

# Architettura in movimento:

## l'edificio del Padiglione Italia a Expo Dubai 2020

### *Architecture in motion:*

the Italian Pavilion building at Expo Dubai 2020

**Ing. Sandro Favero, Ing. Federico Zaggia, Ing. Luigi Ranzato\***

F&M ingegneria

Il Padiglione Italia per Expo Dubai 2020 si presenta come un esperimento di architettura riconfigurabile e circolarità. Si compone di tre scafi di navi che formano il tetto della struttura, una facciata multimediale realizzata con 70 chilometri di corde nautiche in plastica riciclata, e un sistema naturale di mitigazione del clima che sostituisce l'aria condizionata. Il Padiglione Italia è stato progettato da CRA-Carlo Ratti Associati e Italo Rota Building Office, con F&M Ingegneria e Matteo Gatto.

*The Italian Pavilion for Expo Dubai 2020 presents itself as an experiment in reconfigurable architecture and circularity. It consists of three ship hulls that form the roof of the structure, a multimedia facade made with 70 kilometers of nautical ropes in recycled plastic, and a natural climate mitigation system that replaces air conditioning. The Italian Pavilion was designed by CRA-Carlo Ratti Associati and Italo Rota Building Office, with F&M Ingegneria and Matteo Gatto.*



\*Corresponding author: Luigi Ranzato. Email: [luigi.ranzato@fm-ingegneria.com](mailto:luigi.ranzato@fm-ingegneria.com)



Fig. 1 | Padiglione Italia - © Ph. Michele Nastasi

## 1 Premessa

Il progetto del nuovo padiglione Italia concepito per l'evento Expo 2020 di Dubai, poi posticipato di un anno causa la pandemia mondiale Covid19, ebbe sin dalla sua nascita un obiettivo: essere unico. I progettisti si promisero di realizzare un'opera senza eguali, un'opera che non sia il classico edificio temporaneo bensì un'idea unica ed originale (figura 1). Grazie alla professionalità di tutti i

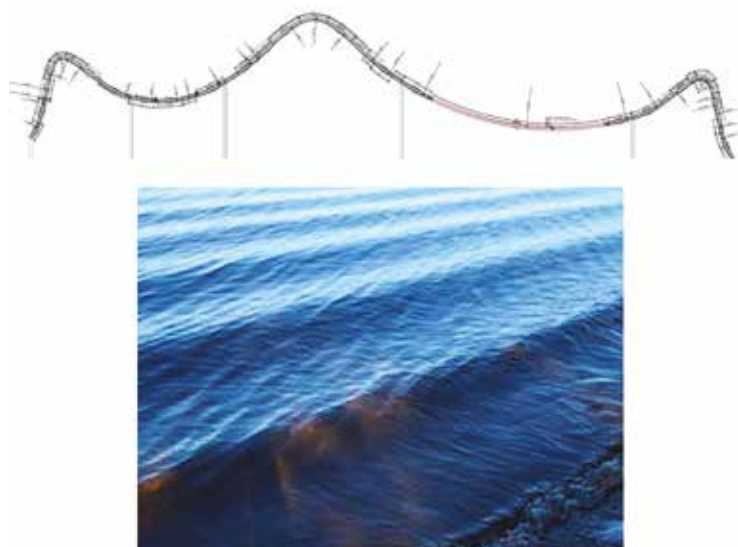


Fig. 2 | Geometria fluida del tetto ed il moto ondoso

tecnici coinvolti, della Stazione Appaltante Invitalia e dell'Impresa RAQ, il padiglione è stato inaugurato senza imprevisti all'apertura dell'evento Expo.

## 2 Principi alla base della progettazione

L'unicità del padiglione doveva catturare l'interesse dei visitatori e della stampa grazie al suo forte impatto visivo. Senza dubbio la fluidità delle forme, a richiamare il moto ondoso del mare, conferisce al padiglione Italia un carattere unico ed immediatamente riconoscibile (figura 2).

La continuità delle colonne con archi e catenarie, tutte a curvature variabili senza cuspidi ed angoli vivi, è la massima rappresentazione della fluidità delle forme che caratterizza il padiglione (figura 3). Unica al mondo è l'idea di completare la copertura con scafi rovesciati, sorretti da archi a raggio variabile, e colorati di rosso, bianco e verde come la bandiera italiana (figura 4).

Grazie alle mirate scelte progettuali, è stato possibile ottenere leggerezza sia fisica e sia visiva delle strutture. Gli ampi spazi a disposizione sul primo impalcato, chiamato "la grande duna", sono il frutto di copertura a grande luce senza pilastri intermedi (figura 5).

I pilastri sono tutti centrali sotto i bordi degli scavi e disposti ad un interasse studiato secondo una regola ben precisa: la regola di Fibonacci (figura 6).



Fig. 3 | Archi nei punti di minore raggio

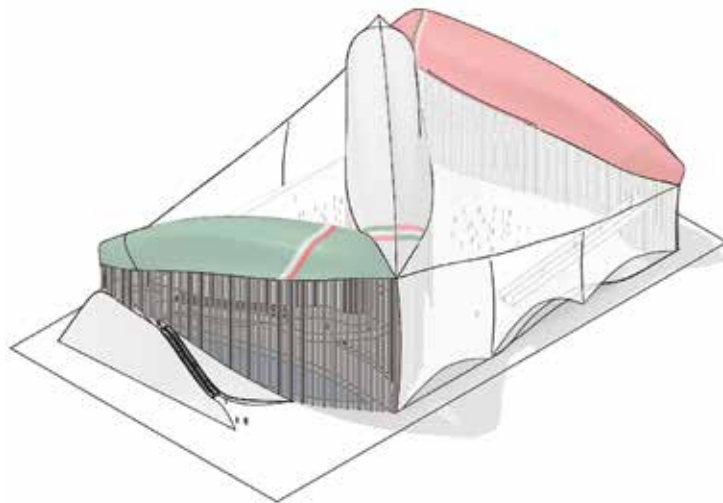


Fig. 4 | Gli scafi

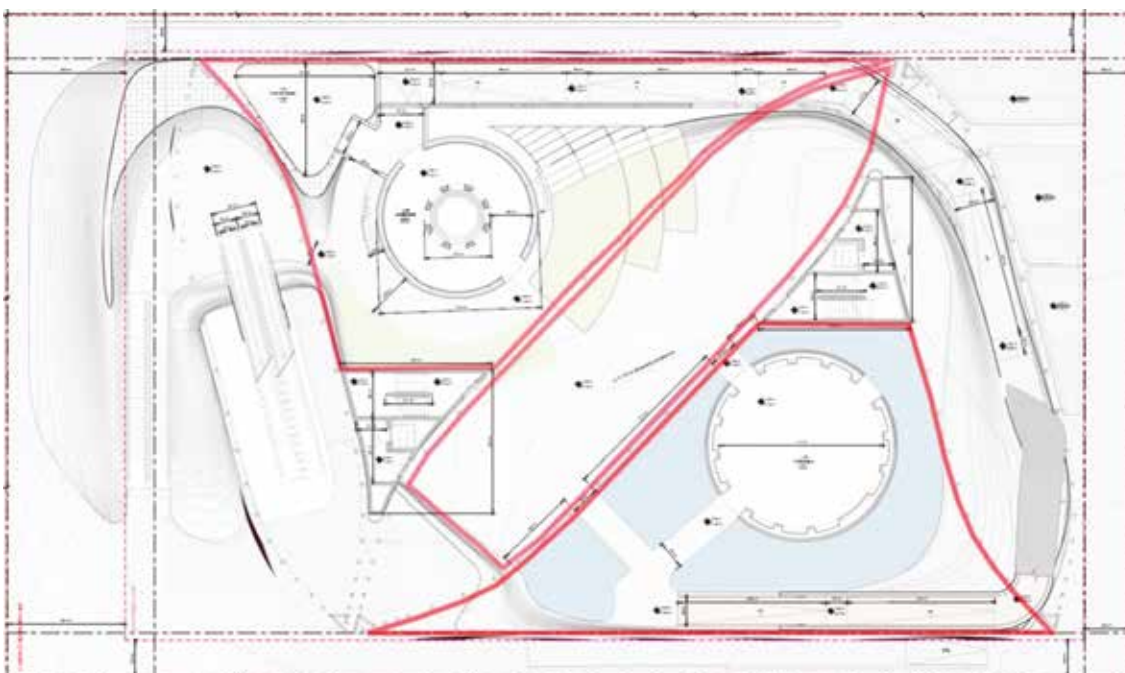


Fig. 5 | Gli ampi spazi espositivi

### 3 Criticità alla base del progetto

La prima delle criticità alla base del progetto è stata la necessità di ampi spazi flessibili, liberi da pilastri, in grado di garantire grandi portate. Grandi luci e grandi portate sono i requisiti fondamentali per un impalcato destinato ad eventi pubblici con elevata affluenza. La seconda criticità è stata la geometria fluida delle aste, che passano da un andamento rettilineo delle colonne ad uno sviluppo curvilineo a raggio variabile di archi e catenarie senza angolature vive. L'obiettivo del progetto architettonico era così ambizioso come critico per la fattibilità tecnica dell'opera. Non di secondaria importanza sono i vincoli urbanistici imposti da Expo: limiti di edificabilità in pianta e limiti di edificabilità in altezza. Detti limiti di ingombro sono tassativi pertanto il progetto ha dovuto attenersi scrupolosamente a queste prescrizioni (figura 7).

I progettisti delle strutture hanno dovuto affrontare una duplice problematica di snellezza e grandi campate. L'impossibilità di poter introdurre una maglia di pilastri ravvicinati, per esigenze espositive, e l'impossibilità di scegliere una reticolare classica, che richiederebbe maggiori ingombri, ha portato a scegliere una soluzione alternativa, ossia una "tensostruttura" leggera.

### 4 Metodologia BIM

La modalità BIM (Building Information Modeling) è stata adottata ed ampiamente sfruttata durante tutto il processo, dalle origini della progettazione alla realizzazione del cantiere. Questa modalità di progettazione è la moderna gestione dei processi nell'ambito dell'edilizia e rappresenta l'avanguardia del settore delle costruzioni. Tutti i progettisti, nello specifico architetti, ingegneri strutturisti ed ingegneri impiantisti, hanno sviluppato il progetto con il software Revit attraverso l'utilizzo della metodologia BIM, lavorando da uffici dislocati in luoghi geograficamente diversi.

L'origine della modellazione virtuale è stata opera di Studio Ratti, incaricato alla progettazione architettonica. Mediante l'uso

di geometrie complesse, gli architetti hanno dato forma all'opera, decidendo la forma sinuosa della copertura e la posizione delle colonne strutturali con l'affiancamento degli ingegneri strutturisti di F&M Ingegneria. Definita la geometria, i progettisti delle strutture hanno costruito nello spazio 3D di Revit il modello analitico delle strutture, importando e facendo proprio il modello Revit architettonico. In figura 8 un'immagine del modello Revit delle strutture portanti.

Il terzo passaggio, anche questo a cura dei progettisti strutturali di F&M Ingegneria, è stata la costruzione del modello di calcolo



Fig. 6 | Colonne affiancate ai vertici del padiglione e giunzione archi-colonne

agli elementi finiti mediante il software MIDAS GEN. Per la costruzione del modello di calcolo strutturale è stato sfruttato il modello analitico dell'ambiente Revit grazie al quale sono stati riprodotti fedelmente ogni asta ed ogni solaio. Grazie al vantaggio dell'interfaccia tra la modellazione tridimensionale analitica e la modellazione tridimensionale con il software di calcolo strutturale, è stato possibile costruire un modello molto accurato ed affidabile. In figura 9 un'immagine del modello di calcolo MIDAS GEN.

Altro vantaggio della modalità di progettazione in Revit è stato la stima accurata delle quantità dei materiali impiegati per la costruzione, grazie alle quali sono stati sviluppate le stime di costo ed i computi metrici estimativi.

Grazie all'interfaccia tra il software Revit dei progettisti ed il software delle macchine a controllo numerico, è stato possibile collaborare in modo estremamente efficace e veloce con la carpenteria, con sede a Dubai, che ha acquisito l'appalto delle strutture in acciaio, consentendole di produrre con accuratezza ed esaustività tutti gli elaborati costruttivi di officina ed avviando la produzione delle carpenterie con congruo anticipo rispetto alla posa.

Le potenzialità dell'approccio BIM sono state decisive per F&M Ingegneria per il trasferimento delle informazioni sia in sede di progetto e sia al momento della produzione.

La metodologia BIM ha altresì permesso la gestione dell'avanzamento dei lavori, monitorando in tempo reale le operazioni di cantiere.

## 5 Soluzioni progettuali

L'attenta analisi delle ambizioni del progetto architettonico e delle prescrizioni normative imposte da Expo, hanno condotto la progettazione strutturale sulla scelta dell'acciaio come unico

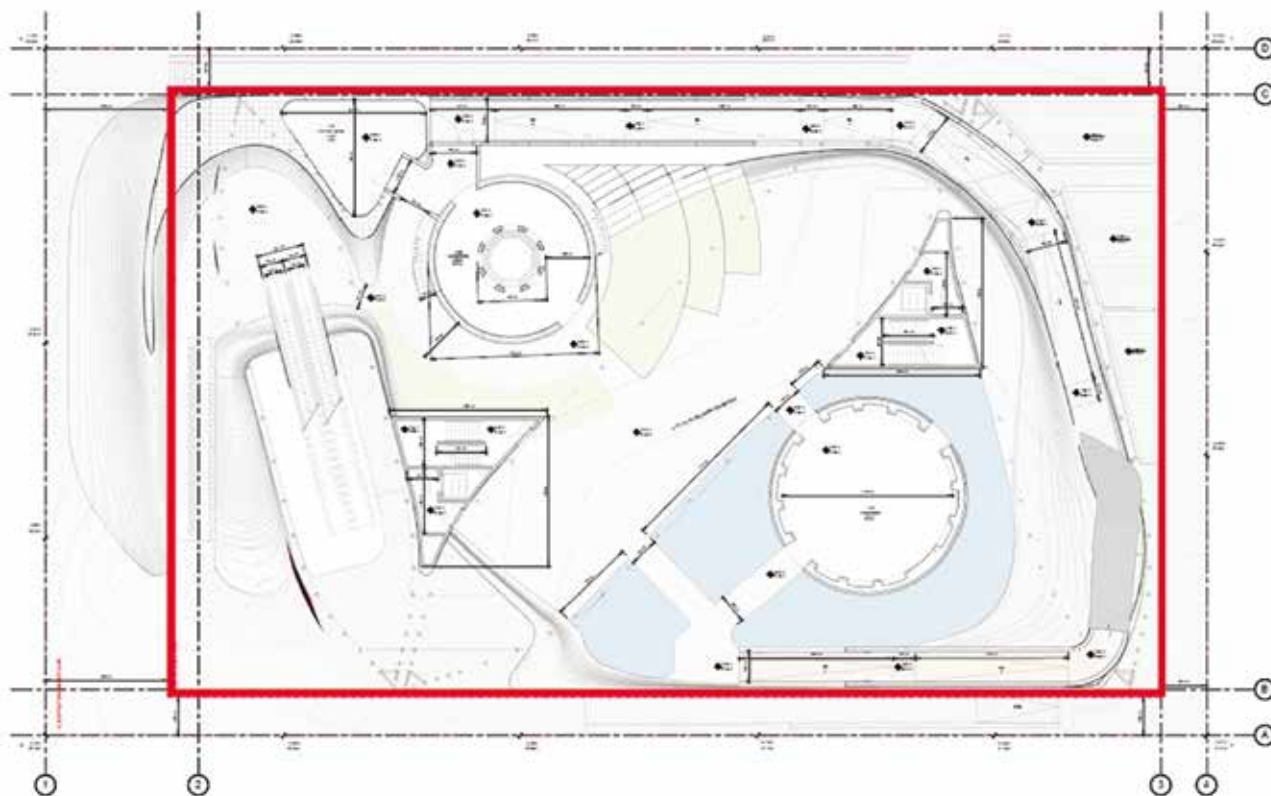


Fig. 7 | Limite di edificabilità

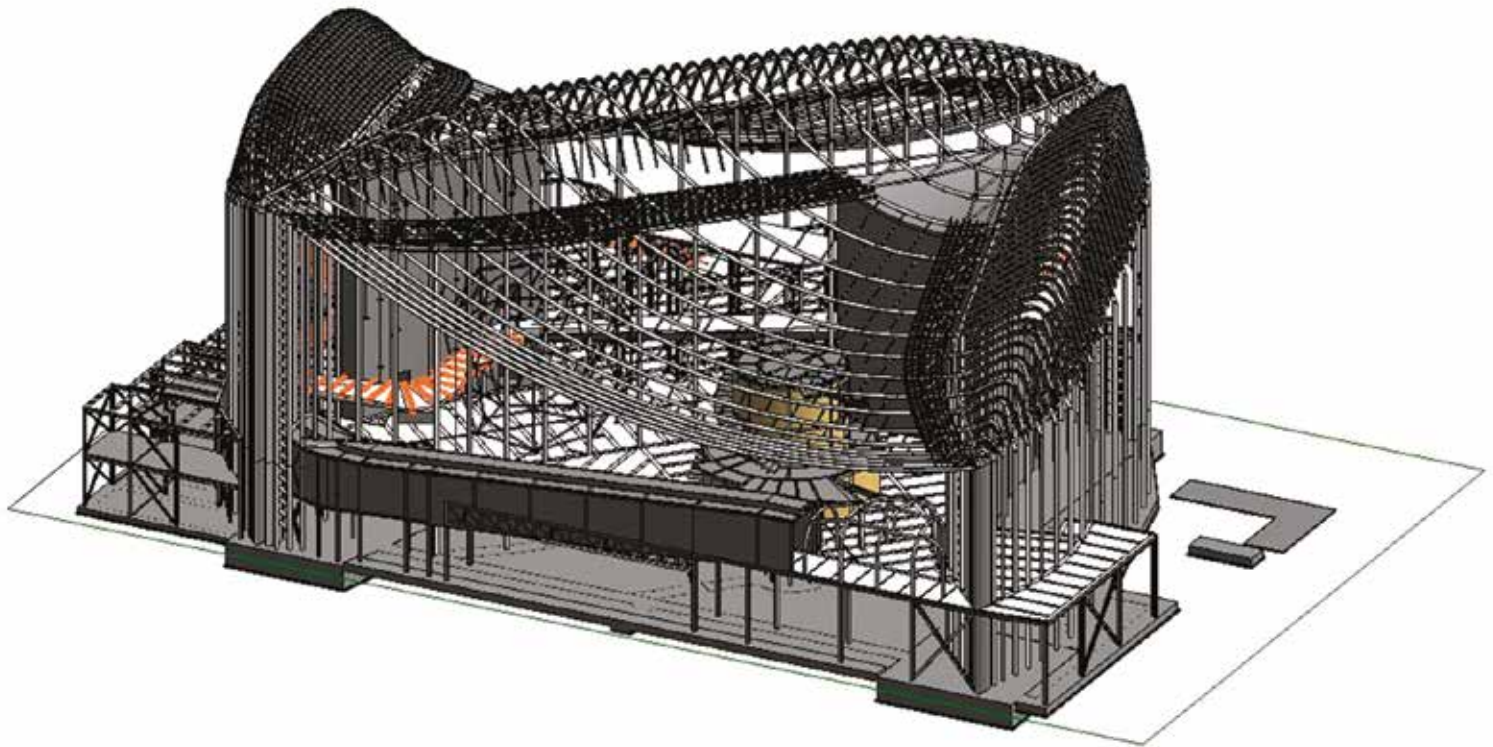


Fig. 8 | Modello tridimensionale delle strutture nell'ambiente Revit

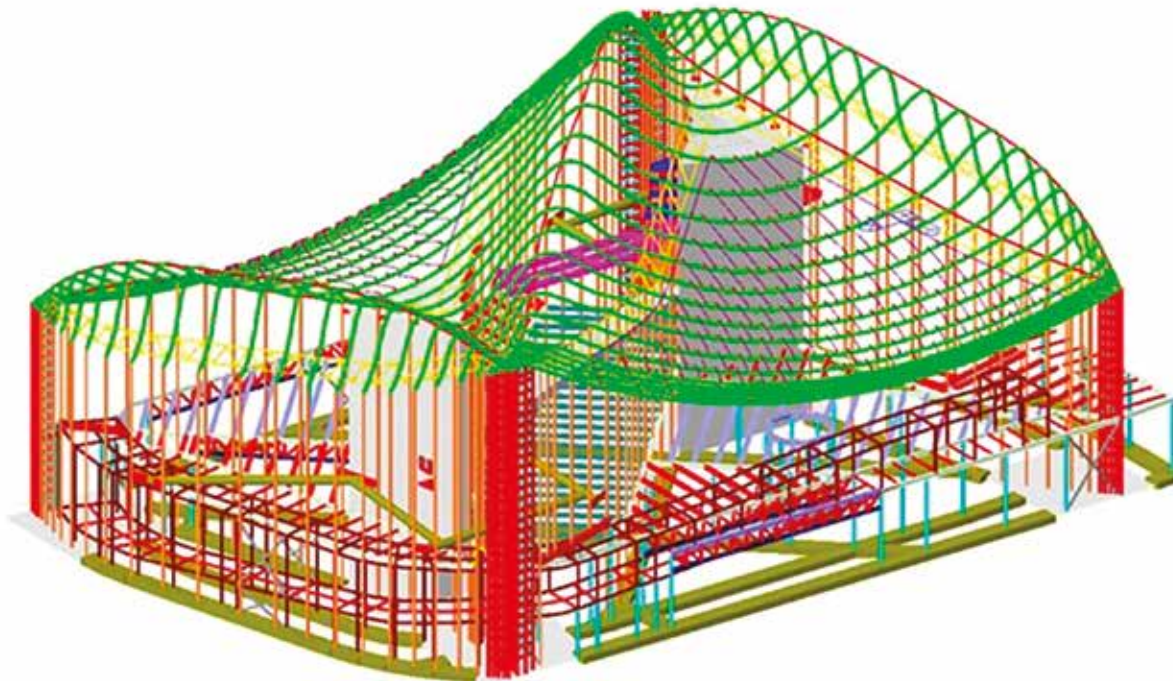


Fig. 9 | Modello tridimensionale di calcolo MIDAS GEN

materiale in grado di soddisfare le molteplici esigenze. La scelta finale ha puntato quindi su archi rovesci, ossia archi appesi alle estremità, stabili grazie allo stato di tensoflessione; questi archi non generano elevate azioni orizzontali come invece avrebbe determinato una tensostruttura tradizionale. In altre parole il principio che ha ispirato i progettisti di F&M Ingegneria a trovare la soluzione per una copertura tanto grande

quanto snella è stato l'arco catenario, già diffusamente utilizzato dal noto architetto spagnolo Antoni Gaudí y Cornet, in particolare nella Sagrada Família a Barcellona. Gaudí costruì dei modelli in scala di archi con carichi appesi e ne studiò la geometria assunta, arrivando ad intuire la stabilità dell'arco chiamato arco catenario (figura 10).



Fig. 10 | Modelli in scala di archi catenari

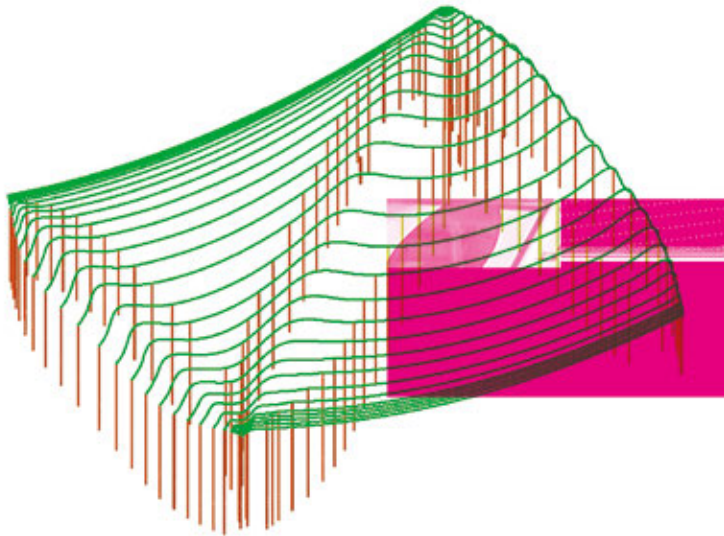


Fig. 11 | Scheletro strutturale in acciaio composto da colonne, archi e catenarie



Fig. 13 | Giunzione tra archi e catenarie

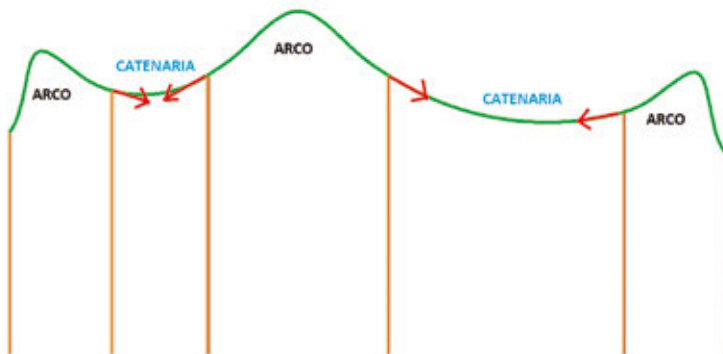


Fig. 12 | Illustrazione dello schema statico alla base del progetto del padiglione Italia

La soluzione a catenarie è stata ritenuta la più performante per coprire grandi campate senza colonne intermedie. Grazie alla scelta di elementi tensoinflessi, con netta prevalenza della trazione rispetto alla flessione, è stato possibile impiegare per le catenarie gli stessi tubi diametro 244 mm già previsti per le colonne, ossia tubi molto esili. Le catenarie sono tutte in continuità con gli archi, mentre gli archi sono gli elementi che hanno il compito di collegare le sommità delle colonne garantendo un comportamento a telaio nel piano degli archi stessi (figure 11-14).

Tutte le catenarie sono trasversalmente collegate da aste incerniate nascoste dietro alla lamiera della copertura (figura 15).

Archi e catenarie sono tutti orditi parallelamente al lato lungo



Fig. 14 | Le catenarie dopo la rimozione delle puntellazioni provvisorie



Fig. 15 | Collegamento trasversale delle catenarie mediante aste incernierate e celate dietro la lamiera

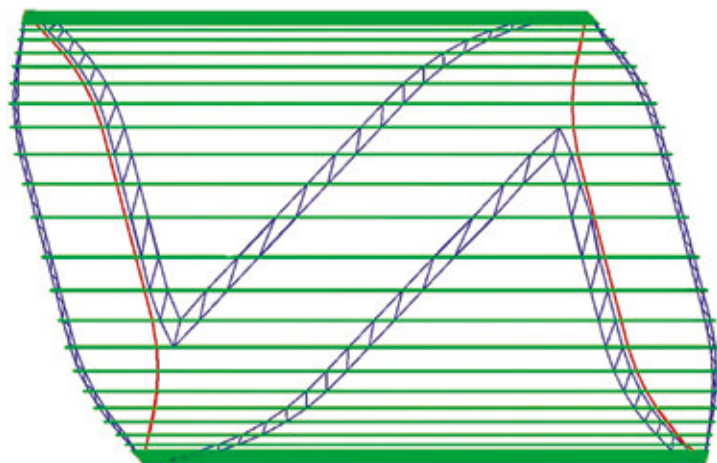


Fig. 16 | In blu le travi reticolari che conferiscono rigidità alla copertura nel piano orizzontale

del padiglione e sono stabilizzati nel loro piano dalle colonne. Considerata la snellezza delle colonne, quindi il loro modesto apporto alla stabilizzazione orizzontale della copertura stessa, è stato necessario conferire un più efficace collegamento trasversale e si è puntato su robuste travi reticolari nascoste nei gusci, rappresentate in blu nella figura 16.

Risolta la problematica della rigidità nel piano orizzontale, si è scelto di sfruttare al meglio i corpi scale per stabilizzare tutto il sistema di copertura, coadiuvati dai quattro vertici di estremità che si configurano come “nuclei” in acciaio ottenuti da affiancamento di più colonne trasversalmente collegate alla “Vierendeel”. Le elevazioni sono infatti in gran parte costituite da esili colonne in acciaio a sezione circolare diametro 244 mm spessore 12 mm, che da sole non sarebbero idonee a far fronte ai carichi orizzontali (figura 17).

Le stesse colonne piegano alla quota degli scafi di copertura trasformandosi gradualmente in “archi”, per poi invertire la concavità e diventare “catenarie”, ossia archi rovesciati con comportamento paragonabile a quello delle funi appese.

Le reticolari rappresentate in blu in figura 18 sono state nascoste dentro i gusci quindi non hanno alcun impatto estetico. In figura 19 una foto delle reticolari scattata durante il montaggio.

Le coperture con la concavità verso l’alto sono completate da

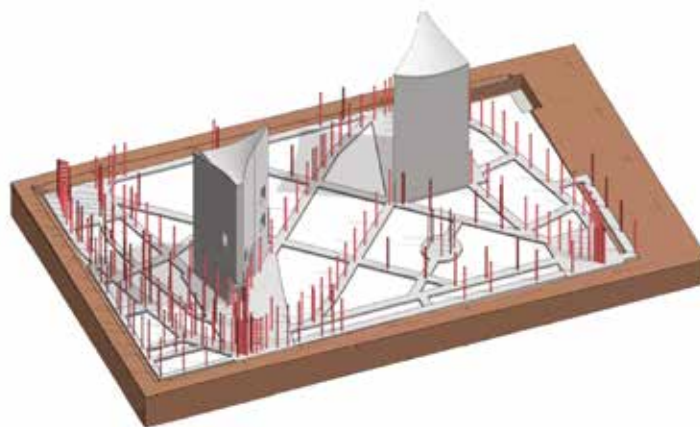


Fig. 17 | Il sistema strutturale resistente con nuclei scala in calcestruzzo e colonne in acciaio

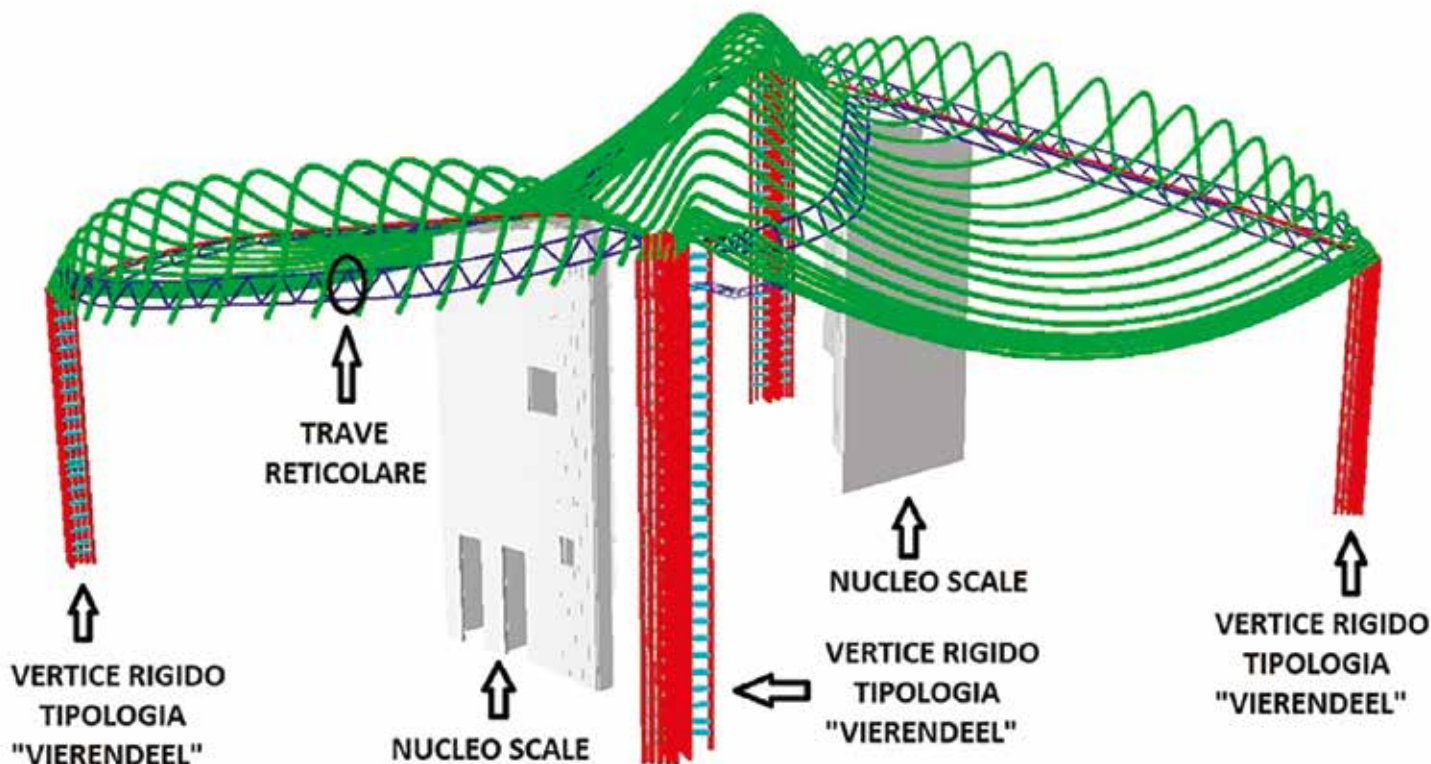


Fig. 18 | Soluzione progettuale per la stabilizzazione orizzontale: i corpi scale in calcestruzzo ed i vertici rigidi tipologia Vierendeel



Fig. 19 | Trave reticolare irrigidente ed impianti nascosti dentro i gusci

cuscini di ETFE gonfiati con aria compressa. Ciascun cuscino ha la peculiarità di essere provvisto di un proprio telaio autoportante che confina le spinte dell'aria compressa dei cuscini annullando le spinte orizzontali sulle catenarie (figura 20).

I cuscini sono parzialmente mascherati all'intradosso da fogli di lamiera d'acciaio opportunamente tesati e ritagliati in modo tale da filtrare la luce solare diurna, creare un effetto di luci chiaro-scuro ma senza gravare eccessivamente sulle catenarie in termini di peso.

Le fondazioni, che trasmettono sul terreno i carichi derivanti dalle sovrastrutture, sono state concepite come fondazioni superficiali

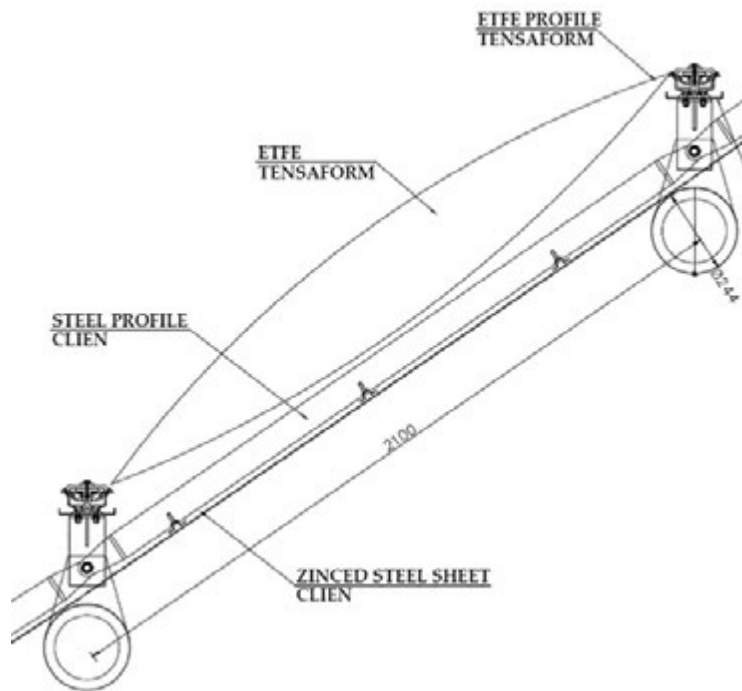


Fig. 20 | Sezione di progetto dei cuscini di ETFE

a plinti collegati da cordoli. Grazie a questa scelta, in luogo di fondazioni estese a platea, è stato possibile ottimizzare la cementificazione di suolo allo stretto necessario per garantire le necessità strutturali (figura 22).





Fig. 21 | Cuscini in ETFE in fase di installazione



Fig. 23 | Gusci in fase di costruzione



Fig. 22 | Strutture di fondazione in fase di esecuzione

Particolare attenzione è stata posta all'integrazione tra impianti e strutture, non solo per ottimizzare costi e lavorazioni di cantiere, ma specialmente per raggiungere la massima bellezza estetica. Il progetto degli impianti è stato sviluppato in parallelo al progetto delle strutture con l'intento di inserire/integrare tubazioni, linee elettriche, canali, etc., all'interno di volumi rivestiti (figura 23). A titolo esemplificativo, sono state introdotte tubazioni antincendio e linee elettriche all'interno delle intercapedini degli scaffi, in modo da risultare completamente nascoste alla vista dei visitatori.

## 6 Analisi strutturali e verifiche

L'analisi del comportamento strutturale del padiglione è stata condotta con accurata modellazione tridimensionale agli elementi finiti mediante l'uso del software MIDAS GEN.

Il primo passo è stato l'individuazione del comportamento sismoresistente complessivo mediante riconduzione a schemi statici semplici: nuclei irrigidenti, colonne, archi, catenarie e reticolari di collegamento.

Dopo aver individuato il comportamento d'insieme gli ingegneri progettisti hanno riprodotto virtualmente le strutture mediante elementi finiti tipici del calcolo automatico delle strutture.

Il modello di calcolo è stato costruito con più di 20.300 nodi, più di 12.800 aste a due nodi tipo beam e 10.300 elementi bidimensionali plate a 3 o 4 nodi.

I carichi di progetto accidentali e i carichi del vento sono desunti dalla norma americana ASCE7, mentre l'azione sismica è desunta dalla norma americana UBC97 seppur con l'accelerazione al suolo desunta dalle norme locali dubaine. L'uso delle norme americane è scaturito dal regolamento Expo.

Il carico accidentale di progetto è  $5 \text{ kN/m}^2$ , intenzionalmente incrementato a  $6 \text{ kN/m}^2$  per l'incertezza ad inizio progetto in tema di allestimenti espositivi.

Particolare attenzione è stata posta nella determinazione delle pressioni da vento tenuto in considerazione che il padiglione è sostanzialmente un edificio aperto e pertanto la copertura è sottoposta non solo all'aspirazione da estradosso ma anche alla pressione da intradosso. Il vento di progetto considerato ha velocità di  $45 \text{ m/s}$  mediato su 3 secondi a 10 m dal suolo.

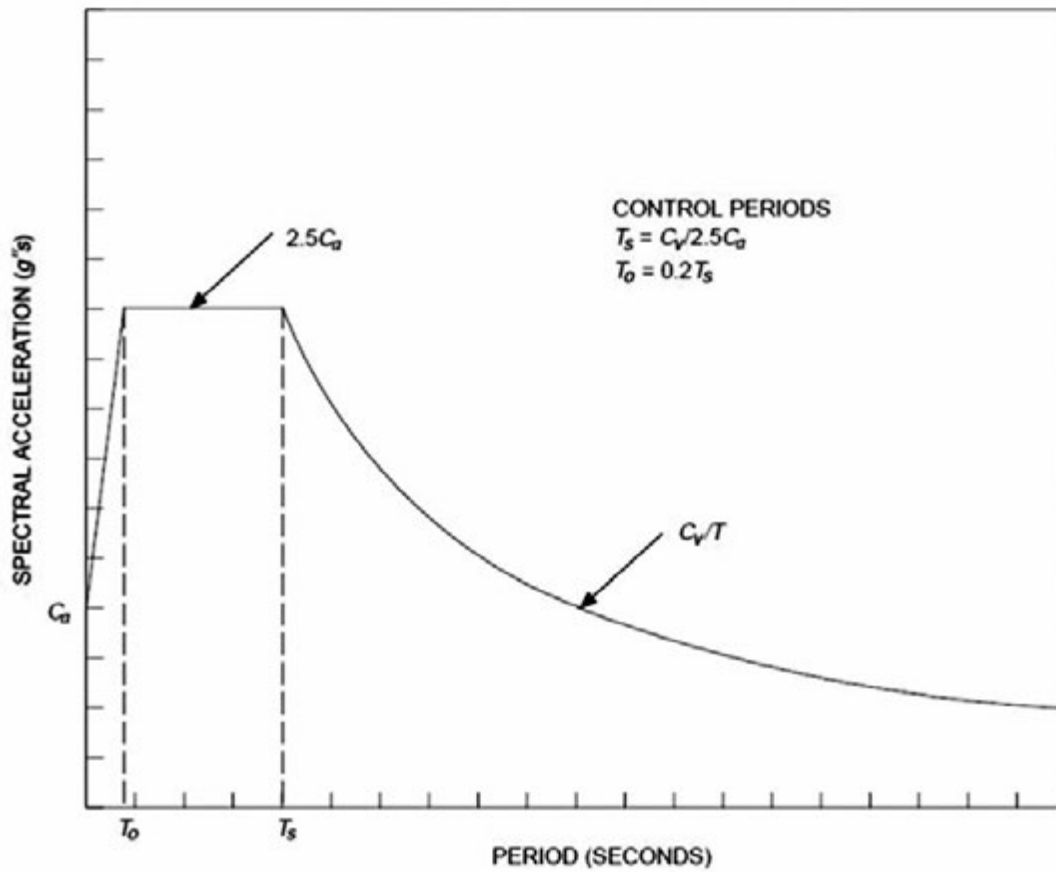


FIGURE 16-3—DESIGN RESPONSE SPECTRA

Fig. 24 | Spettro in accelerazione orizzontale di progetto

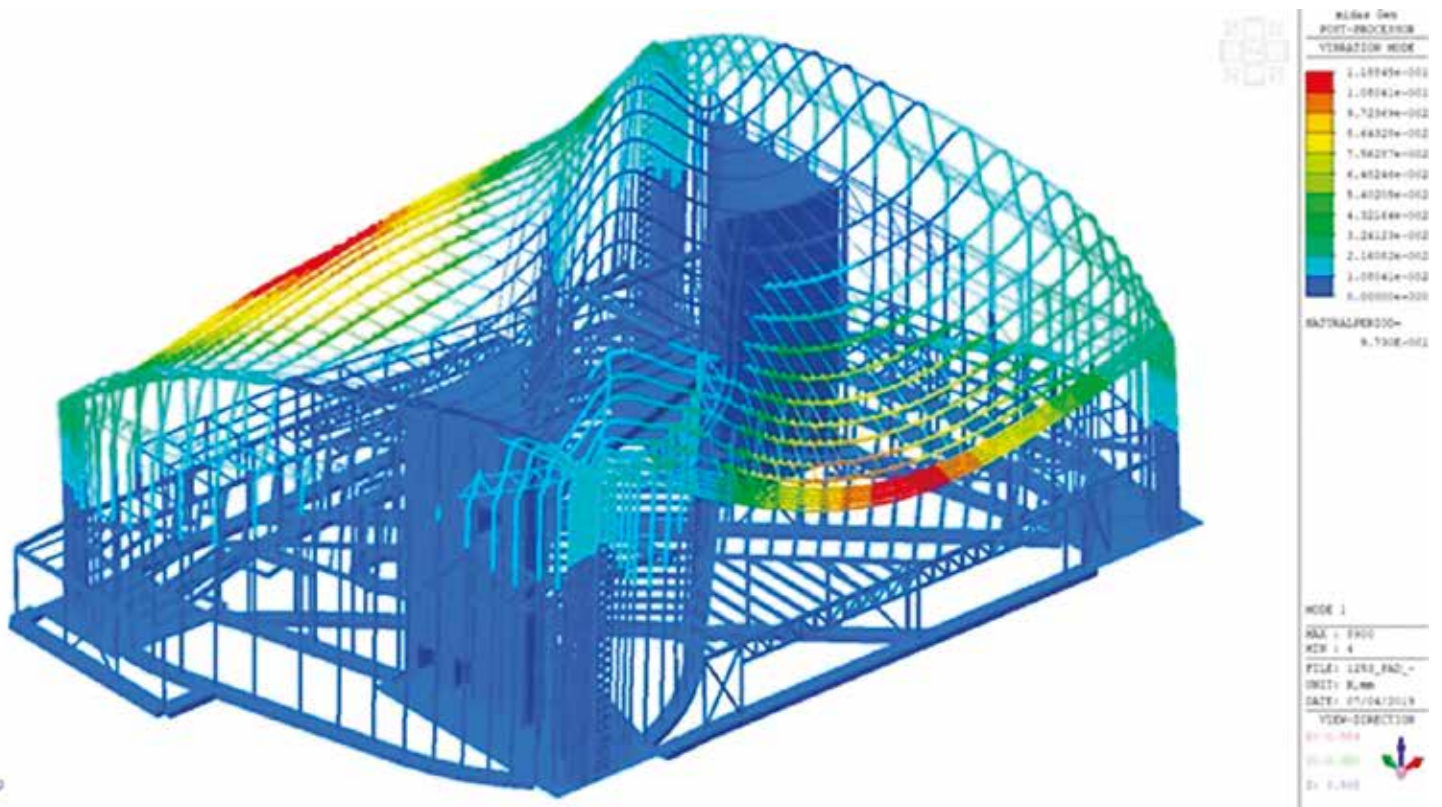


Fig. 25 | Primo modo di vibrare

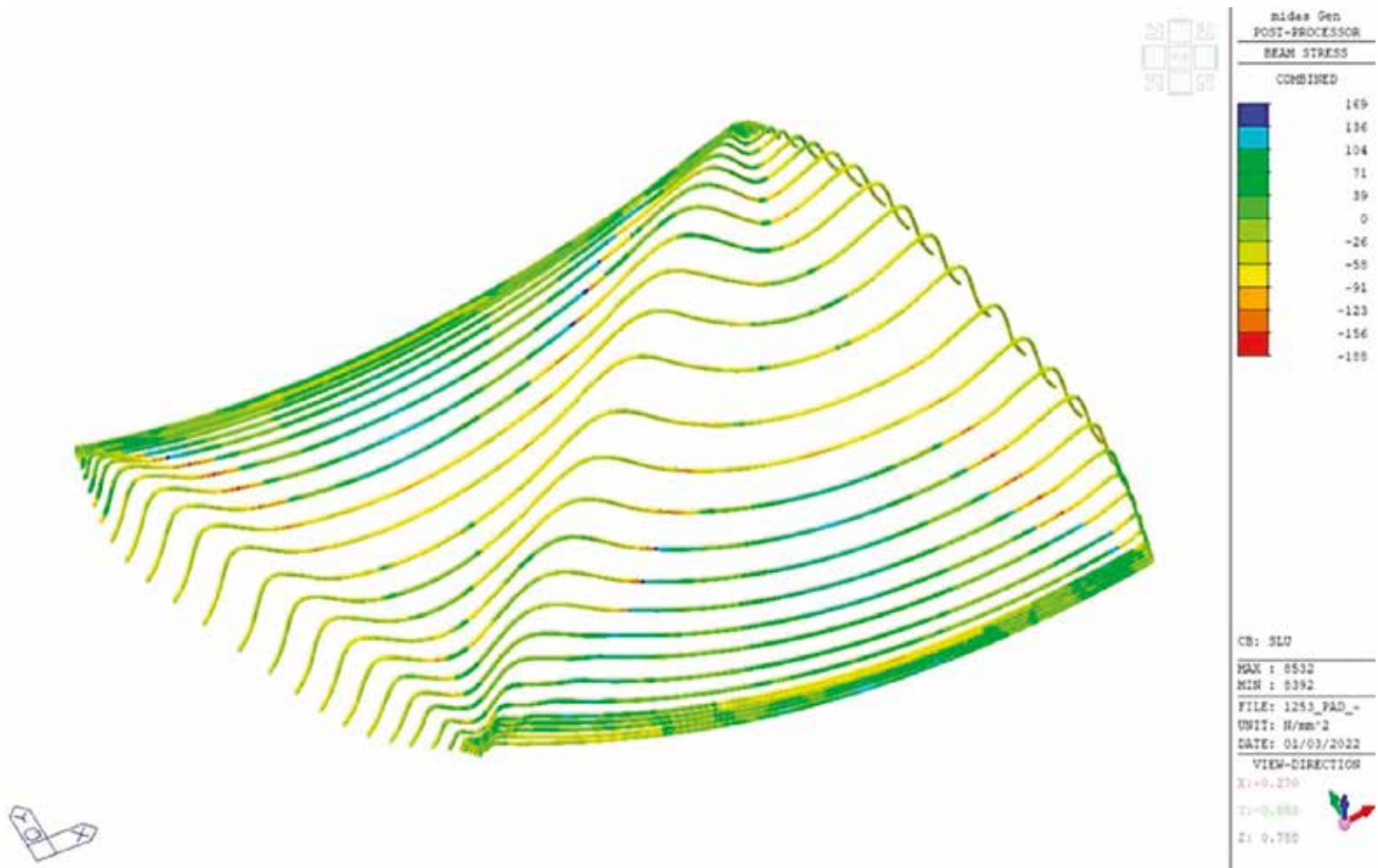


Fig. 25 | Primo modo di vibrare

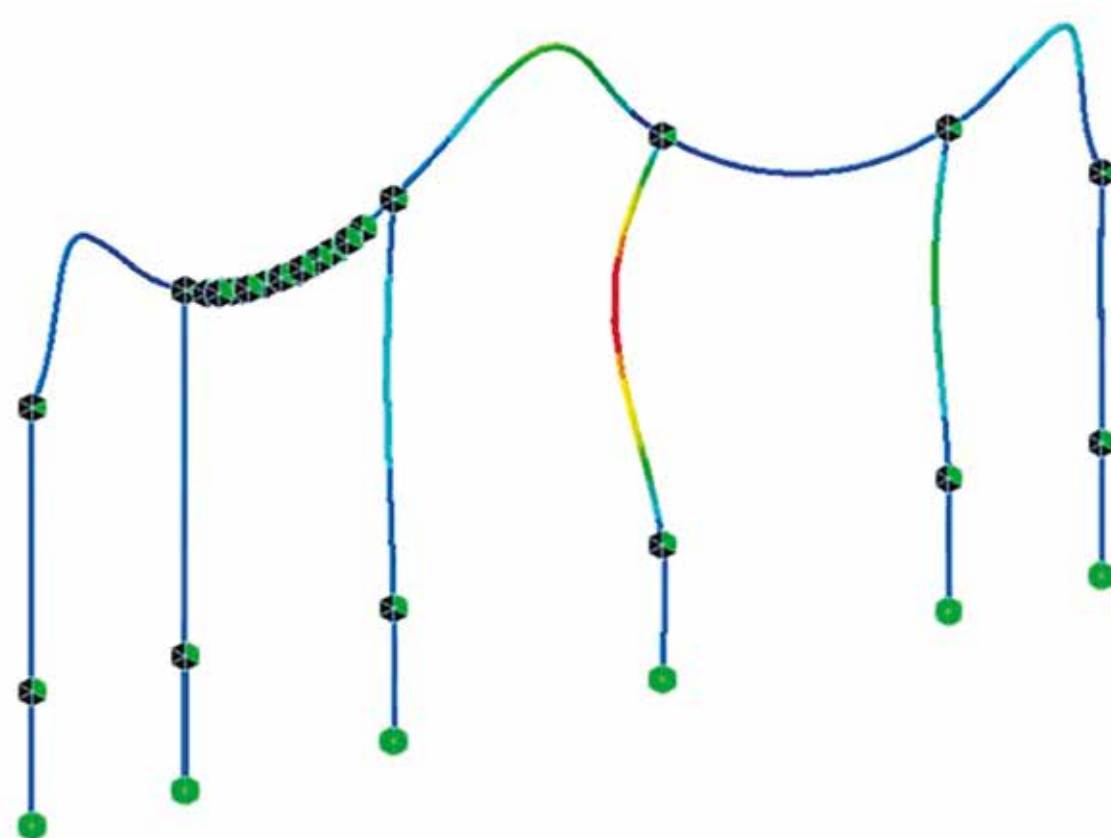


Fig. 27 | Esempio di una delle indagini di instabilità di buckling condotte sulle colonne

Dubai è un sito a modesta sismicità, con accelerazione al suolo di progetto di 0,72 m/s<sup>2</sup> con tempo di ritorno 475 anni. L'azione sismica di progetto è stata dedotta dallo spettro di accelerazione orizzontale di figura 24.

L'analisi statica condotta è stata di tipo elastico lineare in quanto si è preliminarmente appurato, attraverso modelli semplificati, che le fasi di montaggio non incidono sullo stato tensionale delle aste; in altre parole lo stato tensionale è proporzionale all'entità dei carichi pertanto non sono state implementate analisi tridimensionali con costruzione per fasi.

L'analisi sismica condotta è stata di tipo lineare con spettro di risposta.

Il controllo critico del modello ha riguardato reazioni vincolari alla base in prima battuta ed a seguire i modi di vibrare. In figura 25 si

riporta il primo modo.

La prima verifica locale ha coinvolto naturalmente la copertura essendo l'elemento più critico. Sono stati verificati stato tensionale e deformazioni (figura 26).

Fig. 26 - Massimo stato tensionale di catenarie ed archi

Molta attenzione è stata posta nella verifica all'instabilità per pressoflessione delle colonne essendo elementi molto esili. Oltre alle verifiche delle singole aste secondo i dettami normativi, assumendo schema statico di incastro al piede e cerniera fissa all'estremità superiore (copertura stabilizzata dai corpi scale e dai vertici rigidi d'angolo), sono state condotte a parte analisi spinte per la ricerca dell'instabilità di buckling al fine di indagare tutte le criticità (figura 27).

---

## CREDITS

### Padiglione Italia Expo Dubai 2020 - Dubai, UAE | 1 Ottobre 2021-31 Marzo 2022

*Un progetto architettonico di CRA-Carlo Ratti Associati e Italo Rota Building Office, con F&M Ingegneria e Matteo Gatto*

Foto: Michele Nastasi

**CRA team:** Carlo Ratti, Francesco Strocchio (Project manager), Monika Löve (Project manager), Luca Bussolino, Mario Daudo, Serena Giardina, Ina Sefgjini, Nicola Scaramuzza, Giovanni Trogu

**CRA Graphic Team:** Gary di Silvio, Pasquale Milieri, Gianluca Zimbardi

**Coinvolti in fasi precedenti:** Saverio Panata, Andrea Fasolo, Alberto Geuna, Gerolamo Gnechi, Francesca Marino, Lucia Miglietta, Marco Maria Pedrazzo, Davide Ventura

**Italo Rota Building Office team:** Italo Rota, Francesca Grassi

**Coinvolti in fasi precedenti:** Francesco Lato, Omid Mohammad, Gilberto Piano, Sammy Zarka

**F&M Ingegneria team:** Sandro Favero, Federico Zaggia, Luigi Ranzato, Lorenzo Colarusso, Nicola Ros, Federico Moro, Antonio Nuzzo, Mauro Baessato, Davide Pizzolato, Dino Casagrande, Marco Furlanetto.

**Coinvolti in fasi precedenti:** Francesca Favero, Luca De Antoni, Dhebora Gambaro, Francesco Mason, Alessandro Palamidese, Luca Sangiorgi, Paola Zisa, Mirco Zuin, Alessandro Bonaventura, Marco Bonaldo, Francesca Bertuzzo.

**Matteo Gatto team:** Matteo Gatto, Stefano Monaco, Barbara Corli, Valentina Rizzo

**Coinvolti in fasi precedenti:** Paolo del Toro, Edoardo Perani

**Consulente per il progetto scenografico:** Alessandro Camera

**Consulente Video e Multimedia:** AGMultivision (Tiziano Alessandro Testoni)

**Consulente per l'illuminotecnica:** Luminae Lighting Design (Lorenzo Brusciaglioni)

**Consulente per l'acustica:** P2A Design (Alessandro Pasini, Simone Fagnani, Paola Renda)

**Consulente per la segnaletica:** 100km studio (Luigi Farrauto)

**Consulente grafico:** studio FM milano

**Landscape Consultant:** CNR (Silvia Fineschi, Roberto Reali, Francesco Carimi), GMP Studio (Flavio Pollano, Rachele Griffa)

---



**Sandro Favero**  
Fondatore di F&M  
ingegneria.  
Capo progetto  
progettazione  
strutture del  
Padiglione Italia



**Federico Zaggia**  
Partner, Responsabile  
del Settore Project  
Management di F&M  
ingegneria.  
Capo progetto  
Progettazione e  
Direzione Lavori  
di Ingegneria del  
Padiglione Italia



**Luigi Ranzato**  
Responsabile  
progettazione  
strutture del  
Padiglione Italia