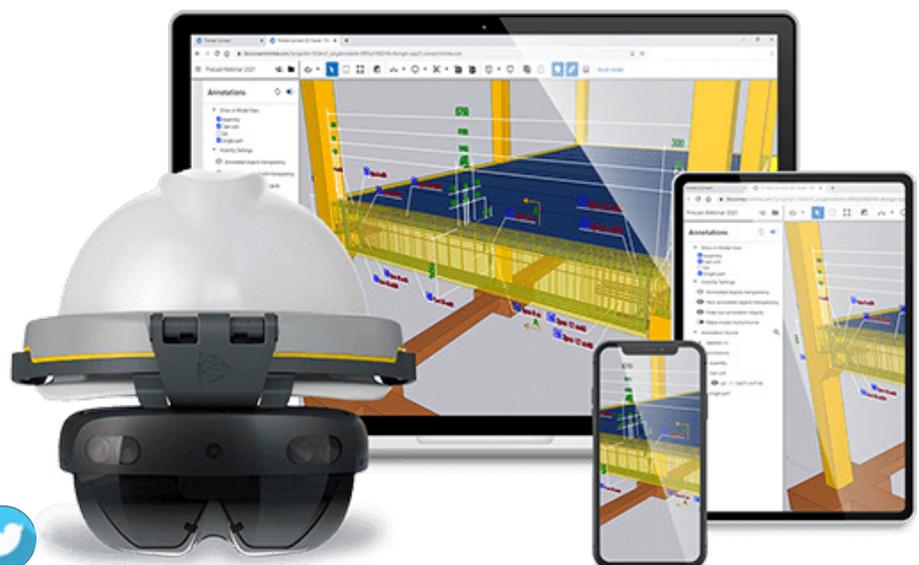
Sicurezza in cantiere con Trimble XR10 with Hololens 2

Trimble XR10
WITH HOLOLENS 2

Rivenditore unico per l'Italia

since 1990

HARPACEAS
More than BIM



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.

Pubblicizza 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
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

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 NASCÉ "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 - CCLIAA 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:Hutter 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 Giugno 2022

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 LXXIV MAG GIU 22

www.facebook.com/CMrivistacostruzionimetalliche@ctanet.it**In copertina:**

Struttura in acciaio COGI per la realizzazione di una villa monofamiliare disposta su un livello a Lodrino (BS) (sin.); struttura in acciaio COGI per la realizzazione di una villa monofamiliare disposta su due livelli a Calvisano (BS) (destra)



7	EDITORIALE ELENA MELE	IL CTA E GLI EDIFICI ALTI
9	INGEGNERIA PAOLO RIGONE, PAOLO GIUSSANI	FACCIAE RESILIENTI: IL COMPORTAMENTO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI A SECCO IN CASO DI FENOMENI ESTREMI DI VENTO
22	ARCHITETTURA TECLA CAROLI	Tecnologie Reversibili in Acciaio per Strutture Temporanee: Padiglione della Spagna per EXPO Dubai 2020
40	LE AZIENDE INFORMANO NADIA BALDASSINO, RICCARDO ZANDONINI, ROSSANO ALBATICI, LORENZO MANZINI, OMAR PATELLA	Struttura in acciaio sottile formato a freddo, prestazioni strutturali e confort abitativo: Il sistema costruttivo steelMAX®
59	REALIZZAZIONI MARCO PERONI	UNA CASA "MODERNISTA" A FAENZA
65	RICERCA G. CANTISANI, G. DELLA CORTE	Risposta sismica di capannoni in acciaio esistenti in Italia: effetti dello schema progettuale e dei pannelli di chiusura
81	PILLOLE DI CORROSIONE MICHELE FEDEL, STEFANO ROSSI	Cicli di protezione di strutture metalliche: pulizia, pretrattamento, verniciatura
87	INGEGNERIA RICCARDO ZANON, MIGUEL CANDEIAS	Design considerations on the Aero-dynamic stability of a specific type of cruciform variable section used as tied-arch bridge hangers
97	LA REDAZIONE	XXVIII GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

SE L'ACCIAIO È ZINCATO, IL FUOCO FA MENO PAURA.



La zincatura a caldo, come confermato da studi internazionali, è un trattamento in grado di rallentare il surriscaldamento degli elementi strutturali in acciaio sottoposti all'azione del fuoco.

Questo si traduce in tempo prezioso in caso di evacuazione da un edificio in fiamme. Il trattamento di zincatura a caldo si rivela **una difesa importante per contrastare l'avanzata di un incendio.**

OLFEZ | ZITACSRL | GALVAN | ZINCATURADICAMBIANO

ZINCHEE CERTIFICATE 



GIAMBARINI GROUP
IL FUTURO PER TRADIZIONE

WWW.GIAMBARINIGROUP.IT

IL CTA E GLI EDIFICI ALTI



Prof. Ing. Elena Mele
Università "Federico II" di Napoli
Consigliere CTA

A partire dallo scorso anno, la rivista Costruzioni Metalliche ed il CTA hanno proposto diverse iniziative orientate ad approfondimenti e studi sul mondo degli edifici alti. Siamo partiti con la rivista, il numero 1 (gennaio/febbraio) del 2021 esclusivamente dedicato agli edifici alti (figura 1); quindi il CTA ha organizzato un webinar di due giorni a giugno 2021 (figura 2), e tra marzo e aprile 2022 un corso di venti ore sul tema (figura 3).

Queste iniziative hanno creato occasioni di discussione raccogliendo tutte le diverse voci che ruotano intorno al mondo degli edifici alti: dagli autori degli articoli pubblicati nel numero speciale di Costruzioni Metalliche ai relatori del webinar e ai docenti del corso, si sono sempre affiancati ingegneri, architetti, ricercatori, professionisti, docenti universitari. Il risultato è stato uno sguardo davvero ampio, multidisciplinare e articolato sul tema dell'edificio alto, che rappresenta forse la più affascinante sfida ingegneristica e che oggi si ripropone in tutta la sua attualità e complessità in misura sempre maggiore anche sul territorio italiano.

Il riscontro registrato in termini di partecipanti, sia al webinar che al corso, è stato estremamente positivo e ha confermato che esiste un interesse scientifico e professionale ed un'esigenza importante di riflessione su questa tipologia e sul ruolo che ha ed inevitabilmente continuerà ad acquisire nel futuro delle grandi città italiane.

Il corso "Edifici alti: Principi di progettazione, soluzioni costruttive, sostenibilità" è stato suddiviso in cinque pomeriggi, ciascuno con un modulo di quattro ore di lezione.

Nel primo modulo "Il tema dell'Edificio Alto e soluzioni classiche", tenutosi l'11 marzo, Bruno Finzi (CEAS Engineering) ha illustrato la sua amplissima esperienza professionale in una ricca e appassionata relazione dal titolo "Progettare edifici alti in Italia". Elena Mele (Università Federico II di Napoli) ha presentato i "Principi di progettazione strutturale ed evoluzione delle tipologie" con un completo excursus storico che ha esaminato alcune figure, che potremmo definire eroiche, di ingegneri, e le loro idee, che hanno consentito la nascita e poi la realizzazione sempre più efficiente degli edifici alti. Francesco Sorrentino (Università Federico II di Napoli) ha discusso alcuni principi di progettazione architettonica, focalizzandosi su aspetti tipologici, funzionali e di relazione con il contesto urbano, per poi esaminare l'edificio alto come moltiplicatore di suolo e risposta alle questioni ambientali.

Nel secondo modulo del 18 marzo si sono affrontate alcune "Specificità progettuali negli edifici alti moderni". In particolare, Francesco Ricciardelli (Università della Campania L. Vanvitelli) ha presentato il tema "Azioni ed effetti del vento: principi di progettazione", in cui, partendo dall'inquadramento teorico dell'ingegneria del vento si è giunti a trattare anche aspetti estremamente concreti, come l'approccio delle normative. Emidio Nigro (Università Federico II di Napoli) invece ha affrontato un altro tema essenziale nella moderna progettazione degli edifici alti, ovvero il fuoco, con una lezione su "Strategie anti-incendio", in cui sono stati illustrati aspetti generali della sicurezza antincendio e relative procedure e strategie, concludendo con un esempio di valutazione della sicurezza strutturale antincendio di un edificio alto.

Con il terzo modulo il 25 marzo si è concentrata l'attenzione su "Soluzioni strutturali attuali". Elena Mele (Università Federico II di Napoli) ha infatti esaminato "Sistemi a nucleo e outrigger" e "Soluzioni diagrid": per entrambi, dopo aver presentato i relativi criteri di progetto, sono stati discussi alcuni casi studio e realizzazioni significative. Infine Diana Faiella (Università Federico II di Napoli) ha presentato "Sistemi diagrid:

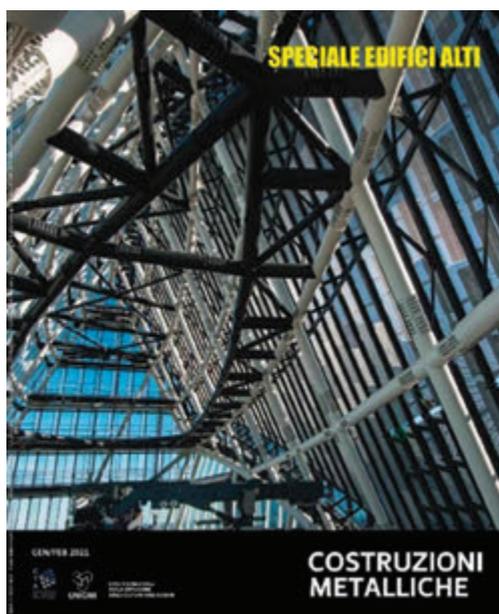


Fig. 1 | Numero speciale di Costruzioni Metalliche dedicato agli edifici alti



Fig. 2 | Locandina webinar del 2021

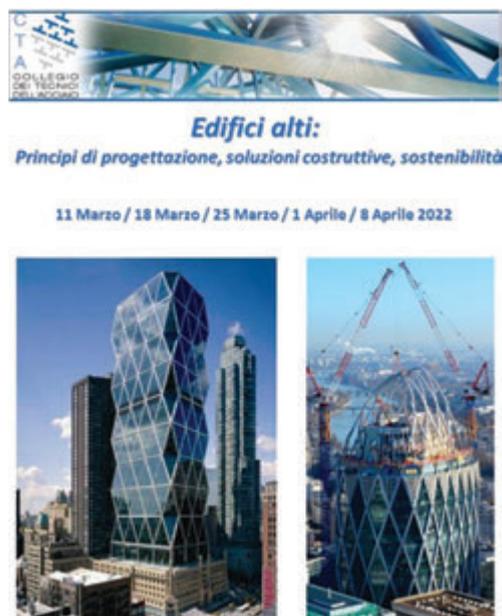


Fig. 3 | Locandina corso del 2022

ottimizzazione del pattern strutturale” discutendo sulle possibilità di migliorare l’efficienza strutturale tramite diverse procedure di ottimizzazione.

Con il quarto modulo del 1 aprile, “Il materiale acciaio e la scelta delle soluzioni costruttive”, si sono discusse le diverse soluzioni costruttive in acciaio ed i relativi criteri di progetto, con le lezioni di: Riccardo Zanon (ArcelorMittal) e Nicola Tondini (Università di Trento) su “Introduzione ai materiali strutturali utilizzati negli edifici alti”; ancora Riccardo Zanon su “Orizzontamenti e colonne”; Nicola Tondini su “Sistemi di stabilità laterali classici”; Massimo Latour (Università di Salerno) su “Connessioni tra gli elementi”.

Il quinto modulo, infine, tenuto l’8 aprile, ha affrontato gli “Aspetti di Sostenibilità”, con Dario Trabucco (Università IUAV): “Sostenibilità nel ciclo di vita degli edifici alti, aspetti normativi, progettuali e di ricerca”, Marina D’Antimo (Steligenze ArcelorMittal) “La sfida dell’acciaio nella progettazione sostenibile”, Giacomo Di Ruocco (Università di Salerno) “La sostenibilità delle strutture in Acciaio: Aspetti normativi, progettuali ed organizzativi”, Giulia La Delfa (Archliving) “Protocolli di sostenibilità: caso studio”.

Il CTA rinnova un ringraziamento di cuore a tutti i docenti che hanno contribuito al successo di questo corso.

Il tema degli Edifici Alti sarà anche trattato con interventi dedicati ed una sessione specifica al XXVIII Congresso del Collegio dei Tecnici dell’Acciaio - CTA 2022 - Le giornate italiane della Costruzione in Acciaio, che si terrà a Francavilla al Mare (CH), dal 29 settembre al 1 ottobre. L’auspicio è di ritrovarsi tutti, Soci e Amici, finalmente in presenza al congresso, occasione imperdibile per avere un quadro completo della ricerca e delle applicazioni e un fertile scambio di idee e di esperienze fra i tre mondi, dell’università, della professione e dell’industria delle costruzioni metalliche.

FACCIAE RESILIENTI: IL COMPORTAMENTO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI A SECCO IN CASO DI FENOMENI ESTREMI DI VENTO

RESILIENT FACADES: BEHAVIOR AND PERFORMANCE OF DRY EXTERIOR WALL SYSTEMS IN CASE OF EXTREME WINDSTORMS

Prof. Ing. Paolo Rigone, Ing. Paolo Giussani*, Ing. Simona Limonta
Studio di Ingegneria Rigone, Milano

L'articolo proposto nel seguito approfondisce il comportamento dell'involucro edilizio soggetto ad eventi meteorologici estremi, quali uragani, tempeste di vento, ed azioni combinate di vento in pressione e depressione.

L'analisi, frutto di un più ampio progetto di tesi, analizza l'azione del carico vento agente sui sistemi di facciata sommato alle forze di impatto ed urto dovuto agli elementi volanti trasportati con sé dal passaggio delle masse d'aria.

L'eventuale rottura, o il cedimento delle componenti dell'involucro edilizio, determinano l'aumento delle pressioni interne della costruzione, esponendo il contenuto dell'edificio all'azione della pioggia battente. L'involucro edilizio, che rappresenta la barriera di protezione contro i fenomeni atmosferici, oltre che di separazione tra ambiente interno ed esterno, deve essere quindi progettato in relazione a tali azioni. Le normative adottate nel panorama internazionale dettano le linee guida per la definizione, realizzazione ed esecuzione di specifici test sui sistemi di facciata circa gli aspetti di resistenti agli uragani e ai tornado.

The paper presents the results of a research thesis which aims to investigate the behavior of the building envelope exposed to extreme climate conditions, especially windstorms. Their damaging action is the direct consequence of wind loads combined with the impact of flying debris. These can lead building envelope components to fail, resulting in an increase of the indoor air pressure and exposing the building contents to the rain. The building envelope represents the most important protective barrier against atmospheric phenomena and needs to be designed to resist such destructive actions.

The first part of this paper deals with how building envelopes react in the faces of extreme gusts of wind and the impact of flying debris. Subsequently, we will present some design strategies to prevent short and long-term damage to buildings and to the activities carried out in them. The third part describes a design tool to assess the criticality level of the site. Eventually, will show the main international reference testing procedures for façades exposed to flying debris impacts.

1. INTRODUZIONE

Il riscaldamento climatico a cui stiamo assistendo sta profondamente mutando la natura dei fenomeni meteorologici che avvengono sulla Terra. In tutto il mondo si sta assistendo a un'estremizzazione di tali eventi, sia in termini di frequenza che di magnitudo.

Secondo l'Agenzia Ambientale Europea (AEA), tra il 1980 e il 2020, i disastri naturali in Europa hanno causato la morte di circa 140 mila persone e danni finanziari per oltre 520 miliardi di euro.

In particolare, la quota maggiore delle ripercussioni economiche è stata causata in particolare dalle inondazioni (circa il 40%), seguite dalle tempeste di vento (25%), dalla siccità (circa il 10%) e dalle ondate di caldo (circa il 5%).

In particolare, tra i fenomeni climatici, i venti costituiscono una delle azioni più devastanti che conosciamo sulla Terra. Si stima che un singolo ciclone coinvolga più energia di quanta sia prodotta e utilizzata dall'uomo in un anno. Durante le tempeste di vento,

*Corresponding author. Email: p.giussani@studiorigone.it

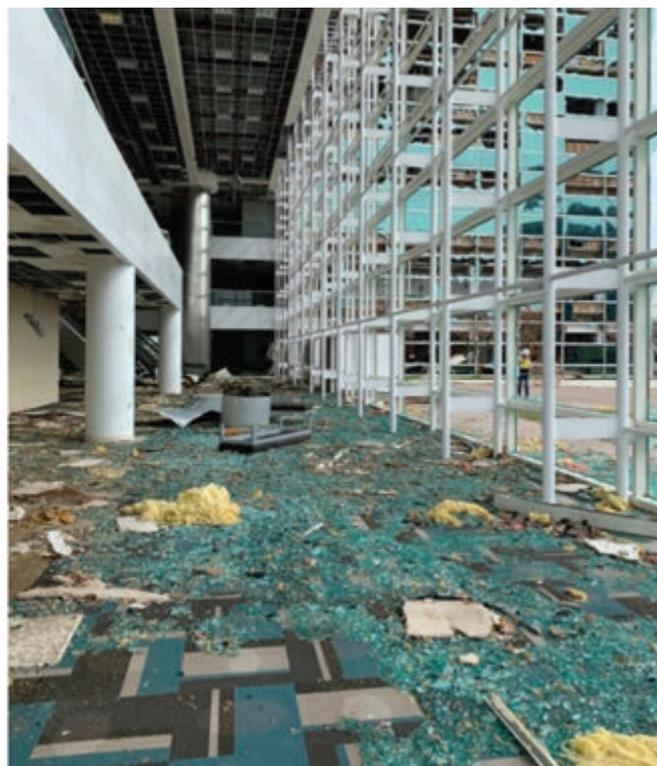


Fig. 1 | Danni riportati alla facciata della Capital One Tower (Louisiana) a seguito dell'uragano Laura del 27 agosto 2020

la principale preoccupazione è legata alla perdita di elementi appartenenti a un edificio sorgente e all'impatto che questi e altri detriti sciolti a terra potrebbero avere sulle costruzioni limitrofe.

I rischi legati a un clima sempre più imprevedibile rendono, quindi, necessaria una progettazione approfondita e l'adozione di sistemi costruttivi che garantiscano l'integrità degli edifici a condizioni meteorologiche estreme. L'obiettivo principale è quello di prevenire e limitare i danni alle persone e alle proprietà. Particolare attenzione deve essere posta alle costruzioni strategiche (come ospedali, centri operativi di protezione civile, etc.), le quali non devono subire interruzioni del servizio a causa di danni più o meno localizzati.

In questo contesto, gioca un ruolo fondamentale l'involucro edilizio perché ad esso è demandata la funzione di proteggere l'ambiente interno da quello esterno.

I Paesi storicamente più colpiti da cicloni e uragani (come l'Australia e gli Stati Uniti) hanno introdotto all'interno dei loro codici di progettazione delle prescrizioni che richiedono la resilienza dell'involucro edilizio ai detriti trasportati dal vento. In risposta a queste richieste, sono state, successivamente, sviluppate delle procedure di prova per la verifica e la certificazione della resistenza dei sistemi costruttivi all'azione degli uragani e all'impatto dei detriti volanti. In Italia gli eventi estremi di vento sono poco frequenti e relativamente recenti, motivo per il quale la percezione del rischio è quasi del tutto assente. Ciò implica anche l'assenza di riferimenti normativi che tutelino il progettista e le costruzioni in caso di fenomeni atmosferici rilevanti.

Negli ultimi anni, tuttavia, i Medicane (tornado originati nel Mar Mediterraneo) sono in aumento. I dati climatici più comunemente utilizzati per la progettazione e gli studi degli edifici non sono più sufficienti, e le variabili climatiche tradizionali devono essere seriamente riconsiderate.

2. GLI EFFETTI DEI FENOMENI ESTREMI DI VENTO SUGLI EDIFICI

Quando il vento interagisce con un edificio, si generano sulle superfici esterne zone sopravento e sottovento. L'entità delle pressioni è funzione delle caratteristiche del vento, dell'ambiente circostante e della geometria della costruzione. In particolare, i parametri da considerare sono:

- La rugosità del terreno: tiene conto delle asperità del terreno. Più il terreno è liscio, maggiore è il carico del vento;
- L'orografia: tiene conto dei rilievi superficiali e sottomarini della Terra (come ad esempio, le colline, le scogliere, etc.). Cambiamenti bruschi nella topografia causano un'accelerazione del vento;
- L'altezza e la vicinanza degli edifici circostanti: influiscono sulla distribuzione delle pressioni. Una costruzione situata in una città densamente abitata risulta schermata dalle strutture circostanti, mentre una posizionata vicino al mare o in aperta campagna è totalmente esposta alle condizioni meteorologiche circostanti;
- La velocità di base del vento: definita dall'Eurocodice 1 in funzione dell'area geografica e dall'altitudine sul livello del mare. All'aumentare della velocità, le pressioni crescono esponenzialmente;
- La direzione del vento: determina la disposizione delle aree a pressione positiva e negativa;
- L'altezza dell'edificio: la velocità del vento aumenta con l'altezza dal suolo. Pertanto, più alto è l'edificio, maggiore è la velocità e, quindi, maggiore è il carico del vento;
- La forma dell'edificio: irregolarità nella geometria (come rientranze, aggetti, cambi di inclinazione, etc.) possono causare turbolenze localizzate. Queste provocano fenomeni di

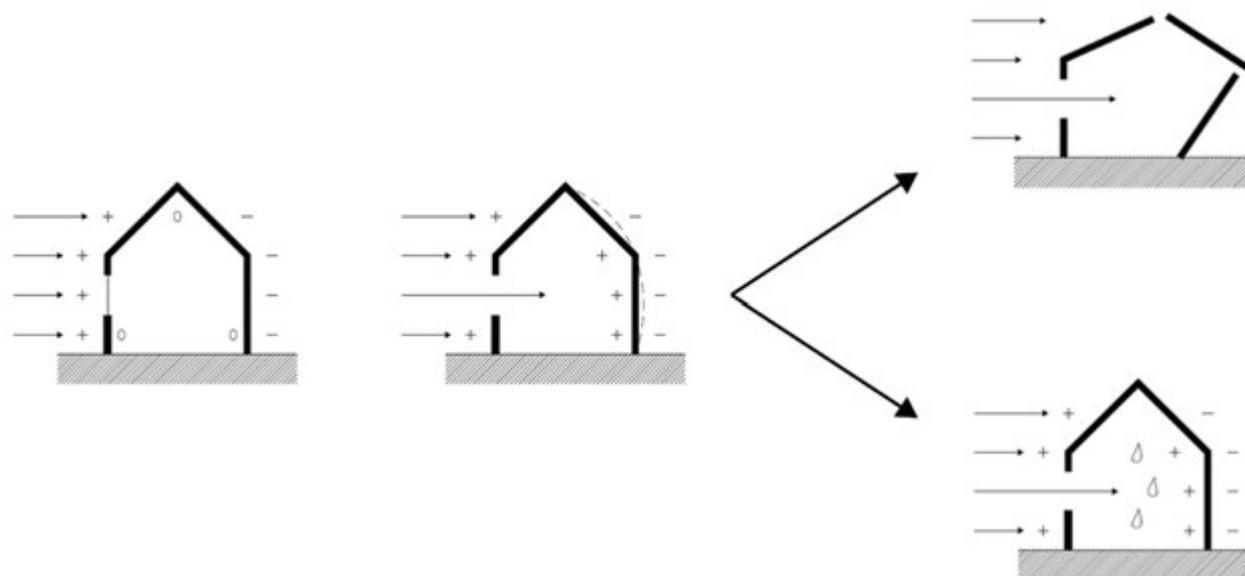


Fig. 2 | Ridistribuzione delle pressioni sull'edificio a seguito di un cedimento dell'involucro

accelerazione puntuale con conseguente aumento dell'intensità del carico vento.

In caso di fenomeni di vento estremo, le pressioni agenti sulle superfici esterne possono eccedere i valori massimi di progetto e a queste può sommarsi l'azione dei detriti volanti provenienti dall'ambiente circostante.

Quando gli elementi in volo raggiungono elevate velocità, possono penetrare le componenti dell'involucro edilizio (tamponamenti trasparenti ed opachi, serramenti, chiusure, ecc.) posti sottovento, generando aperture sulla facciata soggetta a pressione positiva. Le principali conseguenze derivanti dall'azione dirompente del fenomeno sono:

- aumento della pressione interna e nuova redistribuzione dei carichi sugli elementi interni ed esterni. La facciata precedentemente sottovento, e non esposta all'impatto diretto dei detriti provenienti da edifici sopravvento o dal contesto circostante, risulta sottoposta a pressioni più elevate e può, dunque, danneggiarsi o addirittura collassare. Anche le pressioni agenti sulle pareti divisorie interne diventano molto superiori rispetto a quelle per cui erano state progettate.
- l'ingresso di acqua, favorita dalla presenza di aperture e dalla differenza di pressione che si instaura tra l'interno e l'esterno dell'involucro edilizio (figura 2).

I detriti generati da un cedimento possono, a loro volta, colpire gli edifici circostanti, generando un fenomeno di guasti a "cascata". Ne risulta che l'integrità delle chiusure è prioritaria per garantire la stabilità delle componenti d'involucro degli edifici sottoposti all'azione dei venti (figura 1).

3. LE TECNOLOGIE COSTRUTTIVE A SECCO PER LE FACCIATE

La vulnerabilità di un edificio al vento è principalmente condizionata dalla tecnologia costruttiva adottata. Gli elementi maggiormente soggetti alla forza di estrazione del vento e all'impatto dei detriti volatili sono chiaramente i sistemi di rivestimento esterno.

Negli ultimi anni, la richiesta di prestazioni sempre più stringenti in termini strutturali, energetici, acustici e di sostenibilità ha determinato un incremento nell'utilizzo di tecnologie costruttive a secco. I vantaggi sono la riciclabilità, la flessibilità, la leggerezza, la rapidità di messa in opera e la riduzione dei rifiuti. I sistemi di involucro a secco nascono dall'accostamento di materiali e strati di differente natura. L'obiettivo è quello di raggiungere prestazioni crescenti o superiori rispetto alle tipiche tecnologie "tradizionali", intervenendo sull'ottimizzazione degli spessori, delle masse, velocizzando l'installazione e semplificando le interfacce di raccordo tra le varie componenti. Come vedremo nel seguito, è possibile suddividere i sistemi costruttivi a secco per l'involucro in due macro-categorie generali: sistemi costruttivi opachi e sistemi costruttivi trasparenti.

3.1. Sistemi costruttivi opachi

I tamponamenti opachi possono essere interamente prefabbricati (in moduli geometrici standardizzati, pannelli, etc.) oppure stratificati. Nel primo caso prevedono l'impiego di pannelli sandwich costituiti da lamiera metalliche e isolamento termo-acustico interposto. Nel secondo, sono invece generalmente realizzati mediante una sottostruttura metallica, lastre di rivestimento in cartongesso e intercapedini isolate. Questi ultimi sono i più utilizzati nelle costruzioni permanenti e sono, generalmente, accoppiati con rivestimenti esterni a cappotto oppure sistemi a montaggio meccanico.

Rivestimento esterno tipo "cappotto"

Il sistema denominato "cappotto" è costituito da pannelli di isolante termico, rivestiti mediante una rasatura armata e una finitura colorata e ancorati al supporto con un sistema di collegamento chimico e/o meccanico puntuale (spesso è anche consigliato l'impiego di entrambi gli accorgimenti). Per tale tecnologia, la resistenza ai carichi verticali (peso proprio) è garantita attraverso l'impiego di tasselli meccanici e del collante, mentre per quanto riguarda i carichi orizzontali (vento) solo mediante i primi. Gli

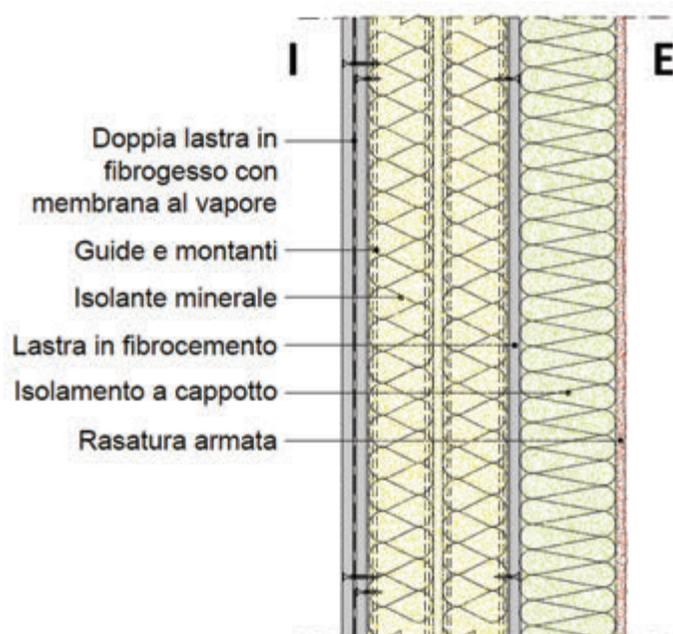


Fig. 3 | Esempio di dettaglio costruttivo tipologico di un sistema a "cappotto" su supporto a secco

stati tensionali igrotermici, così come le dilatazioni differenziali che interessano lo spessore del rivestimento isolante, sono governati principalmente dallo strato di collante. Attraverso i fissaggi meccanici viene trasmessa la forza dovuta al vento al tamponamento. Il peso dell'intero sistema dipende, soprattutto, dalle dimensioni e dalla composizione dell'elemento isolante. I materiali più utilizzati sono, generalmente, il polistirene espanso sinterizzato (EPS), il polistirene estruso (XPS), il poliuretano (PU), le lane minerali (roccia o vetro), il sughero e la fibra di legno. La tipologia di materiale isolante influenza il comportamento al fuoco della facciata, un aspetto fondamentale e che negli ultimi anni è stato sensibilizzato molto dai tecnici di settore, inclusi progettisti e committenti.

Rivestimento a montaggio meccanico

Il rivestimento a montaggio meccanico è caratterizzato dalla messa in opera a secco tramite dispositivi di fissaggio di tipo meccanico o chimico-meccanico. La finitura non è a diretto contatto con il supporto retrostante ed è costituita da elementi discontinui che possono differire per materiale, forma e dimensione. La sottostruttura di fissaggio può essere di tipo puntiforme, a traversi, a montanti o a traversi e montanti. Il rivestimento invece, si distingue a seconda della massa areica in:

- leggero (lastre in materiale composito, in gres porcellanato, in fibrocemento, doghe in metallo, pannelli in legno, etc.)
- medio (lastre in ceramica, tavelle in cotto o lastre in vetro temperato e/o stratificato, etc.)
- pesante (ad esempio le lastre in pietra o in calcestruzzo armato).

Il rivestimento può essere ancorato mediante sistemi a scomparsa (fresature kerf, incollaggi, boccole, pioli, ganci e clips) o a vista (rivetti, ganci e clips). Tipo e numero degli apparecchi di fissaggio alla sottostruttura dipendono dalla tipologia di materiale, dal formato degli elementi di rivestimento, dalle caratteristiche di

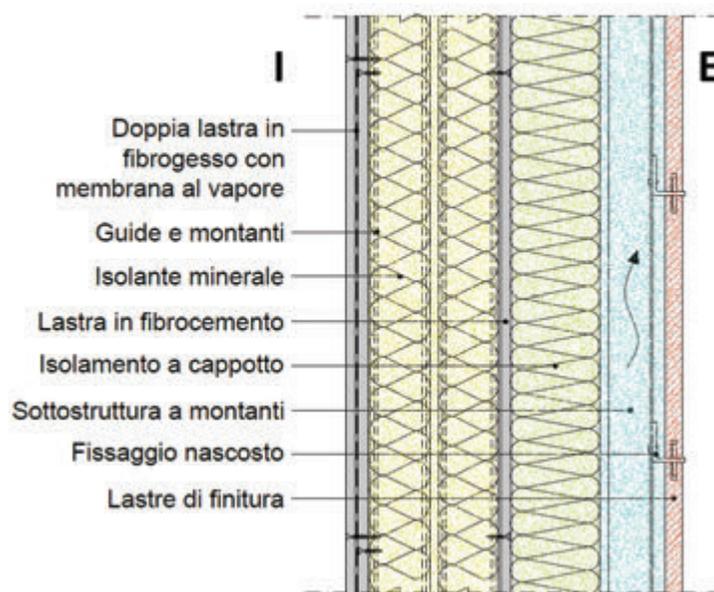


Fig. 4 | Esempio di dettaglio costruttivo tipologico di una facciata ventilata su supporto a secco

resistenza meccanica, dalle sollecitazioni, dalla complessità dei fronti e dal sistema di supporto del rivestimento (sottostruttura o fissaggio puntuale).

3.2. Sistemi costruttivi trasparenti

Nell'involucro trasparente rientrano, i serramenti e le facciate continue. Questi elementi tecnologici costituiscono contemporaneamente una finitura esterna e una vera e propria chiusura per l'edificio.

La facciata continua è una chiusura verticale autoportante, posizionata all'esterno rispetto alla struttura principale dell'edificio (vedi anche UNI EN 13119 "Facciate continue - Terminologia"). Tale soluzione tecnologica è in grado di sostenere sia il peso proprio degli elementi di cui è composta, sia i carichi esterni. Il telaio è generalmente realizzato in profili in lega di alluminio con taglio termico, mentre i tamponamenti possono includere parti trasparenti fisse, elementi apribili e pannelli ciechi. I vincoli di facciata alla struttura portante dell'edificio sono realizzati attraverso staffaggi puntuali che permettono inoltre la coordinazione delle tolleranze costruttive e di posa nelle tre direzioni x, y, z.

Tra i sistemi in commercio, i più diffusi sono le facciate a montanti e traversi e quelle a cellule. In entrambi i casi, il fissaggio del vetro può essere realizzato con ritegno meccanico (la vetratura è "vincolata" da pressori perimetrali esterni) o ad incollaggio strutturale (la vetratura è "trattenuta" mediante una sigillatura strutturale continua con l'aggiunta di ritegni meccanici di sicurezza). Le facciate continue possono inoltre essere realizzate in singola oppure doppia pelle, con intercapedine di dimensione variabile che può svilupparsi modulo per modulo, oppure a tutta altezza, oppure a fasce di piano in orizzontale.

Facciate continue a montanti e traversi

I sistemi a montanti e traversi sono assemblati in cantiere. I

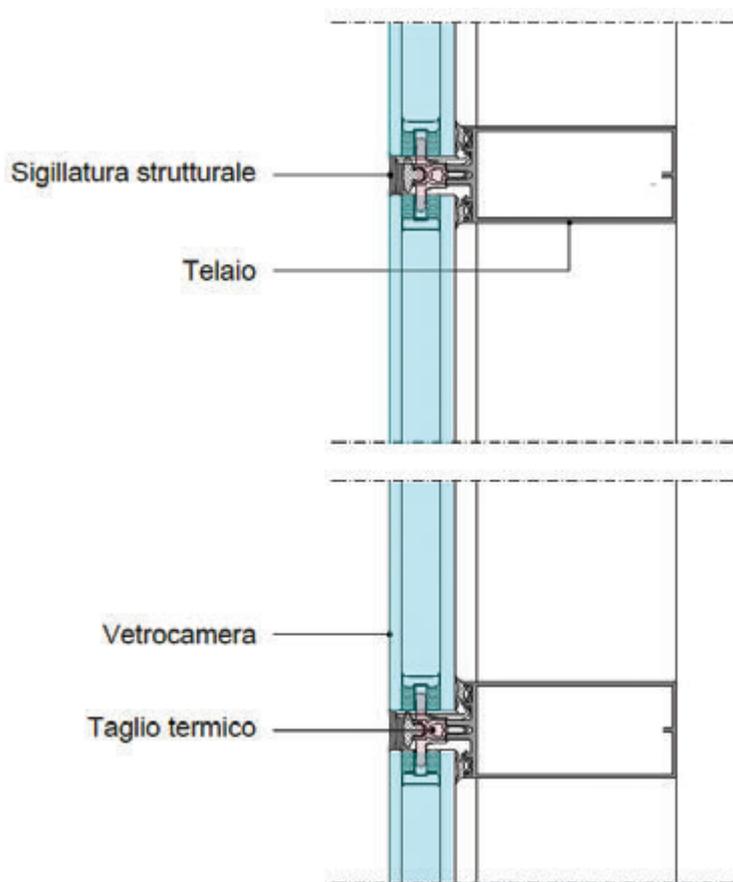


Fig. 5 | Dettaglio costruttivo tipologico di una facciata continua a montanti e traversi con sigillatura strutturale

montanti ricevono e scaricano sulla struttura portante tutti i carichi alla quale è sottoposta la facciata; i traversi, invece, conferiscono rigidità al reticolo, contribuiscono a portare le azioni orizzontali di vento e folla e il peso delle vetrazioni e le trasferiscono ai montanti (figura 5). Lo schema statico di funzionamento è cerniera-carrello: i montanti, con lunghezza pari all'interpiano, vengono fissati superiormente sulla testa della soletta tramite staffe e lasciati liberi di scorrere all'estremo inferiore per assecondare le dilatazioni (lo schema può essere invertito). La prestazione di permeabilità all'aria e tenuta all'acqua è affidata alle guarnizioni perimetrali. Il montaggio di tale tipologia di facciata avviene sempre dall'esterno e necessita nella maggior parte dei casi di ponteggi. I tempi di progettazione e fornitura sono ridotti; tuttavia, la struttura deve essere terminata prima dell'inizio del montaggio della sottostruttura della facciata. È sconsigliato l'impiego in edifici particolarmente alti per la gestione del cantiere e per la maggiore difficoltà di controllo sulla qualità finale dell'opera.

Facciate continue a cellula

Le facciate a cellula sono assemblate in stabilimento in moduli che vengono successivamente installati in cantiere accostando tra loro le guarnizioni di giunto perimetrale. Analogamente a quanto visto fino ad ora, le facciate a cellule sono costituite da un reticolo metallico ad elementi verticali e orizzontali (semi-montanti, montanti intermedi e traversi realizzati in profili in lega di alluminio con o senza taglio termico) e da elementi di tamponamento (trasparente oppure opaco). La distribuzione dei carichi avviene

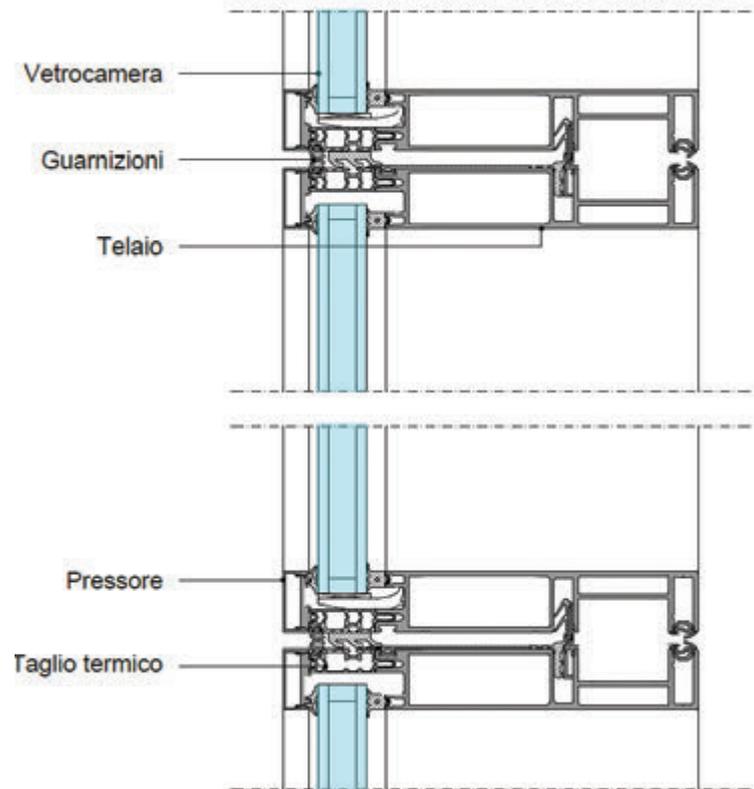


Fig. 6 | Dettaglio costruttivo tipologico di una facciata continua a cellule con pressore

secondo la medesima filosofia progettuale di un sistema di facciata a montanti e traversi, ma ogni cellula è indipendente e vincolata superiormente attraverso delle staffe, ancorate generalmente a profili annegati nella soletta (fronte solaio, intradosso, estradosso). Tra i moduli sono posizionate le guarnizioni e gli accessori funzionali a raggiungere i livelli prestazionali di permeabilità all'aria e di tenuta all'acqua. I montanti e i traversi sono creati in modo tale da potersi accoppiare a quelli del modulo adiacente (profilo maschio-femmina telescopico, femmina-femmina con guarnizione maschio, etc.) (figura 6). La posa di questa tipologia di facciata può avvenire "just in time" ovvero evitando un prolungato stoccaggio in cantiere e procedendo con l'installazione sequenziale con l'avanzamento delle strutture portanti dell'edificio. Il montaggio avviene senza l'utilizzo di ponteggi, mediante l'impiego di mezzi di sollevamento, minicrane, bilancini, etc. La prefabbricazione spinta del sistema costruttivo lo rende indicato come rivestimento per l'involucro di edifici di grandi dimensioni: a fronte di una parametrizzazione del costo più elevata e tempistiche di progettazione e fornitura più lunghe, permettono una migliore gestione della fase di posa e della qualità costruttiva, riducendo le possibili variabili tipiche del cantiere.

Facciate continue a fissaggio puntuale

Ai sistemi appena descritti, si aggiungono le facciate a fissaggio puntuale. Questa tipologia viene tal volta impiegata in presenza di interpiani doppi o dove è richiesta una maggiore trasparenza: i vetri sono accostati l'uno all'altro attraverso una sigillatura continua,



Fig. 7 | Distacco del paramento in cartongesso dalla sottostruttura di facciata di due edifici in Pensacola (Florida)

eventualmente rinforzata con guarnizioni di fondo giunto, e vengono sostenuti da crociere metalliche “spider oppure ragni” e rotule in corrispondenza degli spigoli. Questi elementi, a loro volta, sono collegati a montanti retrostanti, tralicci, oppure ad un sistema di cavi in tensione. Per enfatizzare l’aspetto estetico-architettonico di questi sistemi, la pannellatura è solitamente trasparente senza quindi la presenza di pannellature opache oppure elementi apribili.

4. ESEMPI DI GUASTI AGLI EDIFICI

La combinazione tra la qualità del patrimonio edilizio storico e gli eventi meteorologici con caratteristiche diverse dal passato sono le principali cause dei danni indotti dal vento. I guasti possono interessare sia all’involucro edilizio sia le strutture, ma è in corrispondenza dei rivestimenti che si concentrano le conseguenze peggiori.

Le esperienze di danni causati da tempeste di vento e le successive valutazioni hanno rivelato che la sola forza intrinseca non misura la capacità dei rivestimenti di funzionare in caso di tempeste di vento. Il vetro di tamponamento in particolare, ma anche alcuni tipi di rivestimento di pareti e tetti, sono soggetti ad analisi meccaniche che garantiscono un elevato grado di resistenza alle pressioni del vento tipiche di una tempesta. Viceversa l’integrità dell’involucro non è garantita quando viene colpito da detriti trasportati dal vento. La maggior parte dei guasti è stata osservata in zone specifiche degli edifici (spigoli, rientranze, etc.), il che evidenzia che il superamento complessivo del carico vento (raffica, vento cumulato, ciclone, etc.) rispetto al valore nominale impiegato nella fase di calcolo e progetto non è l’unico motivo di danno alla facciata.

Sebbene a seguito di cicloni ed uragani siano stati osservati alcuni guasti alle facciate massive in mattoni, i sistemi costruttivi più danneggiati risultano essere quelli a secco. Nel caso di isolamento a cappotto, oltre alla perforazione dello strato da parte di detriti trasportati dal vento, i comuni piani di rottura interessano la porzione di separazione del rasante dall’isolamento, il distacco dell’isolante dal cartongesso e di quest’ultimo dai montanti. Nei casi peggiori è inoltre possibile rilevare il parziale cedimento della sottostruttura di supporto. La figura 7 mostra alcune casistiche di guasto dovute al distacco dei pannelli in cartongesso di finitura

dalla sottostruttura metallica.

Per quanto riguarda, la tecnologia a facciata ventilata i guasti possono interessare il pannello, la sottostruttura o i collegamenti. La componente più vulnerabile risulta essere il pannello di finitura, chiaramente il più esposto, e sollecitato in corrispondenza delle connessioni alla sottostruttura.

Quando i cedimenti del pannello avvengono in zone specifiche dell’edificio (angoli, cambi di inclinazione, etc.), le cause sono da ricercare nella sottostima della pressione superficiale agente; in caso contrario, il guasto è riconducibile all’impatto dei detriti trasportati dal vento, all’effetto di interferenza dovuto alla presenza di altri edifici, all’effetto delle vibrazioni nei punti di vincolo o alle prestazioni non adeguate del materiale del pannello.

Differentemente, i cedimenti dei telai di sostegno della facciata sono dovuti a deformazioni o torsioni eccessive.

Tuttavia, le tecnologie costruttive più sensibili all’azione dei detriti volanti sono i serramenti e le facciate continue. La rottura degli elementi trasparenti è particolarmente insidiosa perché provoca un aumento della pressione interna dovuta al vento e compromette quindi la tenuta all’acqua dell’involucro. I test condotti su simulacri e mock-up hanno evidenziato che sia i vetri ricotti sia quelli temprati hanno scarse prestazioni come elemento di rivestimento rispetto alle azioni di tempeste di vento. Viceversa, qualora il tamponamento vetrato sia caratterizzato da un vetro stratificato, la rottura si registra solo sulla lastra esterna del pannello, preservando quindi l’integrità di quella/e interne.

Nella figura 8, per esempio, sono visibili gli ingenti danni riscontrati sia sulle facciate sia sull’ambiente interno dell’Hyatt Regency Hotel, a seguito dell’uragano Katrina. Le osservazioni sul campo hanno rivelato che i guasti erano localizzati principalmente sulle pareti nord e ovest, corrispondente alla direzione prevalente del vento. I danni che interessarono quasi tutte le vetrazioni sulla parete nord dell’hotel, furono causati dall’effetto combinato delle pressioni del vento e dei detriti volanti (ghiaia, elementi di fissaggio, frammenti di vetro, etc.) probabilmente provenienti da edifici sopravvento. Alcuni frammenti di vetro caddero ai livelli più bassi, avviando un effetto domino che causò cedimenti anche alle vetrazioni sottostanti. Le porzioni collassate si riversarono, in parte anche all’interno dell’edificio, danneggiando completamente

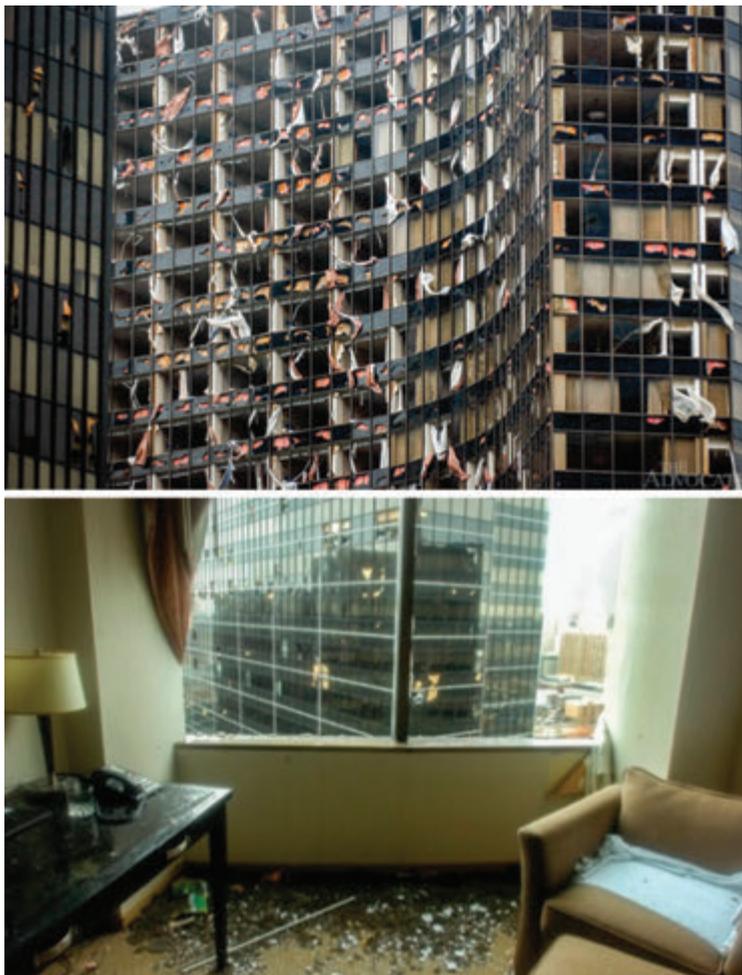


Fig. 8 | Danni per azione combinata del vento e dei detriti volanti alla facciata continua dell'Hyatt Regency Hotel (New Orleans)

gli arredi e le finiture. L'effetto domino che si innesta in questa fase dell'evento, porta inevitabilmente all'espulsione verso l'esterno degli arredi contenuti all'interno degli ambienti, quindi con il conseguente aumento degli oggetti "proiettile" che concorrono al fenomeno.

Altri esempi pratici che si sono registrati negli ultimi anni, hanno evidenziato che la tipologia di sottostruttura influenza fortemente la magnitudo del danno sul rivestimento di facciata. La figura 9 mostra le due diverse tecnologie con le quali sono state realizzate le facciate della Torre IIFL in India.

La facciata continua al piano terra era dotata di supporti puntuali, mentre quelle ai piani superiori erano realizzate tramite un sistema a montanti e traversi.

A seguito del ciclone Vardah del 2016, il vetro con vincolo puntuale ha subito gravi danni, mentre il vetro appoggiato sui quattro lati non ha registrato guasti significativi. Nelle attività investigative sulla causa del guasto, è stato appurato che la differente tipologia di vincolo ha indotto sollecitazioni maggiori e critiche nella configurazione con vincolo puntuale, aggravato da una maggiore deformabilità del perimetro di bordo del vetro, con conseguente rottura del tamponamento.

La figura 10 mostra il cedimento della facciata della stazione Kasturba Nagar, localizzata poco distante dal caso precedente. I montanti e i traversi utilizzati avevano la medesima sezione di profilo e quindi le medesime proprietà meccaniche a dispetto delle differenti lunghezze degli elementi. Infatti, geometricamente, il montante di facciata presenta un'estensione di circa 4 m, mentre il traverso di solo 1,20 m. La facciata, una volta soggetta all'azione del vento in pressione, ha subito un incremento della deformazione in mezz'ora dei montanti, la rotazione dei punti di vincolo, ed il conseguente collasso del tamponamento vetrato di chiusura a seguito del cedimento repentino del reticolo di supporto.



Fig. 9 | Cedimento della facciata della Torre IIFL dovuto alla concentrazione di sollecitazioni in prossimità di supporti puntuali (Chennai, India)



Fig. 10 | Cedimento della facciata della stazione Kasturba Nagar a causa dell'eccessiva deflessione dei montanti di supporto (Chennai, India)

5. SOLUZIONI PROGETTUALI PER INVOLUCRI RESISTENTI AI VENTI ESTREMI

Il rischio derivante da eventi estremi di vento, quali tornado e trombe d'aria, non può essere annullato, ma possono essere studiate strategie progettuali apposite che ne mitigano gli effetti. In generale, è bene distinguere fra azioni di mitigazione e di adattamento. Le prime mirano a ridurre le fonti di detriti in prossimità della costruzione bersaglio, le seconde hanno l'obiettivo di rafforzare l'involucro edilizio rispetto all'impatto degli elementi trasportati da vento.

Un'adeguata resistenza dei sistemi costruttivi al vento può essere garantita solamente con una buona progettazione (inclusi dettagli e specifiche), messa in opera e manutenzione. Una carenza significativa di uno qualsiasi di questi tre elementi potrebbe compromettere le prestazioni dell'intero edificio.

5.1. Facciate opache

Le chiusure verticali stratificate a secco, sebbene non abbiano

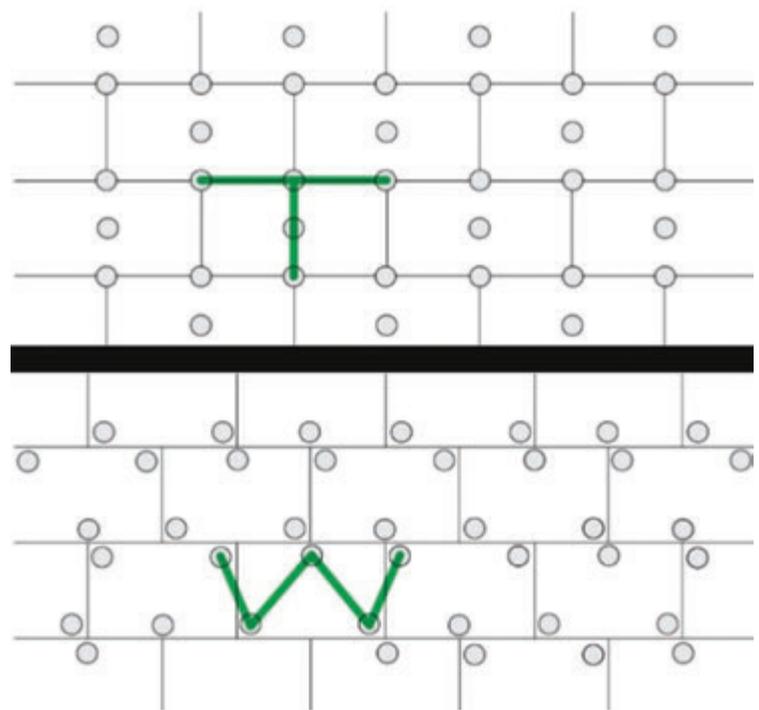


Fig. 11 | Schemi di tassellatura dell'isolante a T e a W

funzione strutturale, devono essere in grado di resistere alle pressioni positive e negative del vento, al fine di evitarne il collasso. La sottostruttura dovrà, quindi, essere adeguatamente ancorata al supporto e irrigidita diminuendo l'interasse fra i montanti oppure prevedendo dei traversi intermedi. E' infine utile prevedere una doppia orditura e lastra esterna in cemento rinforzata con rete in fibra di vetro.

Uno dei sistemi di rivestimento di facciata più adottati in Italia è il sistema a cappotto. La resistenza al vento deve essere garantita mediante un adeguato numero e un corretto posizionamento dei tasselli di ancoraggio, in accordo alle indicazioni dalla normativa UNI/TR 11715. Questa classifica i fissaggi in base alla tipologia di supporto di applicazione e riporta un metodo di calcolo semplificato per la definizione del numero dei fissaggi per metro quadrato. La normativa, inoltre, richiede che la lunghezza del tassello sia scelta in conformità allo spessore degli strati non resistenti e definisce due possibili schemi di posizionamento dei fissaggi: quello a T e quello a W (figura 11). La posizione del fissaggio è inoltre coordinata in funzione della densità dello strato isolante. La resistenza al vento delle facciate ventilate è variabile. In generale, dipende dalla resistenza del pannello (che è una funzione del materiale, delle dimensioni e del fatto che il pannello sia o meno un composito) e dall'adeguatezza del fissaggio di questi. La progettazione e la messa in opera sono regolate dalla normativa UNI 11018, la quale richiede che la sottostruttura metallica e le staffe siano calcolate in funzione dello stato di sforzo previsto e della deformazione massima ammessa. Prescrive, inoltre, che per la sottostruttura sia previsti adeguati rinforzi in tutte le zone sottoposte a carichi particolarmente gravosi (ad esempio, gli spigoli dell'edificio). La norma non tiene, però, conto dell'impatto dei detriti volanti che potrebbero colpire la facciata durante trombe d'aria o uragani. Questi elementi causano danni, soprattutto, alle lastre di finitura della facciata ventilata perché

sono i componenti del sistema più esposti all'ambiente circostante. I punti più critici sono, generalmente, il centro della lastra e le zone di ancoraggio dove a causa della concentrazione delle tensioni la rottura sarà più probabile. La resistenza del sistema può, dunque, essere incrementata riducendo la dimensione delle lastre o aumentandone lo spessore, o diminuendo l'interasse fra i montanti e i fissaggi di controvento, incrementando lo spessore della sottostruttura metallica o prevedendo traversi intermedi.

5.2. Facciate trasparenti

La principale minaccia per le facciate vetrate in caso di forti tempeste è rappresentata dai detriti trasportati dal vento. Per migliorarne il comportamento esistono due possibilità:

- incrementare la resistenza dei singoli componenti;
- aumentare la protezione, introducendo sistemi di schermatura esterni.

In generale, è da evitare l'utilizzo di vetri float, prediligendo l'impiego di lastre di sicurezza. I vetri stratificati, infatti, che in Italia sono impiegati principalmente per migliorare le performance acustiche, oltre che di sicurezza in uso (vedi UNI 7697 "Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie"), nascono in America per resistere agli impatti di corpi esterni durante le tempeste. In caso di rottura, l'intercalare plastico mantiene in posizione i frammenti

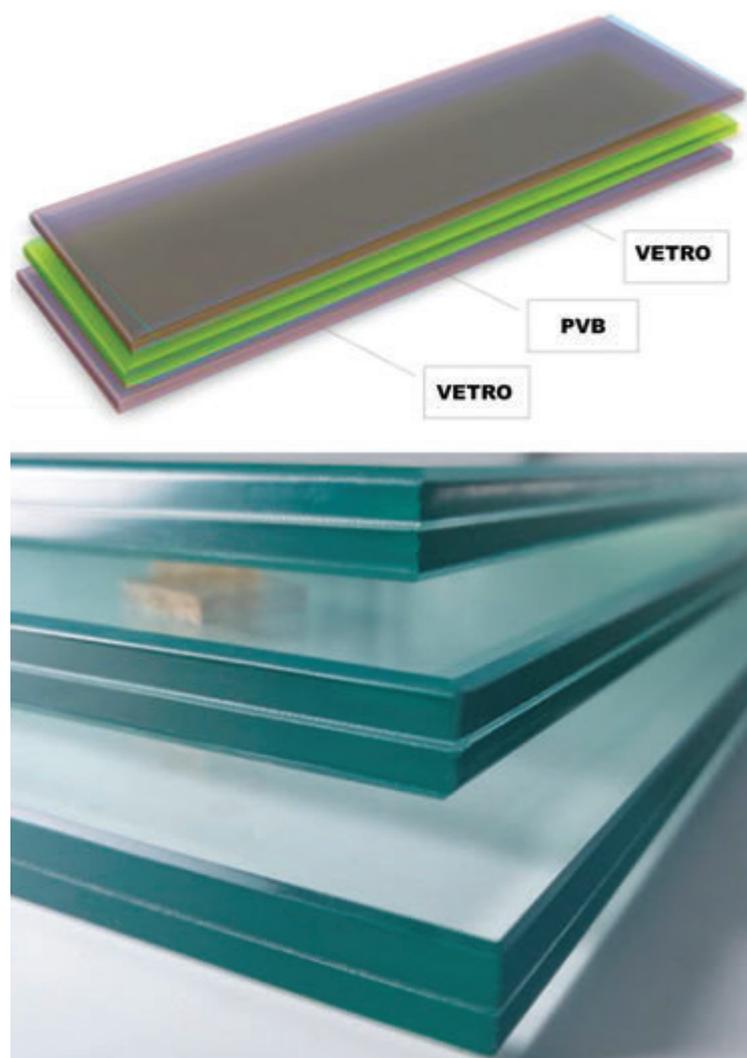


Fig. 12 | Esempio di vetro stratificato (in inglese "laminated glass")

taglienti, evitando la formazione di aperture e danni a persone e/o cose. L'intercalare più utilizzato è il PVB, ma nel corso dell'ultimo decennio si stanno studiando e testando nuove soluzioni che garantiscono un maggiore resistenza all'impatto di detriti volanti in aree esposte al pericolo di uragani (vedi prove di laboratorio su paramenti vetrati inseriti in facciate continue) (figura 12).

Agire solo sulla tipologia di vetro non è tuttavia sufficiente. E' necessario infatti adoperare anche sistemi di ritegno del vetro adeguati. La tecnologia ad incollaggio strutturale risponde meglio alle sollecitazioni meccaniche di vento, sisma e impatto perché il sigillante, allettato lungo tutto il perimetro del vetro, è in grado di accomodare le deformazioni indotte dai carichi. Devono comunque essere previsti ritegni meccanici di sicurezza, che, in caso di guasto del sigillante, garantiscano la stabilità del sistema (figura 13). Qualora si scegliesse una soluzione a ritegno meccanico, dovrà essere posta particolare attenzione al collegamento tra il telaio e il pressore.

Infine, la scelta del telaio deve avvenire in funzione dell'affidabilità del sistema e delle modalità di rottura e conseguente sostituzione della vetratura. In quest'ottica, la tipologia a cellule consente una più facile manutenzione e garantisce una qualità maggiore del manufatto poiché gli elementi costituenti il sistema sono assemblati in officina. Qualora si prediligesse un sistema a montanti e traversi, la lunghezza dei montanti non dovrà eccedere la distanza interpiano e dovrà essere rinforzata la connessione tra gli elementi verticali e orizzontali. Le facciate continue a fissaggio puntuale sono, invece, da evitare nelle località soggette a forti raffiche di vento. Al vetro sono, infatti, affidate tutte le funzioni richieste a un edificio (resistenza meccanica, tenuta all'aria e all'acqua, etc.); quindi, in caso di cedimento del vetro, l'intero involucro fallisce. Tra le soluzioni che incrementano, invece, la protezione, una tecnologia sicuramente costosa ma efficace è la facciata a doppia

Table 1 - SSGK types

Type I:	Mechanical transfer of the self-weight of the infill to the sealant support frame and from there to the structure. The structural seal transfers all other actions. Devices are used to reduce danger in the event of a bond failure.
Type II:	Mechanical transfer of the self-weight of the infill to the sealant support frame and from there to the structure. The structural seal transfers all other actions, and no devices are used to reduce danger in the event of bond failure.
Type III:	The structural seal transfers all actions including the self-weight of the infill to the sealant support frame, and from there to the structure. Devices are used to reduce danger in the event of a bond failure.
Type IV:	The structural seal transfers all actions, including the self-weight of the infill, to the sealant support frame and from there to the structure. No devices are used to reduce danger in the event of bond failure.

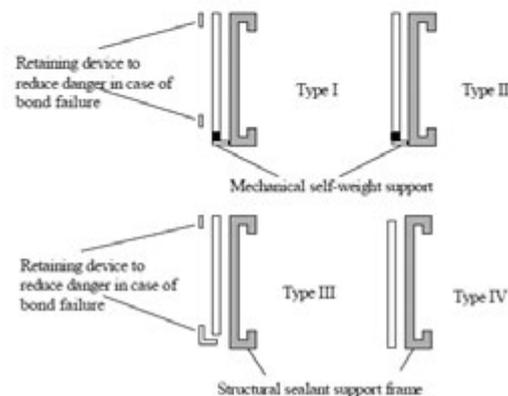


Fig. 13 | Estratto ETAG 002 - guideline for european technical approval for structural sealant glazing kits (ssgk) - part 1: supported and unsupported systems



Fig. 14 | Esempio di applicazione con coiled wire fabric system

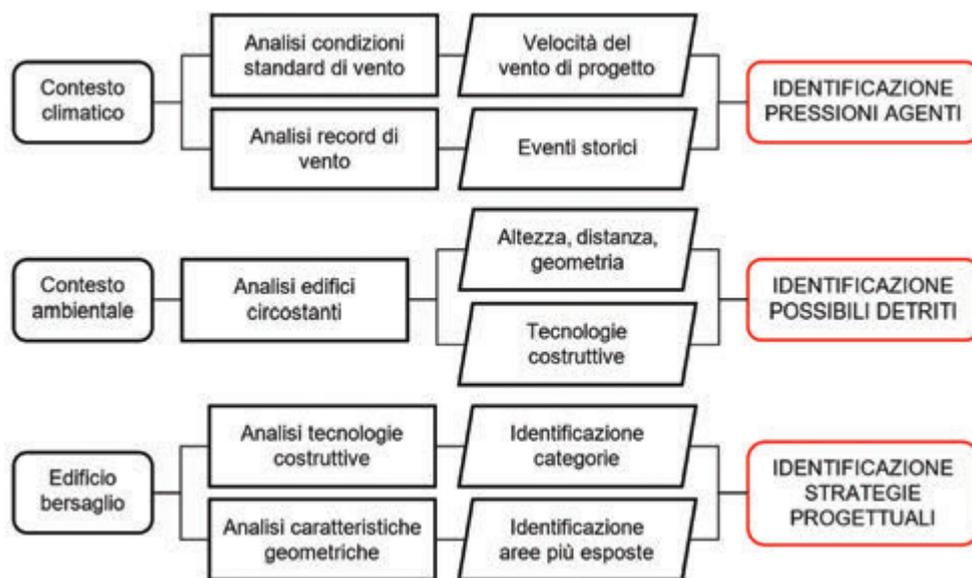


Fig. 15 | Diagramma di flusso della metodologia di analisi
Contesto climatico

pelle. Normalmente impiegata per scopi legati al comfort interno, questa soluzione, se opportunamente studiata, fornisce una buona protezione dell'ambiente abitativo nei confronti delle intemperie. Le vetrazioni interne ed esterne sono totalmente indipendenti l'una dall'altra e sono separate da una cavità d'aria. La pelle esterna deve essere sufficientemente resistente da proteggere quella più interna, in caso di eventi estremi. Nell'intercapedine d'aria possono essere installati opportuni sistemi di schermatura (a lamelle, fissi, orientabili etc.), con lo scopo di regolare l'ingresso della radiazione solare proveniente dall'ambiente circostante. Questi devono essere

in grado di contrastare le raffiche di vento e l'impatto dei detriti volanti e, a seguito di cedimento della pelle più esterna del sistema vetrato, devono potersi chiudere totalmente per formare una barriera continua davanti alla vetratura più interna. Se non sufficientemente resistenti, una volta esposte all'ambiente esterno, le schermature potrebbero diventare una possibile fonte di detriti.

Altri sistemi di protezione sono rappresentati da schermature esterne permanenti oppure azionabili in caso di eventi estremi. Alcuni esempi sono gli avvolgibili, le persiane oppure sistemi più innovativi come i coiled wire system, ovvero reti metalliche leggere, pensate come schermatura fissa o mobili e utilizzate sia a scopo decorativo sia per migliorare le prestazioni dell'edificio (figura 14).

6. UNA METODOLOGIA PER L'ANALISI DEL RISCHIO

Garantire che l'intero involucro di un edificio non subisca danni in caso di eventi estremi richiede una progettazione che può risultare antieconomica. La sporadicità con la quale questi fenomeni si verificano in Italia, non giustifica, infatti, l'adozione di soluzioni progettuali specifiche su larga scala.

È necessario, dunque, definire una metodologia di analisi (figura 15) che consenta al progettista di raccogliere le informazioni necessarie per stabilire se il caso di studio sia soggetto a rischio

elevato, rispetto all'esposizione a venti estremi e a detriti volanti. In caso di risposta affermativa devono essere individuate le aree dell'edificio che devono rimanere in funzione in qualsiasi caso e le zone dell'involucro edilizio che sono soggette a pressioni del vento più elevate e all'impatto dei detriti più dannosi: solo per queste saranno successivamente previsti interventi migliorativi mirati. La prima analisi da effettuare riguarda le condizioni del vento nel sito di progetto, sia in termini di velocità media caratteristica sia di direzione prevalente. I carichi di progetto sono forniti dall'Eurocodice 1 e dalle normative locali, sulla base della collocazione geografica dell'edificio. Questi dati rappresentano una media delle registrazioni storiche; non forniscono, quindi, informazioni circa le caratteristiche di eventi eccezionali avvenuti in passato. Successivamente, è necessario analizzare i record di vento registrati negli ultimi decenni, per valutare se questi siano in linea con i valori di progetto precedentemente calcolati e per definire se il lotto sia collocato in un'area geografica critica.

In Italia le aree che presentano il maggior rischio dovuto a uragani e trombe d'aria sono tre. Quella più colpita da eventi estremi è la Pianura Padana, caratterizzata da fenomeni noti con il nome di Medicane. Le altre due sono, invece, il litorale tra Lazio e Toscana e il Salento, dove sono molto comuni le trombe d'aria marine.

Contesto ambientale

La seconda analisi prevede la raccolta delle informazioni riguardanti le costruzioni e gli spazi aperti situati entro un raggio di 200 m dall'edificio considerato. In particolare, è necessario valutare:

- le caratteristiche geometriche e le tecnologie costruttive adoperate;
- le condizioni e lo stato di manutenzione dei fabbricati;
- gli arredi e gli elementi presenti nei parchi, nelle aree di circolazione e negli spazi incolti e abbandonati.

Sulla base dei dati ricavati è poi possibile stilare una lista di possibili detriti che, in caso di fenomeni estremi di vento, potrebbero colpire l'edificio bersaglio. È importante definire, anche, la collocazione e la forma di questi elementi, in quanto tali parametri influenzano sia la fase di volo sia quella di impatto, e quindi le conseguenze sulle costruzioni circostanti.

Inoltre, la disposizione e la geometria delle costruzioni limitrofe consentono di stabilire come questi edifici possano modificare il flusso del vento intorno al fabbricato.

Questa fase, infine, è utile per stabilire quali zone dell'edificio sono le più esposte al rischio di rottura e cedimento.

Edificio bersaglio

Definiti il contesto climatico e ambientale della costruzione oggetto dello studio, e quindi la necessità di resistenza dell'involucro edilizio a venti estremi, è necessario indagare le caratteristiche costruttive dell'edificio bersaglio, i possibili guasti e gli elementi più esposti a rischio cedimenti.

Una descrizione dettagliata delle tecnologie di involucro deve comprendere, almeno, i componenti del sistema, le caratteristiche dimensionali, i materiali e le modalità di fissaggio. Tali specifiche devono riguardare sia le coperture sia le parti opache e trasparenti delle facciate. Lo scopo è quello di comprendere, in caso di interventi migliorativi, se i sistemi di involucro sono stati progettati e messi in opera adeguatamente o, per nuove costruzioni, quali sono le

misure di prevenzione che devono essere studiate.

Per gli edifici situati in zone esposte al pericolo di venti estremi e all'impatto dei detriti volanti, è consigliabile impiegare sistemi costruttivi certificati o appositamente testati sotto tali azioni.

7. LE NORMATIVE INTERNAZIONALI DI RIFERIMENTO

In Europa la progettazione dell'involucro sotto l'azione del vento segue l'Eurocodice 1, ma le configurazioni di carico estremo, inclusi gli eventi naturali, sono considerate solo marginalmente. Tuttavia, per alcuni fenomeni meteorologici straordinari del passato è stato dimostrato come i valori massimi di progetto siano talvolta inferiori rispetto alle velocità reali del vento.

Il Paese con la più ampia e sviluppata normativa in merito sono ad oggi gli Stati Uniti. Nel codice statunitense delle costruzioni ASCE 7-16 è riportata una mappa suddivisa in aree a seconda della velocità del vento caratteristica e della probabilità di sviluppo di uragani. Lo standard riconosce, inoltre, come test di riferimento sugli elementi tecnici vetrati, colpiti da uragani o trombe d'aria, i protocolli stabiliti dalle norme ASTM E 1886 e ASTM E 1996. Questi, per la simulazione dell'azione combinata delle pressioni del vento agenti e dell'impatto dei detriti volanti sui sistemi costruttivi, prevedono l'esecuzione di due differenti test su mock-up a scala reale.

Le prove d'urto sono condotte utilizzando degli impattatori sparati con un cannone ad aria compressa sui provini. Le masse e le velocità dei missili di prova variano in base al livello di importanza dell'edificio e alla sua collocazione geografica. Le tipologie ammesse sono tre:

- "small missile": sfera d'acciaio solida avente una massa di 2 g, un diametro nominale di 8 mm e una velocità di impatto compresa tra il 40 e l'85% della velocità di base del vento (fornita dall'ASCE/SEI 7);
- "large missile": elemento di legno avente una massa compresa tra 910 e 6800 g, una lunghezza compresa tra 525 e 4000 mm e una velocità di impatto compresa tra il 10 e il 55% della velocità di base del vento (fornita dall'ASCE/SEI 7);
- altro missile: qualsiasi altro elemento rappresentativo con massa, dimensione, forma e velocità d'impatto in funzione della velocità del vento di base, determinata dall'analisi ingegneristica.

I punti di impatto includono, invece, sia il centro del provino sia le zone perimetrali.

In seguito all'esito positivo dei test di impatto, i campioni di prova sono sottoposti a cicli di pressione sulla base della velocità del vento di progetto fornita dai regolamenti edilizi. È necessario effettuare un totale di 4.500 cicli di pressione positiva e 4.500 negativa e la durata di ciascun ciclo deve essere di 1-3 s.

Sull'ASTM E 1886 e l'ASTM E 1996 si basa, inoltre, lo standard volontario AAMA 506-16, il quale richiede che altri parametri siano controllati mentre il campione viene testato (come la temperatura). Nessuno standard di prova è definito per l'involucro opaco.

Il codice di progettazione australiano e neozelandese AS/NZS 1170.2 richiede, invece, che porte, finestre e rivestimenti resistano all'impatto di:

- un elemento in legno di 4 kg di massa con una sezione

trasversale di 100x50 mm, lanciato a una velocità pari al 40% di quella base del vento, per traiettorie orizzontali, o al 10%, per quelle verticali;

- una sfera d'acciaio da 8 mm di diametro e di circa 2 g, lanciata a una velocità pari al 40% di quella base del vento, per traiettorie orizzontali, o al 30%, per quelle verticali.

La metodologia di prova e i criteri di accettazione sono forniti nella Technical Note N.4 per la definizione delle prove di impatto dei detriti portati dal vento sull'involucro opaco e trasparente dell'edificio.

Il codice AS/NZS 1170, nonostante sia il più stringente per quanto riguarda le velocità di impatto, non richiede il test della facciata ai cicli di pressione positiva/negativa e stabilisce che i componenti dell'involucro dell'edificio debbano resistere ai detriti volanti per un'altezza di soli 25 m da terra.

A livello internazionale, i test per la certificazione di resistenza dei prodotti vetrati alle trombe d'aria sono normati dalla ISO 16932, la quale si basa sulle ASTM. Come, per gli Stati Uniti, non esistono protocolli per la verifica degli elementi dell'involucro opaco.

Per quanto riguarda, infine, i Paesi asiatici, sono pochi quelli che prevedono prescrizioni per la realizzazione di involucri edilizi resilienti, nonostante la frequenza di fenomeni estremi. In Giappone, per esempio, lo standard JIS R 3109 fa riferimento alla normativa internazionale ISO 16932.

8. CONCLUSIONI

Nonostante gli effetti causati dalle tempeste di vento siano spesso devastanti, l'argomento è ancora poco studiato in ambito accademico.

Nel corso dell'articolo è stato dimostrato come la resilienza dell'involucro edilizio a fenomeni estremi sia possibile solamente mediante una progettazione accurata. Questa deve prevedere la valutazione delle condizioni al contorno (meteorologiche e ambientali), l'individuazione delle zone più critiche dell'edificio e l'adozione localizzata di tecnologie costruttive e strategie progettuali apposite, con l'obiettivo di minimizzare il rischio di cedimenti.

Dal punto di vista normativo, invece, è evidente la carenza dell'Italia, ma più in generale dell'Europa, sul tema. Nel nostro Paese esistono già assicurazioni che tutelano gli edifici in caso di eventi estremi, ma mancano prescrizioni progettuali che richiedano la resistenza dell'involucro edilizio all'impatto di detriti trasportati dal vento. Sarebbe auspicabile l'introduzione, in contesto europeo, di requisiti che garantiscano il funzionamento dell'involucro edilizio anche a seguito di eventi distruttivi, almeno per gli edifici pubblici e di primaria importanza.

Bibliografia

- UNI EN 11018 "Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione"
- UNI EN 13830 "Facciate continue - Norma di prodotto"
- UNI EN 14351 "Finestre e porte - Norma di prodotto"
- UNI EN 13119 "Facciate continue - Terminologia"
- UNI 7697 "Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrate"
- UNI/TR 11715 "Isolanti termici per l'edilizia - Progettazione e messa in opera dei sistemi isolanti termici per l'esterno (ETICS)"
- UNI 11716 "Attività professionali non regolamentate - Figure professionali che eseguono la posa dei sistemi compositi di isolamento termico per esterno (ETICS) - Requisiti di conoscenza, abilità e competenza"
- CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"
- P.Rigone, P.Giussani, Sistemi costruttivi a secco per l'involucro edilizio: dai materiali alla progettazione integrata delle componenti - Dry wall construction systems: materials and components through an integrated design approach, Costruzioni Metalliche, mar-apr 2021, ISSN n° 0010-9673, pp. 63-78
- D. Inzoli & S. Limonta, Il comportamento dell'involucro edilizio in caso di eventi meteorologici estremi. Studio del fenomeno dei "flying debris", definizione di strategie progettuali ed applicazione ad un caso di studio, Politecnico di Milano, Aprile 2022
- A. Mejin, P. Rigone, G. A. Kopp & D. Trabucco, Wind-borne debris resistant façades. The European case of flying debris: roof tiles, Advanced building skins, 2020, pp. 50-60
- A. Mejin, Exceptional atmospheric events resilience of the curtain wall, Techné, 2018, pp. 323-330
- O. Powar & A. Jayachandran, Learning from façade failures over urban landscape: aftermath of cyclone Vardah, Natural Hazards Review, vol. 22, Febbraio 2021
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), Summary report on building performance: 2004 hurricane season, 2005
- ETAG 002 "Guideline for european technical approval for structural sealant glazing kits (ssgk) - part 1: supported and unsupported systems"
- AS/NZS 1170-2 "Structural design actions - Part 2: Wind actions"
- Technical Note N.4 "Simulated windborne debris impact testing of building envelope components"
- ASCE/SEI 7 "Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures"
- ASTM E 1886 "Standard test method for performance of exterior windows, curtain walls and storm shutters impacted by missiles and exposed to cyclic pressure differentials"

- ASTM E 1996 “Standard specification for performance of exterior windows, curtain walls and storm shutters impacted by windborne debris in hurricanes”
 - AAMA 506-16 “Voluntary specifications for impact and cycle testing of fenestration products”
 - ISO 16932 “Glass in building - Destructive windstorm resistant security glazing - Test and classification”
 - JIS R 3109 “Glass in Building – Destructive windstorm resistant security glazing – Test method”
-



Paolo Rigone

Laureato in Ingegneria Civile nel 1989 presso l’Università degli Studi di Pavia, è iscritto all’Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pavia dal 1990. Dottore di ricerca in ingegneria ergotecnica edile presso il Politecnico di Milano nel 1995. Dal 2007 è Professore associato di Architettura Tecnica presso il Politecnico di Milano e titolare della cattedra di Progettazione dell’involucro edilizio presso la Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura. Dal 1989 è partner di Studio di Ingegneria Rigone e dal gennaio 2000 è direttore tecnico di UNICMI - Unione Nazionale delle Industrie delle Costruzioni Metalliche dell’Involucro e dei serramenti. Esperto in materia di tecnologie dell’involucro edilizio con particolare riferimento al settore delle facciate e della tecnologia dell’involucro edilizio. È attivo in diverse commissioni e gruppi di lavoro normativi, sia a livello nazionale ed internazionale, alla definizione delle norme tecniche con particolare riferimento al settore dell’involucro edilizio. È autore e co-autore di numerose pubblicazioni scientifiche in materia di tecnologia dell’involucro, edilizia ospedaliera, gestione dei processi edilizi, manutenzione e qualità in edilizia, project management, applicazione delle norme ISO 9000, gestione qualitativa di microambienti ospedalieri, controlli sulla patologia dei sistemi edilizi.



Paolo Giussani

Laureato in Ingegneria dei sistemi edilizi presso il Politecnico di Milano, è iscritto all’Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano. Collabora con l’ufficio tecnico UNICMI svolgendo attività di consulenza nel settore delle facciate continue e dei serramenti, supporto alle attività di progettazione e costruzioni, assistenza tecnica e consulenza alla predisposizione di gare d’appalto, redazione di capitolati speciali di natura prestazionale per involucro opaco, serramenti metallici, coperture vetrate, facciate continue e facciate ventilate. Nel 2014 inizia una proficua collaborazione con Studio di Ingegneria Rigone svolgendo il ruolo di Façade Engineer nelle attività legate alla progettazione, direzione lavori e consulenza in materia di involucro edilizio. Si occupa di audit ed expediting presso aziende produttrici di sistemi di facciate continue, vetrerie e prove di laboratorio. Dal 2016 è cultore della materia al corso di progettazione dell’involucro edilizio, laurea magistrale in ingegneria dei sistemi edilizi presso il Politecnico di Milano.



Simona Limonta

Si laurea ad aprile 2022 in Ingegneria dei Sistemi Edilizi presso il Politecnico di Milano, con una tesi dal titolo “Il comportamento dell’involucro edilizio in caso di eventi meteorologici estremi. Studio del fenomeno dei “flying debris”, definizione di strategie progettuali ed applicazione ad un caso di studio”. Durante il suo percorso di studi ha avuto l’opportunità di approfondire, in particolar modo, gli aspetti meccanici, termici, illuminotecnici e costruttivi legati alla progettazione degli involucri edilizi. Da maggio collabora con Studio di Ingegneria Rigone.

Tecnologie Reversibili in Acciaio per Strutture Temporanee: Padiglione della Spagna per EXPO Dubai 2020

Reversible Steel Technologies for Temporary Structures: Spanish Pavilion for EXPO Dubai 2020

Arch. Tecla Caroli* | Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura,
Ingegneria delle costruzioni e Ambiente Costruito

I principi di "Opportunità, Mobilità, Sostenibilità" fissati da EXPO 2020, sono stati declinati nel progetto del Padiglione della Spagna dai progettisti dello studio Amann-Cánovas-Maruri nella scelta dei materiali e delle tecnologie costruttive, in particolare con l'utilizzo di elementi montati a secco in acciaio, per rispondere alle esigenze di leggerezza, facilità di reperimento materiale e di trasporto, facilità e velocità delle operazioni di montaggio e smontaggio, oltre a sfruttare la possibilità di riutilizzare i componenti alla fine dell'evento di EXPO.

The key principles of "Opportunity, Mobility, Sustainability" set by EXPO 2020, are formalized in the Spanish Pavilion by the designers of Amann-Cánovas-Maruri studio in the selection of materials and construction technologies, specifically with the use of steel dry-assembled elements, which meet the needs of lightness, ease of material retrieval and transport, ease and speed of assembly and disassembly operations, as well as exploiting the potential reuse of the pavilion components at the end of the EXPO event.



Fig.1 | Padiglione della Spagna © Amann-Canovas-Maruri

*Corresponding author. E-mail address: tecla.caroli@polimi.it

EXPO Dubai 2020: “Connecting minds, creating future”

Equidistante dai centri di Abu Dhabi e Dubai, il sito dell'Expo di 438 ettari prevede tre aree separate che simboleggiano i tre principi di “Opportunità, Sostenibilità e Mobilità”. Queste tre zone sono generate da una piazza centrale chiamata Al Wasl, lo storico nome arabo di Dubai che significa “la connessione”. Ispirato alla disposizione di un tradizionale “suk” arabo, o mercato, nel

masterplan i padiglioni più grandi sono posizionati lungo il perimetro mentre si raggruppano gli spazi espositivi più piccoli verso il centro del sito, generando un flusso pedonale regolare e, allo stesso tempo, l'interazione tra i visitatori.

I progettisti del masterplan, HOK, hanno pianificato il sito e l'infrastruttura di EXPO per creare un nuovo punto di riferimento sostenibile per gli eventi in Medio Oriente. Il progetto è il risultato di una progettazione integrata a cui hanno partecipato anche



Fig.2 | Ingresso Padiglione © Amann-Canovas-Maruri



Fig.3 | Retro Padiglione © Amann-Canovas-Maruri



Fig.4 | Vista esterna del Padiglione dalla passerella interna © Amann-Canovas-Maruri



Fig.5 | Vista esterna Padiglione dall'esterno di EXPO © Amann-Canovas-Maruri



Fig.6 | Aree esterne ombreggiate © Amann-Canovas-Maruri

Populous, per la pianificazione urbana e la definizione delle linee guida per la progettazione e Arup, supportando HOK per la progettazione e pianificazione delle infrastrutture e servizi.

La passerella e le facciate di gran parte dei padiglioni sono ricoperti da pannelli fotovoltaici che permettono di generare in loco almeno la metà del fabbisogno energetico dell'intera area occupata dall'evento. Oltre alla produzione di energia da fonti rinnovabili, sono state adottate altre strategie che permettono l'uso sostenibile delle risorse a disposizione, che includono il recupero delle acque reflue, il riutilizzo dei materiali e degli elementi grazie all'assemblaggio a secco dei padiglioni e l'inserimento di alberi e aree vegetate per la riduzione degli impatti di carbonio. Inoltre, in un'ottica di economia circolare, dopo la chiusura di EXPO i tre Padiglioni principali, il Padiglione di Benvenuto, il Padiglione dell'Innovazione e il Padiglione degli Emirati Arabi Uniti, una volta disassemblati verranno spostati in un altro sito, riutilizzando gli stessi componenti: la loro conformazione interna verrà adattata per accogliere il nuovo Museo Nazionale, per celebrare l'evento di EXPO.

Sviluppo della forma: La foresta dell'intelligenza

All'interno dell'area tematica "sostenibilità" si colloca il Padiglione della Spagna, identificato come il "luogo dove inizia l'ombra" grazie alle aree ombreggiate generate in maniera non casuale. Il Padiglione della Spagna si fonda infatti su obiettivi precisi:



Fig.7 | Aree esterne ombreggiate © Amann-Canovas-Maruri



Fig.8 | Coni vista esterna © Amann-Canovas-Maruri



Fig.9 | Area polifunzionale © Amann-Canovas-Maruri

tenendo conto delle caratteristiche climatiche del sito, intende offrire uno spazio aperto e all'ombra, raffreddato da sistemi passivi; realizzato con materiali facilmente riutilizzabili o riciclabili; e infine, definizione di un luogo che contiene spazi multifunzionali. Il Padiglione è formato da un insieme di piazze intrecciate che



Fig.10 | Sala proiezioni © Amann-Canovas-Maruri



Fig.11 | Sale riunioni per uffici © Amann-Canovas-Maruri

si identificano come una serie di spazi di dimensione ridotta per offrire ambienti accoglienti. È un luogo che fornisce un riparo all'ombra dove ogni persona può sedersi per osservare, leggere, chiacchierare o semplicemente riposarsi. È uno spazio espositivo pieno di messaggi comunicati attraverso i materiali, le forme e i



Fig.12 | Area espositiva © Amann-Canovas-Maruri

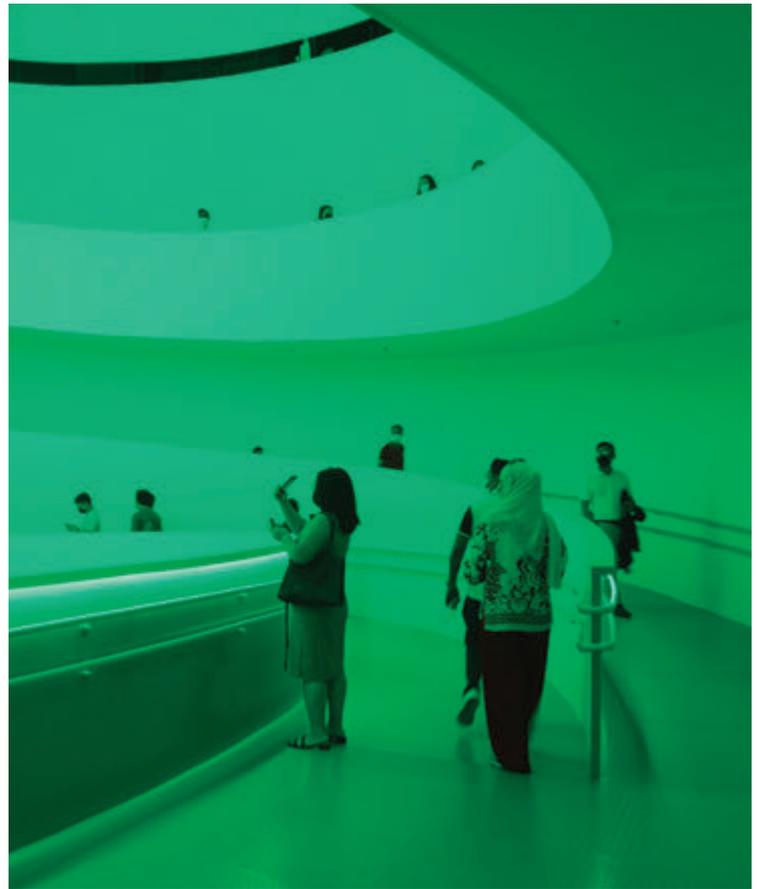


Fig.13 | Passerelle espositive © Amann-Canovas-Maruri

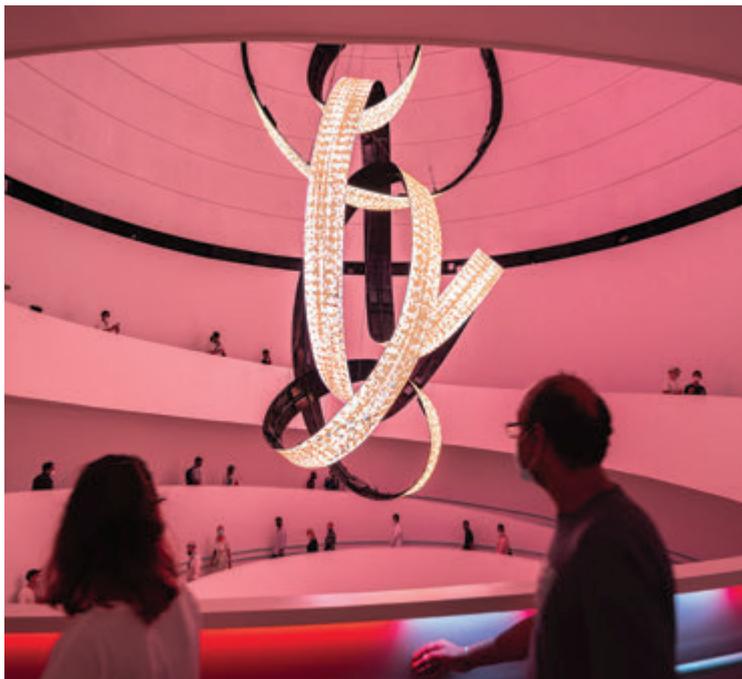


Fig.14 | Spazi espositivi © Amann-Canovas-Maruri

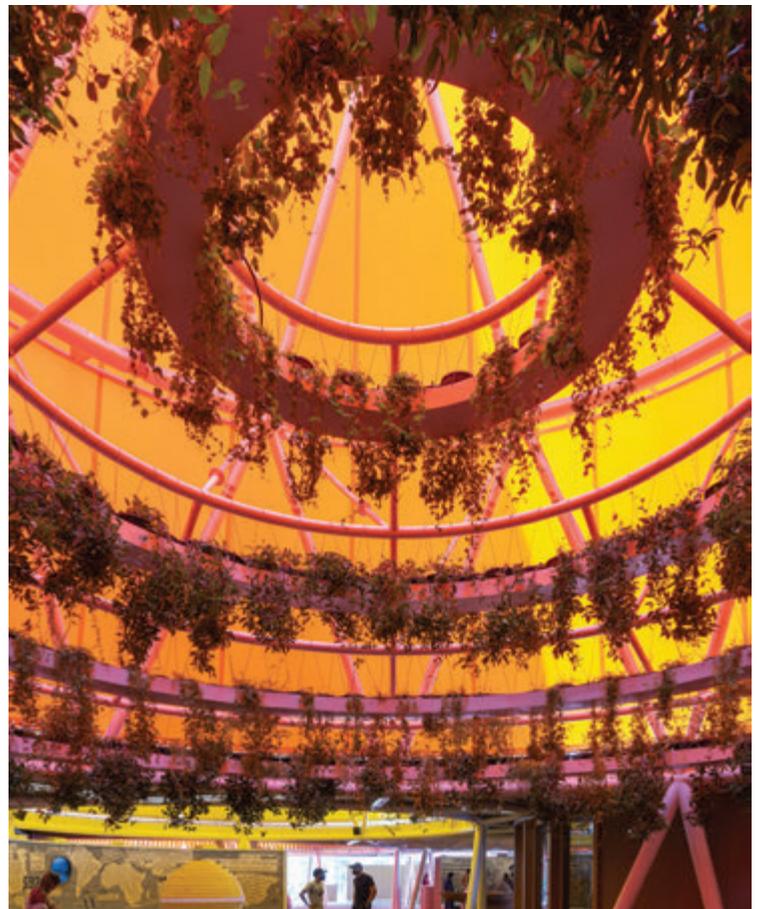


Fig.15 | Piazza centrale © Amann-Canovas-Maruri

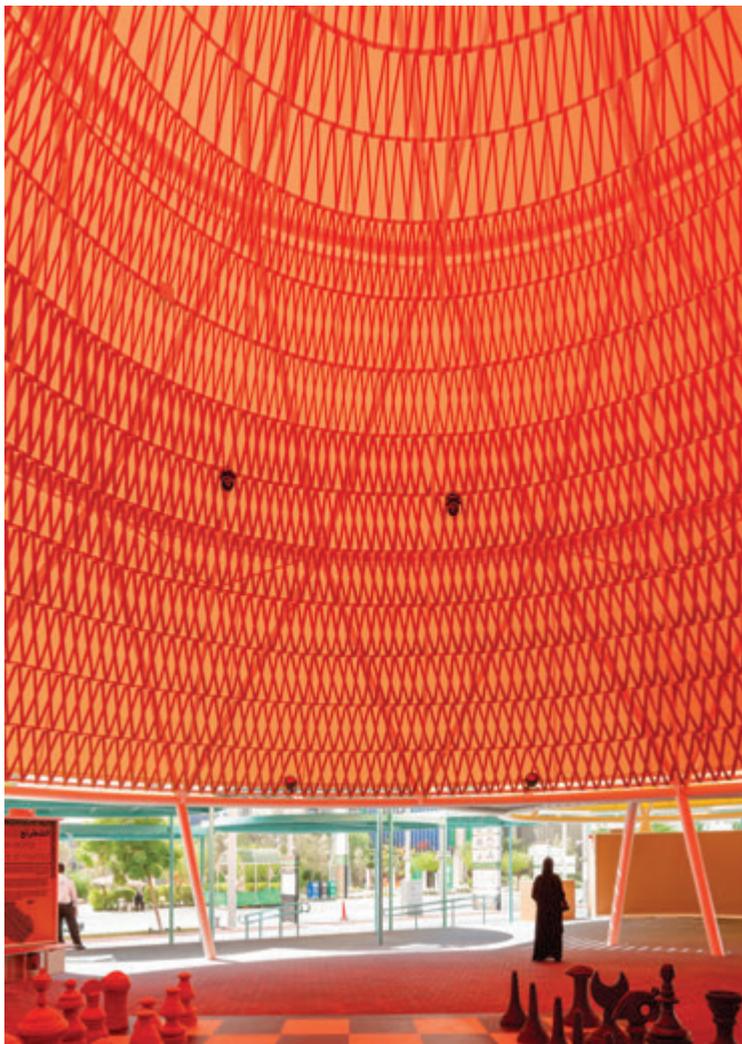


Fig.16 | Vista interna cono © Amann-Canovas-Maruri

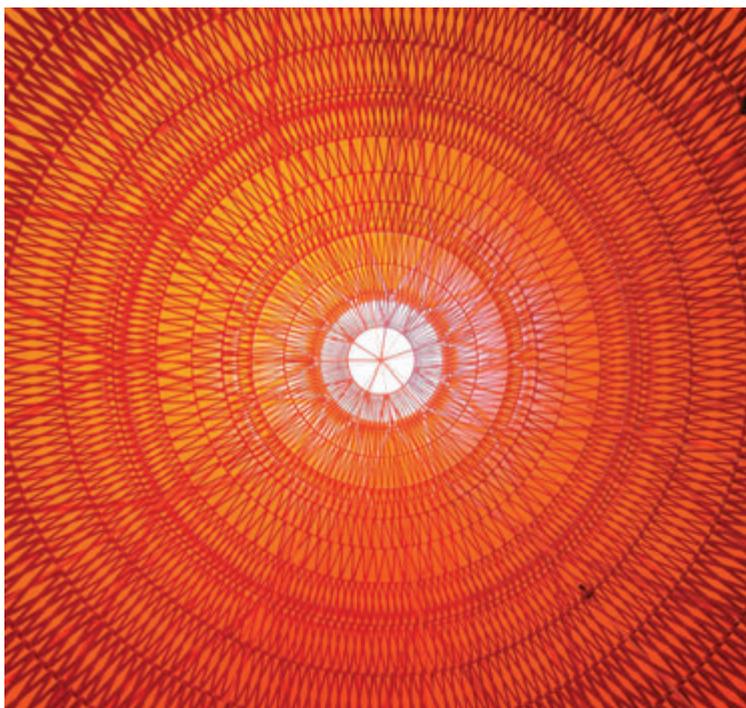


Fig.17 | Vista interna copertura © Amann-Canovas-Maruri



Fig.18 | Vista struttura cono © Amann-Canovas-Maruri

suoni che consentono ai visitatori di conoscere i luoghi e le persone della Spagna, un paese in cui il godimento di uno stile di vita a bassa velocità è probabilmente la lezione più importante di vita. L'edificio si articola su due piani principali situati al piano interrato e al piano terra: ogni attività interna si svolge nel seminterrato, mentre il piano terra è utilizzato come piazza pubblica e come ambiente di transizione tra gli spazi interni ed esterni del Padiglione. Dalla soletta del piano terra si innalzano diciassette cono che creano l'immagine iconica del Padiglione. I cono rispondono alle esigenze planimetriche del piano terra e risolvono le esigenze climatiche dei diversi spazi generati per un totale di circa 5800 m².

Sulle facciate nord e ovest è previsto un ulteriore piano con funzione amministrativa/uffici per la gestione e organizzazione delle attività legate al Padiglione, creando due corpi collegati alla copertura principale a cono.

Materiali e tecnologie costruttive

Partendo dalle fondazioni in calcestruzzo armato C30/37 con una percentuale di GGBS del 20%, il piano interrato è delimitato da muri di sostegno realizzati con palancole in acciaio, dallo stesso piano parte la struttura puntiforme di pilastri e travi in acciaio (S355JR) bullonate tra loro. Il rapporto tra il peso dei profili metallici e la resistenza meccanica che forniscono permette di offrire un sistema strutturalmente efficiente. Sebbene l'acciaio non sia un materiale naturale, è uno dei sistemi costruttivi più utilizzati, facilmente reperibile e anche uno dei materiali più riciclati e riciclabili al mondo.

I solai sono realizzati da elementi prefabbricati costituiti da lamiera grecata in acciaio e riempimento in calcestruzzo gettato in opera. Questo sistema prefabbricato consente un più facile montaggio e trasporto dal luogo di produzione al sito e una riduzione dei tempi di montaggio, fattore importante tenendo conto dei tempi ristretti dettati dall'evento.

Il sistema dei cono bioclimatici è stato pensato come una struttura metallica imbullonata fissata alle travi principali della struttura metallica del piano interrato. La totale reversibilità di tali elementi permette il loro successivo riutilizzo. In tal senso, il recupero di questa parte della struttura potrà avere diversi approcci: da un lato, i cono potranno essere completamente smontati e riutilizzati all'interno del territorio nazionale dopo i mesi di esposizione; dall'altro i pezzi che non servono più possono essere totalmente



Fig.19 | Struttura metallica pre-verniciatura © Amann-Canovas-Maruri



Fig.20 | Montaggio struttura in acciaio © Amann-Canovas-Maruri riciclati.



Fig.21 | Montaggio struttura con © Amann-Canovas-Maruri

I pavimenti hanno diversi tipi di finiture: piastrelle in ceramica nelle zone destinate al pubblico e negli ambienti di servizio, come bagni e cucine; per la rampa e tutte le scale, lamiera di acciaio zincato striato antiscivolo; infine, per le aree esterne, mattoni in cemento grigio come le altre aree della fiera.

Le pareti sono principalmente realizzate in cartongesso con finiture con intonaco bianco o in tessuto di differenti colorazioni in sisal ignifugo, disposto lungo le pareti situate verso la piazza e gli spazi chiusi (come ristorante e bar di tapas) del piano di accesso. In alcune aree in cui si necessita maggiore isolamento acustico, come



Fig.22 | Assemblaggio solette cono © Amann-Canovas-Maruri

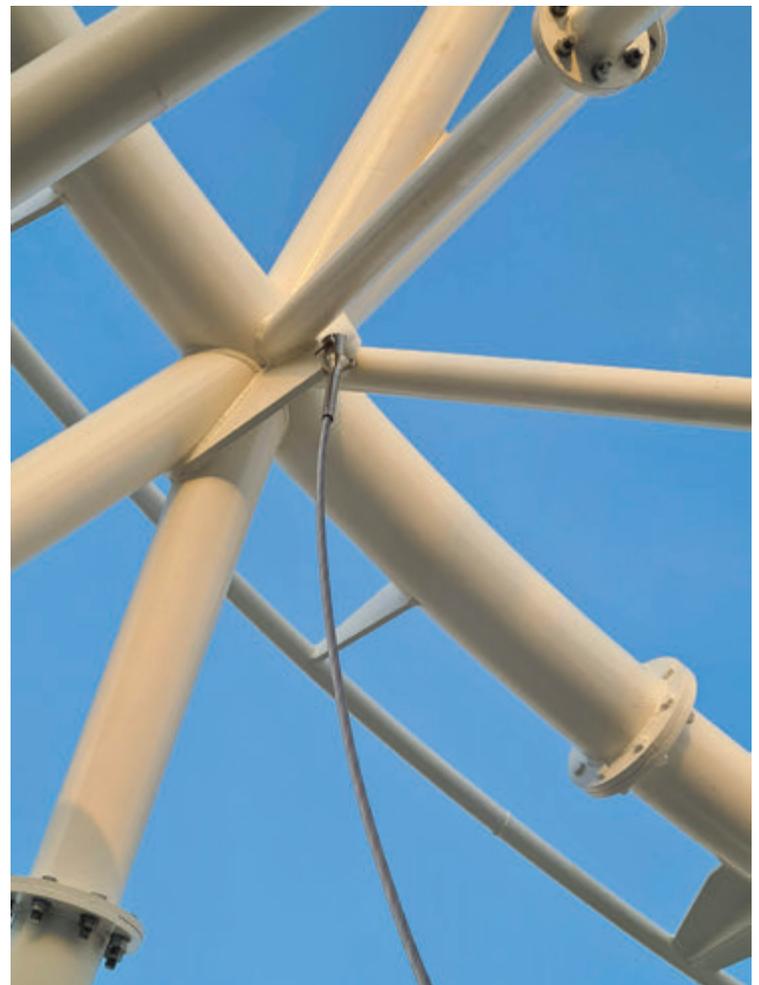


Fig.23 | Dettaglio sistema di connessione © Amann-Canovas-Maruri

gli uffici, sono stati utilizzati pannelli isolanti in fibra di legno. Le cupole sono rivestite da tessuti ignifughi in sisal, rattan e rafia, mentre per la parte inferiore della facciata sono state realizzate delle gabbie metalliche con alcune parti tamponate dagli stessi blocchi di cemento grigio utilizzati per la pavimentazione esterna.



Fig.24 | Assemblaggio struttura metallica © Amann-Canovas-Maruri

Progettazione strutturale

La progettazione e il calcolo del progetto strutturale si basa sul rispetto delle Condizioni di Stato Limite (Esercizio e Ultimo), come stabilite nei presenti Eurocodici e nelle normative locali di Dubai, al fine di garantire la sicurezza strutturale dell'edificio con l'adeguata affidabilità. Data la complessa geometria della struttura fuori terra, è stata inizialmente effettuata una simulazione utilizzando metodi CFD (Computer Fluid Dynamics) tramite il software Autodesk Robot Structural Analysis. Nell'analisi della struttura in acciaio dei coni, le finiture dei coni sono state modellate come rivestimenti per analizzare l'azione del vento sulla struttura.

Successivamente, per la fase del progetto esecutivo, è stato sviluppato un modello di galleria del vento che garantisce di simulare con sufficiente precisione le pressioni e le aspirazioni che si genereranno nelle superfici dei coni durante l'evento. Tale analisi è stata sviluppata dall'Università Tecnica di Madrid, che ha elaborato un modello in scala 1:75 del padiglione spagnolo per condurre test in galleria del vento, riflettendo quindi la reazione del padiglione in varie condizioni di vento in casi reali. Inoltre, scegliendo una struttura in acciaio non si sono resi necessari il controllo della resistenza al fuoco e il controllo della temperatura.

Impianti ed efficienza energetica

Il Padiglione della Spagna è una costruzione che valorizza i materiali e gli elementi della tradizione industriale grazie all'utilizzo di elementi prefabbricati, per ridurre il più possibile i consumi e generare un'architettura integrata con l'ambiente. Infatti, se il padiglione offre una facciata al piano interrato è perché è pensato come un box che riceve una temperatura costante

dal terreno, ma anche come un collettore di aria fresca che diventa un termoregolatore dell'aria esterna.

Le pareti in sisal ignifughe svolgono diverse funzioni. Controllano lo spazio semiaperto e la sua ventilazione; migliorano il comportamento termico dell'edificio; offrono calore allo spazio interno quando le temperature esterne sono più basse. Queste pareti dimostrano che è possibile rendere compatibili gli impianti ad alta tecnologia, legati ai sistemi di captazione dell'energia, con l'uso intelligente dei sistemi più tradizionali.

I sistemi di raccolta dell'energia si basano sulla cattura dell'energia solare. I pannelli solari utilizzati si trovano all'ingresso del padiglione, nella zona definita "pergola solare". Inoltre, sono stati posizionati degli innovativi vetri fotovoltaici colorati che lavorano contemporaneamente come produttori di energia e come schermatura per proteggere i visitatori dal sole durante l'attesa, prima di entrare.

I sistemi di controllo della temperatura dell'aria legati all'utilizzo dell'acqua sono stati sviluppati inserendo una serie di stagni posti tra le lunghe panche dei cilindri e le pareti di sisal ignifughe. Questi stagni ricevono l'acqua dal processo adiabatico, generato dagli sbalzi di temperatura giornalieri, e la riutilizzano.

Tali sistemi, che integrano l'edificio con l'ambiente che lo circonda, colpiscono la consapevolezza del visitatore e gli dimostrano che i sistemi di climatizzazione passiva sono compatibili con altri sistemi ad alta tecnologia.

Reversibilità e Temporaneità

Tenendo conto dell'uso temporaneo dei padiglioni progettati e costruiti per l'evento di EXPO, risulta importante progettare e



Fig.25 | Dettaglio sistema di connessione © Amann-Canovas-Maruri

costruire reversibile in ottica di riduzione degli impatti ambientali, economici e sociali.

L'uso temporaneo degli edifici richiede una progettazione degli spazi e dei sistemi costruttivi flessibile, capaci di accogliere diverse trasformazioni e funzioni nel tempo. La reversibilità degli elementi costruttivi permette in tal senso di ridurre la produzione di rifiuti e materie prime e sfruttare componenti che hanno un ciclo di vita più lungo rispetto al loro tempo di utilizzo. Il Padiglione della Spagna in tal senso declina tali tematiche in un'ottica di estensione dell'uso degli elementi, che saranno recuperati a livello regionale dai diversi appaltatori che hanno fornito i componenti per l'evento o trasportati in Spagna per un utilizzo differente. La pianificazione del fine vita ha permesso di non generare rifiuti e, sfruttando le potenzialità tecnologiche degli elementi, di riutilizzarli o di riciclarli per la produzione di nuovi prodotti.



Fig.26 | Dettaglio sistema di connessione © Amann-Canovas-Maruri

Tali pratiche si stanno diffondendo nel settore delle costruzioni incentivando una progettazione consapevole che permette di sfruttare le potenzialità di sistemi costruttivi reversibili per l'attivazione di strategie circolari, come il riuso e il riciclo. L'applicazione di soluzioni circolari promuove il riconoscimento del valore sia economico che tecnologico di elementi che hanno prestazioni residue dopo il loro disassemblaggio. La durabilità di sistemi costruttivi che vengono utilizzati per usi temporanei può essere sfruttata grazie alla pianificazione dell'intero ciclo di vita (dalla culla alla culla) dei componenti edilizi e alla progettazione e costruzione di elementi realmente reversibili.

Soluzioni circolari per la riduzione dei rifiuti

Tenendo conto delle direttive definite da EXPO, il progetto si basa sulla strategia delle 3R "Ridurre, Riutilizzare e Riciclare" per



Fig.27 | Dettaglio sistema di connessione © Amann-Canovas-Maruri

ridurre la generazione di rifiuti e il consumo delle risorse. In tal senso, sfruttando la reversibilità degli elementi prefabbricati che compongono il Padiglione della Spagna sono state pianificate alcune soluzioni circolari per rendere efficiente il processo di costruzione e decostruzione.

Gli elementi in acciaio, materiale principale del Padiglione, verranno venduti a livello regionale entro i 500 km dal sito di progetto o importati in Spagna per la costruzione di strutture polifunzionali a servizio del quartiere. In alternativa, gli elementi interamente in acciaio verranno fusi per la produzione di nuovi prodotti con contenuto di riciclato.

Per quanto riguarda il calcestruzzo, utilizzato per le fondazioni e i solai alleggeriti, verrà inviato a riciclaggio e gli sfridi di cantiere, frantumati e utilizzati per opere di riempimento, lavori stradali o

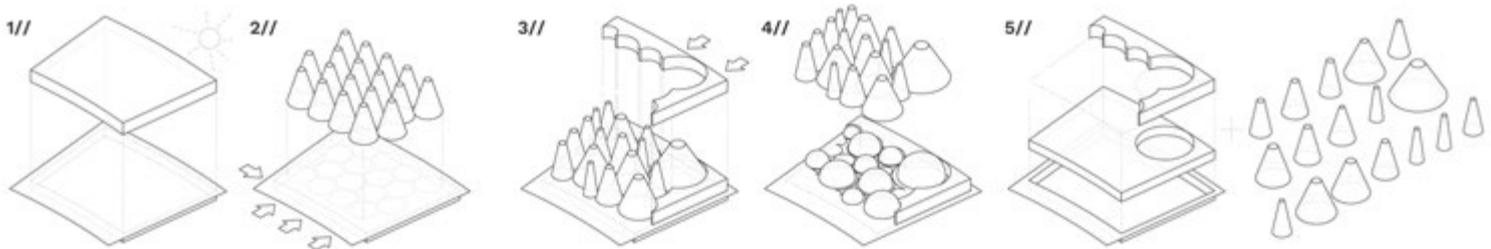


Fig.28 | Sviluppo fasi di costruzione © Amann-Canovas-Maruri

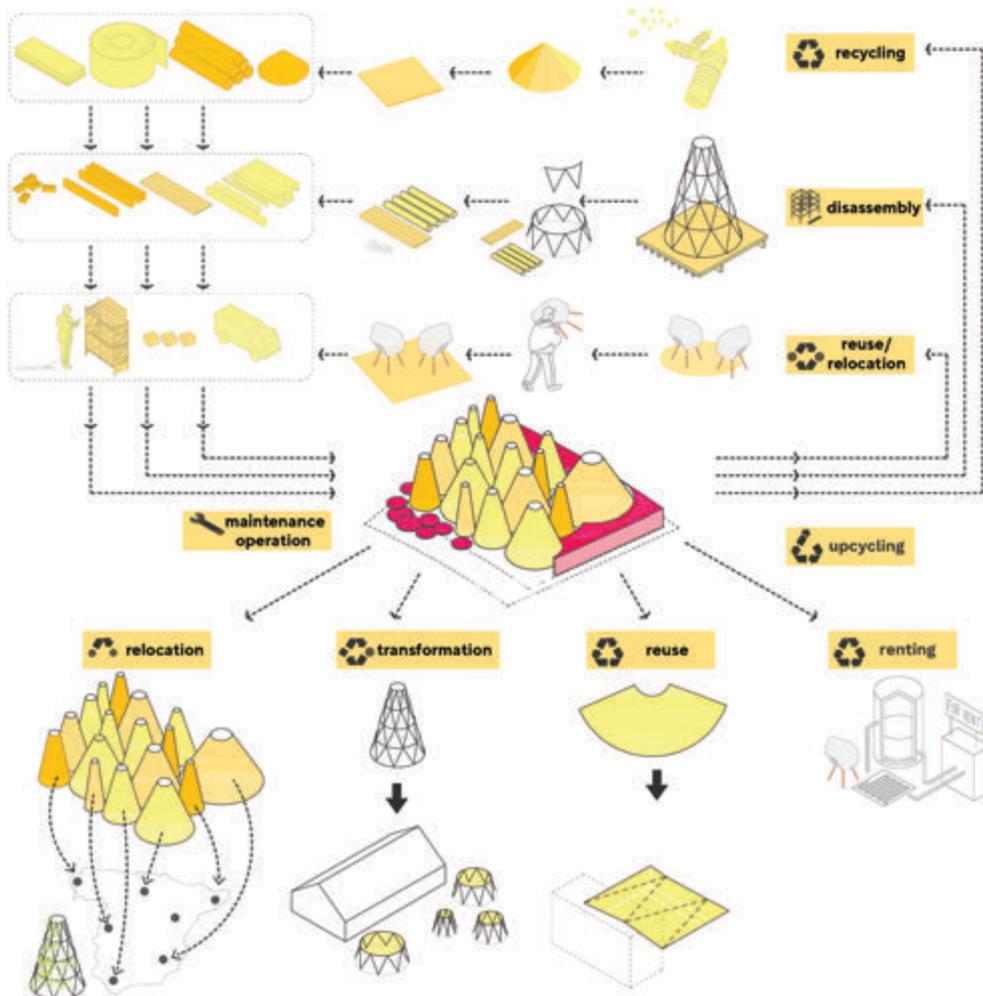


Fig.29 | Disassemblaggio componenti e applicazione di strategie circolari © Amann-Canovas-Maruri

opere di fondazione.

Le porte e le finestre sono state smontate e verranno riutilizzate dall'appaltatore in altri progetti.

Anche gli elementi relativi ai sistemi impiantistici, unità HVAC come FCU e UTA, grazie alla loro modularità e reversibilità (parziale) verranno collocati in container e trasportati per essere riutilizzati, riciclati o venduti.

I progettisti insieme agli Appaltatori elaborando un piano sul fine vita dei materiali e componenti hanno previsto di deviare la produzione dei rifiuti almeno dell'85% fornendo un esempio di progettazione consapevole e responsabile.

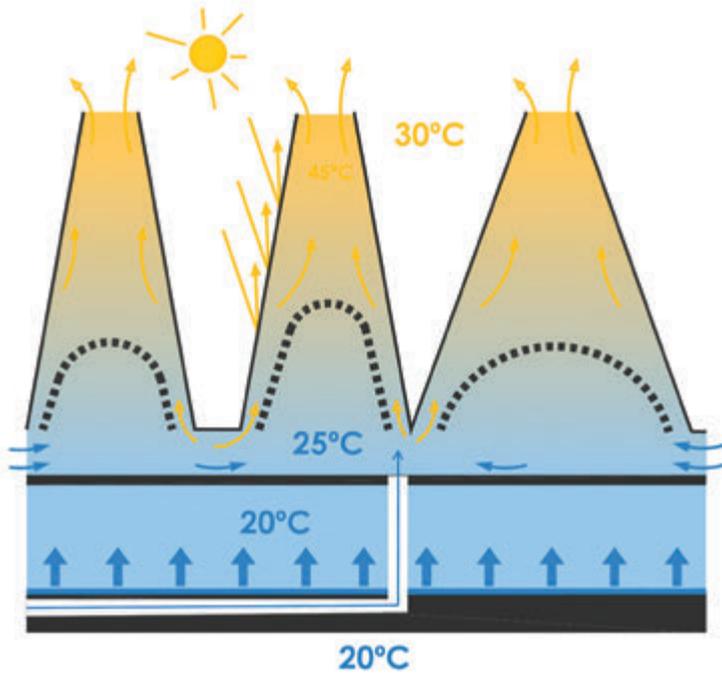


Fig.30 | Schematizzazione sistemi passivi © Amann-Canovas-Maruri



Fig.31 | Masterplan © Amann-Canovas-Maruri

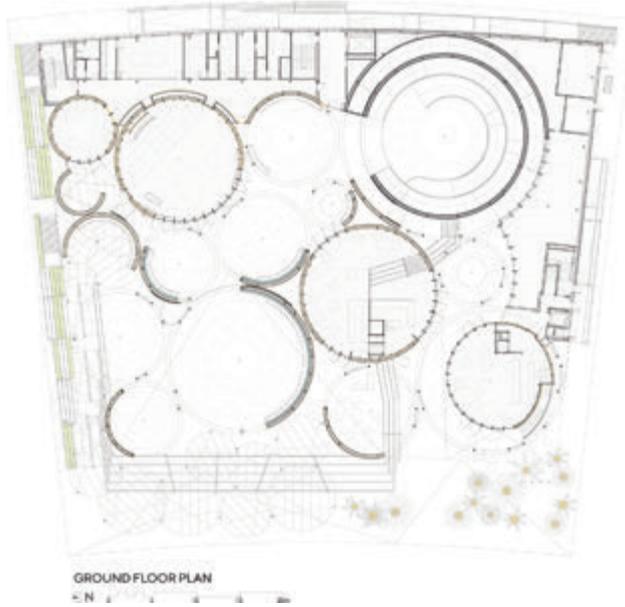


Fig.32 | Pianta Piano Terra © Amann-Canovas-Maruri



Fig.33 | Pianta coperture © Amann-Canovas-Maruri

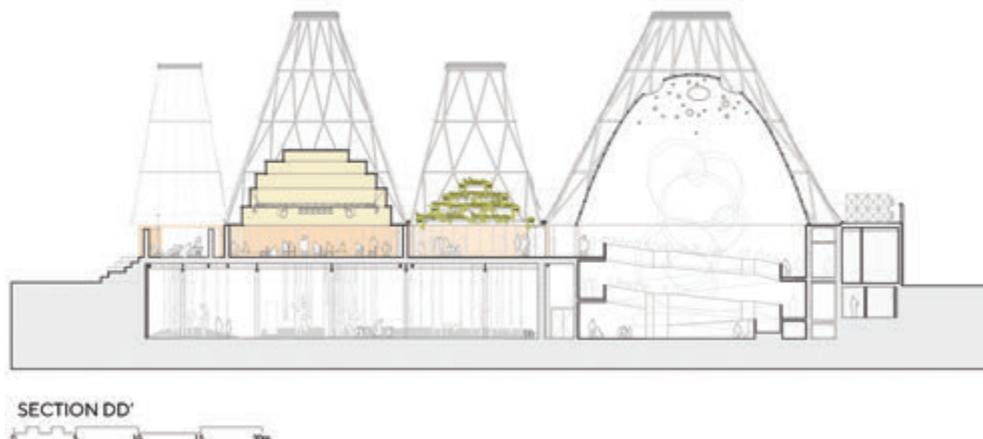
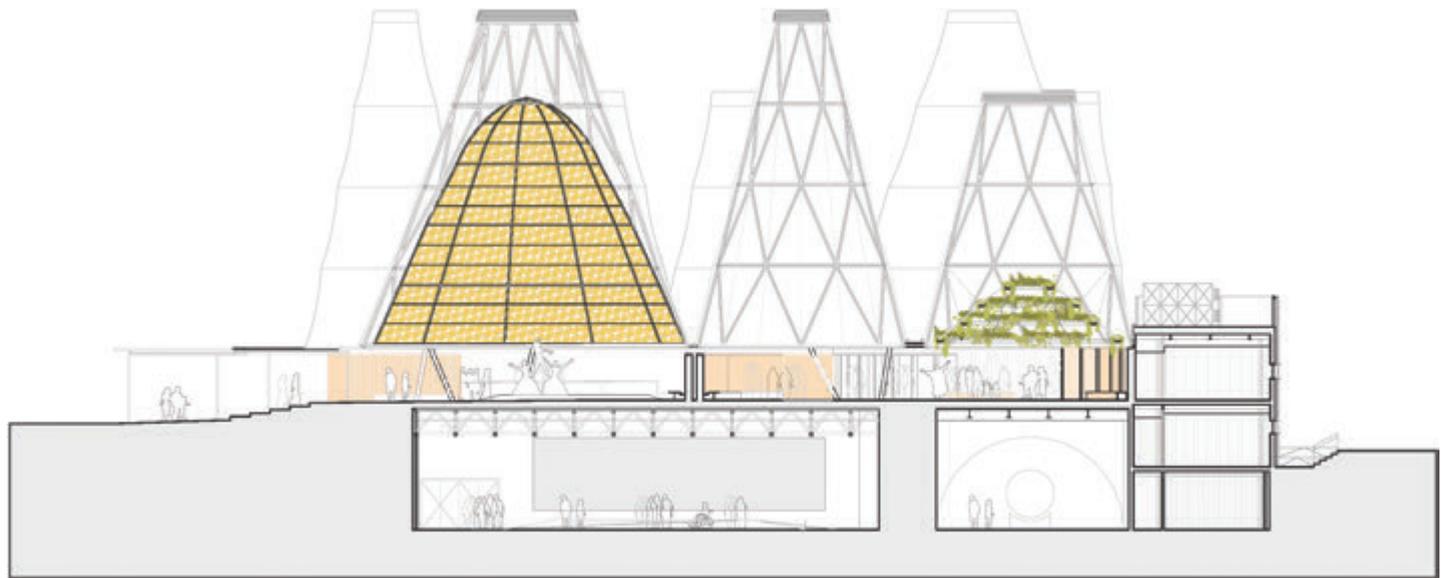


Fig.34 | Sezione DD' © Amann-Canovas-Maruri



SECTION BB'

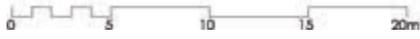
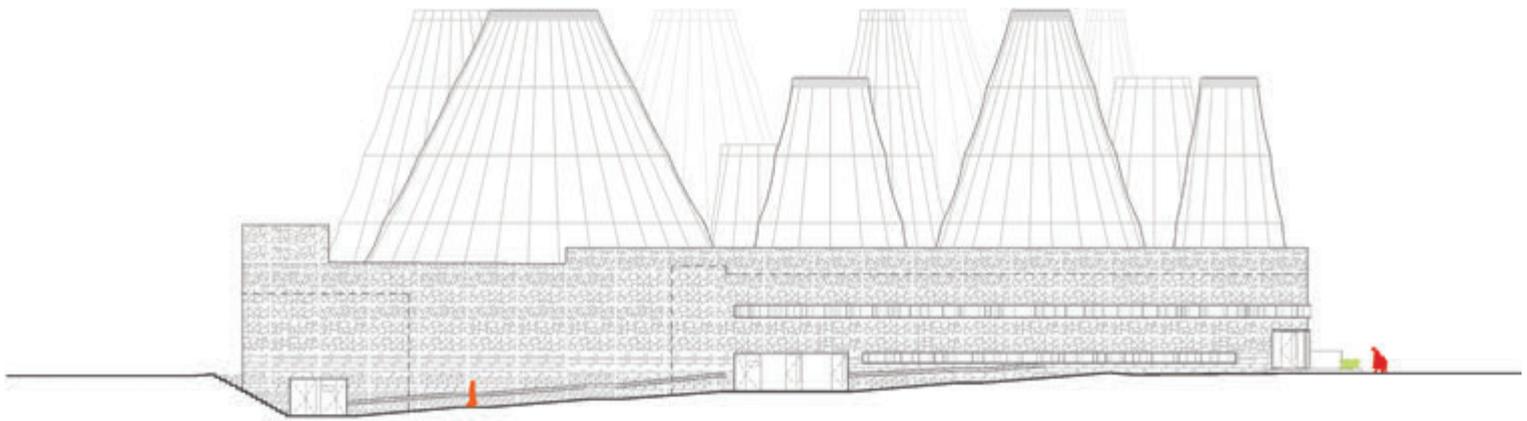


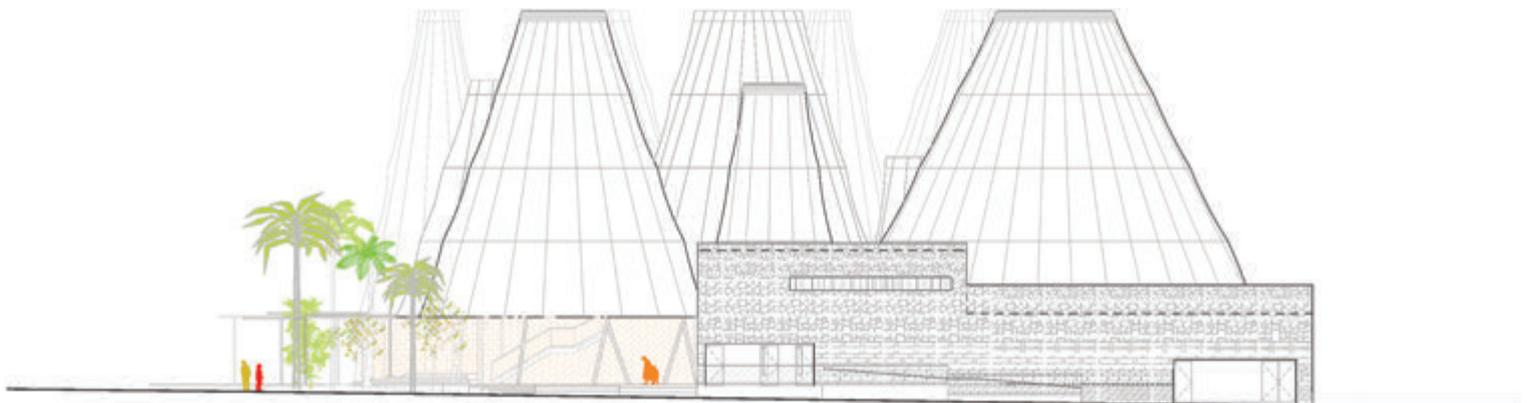
Fig.35 | Sezione BB' © Amann-Canovas-Maruri



ELEVATION (NE)



Fig.36 | Prospetto Nord-Est © Amann-Canovas-Maruri



ELEVATION (SE)



Fig.37 | Prospetto Sud-Est © Amann-Canovas-Maruri

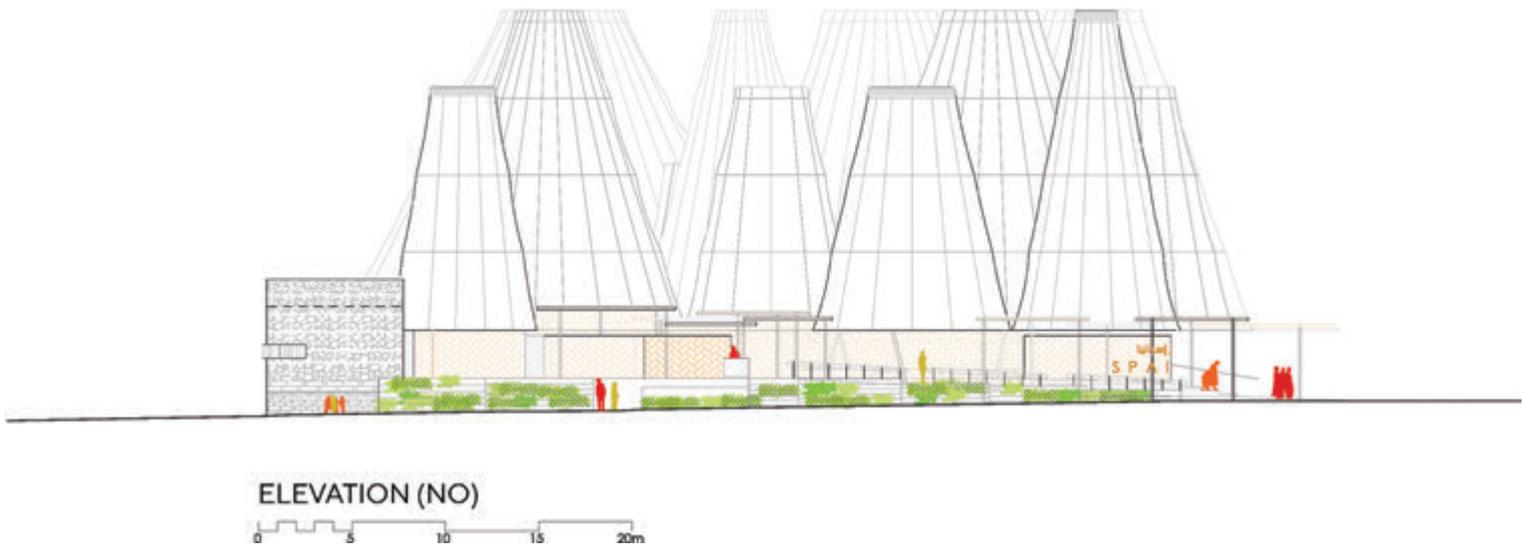


Fig.38 | Prospetto Nord-Ovest © Amann-Canovas-Maruri



Fig. 39 | Prospetto Sud-Ovest © Amann-Canovas-Maruri

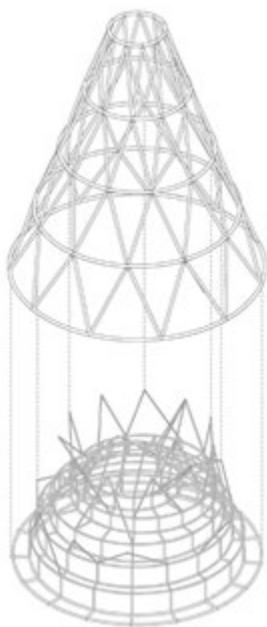


Fig.40 - Dettaglio Nodo Facciata-Solaio
©Amann-Canovas-Maruri

Dati di Progetto

Luogo: Dubai, Emirati Arabi Uniti
 Tipologia edificio: nuova costruzione
 Progetto: 2018 - 2019
 Costruzione: 2019 - 2021
 Superficie: 5800 m²
 Destinazione: padiglione espositivo

Credits

Committente: EXPO
 Architettura: Amann-Canovas-Maruri
 Ingegneria: Gerardo Càmara
 Strutture: Mecanismo Inegneria
 Costruzione: eadAT Ingenieros
 Impianto elettrico e pannelli fotovoltaici: The South Oracle - TSO
 Esposizione e museografia: Jmasoc

Si ringrazia lo studio di architettura Amann-Canovas-Maruri per la documentazione cortesemente messa a disposizione.

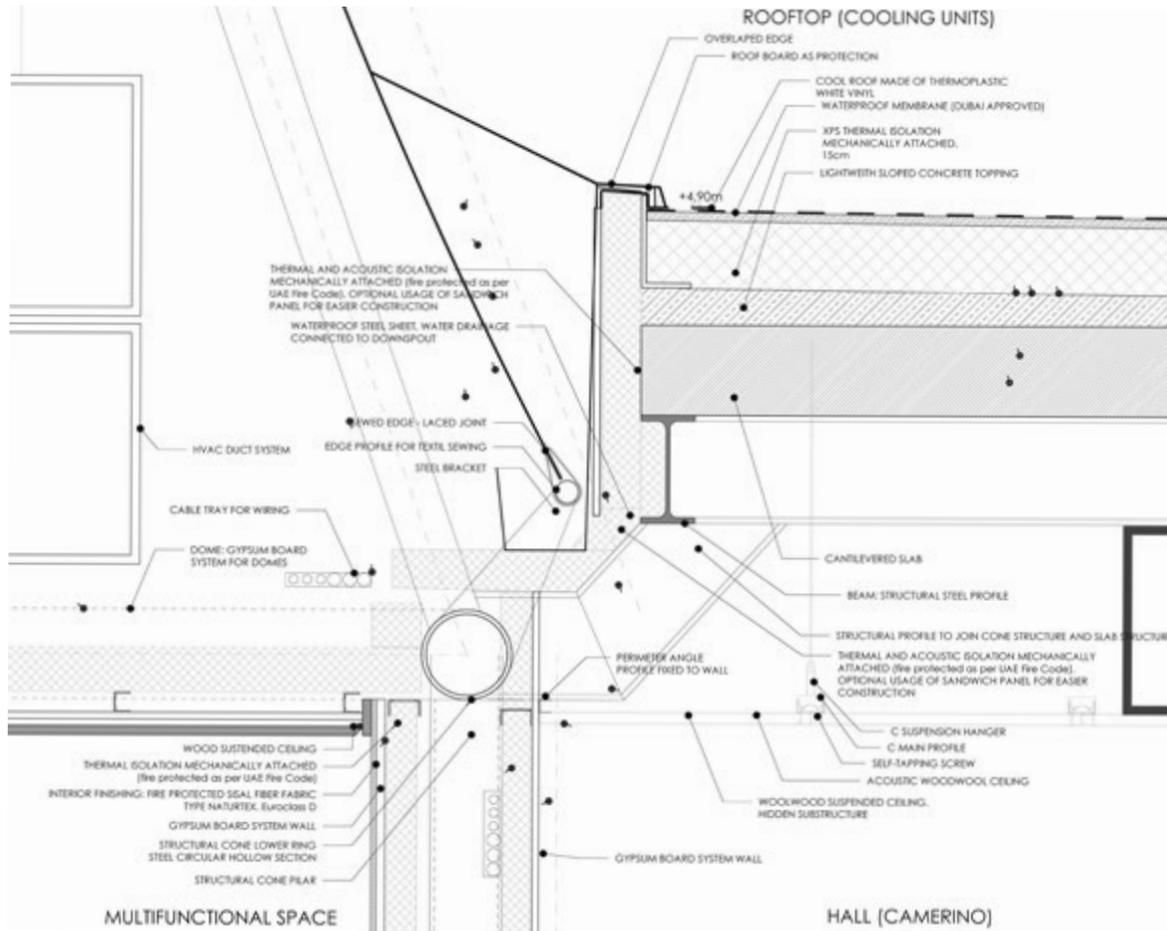


Fig.41 | Dettaglio copertura connessione tra due coni © Amann-Canovas-Maruri

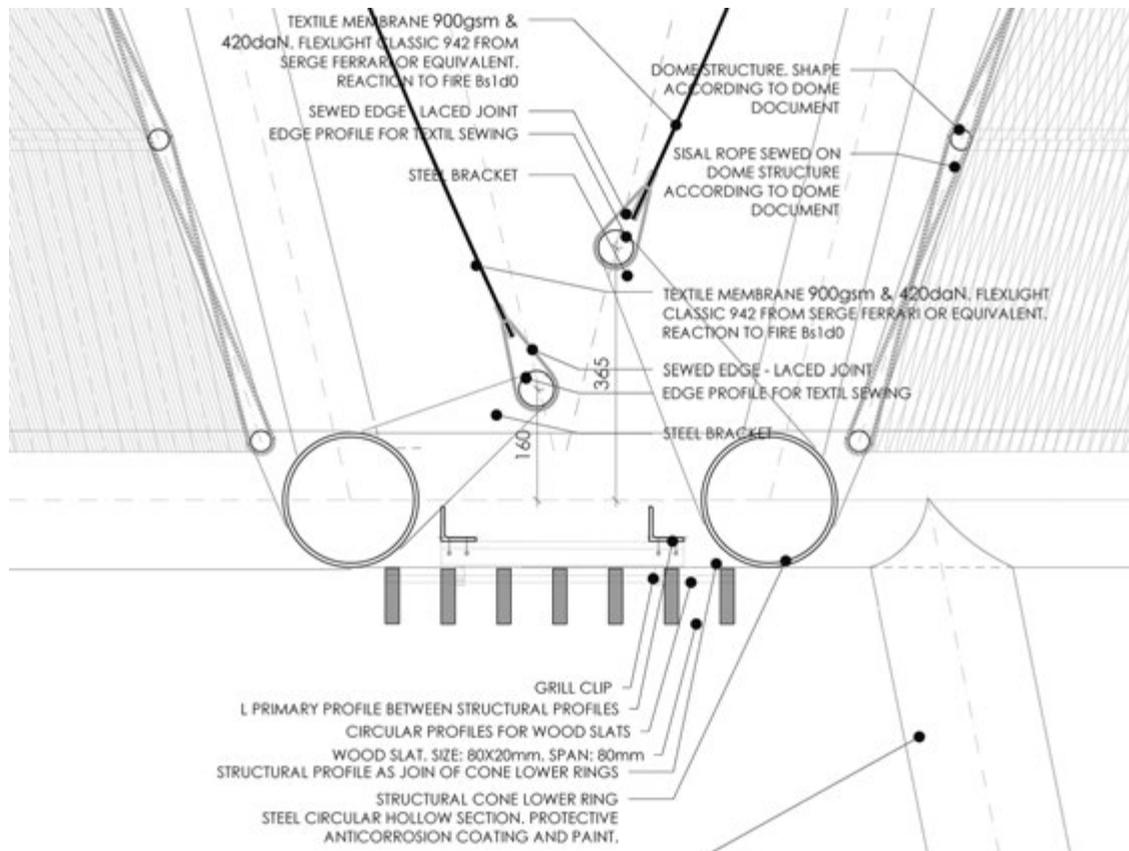


Fig.42 | Dettaglio connessione tra due coni © Amann-Canovas-Maruri

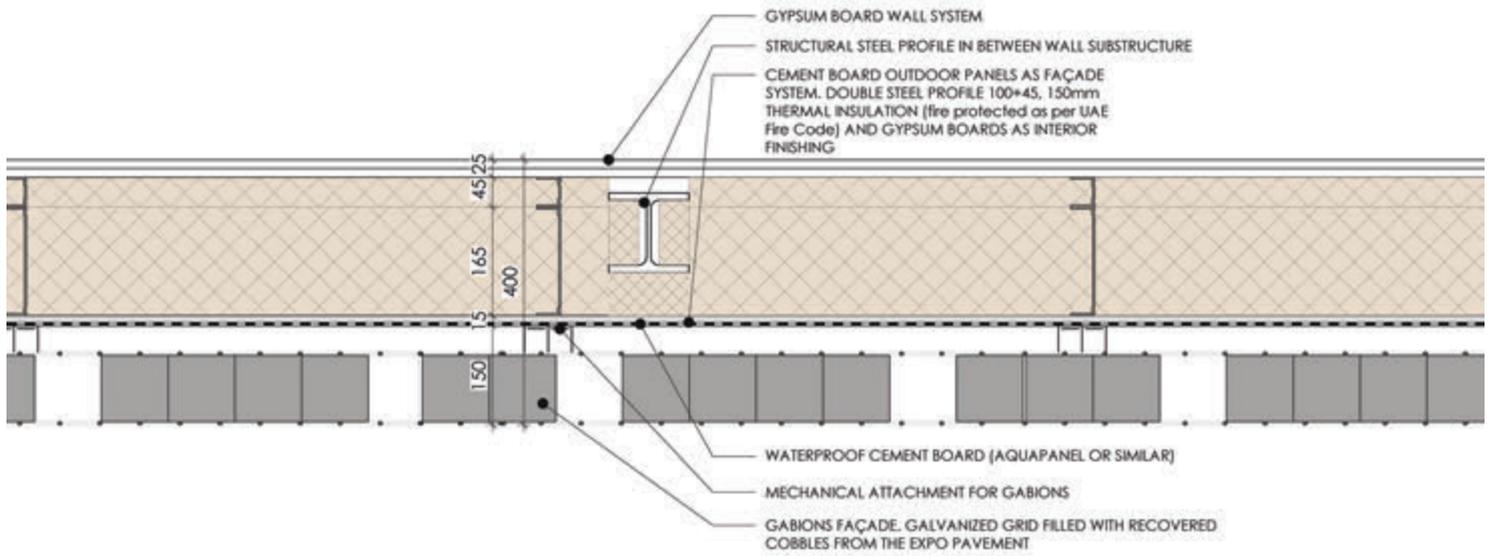


Fig.43 | Dettaglio Facciata Piano Terra © Amann-Canovas-Maruri

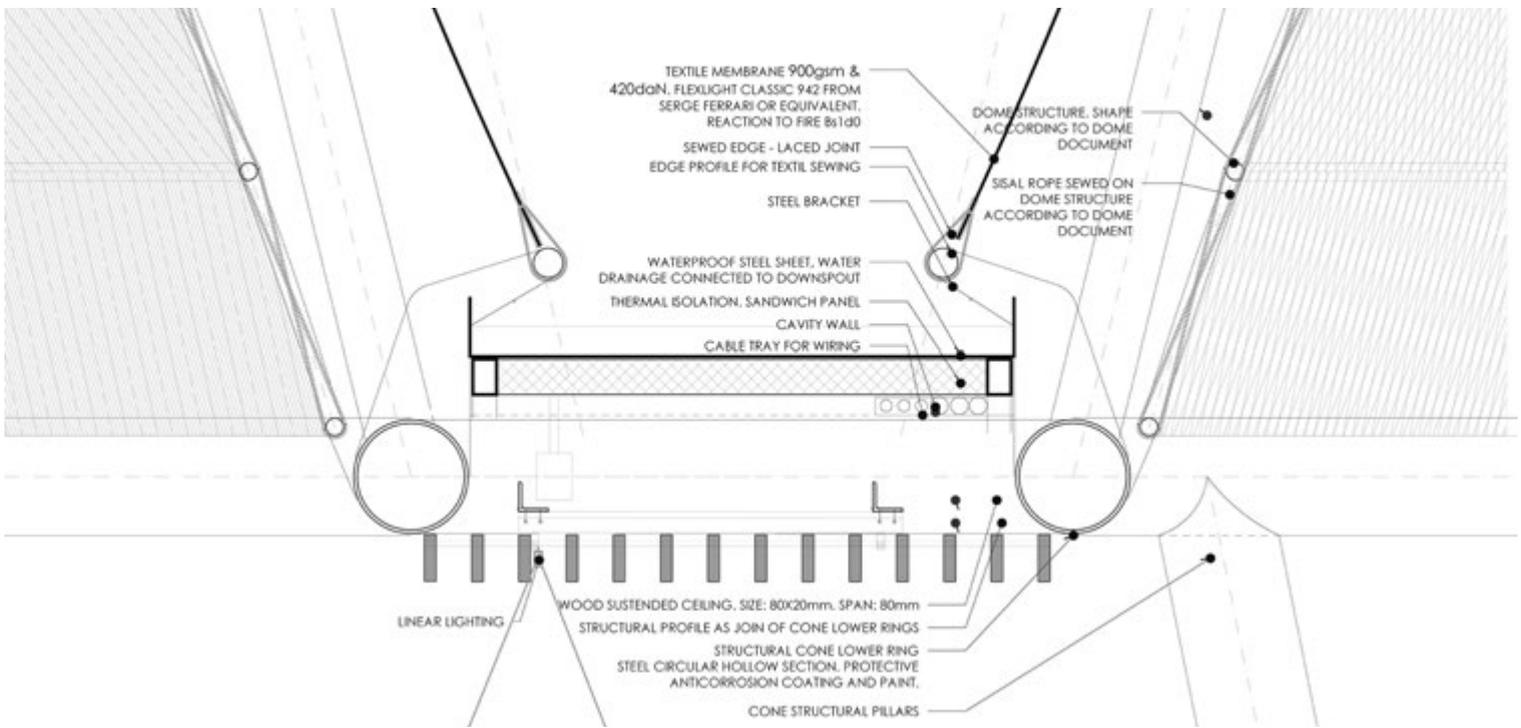


Fig.44 | Dettaglio connessione tra due coni a lunga distanza © Amann-Canovas-Maruri

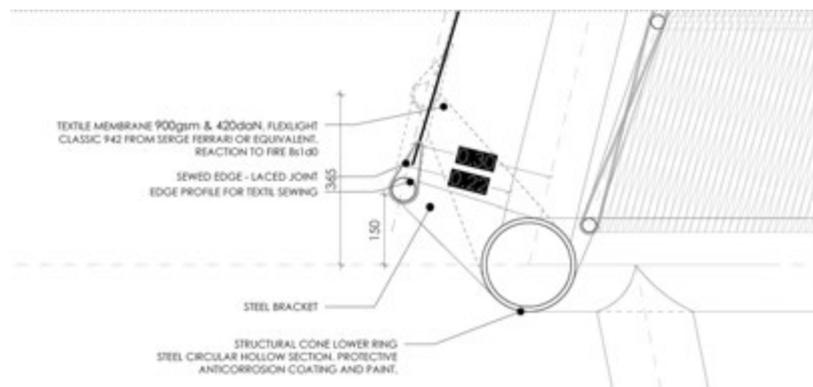


Fig.45 | Dettaglio connessione membrana-sottostruttura © Amann-Canovas-Maruri

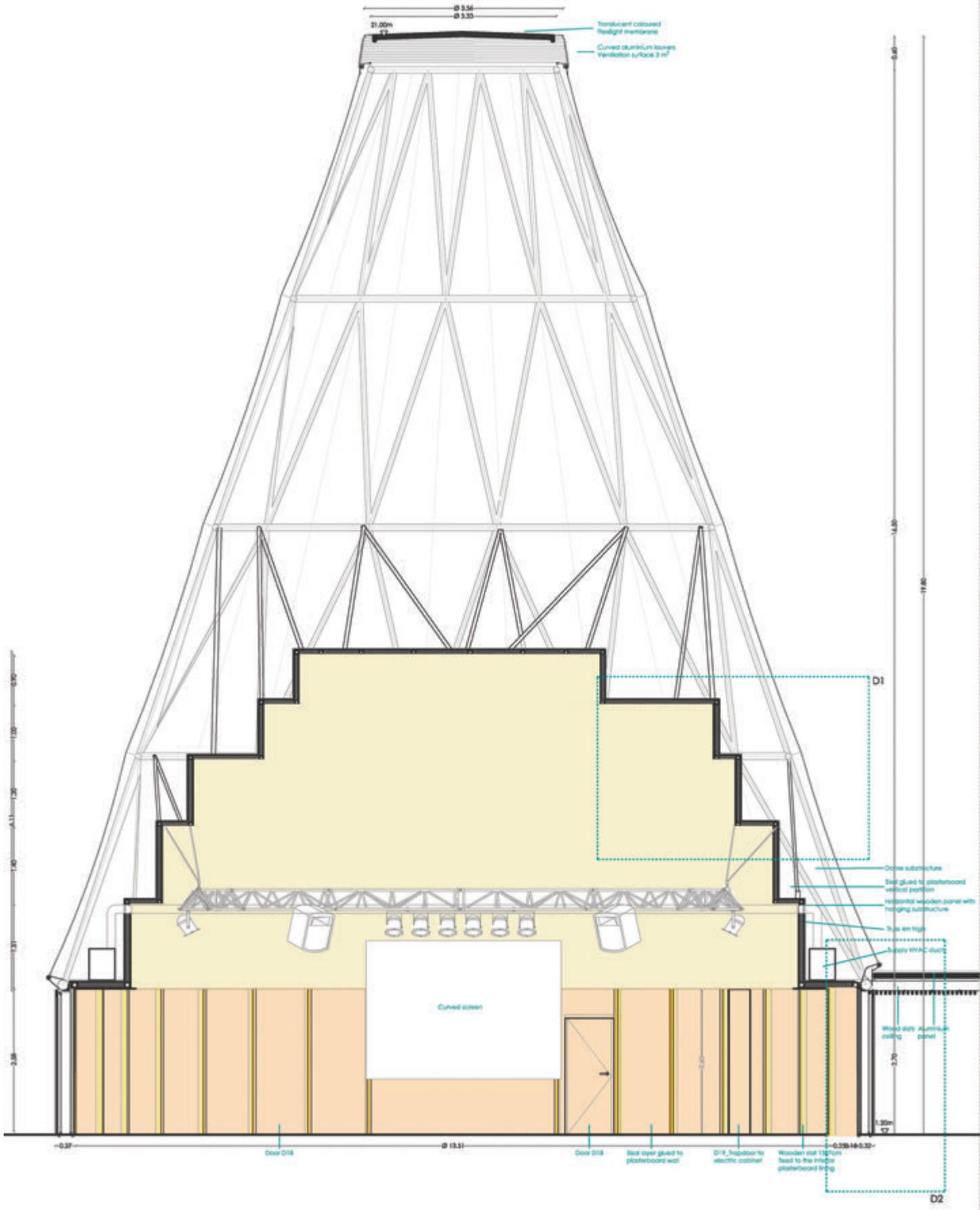


Fig.46 | Dettaglio Sezione Cono © Amann-Canovas-Maruri

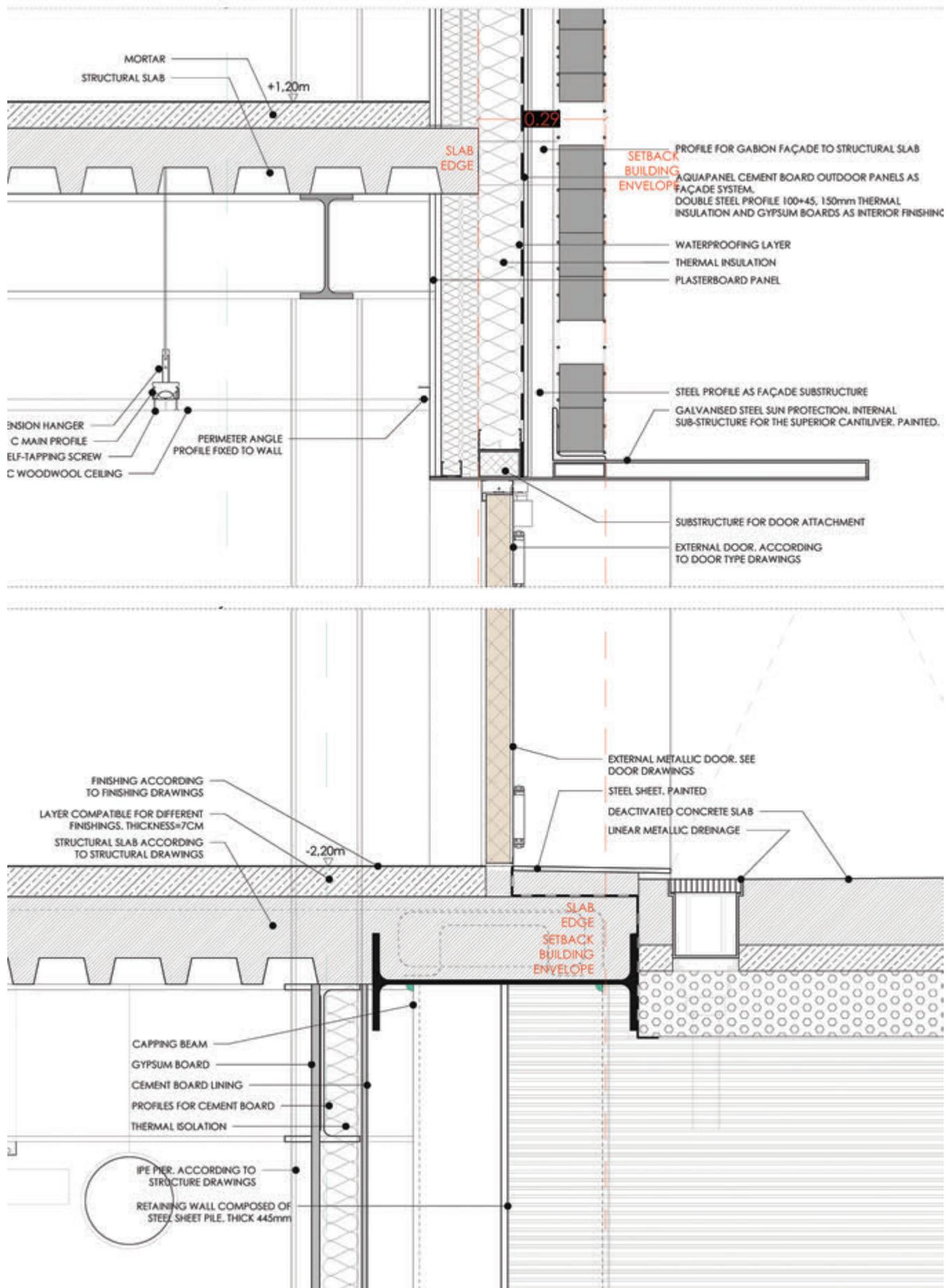


Fig.47 | Dettaglio Sezione Trasversale_Parte 1 © Amann-Canovas-Maruri

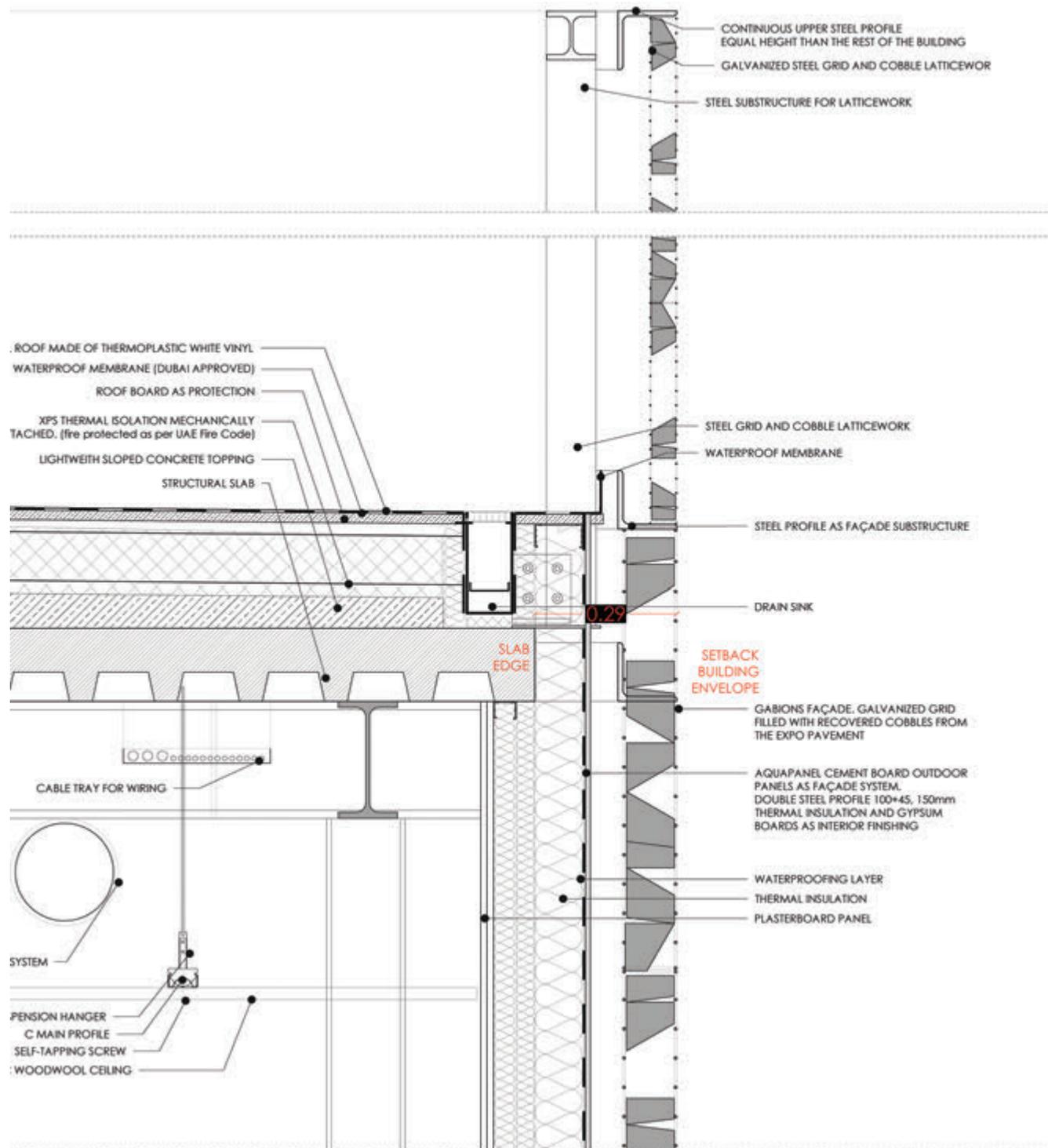


Fig.48 | Dettaglio Sezione Trasversale_Parte 2 © Amann-Canovas-Maruri



Tecla Caroli

Architetto e PhD ottenuto presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano, con una tesi dal titolo “Reverso: reversible technologies towards reusing, remanufacturing and recycling”.

Assistente di Corsi di Laurea Triennale e Magistrale su temi riguardanti tecnologia dell’architettura, sostenibilità ambientale ed economia circolare. Autrice di diverse pubblicazioni su temi affini alla sua ricerca di dottorato e su progetti sviluppati durante la sua professione. Attualmente Consulente di Sostenibilità presso ARUP.

Struttura in acciaio sottile formato a freddo, prestazioni strutturali e confort abitativo: Il sistema costruttivo steelMAX[®]

Light cold formed steel structure, structural performance and living comfort: The steelMAX[®] construction system.

Prof. Ing. Nadia Baldassino, Prof. Ing. Riccardo Zandonini, Prof. Ing. Rossano Albatici | Università di Trento
Ing. Lorenzo Manzini, Ing. Omar Patella | COGI srl

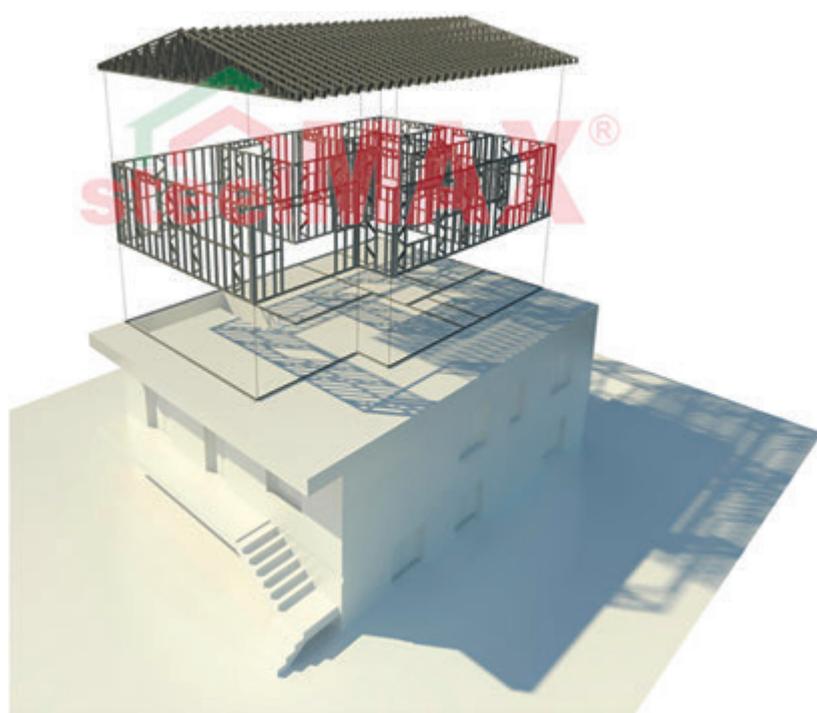


Fig. 1 | Sistema costruito steelMAX – esempio di sopraelevazione.

L'attuale richiesta del mercato delle costruzioni ruota intorno al concetto di casa sicura, efficiente e confortevole, in una parola "tecnologica". L'attenzione della committenza è tuttavia rivolta non solo al risultato finale, ma anche ai modi ed ai mezzi impiegati per raggiungerlo, in quanto fattori che influenzano in maniera sostanziale i tempi e i costi di realizzazione della costruzione. In tal senso esiste un interesse per l'intero processo di costruzione. Volendo riassumere questo concetto, si può dire che è fondamentale oggi fornire il massimo della prestazione strutturale e del confort abitativo nel minor tempo possibile e a costi definiti e certi. Il fattore tempo assume un valore particolare in condizioni operative eccezionali, quali la ricostruzione dopo disastri naturali. Le costruzioni, realizzate con struttura in profili sottili in acciaio formati a freddo, sono in grado di rispondere in maniera competitiva a queste nuove esigenze del mercato. La loro leggerezza le rende inoltre adatte anche per l'edilizia in zona sismica. Il sistema costruttivo SteelMAX[®] (figura 1), è la risposta concreta alle moderne aspettative sia degli operatori del settore edile che degli utenti finali delle realizzazioni in quanto oltre ad assicurare tutti i vantaggi dei sistemi di costruzione a secco quali il rispetto dei tempi e costi preventivati unitamente all'impiego di materiali consigliati

dall'architettura sostenibile, garantisce anche un elevato isolamento termico/acustico e una ottima resilienza agli eventi sismici. Da apprezzare anche un aumento sino al 10% delle superfici disponibili rispetto al totale di un edificio in edilizia tradizionale dovuto al ridotto spessore delle pareti pur mantenendo elevate prestazioni energetiche.

The current demand of the construction market orbits around the concept of a safe, efficient and comfortable home, in a word "technological". However, the client's attention is directed not only to the end, but also to the ways and means used to achieve it, as factors that substantially influence the construction times and costs. In this sense there is an interest in the whole construction process. Summarizing this concept, it can be said that today it is essential to provide the maximum structural performance and living comfort in the shortest possible time and at defined and certain costs. The time factor takes on particular value in exceptional operating conditions, such as reconstruction after natural disasters. The constructions made with a steel profile structure, cold formed, are able to respond in a competitive way to these new market needs. Their lightness also makes them suitable for building in seismic areas. The steelMAX[®] construction system is the concrete answer to the modern expectations of both the operators in the building sector and the final users of the constructions as, in addition to ensuring all the advantages of dry construction systems such as compliance with the estimated times and costs together with use of materials recommended by sustainable architecture or green building, also guarantees a thermal / acoustic insulation lift and excellent resilience to seismic events. Also to be appreciated is an increase of up to 10% of the surfaces compared to the surfaces and total of the traditional civil building.

Introduzione

Il sistema costruttivo steelMAX®, si basa sull'utilizzo di profili sottili con spessore pari al millimetro o al massimo a 1,2 mm in acciaio strutturale S280GD. La sezione, studiata e sviluppata per rispondere ad esigenze strutturali, di produzione e di montaggio, è quella di un "C" opportunamente irrigidito in corrispondenza delle estremità e dell'anima. I profili ottenuti dalla linea produttiva vengono assemblati, in stabilimento o in cantiere, per realizzare sistemi intelaiati portanti di parete o di solaio. Il solaio può essere realizzato con due differenti modalità: in funzione della luce e dei carichi agenti. Una soluzione prevede l'utilizzo di travetti costituiti da due profili posti "schiena a schiena", opportunamente collegati tramite viti auto-perforanti, l'altra soluzione impiega travi reticolari realizzate con il medesimo profilo e costituite da una briglia superiore e una inferiore, collegate tra loro da diagonali e chiusa alle estremità da profili verticali. Le pareti sono costituite da profili verticali (montanti), disposti ad un interasse di 400 o di 600 mm e vincolati alla base ed in sommità a delle guide trasversali. Un traverso collega i montanti in corrispondenza della mezzera per limitarne la lunghezza di libera inflessione. La connessione tra i vari profili avviene mediante dei rivetti strutturali a strappo in acciaio dal diametro di 6,4 mm.

La connessione tra i sistemi di parete e di solaio genera un'intelaiatura metallica modulare (figura 2), che ha la particolarità di essere allo stesso tempo struttura portante principale e struttura secondaria di parete o solaio a supporto ai pannelli dei tamponamento a base di gesso, legno o cemento. Questi strati a loro volta diventano la base di fissaggio verso l'esterno per il sistema isolate "a cappotto", mentre verso l'interno per la controparete utilizzata per il passaggio degli impianti e a sua volta rivestita da lastre di cartongesso (figura 3).



Fig. 2 | Realizzazione di un edificio residenziale in provincia di Treviso.

Il prodotto dell'interazione tra la struttura in profili piegati a freddo in acciaio e i prodotti dell'edilizia "a secco" è un sistema stratificato complesso in cui ciascuno strato assolve ad una funzione. La scelta dei materiali e la loro giustapposizione permettono di raggiungere i livelli di performance energetico-ambientali richiesti dalla

committenza e/o dal progetto. In particolare si è studiata la possibilità di utilizzare sistemi di controvento con travi reticolari verticali posti in luce rispetto a due montanti di parete consecutivi oppure l'utilizzo di croci di sant'Andrea realizzate con piatti in acciaio posti secondo la faccia delle pareti. Il potenziale ruolo strutturale del rivestimento è anch'esso stato oggetto di indagine. La sismicità di gran parte del nostro Paese è la ragione per l'attenta verifica sperimentale della risposta a taglio di un'ampia serie di tipologie di parete. Questi elementi hanno infatti un'influenza importante sulle prestazioni, e quindi sulla progettazione, nei confronti dell'azione sismica. Il sistema steelMAX® è stato qualificato anche rispetto alla resistenza al fuoco. Le prove sperimentali sui sistemi di parete e di solaio in scala reale, svolte presso il laboratorio notificato CSI di Bollate, hanno permesso la determinazione del REI. Il protocollo di prova, trattandosi di elementi strutturali, prevedeva oltre all'applicazione del carico d'incendio anche l'applicazione del carico agente in esercizio su di una struttura di riferimento. I risultati delle prove hanno permesso di qualificare l'intero sistema costruttivo steelMAX® verificando e dimostrando i vantaggi e la competitività per la realizzazione di edifici residenziali in caso di azioni eccezionali come il fuoco anche in zona sismica.



Fig. 3 | Stratigrafia.

Per quanto riguarda la scelta dei materiali di isolamento e di finitura che compongono i pacchetti di parete e di solaio, sono state effettuate delle ricerche e degli studi in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli studi di Trento. Le modellazioni di diverse

soluzioni di chiusura verticale ed orizzontale, tramite software agli Elementi Finiti hanno permesso di valutarne il comportamento reale in termini di prestazioni termiche e di sostenibilità. Per validare le performance di isolamento acustico di un solaio realizzato con struttura in profili piegati a freddo steelMAX®, completato con una soluzione “base”, sono state inoltre effettuate delle prove sperimentali su campioni in scala reale presso il laboratorio notificato CSI di Bollate.

Le fasi della sperimentazione tecnica del sistema costruttivo steelMAX®

La necessità di sfruttare in modo efficiente le strutture e la complessità della risposta di profili sottili formati a freddo hanno richiesto un'esaustiva caratterizzazione del comportamento dell'intero sistema, ottenibile principalmente mediante prove sperimentali.

Per questo motivo la fase di ricerca e sviluppo del sistema costruttivo steelMAX® è avvenuta in collaborazione con l'Università degli Studi di Trento. Presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica, sono state condotte prove full-scale che hanno interessato il profilo singolo, il profilo composto e i sistemi intelaiati di parete e di solaio ottenuti dall'assemblaggio di profili singoli. Ulteriori prove sono state effettuate sui sistemi di vincolo a terra, sui materiali di rivestimento e sulle connessioni struttura - rivestimento. Nel dettaglio sono state svolte oltre 211 prove di compressione su spezzoni di profilo per determinare il carico ultimo e le modalità di collasso, e 90 prove di flessione sul profilo singolo (figura 4).

Per quanto riguarda i sottosistemi strutturali sono state effettuate 21 prove su differenti tipologie di parete sottoposte a carico verticale ed orizzontale (figure 5-6-7), con protocolli di carico in accordo con le raccomandazioni europee. Infine sono state eseguite 4 prove sui sistemi di solaio (figure 8-9). Il programma sperimentale ha permesso di determinare i carichi ultimi e le modalità di collasso degli elementi e delle sottostrutture principali, e di valutare la risposta globale strutturale del sistema nei confronti dei carichi di progetto. La fase più estesa della campagna sperimentale ha interessato le prove su diverse tipologie di pannelli di parete sottoposti a carichi verticali e orizzontali. Lo scopo dei test è stato quello di determinare i valori di rigidità e di resistenza delle diverse configurazioni di parete, caratterizzate da differenti geometrie (con e senza apertura), sistemi di controvento e rivestimenti.

Una volta definite le caratteristiche tecniche e strutturali del sistema costruttivo steelMAX® è stata avviata una nuova sperimentazione, complementare ed integrativa della precedente, denominata progetto di ricerca isolMAX, per lo studio del confort abitativo degli ambienti realizzati con detto innovativo sistema costruttivo. Il progetto di collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento, la Polzunov Altai State Technical University, Enerconsult e la Fondazione Bruno Kessler, ha visto la progettazione e la realizzazione a Barnaul, in Siberia meridionale, nella regione russa dell'Altai, di un edificio (figura 10) laboratorio in un sito particolarmente critico per le condizioni ambientali.

L'edificio laboratorio è stato attrezzato con un sofisticato sistema di monitoraggio interno ed esterno che ha consentito di rilevare



Fig. 4 | Prova di compressione su profilo SteelMAX.



Fig. 5 | Set up Università di Trento - steelMAX parete tipo.

il comportamento nel tempo sia a livello energetico/ambientale che strutturale dell'edificio stesso. I dati acquisiti, opportunamente verificati, hanno permesso di validare definite soluzioni costruttive



Fig. 6 | Prova sperimentale parete steelMAX con lastre di rivestimento.

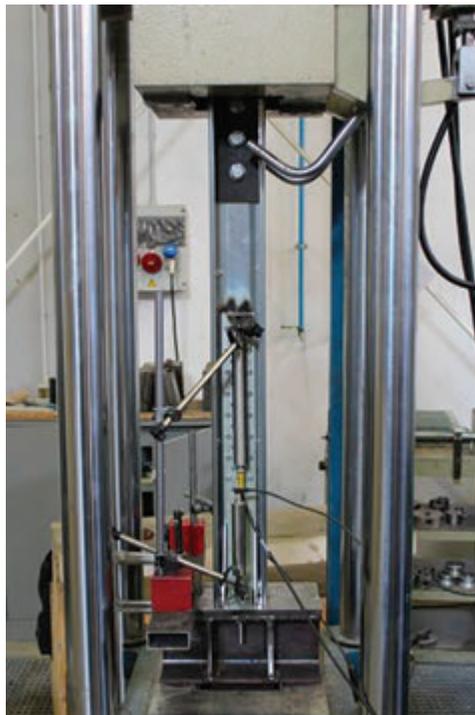
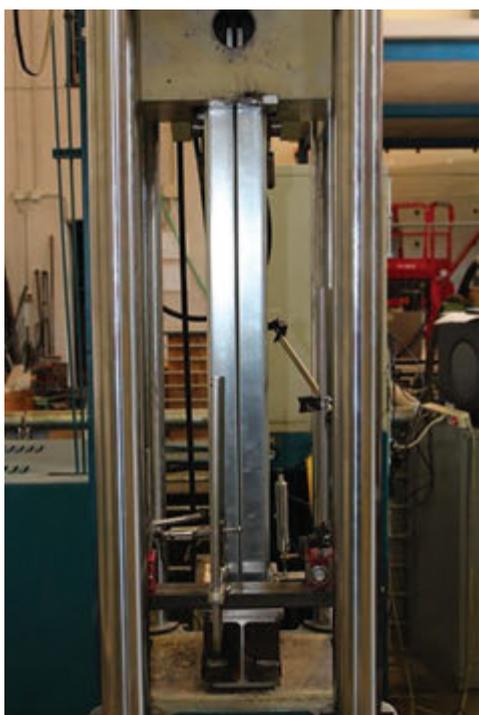


Fig. 7 | Prova sperimentale Hold-down.

e tracciare le linee guida per garantire la costruzione di edifici confortevoli ed efficienti con il sistema costruttivo steelMAX® anche in climi estremi. Per conseguire questi importanti risultati che qualificano in via definitiva ed universale il sistema costruttivo steelMAX®, il progetto di ricerca si è sviluppato secondo le seguenti macro fasi:

1. Progetto dell'edificio laboratorio: definite area di costruzione, dimensioni ed abitabilità dell'edificio, la progettazione del modulo tecnologico si è concentrata sull'impiego esclusivo degli elementi e materiali del sistema costruttivo steelMAX®;
2. Progetto del sistema di monitoraggio: riguarda lo studio e la valutazione delle grandezze da misurare per poter indagare il comportamento energetico/ambientale e strutturale dell'edificio laboratorio, la scelta dei sensori, il loro posizionamento e il sistema di acquisizione e gestione dei dati registrati;
3. Pre-assemblaggio: la realizzazione del prototipo in Italia ha permesso di verificare la

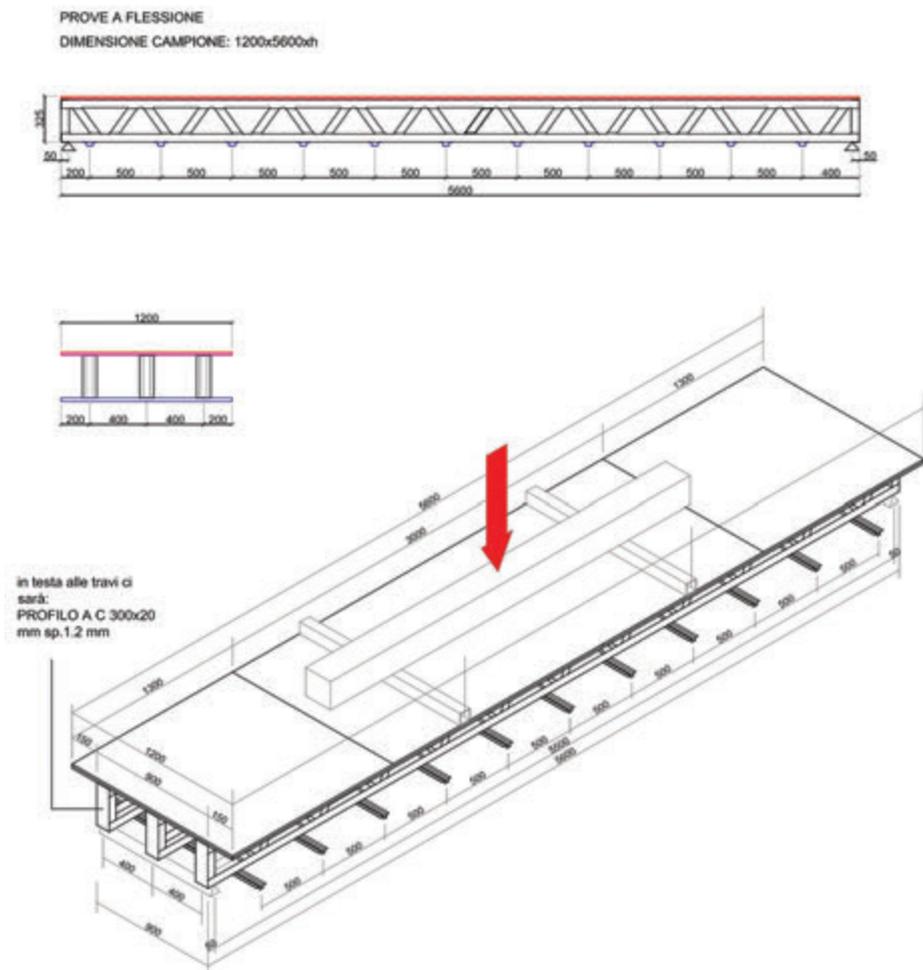


Fig. 8 | Set-up prova di carico solaio steelMAX.



Fig. 9 | Prova di carico solaio steelMAX.

- fase di progettazione e di produzione evitando possibili criticità in cantiere a Barnaul;
4. Smontaggio e Imballaggio: la struttura è stata smontata e preparata per l'imballo;
 5. Costruzione a Barnaul: messa in opera della struttura, dell'involucro, dei sensori e degli impianti, verifica del funzionamento del sistema di monitoraggio e di trasmissione dei dati;
 6. Monitoraggio: acquisizione dati.

Le fasi dello sviluppo del progetto di ricerca IsolMAX, per la qualificazione del sistema costruttivo steelMAX®. Esposizione dei problemi e soluzioni adottate.

A) Definizione del progetto

La fase iniziale ha riguardato l'elaborazione del progetto architettonico e strutturale dell'edificio laboratorio di destinazione residenziale, sito a Barnaul nella Russia siberiana (figure 11-12), e parallelamente la ricerca e la raccolta dei prodotti da utilizzare per realizzarne l'involucro. Per svolgere al meglio questa fase di ricerca e sviluppo Cogi si è avvalsa del supporto del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento-DICAM. Questo processo ha permesso di valutare e comparare soluzioni diverse al fine di avanzare una proposta iniziale da cui partire facendo convergere sinergicamente tutti gli aspetti che concorrono alla realizzazione di un edificio laboratorio concepito per garantire alti livelli di durabilità e comfort, in un clima estremo come quello della Siberia.

Il sito di costruzione, così come le abitudini degli inquilini e la concezione degli spazi hanno influito sull'architettura e sulla distribuzione interna degli ambienti. L'edificio si sviluppa su di un unico livello di circa 80 m². E attraverso una serie di modifiche ed aggiustamenti successivi è andata definendosi la proposta finale di un rettangolo di dimensioni 7,80 x 10,3 m, così composto: una bussola di ingresso dalla quale si accede al locale tecnico e alla zona giorno della casa con la cucina e il soggiorno. Da questo ambiente, diversamente da come siamo abituati, si accede direttamente, cioè senza passare da un disimpegno, a ciascuna delle due camere e al bagno.



Fig. 10 | Progetto di ricerca IsolMAX: render.

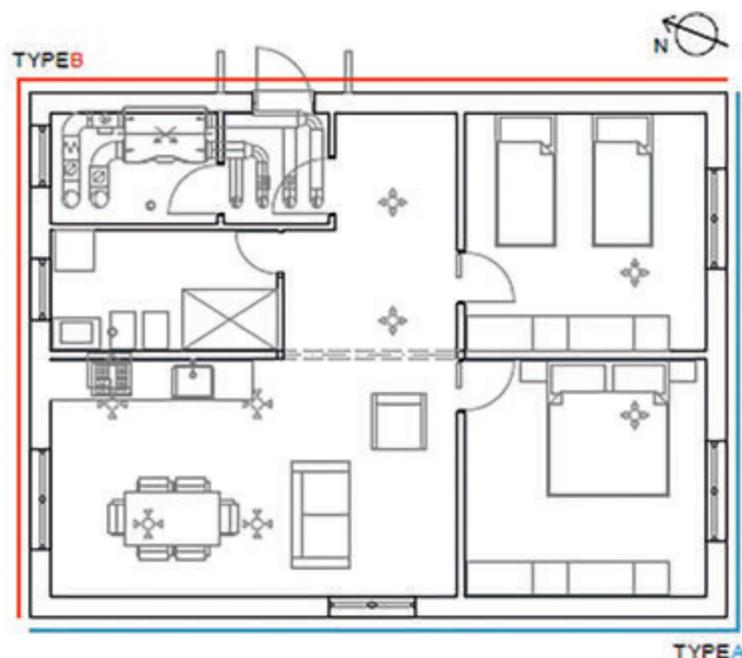


Fig. 11 | Progetto di ricerca isolMAX: pianta architettonica.

B) La struttura

Per la progettazione della struttura, non essendo i profili sottili formati a freddo normati dai codici di calcolo russi, si è fatto riferimento, su suggerimento degli stessi professori di strutture dell'Università Politecnica dell'Alta, agli Eurocodici e ai risultati della sperimentazione condotta presso l'Università degli Studi di Trento con il dipartimento DICAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica all'interno del progetto di ricerca steelMAX®. Per quanto riguarda l'analisi sismica, si è ipotizzato

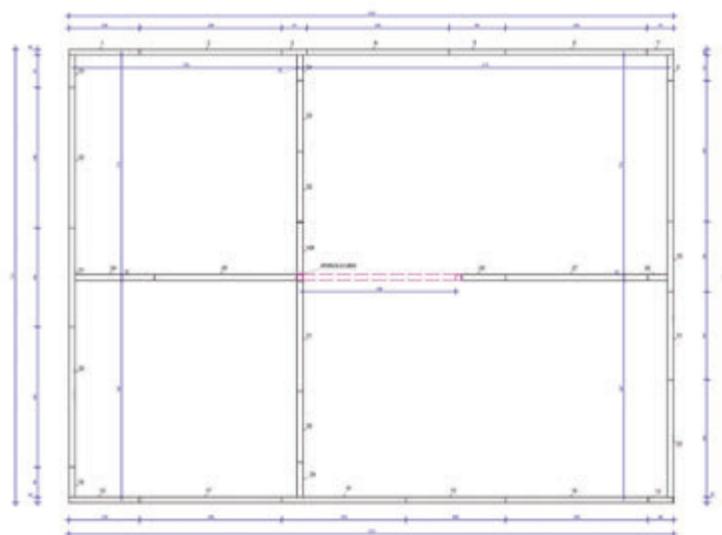


Fig. 12 | Tavola di dettaglio: Pianta strutturale.

di considerare i parametri di una zona 3, come Trento. Una volta dimensionata e definita la struttura si è proceduto al disegno tridimensionale della stessa per poter estrapolare gli elaborati di produzione e di assemblaggio. Gli elaborati di assemblaggio riguardano le singole componenti principali, detti anche Assembly; pareti, travi reticolari e paretine di copertura, ed hanno lo scopo di poterle assemblare in maniera corretta, individuando e giustapponendo i singoli profili che le compongono.

Gli elaborati di produzione forniscono invece le indicazioni per

poter individuare e disporre correttamente le varie componenti a livello d'insieme (figure 15-16).

La struttura è così costituita dalle seguenti componenti principali:

- le pareti, che costituiscono la struttura in elevazione (figura 13);
- le travi reticolari, che costituiscono il piano di solaio (figura 14);
- le paretine di copertura, che realizzano le pendenze per le due falde del tetto.

C) L'involucro edilizio

L'involucro stratificato "a secco" può essere concepito come un sistema "a cipolla", costituito cioè da diversi strati ognuno dei quali realizzato con un determinato materiale avente prestazioni prestabilite in grado di assolvere a una specifica funzione (isolante,

finitura, etc.). Nella fase iniziale del progetto, è stata necessaria un'ampia e attenta attività di ricerca e di valutazione delle prestazioni dei materiali per poter definire le stratigrafie più opportune delle chiusure opache verticali e orizzontali per le condizioni ambientali previste. Data la necessità di reperire i materiali necessari per l'involucro direttamente in Russia da distributori locali non noti a priori, la caratterizzazione delle prestazioni è stata fondamentale per qualificare il materiale indipendentemente dal produttore. In accordo con i partner della Polzunov Altai State Technical University di Barnaul, e dopo averne discusso dietro loro richiesta, sono state messe a punto due diverse soluzioni di chiusura verticale perimetrale tipo A (CVA) e tipo B (CVB) (figure 17-18) per poterne confrontare il comportamento. In particolare, la CVA non è dotata di isolamento a cappotto mentre la CVB, orientata ad est e nord (due esposizioni che risentono meno dell'irraggiamento solare diretto), ne è provvista. Lo spessore totale delle due pareti rimane comunque invariato così come la loro trasmittanza termica. Sono stati svolti ulteriori particolari costruttivi (figure 19-21).

D) La verifica del sistema struttura/rivestimento

Le indicazioni tecniche sono state sviluppate anche a seguito di un test sulla posa eseguito presso la sede operativa di Cogi. Una volta prodotti, i vari profili steelMAX® sono stati assemblati per realizzare le componenti strutturali di parete e di solaio (figura 22); concluso l'assemblaggio delle componenti strutturali si è proceduto con il premontaggio, ovvero all'unione delle varie componenti per creare l'intero scheletro portante del prototipo. Una volta disposte le travi reticolari di solaio, si è proceduto con la posa dei pannelli in OSB3 al fine di realizzare il piano di appoggio per le paretine di copertura che costituiranno l'appoggio dei pannelli sandwich di falda. A livello di chiusure verticali, per una porzione dell'edificio, si è proceduto con la posa sul lato esterno delle lastre in fibrocemento e del cappotto, mentre sul lato interno delle lastre in gessofibra ed in adiacenza la realizzazione della controparete con profili in cartongesso rivestiti con una doppia lastra in cartongesso.

E) La fase di smontaggio e imballaggio

La struttura è stata successivamente smontata. Le componenti strutturali sulle quali sono stati installati i sensori sono state accuratamente protette in modo tale di evitare il danneggiamento dell'apparecchiatura durante le fasi di carico, trasporto e scarico.

Sono stati realizzati degli imballi compatti e facilmente movimentabili, catalogati ed organizzati per gruppi (pareti perimetrali, pareti interne, travi reticolari, copertura) in modo da essere sia caricati/scaricati agevolmente, sia facilmente individuabili una volta stoccati nel punto di raccolta per poi essere trasportati in cantiere in fasi successive.

All'interno dell'imballo ciascuna componente pre-

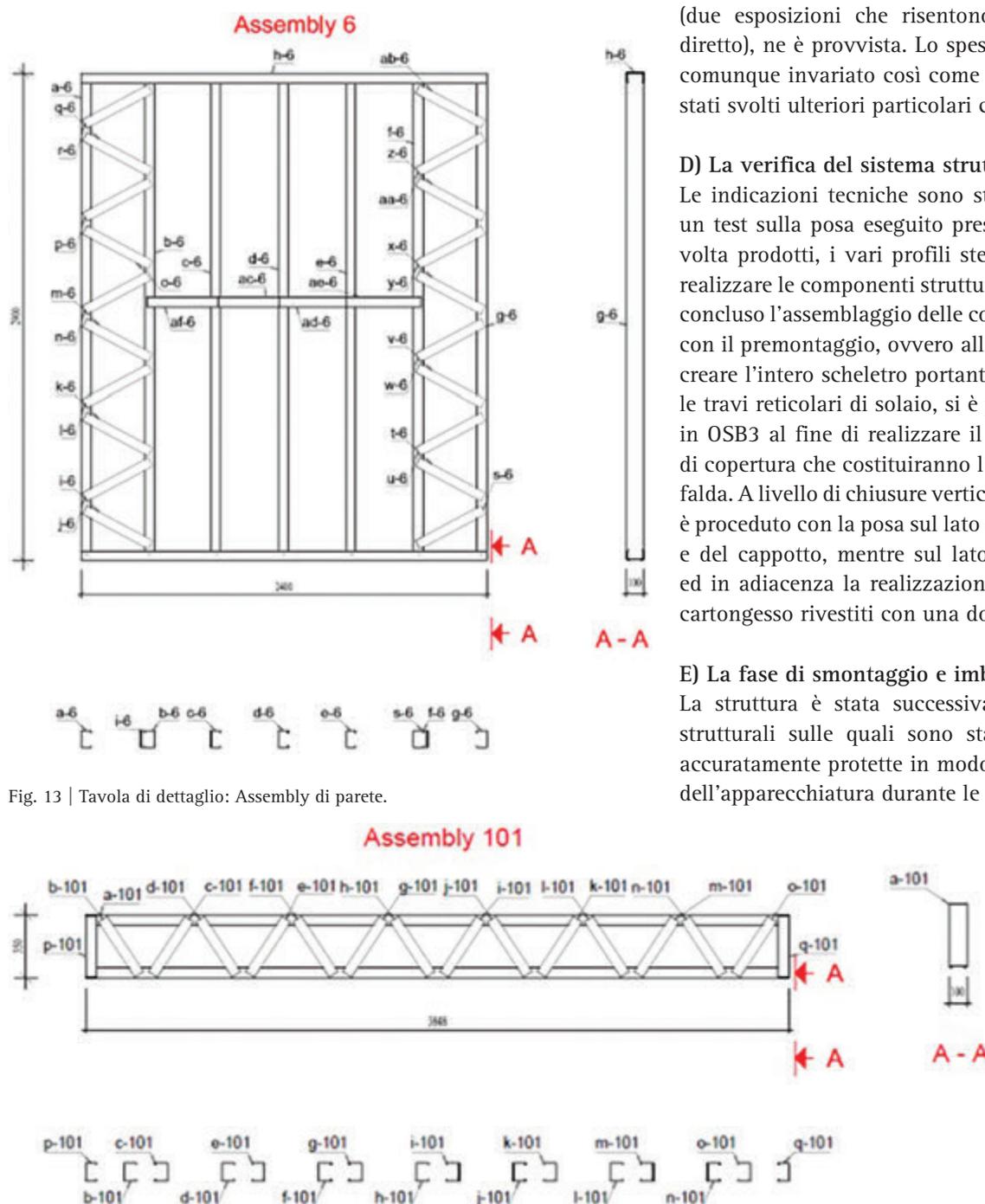


Fig. 13 | Tavola di dettaglio: Assembly di parete.

Fig. 14 | Tavola di dettaglio: Assembly di solaio.

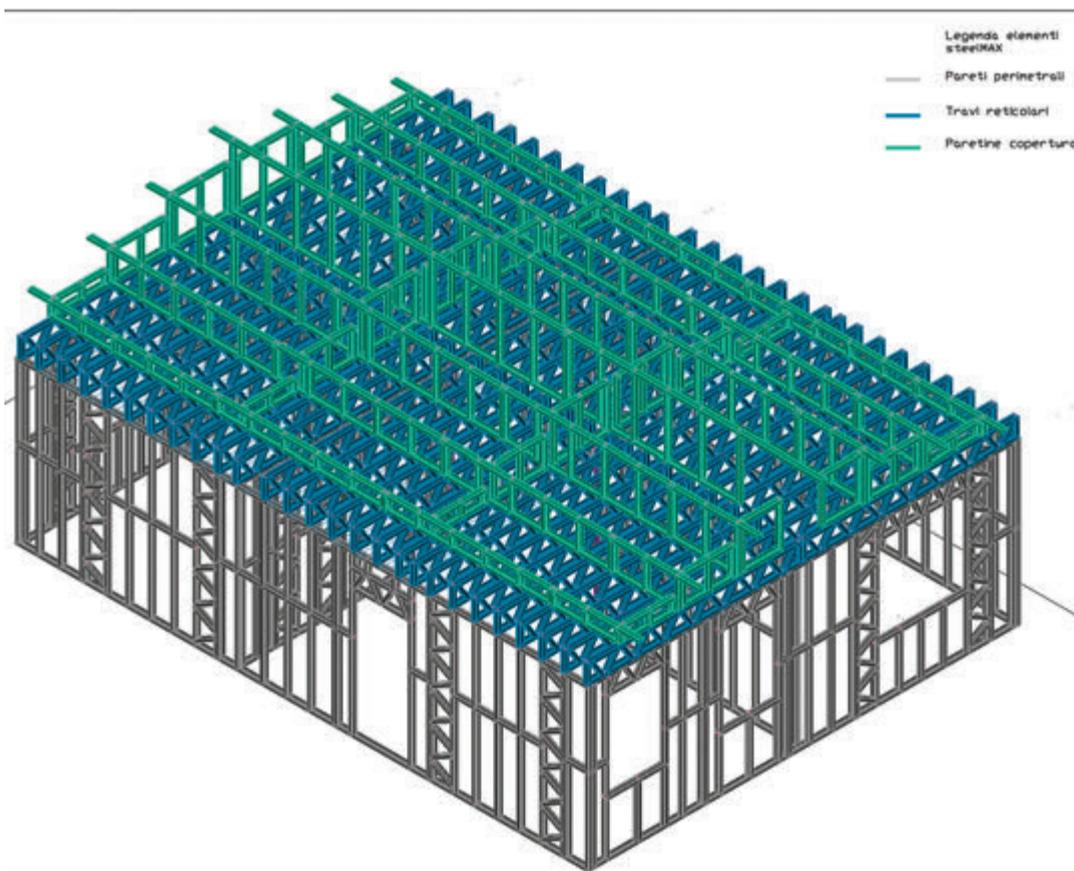


Fig. 15 | Tavola di dettaglio: 3D strutturale.



Fig. 16 | Fase di cantiere.

assemblata è stata resa riconoscibile mediante un numero identificativo univoco per ciascun Assembly, numero che la collocava attraverso gli elaborati di progetto all'interno della struttura nel suo insieme. Hanno completato il carico le casse con le staffe di ancoraggio, i profili pressopiegati, i profili per le contropareti e per il controsoffitto. Di seguito la fase di carico

del camion che avrebbe trasportato la struttura nel sito di stoccaggio russo (figura 23).

F) Il cantiere - il montaggio della struttura

La gestione delle tempistiche come da cronoprogramma nelle fasi di progettazione, produzione e di trasporto è stata fondamentale per poter organizzare il cantiere a cavallo tra la stagione primaverile e quella estiva. Le condizioni climatiche hanno rappresentato infatti una variabile non trascurabile anche per la sistemazione del sito e per la predisposizione della platea di fondazione da parte dei colleghi russi.

Grazie al precedente lavoro di catalogazione e di organizzazione delle componenti in imballi precisi è stato possibile gestire al meglio la fase di montaggio della struttura. Il primo giorno sono state disposte tutte le pareti perimetrali ed interne, nei tre giorni successivi sono state posate le travi reticolari di solaio e i pannelli in OSB3 (reperiti in loco) e le pareti di copertura per l'appoggio del rivestimento di copertura in pannelli sandwich. Sono inoltre state realizzate le strutture per le sporgenze delle due falde e sono stati predisposti i profili per la tettoia in corrispondenza dell'ingresso dell'abitazione, concludendo la messa in opera dell'intera struttura metallica. Nei giorni seguenti si è proceduto con la posa del rivestimento esterno, costituito da lastre in fibrocemento e dal tessuto traspirante posto a contatto tra lastra e profili. Nell'arco di nove giorni la struttura (intesa come insieme di componenti strutturali in acciaio e lastre di rivestimento) è stata completata. La fase di realizzazione dell'involucro, e dell'impiantistica costituita dal

riscaldamento a pavimento e dalla VMC, dell'impianto idraulico sanitario e dalle opere di finitura ha richiesto altri 45 gg per il completamento (figure 24-26).

G) Il monitoraggio ambientale

In fase di progettazione sono state analizzate diverse casistiche

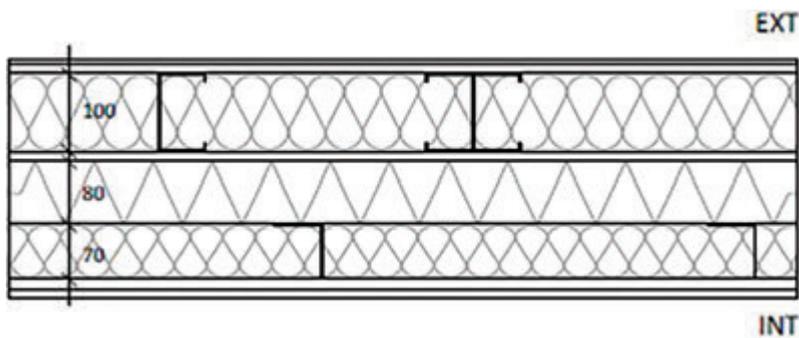


Fig. 17 | Chiusura verticale perimetrale CVA.

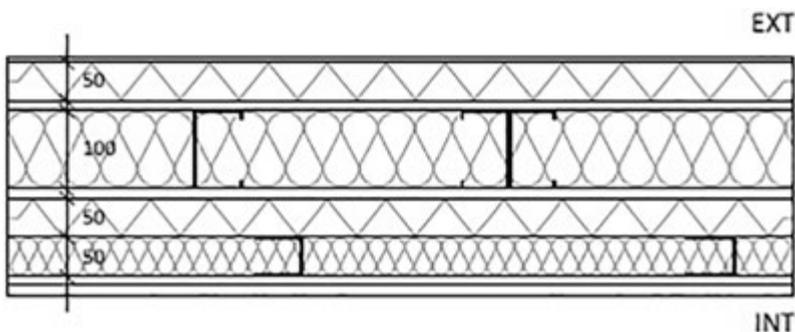


Fig. 18 | Chiusura verticale perimetrale CVB.

con condizioni al contorno differenti, tali da valutare il comportamento dell'involucro a fronte di condizioni climatiche tipiche sia dell'Italia (per avere un riscontro anche sull'utilizzo delle soluzioni sul territorio nazionale) che della Russia (al fine di approfondire lo studio in climi estremi). Si presenta in figura 28 il risultato dell'analisi definitiva, dove, per il calcolo, si sono previste

il ponte termico.

I sensori "ambientali" sono sonde multifunzionali dotate di trasmettitori di misura per la temperatura, l'umidità e il livello di CO₂ interno. Vengono montati ad altezza uomo in ognuna delle stanze principali (ingresso, soggiorno-cucina, bagno e camere

una temperatura interna di 22°C e una esterna di -12°C con picchi fino a -40°C, in linea con le condizioni medie che si sviluppano a Barnaul nella stagione invernale. Si ricorda che proprio grazie all'avanzamento in fase progettuale di questi studi è stato deciso di modificare il pacchetto della stratigrafia muraria. A differenza di quanto inizialmente previsto, infatti, si è reso necessario l'inserimento di uno strato di materiale isolante che dividesse il telaio strutturale in acciaio da quello necessario per il montaggio della controparete, anch'essa realizzata in materiale metallico. La possibile continuità delle due strutture, legata principalmente al passo dei montanti, dei traversi e alla presenza dei controventi di parete, avrebbe infatti potuto costituire un percorso privilegiato per il flusso termico con conseguenze negative per il mantenimento della temperatura interna. Lo strato di isolamento così inserito garantisce l'interruzione certa di questa eventuale continuità, evitando conseguentemente

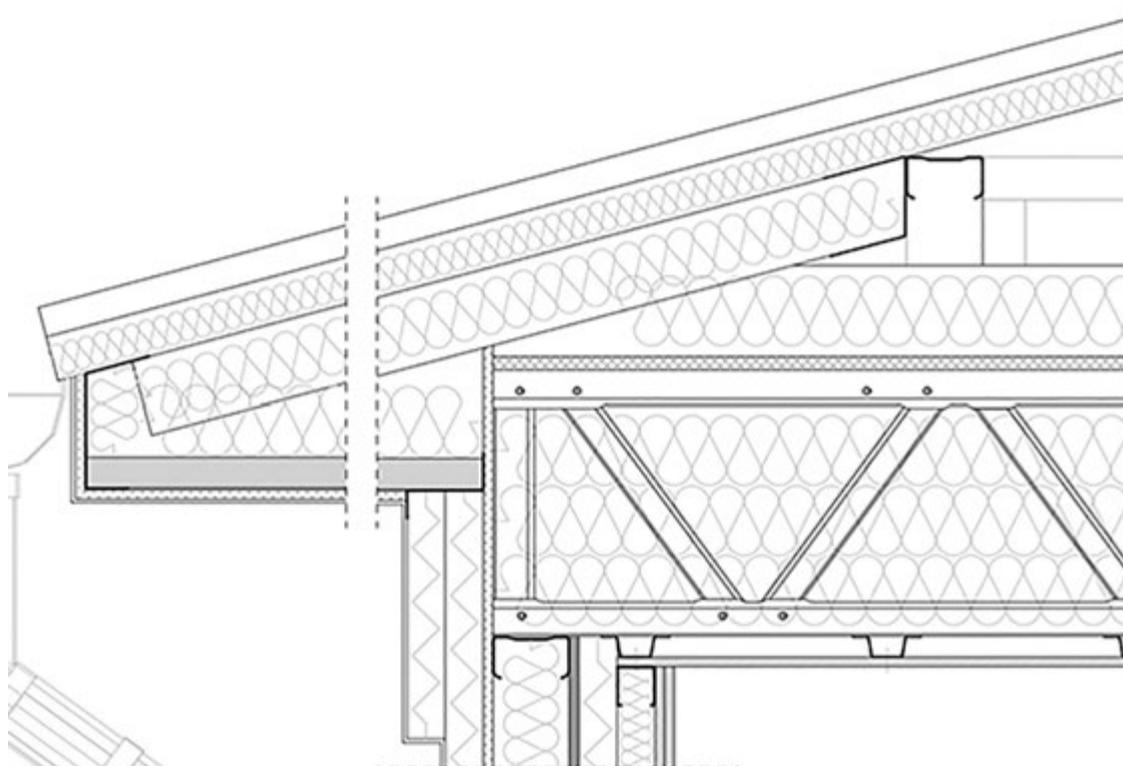


Fig. 19 | Dettaglio costruttivo di copertura.

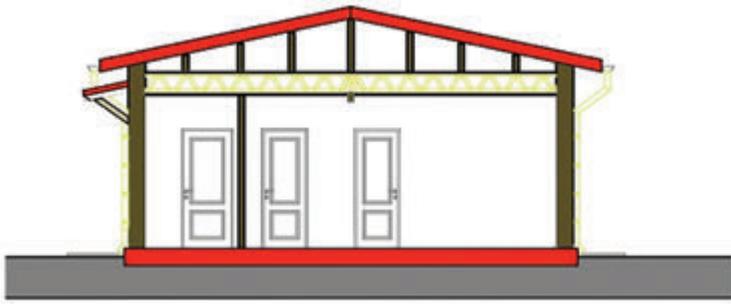


Fig. 20 | Sezione copertura.

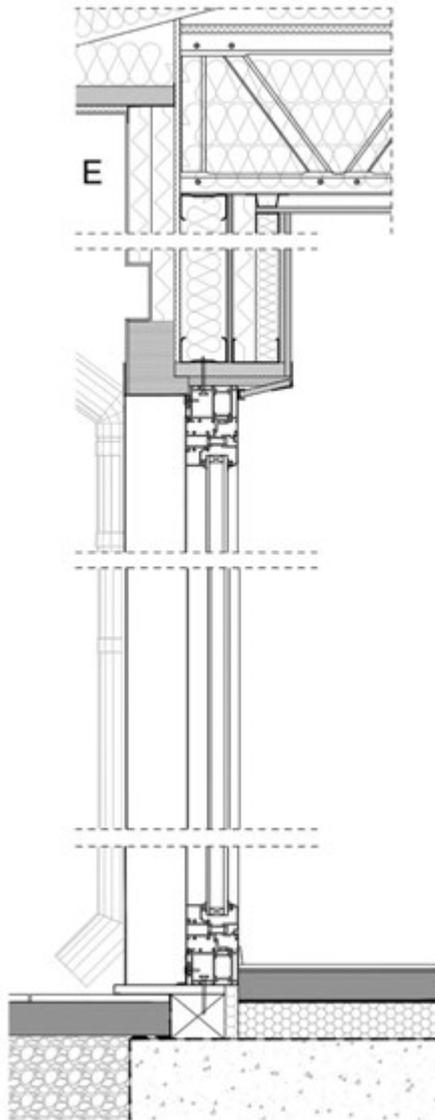


Fig. 21 | Dettaglio costruttivo chiusura verticale con serramento.

da letto). Ogni sensore è dotato di schermo LCD per una visione istantanea dei dati misurati (figura 27 bis).

I sensori di temperatura (tipo A) consentono una misura a contatto diretto delle superfici oggetto di studio. Il principio di funzionamento si basa sulla misura della resistenza dell'elemento metallico che li compone: una differenza di un grado di temperatura comporta una variazione di resistenza che viene convertita in segnale elettrico. Vengono applicati sulla specifica superficie attraverso apposito



Fig. 22 | Fase di montaggio per test posa.

collante. I sensori (tipo B) consentono una misura di temperatura per immersione in fluido (aria o acqua). Diversamente dai tipo A non necessitano dunque un'adesione ad una specifica superficie e vengono utilizzati per la misura della temperatura dell'aria in condotti o in intercapedini e del pavimento dove la posa con adesivo risulterebbe complessa (figure 27, 30 e 31).

La stazione meteorologica è uno strumento multifunzione in grado di rilevare, controllare e monitorare in modo accurato e preciso, mediante appositi sensori, la velocità del vento, la sua direzione, la radiazione solare incidente, la temperatura e l'umidità esterna. Si compone in questo senso di anemometro e banderuola, piranometro, termometro e igrometro. Il sistema viene montato su un apposito sostegno verticale, a una distanza dall'edificio tale da limitarne le interferenze (figura 29).

H) Il monitoraggio strutturale

Obiettivo del monitoraggio strutturale è confermare l'efficacia del sistema concepito in fase di progetto ed in particolare:

- verificare che i gradienti termici estremi, che possono interessare la struttura, non inducano deformazioni incompatibili nei profili e/o danneggiamenti nei collegamenti tra profili e pannelli di rivestimento (figure 32-34);
- non si verificano fenomeni di instabilità/imbozzamento nei profili.
- Il primo passo ha riguardato la valutazione e la scelta dei parametri da monitorare.

Per la componente trave reticolare si è deciso di misurare le seguenti grandezze:

- deformazione assiale dei correnti;
- deformazione assiale delle diagonali in prossimità dell'appoggio in corrispondenza della parete esterna;
- abbassamento verticale in prossimità della mezzeria;
- temperatura superficiale del corrente superiore in corrispondenza dell'ala del profilo.



Fig. 23 | Trasporto della struttura steelMAX.

Per quanto riguarda le componenti di parete perimetrale si è deciso di misurare le seguenti grandezze:

- deformazione assiale del montante di parete nord-est in corrispondenza delle ali e sull'anima del profilo;
- deformazione assiale del traverso superiore di parete nord-est;
- temperatura superficiale del montante e del traverso superiore in corrispondenza dell'ala del profilo.
- lo spostamento verticale della trave reticolare di copertura attraverso un sensore di spostamento induttivo ("palpatore"). Il sensore è costituito da un corpo fisso esterno, al quale è fisicamente collegato anche il cavo di trasmissione del segnale, e da un corpo mobile interno (stelo) dotato di una molla. Tale corpo mobile, messo a contrasto con l'elemento di cui si vuole conoscere lo spostamento, genera un segnale elettrico, per il principio dell'induzione elettromagnetica, proporzionale alla sua posizione rispetto al corpo fisso (figure 35-36).



Fig. 24 | Fase iniziale di montaggio.

Alcune realizzazioni del sistema costruttivo steelMAX®

Edificio monofamiliare a Mozzecane (VR).

La villetta è articolata su due livelli per un totale di oltre 220 m2 considerando anche le terrazze che caratterizzano il piano primo. La zona giorno, un locale di servizio ed il garage occupano il piano terra, mentre la zona notte ed un altro servizio sono collocati al piano primo.

Per via della conformazione oblunga della zona giorno è stato necessario integrare la struttura con un telaio in profili laminati a caldo. La tecnologia interamente "a secco" steelMAX® ha permesso di ultimare il cantiere in tempi rapidi e con costi certi. Arch. Corrado Faccioli (figura 37).



Fig. 25 | Completamento del rivestimento.

Edificio monofamiliare a San Severino Marche (MC).

L'edificio residenziale è stato concepito interamente con tecnologia "a secco".

La struttura portante è costituita da pannelli steelMAX® realizzati in profili sottili formati a freddo, e si sviluppa su un unico livello con copertura a due falde. La versatilità del sistema costruttivo steelMAX® ha permesso di progettare una stratigrafia in grado di garantire



Fig. 26 | Finiture interne degli ambienti.

comfort, efficienza energetica e sostenibilità dell'involucro, unitamente alla possibilità di variare la finitura delle facciate stesse. Ing. Ottavio Mercuri (figura 38).



Fig. 27 | Posizione sensori per il monitoraggio ambientale.

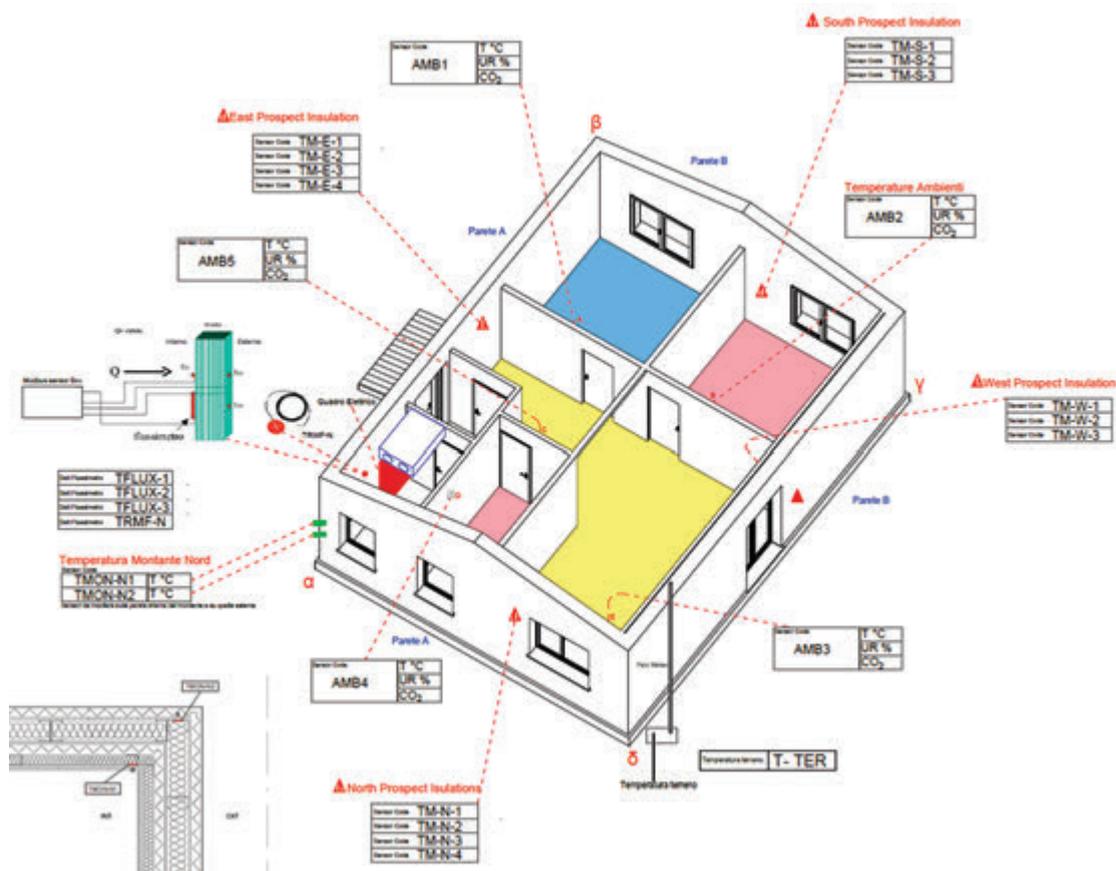


Fig. 27 bis | Disposizione dei sensori ambientali

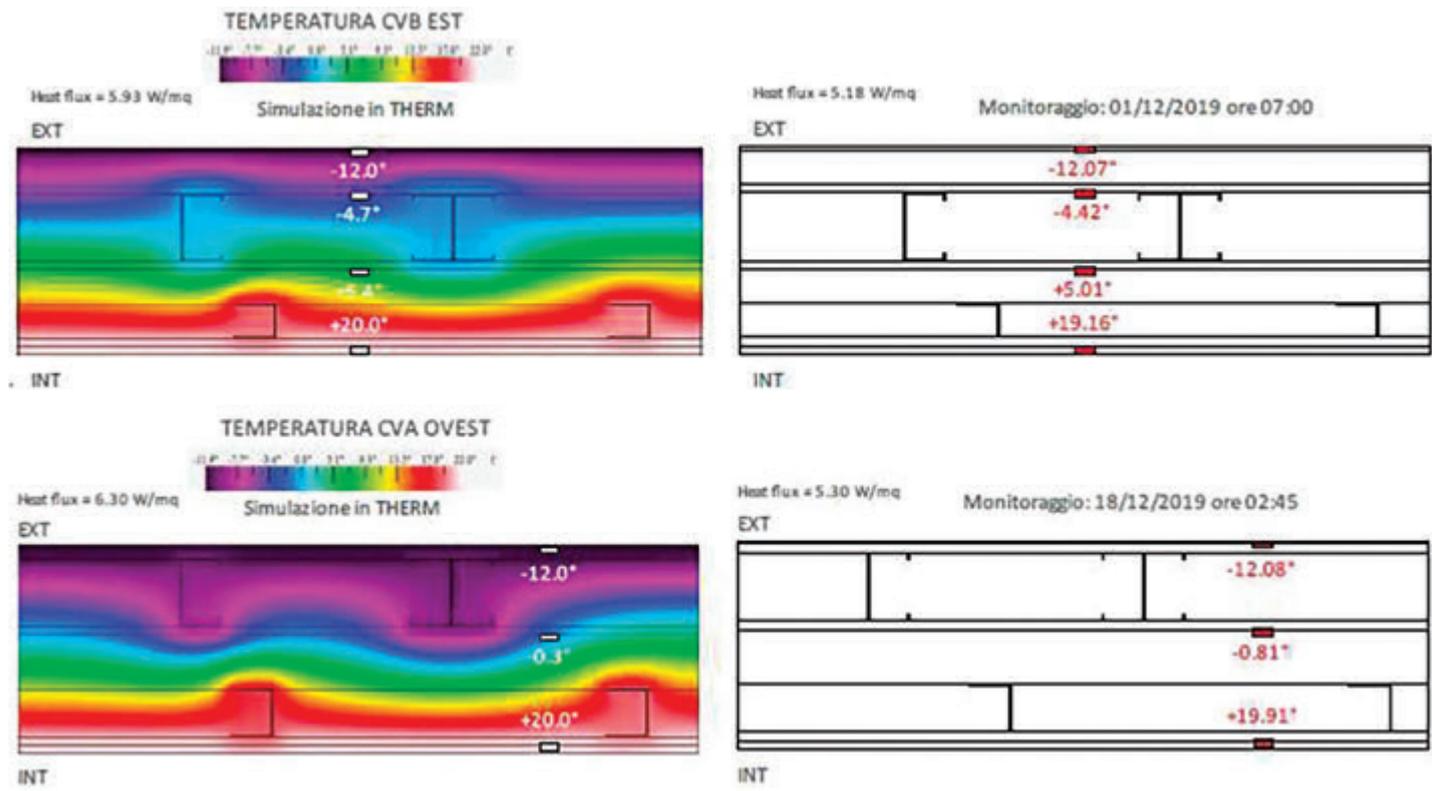


Fig. 28 | Prestazioni energetiche delle stratigrafie.



Fig. 29 | Stazione meteorologia.

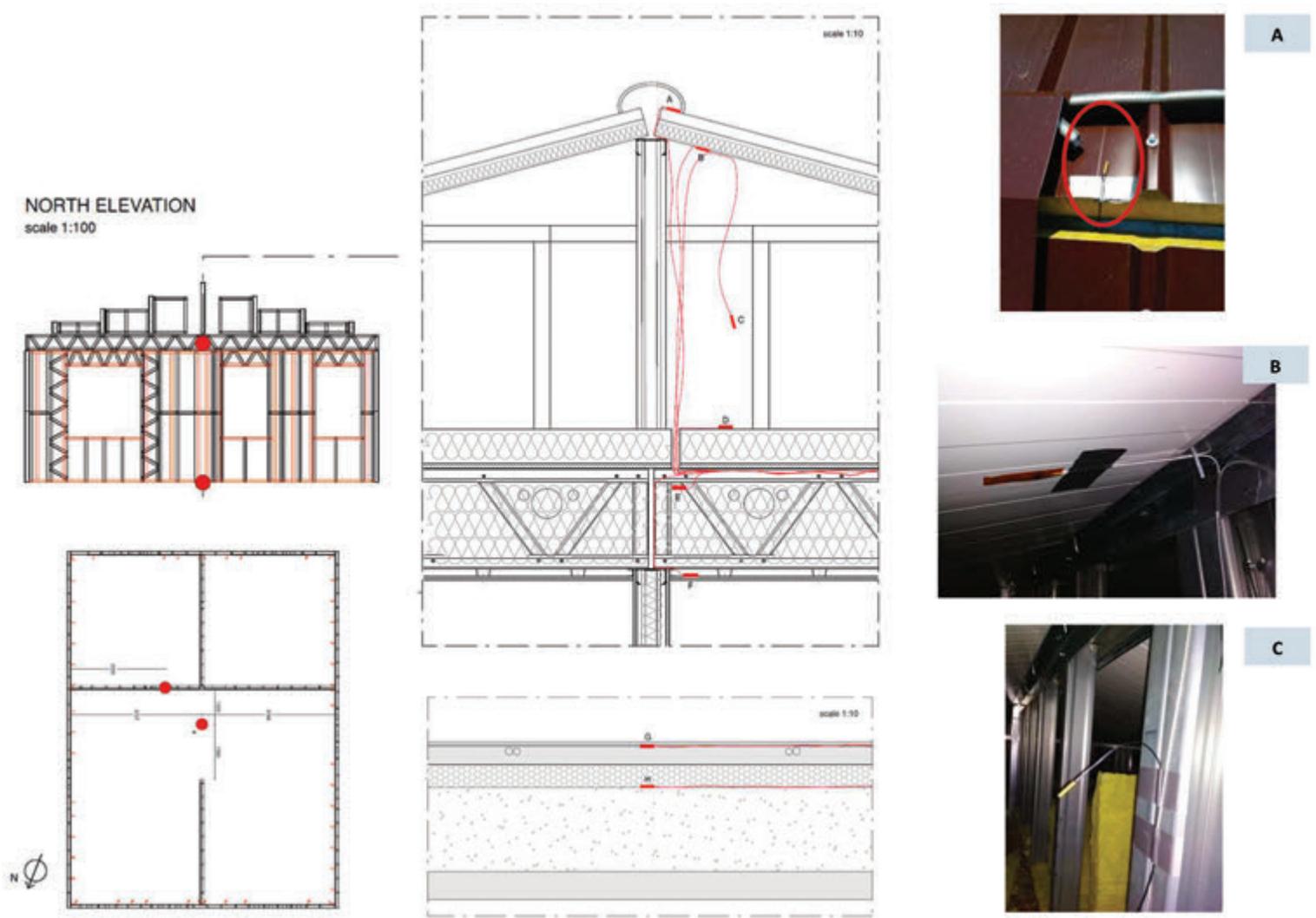


Fig. 30 | Posizione sensori ambientali 1/2.

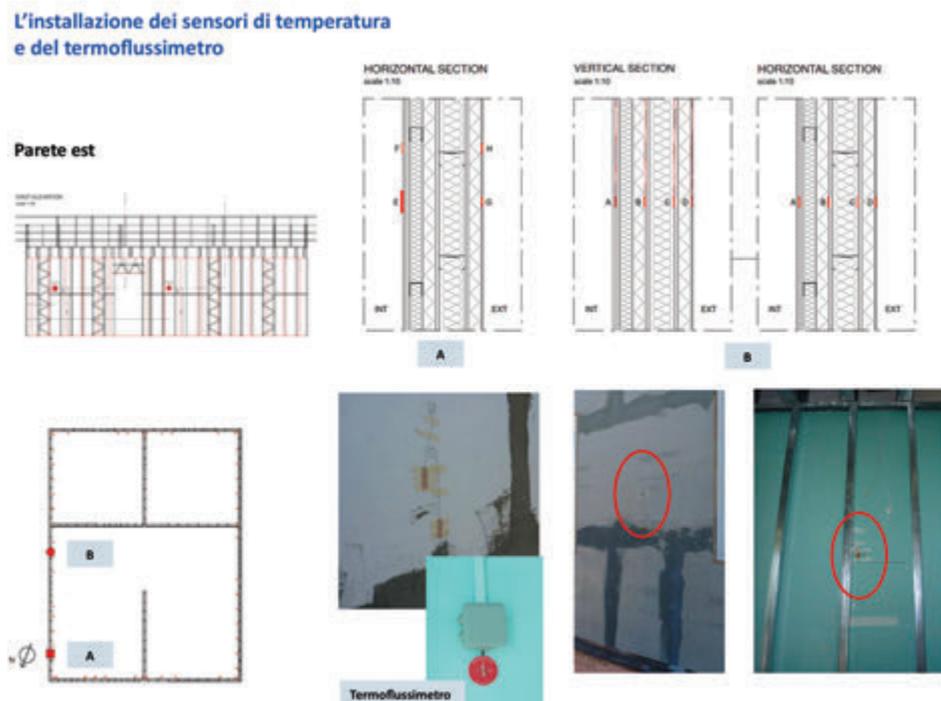


Fig. 31 | Posizione sensori ambientali 2/2.



Fig. 32 | Sensori a fibra ottica.

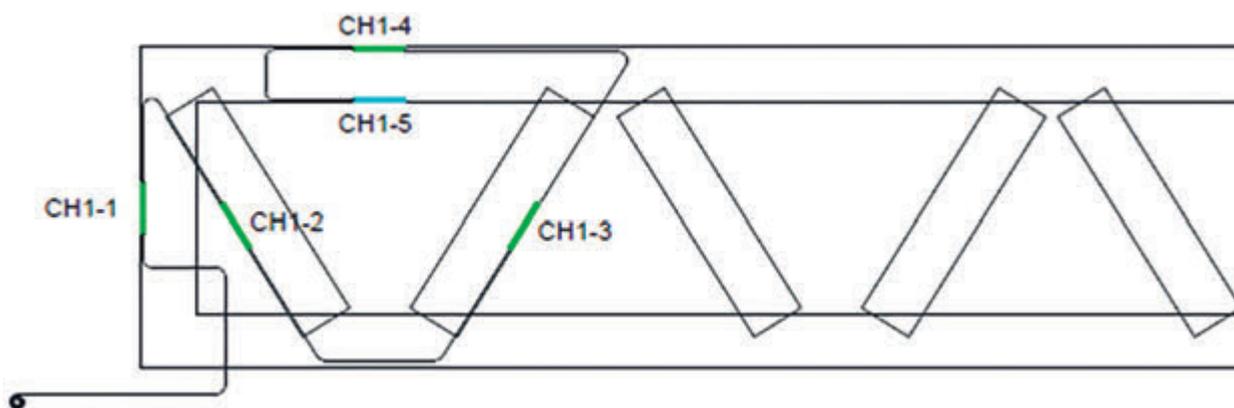


Fig. 33 | Posizione sensori su trave steelMAX.



Fig. 34 | Sensori fibra ottica.

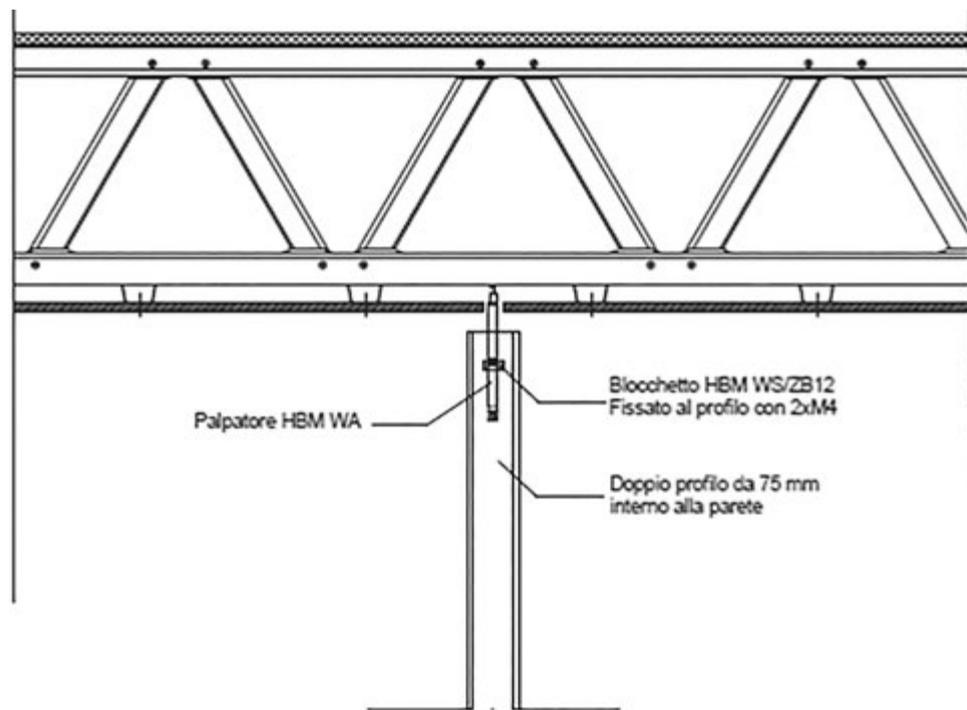


Fig. 35 | Sensore di spostamento induttivo "palpatore".



Fig. 36 | Posizionamento "palpatore".



Fig. 37 | Edificio a Mozzecane.



Fig. 38 | Edificio a San Severino Marche.

Riferimenti Bibliografici

- D. Dubina, V. Ungureanu, R. Landolfo, "Design of cold formed steel structures", Ernst and Sohn, 2012
- Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, "steelMAX: Experimental and numerical analysis of the performance of CFS profiles and subassemblies under elementary and complex states of stress", Research report, 2014
- M. Accorti, N. Baldassino, R. Zandonini, F. Scavazza, C.A. Rogers, "Response of CFS Sheathed Shear Walls", Structures, 7, p. 100-112, 2016
- M. Accorti, N. Baldassino, R. Zandonini, F. Scavazza, C.A. Rogers, "Cyclic response of CFS framed shear walls", in Proceedings of the Eighth International Conference on Advances in Steel Structures, Lisbon. Atti di: ICASS 2015, Lisbon, 22-24 July 2015
- N. Baldassino, M. Accorti, R. Zandonini, F. Scavazza, C.A. Rogers, "Lateral loading response of CFS framed shear walls sheathed with cement board panels", in Proceedings of the 22nd International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures, 2014, p. 793-807. Atti di: 22nd International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures, St. Louis (USA), 5-6, November 2014
- N. Baldassino, R. Zandonini, G. Manzini, F. Scavazza, C.A. Rogers, "Investigation on Cold-Formed Steel Braced Walls", in Advancements and Achievements in Structural Steel, Singapore: RESEARCH PUBLISHING SERVICES, 2013, p. 231-236. - ISBN: 9789810771379. Atti di: 10th Pacific Structural Steel Conference - PSSC2013, Singapore, 8-11 October 2013
- N. Baldassino, G. Torresani, R. Zandonini, G. Manzini, F. Scavazza, "On the response of cold-formed steel sections under compression", in Research and Applications in Structural Engineering, Mechanics and Computation, Leiden- London: CRC Press - Balkema - Taylor & Francis Group, 2013, p. 371-372. - ISBN: 9781138000612. Atti di: 5th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2013, Cape Town, 2-4 September 2013
- ECCS - Technical Committee 1- Structural Safety and Loadings - Technical Working Group 1.3 - Seismic Design. (1986). Recommended Testing Procedure for Assessing the Behaviour of Structural Steel Elements under Cyclic Loads, Publication n. 45

Ringraziamenti

L'ufficio Tecnico Cogi desidera ringraziare tutti gli attori del progetto di ricerca isolMAX, il Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento, la Polzunov Altai. State Technical University, Enerconsult e la Fondazione Bruno Kessler.



Nadia Baldassino

Si laurea presso l'Università di Udine e successivamente si diploma presso la Scuola di Specializzazione in Costruzioni in Cemento Armato F.lli Presenti del Politecnico di Milano. Inizia la sua carriera universitaria presso l'Università di Trento dove, dal 2022, è professore associato di Tecnica delle Costruzioni.

I suoi interessi di ricerca hanno riguardato principalmente le tecniche di indagine non distruttive applicate alle strutture lignee, il comportamento delle strutture di acciaio con particolare attenzione ai sistemi realizzati con profili formati a freddo, i sistemi composti acciaio-calcestruzzo, la robustezza strutturale di strutture di acciaio e composte acciaio-calcestruzzo.



Riccardo Zandonini

Si laurea al Politecnico di Milano dove inizia la sua carriera accademica. Dal 1991 al 2019 è professore ordinario di Costruzioni in acciaio presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Trento.

La sua attività di ricerca conta più di 240 pubblicazioni nel settore delle strutture metalliche. È membro di commissioni normative nazionali. Ha contribuito e contribuisce ai lavori di diverse associazioni, sia nazionali sia internazionali, attive nel campo dell'ingegneria strutturale.

I principali temi di ricerca riguardano: problemi di instabilità nelle strutture di acciaio, comportamento sismico di telai di acciaio, comportamento di collegamenti trave-colonna in acciaio semirigidi e flessibili, sistemi composti acciaio-calcestruzzo, robustezza strutturale, sistemi strutturali leggeri di acciaio.



Rossano Albatici

Ingegnere civile e dottore di ricerca in "Ingegneria per il recupero edilizio e l'innovazione tecnologica", è professore ordinario di Architettura Tecnica all'Università di Trento. I principali interessi di ricerca riguardano il comfort ambientale interno, la salutogenesi in architettura, la progettazione di edifici zero energy passivi e solari, la building automation. Coordina gruppi di ricerca all'interno di diversi progetti nazionali e internazionali, fra i quali H2020. È docente in corsi organizzati da associazioni professionali ed enti pubblici e privati sul tema della sostenibilità energetica e ambientale in edilizia. È autore di oltre 150 pubblicazioni tra libri, articoli su riviste scientifiche e atti di convegni.



Lorenzo Manzini

Ingegnere civile/ambientale, laureato presso il Politecnico di Milano nel 2003. L'anno successivo supera l'Esame di Stato per l'iscrizione all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano, che verrà formalizzata nel 2005. A partire la 2004 inizia l'esperienza lavorativa presso COGI srl nella veste di tecnico/commerciale per le strutture a secco, focalizzandosi successivamente sui sistemi di costruzione in Light Steel Frame (LSF) e sviluppando insieme allo staff tecnico di COGI il proprio sistema steelMAX®. Oltre alla tradizionale attività di tecnico progettista di opere nell'innovativo settore dell'edilizia a secco recentemente si è occupato ed approfondito il tema del comfort abitativo nell'edilizia eco-sostenibile.



Omar Patella

Ingegnere civile, partendo da una base solida quale diploma di geometra, spinto da forte motivazione e skills intraprende un percorso di formazione: comunicazione, coordinamento, gestione del team di lavoro. Successivamente nel 2017 si laurea in Ingegneria Edile Architettura al Politecnico di Milano dove consolida tali abilità. Nel 2017 entrando in COGI, usando i sistemi costruttivi a secco e in particolare il sistema SteelMAX, aggiunge la gestione dei rapporti con i clienti e l'autonomia nell'affrontare commesse di progettazione. Nel 2019, in cerca di nuove sfide e stimoli, ha arricchito la sua preparazione con l'iscrizione all'Albo degli Ingegneri (Monza e Brianza).

UNA CASA “MODERNISTA” A FAENZA

A "MODERNIST" HOUSE IN FAENZA

Marco Peroni* | *Marco Peroni Ingegneria, Via S. Antonino 1, 48018 Faenza (RA), Italy*



Marco Peroni

Ingegnere civile con studio professionale in Faenza (Ravenna). Lo studio si occupa di nuove costruzioni e ristrutturazioni sia in campo civile che industriale e anche di una importante attività di ricerca che spazia dai ponti alle strutture spaziali.

Una nuova e particolare costruzione in un parco privato a Faenza di una casa unifamiliare si distingue dal solito panorama delle villette ormai conformate allo “stile scatolare” dei nostri giorni. In questo caso gli architetti sensibili al contesto (un piccolo parco alberato a ridosso del centro cittadino) hanno pensato ad un tetto lenticolare lievitante sulla scatola della abitazione distaccata dalle falde curve della sua copertura.

La progettazione architettonica di questa casa si ispira alle case study houses californiane degli anni '50 – '60 utilizzando l'acciaio come elemento principale per ottenere l'effetto estetico principale ma realizzando il resto della costruzione con gli elementi tipici della zona cioè muratura e cemento armato. Per il resto, come si può apprezzare dagli schizzi e rendering di progetto (figura 1), l'effetto finale sembra proprio quello di una casa modernista della metà del secolo scorso!



Fig. 1 | Rendering del prospetto della casa

*Corresponding author. E-mail address: peroni@marcoperoni.it

Potenzialità in questo caso dell'acciaio poter permettere di realizzare una struttura leggera ancorata al centro su una spina dorsale in cemento armato, quindi molto rigida senza bisogno di controventature verticali dal cui telaio partono le costole a sbalzo di questa sorta di disco volante rastremato in punta, molto slanciato e in linea con la leggerezza dell'ambiente naturale in cui la casa si inserisce (figura 2).

La leggerezza della copertura lievita come sospesa sul resto della costruzione che è, come si è detto, in cemento armato per la sua parte centrale e il resto (le partizioni laterali) in muratura di tamponamento che non hanno scopo portante ma solo appunto di

delimitazione degli ambienti.

Gli elementi in acciaio del coperto sono profili standard HEB 160 opportunamente calandrati sia all'estradosso a reggere una copertura in rame poggiata su un tavolato di OSB che all'intradosso dove sostengono una controsoffittatura che verrà realizzata in doghe di legno di iroko. Si tratta, in sostanza, di uno sbalzo di poco più di 6 m per parte (non perfettamente simmetrico, in realtà) per una superficie coperta totale di circa 20x10 m ad un solo piano fuori terra (figura 3).

Le due travi in cemento armato che compongono la spina centrale sono collegate da elementi in acciaio che bilanciano gli sforzi di

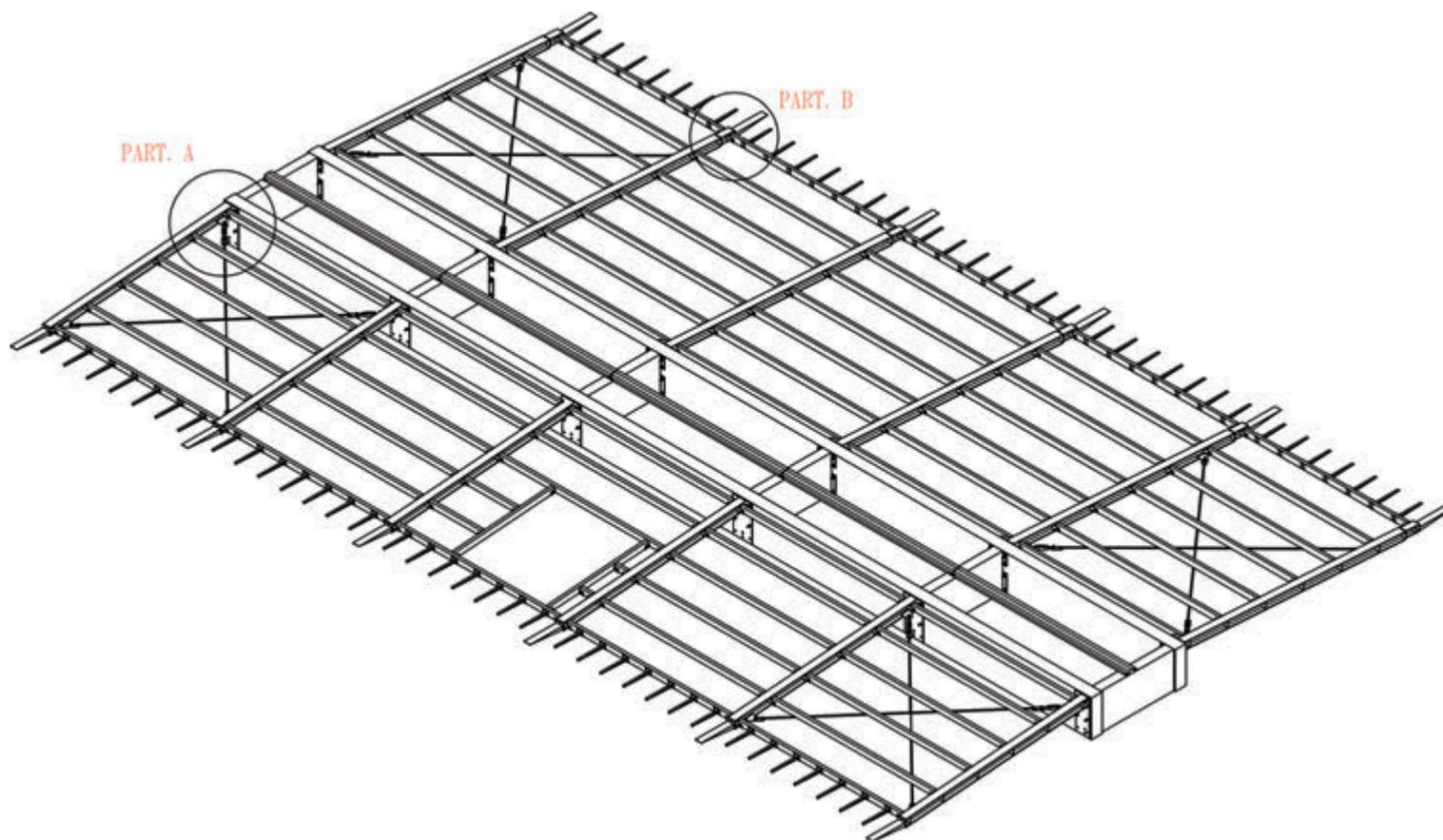


Fig. 2 | Assonometria 3d dell'estradosso della struttura del coperto

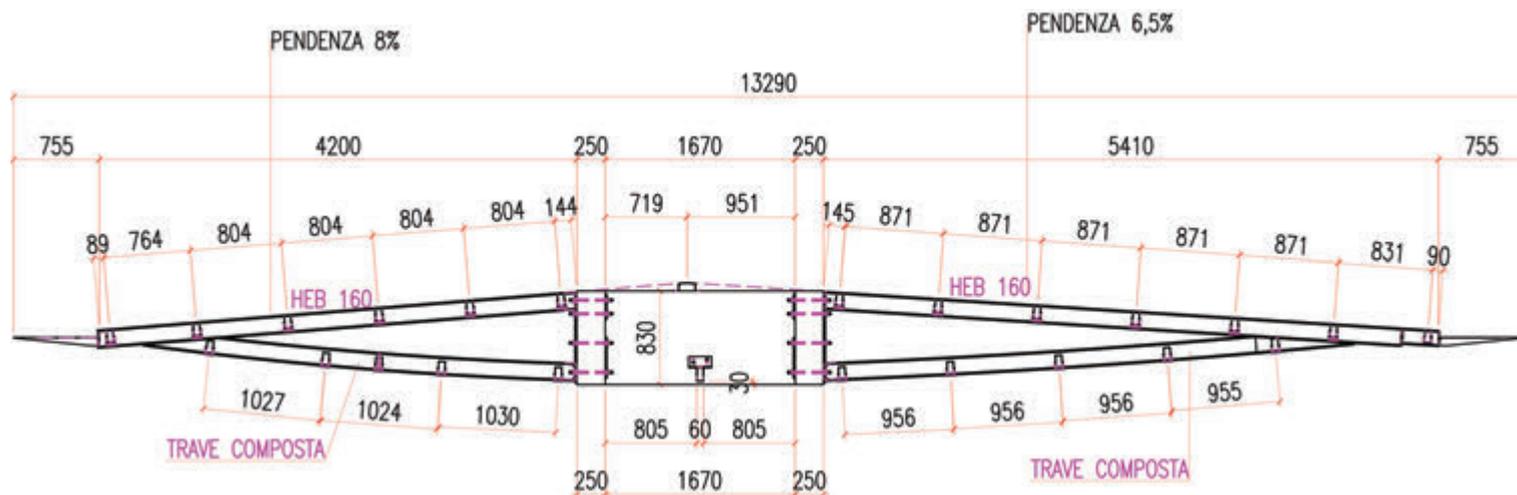


Fig. 3 | Sezione tipica della copertura

trazione che derivano dai lunghi sbalzi che quindi si equilibrano reciprocamente (figura 4).

Particolare attenzione si è prestata all'elemento grondaia del fronte che è stata pensata integrata nella struttura della punta della copertura sulla cima dello sbalzo (figura 5), e al sistema di isolamento tra la parte della copertura e le pareti laterali della casa che sono in muratura di blocchi alveolari.

Gli elementi a sbalzo sono naturalmente controventati da diagonali in tondi di acciaio.

A livello di calcoli non ci sono particolari note da osservare perché il calcolo di questo tipo di struttura non ha dato particolari problemi essendo una mensola bilanciata rispetto alla rigida struttura centrale in c.c.a. Si riporta in figura 6 il modello di calcolo adottato e in figura 7 i diagrammi delle deformazioni derivanti dal calcolo che dimostrano come la struttura nel caso di combinazione di calcolo rara abbia una deformazione in punta al massimo di poco più di 3 cm.

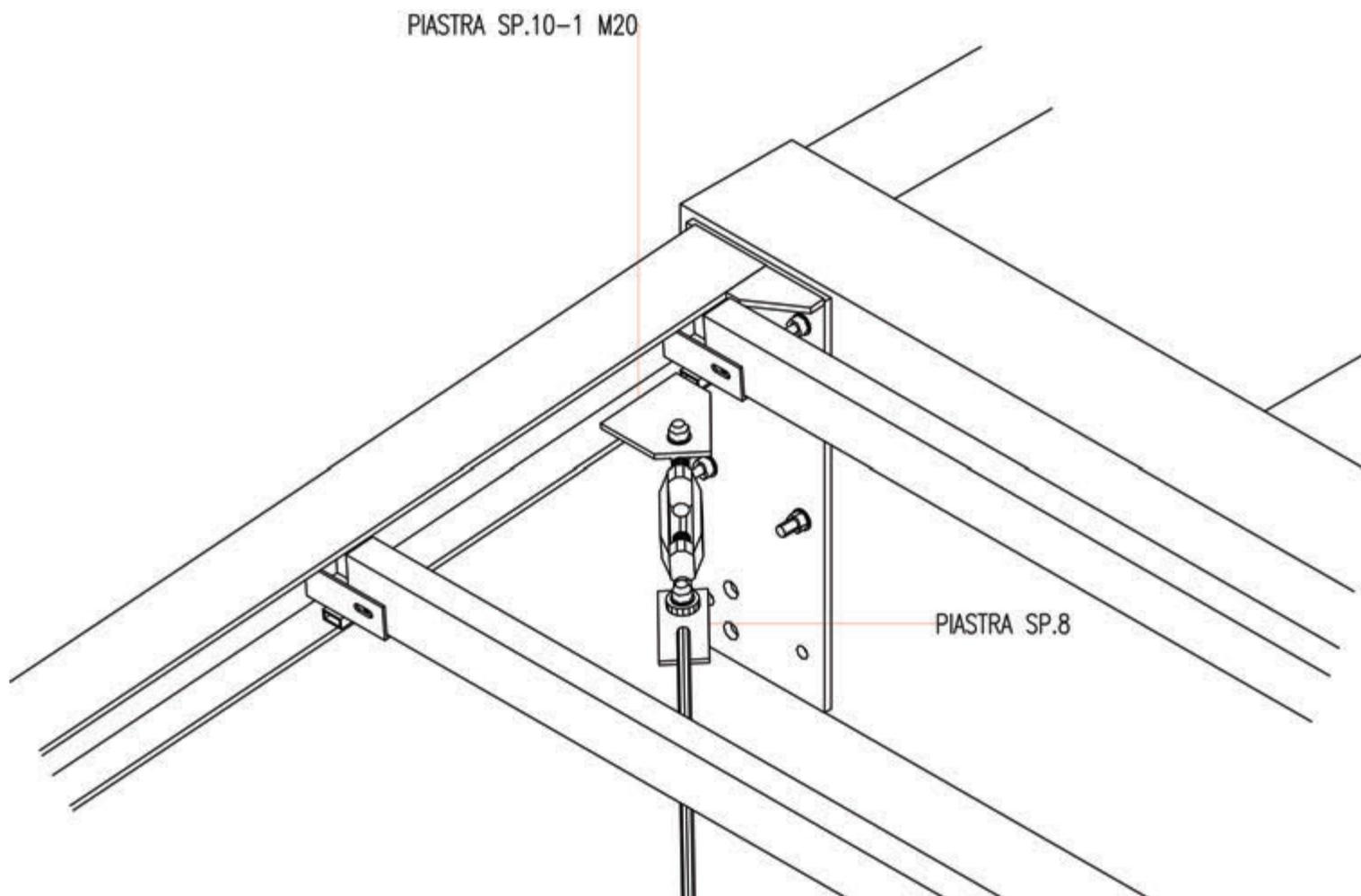


Fig. 4 | Particolare dell'aggancio al telaio in c.c.a (particolare A)

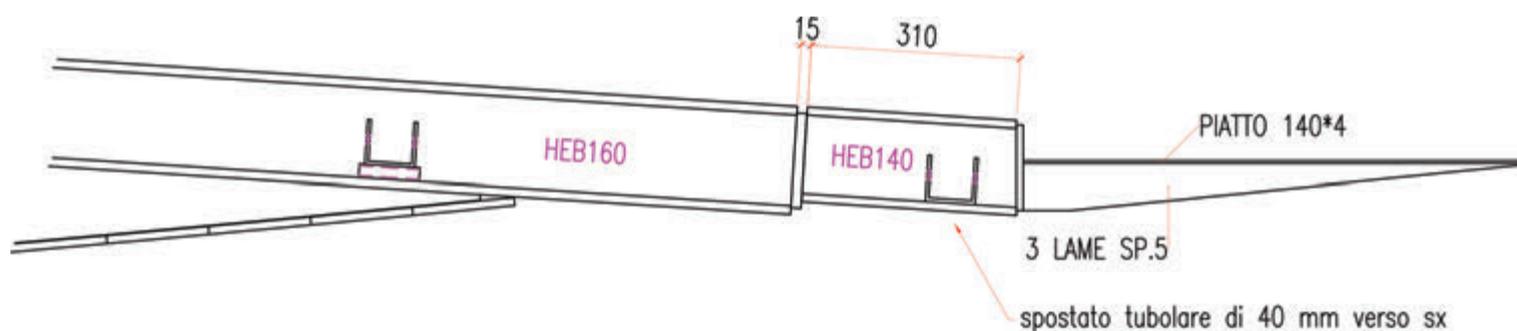


Fig. 5 | Particolare dello sbalzo del tetto (particolare B)

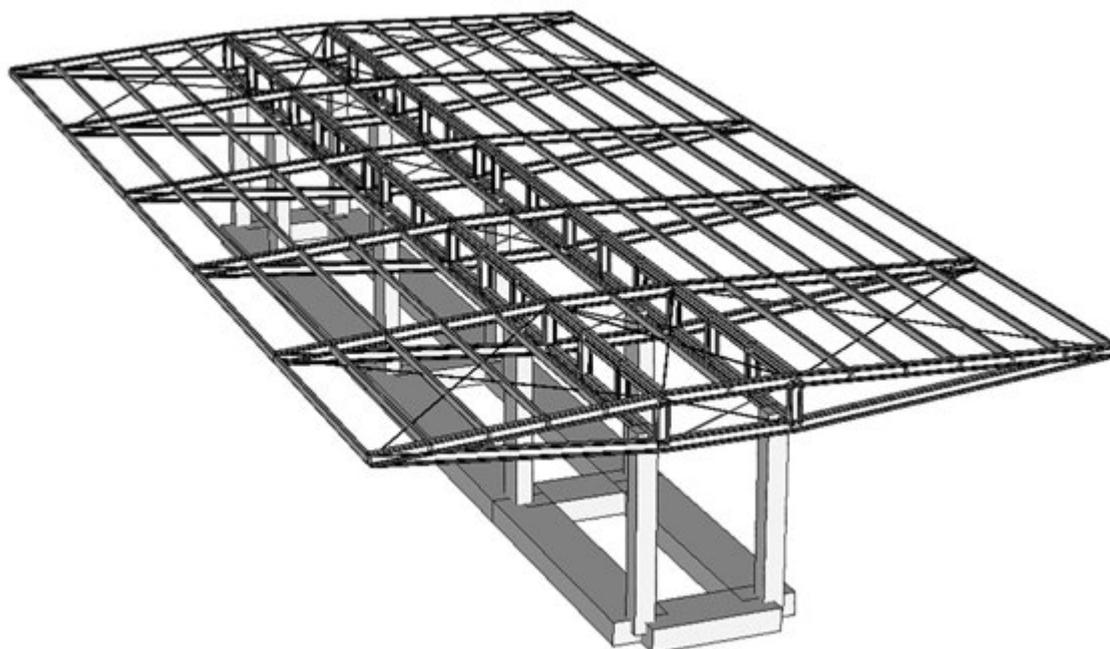


Fig. 6 | Modello di calcolo 3D

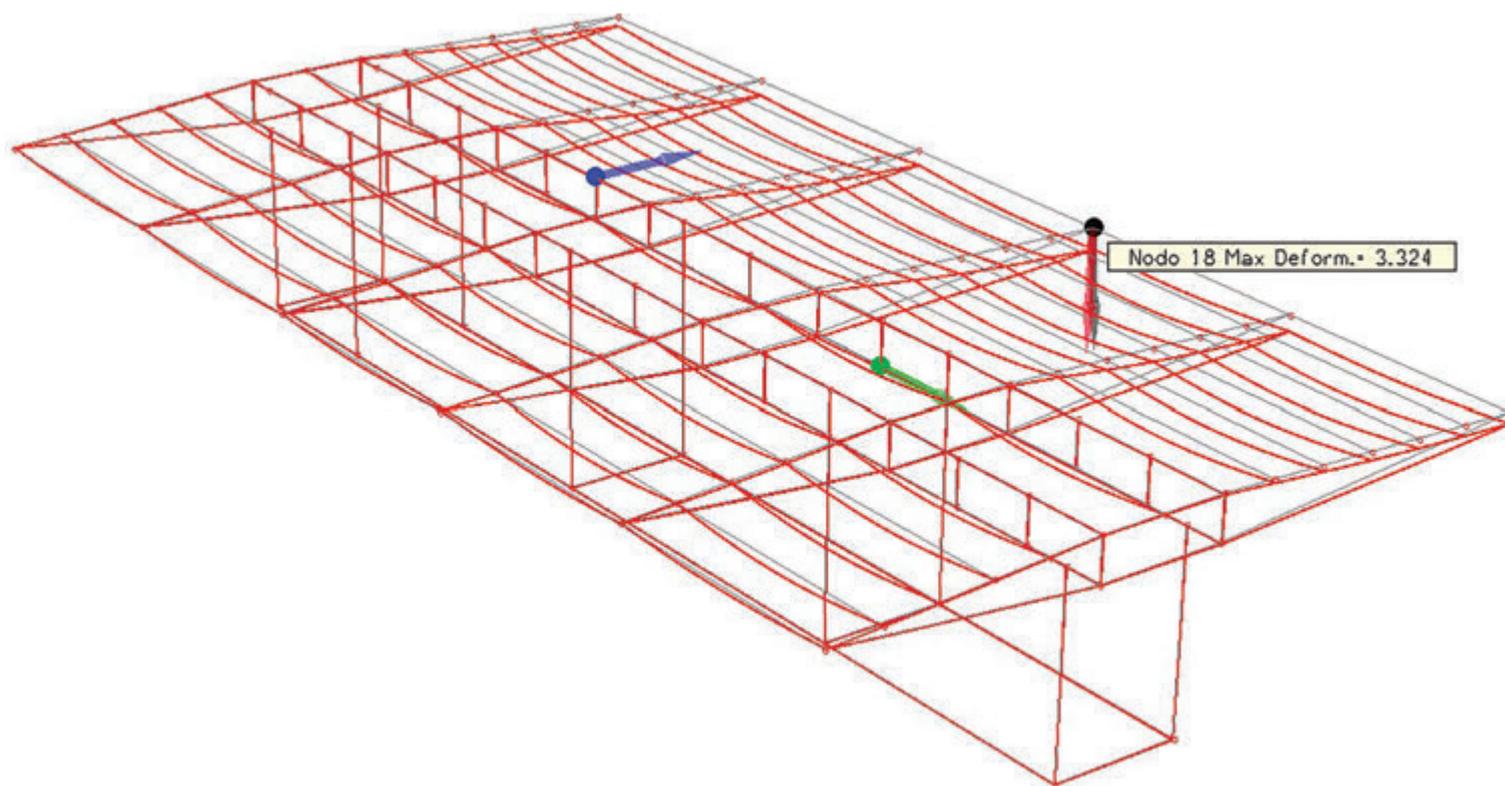


Fig. 7 | Diagramma degli spostamenti della struttura nella condizione di carico "rara"

Particolare attenzione si è posta nel controllo delle deformazioni massime alla punta per poi dimensionare opportunamente i giunti a tenuta degli elementi vetrati del fronte, nella parte in cui l'involucro verticale si chiude con la struttura lenticolare del coperto. In particolare sarà presente una grande vetrata scorrevole apribile in tre parti autonome che deve ancorarsi contro le deformazioni orizzontali del vento sulla struttura del coperto e al contempo non ricevere da queste deformazioni di compressione

dannose per la scorrevolezza dell'infisso che si attesta alla base su dei carrelli. Per questo è stato studiato un semplice ma efficace appoggio sull'ala inferiore del profilo HEB 160 che permette l'eventuale suo abbassamento sotto i carichi da neve ma non lo spostamento dovuto all'azione del vento (figura 8).

Nelle figure 9-12 sono riportate viste e particolari della copertura.

CREDITS

Committente:	privato
Progetto e direzione lavori architettonica:	Arch. Vincenzo Lega - Faenza (Ra)
Assistenza alla direzione lavori architettonica:	Geom. Bruna Camurani - Faenza (Ra)
Progetto e direzione lavori strutturale:	Ing. Marco Peroni - Faenza (Ra)
Ditta esecutrice:	Tecnoedile Snc di Tasselli Andrea e Pozzi Stefano
Ditta esecutrice delle strutture in acciaio:	Antonelli Srl - Cesena (Fc)

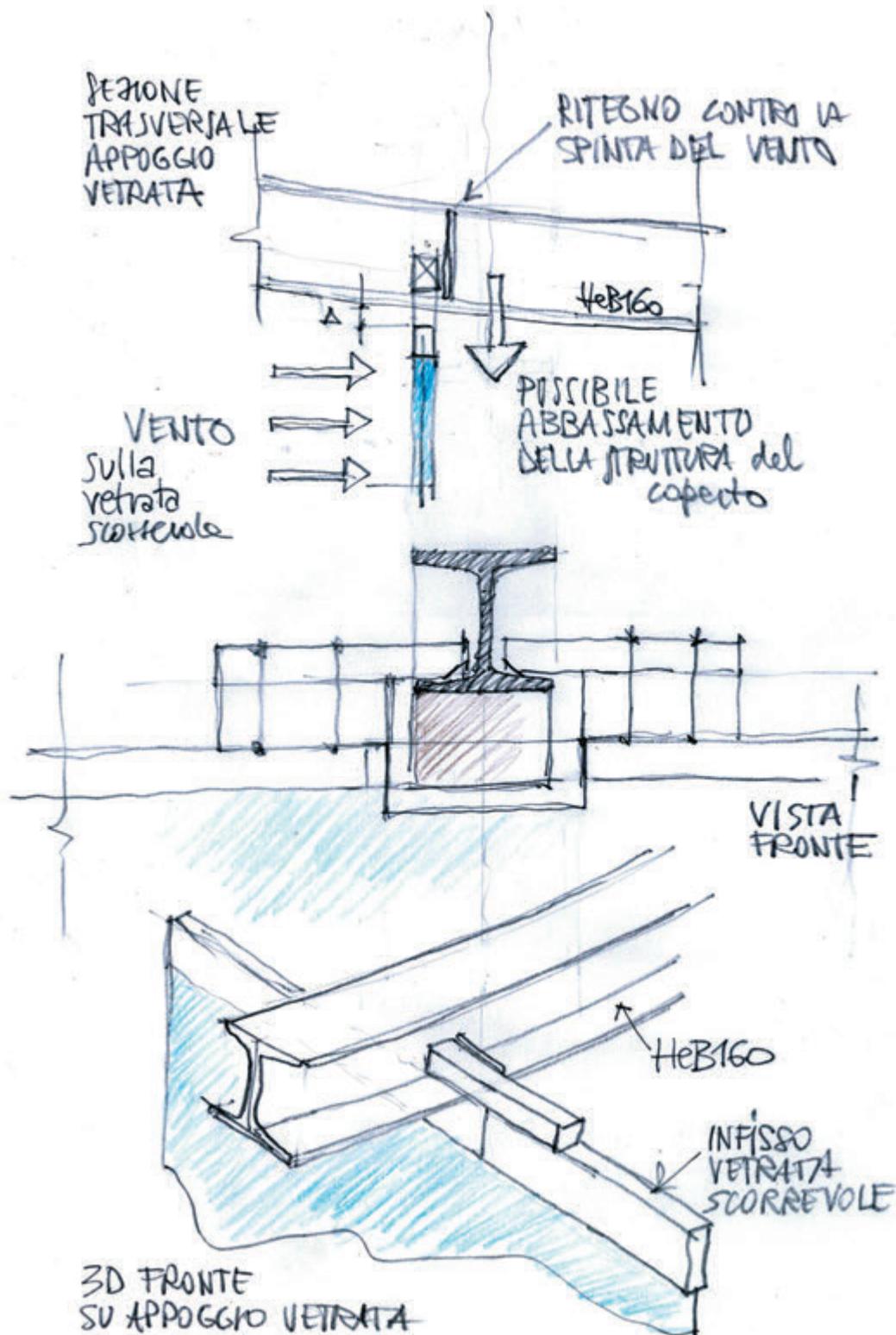


Fig. 8 | Particolare appoggio vetrata scorrevole



Fig. 9 | Vista copertura da sotto



Fig. 10 | Vista cornicione



Fig. 11 | Particolare telaio centrale in c.c.a.



Fig. 12 | Particolare del foro per l'albero nella copertura

Risposta sismica di capannoni in acciaio esistenti in Italia: effetti dello schema progettuale e dei pannelli di chiusura

Seismic response of non-residential existing steel buildings in Italy: effects of design options and cladding panels

Dott. Ing. G. Cantisani, Prof. Ing. G. Della Corte*

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II,
Via Claudio 21, Napoli.

Fino all'introduzione dei moderni criteri anti-sismici, la progettazione dei capannoni in acciaio ad uso "industriale" in qualunque regione d'Italia non ha rispettato specifici requisiti volti ad ottenere un comportamento duttile. Inoltre, il contributo strutturale dei pannelli di chiusura (laterale e di copertura) è stato (ed è ancora oggi) comunemente trascurato nel progetto, a vantaggio della semplicità dell'analisi strutturale. Tuttavia, (i) un comportamento strutturale poco duttile a livello locale può propagarsi a livello globale riducendo la sicurezza al collasso della struttura nel suo complesso, e (ii) il contributo dell'involucro può non essere trascurabile. Pertanto, in questo articolo si analizza la risposta sismica di "tipici" capannoni evidenziando: (i) la relazione tra lo schema progettuale e il comportamento elasto-plastico fino al collasso, (ii) il contributo che l'involucro "non-strutturale" in realtà fornisce al comportamento strutturale in zona sismica.

Since the introduction of modern seismic resistance criteria, the design of "industrial" steel buildings in Italy did not consider specific requirements to obtain ductile failure modes. Furthermore, the structural contributions from envelope panels (both cladding and roofing) were commonly neglected (and they are still neglected), thus gaining simplifications in the structural analysis for design purposes. However, (i) non-ductile local failure modes can propagate at global level reducing safety margins against earthquake-induced global collapse and, (ii) the envelope panels' contribution to the structural response could be not negligible. Therefore, in this paper the seismic response of "typical" non-residential steel buildings is analyzed with a focus on: (i) the relationship between the design structural scheme and the non-linear behavior up to global collapse, (ii) the contribution from the "non-structural" envelope system to the structural response to seismic actions.

1 Introduzione

La risposta sismica di edifici di acciaio esistenti in Italia è stata poco studiata in passato. In particolare, lo studio della risposta sismica di "capannoni ad uso industriale" riveste un interesse pratico, perché si tratta di un patrimonio immobiliare funzionale ad attività economiche importanti per il territorio. Alcuni studi recenti [1, 2] hanno iniziato a quantificare gli effetti delle possibili vulnerabilità strutturali di "tipici" capannoni in termini di perdite economiche. Questi studi hanno mostrato che i pannelli di tamponatura e di copertura svolgono un ruolo importante nella risposta sismica, da un lato contribuendo alla riduzione delle probabilità di collasso, ma dall'altro lato contribuendo anche alle perdite economiche in conseguenza del danneggiamento. In questo articolo, partendo dai presupposti introdotti, sono presentati i risultati di numerose analisi numeriche aggiuntive, ottenute aumentando il numero

dei casi studio attraverso una maggiore varietà di schemi della struttura portante principale. I risultati vengono presentati in questo articolo, in termini di spostamenti richiesti e curve di fragilità relative ad uno stato di danno tanto esteso da potere essere assimilato al "collasso" globale. Lo studio è stato condotto nel contesto di un progetto di ricerca, denominato RINTC, finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile e promosso dal consorzio ReLUIIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica) [3].

2 Descrizione delle strutture analizzate

2.1 Generalità

Gli edifici industriali considerati hanno strutture caratterizzate in direzione trasversale (X) da portali ad unica campata con due falde inclinate, mentre in direzione longitudinale (Y) sono presenti controventi concentrici (figura 1). In copertura è presente un

*Corresponding author. Email: gaetano.dellacorte@unina.it

sistema di arcarecci e controventi di falda. Un altro sistema di controventi (indicato mediante tratteggio nella vista in pianta di figura 1) è stato disposto, in direzione longitudinale, per stabilizzare i correnti inferiori delle travi principali e per assorbire le spinte orizzontali da vento in corrispondenza dei nodi con le colonne dell'orditura secondaria. Nella figura 1 è anche illustrato schematicamente l'involucro, con le relative aperture ipotizzate. Lo studio numerico ha considerato le dimensioni geometriche riportate in figura, scelte sulla base di risultati numerici ottenuti con uno studio precedente [4, 5]. Il progetto dei casi studio è stato

simulato utilizzando le prescrizioni normative e le linee guida adottate negli anni 1980-1990 [6, 7, 8, 9]. La figura 2 illustra gli schemi strutturali considerati in fase di progetto. In particolare, la figura 2(a) si riferisce agli schemi di vincolo considerati per i collegamenti colonna-fondazione e i collegamenti delle travi principali con le colonne. Una prima ipotesi di progetto (indicata con la sigla PCB, acronimo dell'espressione inglese pinned column base) ha considerato un collegamento colonna-fondazione con piccola rigidezza e resistenza flessionale, collegamento assimilabile ad una cerniera [10].

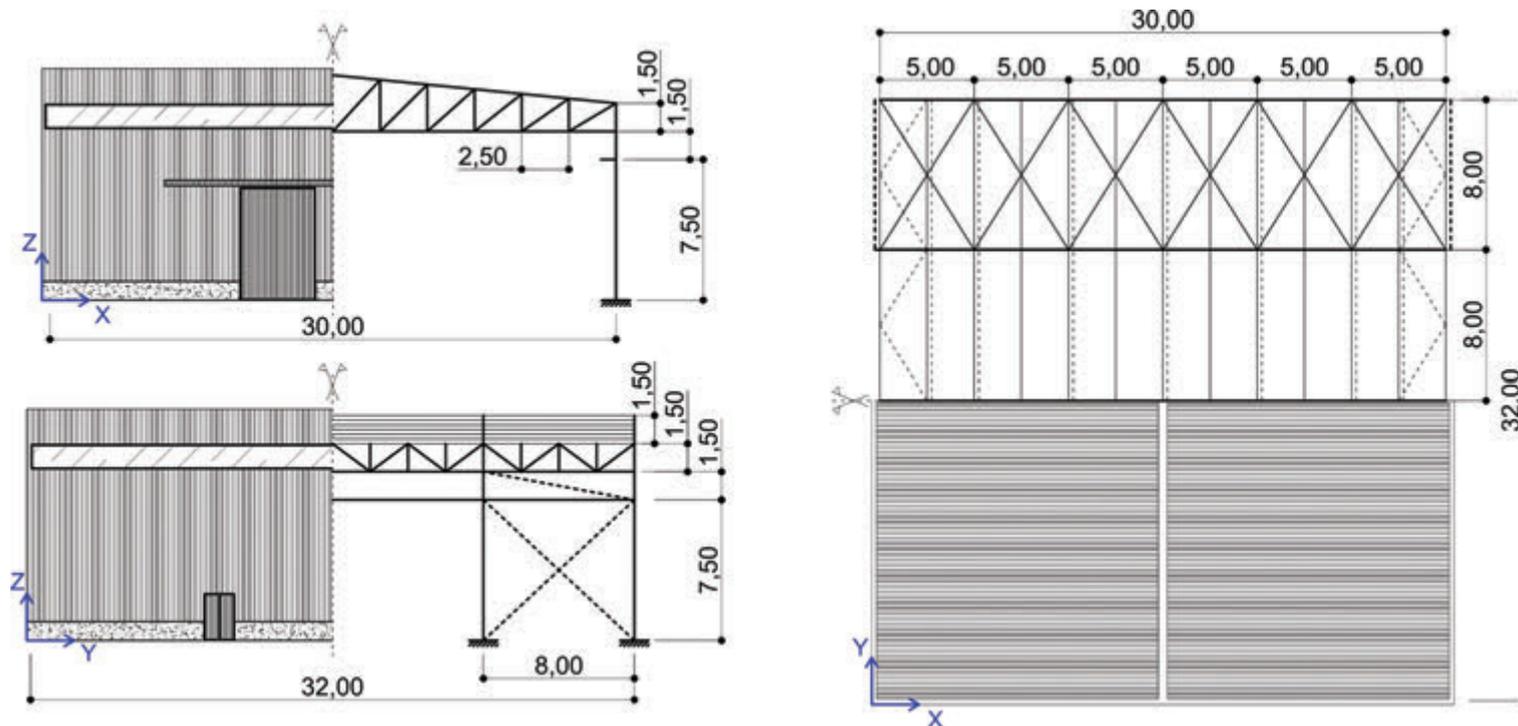


Fig. 1. | Geometria complessiva dei capannoni considerati.

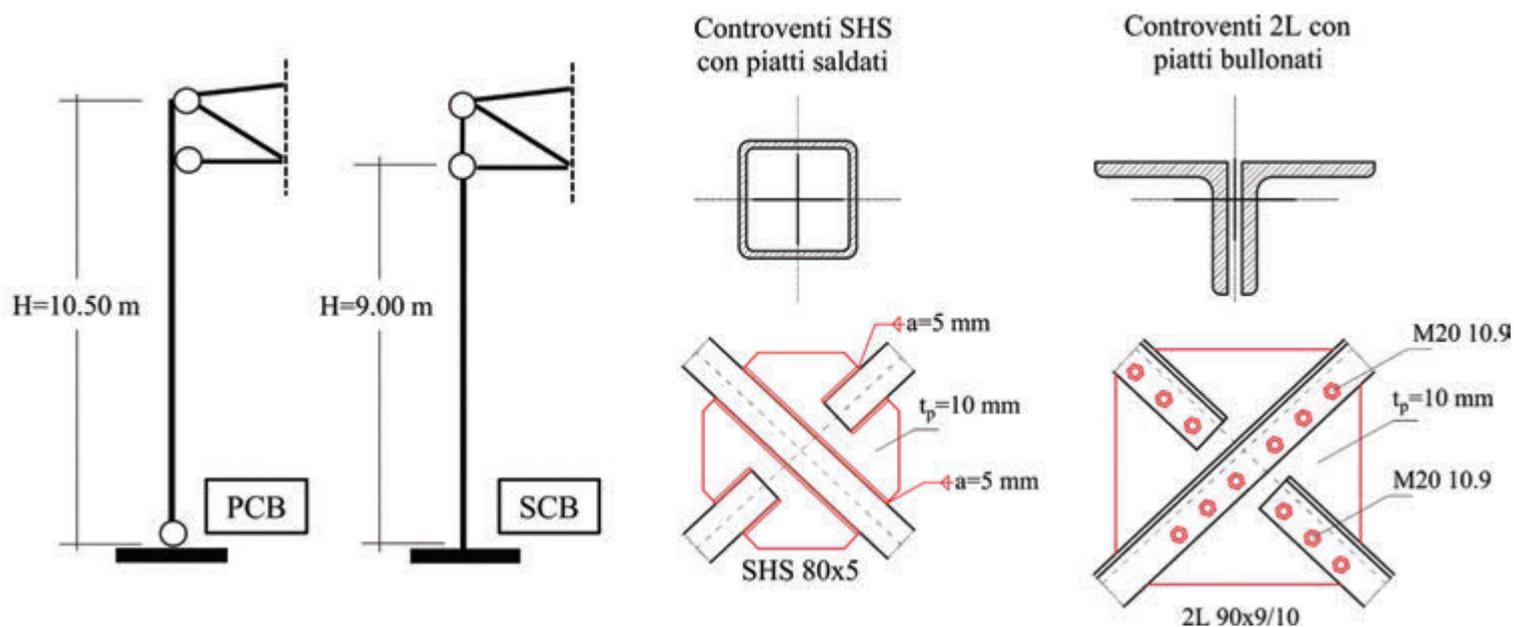


Fig. 2. | (a) Schemi strutturali di riferimento e (b) tipologie di sezioni di controvento utilizzate.

In questo caso, la colonna è stata considerata passante e continua per tutta l'altezza della travatura, garantendo dunque il trasferimento dei momenti flettenti necessari per l'equilibrio sotto azioni orizzontali. La seconda ipotesi (indicata con la sigla SCB, acronimo inglese di semi-continuous column base) ha considerato il progetto di un incastro alla base della colonna. In questo secondo caso, la colonna è stata interrotta alla quota del corrente inferiore della travatura trasversale, e quest'ultima è stata collegata tramite una cerniera nominale. Sebbene il progetto dello schema strutturale di tipo SCB preveda un incastro alla base, il progetto di tale collegamento è stato condotto solo in termini di sollecitazione ammissibile in relazione alle azioni agenti, senza il controllo della rigidità rotazionale, procedura tipica delle normative dell'epoca di progetto ipotizzata. Tuttavia, da un'analisi a posteriori, il collegamento progettato è risultato semi-rigido e a parziale ripristino della resistenza flessionale, cioè "semi-continuo" secondo i criteri dell'EC3 [10] (da cui l'utilizzo dell'acronimo SCB prima indicato). Maggiori dettagli circa i criteri di progetto sono forniti al paragrafo 2.2. La figura 2(b) riporta i tipi di controventi longitudinali considerati, con il dettaglio relativo ai collegamenti alle estremità dei controventi. I controventi con sezione scatolare (SHS) sono stati saldati ai fazzoletti, mentre i controventi con sezione costituita da due angolari a L accoppiati schiena contro schiena sono stati collegati mediante bulloni.

Per il progetto sono state ipotizzate tre localizzazioni geografiche in Italia (Milano, Napoli, L'Aquila) rispettivamente con bassa, media e alta sismicità. Pertanto, i casi esaminati possono essere sinteticamente rappresentati tramite lo schema rappresentato in figura 3, che utilizza gli acronimi precedentemente introdotti per riferirsi agli schemi strutturali. Per ogni combinazione di schema strutturale in direzione trasversale e tipo di sezione dei controventi longitudinali, tre differenti modelli hanno consentito di considerare l'effetto prodotto dai pannelli di tamponatura laterale e di copertura: il modello BF (acronimo di bare frame) si riferisce al telaio nudo, il modello SP (acronimo di sandwich panels) si riferisce all'adozione di pannelli sandwich per i pannelli di tamponatura laterale, mentre

il modello TS (acronimo di trapezoidal sheeting) si riferisce a un involucro laterale costituito da lamiere grecate singole. In tutti i casi, i pannelli in copertura sono costituiti da lamiere grecate singole (TS). Maggiori dettagli sui sistemi di involucro ipotizzati sono forniti nel paragrafo 2.4.

2.2 Criteri di progetto e risultati

Il progetto delle membrature e dei collegamenti è stato condotto con il metodo delle tensioni ammissibili. L'acciaio utilizzato è del tipo Fe 430 ($\sigma_{amm} = 190$ MPa). Il calcolo strutturale è stato svolto considerando due differenti combinazioni delle azioni: (i) una combinazione per massimizzare gli effetti dei carichi verticali (carichi da neve inclusi); (ii) una combinazione per massimizzare gli effetti dei carichi orizzontali (considerando gli effetti massimi prodotti alternativamente da vento o sisma). In particolare, le analisi hanno indicato sempre la predominanza delle azioni orizzontali dovute al vento rispetto al sisma. Il progetto delle membrature e dei collegamenti costituenti le travature principali è stato condizionato dai carichi verticali, mentre la sezione trasversale delle colonne è stata scelta nel rispetto dei limiti di spostamento orizzontale (1/500 dell'altezza dell'edificio). La sezione dei controventi è stata condizionata dal limite di snellezza per elementi strutturali primari soggetti a compressione ($\lambda \leq 200$). Dettagli aggiuntivi riguardanti i valori delle azioni di progetto ed i risultati del dimensionamento sono forniti in [11,12]. Nel seguito vengono fornite le informazioni ritenute essenziali per la comprensione e valutazione dei risultati delle analisi numeriche successivamente presentate.

2.3 Principali dettagli costruttivi relativi ai collegamenti

I collegamenti tra la travatura principale e le colonne degli edifici analizzati sono riportati in figura 4. In particolare, la figura 4(a) riporta un esempio di collegamento nel caso di schema strutturale di tipo PCB, mentre la figura 4(b) è relativa ad un dettaglio di collegamento nel caso di schema SCB. Entrambi i dettagli costruttivi sono relativi a edifici progettati a L'Aquila. Tutti i collegamenti sono

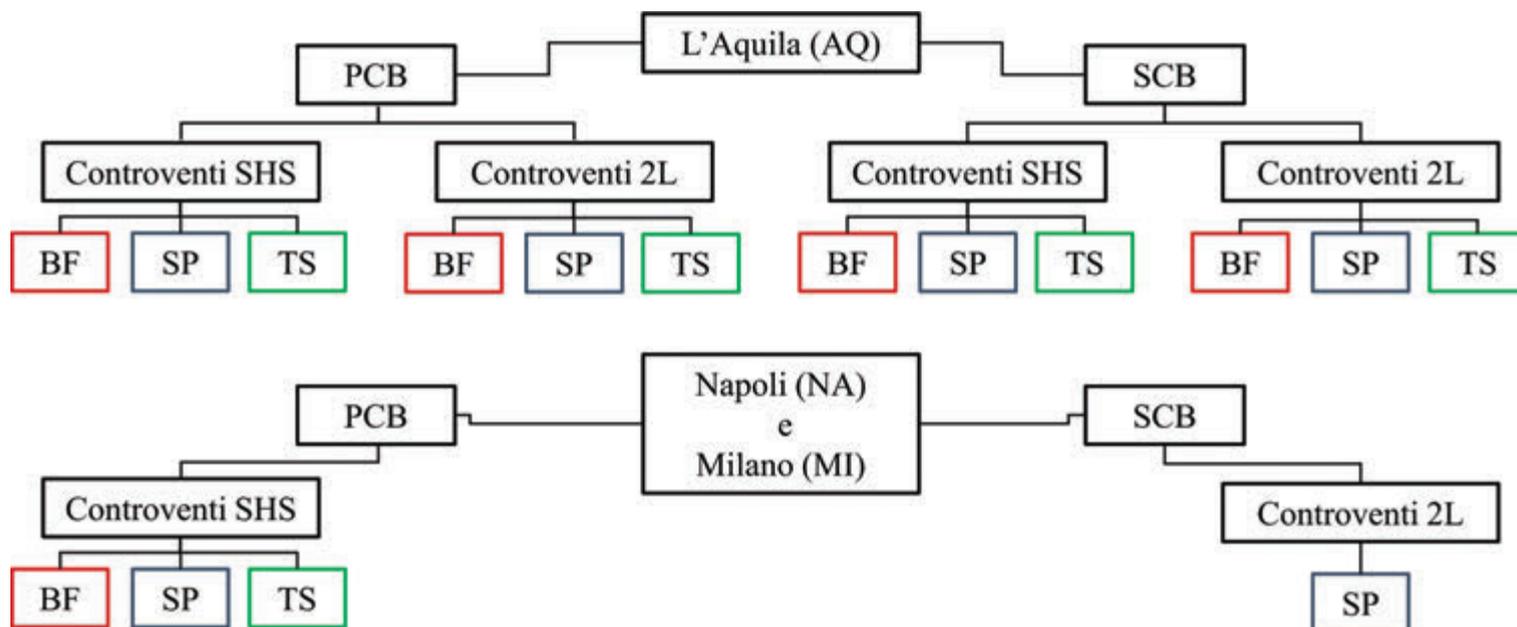


Fig. 3. | Sommario dei casi studio.

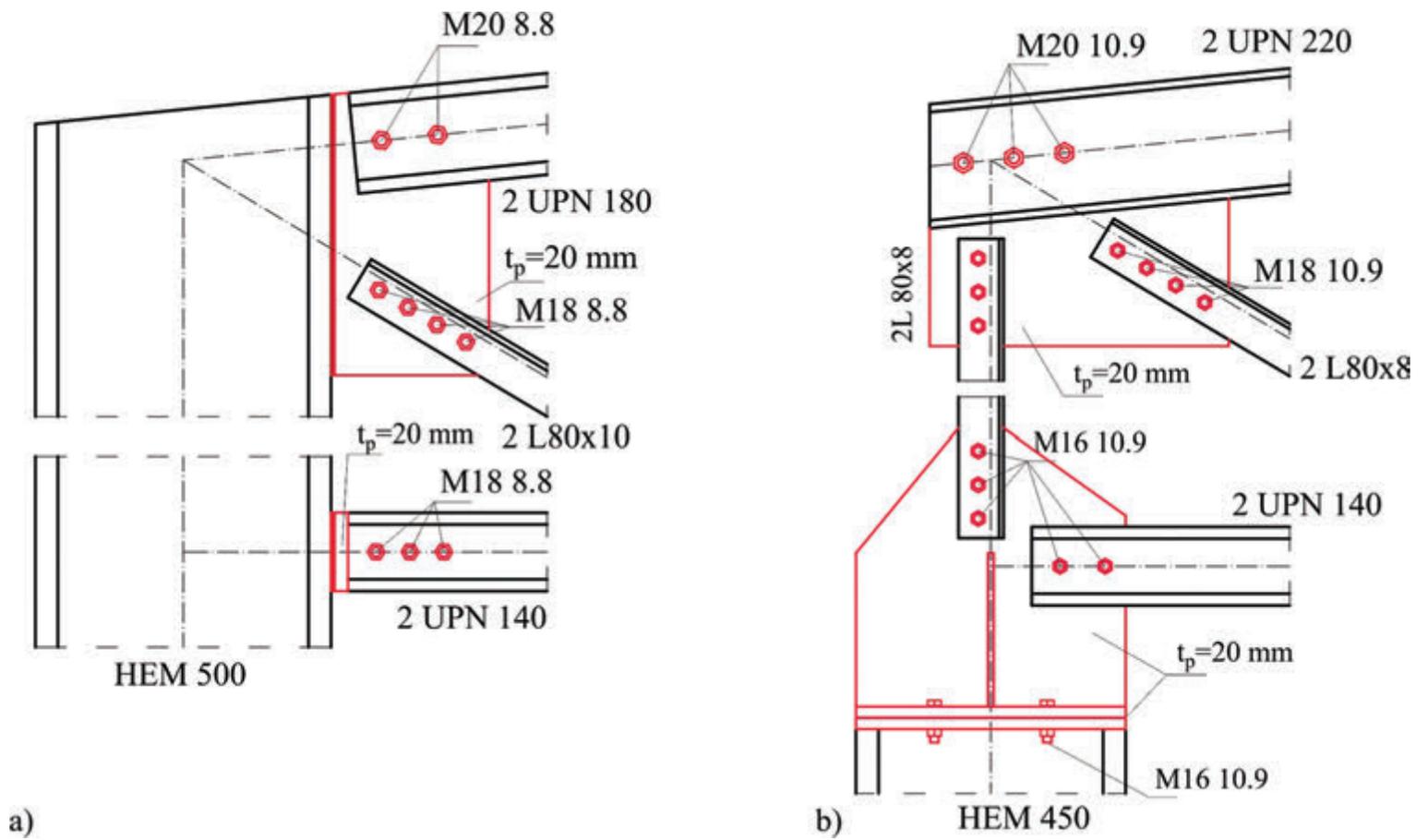


Fig. 4. | Esempi di collegamenti travatura-colonna: (a) schema PCB; (b) schema SCB.

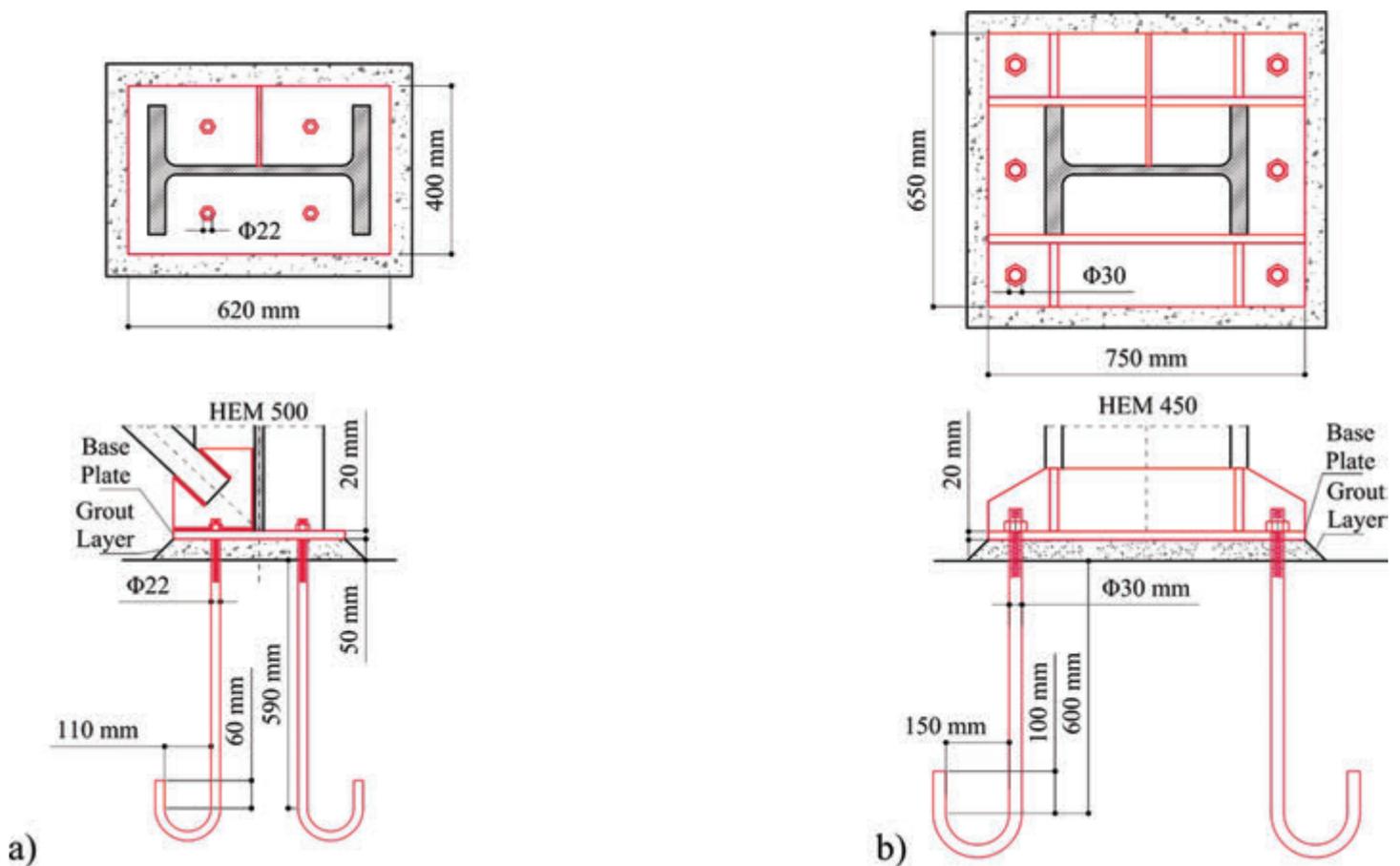


Fig. 5. | Esempi di collegamenti colonna-fondazione: (a) schema PCB; (b) schema SCB.

progettati considerando nodi cerniera tra gli elementi costituenti la travatura reticolare. I dettagli riportati mostrano chiaramente la differente concezione strutturale derivante dalla differente scelta di schema strutturale.

La figura 5(a) e la figura 5(b) mostrano la geometria dei collegamenti colonna-fondazione per edifici con schema strutturale di tipo PCB e SCB, rispettivamente. Nel caso del collegamento per schema PCB non sono stati inclusi irrigidimenti del piatto di base, e i tirafondi sono stati posizionati in modo da avere piccola rigidità e resistenza a momento flettente. Nel caso di collegamento per schema SCB, si notano invece gli irrigidimenti del piatto di base, nonché la presenza di tirafondi opportunamente distanziati. In entrambi i casi, l'ancoraggio dei tirafondi garantisce lo snervamento dell'acciaio prima di qualsiasi meccanismo di crisi che coinvolga il calcestruzzo della fondazione.

I dettagli relativi ai collegamenti dei controventi in direzione longitudinale sono riportati in figura 2(b), rispettivamente per controventi con sezione scatolare (SHS) oppure con angolari accoppiati (2L). Nel primo caso, il controvento è stato saldato ai fazzoletti di collegamento mediante cordoni d'angolo. Nel secondo caso, gli angolari sono stati collegati con bulloni. In entrambi i casi, le soluzioni progettuali sono state controllate dal rispetto dei requisiti minimi tecnologici e dalla combinazione delle azioni con carichi orizzontali da vento. Nei due casi considerati di controvento SHS saldato oppure con sezione 2L bullonata, il progetto ha dato esito a una differenza significativa in termini di rapporto tra resistenza del collegamento e resistenza della sezione di controvento. In particolare, l'utilizzo di un minimo spessore per l'altezza di gola della saldatura, unito ad una limitata area della sezione dello scatolare, ha comportato una implicita sovra-resistenza del collegamento rispetto alla completa plasticizzazione della sezione del controvento. Invece, nel caso di collegamenti bullonati e controventi con angolari accoppiati, l'incremento di area della sezione del controvento, conseguente al rispetto della limitazione della snellezza, ha comportato la sovra-resistenza della sezione trasversale rispetto alla crisi del collegamento.

2.4 Tipologie di involucro

Ai fini dello studio sono stati considerati due tipi di pannelli per realizzare l'involucro degli edifici [13]: pannelli sandwich o lamiera grecate singole. La geometria dei pannelli sandwich è descritta in figura 6(a), mentre la figura 6(b) mostra le lamiere grecate singole. I pannelli sono stati scelti in base a tre criteri: (i)

avere due tipi diversi che rappresentassero una possibile "fascia" di comportamenti strutturali; (ii) essere compatibili con la resistenza alle azioni gravitazionali e da vento utilizzate in fase di progetto; (iii) avere disponibili risultati di prove sperimentali. In particolare, le caratteristiche geometriche e meccaniche dei pannelli sandwich adottati sono dettagliatamente descritte in [14], mentre per le lamiere grecate singole si è fatto riferimento ai risultati pubblicati in [15]. Tali risultati sperimentali, relativi alla caratterizzazione della risposta strutturale per azioni agenti nel piano, sono stati successivamente utilizzati ai fini della calibrazione del modello di risposta non lineare utilizzato per le analisi numeriche.

Rimandando il lettore interessato alle pubblicazioni citate [14, 15] per l'analisi approfondita della risposta statica, monotona e ciclica, osservata mediante le prove sperimentali, è utile in questo articolo evidenziare l'influenza dei collegamenti dei pannelli all'orditura secondaria. In particolare, è importante osservare che i pannelli sandwich sono dotati di collegamenti bullonati, mentre le lamiere grecate singole sono collegate mediante viti. Questa differenza è alla base della differente risposta strutturale osservata, dal momento che i suddetti collegamenti condizionano la risposta nel piano del generico sistema di tamponatura. Nel caso dei pannelli sandwich con collegamenti bullonati, la crisi è per plasticizzazione locale della lamiera nell'intorno dei fori, comportamento relativamente duttile e resistente. Invece, nel caso delle lamiere grecate singole con collegamenti mediante viti, il meccanismo di crisi delle viti è più debole e fragile. Questa differenza, come si vedrà in seguito, ha importanti ripercussioni sulla risposta globale dell'edificio.

3 I modelli strutturali

In questa memoria sono descritti solo alcuni aspetti salienti dei modelli non lineari sviluppati per la valutazione della risposta sismica degli edifici considerati. Una descrizione esaustiva è contenuta nelle pubblicazioni [11, 12, 16]. I modelli ad elementi finiti sono stati sviluppati con l'ausilio del software open-source "OpenSees" [17] e del software commerciale MATLAB (<https://it.mathworks.com/products/matlab.html>). Una descrizione qualitativa del generico modello numerico è riportata in figura 7. Nella stessa figura, sono indicati anche gli aspetti di modellazione salienti. Il generico modello è stato sviluppato in maniera tale da portare esplicitamente in conto il degrado di rigidità e resistenza sia delle membrature che dei collegamenti, con l'obiettivo di cogliere l'innesco del collasso strutturale.

La risposta strutturale in direzione trasversale varia sensibilmente

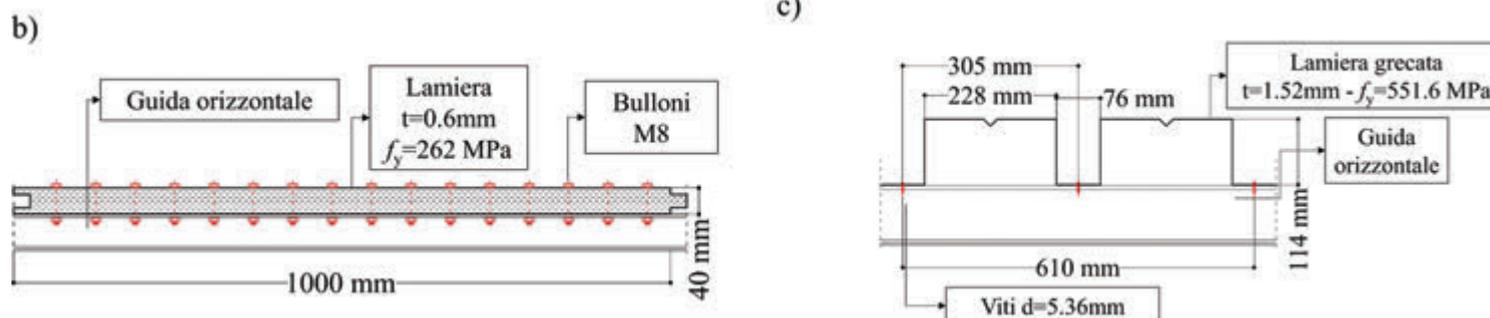


Fig. 6. | (a) Pannelli sandwich (SP) e (b) lamiere grecate (TS) considerate nello studio.

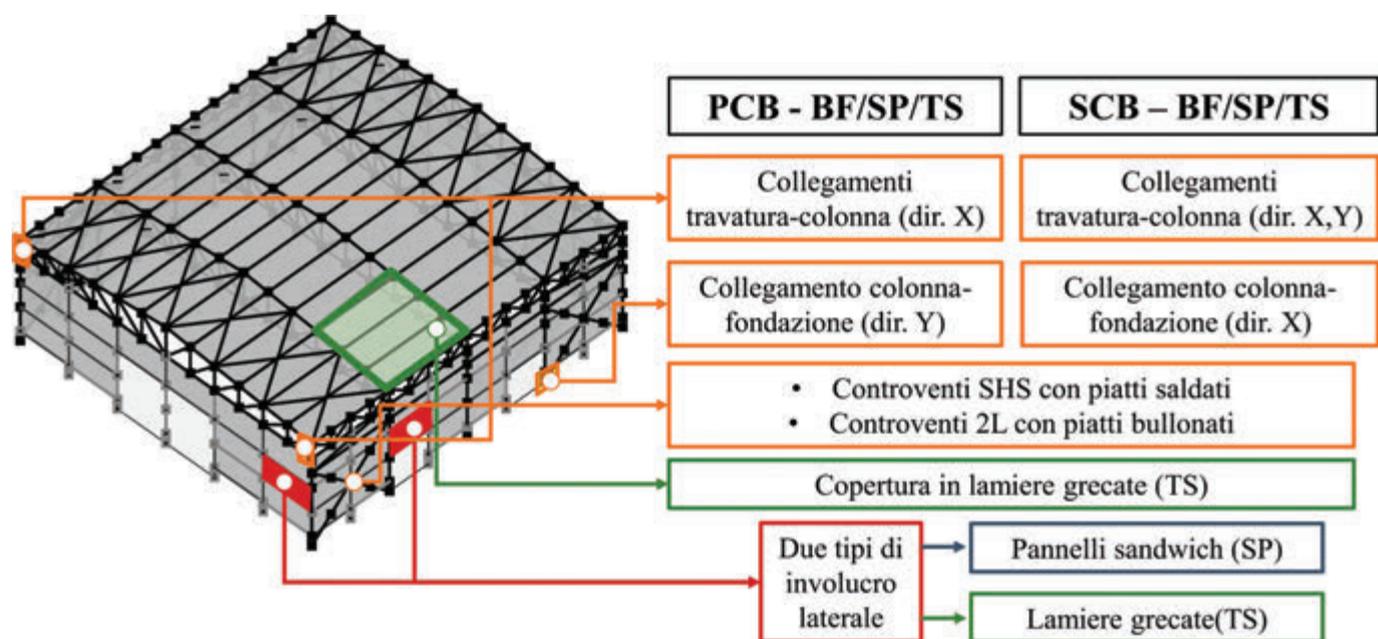


Fig. 7. | Vista di insieme del modello e componenti critiche.

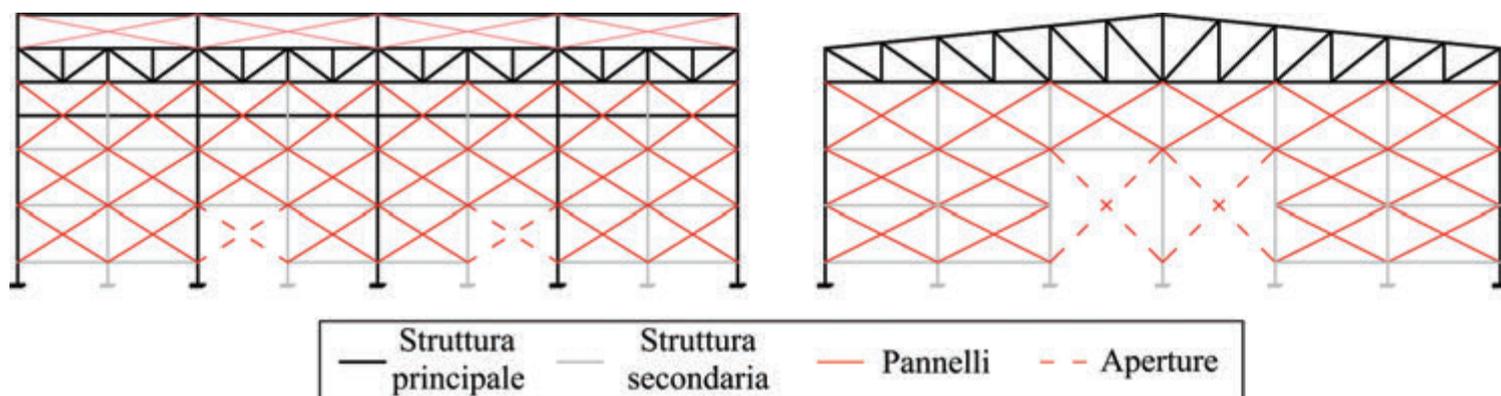


Fig. 8. | Modello del sistema di tamponatura laterale.

in relazione allo schema strutturale di riferimento (PCB o SCB). Nel caso dello schema PCB, la risposta non lineare globale è fortemente condizionata dalla risposta dei collegamenti tra il corrente inferiore della travatura principale e le colonne. Pertanto, questi collegamenti sono stati esplicitamente modellati in termini di risposta complessiva forza-deformazione, fino alla condizione di rottura. I modelli sono stati costruiti utilizzando il metodo delle componenti [10] e le informazioni teorico-sperimentali disponibili in letteratura [18]. Invece, nel caso di schema SCB, la risposta globale del portale dipende fortemente dalla risposta dei collegamenti colonna-fondazione. Infatti, nel caso SCB il meccanismo plastico si forma per effetto della plasticizzazione flessionale del collegamento alla base. Il modello non lineare del collegamento colonna-fondazione è stato caratterizzato in base al metodo delle componenti [10], esteso mediante l'ausilio di risultati sperimentali e modelli analitici disponibili [19, 20].

La risposta strutturale in direzione longitudinale è fortemente condizionata dal sistema di controventamento. Per tutti i modelli numerici considerati, la risposta non lineare (geometrica e meccanica) dei controventi è stata portata in conto esplicitamente, mediante la discretizzazione a fibre delle sezioni delle aste e

l'inclusione di elementi deformabili puntiformi (molle traslazionali e/o rotazionali) per rappresentare la risposta dei collegamenti. Tutte le aste di controvento sono state introdotte nei modelli con imperfezioni geometriche equivalenti, con forma sinusoidale, per rappresentarne l'instabilità flessionale [21]. Per le aste dei controventi è stata considerata la possibilità della frattura nelle zone plastiche, utilizzando il modello proposto in [22]. Tuttavia, nel caso dei controventi con angolari l'analisi ha mostrato che la rottura dei collegamenti precede la plasticizzazione assiale delle aste. Pertanto, tali collegamenti sono stati modellati in modo simile a quanto detto in precedenza per i collegamenti tra i correnti delle travature e le colonne, con l'aggiunta delle informazioni reperibili in [23, 24].

La modellazione del sistema costituito dai pannelli di tamponatura e dall'orditura secondaria è rappresentata schematicamente in figura 8. La rappresentazione esplicita della struttura secondaria (linea sottile grigia in figura 8), è stata ritenuta importante, al fine di rappresentare in modo adeguato l'interazione tra involucro e struttura primaria. La risposta a forze di taglio nel piano di ciascun pannello è stata rappresentata con il classico modello a diagonale equivalente. I campi in cui sono presenti le aperture

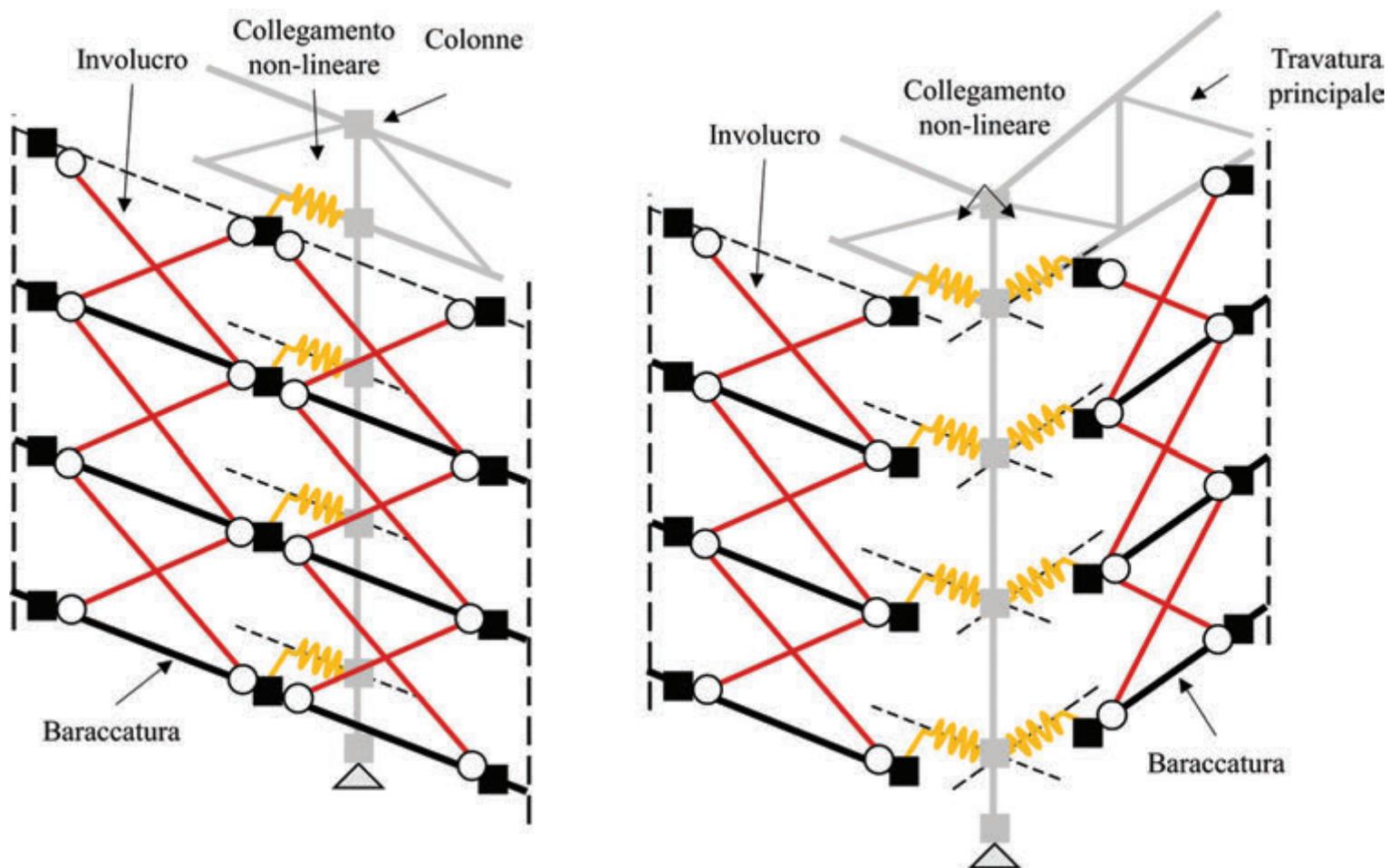


Fig. 9. | Dettaglio del modello inclusivo della struttura secondaria e dei pannelli di tamponatura.

sono rappresentati in figura 8 con linee tratteggiate, perché le diagonali equivalenti hanno caratteristiche diverse in tal caso [25]. La risposta forza-deformazione della generica coppia di diagonali rappresentante un campo con pannelli è stata costruita in modo da riprodurre i risultati sperimentali precedentemente menzionati. Si osserva che tale risposta include il contributo di eventuali collegamenti pannello-pannello e pannello-struttura secondaria. Invece, i collegamenti tra struttura secondaria e struttura primaria non sono inclusi nei risultati sperimentali. Pertanto, per rappresentare il possibile distacco della struttura secondaria da quella primaria, il modello ha incluso anche “molle” puntiformi che rappresentano i corrispondenti collegamenti bullonati. Il legame forze-deformazione di tali “molle” è stato costruito in modo da rappresentare il comportamento a taglio dei collegamenti bullonati. Un dettaglio della distribuzione di tali deformabilità concentrate è rappresentato in figura 9, per una generica colonna in direzione longitudinale e trasversale.

4 Risultati numerici

4.1 Modi e periodi di vibrazione elastica

La figura 10 riporta esempi di deformate modali nelle due direzioni principali dell'edificio (X e Y), confrontando le risposte ottenute dai modelli senza o con pannelli (modello BF vs. modelli SP e TS). La figura mostra i modi di vibrare caratterizzati dalla più alta percentuale di massa partecipante nella direzione trasversale e in quella longitudinale. I periodi di vibrazione associati a questi modi

sono riportati in tabella 1, per tutti i casi studio esaminati.

Come è possibile osservare dai risultati riportati in tabella, si riscontrano differenze significative tra i valori dei periodi di vibrazione per la direzione trasversale (X) e quella longitudinale (Y). Come ci si può attendere, la risposta in direzione longitudinale risulta sempre più rigida data la presenza dei controventi. Invece, la variazione di schema strutturale per la direzione trasversale (cioè, PCB vs. SCB) produce una variazione relativamente piccola. Le maggiori differenze si osservano nel caso dei modelli privi di involucro (BF), dove le differenze di rigidità laterale dei due tipi di portali sono enfatizzate. Le differenze nei risultati tra i modelli con e senza pannelli (BF vs. SP o TS) sono importanti in direzione trasversale (T_x) e trascurabili in direzione longitudinale (T_y). Infatti, in direzione trasversale, il contributo irrigidente offerto dai pannelli ai portali è importante, mentre in direzione longitudinale tale contributo è relativamente piccolo perché lo schema strutturale è già relativamente rigido per la presenza dei controventi.

4.2 Risposta statica non lineare

La caratterizzazione della risposta inelastica dei casi studio è stata sviluppata in via preliminare mediante l'applicazione dell'analisi statica non lineare. In questo lavoro si riportano i risultati principali delle analisi, rinviando il lettore alle pubblicazioni [11, 12, 16] per ulteriori informazioni.

La figura 11 riporta esempi di risultati delle analisi statiche non-lineari per effetto di azioni orizzontali in direzione trasversale (X)

Modello				T_x			T_y		
Struttura e sito	Involucro			[s]			[s]		
PCB-SHS-AQ	BF	SP	TS	1,03	0,55	0,56	0,26	0,23	0,23
PCB-2L-AQ	BF	SP	TS	1,03	0,55	0,56	0,26	0,23	0,23
SCB-SHS-AQ	BF	SP	TS	0,78	0,45	0,45	0,25	0,22	0,22
SCB-2L-AQ	BF	SP	TS	0,79	0,45	0,46	0,25	0,22	0,22
PCB-SHS-MI	BF	SP	TS	1,20	0,55	0,56	0,26	0,23	0,23
SCB-2L-MI	-	SP	-	-	0,45	-	-	0,21	-
PCB-SHS-NA	BF	SP	TS	1,16	0,53	0,54	0,26	0,23	0,23
SCB-2L-NA	-	SP	-	-	0,42	-	-	0,21	-

Tab. 1 | Periodi di vibrazione nelle due direzioni principali degli edifici casi studio.

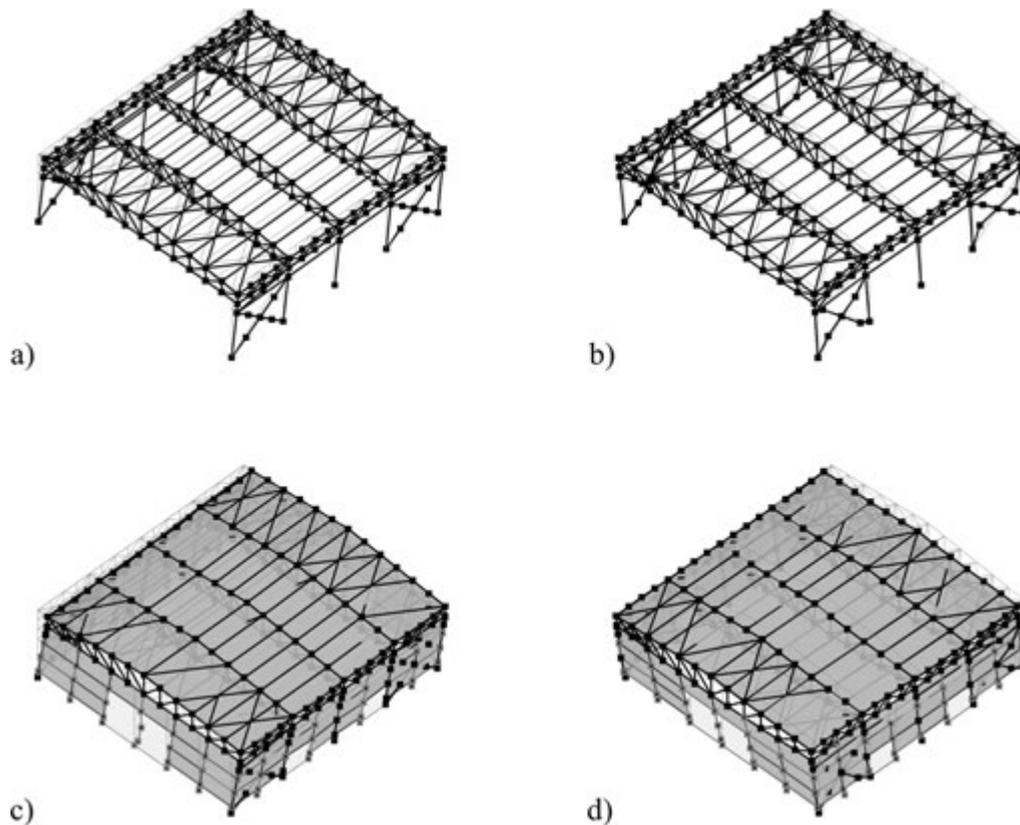


Fig. 10. | Esempi di deformate modali per strutture "nude" (a, b) e con involucro (c, d).

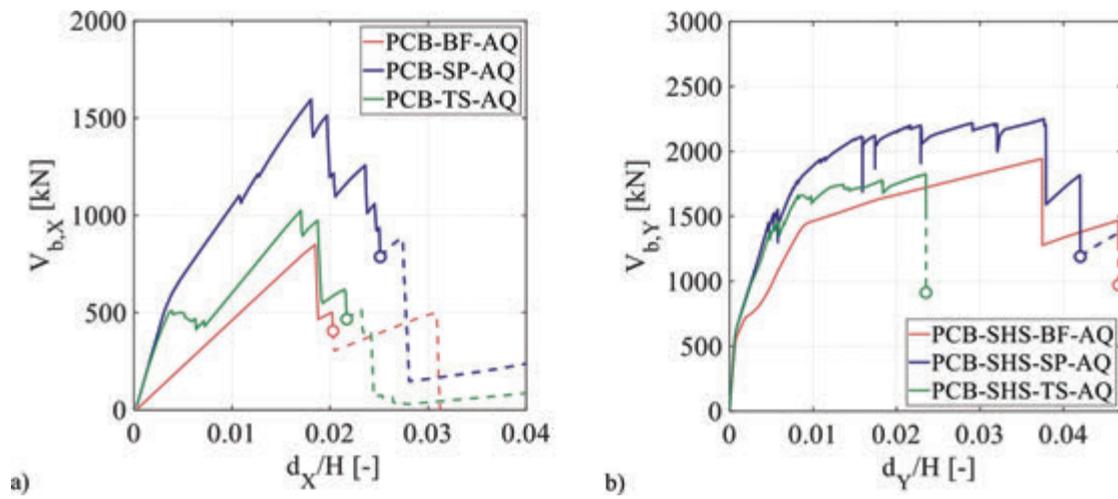
Le forze orizzontali sono state applicate con distribuzione affine al modo di vibrare predominante nella direzione considerata (figura 10). I risultati sono sintetizzati tramite le tipiche curve pushover, in cui la forza di taglio risultante alla base della struttura ($V_{b,x}$ oppure $V_{b,y}$) è diagrammata in funzione dello spostamento orizzontale alla sommità delle colonne (d_x oppure d_y), quest'ultimo normalizzato con l'altezza delle colonne (H). Le curve riportate mostrano chiaramente le principali differenze in termini di rigidità, resistenza e duttilità al variare della direzione di analisi. In particolare, si osserva che in tutti i casi esaminati la direzione trasversale risulta sfavorevole. Le analisi mostrano chiaramente anche l'incremento di resistenza e rigidità offerto dai pannelli rispetto alla risposta della struttura nuda. In particolare, si vede dai grafici che i pannelli sandwich offrono un contributo di resistenza e duttilità maggiore rispetto

alle lamiere grecate semplici, in accordo a quanto sperimentalmente osservato in [14, 15]. Come detto anche in precedenza, la diversa risposta dei collegamenti bullonati che caratterizzano i pannelli sandwich rispetto alle lamiere grecate singole, che sono avvitate, è alla base del diverso comportamento osservato nella risposta globale in direzione trasversale. I grafici in figura 11 evidenziano con un cerchietto i punti delle curve di risposta in corrispondenza dei quali si osserva una riduzione di resistenza pari al 50% della resistenza massima. Tale condizione è stata considerata come condizione di "collasso" globale, ed il corrispondente spostamento come capacità per il successivo calcolo delle curve di fragilità.

Con riferimento al caso di collegamenti cerniera alla base delle colonne e impiego di pannelli sandwich (PCB-SP), la figura 12 riporta alcuni esempi di deformazioni ottenute dall'analisi. Nella figura viene specificato il valore dello spostamento orizzontale normalizzato (d_x/H) che corrisponde alla configurazione deformata mostrata. Osservando le viste in elevazione mostrate in figura 12, si vede che al crescere degli spostamenti orizzontali si verifica un progressivo distacco dei pannelli di chiusura laterale, distacco che diventa molto evidente per $d_x/H = 2,8\%$. Per tale valore dello spostamento orizzontale

normalizzato, si verifica anche la rottura di tutti i collegamenti tra i correnti inferiori delle travature principali e le colonne. Tale rottura rende labile la struttura primaria e causa una perdita di resistenza laterale maggiore del 50% della resistenza massima raggiunta (resta un contributo di resistenza residua dei pannelli ancora non completamente danneggiati).

Analogamente e sempre con riferimento al modello PCB-SP, la figura 13 mostra la progressione delle deformazioni per effetto di azioni orizzontali applicate in direzione longitudinale. In questa direzione di spinta, l'analisi delle deformazioni mostra chiaramente l'instabilità flessionale dei controventi longitudinali. Anche in questa direzione, si osservano i distacchi dei pannelli di chiusura laterale dalla struttura portante principale. In aggiunta, si osserva la presenza di significativi spostamenti ai nodi di base delle colonne



(figura 11 | (a) e longitudinale (Y) (figura 11(b)).

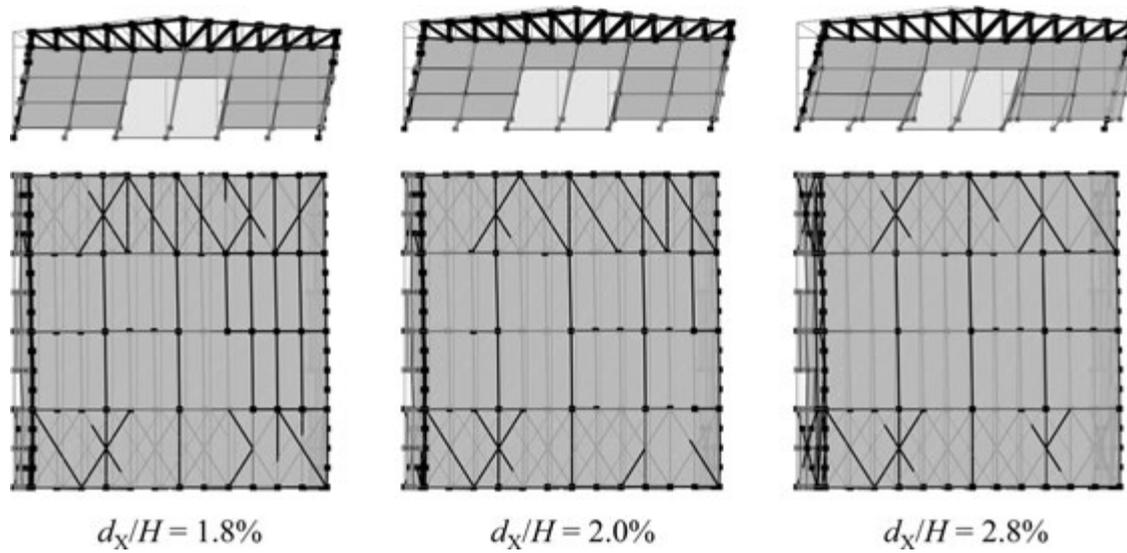


Fig. 12. | Esempi di deformate ottenute con l'analisi pushover in direzione trasversale: modello PCB-SP.

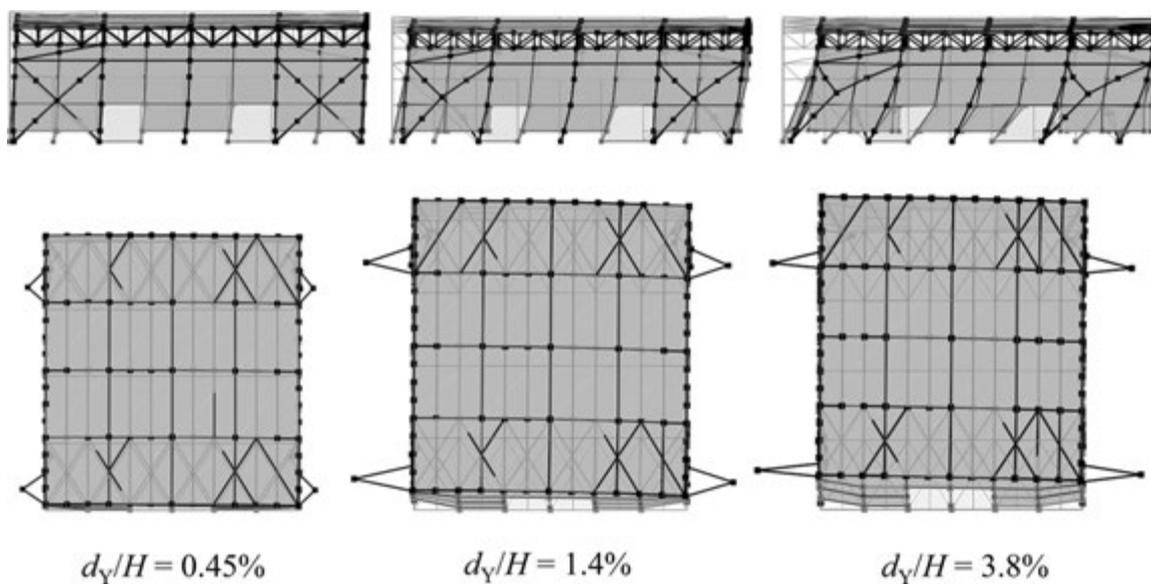


Fig. 13. | Esempi di deformate ottenute con l'analisi pushover in direzione longitudinale: modello PCB-SHS-SP.

principali. Tali spostamenti sono dovuti alla plasticizzazione dei collegamenti alla base, innescata dalla presenza di sforzi di taglio combinati a sforzi di trazione trasmessi dai controventi tesi alla base del sistema stesso.

4.3 Risposta dinamica non lineare

4.3.1 Selezione degli accelerogrammi

La risposta dinamica non lineare è stata studiata applicando coppie di accelerogrammi alla base della struttura nelle due direzioni principali in pianta (X e Y). Gli accelerogrammi sono stati selezionati dai coordinatori del progetto RINTC, in base ad una specifica analisi di pericolosità sismica per i siti selezionati [26]. La figura 14 riassume alcune informazioni importanti relative agli accelerogrammi utilizzati. In particolare, la figura 14(a) mostra le curve di pericolosità sismica per i siti selezionati, utilizzando l'accelerazione spettrale corrispondente ad un prefissato periodo di vibrazione, $S_a(T^*)$, come misura dell'intensità sismica. Il periodo di vibrazione T^* deve corrispondere al periodo fondamentale di vibrazione elastica del sistema strutturale. Per tale ragione, la figura 14 mostra due famiglie di curve di pericolosità, corrispondenti a $T^* = 1$ s e $T^* = 0,5$ s, che sono valori all'incirca uguali ai periodi fondamentali di vibrazione dei portali senza e con pannelli di tamponatura. Le analisi numeriche sono state svolte per valori crescenti dell'intensità sismica, in una scala di intensità dal livello "1" al livello "10". I dieci livelli di intensità sono stati scelti in modo da rappresentare dieci valori dei periodi di ritorno, da un minimo di 10 anni a un massimo di 105 anni. Per ciascun livello di intensità sono state selezionate venti coppie di accelerogrammi, in base ad una procedura che consente di tenere in considerazione la forma spettrale, le distribuzioni di Magnitudo e distanza delle faglie note per i siti in esame [26]. La figura 14(b) mostra un esempio di spettri di risposta dei 40 accelerogrammi utilizzati per i casi localizzati a L'Aquila in corrispondenza della massima intensità considerata e con $T^* = 1$ s.

4.3.2 Risultati delle analisi dinamiche non-lineari: casi di non-collasso

Complessivamente, sono state effettuate 4000 analisi dinamiche non-lineari: 20 (= numero dei modelli, considerando le variazioni di struttura principale, di involucro e di sito, figura 3) x 20 (= numero di input accelerometrici) x 10 (numero dei livelli d'intensità). Ciascuna analisi si riferisce ad un modello 3D, non-lineare, analizzato con input sismico bi-direzionale. Si può intuire che la mole di risultati numerici è molto grande; di tali risultati, ne vengono riportati qui solo alcuni considerati maggiormente significativi, selezionati tra quelli pubblicati in [11, 12] e rielaborati ai fini di questo articolo.

In primo luogo, si effettua la comparazione delle risposte delle varie strutture in termini di spostamenti massimi (nelle direzioni X e Y) in corrispondenza dei nodi di sommità delle colonne. Dai risultati corrispondenti alle venti analisi per ciascun livello di intensità, sono stati estratti i valori mediani e i percentili sedicesimo e ottantaquattresimo. Ovviamente, questa analisi si riferisce solamente agli accelerogrammi che non causano collasso durante l'analisi dinamica non-lineare. I casi di collasso sono trattati separatamente, come descritto nel paragrafo successivo. Con riferimento alle strutture site a L'Aquila, la figura 15 mostra gli spostamenti in direzione trasversale ($d_{x,peak}$). In particolare, la figura 15(a) e la figura 15(b) mostrano i risultati per gli schemi PCB, mentre la figura 15(c) e la figura 15(d) quelli per gli schemi SCB. Le mediane sono rappresentate con linea continua e i percentili con linee tratteggiate. Il confronto al variare dello schema strutturale e del tipo di involucro permette le seguenti osservazioni. (i) La risposta dei modelli senza involucro (modelli BF) mostra sempre valori mediani degli spostamenti maggiori rispetto alla risposta dei modelli con involucro. (ii) Gli spostamenti mediani sono praticamente indipendenti dal tipo di involucro (SP vs. TS) per valori di S_a minori di 1g. Quest'ultimo risultato si spiega con il fatto che per valori di S_a minori di 1g la risposta dell'involucro è praticamente elastica, e i due tipi di pannelli forniscono quasi lo

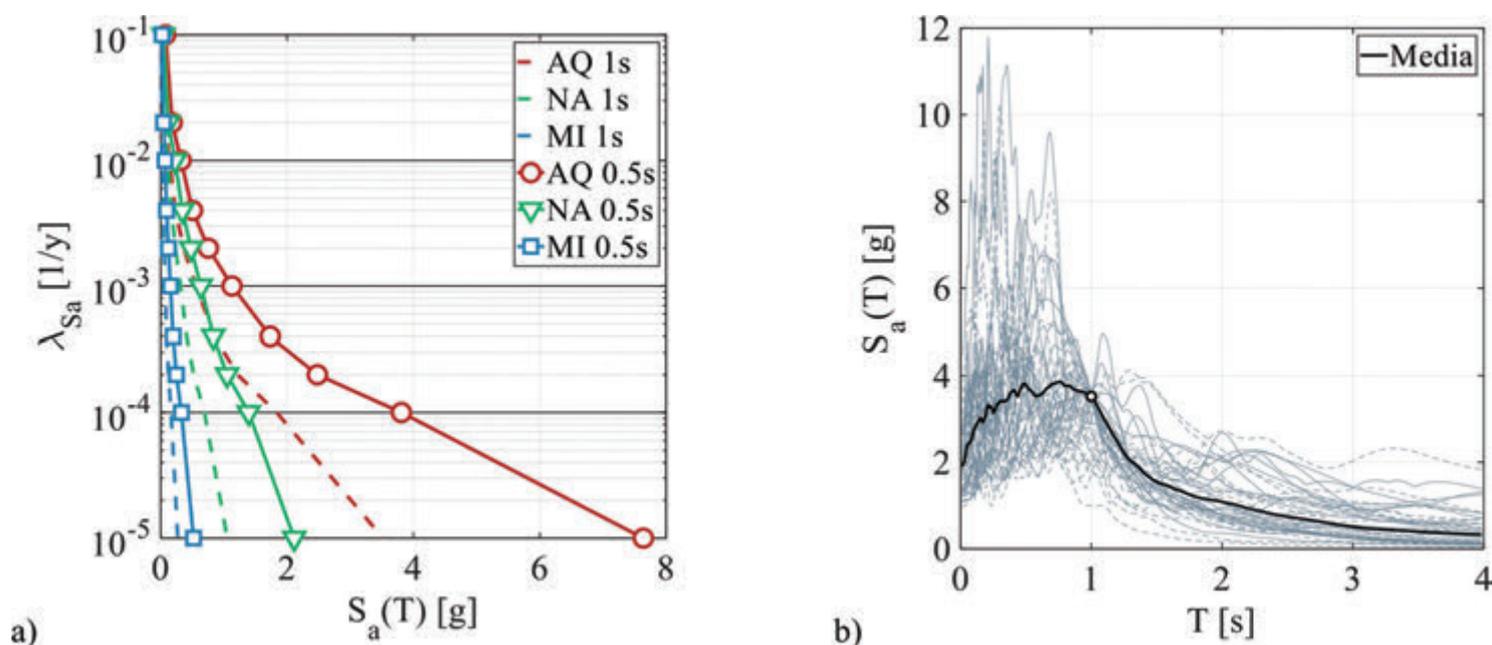


Fig. 14. | Curve di pericolosità sismica (a) e spettri di risposta per L'Aquila (b).

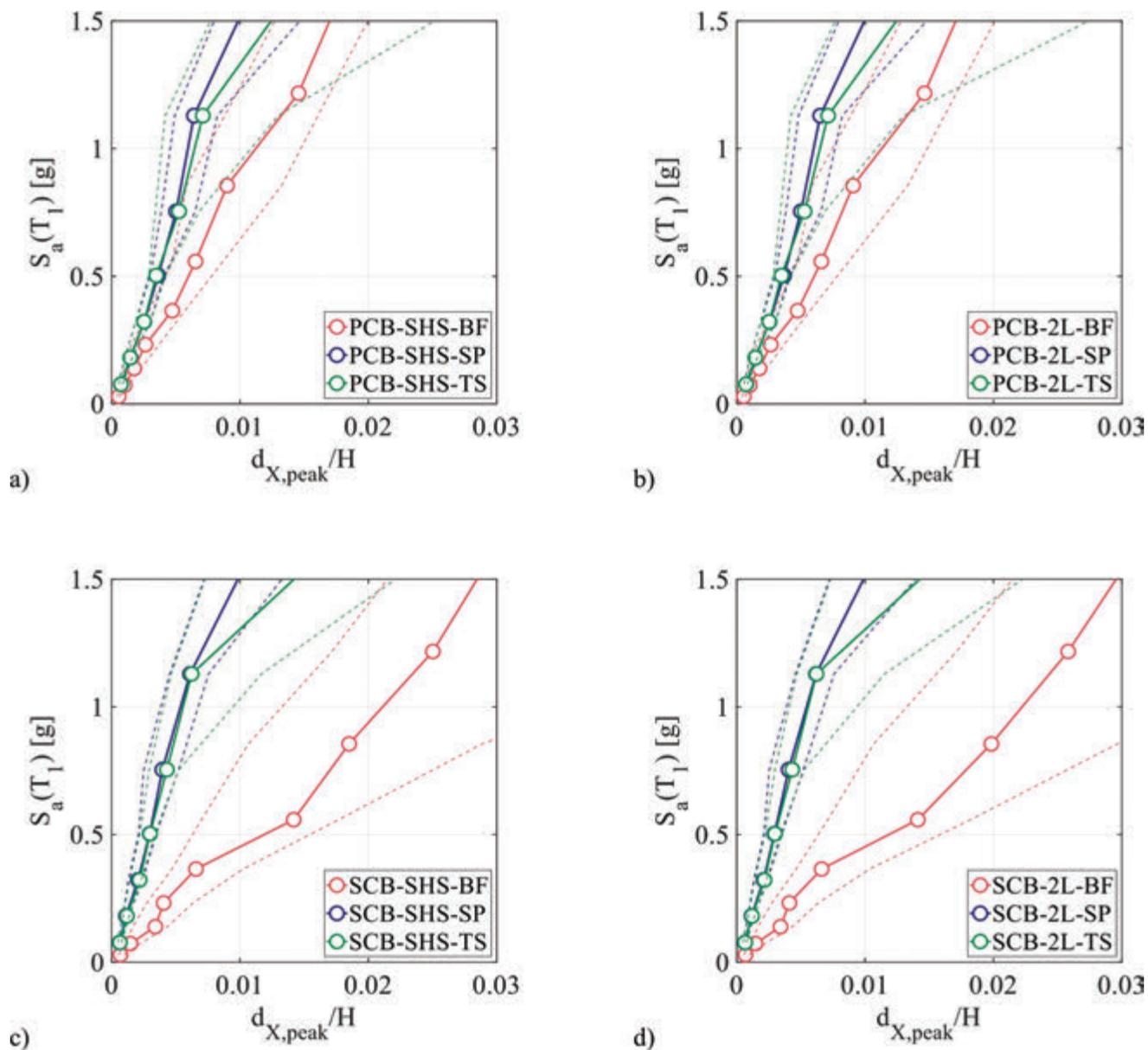


Fig. 15. | Spostamenti in direzione X per gli edifici siti a L'Aquila.

stesso contributo in termini di rigidità laterale (si osservino a tal fine le curve pushover mostrate in figura 11, nonché i valori dei periodi fondamentali di vibrazione riportati in tabella 1). Per valori maggiori dell'intensità sismica, la minore resistenza delle lamiere grecate singole comporta un evidente aumento degli spostamenti ottenuti rispetto alle strutture con pannelli sandwich. (iii) Le strutture PCB e SCB con involucro (sia SP che TS) presentano valori simili di spostamenti medi e dispersioni comparabili. Di contro, i modelli BF presentano una chiara differenza passando da PCB a SCB. In particolare, le strutture SCB mostrano valori di spostamento medi sempre maggiori di quelli ottenuti con schema PCB. Le ragioni di tale differenza sono da ricercarsi nella plasticizzazione dei collegamenti colonna-fondazione nel caso di sistemi SCB, che avviene per livelli di intensità sismica minori di quelli che comportano la plasticizzazione dei collegamenti travatura-colonna nello schema PCB. Nel caso di strutture con pannelli, il contributo irrigidente fornito dai pannelli stessi maschera le differenze di comportamento dei due tipi di struttura, PCB o SCB. Le analisi condotte permettono di ricavare una stima degli spostamenti attesi

al variare dell'intensità sismica (in termini di ordinata spettrale) per ciascun tipo di capannone esaminato. Ad esempio, è possibile osservare che la domanda di spostamento nel caso di strutture tamponate non supera valori pari a 1% dell'altezza delle colonne per ordinate spettrali fino a 1g, a prescindere dal caso esaminato. La figura 16 è analoga alla figura 15, ma riporta gli spostamenti in direzione Y ($d_{Y,peak}$). In questo caso, la risposta osservata non subisce variazioni passando da strutture prive di involucro (modelli BF) a strutture con involucro (SP o TS) nel caso di schemi strutturali di tipo PCB. L'effetto dei pannelli di chiusura laterale è relativamente più grande nel caso dei sistemi strutturali SCB. Tale differenza di comportamento tra gli schemi PCB e SCB è conseguenza della plasticizzazione dei collegamenti colonna-fondazione in direzione trasversale, plasticizzazione che porta a una deformabilità aggiuntiva anche in direzione longitudinale per via del comportamento 3D dell'intero organismo soggetto a input sismico bidirezionale. In ogni caso, l'effetto dei pannelli è decisamente piccolo in confronto a quanto osservato per la direzione trasversale. Tali differenze nei risultati si spiegano con

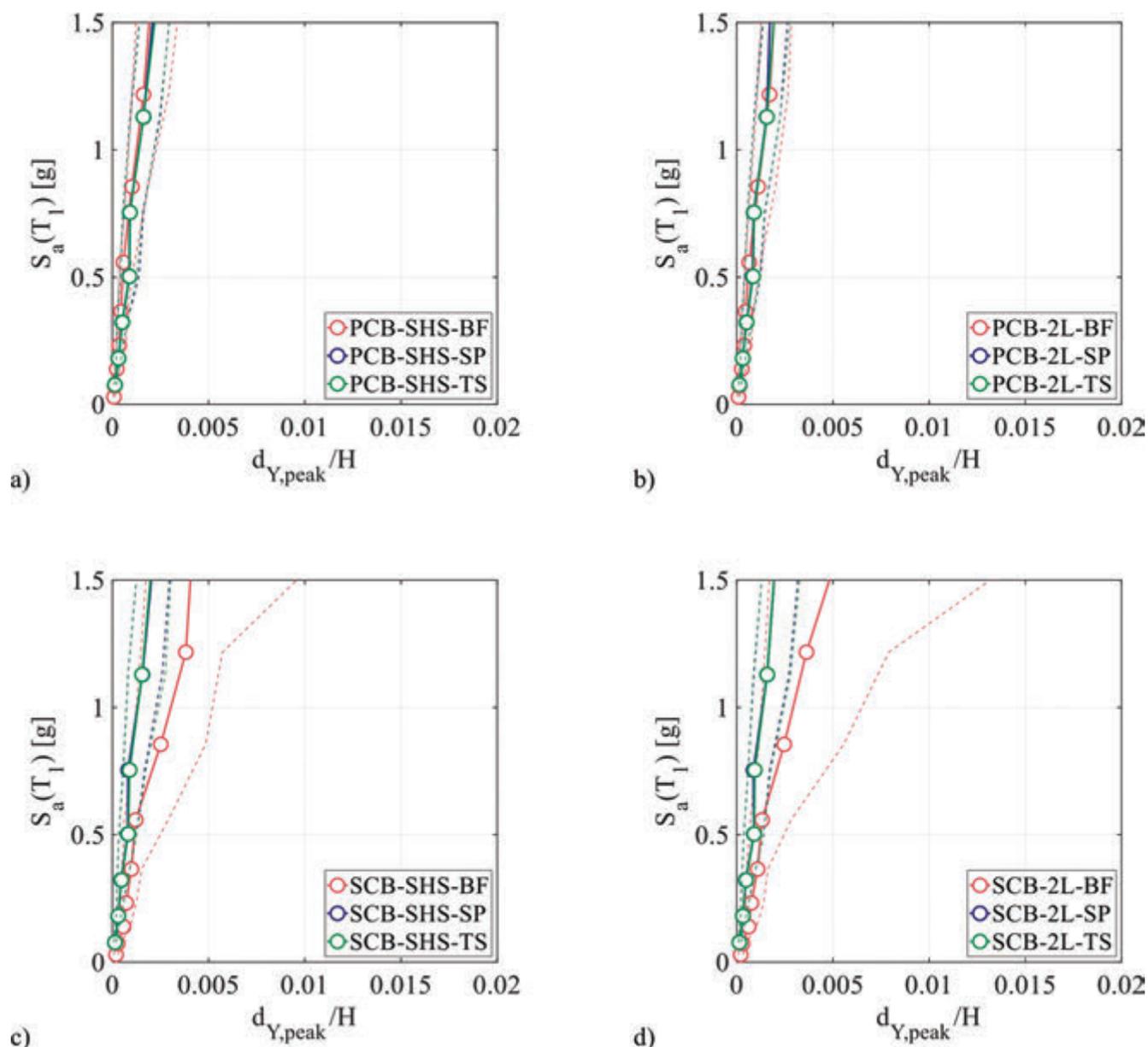


Fig. 16. | Spostamenti in direzione Y per gli edifici siti a L'Aquila.

la rigidità già relativamente grande fornita dai controventi strutturali in direzione longitudinale, che rende percentualmente meno importante il contributo ulteriore dei pannelli di tamponatura. Dalla figura 16 è possibile osservare che in tutti i casi esaminati il valore medio degli spostamenti richiesti in direzione longitudinale non supera lo 0,5% dell'altezza delle colonne, per valori di ordinata spettrale fino a 1,5g.

Risultati analoghi a quelli qui descritti sono stati ottenuti per i siti a minore sismicità (Napoli e Milano). Si rimanda il lettore interessato alle pubblicazioni [11, 12].

4.3.3 Risultati delle analisi dinamiche non-lineari: casi di collasso

La condizione di collasso è stata definita come occorrenza di almeno uno dei due eventi seguenti: (i) tendenza degli spostamenti a crescere senza limiti ("divergenza"); (ii) superamento di valori soglia degli spostamenti corrispondenti a una perdita di resistenza pari ad almeno il 50% della resistenza massima (valori soglia

ottenuti dalle analisi statiche non-lineari come descritto nel paragrafo 4.2). Maggiori informazioni sulla caratterizzazione del collasso sono fornite in [11, 12]. Può essere utile evidenziare che in tutti i casi esaminati, la condizione di collasso (i) (cioè, divergenza della soluzione) non si è mai verificata.

Con riferimento alle strutture con pannelli sandwich, la figura 17 mostra la frequenza dei casi di collasso osservati al variare del periodo di ritorno del terremoto (T_r). La frequenza è calcolata come rapporto tra il numero dei casi di collasso osservati e il numero totale delle analisi per ogni fissata intensità. In particolare, la figura 17(a) e la figura 17(b) sono relative alle strutture con schema PCB, e controventi SHS oppure 2L rispettivamente. La figura 17(c) e la figura 17(d) sono invece relative alle strutture con schema SCB, e controventi SHS oppure 2L rispettivamente. In ciascun grafico sono riportate le frequenze di collasso osservate al variare del sito dell'edificio. La figura 17 permette le osservazioni seguenti. (i) La frequenza dei collassi si riduce drasticamente passando da L'Aquila a Napoli e Milano. In particolare, a Milano praticamente non si

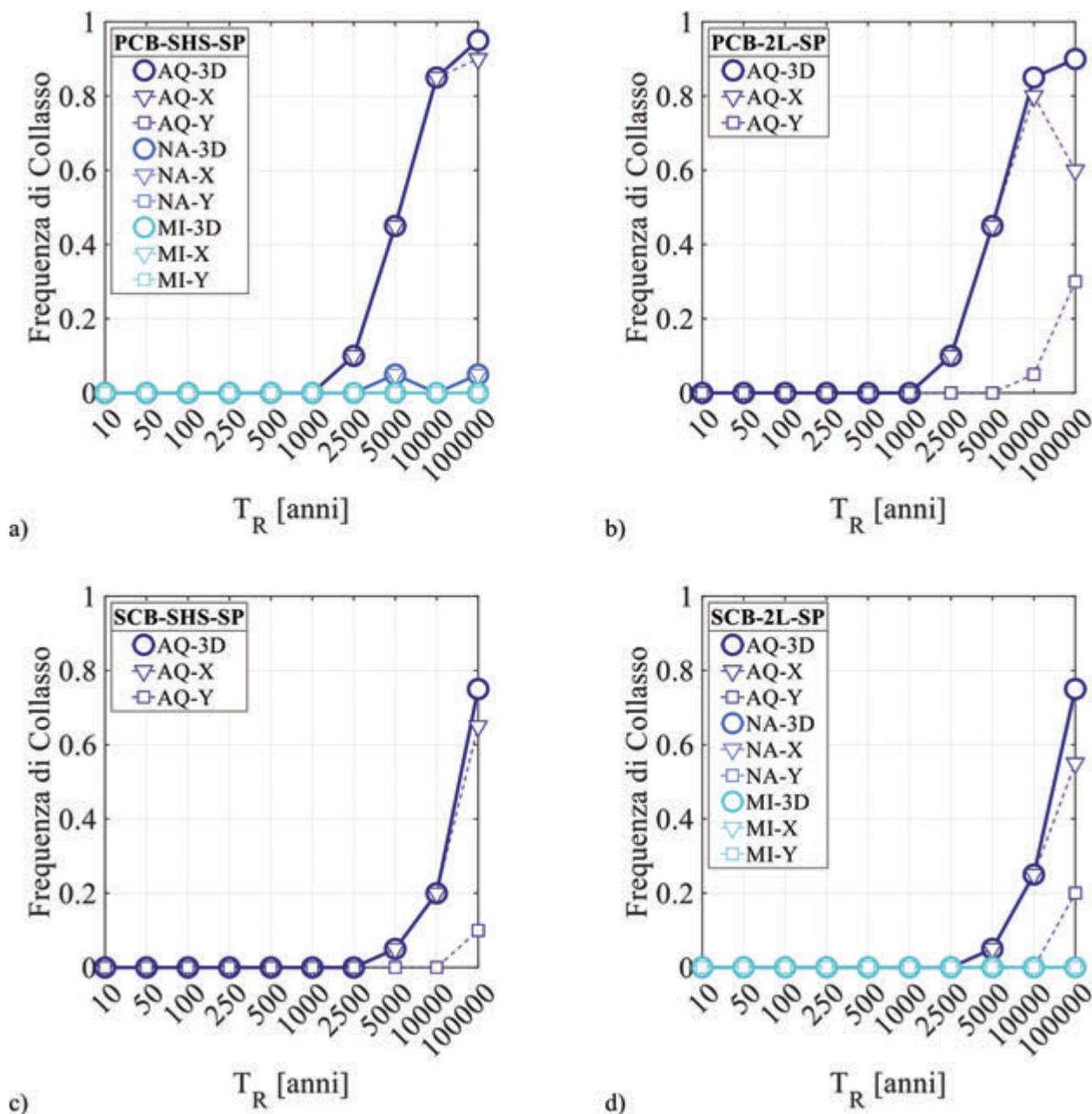


Fig. 17. | Frequenze dei collassi delle strutture con pannelli sandwich.

verifica mai collasso, qualunque sia l'edificio. La frequenza dei collassi risulta relativamente piccola (anche se non nulla) anche a Napoli, con valori diversi da zero solo a partire da $T_R = 5000$ anni. (ii) Con riferimento a L'Aquila, la figura mostra che la frequenza di collasso delle strutture con schema SCB è minore di quella delle strutture con schema PCB. Questo risultato è conseguenza della maggiore fragilità del meccanismo di rottura dei collegamenti travatura-colonna rispetto ai collegamenti colonna-fondazione. (iii) La frequenza del collasso dei portali (direzione X) è sempre maggiore di quella dei controventi (direzione Y). Infatti, la frattura dei controventi, oppure la rottura dei collegamenti dei controventi ai fazzoletti di estremità, si verifica sempre per periodi di ritorno del terremoto più alti rispetto a quelli per cui si verifica la rottura dei collegamenti nella direzione della travatura principale. (iv) Il tipo di sezione delle aste di controvento ha un effetto irrilevante sulle frequenze dei collassi, confermando la predominanza dei casi di collasso in direzione trasversale.

La figura 18 è simile alla figura 17, ma si riferisce alle strutture con involucro realizzato mediante lamiera grecate singole (TS). In base ai risultati mostrati in figura 18, è possibile fare le seguenti osservazioni. (i) Si ha una riduzione significativa dei casi di collasso passando da L'Aquila a Napoli e Milano. Tuttavia, rispetto a quanto si verificava nei casi con pannelli sandwich, lo schema PCB-SHS-TS presenta frequenze dei collassi con valori apprezzabili anche a Napoli. Si tratta di un effetto importante del sistema di involucro e della sua interazione con il sistema strutturale principale: il contributo dei pannelli sandwich è decisamente maggiore, in virtù del migliore collegamento (bullonato) all'orditura secondaria. Questi risultati confermano quanto osservato già in precedenza, in particolare con riferimento alla figura 15. (ii) Qualunque sia il sito e qualunque sia lo schema della struttura primaria, le frequenze dei collassi osservate nel caso di lamiera grecate singole sono sempre maggiori rispetto ai corrispondenti casi con pannelli sandwich, confermando il ruolo importante del tipo di pannelli impiegati

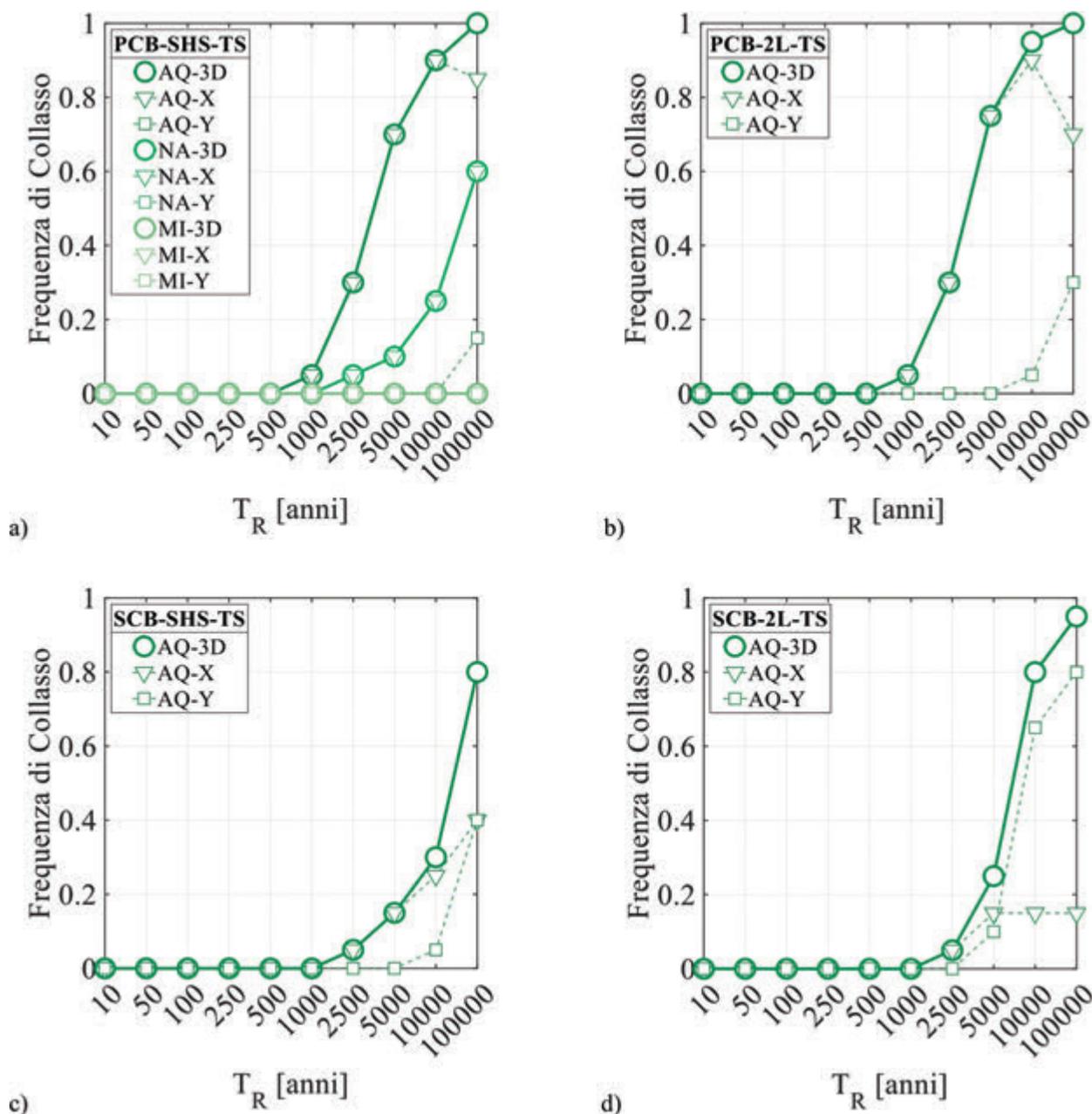


Fig. 18. | Frequenze dei collassi delle strutture con lamiere grecate singole.

e relativi collegamenti (viti invece che bulloni). In particolare, i risultati delle analisi mostrano frequenze dei casi di collasso pari all'unità per le strutture con schema PCB al livello di intensità sismica massimo considerato. (iii) Anche nel caso di pannelli in lamiera grecata singola, la frequenza del collasso in direzione X è significativamente maggiore di quella in direzione Y. (iv) Rispetto alle strutture con schema PCB, nel caso di schema SCB il tipo di sezione delle aste di controvento (e collegamenti relativi) ha un effetto importante. Infatti, la maggiore duttilità del meccanismo di collasso in direzione trasversale, fa emergere maggiormente le vulnerabilità in direzione longitudinale. In particolare, lo schema SCB-2L (figura 18(d)) mostra in modo evidente questo peggioramento relativo, con una larga maggioranza del numero di collassi in direzione longitudinale. Tuttavia, va anche considerato che la maggiore robustezza dei pannelli sandwich sopperisce alle deficienze del sistema strutturale principale, limitandone complessivamente la fragilità globale. Per tale ragione, la struttura

SCB-2L-SP mostra basse frequenze dei collassi, sia per la direzione longitudinale che complessivamente (figura 17(d)), in confronto con quanto si osserva per il caso SCB-2L-TS.

5 Considerazioni conclusive

Questo articolo ha riportato alcuni risultati derivanti da uno studio numerico sulla risposta sismica di "capannoni" in acciaio progettati senza specifici requisiti di duttilità. Lo studio ha quantificato, mediante analisi statiche e dinamiche non lineari, la risposta di edifici "tipici" in tre differenti siti con pericolosità sismica crescente (Milano, Napoli e L'Aquila). Per generare i casi studio, sono stati considerati due diversi schemi strutturali per i portali in direzione trasversale: (i) sistemi con collegamenti di tipo cerniera alla base delle colonne (PCB), e colonne continue per l'intero sviluppo in elevazione; (ii) sistemi con collegamenti semi-continui alla base delle colonne (SCB), e colonne interrotte all'altezza del collegamento con la travatura principale. In

aggiunta, sono stati presi in esame due differenti tipi di sezione per i controventi longitudinali (scatolari saldati e angolari accoppiati bullonati). Infine, per ciascuna struttura, sono stati considerati due tipi di pannelli di tamponatura laterale (pannelli sandwich oppure lamiera grecate singole).

Anzitutto, i risultati delle analisi confermano che si ha una drastica riduzione della fragilità al decrescere della pericolosità sismica del sito, con fragilità pressoché nulla a Milano, piccola a Napoli, apprezzabile a L'Aquila. Con riferimento agli aspetti prettamente strutturali, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- I pannelli di tamponatura hanno un effetto significativo sulla risposta dei portali, mentre l'effetto è relativamente piccolo nella direzione dei controventi.
- In termini di frequenza dei collassi, le analisi mostrano una significativa variabilità dei risultati al variare del tipo di pannelli e relativi collegamenti. I pannelli sandwich collegati mediante bulloni hanno comportato un comportamento dell'edificio assi più tenace nei confronti del collasso globale, rispetto ai pannelli realizzati mediante lamiera grecate singole e viti.

- Lo schema strutturale dei portali (PCB vs. SCB) ha conseguenze importanti in termini di frequenze dei collassi. In particolare, lo schema PCB si è rivelato più fragile dello schema SCB, a parità di involucro e controventi longitudinali. Questo risultato è stato conseguenza della maggiore fragilità del meccanismo di collasso osservato nei portali con schema PCB (rottura dei collegamenti tra i correnti della travatura e le colonne) rispetto allo schema SCB (crisi duttile con plasticizzazione dei collegamenti colonna-fondazione).
- Il tipo di sezione dei controventi ha avuto un effetto relativamente piccolo sui risultati, perché nella maggior parte dei casi il collasso dei portali in direzione trasversale ha anticipato il collasso dei controventi in direzione longitudinale. Gli effetti del diverso tipo di controvento si sono manifestati più chiaramente nel caso degli schemi SCB. Infatti, la maggiore duttilità dei portali SCB ha fatto emergere un maggior numero di casi di collasso in direzione dei controventi, mostrando una fragilità globale maggiore nel caso di controventi con angolari bullonati rispetto agli scatolari saldati.

6 Riferimenti bibliografici

- [1]. Cantisani, G., Della Corte, G., Sullivan, T.J., Roldan, R. (2020). "Displacement-based simplified seismic loss assessment of steel buildings", *Journal of Earthquake Engineering* 24 (sup1): 146 – 178. doi: 10.1080/13632469.2020.1713932.
- [2]. Cantisani, G., Della Corte, G. (2019). "Simplified displacement-based economic loss assessment of single-storey steel buildings", *SECED 2019: Proceedings of the SECED Conference on Earthquake Risk and Engineering towards a Resilient World*. Greenwich, England.
- [3]. Iervolino, I., Baraschino, R., Spillatura, A. (2022). "Seismic reliability of buildings versus evolution of design standards in Italy", *Journal of Earthquake Engineering* Submitted for publication.
- [4]. Scozzese, F., Terracciano, G., Zona, A., Della Corte, G., Dall'Asta, A., Landolfo, R. (2018a). "Modelling and seismic response analysis of Italian code-conforming single-storey steel buildings", *Journal of Earthquake Engineering* 22 (sup2): 2104 – 2133. doi: 10.1080/13632469.2018.1528913.
- [5]. Scozzese, F., Terracciano, G., Zona, A., Della Corte, G., Dall'Asta, A., Landolfo, R. (2018b). "Analysis of seismic non-structural damage in single-storey industrial steel buildings", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 114: 505-519. doi: 10.1016/j.soildyn.2018.07.047.
- [6]. CS.LL.PP. (1982). Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e norme tecniche per i carichi ed i sovraccarichi. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* 56, Rome, Italy.
- [7]. CS.LL.PP. (1982). Istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni (C 24 maggio). *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* 140, Rome, Italy.
- [8]. CS.LL.PP. (1986). Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (DM 24 Gennaio). *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* 108, Rome, Italy.
- [9]. CNR (1988). *Costruzioni di acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione* (1988). CNR-UNI 10011, Rome, Italy.
- [10]. CEN (2005a). EN 1993-1-8: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [11]. Cantisani G. (2021). *Seismic collapse assessment of older non-residential single-storey steel buildings*. PhD Thesis, Department of Structures for Engineering and Architecture, Naples, Italy.
- [12]. Cantisani, G., Della Corte, G. (2022). "Modelling and seismic response analysis of non-residential existing steel buildings in Italy", *Journal of Earthquake Engineering*. doi: 10.1080/13632469.2022.2030438.
- [13]. De Martino, F.P. (2014). *I pannelli coibentati nella progettazione e realizzazione di strutture e involucro secondo gli Eurocodici e le norme tecniche*. Dario Flaccovio Editore, in Italian. ISBN: 8857902447.
- [14]. De Matteis, G., Landolfo, R. (1999). Structural behaviour of sandwich panel shear walls: An experimental analysis. *Materials and Structures* 32: 331-341. doi: 10.1007/BF02479624.
- [15]. O'Brien, P., Eatherton, M.R., Easterling, W.S. (2017). Characterizing the load-deformation behavior of steel deck diaphragms using

past test data, Cold-Formed Steel Research Consortium Report Series, CFSRC R-2017-02.

- [16]. Cantisani G. Della Corte G. (2021). “Modelling issues and pushover response of single-story older steel buildings”, The Ninth European Conference on Steel and Composite Structures (EUROSTEEL 2021), Sheffield, UK. doi: 10.1002/cepa.1506.
 - [17]. McKenna, F., Scott, M. H., and Fenves, G. L. (2010). “Nonlinear finite-element analysis software architecture using object composition”, *Journal of Computing in Civil Engineering* 24(1), 95–107. doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000002.
 - [18]. Henriques, J., Jaspert, J.P., Da Silva, L.S. (2014). “Ductility requirements for the design of bolted lap shear connections in bearing”, *Advanced Steel Constructions*, 10(1), 33-52.
 - [19]. Della Corte, G., Landolfo, R. (2017). “Lateral loading tests of built-up battened columns with semi-continuous base-plate connections”, *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 783-798. doi: 10.1016/j.jcsr.2017.08.018.
 - [20]. Della Corte, G., Cantisani, G., Landolfo, R. (2018). “Battened steel column with semi-continuous base plate connections: experimental results vs. theoretical predictions”, *Key Engineering Materials*, 763, 243-250. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.763.243.
 - [21]. CEN (2005b). EN 1993-1-1: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
 - [22]. Hsiao, P.C., Lehman, D.E, Roeder, C.W. (2013). “A model to simulate special concentrically braced frames beyond brace fracture”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42, 183-200. doi: 10.1002/eqe.2202.
 - [23]. Sen, A.D., Roeder, C.W., Lehman, D.E., Berman, J.W. (2019). “Nonlinear modelling of concentrically braced frames”, *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 103–120. doi: 10.1016/j.jcsr.2019.02.007.
 - [24]. Može, P., Beg, D. (2014). “A complete study of bearing stress in single bolt connections”, *Journal of Constructional Steel Research*, 95, 126–140. doi: 10.1016/j.jcsr.2013.12.002.
 - [25]. ECCS (1995). European Recommendations for the Application of Metal Sheeting acting as a Diaphragm – Stressed Skin Design. European Convention for Constructional Steelwork, PUB 88.
 - [26]. Iervolino, I., Spillatura A., Bazzurro P. (2018). “Seismic reliability of code-conforming Italian buildings”, *Journal of Earthquake Engineering*, 22 (S2), 5–27. doi: 10.1080/13632469.2018.1540372.
-



Gaetano Cantisani

È Ingegnere Civile Strutturista (MSc), Dottore di Ricerca (PhD) in Ingegneria Strutturale, Geotecnica e Rischio Sismico. Svolge attività di ricerca nel campo delle strutture in acciaio, occupandosi principalmente di modellazione FEM non lineare di elementi strutturali e non-strutturali, modellazione di perdite economiche a seguito di danneggiamento post-sisma, caratterizzazione meccanica di sistemi strutturali in acciaio per consolidamento di edifici esistenti in cemento armato.



Gaetano Della Corte

È professore associato in Ingegneria Strutturale presso il Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura dell’Università di Napoli Federico II, con incarico di docenza per gli insegnamenti “Advanced Metallic Structures” e “Tecnica delle Costruzioni II”. Svolge attività di ricerca in vari settori della Tecnica delle Costruzioni, con particolare interesse ai temi concernenti le strutture metalliche, la progettazione sismica, il consolidamento di edifici esistenti, la resistenza al fuoco. Su tali temi è autore di oltre 180 pubblicazioni a diffusione prevalentemente internazionale.

Cicli di protezione di strutture metalliche: pulizia, pretrattamento, verniciatura

Protection systems for metal structures: cleaning, pre-treatment, painting

Michele Fedel*, Stefano Rossi

Università di Trento, Dipartimento di ingegneria Industriale, via Sommarive n. 9 38123 Trento

In questo articolo vengono trattati gli elementi salienti delle fasi di pulizia - pretrattamento - verniciatura alla base della realizzazione di un ciclo di protezione delle strutture metalliche mediante verniciatura che possa garantire la durabilità prevista senza incorrere in cedimento prematuro.

This article deals with the salient elements of the cleaning – pre-treatment – painting phases at the basis of the realization of a protection system for metal structures by painting that can guarantee the expected durability without incurring premature failure.

1. Introduzione

Uno dei metodi più diffusi per proteggere grandi strutture di acciaio, come ponti, coperture di stazioni, aeroporti, strutture portuali e offshore (figura 1) sono i rivestimenti organici. Altri termini vengono utilizzati come sinonimi, quali vernici, pitture, smalti (non si vuole entrare nei dettagli, anche se tecnicamente non sono la stessa cosa). Tali termini, tuttavia, si riferiscono comunque ad una miscela di prodotti chimici che sono in grado di formare una pellicola solida dotata di caratteristiche di resistenza meccanica e chimica tali da proteggere il manufatto su cui sono applicati [1].

Le vernici hanno avuto, e hanno un grande successo, grazie a diversi aspetti positivi, fra i quali possiamo citare la grande flessibilità. Possono infatti essere depositati su acciaio, su acciaio zincato, alluminio e le sue leghe, tutti materiali di natura e composizione differente. Si possono inoltre utilizzare diverse tecniche di deposizione sia manuali che automatizzate. Questi rivestimenti possono essere applicati in azienda o in cantiere una volta installata la struttura. In caso di danneggiamenti o di deterioramento nel tempo il ripristino risulta fattibile. Infine, aspetto non secondario, per opere che richiedono oltre agli aspetti tecnici anche caratteristiche



Fig. 1 | Esempi di strutture verniciate: ponte sul fiume Allegany (Pittsburgh, US) e Piattaforma offshore (mare Adriatico).

*Corresponding author. Email: michele.fedel@unitn.it

estetico-percettive, possono donare alla struttura una palette infinita di colori e di finiture. Il colore può risultare inoltre importante per motivi funzionali, di sicurezza e di mimetismo. Tutto questo unito ad un costo concorrenziale rispetto ad altre tipologie di rivestimenti. La vernice è tuttavia solo uno dei componenti di un sistema di protezione più complesso, che include anche il pretrattamento superficiale e che non può prescindere da un'ideale pulizia e decontaminazione della superficie metallica. In questo articolo discuteremo e presenteremo, sebbene in maniera estremamente sintetica e, talvolta, schematica, gli elementi salienti delle fasi di pulizia - pretrattamento - verniciatura alla base della realizzazione di un ciclo di protezione che possa garantire la durabilità prevista senza incorrere in cedimento prematuro.

2. Pulizia

L'adesione tra la vernice ed il substrato metallico su cui viene applicata è uno dei parametri fondamentali che determina la capacità di garantire una duratura protezione dalla corrosione. Con il termine adesione intendiamo la sommatoria di tutte le interazioni di carattere chimico, fisico e meccanico che intercorrono tra il metallo ed il polimero che costituisce la vernice. Ciò che può compromettere in maniera significativa il realizzarsi delle interazioni che comportano un'efficace adesione tra metallo ed il polimero è la presenza di materiale estraneo, ovvero contaminazioni superficiali di natura organica e/o inorganica (residui di lubrificante o di liquido lubrorefrigerante, polvere, sali, frammenti di calamina, residui oleosi, etc.). La presenza di tali contaminazioni sulla superficie del materiale deve essere assolutamente evitata, altrimenti l'efficacia del ciclo di protezione sarà irrimediabilmente compromessa. Le più comuni tipologie di pulizia adottate per assicurare un'ideale rimozione del materiale estraneo eventualmente presente sulla superficie del manufatto metallico possono essere di natura meccanica o chimica. La pulizia meccanica, se eseguita con spazzole o raschietti, può essere utilizzata per rimuovere residui di calamina, tracce di ruggine, residui di precedenti pitture o altri depositi di materiale estraneo di grosse dimensioni. Per procedere ad una pulizia meccanica più efficace è necessario intervenire tramite sabbiatura. In tale operazione una sostanza abrasiva (sabbia o graniglia metallica) viene fatta collidere ad elevata velocità contro la superficie da trattare. L'effetto complessivo è duplice: mentre vengono rimossi, con buona efficacia, i materiali estranei presenti sulla superficie metallica, le reiterate collisioni del materiale abrasivo sulla superficie del metallo promuovono la formazione di una marcata rugosità superficiale. Si osservi come l'incremento della rugosità si traduca in un aumento dell'adesione. Forma, dimensione e costituente del materiale abrasivo hanno un'influenza significativa sull'efficacia dell'esplicazione dell'azione abrasiva. I riferimenti per la valutazione del grado di pulizia raggiunto sono le normative UNI EN ISO 8501-1 [2] e EN ISO 12944-4 [3].

Per ciò che attiene alla pulizia chimica, i metodi più diffusi sono: (i) sgrassaggio con solvente, (ii) decapaggio acido e (iii) decapaggio alcalino. Tali sostanze pulenti possono essere applicate per immersione, a spruzzo o in fase vapore. La pulizia chimica è particolarmente efficace a rimuovere residui o tracce di sostanze oleose o grasse. Il solvente utilizzato per la pulizia può essere a base acquosa o di natura organica. I solventi a base acquosa contengono nor-

malmente tensioattivi e sono blandamente alcalini. Tale tipologia di liquido di lavaggio sta gradualmente soppiantando i solventi di natura organica (quali, ad esempio, acetone ed acetonitrile) a causa degli intrinseci problemi ambientali e della pericolosità per la salute umana dei composti organici volatili (VOC, Volatile Organic Compounds).

3. Pretrattamento

Il pretrattamento consiste normalmente in una conversione chimica del metallo. Tale processo migliora la resistenza a corrosione del metallo ed incrementa in maniera determinante l'adesione con la pittura/vernice. In particolare, il trattamento di conversione chimica comporta la formazione di composti poco solubili (e quindi resistenti alla corrosione) sulla superficie del metallo che manifestano altresì una peculiare morfologia tale da aumentare la superficie di interazione tra il metallo ed il polimero costituente la vernice (aumentando quindi l'adesione). Il pretrattamento si configura quindi come l'interfaccia tra il metallo e la vernice, svolgendo un ruolo fondamentale per la stabilizzazione della superficie metallica e la promozione dell'adesione [4]. La combinazione di tali fattori è dunque indispensabile per garantire la durabilità del ciclo di pittura (o verniciatura). Il processo di conversione superficiale si sviluppa attraverso quelle che possono essere identificate come tre fasi distinte, ovvero: (i) attacco chimico della soluzione sul metallo, con conseguente innesco di un processo corrosivo; (ii) modifica della composizione chimica della soluzione di conversione per effetto della solubilizzazione del metallo; (iii) precipitazione dei componenti soprassaturi sulla superficie del metallo. I principali trattamenti di conversione superficiale sono:

- cromatazione
- fosfatazione
- fluozirconatura / fluotitanazione
- trattamenti nanotecnologici

Il trattamento di cromatazione promuove la formazione di uno strato di ossi/idrossidi misti caratterizzati da legami covalenti Cr(VI)-O-Cr(III). La soluzione di conversione avviene per riduzione del Cr(VI) a Cr(III) secondo un meccanismo che produce la formazione di ossidi ed idrossidi misti di Cr e del metallo oggetto di pretrattamento. Lo strato di cromatazione è riconosciuto essere molto efficace nel proteggere il substrato metallico dalla corrosione grazie all'efficace effetto barriera e alla capacità di agire come materiale autorigenerante. Tuttavia tale tecnologia è in fase di abbandono, a causa della tossicità e natura cancerogena del cromo esavalente utilizzato nel processo. Dal 2017 la EU ha incluso questo composto nell'elenco delle sostanze soggette a restrizioni ai sensi della Direttiva 76/769/CEE (Direttiva REACH). A partire dal 2024 è prevista l'estensione di tali restrizioni anche al settore aeronautico (precedentemente esentato). È applicabile ad immersione e a spruzzo.

In funzione della chimica specifica del trattamento di conversione e della natura del substrato la fosfatazione può portare alla formazione di uno strato spesso alcuni micrometri costituito da fosfati di zinco, zinco-ferro, zinco-manganese. Si ottiene per dissoluzione del metallo e precipitazione di cristalli a base di fosfato. Lo strato di conversione ottenuto funge da barriera relativamente efficace contro la corrosione e favorisce significativamente l'adesione di

rivestimenti organici e adesivi. È applicabile ad immersione ed a spruzzo.

Fluozirconatura e Fluotitanazione portano alla formazione di uno strato di conversione superficiale molto sottile (10-100 nm) di ZrO_2/TiO_2 e composti complessi di Zr, Ti, F, Al e O. Il bagno di conversione superficiale contiene acido esafluorozirconico (H_2ZrF_6), acido esafluorotitanico (H_2TiF_6), altri composti esafluorometallati (come Na_2ZrF_6) e acido poliacrilico. La dissoluzione del metallo è seguita dalla formazione di composti esafluoroalluminati e, infine, dalla precipitazione degli ossidi di titanio e zirconio. È applicabile ad immersione e a spruzzo.

Il termine “trattamenti nano-tecnologici” non indica specificamente né un processo né una composizione chimica precisa. Diversi produttori di pretrattamenti hanno immesso sul mercato svariati trattamenti c.d. nano-tecnologici, la cui esatta composizione di rado viene indicata con precisione. Allo stato si osserva come in numerosi casi il trattamento consista in un miscuglio tra i componenti dei trattamenti di fluotitanazione (o fluozirconatura) a cui vengono mischiati alcossidi di silicio o organosilani. Talvolta, invece, alcossidi di silicio o organosilani vengono mischiati con composti metallo-organici di zirconio o titanio. Altre volte si tratta sempre dei componenti dei trattamenti di fluotitanazione (o fluozirconatura) a cui vengono aggiunte delle catene polimeriche per ispessire lo strato di conversione superficiale al fine di migliorarne la resistenza a corrosione. Altre formulazioni, ignote e talvolta protette da brevetto, sono presenti sul mercato e vengono proposte come alternative ai pretrattamenti più tradizionali. Asseritamente, il minimo comune denominatore di tali trattamenti dovrebbe essere il fatto di mantenere lo spessore del film depositato entro i 100 nm, al fine di godere dell'appellativo di nano-tecnologico. Relativamente alle performance, è difficile esprimersi in termini generali, considerando che tali prodotti sono piuttosto recenti e che risulta quindi piuttosto complesso fornire indicazioni sulla durabilità nel medio-lungo periodo.

4. Verniciatura

Come primo punto risulta necessario dare qualche informazione sulla composizione di una vernice. Questa tipologia di rivestimento è costituita da 4 elementi [5]. Un legante (o binder) che costituisce il film polimerico ed è responsabile dell'adesione con il substrato metallico e della coesione dei pigmenti e degli additivi. Abbiamo quindi i pigmenti, ovvero delle particelle solide insolubili con diversi scopi quali inibizione dalla corrosione, per donare il colore, modificare la rugosità superficiale e per creare effetti superficiali. Quindi gli additivi, che sono composti o particelle di tipo organico o inorganico che vengono aggiunti per modificare le proprietà delle vernici, quali antischiuma, stabilizzanti, modificatori della reologia ed infine come riempitivi per ridurre il costo del rivestimento organico. Abbiamo infine il solvente, presente in molti sistemi verniciati ma non in tutti, che serve per mantenere allo stato liquido la vernice durante lo stoccaggio e l'applicazione. Il legante ed i pigmenti saranno solubilizzati o dispersi nel solvente.

Le vernici le possiamo classificare a seconda della tipologia del legante, come spesso vengono indicate. Ogni tipologia di legante presenta caratteristiche che la rendono più o meno adatta per alcuni utilizzi, per particolari ambienti, per essere applicata come stato

a finire (top coat) o come primer. La matrice epossidica sarà ottima come primer per le sue proprietà di resistenza alla corrosione e di adesione. Sarà invece meno indicata per essere utilizzata come top coat per la sua scarsa resistenza agli UV. I leganti acrilici invece presentano un'ottima resistenza all'invecchiamento e all'abrasione e nello stesso tempo un aspetto superficiale che li rende candidati ideali come strati di finitura. Per quest'ultimo utilizzo anche le resine poliestere presentano buone resistenze unite ad un costo limitato. Il costo penalizza invece i leganti di tipo poliuretano che, per le loro pregevoli proprietà di resistenza all'invecchiamento, all'abrasione unite a proprietà di adesione ed estetiche, ne renderebbero molto appetibile l'uso.

Abbiamo quindi diverse tipologie di vernici. Le più antiche e ancora molto utilizzate sono a base di solventi organici e presentano quindi problematiche di tipo ambientale. Il rivestimento organico (legante, pigmenti ed additivi) disciolto nel solvente andrà a formare lo strato protettivo a seguito dell'evaporazione del solvente. Per ridurre l'impatto ambientale, il rischio d'incendio ed i rischi per la sicurezza dell'operatore, sempre più frequentemente si cerca di sostituire i solventi organici con l'acqua, ottenendo quindi le c.d. “vernici all'acqua”. Anche in questo caso avremmo la formazione del rivestimento grazie all'evaporazione del solvente (acqua, in questo caso).

Una via alternativa, sempre nell'ottica di ridurre l'impatto ambientale, è ridurre il solvente il più possibile arrivando fino all'80% di solido. Abbiamo quindi le vernici c.d. “alto solido”, molto diffuse negli Stati Uniti e nel Nord America. In Europa invece si è preferito risolvere le problematiche ambientali con le vernici a polveri. In questo caso si partirà da particelle solide, sotto forma di polvere che contengono sia il legante, i pigmenti e gli additivi. Mediante un campo elettrico le particelle cariche saranno attratte dal substrato. Un trattamento termico (curing) permetterà la formazione dello strato protettivo con la reticolazione delle catene polimeriche. Il rivestimento potrà formarsi anche con reticolazione mediante radiazione UV o con reazione con l'ossigeno oppure, tipico delle vernici a due componenti, avremmo che la reazione di reticolazione partirà nel momento della miscelazione delle due specie attive. Da tener presente che saranno importanti per una corretta deposizione della verniciatura la reologia del materiale per permettere l'applicazione ma nel tempo stesso la velocità di evaporazione del solvente o di reticolazione dei componenti organici per avere la formazione del rivestimento con proprietà protettive o per poter depositare un secondo strato organico. Utile indicazione sarà quindi il tempo disponibile per l'applicazione, chiamato pot-life, prima che la viscosità sia troppo elevata.

Possiamo quindi introdurre alcune informazioni sulla struttura di sistema protettivo organico tipico per una grande struttura.

Dopo le fasi di pulizia e di pretrattamento (cfr. Capitoli 2 e 3) si passa all'applicazione degli strati di vernice. Per una grande struttura, quale un ponte, una grande struttura architettonica o una struttura a mare, come una piattaforma offshore (per le quali, quindi, si preveda una vita di servizio molto lunga), si dovranno prevedere più strati di vernice. Il primo strato, detto primer, è lo strato più importante per la protezione poiché deve garantire nel medesimo tempo un'ottima adesione con il substrato e la sua protezione. Spesso il primer prevede la presenza di inibitori della cor-

rosione e un'alta percentuale di lamelle o polvere di zinco (primer zincante) per garantire una certa protezione catodica. Il legante può essere di tipo epossidico, uretanico o vinilico. Non risulta invece importate la resistenza alle radiazioni UV o all'abrasione per il fatto che verranno depositati degli strati successivi. Lo strato più esterno, chiamato strato di finitura (o top-coat) sarà lo strato che proteggerà gli strati sottostanti e avrà la funzione oltre che di protezione dalla corrosione anche di donare colore e finitura superficiale. Inoltre, poiché in molti casi è richiesta una resistenza al danneggiamento meccanico (abrasione e erosione) potrà prevedere la presenza di additivi e cariche che ne aumentino la durezza o che riducano il coefficiente di attrito. Potremmo avere anche finiture di tipo fluorurato in modo da ridurre la contaminazione superficiale e favorire la pulizia. Come ultimo strato dovrà presentare un'ottima resistenza alla radiazione UV in modo da limitare o ritardare nel tempo il cambio di colore. Per tale motivo, frequente è l'additivazione di agenti anti UV. Diverse sono le tipologie di legante utilizzabili come top coat. I più diffusi sono di tipo poliuretano, acrilico, alchidico e epossi-poliestere. I leganti di tipo epossidico tendono ad essere usati meno frequentemente per la ridotta resistenza alla radiazione UV con tendenza all'ingiallimento e allo sfarinamento.

Fra il primer e il top coat possono essere presenti uno o più strati intermedi, con la funzione di aumentare la protezione dalla corrosione contribuendo inoltre all'incremento di spessore. Nel caso si necessiti di una struttura con una resistenza al fuoco, come strati intermedi viene previsto l'uso di prodotti intumescenti.

Difficile dare indicazioni precise sugli spessori dei diversi strati, per l'influenza del numero di strati, della tipologia di leganti utilizzati, dell'ambiente aggressivo e dalla vita utile richiesta alla struttura. Come prima informazione possiamo indicare che i primer prevedono spessori (asciutti) compresi fra i 40 e i 75 μm mentre per il top coat si prevedono dai 50 ai 130 μm per arrivare ad uno spessore totale del sistema verniciante nell'intervallo compreso fra 150 e 350 μm .

Molto importate è infine l'applicazione della vernice. Come abbiamo visto ci sono diversi metodi di applicazione in funzione della tipologia di struttura e per il fatto che l'applicazione avvenga in impianto o in cantiere. Per grandi strutture con vernici a solven-

te, all'acqua o ad alto solido i metodi di applicazioni da preferire sono in primis l'applicazione a spruzzo, che permette di ricoprire in modo molto uniforme superfici molto estese. In zone dove non risulta fattibile l'applicazione a spruzzo, per motivi di geometrie particolari, problematiche ambientali o per smalti e finiture a basso spessore l'applicazione a rullo è indicata. Possibilmente invece sarebbe da evitare l'applicazione a pennello e limitatamente a zone di ridotta dimensione, per ritocchi e dove non possano essere utilizzati gli altri metodi. Infatti questa applicazione risulta critica per la grande influenza dell'abilità dell'operatore e della geometria (posizione) di applicazione.

Accenniamo ora a come un rivestimento organico protegge dalla corrosione il substrato metallico. L'idea comune è quella che la vernice sia una barriera che isoli il metallo dall'ambiente aggressivo. Questa è una visione semplicistica poiché nella protezione dalla corrosione entrano in gioco diversi fattori. Come sappiamo per un processo corrosivo dobbiamo avere oltre al metallo, l'ossigeno, l'acqua e la presenza di ioni che permettano di chiudere il circuito fra la zona anodica quella catodica. L'ossigeno necessario per le reazioni di corrosione riesce a diffondere attraverso il rivestimento, nonostante questo sia molto spesso. Anche l'acqua riesce a penetrare nel tempo attraverso il rivestimento e migrare verso l'interfaccia rivestimento/metallo. Rimane quindi la necessità di rendere difficoltosa la migrazione degli ioni. È questo quello che deve cercare di fare un buon rivestimento protettivo. Di grande importanza è inoltre una buona pulizia e preparazione superficiale. Infatti, se sulla superficie del metallo rimangono dei contaminanti questi, essendo molto spesso igroscopici, richiameranno e favoriranno la diffusione dell'acqua verso l'interfaccia. Un secondo aspetto molto importante riguarda l'adesione fra rivestimento e substrato che deve risultare molto buona in modo da sfavorire l'accumulo di acqua ostacolando la diffusione di ioni. Inoltre, se l'adesione non fosse ottimale, la presenza di acqua tenderebbe a far gonfiare il rivestimento con il tipico fenomeno della formazione di bolle nel rivestimento (blistering). Un'adesione non sufficientemente elevata, legata ad una non ottimale preparazione superficiale o ad una scelta errata del sistema verniciante, porterà in breve tempo alla formazione di blister fino alla completa delaminazione dello strato organico. Questo fenomeno si osserva spesso nel caso di acciaio



Figura 2 | Verniciatura in cantiere di un top side di una piattaforma offshore

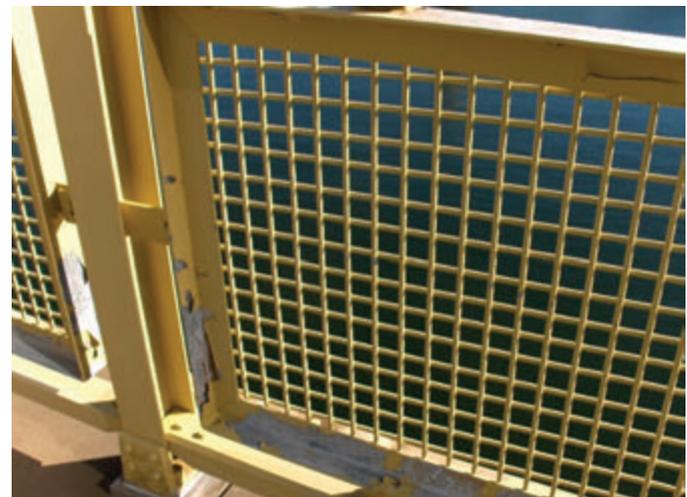


Fig. 3 | Distacco della vernice dall'acciaio zincato a caldo



Fig. 4 | Esempi di primi segni di degrado e degrado importante di strutture in acciaio verniciato.



Fig. 5 | Zona di marea e di splash di una piattaforma offshore con pesanti segni di degrado del sistema protettivo.

zincato a caldo e successivamente verniciato, come si può apprezzare in figura 3.

Sia per la scelta di un sistema verniciante non ottimale, sia per la non corretta preparazione superficiale, sia per il naturale degrado della vernice con perdita nel tempo delle proprietà protettive, avremmo ad un certo tempo la necessità di porre rimedio alla situazione di degrado, che potrebbe comportare la perdita delle proprietà strutturali del manufatto. Ottimale sarebbe prevedere già

in fase di progetto azioni di controllo e di manutenzione nel tempo per non trovarsi nell'emergenza e nella necessità di dover eseguire operazioni molto più radicali ed onerose. Risulta quindi necessaria nel tempo l'effettuazione di monitoraggio per evidenziare i primi segni di degrado della struttura (figura 4).

Le operazioni di ripristino e manutenzione sono normalmente molto più onerose della prima verniciatura. Esiste la necessità di asportare la vernice ammalorata, ripreparare la superficie e riapplicare gli strati vernicianti. Queste operazioni si dovranno svolgere non più in impianto ma in loco con problemi di natura ambientale, di sicurezza degli operatori e di difficoltà nell'avere le condizioni favorevoli per l'applicazione della vernice. Se pensiamo al ripristino della zona di splash e di marea di una piattaforma offshore, come riportato in figura 5, o di un ponte, risulta chiara la difficoltà del confinamento della zona di operazione per evitare lo spargimento di residui durante la preparazione della superficie sia dell'over spray della vernice.

Non sarà possibile o molto più difficoltoso, per esempio, sabbare la superficie da riverniciare. Inoltre, anche gli operatori spesso si ritroveranno ad operare in condizioni non favorevoli (condizioni meteo sfavorevoli, altezze o posizioni difficili da raggiungere).

Questi aspetti fanno subito capire la necessità di progettare nel modo migliore possibile il sistema protettivo in funzione dell'ambiente e della vita di servizio richiesta prevedendo anche periodici controlli e azioni di manutenzione.

Bibliografia

- [1] W. Neri, "Introduzione alla verniciatura delle superfici metalliche", Tecniche Nuove, 1990.
- [2] UNI EN ISO 8501-1:2012, Preparazione dei substrati di acciaio prima dell'applicazione di pitture e prodotti correlati - Valutazione visiva del grado di pulitura della superficie - Parte 1: Gradi di arrugginimento e di preparazione di substrati di acciaio non rivestito o di substrati di acciaio dopo la rimozione totale del rivestimento preesistente, 2012
- [3] UNI EN ISO 12944-4:2018, Pitture e vernici - Protezione dalla corrosione di strutture di acciaio mediante verniciatura - Parte 4: Tipi di superficie e loro preparazione, 2018
- [4] Z. W. Wicks, Jr., F. N. Jones, S. P. Pappas, D. A. Wicks, Organic Coatings Science and Technology, John Wiley & Sons, 2007
- [5] Vernici - Materiali Tecnologie Proprietà, S. Turri (Ed.), Zanichelli, 2007



Michele Fedel

Michele Fedel è Professore Associato in Chimica Fisica Applicata presso l'Università degli Studi di Trento. Svolge attività didattica nell'ambito della corrosione, dell'elettrochimica e della conservazione e restauro dei beni culturali. Afferisce ai laboratori "Rivestimenti e Anticorrosione industriale" e "FeelGreen Lab" del dipartimento di Ingegneria Industriale. I principali interessi di ricerca sono: la protezione dalla corrosione tramite rivestimenti organici ed inorganici, la conversione chimica e la funzionalizzazione delle superfici, lo studio della durabilità di pitture e vernici ed il monitoraggio del loro degrado.



Stefano Rossi

Responsabile del laboratorio di Rivestimenti e Anticorrosione industriale, Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Trento: <https://sites.google.com/unitn.it/labrivestimenticorrosione/home>

Docente dei corsi di "Protection of Materials and Structures" and "Product Design". Si occupa di protezione dei materiali in particolare con l'utilizzo di rivestimenti (organici, metallici e ceramici) e del loro monitoraggio mediante tecniche elettrochimiche e test di laboratorio accelerati. Oltre al comportamento a corrosione e all'abrasione delle superfici si interessa delle proprietà estetico-percettive (colore, gloss). La ricerca è volta inoltre allo studio di smart coatings.

Acquista i
Quaderni
CTA

<https://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/shop/>

The advertisement features four book covers from the 'I quaderni del CTA' series. On the left, a blue cover titled 'OPERE IN ACCIAIO' and a yellow cover titled 'OPERE IN ACCIAIO' with a large number '3'. On the right, a red cover titled 'IL CAPITOLINO' and a green cover titled 'BULLONERIA STRUTTURALE' with a large number '2'. The central text 'Acquista i Quaderni CTA' is in a large, grey, sans-serif font. Below it is a black and white QR code. At the bottom, a URL is provided: <https://www.collegiotecniciacciaio.it/costruzionimetalliche/shop/>.

Design considerations on the Aero-dynamic stability of a specific type of cruciform variable section used as tied-arch bridge hangers

Considerazioni sulla stabilità aero-elastica di una tipologia particolare di pendino utilizzata per ponti ad arco superiore a spinta eliminata

Riccardo Zanon*, Miguel Candeias | ArcelorMittal Global R&D
Jacques Berthelley | CEREMA

This article investigates the behaviour of a specific form of tied-arch bridge hangers under transversal wind loading. The hanger is formed by a welded cruciform section with edge widths changing linearly along its axis forming two triangles. These triangles are assembled in such a way that the total cross-section area remain constant. The concept has been developed by J. Berthelley specifically for small and medium tied-arch bridges. This kind of section is not explicitly covered by the simplified approach in the standards for the verification under lateral wind. In practice it has performed adequately and no induced vibration from vortex shedding phenomena have been detected. For a specific case, a detailed analysis (using computational fluid dynamic) confirmed that the risk of vibration from vortex shedding could be excluded. The static approach using a reasonable shape factor according to the standard could deliver safe sided results.



Fig. 1 | Pont sur l'Orbs à Bedarieux, France (2011)

*Corresponding author: riccardo.zanon@arcelormittal.com

L'articolo presenta delle considerazioni progettuali relative alla messa in opera di una particolare forma di pendino utilizzata per ponti ad arco a spinta eliminata. La membratura si caratterizza per essere formata da due piastre piane triangolari disposte in maniera speculare e saldate insieme per formare una sezione cruciforme variabile ma con area trasversale costante. Questa tipologia è stata proposta da J. Berthelley ed applicata a diverse opere costruite in Francia. Nella prassi si sono verificate efficaci per piccoli o medi ponti "bowstring" e non si sono riscontrati problemi relativi alla vibrazione causata dal vento. Tuttavia dal punto di vista formale queste sezioni non sono coperte dal quadro normativo per quanto riguarda l'applicazione del metodo semplificato. Per questo motivo per dei nuovi progetti è stato necessario fare delle considerazioni progettuali complementari (compresi studi numerici avanzati di fluidodinamica computazionale) per validarne l'adeguatezza.

1. Introduction

Tied-Arch bridges are a classical structural typology which joins aesthetic and efficiency for spans ranging from 50 to 250 m [1]. The component analysed in this study are the hangers, specific elements which suspend the deck (carrying the traffic load) to the above-standing arch.

Compared to other bridges typologies with long tension members (e.g. cable-stayed bridge), the hangers of tied-arch bridge are elements less endangered by vibration due to their shorter lengths (a simple geometric consideration can show that in tied-arch bridge the longest hangers are in the range of 0,15 / 0,25 times the span, whereas for the cable-stayed bridge is in the range 0,6 / 0,8 times the span). Furthermore, in many cases hangers are realized as bars with significant flexural resistance. Nevertheless, also in tied-arch bridges hangers remain a very slender element and, depending on various conditions, the risk of excessive vibrations may occur. Such events have been detected in real cases, some of them having caused also structural damage [6].

The study of hangers subjected to wind induced vibration consists in a complex phenomenon, which nevertheless has been extensively studied in the last years. Design provisions [2] propose detailed methods of verification for the most common cross-section shapes which can be found in practice, namely the circular and the rectangular ones [8]. These design procedures permit to obtain safe results together with an economic dimensioning of the cross-section. There are nevertheless cases which are not covered by the standard: one of them is cruciform sections with variable dimensions along the axis: this will be the topic of this contribution.

In France since several decades the radial hanger arrangement found a relevant success as an alternative to the vertical one (figure 1). The major advantage of this configuration is that the hanger-arch connection is always the same with a fixed angle of 90° degrees, greatly simplifying the detailing and the fatigue design [1]. This arrangement provides a very aesthetical layout and permits also to have a normal force in the arch which has less variation compared

to the vertical hanger configuration. Jacques Berthelémy further developed the radial configuration with the definition of a specific cruciform hanger connection, which is particularly adapted for small and medium tied-arch bridges [7]. The hanger is composed by a cruciform section with variable dimensions along its axis, with one edge linearly decreasing whereas the other is linearly increasing. The variation is done in a way that the total cross-section remains constant and is therefore optimized. In this way the flat at the bottom part can be directly welded in the vertical plane of the web and at its top can be welded to a gusset plate in a plane radial to the arch, with the total area of the cross section remaining constant. From the static point of view, the connection at each end offers relevant flexibility around one axis, so that the bending moment in the hanger remains small.

This type of hanger requires higher steel consumption than cables or high-strength bars with pinned ends, but can be fabricated and installed by conventional steel contractors without the need of subcontracting a specialized company for tension elements. It results therefore economical for small to medium bridge works, because the higher impact of steel consumption is largely compensated by the fact that there is no need to have an additional actor to intervene in the construction site. Experience has showed that it can also overtake some compression (see figure 2: installation of the arch deck is done by kamag with a support point below the hanger, without need of additional bracing elements). This kind of hanger does not need pre-stressing, is fatigue-resistant and easily inspectable [7]. This hanger type has been used for bridges up to 90 m span and hangers up to 17 m length without any problem of wind-induced resonance effects, due to the strongly variable inertia (figure 1).

The design of this type of section corresponds to conventional steelwork application and is therefore straightforward for ULS and SLS check, including fatigue. Nevertheless these types of sections are not directly covered amongst the shapes presented in Annex E of [2] for wind analysis: for transversal wind it can be assumed to be similar to a rectangular section, but since the cross-section is



Fig. 2 | Ko-We-Kara, Nouvelle Calédonie, France (2018)



Fig. 3 | Espira-de-l'Agly, Pyrénées-Orientales, Occitanie, France (2005)

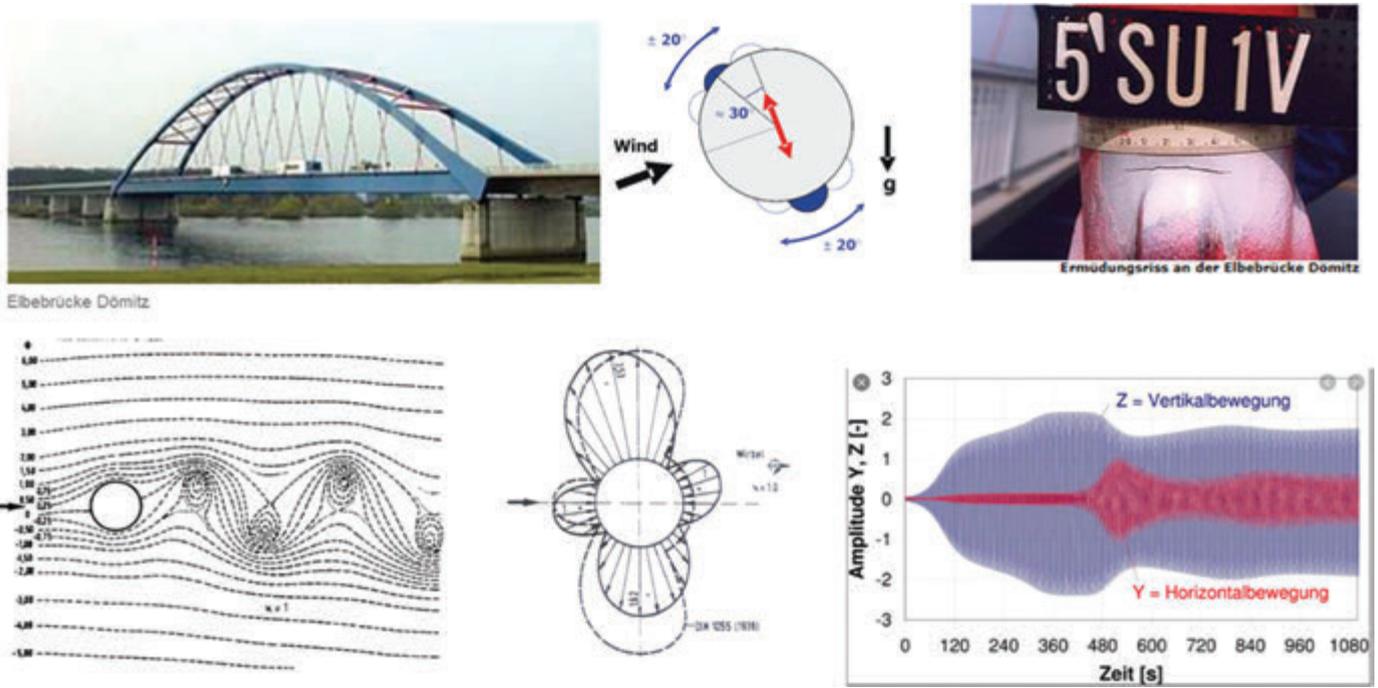


Fig. 4 | Hanger vibration problem detected at Elbebrücke Dömitz [6]

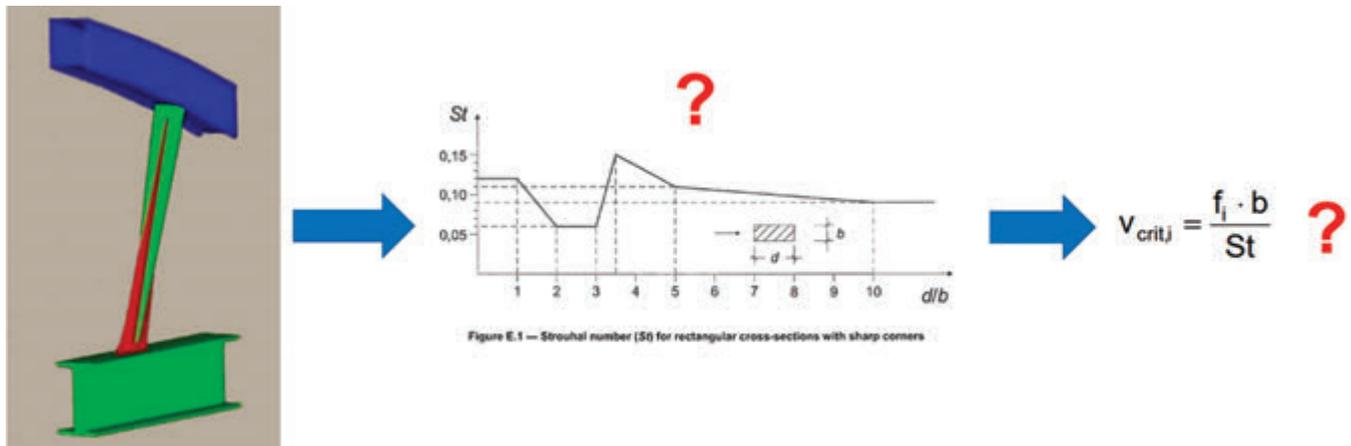


Fig. 5 | Problem posed by the specific type of hanger for which it was not possible to determine a Strouhal number



Fig. 6 | View of the central part of the decks with the hanger layout for the project considered

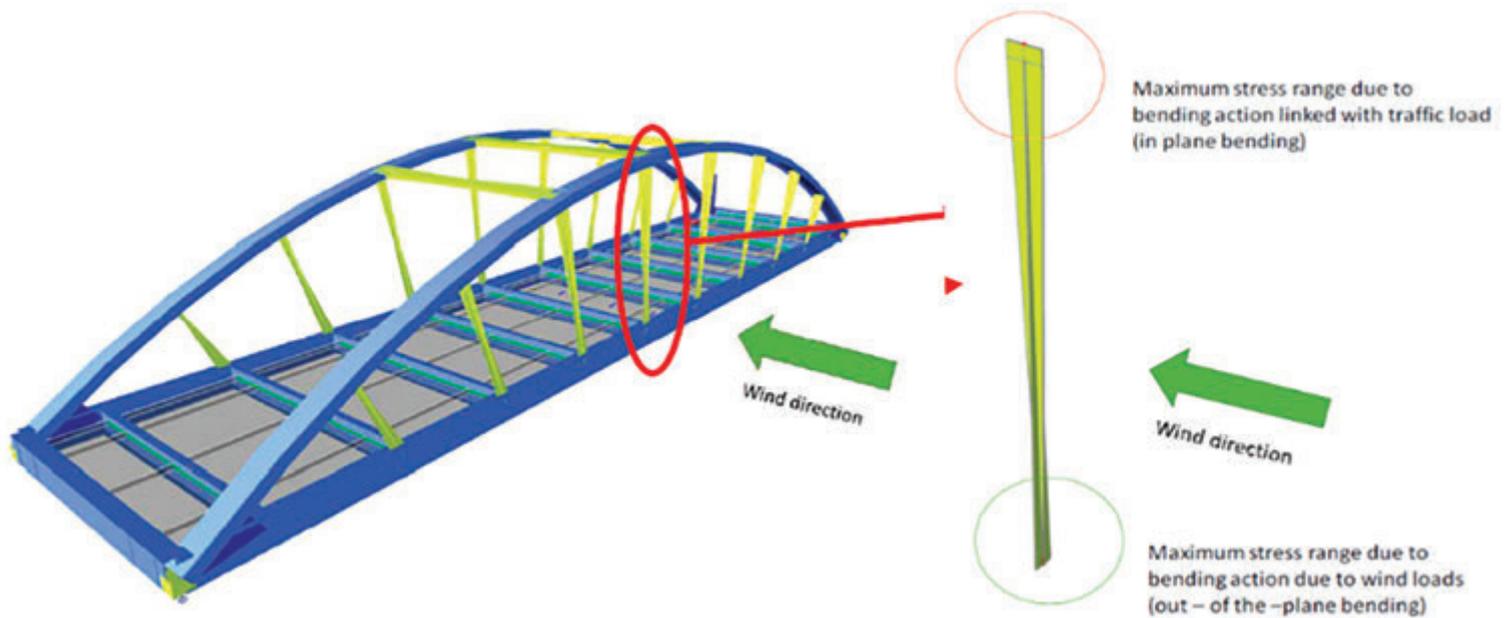


Fig. 7 | Direction of the lateral wind considered for the analysis

varying along the axis it is not possible to characterize its Strouhal number (figure 5) .

2. Analysis

2.1. Preliminary considerations

In the scope of the conceptual design of three new tied-arch bridges it was decided to use a radial hanger arrangement in combination of the special hanger shapes described above. The span of the tied arch bridges was ranging from 50 to 80 m with a rise to span ratio of approximately 0,2 (figure 6).

As a first important consideration, only wind acting transversally

to the plane of the arch was considered as design relevant for the hangers (figure 7). Technical literature in fact confirms that for tied-arch bridges the wind component in the plane is not relevant for the hangers due to the covering action that the arch rib itself ensures. Torsional problems could be reasonably excluded because the structural behaviour of the hanger, due to the variable geometry and complete fixation at each end, is strongly dominated by bending in each of the axis (this will be confirmed also by the modal analysis showed in the next chapter). The resistance to combined bending is significantly higher to the one of the weak axis bending. Based on these considerations, the study has been done only for the most critical situation which is the transversal wind acting perpendicularly to the arch plane: clearly

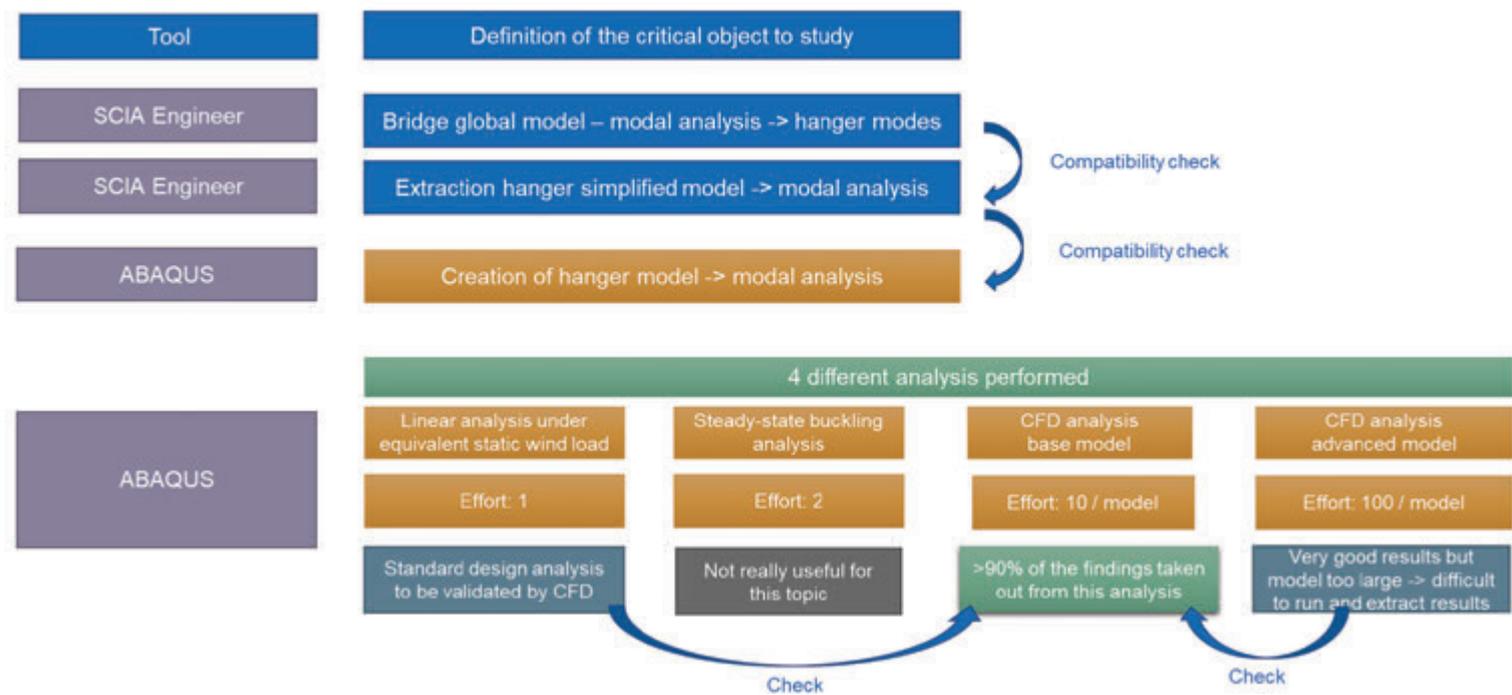


Fig. 8 | Approach used in this study to assess the soundness of the standard linear quasi-static check

complementary study could be performed for other wind directions but based on literature study they shall not be more severe for the type of hanger considered.

A second important consideration for this kind of hangers is that the traffic loads applied on the deck induce bending moments (and relative stress peaks) which are mainly in the plane of the arch. This causes bending moment with maximum stresses which occur at the top of the hanger at the connection with the arch. These peaks were indeed decisive for the fatigue verification of the structure. On the contrary, transversal wind acts perpendicular to the plane of the arch (out-of-plane direction), inducing action and maximum stress range at the bottom of the hanger. As a conclusion the bending moments caused by traffic and by lateral wind are orthogonal and induce maximum stress values at different cross-section locations (figure 7). This is a very important fact which permits to state that fatigue induced by traffic loading and by eventual wind vibration do not superpose their effects in the same location.

2.2 Modal analysis

From the complete model of the bridge (realized with SCIA Engineer 19) the different hangers were extracted, creating a simplified model where the hangers were modelled as beam elements with varying cross-sections and full restraints at their ends for displacement, rotation and torsion. The eigenfrequencies of these simplified models were compared to the ones of the complete model and the difference was not significant: in fact, the arch rib and the deck have a significant higher stiffness and therefore can be modelled as rigid restraints to the hangers. This check was just a confirmation of the approach proposed in [8].

For further analysis, only the longest hanger of the bridges with a net length of 12.43m was evaluated more in detail. In fact all the other hangers had eigenfrequencies close or higher than 10 Hz. For rectangular shapes the German design provisions state that the

aerodynamic effect can be neglectable if the eigenfrequency lies above 10 Hz [8]: this assumption was extended also to our case.

The hanger analysed have a net length of 12,43 m and a width ranging from 40mm to 800mm about one axis, and 40 to 500 mm on the other axis (figure 10).

For the hanger considered, an ABAQUS® 3D model using brick elements and linear elastic material was developed. The eigenmodes obtained with the 3D brick models are slightly higher than the one obtained with the 1D beam model, but the difference is around 3%. This confirms the compatibility between the two models and validates the further use of the 3D brick model for the CFD analysis. It can be observed that the torsional eigenfrequencies of the hangers are considerably above the bending modes (> 1,5 higher): this confirms that the torsional behaviour or combined bending about the two axes are not modes susceptible to be excited.

2.3. Computational fluid dynamics analysis (CFD)

To assess the possible effects of vortex shedding, a detailed analysis has been made using more sophisticated methods, as for example Computational fluid dynamics (CFD) using the ABAQUS® software (version 2016 / CFD module). These types of simulations are able to predict the behaviour of certain elements when a wind flow is applied, allowing to evaluate not only if the element is aerodynamically stable, but also if it represents a critical point when wind speeds reach certain values.

The air density was taken as 1,225 kg/m³ for a reference temperature of 15°. The turbulence model Spalart-Allamaras was used [4]. This model consists in a single equation for the kinematic viscosity (turbulent viscosity) which represents quicker computational time when compared to other numerical models. The air viscosity was taken as 1,7894x10⁻⁵ kg/(m/s).

It is common to make a 2D CFD analysis for the case of a constant cross section subjected to laminar wind. Nevertheless this cannot

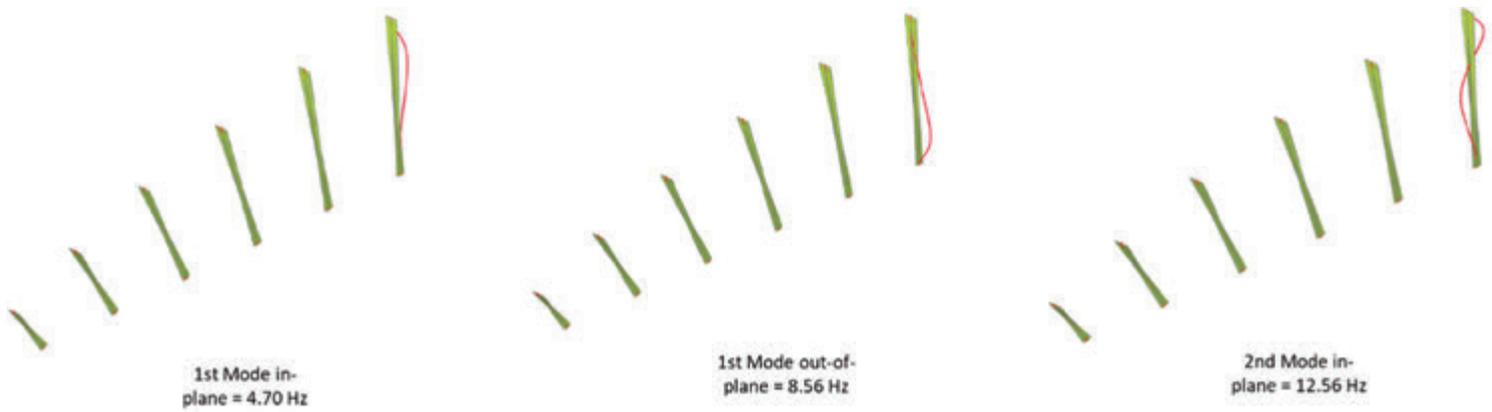


Fig. 9 | Overview of the 6 types of radial hangers foreseen in the project and first modeled by SCIA Engineer . The first three eigenmodes for the longest hanger are indicated.

Hanger cross section

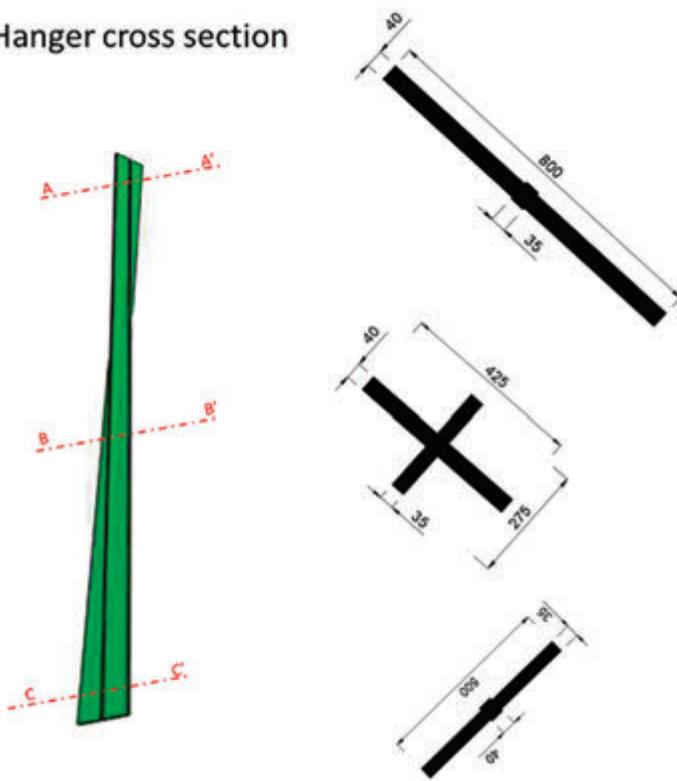


Fig. 10 | View of the hanger cross-section considered in the detailed analysis

be applied to our case as the section is strongly varying along the beam height and therefore the effects develop not only in a horizontal plane but also in the vertical plane, possibly interacting with each other. The choice was therefore to create a 3D model, with the major constraint of having a computational effort compatible with the time of an engineering calculation. The CFD models were developed using two different types of “wind tunnels”:

- Base Model – Wind tunnel with an area in plan view of 3x3 m and 0.1 s time step intervals;
- Advanced Model – Wind tunnel with an area in plan view of 3 x 4.9 m and 0,01 s time step intervals.

In the Base Model, the hanger was positioned at the centre of wind tunnel. In case of the advanced model the hanger was shifted and placed close to the wind source to have enough space behind the object to let the vortex develops adequately. According to [5] it is recommended to define a wind tunnel with a length of at least 10 times the width of the element in analysis. In case the boundaries are close to the element, the results for the vortex shedding might be affected. For the current study this recommendation could not be entirely satisfied, as the ratio is respected for the back part but not for the front part. Two size meshes were considered: 50 mm and 100 mm. The wind was applied from one side in a linear incrementation from 0 to 5 seconds and kept constant until 12 seconds. The smooth wind introduction was calibrated so to exclude inertia effects. The complete analysis relies in a coupled solution

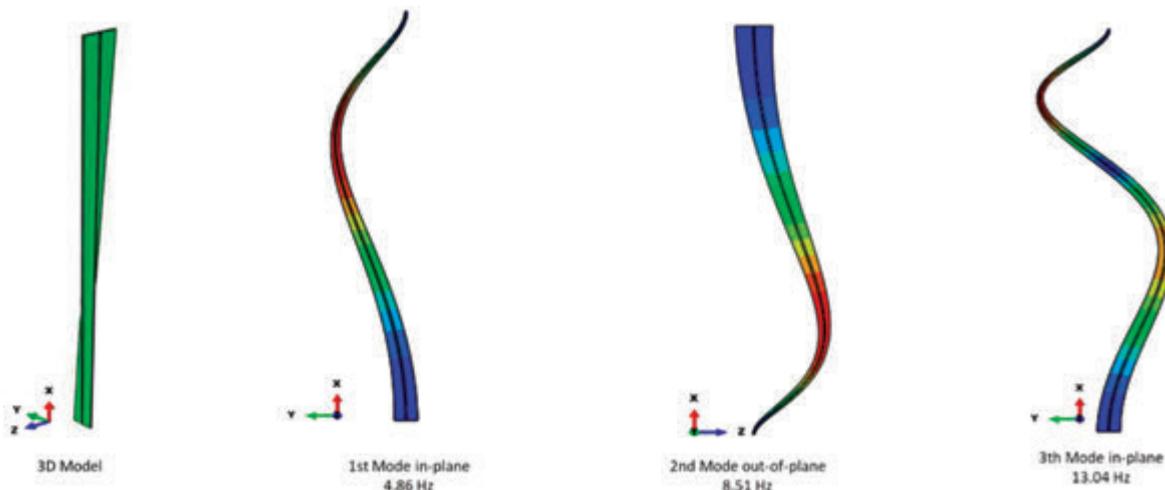


Fig. 11 | View of the 3d brick elements created and the three buckling shape obtained.

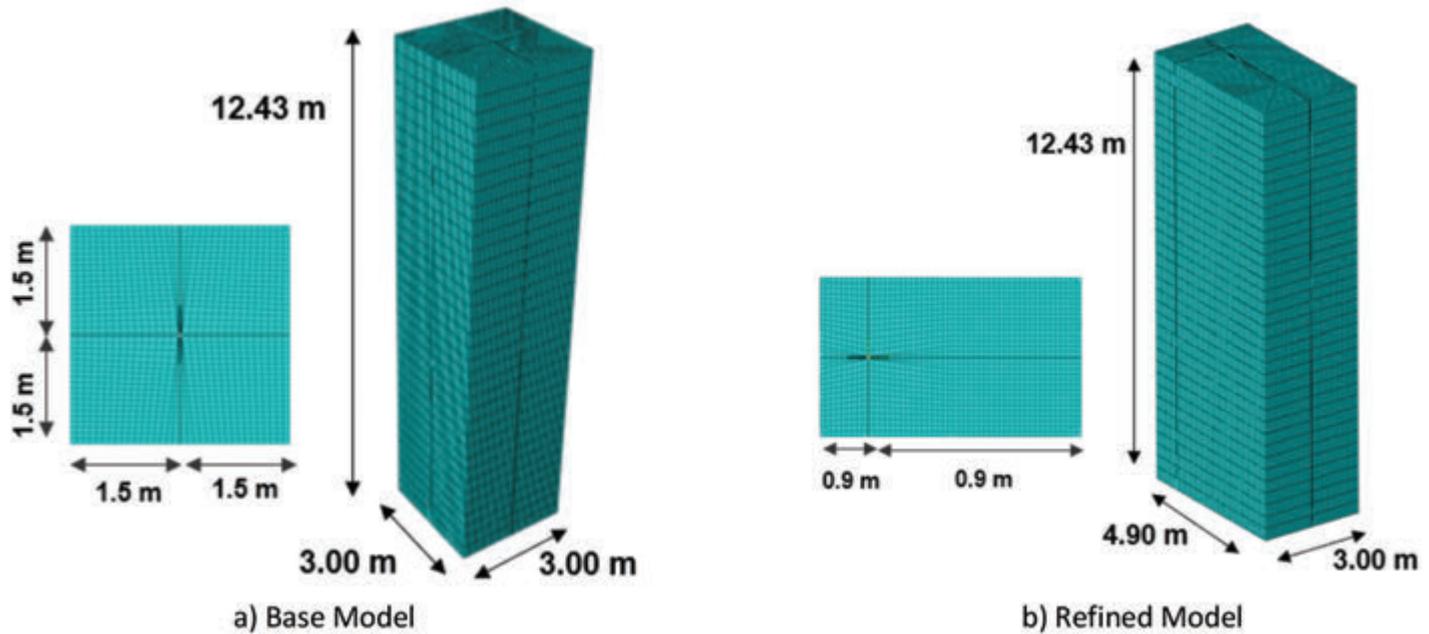


Fig. 12 | Models used in the simulations

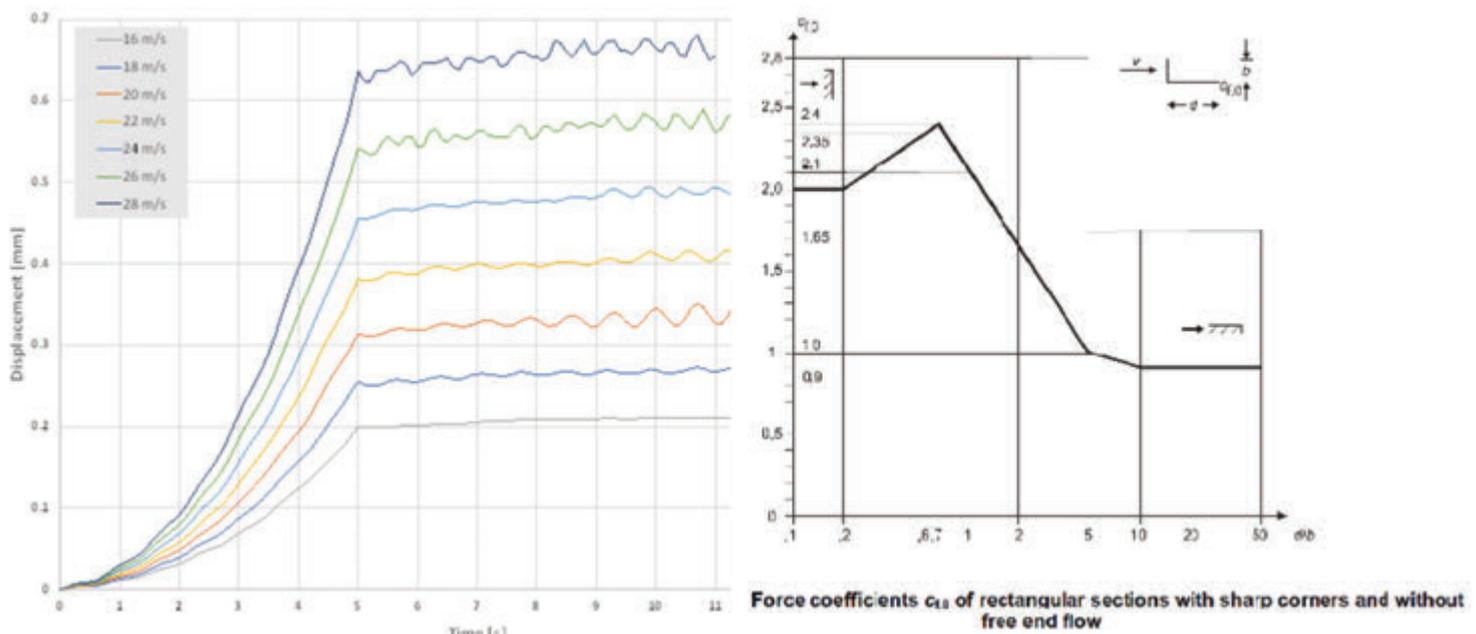


Fig. 13 | Left: maximum displacement obtained in function of different wind speeds (wind application in the period 0 – 5 seconds); Right: force coefficient for a rectangular shape.

of a CFD analysis with a mechanical model, where the pressure that results from the CFD analysis is applied on the linear elastic model of the hanger. The mechanical model of the hanger is used to extract displacements and stresses in the structural member. The characteristic wind speed is 24 m/s for the project considered. For the base model three different wind speeds were used: 16, 20, 24 and 28 m/s. Due to the very high computational time, only the design speed of 24 m/s was considered for the advanced CFD model. The result of this advanced model was mainly used as a reference to assess the trend / consistency of the base model. The results (figure 14) show that the critical stresses are located at the lower connection of the hanger and the maximum horizontal displacement located at 2,93 m from the bottom of the hanger.

3. Comparison between CFD analysis and equivalent static force model

The main objective of this study was to evaluate if the static approach with the shape factors presented in Annex E of [2] could be also applied when evaluating the behaviour of the variable cross section Hanger. Therefore a static calculation of the hanger under a constant pressure calculated according [2] was performed, whereas two shape factors were considered: a shape factor of 1.0 (corresponding to a reference lower boundary of a large plate) and a shape factor of 2.0 (corresponding to the case of a section where a significant suction takes place). Both cases are not the extreme values but constitute nevertheless some cases close to the limits. The results show that the CFD simulations obtained in the base

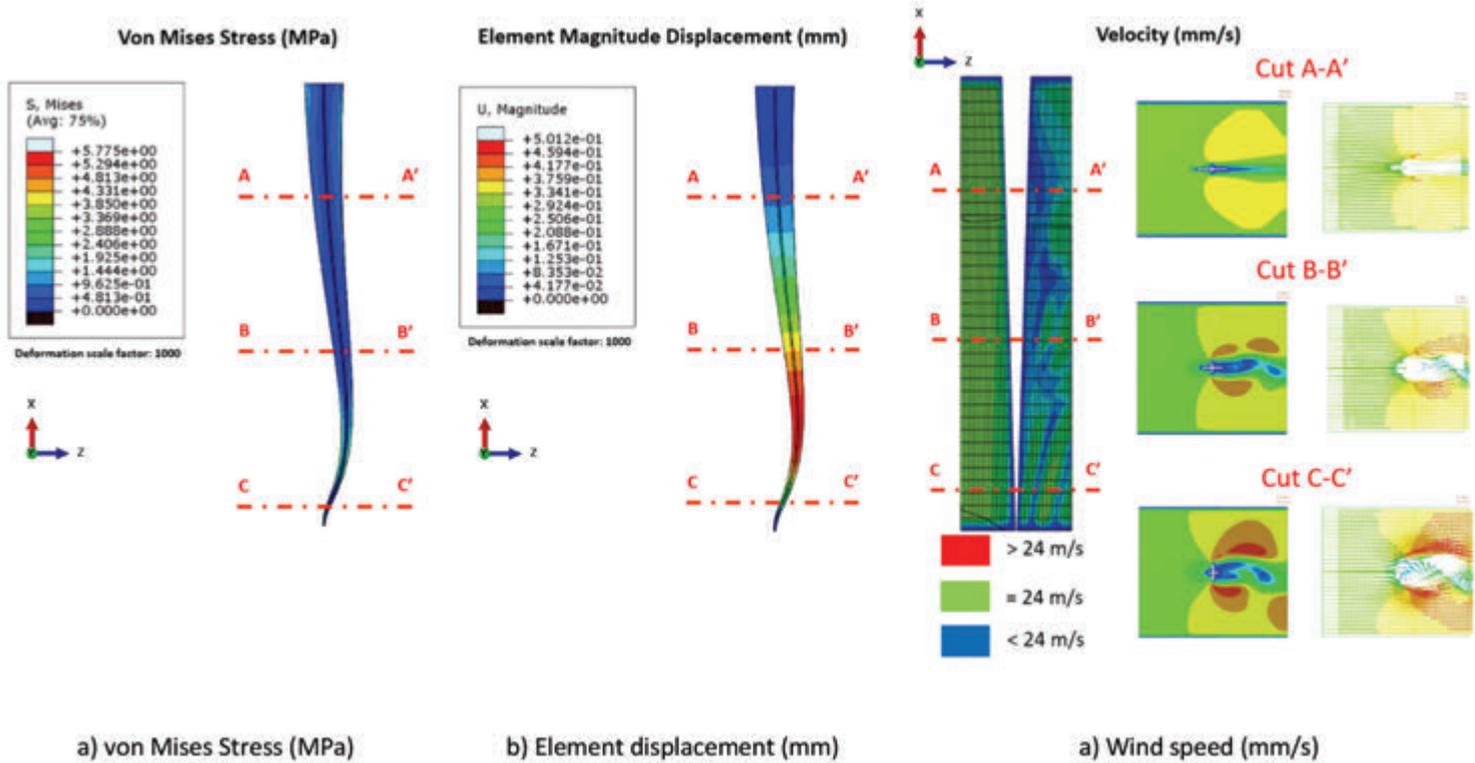


Fig. 14 | Examples of results obtained in the base model for the design speed of 24m/s in term of stresses, displacement, wind velocity (deformation factor x 1000)

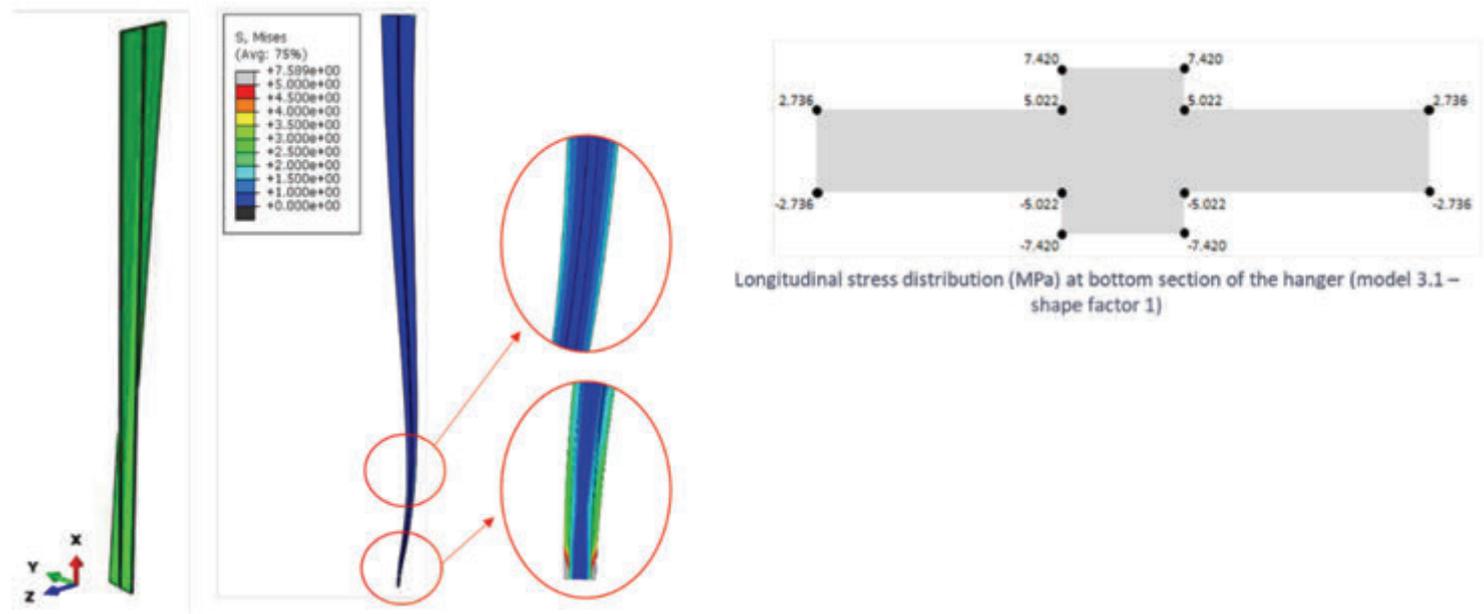


Fig. 15 | Location of the maximal displacement and of the maximal longitudinal stresses due to bending under lateral wind

model have the same trend than the static approach with the increase of the wind speed, with an equivalent static force of about 1.55. Since there is no major impact of the wind speed and this ratio remains quite stable, no risk of vortex shedding can be detected. The advanced model showed that the results could be exceeded by 15% in term of maximum displacement when comparing to the Base CFD model. In fact the refined model, having finer mesh and smaller time increment, could reproduce better the behaviour and the vibrations were more accentuated (see Figure 10). In this case therefore the correspondent shape factor is about 1.8. This

is an important increase which shows that the results obtained with the base model appear consistent but are not precise enough to constitute a sufficient basis for the design. Unfortunately, the computational time of the advanced calculation model was incompatible and could not be run for speed other than 24m/s. As a conclusion, it was therefore decided to keep a shape factor of 2.0 as an upper safe limit. In no case was detected any risk of excessive vibration induced by vortex shedding, in particular thanks to the particular shape of the hanger with constantly varying cross-section. This risk can therefore be disregarded.

Model	Wind Speed (m/s)	Static Models		CFD models		Ratio (CFD Max. / Static Factor = 1)
		Displacements (mm)		Displacements (mm)		
		Factor = 1	Factor = 2	At 5 seconds	Max.	
Base	16	0.142	0.285	0.199	0.211	1.484
Base	20	0.222	0.445	0.313	0.351	1.579
Base	24	0.320	0.641	0.456	0.494	1.544
<i>(Advanced CFD)</i>	<i>24</i>	-	-	<i>0.531</i>	<i>0.576</i>	<i>1.798</i>
Base	28	0.436	0.872	0.636	0.681	1.562

Table 1 | Comparison between static and CFD Base models

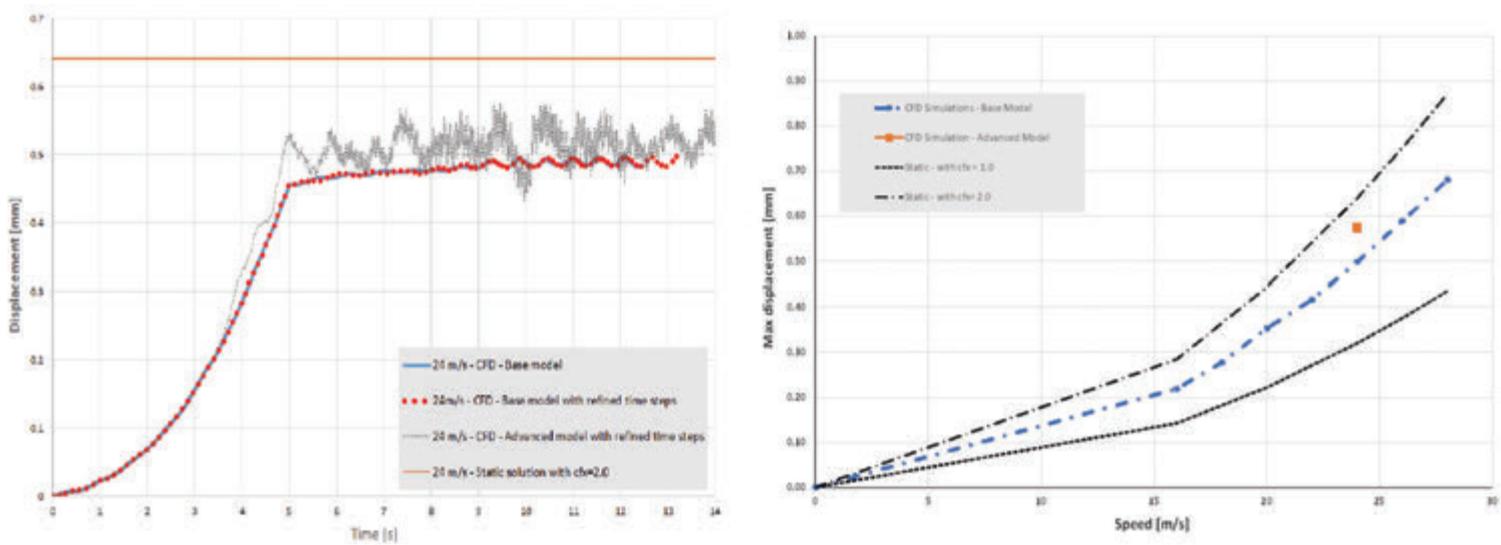


Fig. 16 | Left: maximum displacement obtained with the base and the advanced model for the same wind speed of 24m/s, Right: Maximum displacement for linear static analysis and CFD base and advanced model

4. Considerations about fatigue check

According to the previous results a fatigue evaluation was made for the connection between the bottom part of the hanger and the tie beam, considering on the safe side a shape factor of 2 when assessing the actions. The checks were done at two different locations in the cross-section for detail categories according to EN1993-1-9 [6]: the cut edge, where the stresses are maximum, and the end of the weld of the cruciform section, where a more unfavourable detail appear. Due to the possible vibration of the hangers, it is complicated to estimate exactly the equivalent stress damage caused by the lateral wind. For this reason, it was decided that the verification shall be done based on the long term fatigue resistance (>5 Million cycles), a very conservative approach. The results (table 2) show that using a shape coefficient of 2 defined in the standards, the fatigue verification can be considered as satisfied. It is important to remember that these stress ranges shall be added to the ones caused by traffic, and therefore a

combination shall be considered for the verification. According to [8] the combination of the two stress range shall be linear, another choice on the safe side which delivers conservative results. This verification was included in the normal traffic check by imposing a maximum fatigue utilization factor at the base of the hanger of 70%. This in practice did not require any overdesign, as for this type of hanger the top connection to the arch is governing the fatigue design for traffic loads rather than the bottom connection to the tie, as explained also in figure 7.

Detail Category (MPa)	Construction Detail	$\Delta\sigma_{Ed}$ (MPa)	$\Delta\sigma_c$ (MPa)	γ_{Mf}	γ_{Mf}	$\Delta\sigma_0$ (MPa)	Utility Ratio
63	1	10.045	63	1.35	1.00	34.393	0.292
125	5	14.840	125	1.35	1.00	68.241	0.217

Table 2 | Fatigue check

5. Conclusion

This preliminary study permits to draw the conclusion that the specific hanger geometry investigated is not exposed to the risk of resonance under wind loading under the conditions considered. The analysis indicates that a standard linear quasi-static approach according Eurocode [2] using a shape coefficient (or force

coefficient) equal to 2,0 shall deliver safe-sided results for the case considered.

Bibliography

- [1] J. Berthelley, Les ponts routes en arc auto-ancrés, Bulletin annuel de l'AFGC, 2002.
- [2] EN1991-1-4 - Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions. 2005.
- [3] EN 1993-1-9 - Eurocode 3, Design of steel structures, Part 1-9: Fatigue, 2005.
- [4] EN 1993-1-10 - Eurocode 3, Design of steel structures, Part 1-9: Toughness, 2005.
- [5] J. Berthelley, Ouvrages d'Art N°52 - Intérêt des ponts en arcs métalliques de petite portée - Le franchissement du Roboul dans les Pyrénées Orientales, 2006.
- [6] K. Geißle, M. Mager, Die Problematik der winderregten Schwingungen an Brückenhängern in Theorie und Praxis, 2010.
- [7] J Berthelley, Evaluation regarding fatigue for various type of hangers used for tied arch bridges, 7th Fatigue Design Conference, Fatigue Design 2017.
- [8] Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.), "Leitfaden zum Anhang NA . F Bemessung von Hängern an Stabbogenbrücken DIN EN 1993-2 NA: 2014-10," 2018.



Riccardo Zanon,

Senior Research Engineer at ArcelorMittal Global R&D, focus on steel concrete composite structures



Miguel Candeias,

Senior Research Engineer at ArcelorMittal Global R&D, focus on offshore and bridge structures



Jacques Berthelley,

Bridge technical director at CEREMA, France. Assoc. Professor at ENTPE. Four decades of experience in innovative design, assessment and pathology of steel-concrete composite bridges. Received 2001 Engineering Award of the French IABSE Group, Received in 2015 Outstanding Paper IABSE Award.

XXVIII GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO FRANCAVILLA A MARE (CH) 29 SETTEMBRE - 1 OTTOBRE 2022

PREMIO MIGLIOR ARTICOLO - BEST PAPER AWARD

Il CTA è lieto di istituire il Premio Miglior Articolo, rivolto a giovani ricercatori (di età inferiore a 40 anni) attivi nell'ambito delle costruzioni in acciaio.

Scopo: Lo scopo del Premio Miglior Articolo è quello di riconoscere e promuovere contributi di qualità ed evidenziare gli avanzamenti della ricerca nell'ambito delle costruzioni in acciaio.

Modalità di partecipazione: tutti gli articoli scientifici presentati alle XXVIII Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio entro il termine del 15 Luglio 2022 sono idonei a concorrere per il Premio Miglior Articolo a condizione che almeno uno degli autori abbia età inferiore a 40 anni. Per partecipare al premio occorre: 1) presentare una manifestazione di interesse con un sommario del lavoro entro il 15 Aprile 2022, indicando il nominativo dell'autore/coautore che concorre al premio; 2) iscriversi alle XXVIII Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio, partecipando ai lavori del Congresso; 3) presentare la memoria scritta entro il suddetto termine del 15 Luglio 2022.

Comitato di selezione del premio: Il CTA provvederà alla nomina di una Commissione Scientifica alla quale verrà affidata la valutazione degli articoli e stilerà la graduatoria di merito.

Criteri di assegnazione: La Commissione Scientifica prenderà in considerazione il grado di innovazione e l'originalità del lavoro di ricerca, l'importanza che esso potrà assumere per la comunità scientifica, la chiarezza di esposizione ed il rigore metodologico.

- **Originalità** – Originalità del lavoro di ricerca ai fini del progresso della conoscenza, con un'enfasi sull'innovatività della tematica e/o delle tecnologie trattate (nuovi sviluppi teorici, risultati sperimentali significativi, sviluppo di nuove regole di analisi e/o progettazione).

- **Qualità della presentazione:** comprendente l'analisi critica dello stato dell'arte con un chiaro posizionamento della pubblicazione nella letteratura internazionale, le motivazioni del lavoro di ricerca, i risultati raggiunti, il potenziale per eventuali sviluppi futuri.

- **Stile di scrittura:** Qualità dello stile di scrittura in termini di accuratezza, chiarezza, leggibilità e organizzazione del testo.

Letteralmente, il vincitore del premio dovrebbe essere un articolo che sostenga un'idea o un approccio nuovo e innovativo, che contribuisca all'ampliamento delle conoscenze nel campo delle costruzioni in acciaio, ispirando nuovi sviluppi nella ricerca e nell'applicazione tecnica.

Selezione del vincitore: L'articolo che riceverà il punteggio più alto dai componenti della Commissione Scientifica sarà premiato come miglior articolo. Saranno premiati anche il secondo e il terzo classificato.

Premiazione: La premiazione avverrà in occasione della Cena Sociale del C.T.A., che sarà offerta ai vincitori, che si svolgerà la sera del 30 Settembre 2022.

Scadenza: 15 Luglio 2022

PREMIO MIGLIOR PROGETTO - BEST DESIGN AWARD

Il CTA è lieto di istituire il Premio Miglior Progetto, rivolto ai professionisti dell'ingegneria e dell'architettura delle costruzioni in acciaio.

Scopo: Lo scopo del Premio miglior Progetto è quello di riconoscere e promuovere i lavori di progettazione più significativi degli ultimi tre anni che risultano in grado di valorizzare le capacità espressive delle costruzioni in acciaio, l'impiego di nuove tecnologie di costruzione e montaggio, le capacità prestazionali delle costruzioni in acciaio.

Modalità di partecipazione: per partecipare al premio occorre: 1) presentare una manifestazione di interesse con un sommario del lavoro entro il 30 Aprile 2022; 2) iscriversi alle XXVIII Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio, partecipando ai lavori del Congresso; 3) presentare una memoria scritta che descriva il progetto presentato, che verrà pubblicata negli atti del Congresso, ed un poster formato A0 (Sessione Poster).

La memoria scritta dovrà essere inviata entro il termine ultimo del 15 Luglio 2022. Entro la medesima data dovrà essere inviato il poster in formato digitale PDF. Il poster cartaceo dovrà essere presentato al Convegno nella Sessione Poster.

Comitato di selezione del premio: Il CTA provvederà alla nomina di un Comitato Tecnico-Scientifico al quale verrà affidata la valutazione dei progetti candidati e stilerà la graduatoria di merito.

Criteri di assegnazione: Il Comitato Tecnico-Scientifico prenderà in considerazione la valenza architettonica del progetto in relazione alla valorizzazione delle capacità espressive delle costruzioni in acciaio, gli aspetti innovativi anche in relazione all'eventuale impiego di nuove tecnologie, la valorizzazione delle capacità prestazionali delle costruzioni in acciaio, l'incidenza per la comunità professionale ed il potenziale per ulteriori applicazioni.

Criteri principali:

- Valorizzazione delle capacità espressive;
- Originalità ed innovazione;

- Valorizzazione delle capacità prestazionali;
- Impatto sulla comunità professionale
- Qualità grafica del poster e del sistema di rappresentazione.

Letteralmente, i vincitori del premio dovrebbero essere progetti che sostengano un'idea innovativa e di impatto; che possa contribuire allo sviluppo di soluzioni progettuali efficienti e/o innovative nel campo delle costruzioni in acciaio, ispirando i progettisti del settore.

Selezione dei vincitori: verranno premiati i primi tre progetti secondo la graduatoria che verrà stilata dal Comitato Tecnico-Scientifico.

Premiazione: La premiazione avverrà in occasione della Cena Sociale del C.T.A., che sarà offerta ai vincitori, che si svolgerà la sera del 30 Settembre 2022.

Scadenza: 15 Luglio 2022

PREMIO MIGLIOR TESI - BEST THESIS AWARD

Il CTA è lieto di istituire il Premio Miglior Tesi, rivolto ai laureati/laureandi (nel periodo 10/2019 – 07/2022) in discipline dell'ingegneria e dell'architettura ed in particolare delle costruzioni in acciaio.

Scopo: Lo scopo del Premio miglior Tesi è quello di riconoscere e promuovere attività di ricerca di qualità, che possono concorrere al progresso ambito delle costruzioni in acciaio, o attività progettuali in grado di valorizzare le capacità espressive delle costruzioni in acciaio, l'impiego di nuove tecnologie di costruzione e montaggio, le capacità prestazionali delle costruzioni in acciaio.

Modalità di partecipazione: Ai fini della partecipazione al concorso i candidati dovranno presentare:

- Specifica domanda di partecipazione contenente, sotto la propria responsabilità, nome, cognome, il luogo e la data di nascita, il domicilio eletto ai fini del presente bando, il titolo della tesi.
- Una copia del certificato di laurea con la votazione conseguita (laureati) oppure una certificazione con l'indicazione degli esami superati e le votazioni conseguite (laureandi).
- Una copia della tesi di laurea con gli eventuali allegati;
- Un Poster A0, in formato PDF, con funzione di Abstract che sarà esposto durante il XXVIII Congresso CTA (29 Settembre – 1 Ottobre 2022, Francavilla a Mare - CH) (nel poster non dovrà comparire l'indicazione che il lavoro è rivolto alla partecipazione al premio Best Thesis Award).

Tutta la documentazione suddetta dovrà essere inviata in versione digitale alla Segreteria Amministrativa del C.T.A. entro e non oltre la scadenza del 15 Luglio 2022.

Inoltre, i candidati risultati vincitori dovranno inviare, pena decadenza dal premio, la versione cartacea del Poster A0 alla Segreteria Amministrativa del C.T.A. entro e non oltre la scadenza del 15 Settembre 2022

Idoneità: tutti i lavori di tesi presentati prima della scadenza e accettati dal comitato di revisione, sono idonei a concorrere per il Premio Miglior Tesi.

Commissione di valutazione: Il CTA provvederà alla nomina di una Commissione alla quale verrà affidata la valutazione delle tesi e stilerà la graduatoria di merito.

Criteri di assegnazione: Il Comitato Scientifico prenderà in considerazione l'innovazione, l'incidenza per la comunità di ricerca ed il potenziale per ulteriori applicazioni.

Criteri di assegnazione: La Commissione prenderà in considerazione il grado di innovazione e l'originalità del lavoro, l'importanza che esso potrà assumere per la comunità scientifica, la chiarezza di esposizione ed il rigore metodologico.

- Originalità: Originalità del contributo ai fini della conoscenza, con un'enfasi sull'innovatività del documento in: (i) sviluppo teorico, (ii) risultati empirici o (iii) sviluppo di nuove regole -per tesi di ricerca – oppure valorizzazione delle capacità espressive delle costruzioni in acciaio, l'impiego di nuove tecnologie di costruzione e montaggio, le capacità prestazionali delle strutture progettate - per tesi a carattere progettuale.
- Potenzialità: Comprensione ed esposizione del potenziale futuro del lavoro sviluppato, supportato da conclusioni convincenti e risultati chiari.
- Stile di scrittura: Qualità dello stile di scrittura in termini di accuratezza, chiarezza, leggibilità e organizzazione del testo.

Letteralmente, il vincitore del premio dovrebbe essere un lavoro di tesi che sostenga un'idea innovativa e dal grande potenziale, che possa contribuire all'ampliamento delle conoscenze nel campo delle costruzioni in acciaio, ispirando nuovi sviluppi nella ricerca e nell'applicazione tecnica.

Selezione del vincitore: I lavori di tesi che riceveranno i punteggi più alti dai componenti della Commissione saranno premiati come miglior tesi.

Premiazione: la premiazione avverrà in occasione della Cena Sociale del C.T.A., che sarà offerta ai vincitori, che si svolgerà la sera del 30 Settembre 2022.

Scadenza: 15 Luglio 2022

CONTATTI

sig.ra Valeria Pasina

Segreteria Amministrativa C.T.A.

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

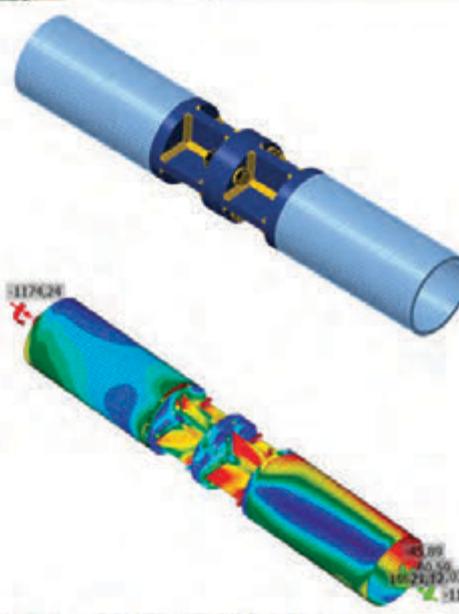
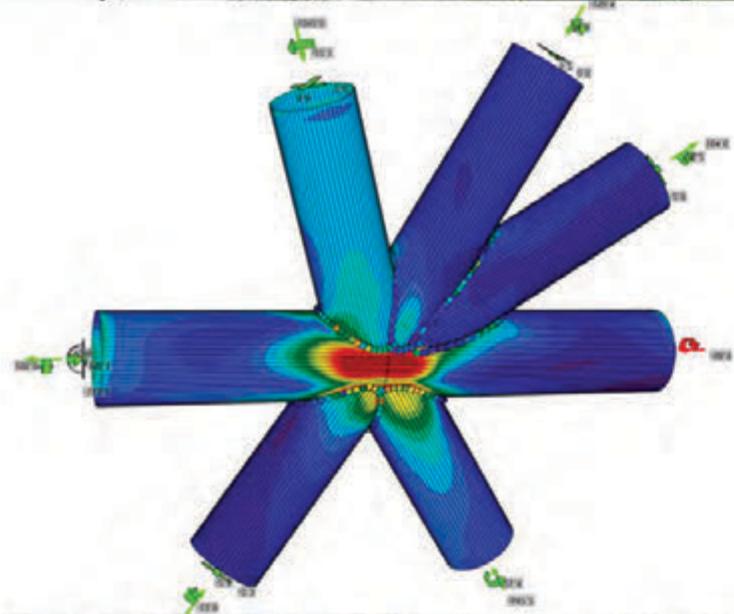
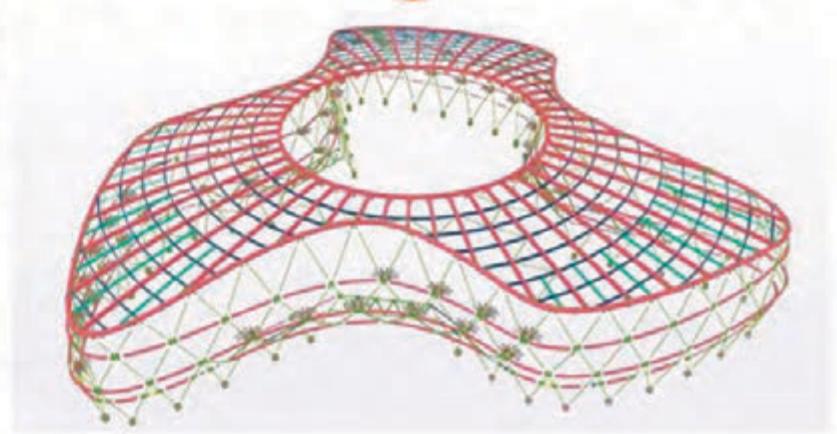
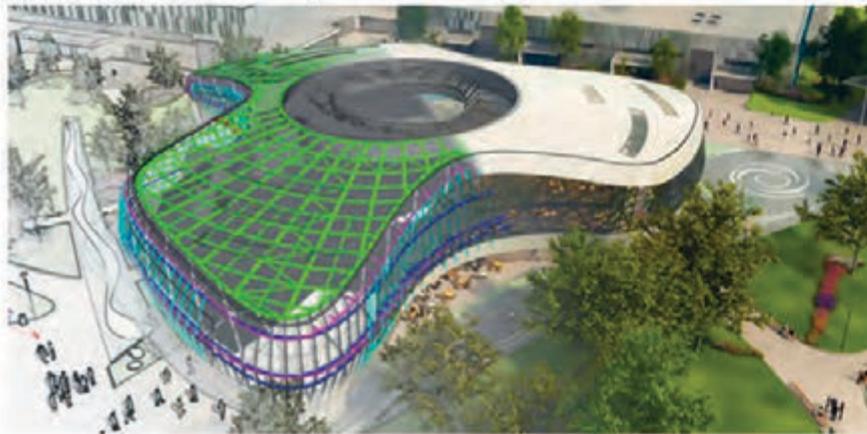
IDEA StatiCa® CONNECTION

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!**

Niente più problemi con le giunzioni metalliche...

**Progetta la tua
unione in acciaio con CDJ!!!**

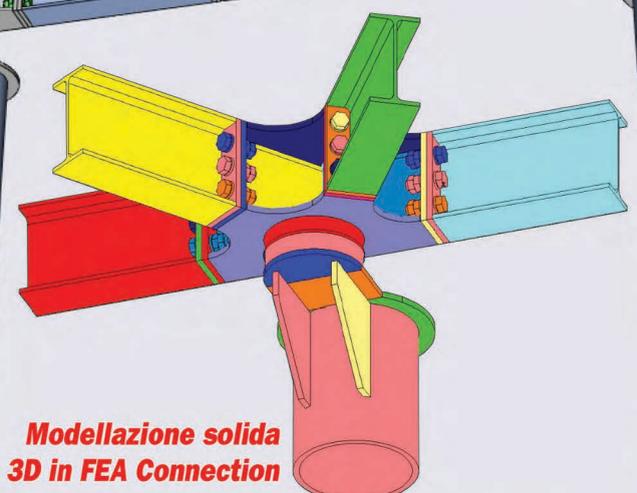
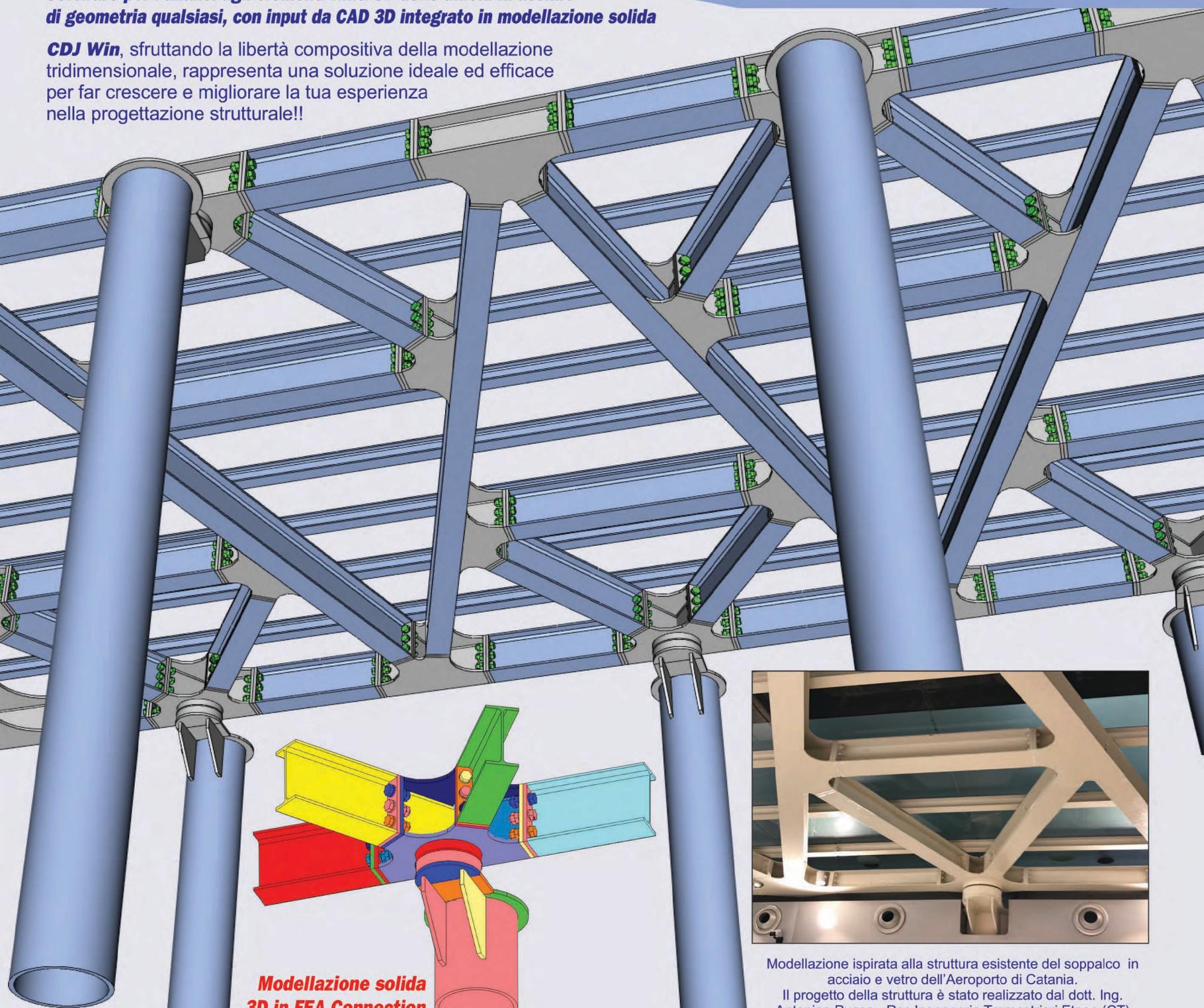
**Software per l'analisi agli elementi finiti 3D delle unioni in acciaio
di geometria qualsiasi, con input da CAD 3D integrato in modellazione solida**

CDJ Win, sfruttando la libertà compositiva della modellazione
tridimensionale, rappresenta una soluzione ideale ed efficace
per far crescere e migliorare la tua esperienza
nella progettazione strutturale!!

CDJ *Win*

Computer Design of Joints

2022 Edition **FEA Connection**



**Modellazione solida
3D in FEA Connection**

Visita il nostro sito www.stsweb.it per visionare i nostri video tutorials.
Richiedi una dimostrazione in connessione remota al seguente indirizzo email: cdj@stsweb.it



Modellazione ispirata alla struttura esistente del sopralco in
acciaio e vetro dell'Aeroporto di Catania.
Il progetto della struttura è stato realizzato dal dott. Ing.
Antonino Russo - Rcc Ingegneria Tremestrieri Etneo (CT)

**Novità: da oggi disponibile la versione
"CDJ Junior - Base" a soli € 300.00 + iva**



Software Tecnico Scientifico®

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

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

Visiona i nostri **You
Tube**
video tutorials su

