

Padiglione 37.

Il nuovo Padiglione con copertura mobile della Fiera di Bologna

Exhibition Hall 37.

The new pavilion of the Bologna Fair with retractable roof

Prof. Ing. Massimo Majowiecki, Ing. Giuliano Aloisio, Ing. Giovanni Berti, Ing. Monica Mingozi*, Ing. Stefano Pinardi, Ing. Elisa Sammarco | MJW Structures, Casalecchio di Reno (Bologna)

Il nuovo Padiglione 37 spicca per il suo design moderno e funzionale e, allo stesso tempo, grazie alla tecnologia costruttiva utilizzata, si integra perfettamente con gli edifici esistenti del polo fieristico storico, pietre miliari nella storia dell'architettura fieristica internazionale. Caratterizzato dalla totale assenza di appoggi intermedi, ma soprattutto dal sistema mobile di copertura, il Padiglione 37 diviene uno spazio polifunzionale duttile e innovativo con un'elevata permeabilità al piano terra. La luce naturale, filtrando dalle grandi pareti vetrate in polycarbonato, rende piacevole la permanenza nel padiglione, permettendone l'utilizzo alle più diverse tipologie di eventi: dalle convention alle manifestazioni fieristiche o sportive.

Nonostante la tipologia strutturale sia quella dei padiglioni fieristici, in cui la forma è plasmata dalla struttura, nel Padiglione 37 le carpenterie metalliche della reticolare e i telai in tubi quadri degli edifici limitrofi divengono anche linguaggio architettonico. La scelta di lasciare a vista e valorizzare l'aspetto estetico dei profili e delle connessioni diviene in tal modo un filo conduttore tra tutti i corpi di fabbrica.

New Pavilion 37 stands out for its functioning and contemporary design; nevertheless, it is perfectly integrated with existing surrounding exhibition district of Bologna, which is composed by structures stated to be international milestones in architecture of exhibition halls. Pavilion 37, whose main features are complete absence of intermediate supports and retractable roof, is an innovative adaptable multi-purpose building, with spacious ground floor open spaces.

Glazed polycarbonate curtain walls allow natural light to guarantee a pleasant experience of the Pavilion, used for different purposes like exhibition or sporting events.

Despite its traditional exhibition hall structural system, where the structure is the main feature, a clear architectural language is provided by rectangular hollow sections and main cover trusses.

Bare and enhanced structural steel profiles and connections are the main central aesthetic and architectural idea that connects each structure of the building.



Padiglione 37 © HG Esch

*Corresponding author. Email: monica.mingozi@majowiecki.com

1 INTRODUZIONE

Il polo fieristico della città di Bologna, nato negli anni sessanta su progetto di Leonardo Benevolo, si sta sviluppando in linea con il masterplan, il quale mira alla riqualificazione e all'ampliamento del grande quartiere espositivo. La Fiera di Bologna si estende su un'area complessiva di 375.000 m² e si compone di 20 padiglioni e 5 ingressi indipendenti.

Il padiglione 37, ultimato nel 2020, si inserisce a Sud-Est di questo contesto, compreso tra i padiglioni 25, 26, 35 e 32. L'edificio copre una superficie di circa 18.500 m² con un'altezza massima di 23 m. La progettazione ne ha previsto la suddivisione in tre unità indipendenti: il Padiglione, il Corpo Est e la Mall (figura 1).

Il "Padiglione", destinato ad ospitare principalmente esposizioni fieristiche, è una struttura monopiano di dimensioni in pianta 80,8x184,0 m e posto lungo l'asse Est-Ovest. In corrispondenza del fronte Est è collocato l'edificio denominato "Corpo Est", che ospita diversi servizi e impianti afferenti al Padiglione stesso. L'edificio ha pianta rettangolare con dimensioni 80,4x16,0 m e altezza variabile, in quanto sono previsti, oltre alla copertura, due piani nei volumi laterali e un piano nel volume centrale. Lungo il fronte Ovest è invece collocato l'edificio denominato "Mall" adibito ad ingresso e ristoro dei flussi pedonali con copertura destinata a vano impianti; assume dimensioni in pianta di 80,4x28,0 m e altezza 13 m circa. La Mall ed il Corpo Est sono giuntati termicamente e sismicamente

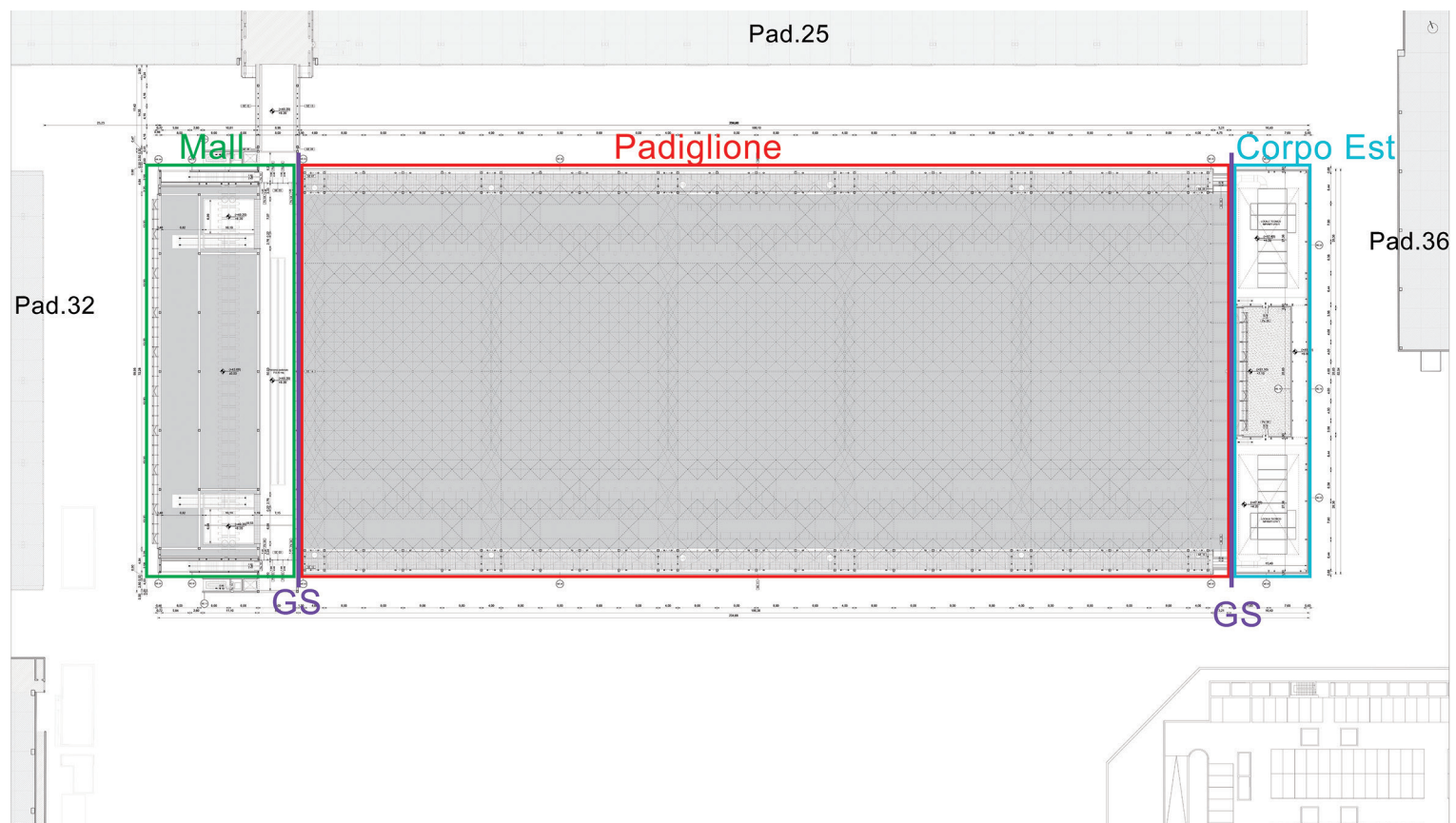


Fig. 1 | Planimetria generale

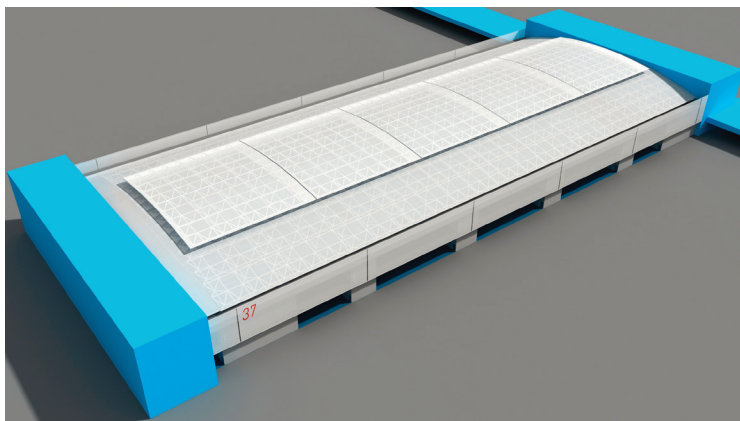


Fig. 2 | Render della fase preliminare con Padiglione in configurazione chiusa

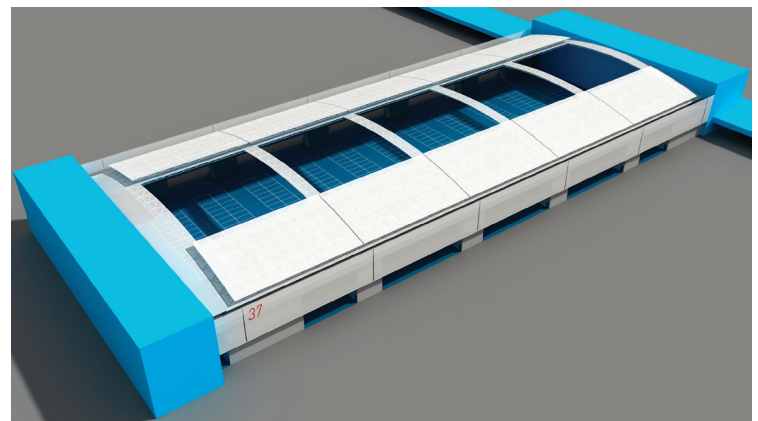


Fig. 3 | Render della fase preliminare con Padiglione in configurazione aperta

rispetto al corpo del Padiglione (in Figura 1 indicati con “GS”), permettendo quindi gli spostamenti relativi tra i corpi di fabbrica. La particolarità dell’opera consiste nella copertura apribile del Padiglione: i due quarti centrali della copertura possono scorrere sui rispettivi quarti laterali, giungendo ad una configurazione finale ove la porzione longitudinale centrale risulta essere aperta (figure 2-3).

2 PADIGLIONE

2.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La configurazione geometrica del Padiglione presenta una pianta rettangolare con dimensioni esterne di 80,4 m secondo l’asse trasversale (Nord-Sud) e di 184 m secondo l’asse longitudinale (Est-Ovest). La struttura è suddivisa in cinque fasce trasversali larghe 36 m e la cui zona centrale è dotata di due moduli mobili

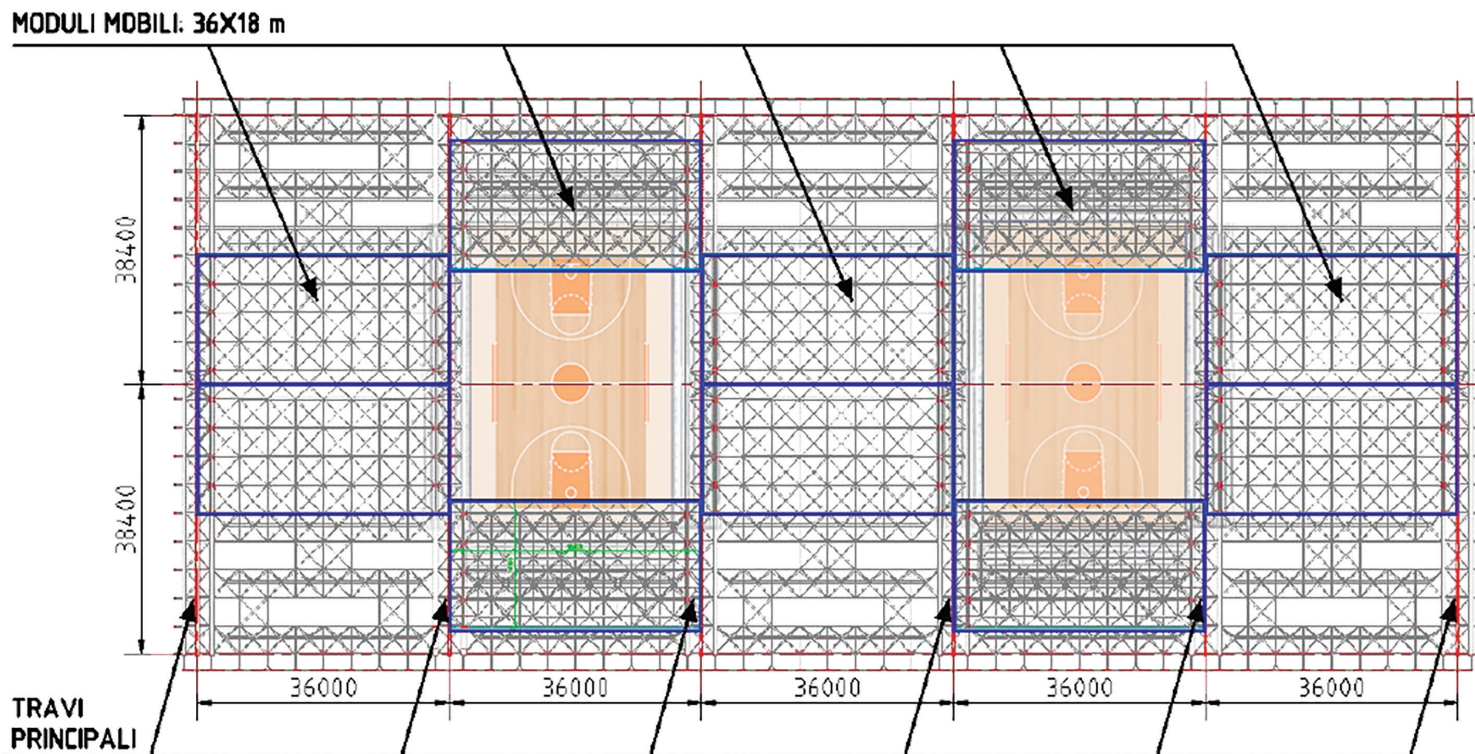


Fig. 4 | Pianta del Padiglione in configurazione aperta parzialmente per **utilizzo** sportivo

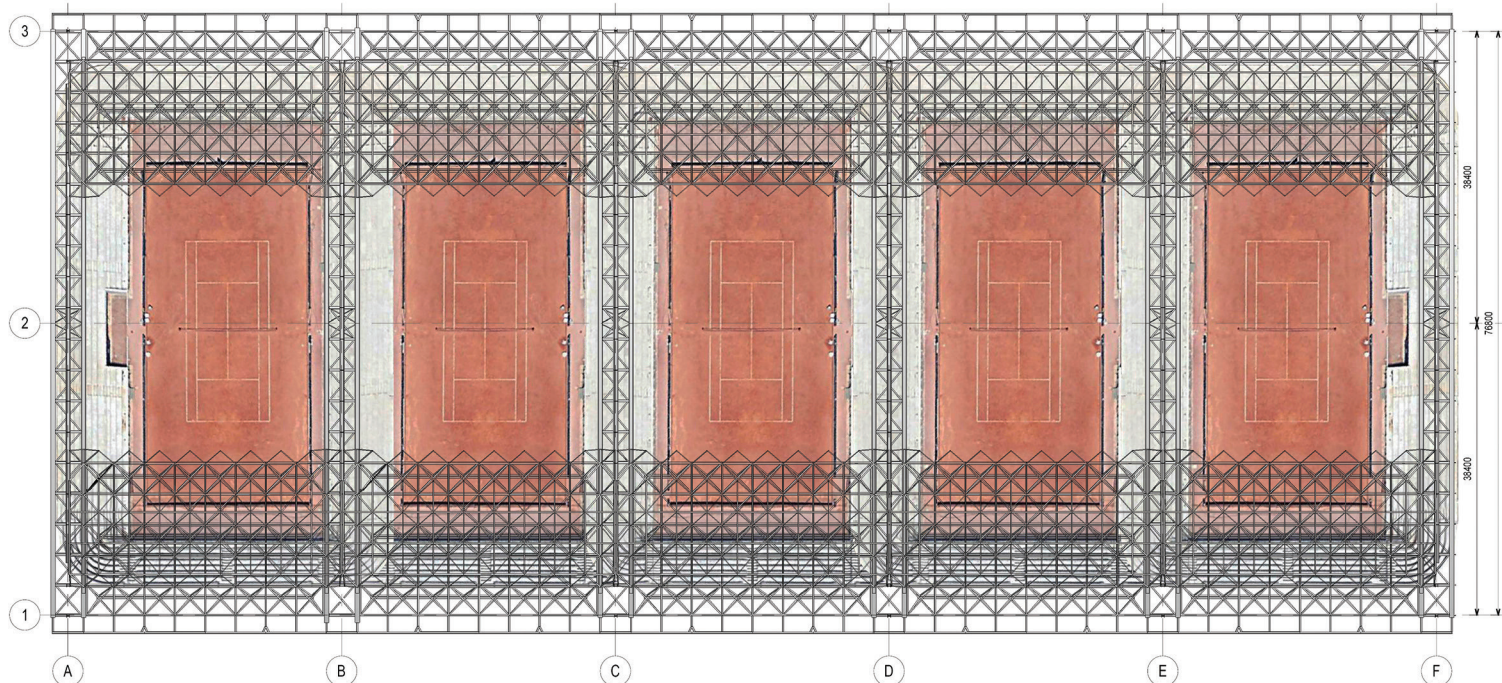


Fig. 5 | Possibile utilizzo del Padiglione in configurazione completamente aperta

in grado di traslare verso l'esterno per permettere l'apertura del Padiglione anche parzialmente (figura 4). L'apertura indipendente dai singoli moduli permette configurazioni della copertura indicate a funzionalità sportive.

L'edificio è organizzato secondo il tipico modulo fieristico di 4 m (o multipli) e risulta contraddistinto dall'assenza di sostegni interni, coprendo allo stesso tempo una luce di 76,8 m. La struttura principale consiste in sei travi reticolari binate trasversali poggianti su torri, che fungono da sostegno e controventamento verticale della copertura (figure 6-7).

Ciascuna torre, a base quadrata di lato 4,8 m, è costituita da un nucleo in c.a. con pareti spesse 60 cm e con ringrossi di 80 cm in corrispondenza degli spigoli (per permettere l'appoggio della carpenteria metallica soprastante) e soletta di chiusura di spessore

40 cm. Sopra a ciascun nucleo è impostata una sovrastruttura reticolare metallica avente sezione quadrata di 4 m e altezza 5,7 m (figura 7). La carpenteria metallica di ciascuna torre è vincolata al sottostante nucleo in c.a. secondo le seguenti modalità: in senso trasversale e longitudinale mediante due tacche di taglio laterali, in senso verticale mediante quattro piastre di base con tirafondi. Questi ultimi sono stati dimensionati in modo da poter assorbire le azioni verticali di trazione derivanti dalle azioni orizzontali trasversali. Le torri sono a loro volta collegate tramite travi reticolari di bordo ordite longitudinalmente, le quali sostengono la baraccatura e la passerella di uso tecnico-impiantistico.

Le travi principali presentano altezza variabile che va da 2,8 m in appoggio sulle torri, fino a 7 m in mezzeria. Le due travi reticolari piane sono accoppiate ad una distanza di 4 m e il loro intradosso piano determina un'altezza libera di 11,5 m.

Il corrente superiore è costituito da un profilo cassettonato (formato da piatti saldati) con andamento curvilineo avente pendenza media dell'11% circa. Il corrente inferiore teso è formato da un tubo circolare CHS 457,0; mentre le aste di parete, alternativamente tese e compresse, sono tubi circolari CHS 273,0 e CHS 323,9. È stato previsto un sistema di controventatura di falda all'estradosso, formato da traversi in HEA 400 e diagonali in tubo circolare CHS 168,0 ad interasse 4 m. In corrispondenza degli appoggi, in mezzeria e ai quarti della luce è previsto un controvento a X trasversale tra le due reticolari piane. Le reticolari binate così descritte sono quindi vincolate in sommità delle torri tramite 2+2 appoggi verticali in



Fig. 6 | Foto Padiglione aperto © HG Esch

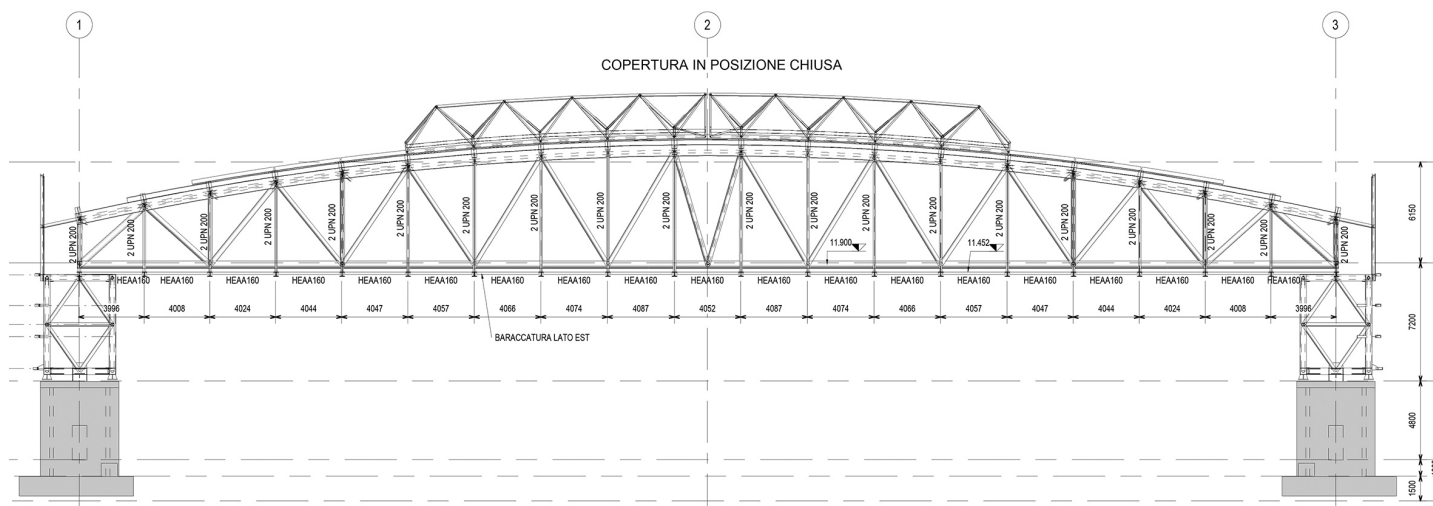


Fig. 7 | Sezione del Padiglione in configurazione chiusa



Fig. 8 | Torri in c.a. del Padiglione © HG Esch

rullo metallico, 2+2 ritegni nel senso trasversale del padiglione e 1+1 ritegni nel senso longitudinale del padiglione (figura 9). Al fine di mitigare l'azione spingente delle travi reticolari sulle strutture di sostegno sottostanti per effetto degli allungamenti/accorciamenti del corrente inferiore e dovuti alle azioni di progetto (variazione termica e/o sismiche), ciascun ritegno trasversale posto in prossimità dell'apparecchio d'appoggio è dotato di una coppia di dispositivi elastici (ciascuno dei quali costituito da un pacchetto di neoprene armato ad asse orizzontale e avente comportamento monolatero).

Inoltre, sulla struttura è stata prevista l'applicazione di una contromonta di 100 mm per compensare le frecce dovute ai carichi permanenti.

posta, e trova appoggio sul corrente di estradosso delle stesse mediante 2 + 2 carrelli.

La tipologia strutturale adottata richiede che i carichi vengano ad essa trasferiti esclusivamente in corrispondenza dei nodi: la lamiera grecata strutturale è quindi appoggiata su arcarecci in tubi d'acciaio rettangolari 180x100 orditi sopra i nodi della reticolare spaziale ed appoggiati ad essi.

Il tamponamento delle pareti verticali longitudinali superiori è organizzato secondo campi 8,0x5,7 m circa individuati dalle travi reticolari longitudinali e precedentemente descritte. La prima fascia di tamponatura è in lastre di policarbonato ed è sostenuta da arcarecci orizzontali in tubo rettangolare. La fascia più alta

La copertura, compresa tra le reticolari binate, si divide quindi in moduli di dimensioni 36x18 m, di cui quelli esterni sono fissi e quelli centrali mobili, organizzati secondo il seguente layout:

- Moduli di copertura fissi (figura 10 in giallo): a partire da ciascun bordo esterno, il primo quarto di copertura è organizzato con 3 travi reticolari fisse (luce 32 m) in acciaio a sezione trasversale triangolare formata da due correnti superiori ed un corrente inferiore, con altezza di schema pari a 2 m (figura 11). La lamiera grecata strutturale è ordita in direzione longitudinale con luci contigue di 4 m;
- Moduli di copertura mobile (figura 10 in azzurro): i moduli centrali di copertura sono mobili e ciascuna porzione è costituita da una reticolare spaziale con nodi tipo "Mero" e aste tubolari tonde. Ogni porzione sormonta anche le reticolari principali tra cui è

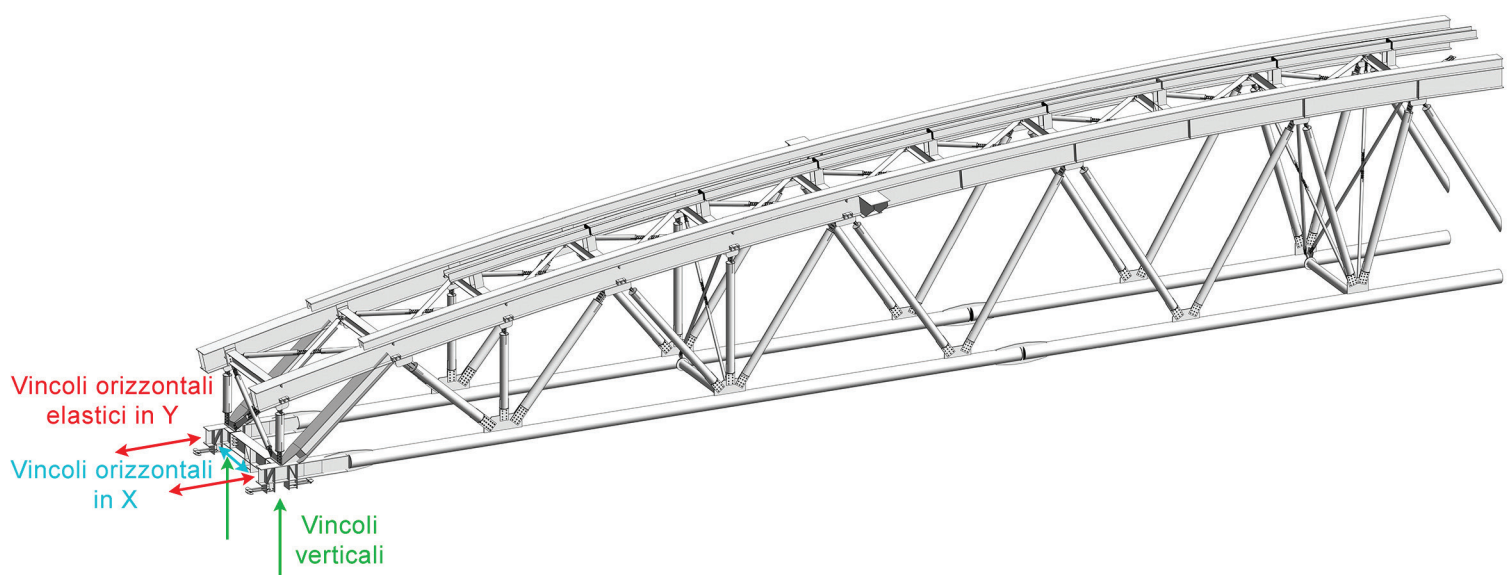


Fig. 9 | Modello Revit della trave reticolare binata principale e indicazione dei vincoli

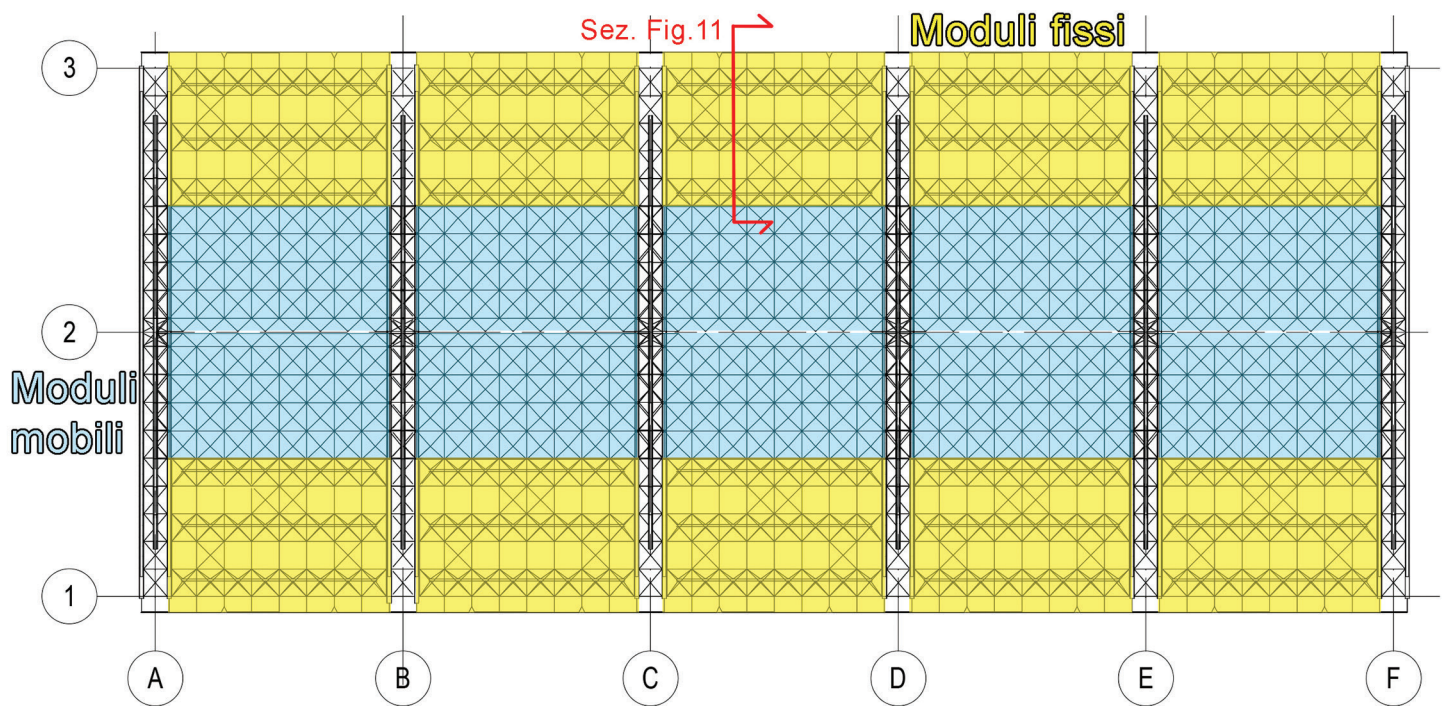


Fig. 10 | Moduli di copertura del Padiglione - in giallo i moduli fissi e in azzurro i moduli mobili

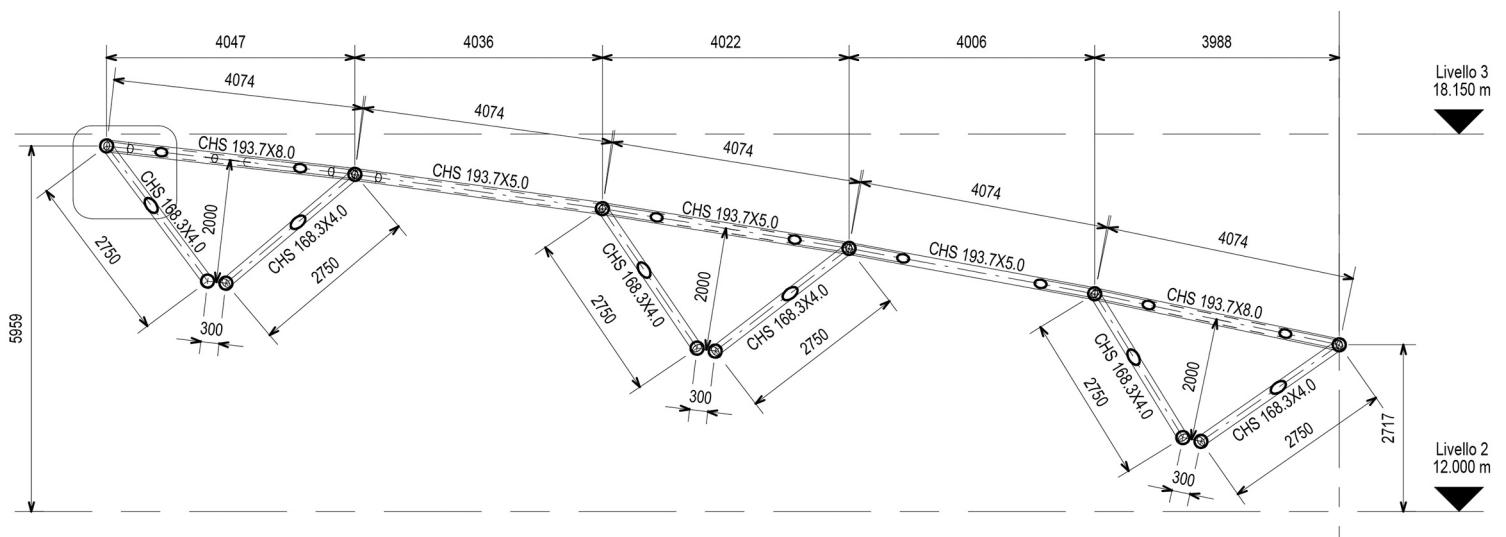


Fig. 11 | Sezione trasversale in corrispondenza del modulo fisso tipico della copertura del Padiglione



Fig. 12 | Foto tamponamenti del Padiglione dall'esterno © HG Esch

opaca è realizzata con un tamponamento in lamiera grecata ordita orizzontalmente tra profili verticali in profili aperti ad I.

Il sostegno del manto di copertura è affidato alla lamiera grecata strutturale di altezza 111 mm e spessore tipico di 0,88 mm, la quale è inoltre soggetta alle azioni variabili di progetto (neve e vento). Sono previsti spessori maggiori e/o eventuali raddoppi nelle zone di copertura in cui si possono verificare accumuli di neve a causa di discontinuità di quota di coperture adiacenti e/o in corrispondenze di pareti verticali.

Il sistema fondazionale è organizzato con plinti su pali aventi diametro 50 cm e lunghezza di circa 21 m. Per ogni nucleo in c.a. sono stati previsti 25/30 pali disposti secondo griglia regolare con interassi pari a 3 diametri. I plinti hanno spessore 1,4 m ed estradosso a quota -1,0 m.

2.2 DESCRIZIONE DELLA MECCANICA DI MOVIMENTO

L'apertura della copertura avviene per movimento dei moduli mobili, in direzione trasversale all'edificio, lungo il corrente superiore delle travi principali. La meccanica di ogni modulo mobile è indipendente dalle altre e le manovre di apertura/chiusura della copertura richiedono:

- presenza del solo personale addetto all'operazione ed assenza di pubblico;
- assenza di neve;
- di essere complete nel senso che sono permesse, per ciascun modulo, solo le configurazioni: "totalmente aperta" e "totalmente chiusa".

La progettazione del sistema di movimentazione ha previsto la presenza dei seguenti elementi meccanici:

- elementi di traslazione: composti da quattro carrelli per modulo, che percorrono la via posta sul corrente superiore delle travi principali trasversali. Inoltre, è presente un sistema

a cremagliera, fissato ai correnti inferiori laterali del modulo mobile, che si ingrana sui pignoni motorizzati (vedi punto successivo);

- elementi motori: vi è un gruppo motorizzato per ogni lato di modulo mobile e fissato sulle travi principali. Ognuno è composto da un motore elettrico autofrenante, accoppiato ad un riduttore epicicloidale, che trasmette il moto all'albero di trasmissione, sostenuto da una coppia di cuscinetti a rulli, sul quale è calettato il pignone. Il gruppo ha la doppia funzionalità di trasmettere il moto durante le fasi di movimentazione e di mantenere la posizione dell'anta nelle posizioni "tetto aperto", "tetto chiuso" e una qualsiasi posizione intermedia;
- elementi di contrasto: composti da ruote giacenti sul piano di scorrimento (a funzione di contrasto orizzontale) e ruote posizionate all'intradosso della flangia di scorrimento, che impediscono il sollevamento.

Il normale utilizzo prevede che i gruppi motorizzati funzionino in

modo sincronizzato, ma ciascun gruppo è dimensionato per poter funzionare da solo e mantenere la posizione dell'anta in caso di avaria di uno dei due. I motori elettrici sono dotati di encoder incrementale per il controllo del regime di rotazione e sono azionati mediante inverter che gestisce la frequenza di alimentazione, ossia la velocità di rotazione e le rampe di accelerazione e decelerazione, garantendone il sincronismo. Per la manutenzione ordinaria e le operazioni in condizioni di emergenza che prevedono il presidio ed il monitoraggio della movimentazione in vicinanza dell'anta è previsto l'utilizzo di un radiocomando che disabilita la possibilità di comando da postazione fissa.

Secondo le indicazioni della Committenza:

1. l'utilizzo prevalente del padiglione è in configurazione aperta;
 2. le posizioni di parcheggio stazionario di ciascuna parte mobile della copertura sono "configurazione completamente aperta" e "configurazione completamente chiusa";
 3. si effettueranno un numero annuo limitato (20) di operazioni di apertura/chiusura secondo le necessità fieristiche, includendo le operazioni di verifica e manutenzione;
 4. le configurazioni caratterizzate dalla disposizione di alcuni moduli in posizione aperta e dei rimanenti in posizione chiusa sono di natura temporanea legate alla durata di eventi di spettacolo e sono da considerare non esposte al carico neve.
- Secondo le indicazioni del Progettista del Sistema di movimentazione:

1. i tempi di apertura/chiusura sono dell'ordine di una decina di minuti;

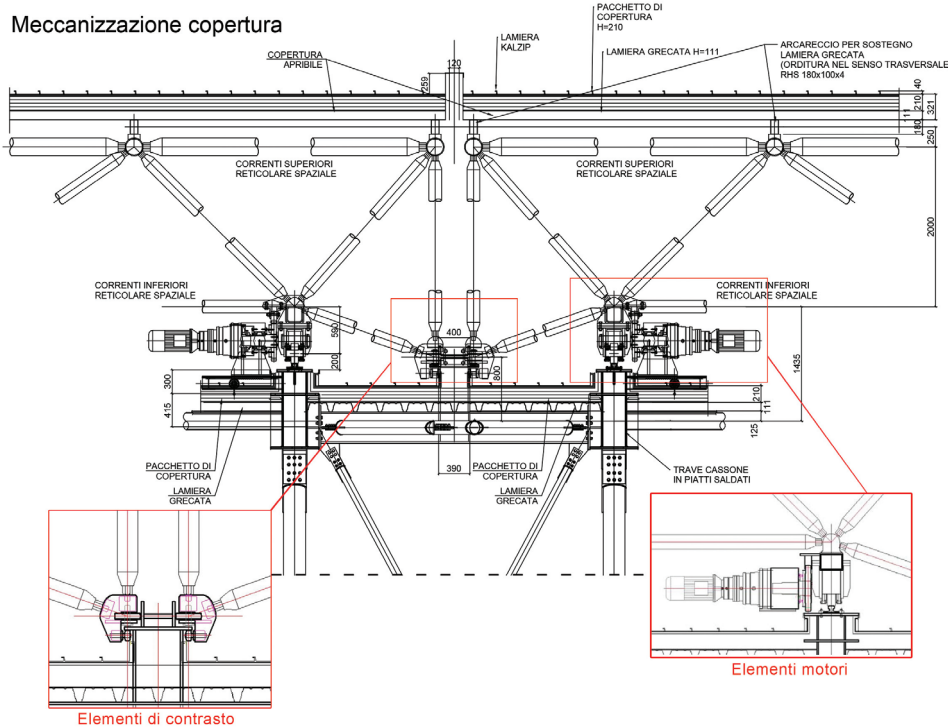


Fig. 13 | Dettaglio in sezione longitudinale del sistema di movimentazione del Padiglione

		Scenario A) configurazione aperta		Scenario B) configurazione chiusa	
Porzione copertura	Direzione Vento	Depressione	Pressione	Depressione	Pressione
		Qz [kN/m ²]	Qz [kN/m ²]	Qz [kN/m ²]	Qz [kN/m ²]
Mobile	X (longitudinale)	-0,84	+0,21	-1,21	+0,53
	Y (trasversale)	-0,53	0,00	-0,80	+0,53
Fissa	X (longitudinale)	-0,81	+0,21	-1,21	+0,53
	Y (trasversale)	-0,47	0,00	-0,93	+0,53

Nota: i carichi superficiali riportati si riferiscono, nelle due configurazioni, alle medesime corrispondenti superfici.

Tab. 1 | Confronto tra le intensità delle azioni variabili dovute al vento in copertura

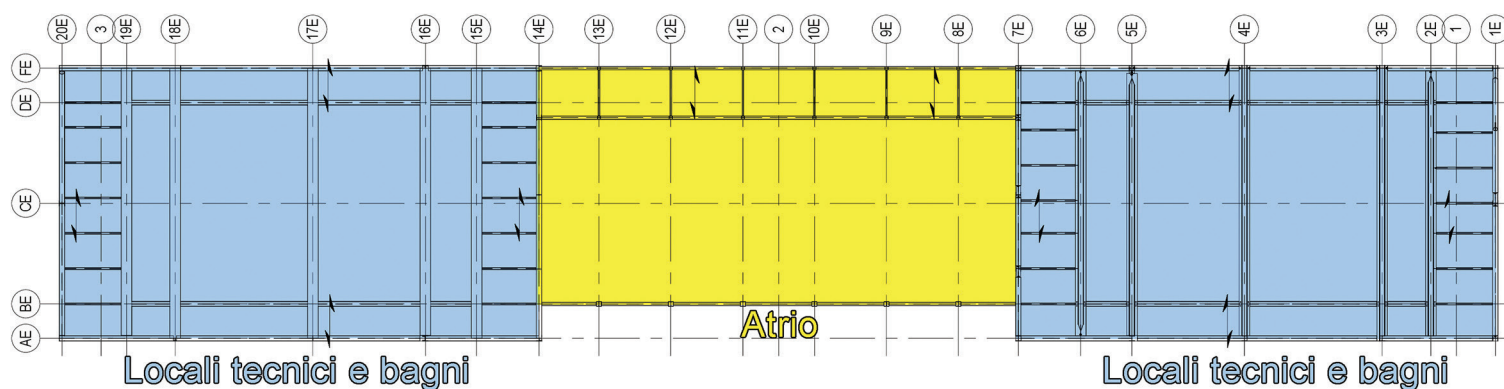


Fig. 14 | Pianta di riferimento Corpo Est

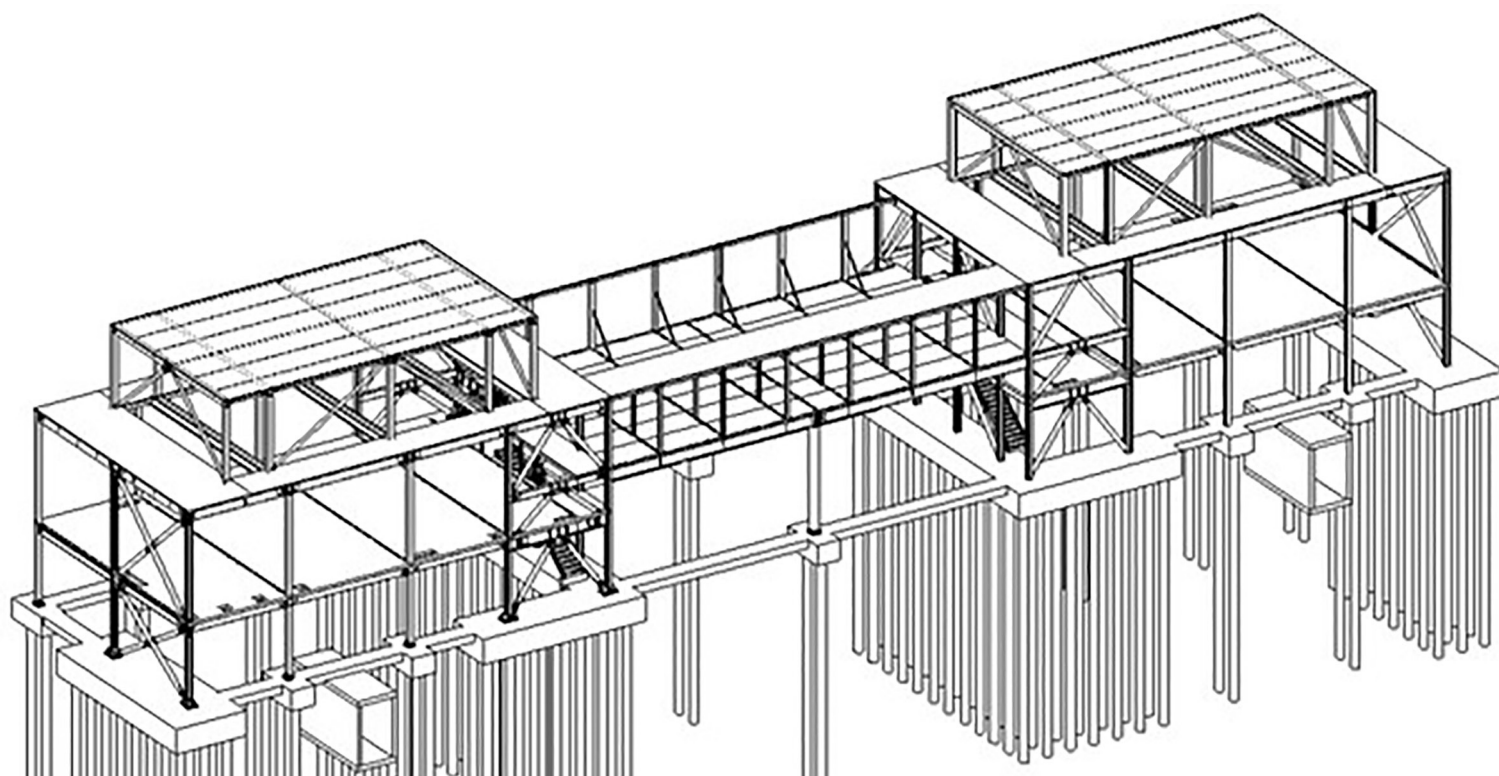


Fig. 15 | Vista 3D del modello Revit del Corpo Est

2. la movimentazione avviene per singoli moduli;
3. nel caso di vento sostenuto (velocità di picco superiore a 23,6 m/s misurata mediante anemometri collocati in copertura) le operazioni di movimentazione sono temporaneamente sospese;
4. la movimentazione deve avvenire in assenza di neve sulla copertura.

Sulla base di queste indicazioni:

- è stato possibile escludere fenomeni di fatica;
per il dimensionamento delle strutture sono stati analizzati i seguenti scenari:

A) padiglione con copertura con tutti i moduli mobili in configurazione ferma e completamente aperta;

B) padiglione con copertura con tutti i moduli mobili in configurazione ferma e completamente chiusa;

Nelle configurazioni A) e B) le azioni di progetto sono comprensive di neve, vento, variazione termica e sisma.

In tabella 1 si riporta il confronto tra le intensità delle azioni variabili dovute al vento in copertura per gli scenari A) e B).

Si può notare che le condizioni più severe indotte dal vento si verificano nello scenario B) (configurazione chiusa).

3 CORPO EST

3.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'edificio "Corpo Est", progettato a struttura in acciaio, è suddiviso, dal punto di vista funzionale, in tre differenti blocchi: i due blocchi laterali, a pianta rettangolare di dimensioni 16,0x27,8 m, che ospitano i locali tecnici con gli impianti a servizio del Padiglione, e il corpo centrale, a pianta rettangolare 14x26 m, che costituisce l'atrio posto all'ingresso lato Est al padiglione stesso. Si noti come il solaio dell'atrio, trasversalmente, sia più stretto di circa 2 m sul fronte del padiglione (figura 14). I due blocchi laterali hanno un'altezza massima totale pari a circa 16 m; a livello del piano terra ospitano i servizi igienici e i locali tecnici mentre al piano primo, a livello 4,4 m, sono presenti i locali che ospitano

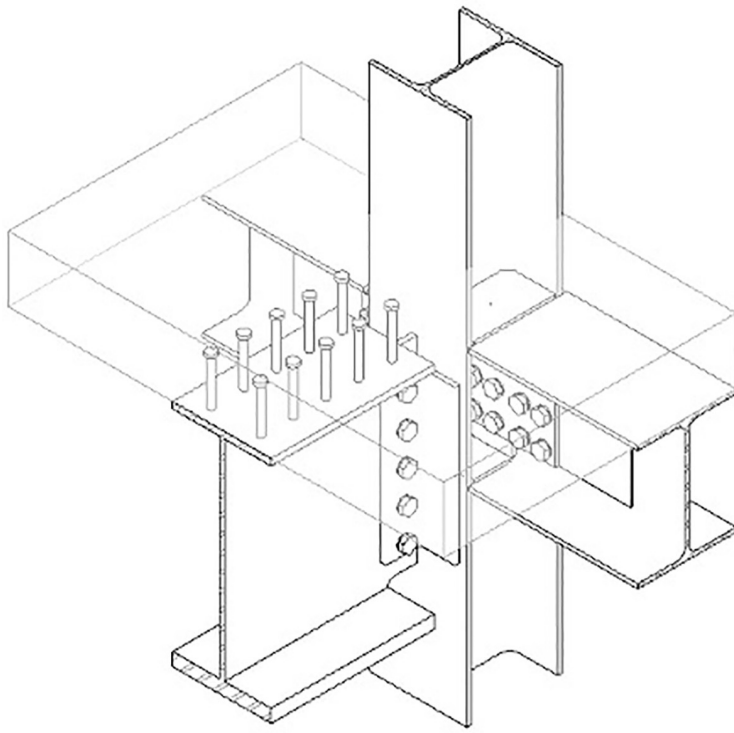


Fig. 16 | Collegamento tra pilastri e travi del solaio

le UTA. La copertura di questi locali è posta su due livelli sfalsati: è presente un solaio sui bordi del locale con un foro centrale a pianta rettangolare di dimensioni 11x19 m, dal quale emerge una struttura metallica che si alza fino a livello 16,05 m a chiusura del foro, andando a formare un volume rettangolare arretrato, rispetto alle dimensioni del corpo sottostante (figura 15).

Il solaio del primo livello è formato da una soletta in c.a. di spessore 20 cm, ordita secondo il lato lungo dell'edificio. Il sistema è sostenuto da travi composte saldate a doppio T rese collaboranti al solaio mediante l'utilizzo di pioli Nelson, coprendo così una luce pari a 15,3 m. Tale luce è necessaria a causa dell'assenza di pilastri all'interno dei locali, in modo da lasciare il layout libero per il posizionamento dei macchinari. La collaborazione delle travi con la soletta del solaio si è resa necessaria per evitare problemi di deformazione e frequenza del solaio stesso. Le travi così dimensionate sono sorrette da pilastri a doppio T mediante giunti bullonati a taglio (figura 17).

In copertura vi è un'orditura di travi formate da due HEAA550, poggianti sui pilastri perimetrali, e che sorregge un solaio costituito da una lamiera grecata collaborante con la soletta in c.a. di $55+65=120$ mm. Suddette travi devono inoltre supportare i montanti in falso, costituiti da profili HEA340, del volume a copertura dei canali impianti, arretrato rispetto agli ingombri esterni dell'edificio. L'ultimo solaio, che copre il vano impianti, è sorretto da arcarecci a passo 2 m e costituito da una lamiera grecata senza soletta collaborante ordita secondo il lato corto. Il corpo centrale presenta una copertura a quota 6,9 m costituita da una lamiera grecata con soletta collaborante ordita secondo il lato corto dell'edificio e sorretta da arcarecci a passo 2 m. La struttura della parte centrale è composta da un reticolo piano di travi HEB650 collaboranti con la soletta e colonne a sezione quadrata cava $400 \times 400 \times 10$ mm che si trovano lungo l'asse di simmetria dell'edificio.

La copertura del corpo centrale ha anche la funzione di collegare i due blocchi laterali ed è accessibile solamente per manutenzione. In particolare, sul fronte esterno, è presente un corridoio coperto di sezione $3,0 \times 4,2$ m all'interno del quale passano canali ad uso impianti, mentre il resto del collegamento è scoperto.

Per sostenere i carichi verticali dovuti sia all'azione sismica che al vento, sono stati inseriti lungo il perimetro della struttura dei controventi costituiti da profili tubolari, resistenti sia a trazione che a compressione (figura 17).

Il sistema di fondazione è costituito da plinti e platee, collegati tra loro tramite cordoli. In particolare, i pilastri che appartengono ai campi controventati presentano platee fondate su pali profondi 15 m, mentre gli altri pilastri sono supportati da plinti su due pali di profondità sempre pari a 15 m. Il diametro di tali pali è 50 cm. Tale scelta è dovuta principalmente a due ragioni: da una parte la necessità di assorbire le trazioni presenti sulle colonne causate dall'azione sismica, dall'altra parte a livello del piano terra è presente un corridoio sotterraneo a servizio degli impianti collegato ad un tunnel esistente che passa frontalmente all'edificio. Utilizzando una fondazione su pali si evitano interferenze con tale tunnel, non avendo necessità di avere una platea continua. Particolare attenzione è stata comunque prestata alle zone dove sono presenti i macchinari al piano terra, in modo da evitare cedimenti differenziali rispetto alle zone fondate su pali.

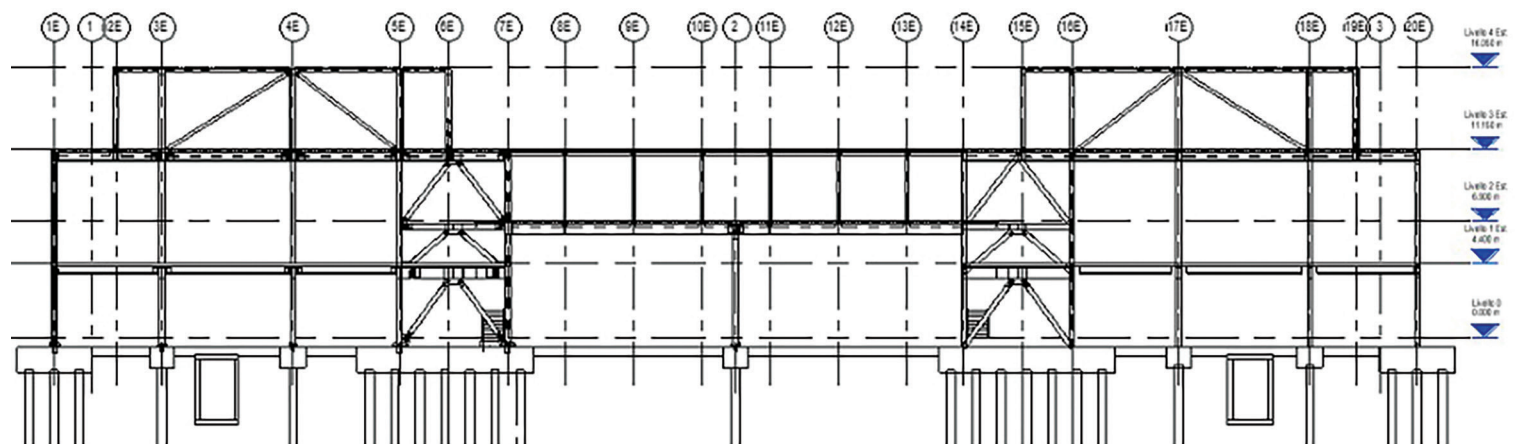


Fig. 17 | Sezione longitudinale Corpo Est

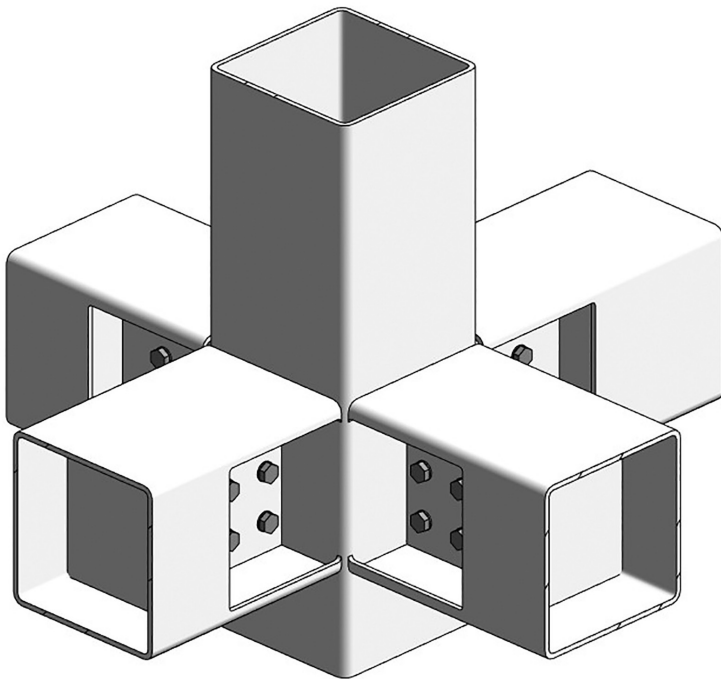


Fig. 18 | Dettaglio nodo travi - pilastro



Fig. 19 | Foto del nodo con i tubi quadrati



Fig. 20 | Foto del passaggio pedonale della Mall © HG Esch

4 MALL

4.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La Mall presenta planimetricamente una dimensione di 28,00 m secondo l'asse trasversale (Est-Ovest) e di 88,80 m secondo l'asse longitudinale (Nord-Sud), coprendo un'area totale pari a 2500 m². La struttura portante principale della Mall si sviluppa secondo una maglia rettangolare, a passi variabili di 8 e 12 m. Il sistema strutturale prevede l'impiego di telai metallici con pilastri e travi in tubo quadrato di dimensioni 400x400 mm e collegamenti prevalenti di tipo bullonato a taglio. La tipologia del tubo quadrato adottato è un aspetto architettonico caratterizzante tutto il progetto e si ripete, nella tipologia, nelle quote altimetriche e nelle campiture adottate, in tutti i corpi di fabbrica descritti nel progetto (figure 18-19).

La struttura si sviluppa in altezza per tre piani: al piano terra

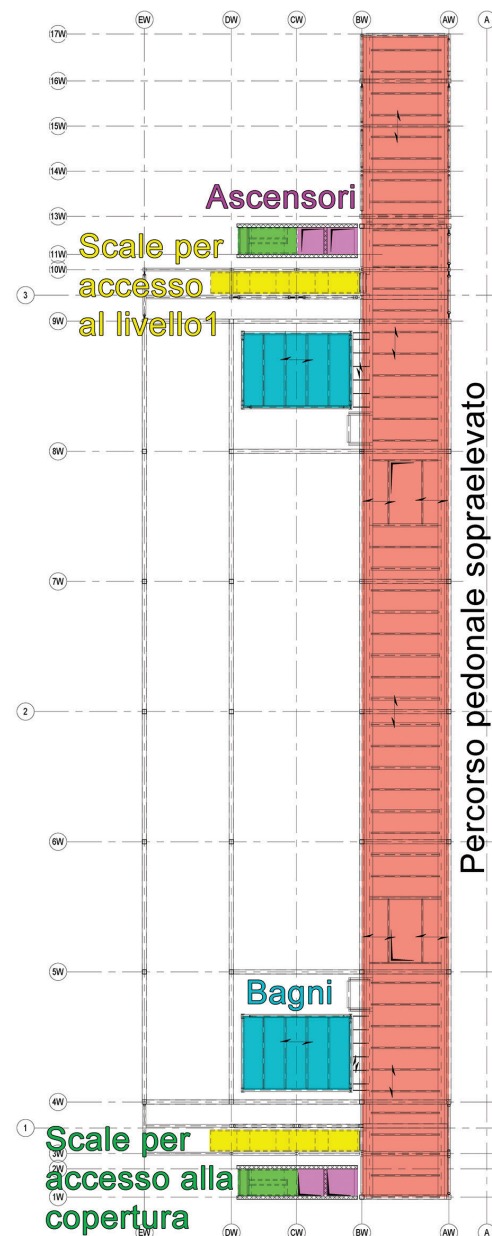


Fig. 21 | Pianta Livello 1 Mall

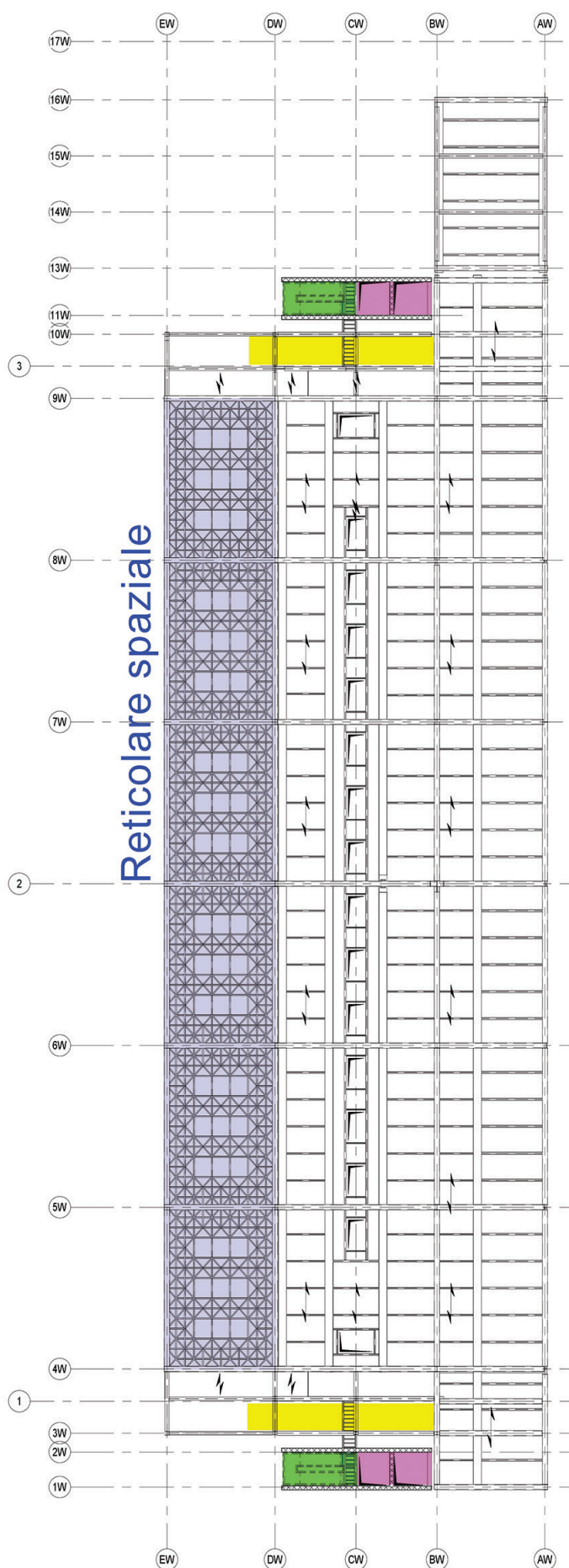


Fig. 22 | Pianta di copertura Mall

vi sono i servizi igienici e gli accessi al Padiglione ed ai piani superiori. Al primo livello, a quota +6,2 m, è presente un percorso pedonale sopraelevato coperto che si sviluppa in direzione Nord-Sud e lungo il quale è stata prevista l'installazione di un tappeto mobile di lunghezza circa pari a 46 m (figura 21). L'ultimo piano di copertura, a quota 12,88 m, è accessibile per sola manutenzione, e si suddivide in una zona scoperta vano impianti e una zona destinata a una reticolare spaziale con tubi tondi (CHS 88,9x3,6 all'intradosso, CHS 88,9x3,6 all'estradosso, CHS 76,1x3,2 per i diagonali).

L'accesso ai piani superiori è previsto tramite ascensori e vani scala che si collocano nelle zone Nord e Sud (speculari rispetto all'asse Est-Ovest). Nello specifico, gli ascensori servono entrambi i piani; invece sono separate le scale che rendono fruibili rispettivamente i due piani superiori.

Al primo livello è possibile accedere tramite scale mobili e scale metalliche; invece, per esigenze architettoniche la scala metallica che serve unicamente la copertura è contenuta tra setti in c.a. Queste ultime risultano strutturalmente indipendenti dalla Mall e sono collegate alla quota della copertura tramite una piccola passerella (figure 21-22).

Al piano terra sono collocati due edifici monopiano contenenti i bagni (anch'essi speculari rispetto all'asse Est-Ovest) giuntati rispetto alla struttura principale e collegati tramite una porzione di grigliato metallico sostenuto da travi a sbalzo.

Il solaio del primo livello e quello di copertura (in quanto praticabile) è costituito da una lamiera grecata con soletta collaborante di altezza totale di 120 mm, che poggia su arcarecci a passo 2 m.

La connessione tra lamiera grecata e profili metallici sottostanti avviene tramite connettori tipo HILTI, atti a garantire il contenimento delle deformazioni e l'azione di diaframma orizzontale della lamiera stessa durante la fase di getto.

Per soddisfare esigenze impiantistiche di avere un'altezza sufficiente per garantire il passaggio degli impianti all'interno del pacchetto del solaio, le travi principali dell'impalcato risultano essere due HEA450 affiancati ove la trave non converge al nodo.

Le sollecitazioni sismiche e del vento sono trasmesse alle fondazioni tramite controventi a X collati in direzioni x e y e in posizioni tali da risultare adeguatamente integrati all'architettonico, poiché inseriti all'interno dei tamponamenti.

Il tamponamento delle pareti verticali esterne ad Ovest della Mall è caratterizzato da una facciata continua, mentre, dove è previsto un tamponamento di tipo opaco, è stata predisposta una lamiera grecata di tipo Montana sp111 a sostegno di tale tamponamento. Tale lamiera grecata è ordita verticalmente e sono previsti per sostenerla dei profili angolari saldati alle travi principali della struttura.

Il sistema fondazionale è organizzato con plinti su pali aventi diametro 50 cm e lunghezza variabile. Per ciascun pilastro della Mall si prevede un plinto di spessore 1200 mm su 4 pali di lunghezza 15 m, aventi un interasse non inferiori a 3 diametri, per cui si prevede un plinto di dimensioni in pianta 3x3 m e 4 pali (2 su ciascun lato) ad interasse di 1,5 m. Ove più plinti convergerebbero per questioni geometriche, si è eseguita una platea fondata su pali di diametro 50 cm e lunghezza 18 m, in modo tale da ovviare problematiche dovute a cedimenti differenziali.

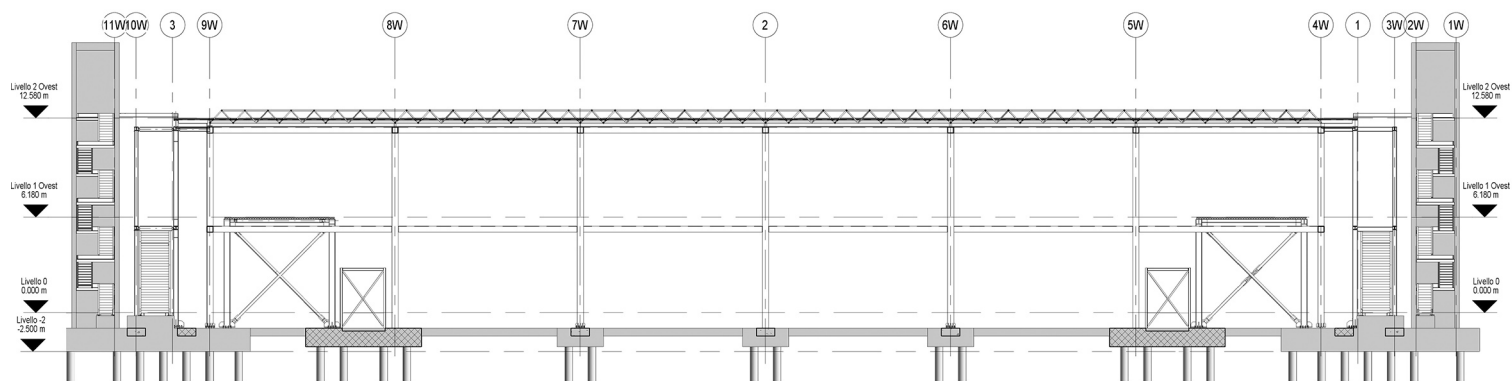


Fig. 23 | Prospetto Ovest Mall



Fig. 24 | Foto delle scale della Mall © HG Esch

5 ASPETTI PARTICOLARI DELL'ANALISI STRUTTURALE

L'analisi della risposta strutturale all'azione dei carichi di base e all'azione delle sue probabili combinazioni è stata eseguita mediante il metodo dell'equilibrio o degli spostamenti.

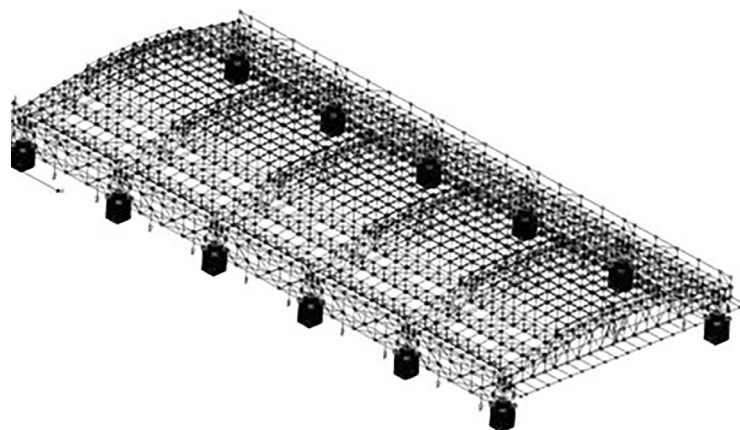


Fig. 25 | Modello di calcolo del Padiglione in configurazione chiusa

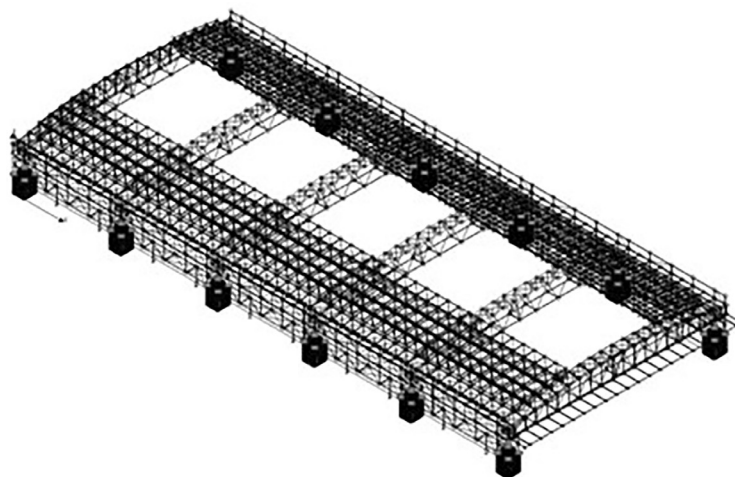


Fig. 26 | Modello di calcolo del Padiglione in configurazione aperta

La maggiore parte delle analisi è stata eseguita mediante elaborazione assistita da computer con procedure interattive grafiche e software indirizzato all'ingegneria civile redatto e controllato in accordo alle CNR-UNI 10024/86 "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di

calcolo” e al capitolo 10 delle NTC 2018. Il programma di analisi strutturale adottato in campo lineare elastico è lo WIN STRAND di Enexsys e dove ritenuto necessario è stato eseguito un giudizio motivato di accettabilità dei risultati automatici mediante analisi comparativa eseguita con modelli semplificati (figure 25-26).

Il metodo di analisi utilizzato per la valutazione delle sollecitazioni prodotte dal sisma è l’analisi dinamica modale. Il modello della struttura adottato è tridimensionale e rappresenta in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa.

Per i materiali si sono adottate leggi costitutive elastiche. Nel rappresentare la rigidezza degli elementi strutturali si è tenuto conto della fessurazione, riducendo la rigidezza flessionale e a taglio degli elementi in calcestruzzo armato fino al 50% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dello stato limite considerato e dell’influenza della sollecitazione assiale permanente.

Gli orizzontamenti piani sono stati considerati infinitamente rigidi nel loro piano medio.

6 MATERIALI IMPIEGATI E COMPUTO

6.1 CALCESTRUZZO E ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

6.1.1 CALCESTRUZZO NON ARMATO PER SOTTOFONDAZIONI
Calcestruzzo dosato a 150 kg di cemento tipo EN 197 CEM I 32.5 per metro cubo di conglomerato.

Classe di resistenza: valore caratteristico minimo della resistenza cilindrica a compressione dopo 28 giorni (EN 206) $f_{ck} \geq 10$ MPa (EuroCodice 2 C10) (corrispondente alla classe Rck 15 N/mm²).

6.1.2 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER PALI DI FONDAZIONE

Classe di esposizione (EuroCodice 2, EN 206): XC2

Classe di consistenza: SCC

Diametro massimo inerte: 20 mm

Classe di resistenza: valore caratteristico minimo della resistenza cilindrica a compressione dopo 28 giorni (EN 206) $f_{ck} \geq 32$ MPa (Classe C32/40 corrispondente alla classe Rck 40 N/mm²)

6.1.3 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER STRUTTURE DI FONDAZIONE GETTATE IN OPERA

Classe di esposizione (EuroCodice 2, EN 206): XC2

Diametro massimo inerte: 20 mm

Classe di resistenza: valore caratteristico minimo della resistenza cilindrica a compressione dopo 28 giorni (EN 206) $f_{ck} \geq 25$ MPa (Classe C25/30 corrispondente alla classe Rck 30 N/mm²)

6.1.4 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER STRUTTURE IN ELEVAZIONE GETTATE IN OPERA

Classe di esposizione (EuroCodice 2, EN 206): XC1/XC2/XF1

Diametro massimo inerte: 20 mm (8 mm per i solai)

Classe di resistenza: valore caratteristico minimo della resistenza cilindrica a compressione dopo 28 giorni (EN 206) $f_{ck} \geq 30$ MPa (Classe C30/37 corrispondente alla classe Rck 37 N/mm²)

6.1.5 ACCIAIO IN BARRE PER CEMENTO ARMATO

Barre longitudinali, staffe, spezzoni: Classe B450C

6.2 ACCIAIO DA CARPENTERIA

Temperatura minima di servizio: -15°C

6.2.1 PROFILI

Tubi circolari finiti a caldo secondo UNI EN 10210-1

Tubi circolari formati a freddo e saldati secondo UNI EN 10219-1

Profili aperti laminati a caldo secondo UNI EN 10034 e UNI EN 10025

Tutte le strutture in carpenteria metallica profili, piastrame e irrigidimenti etc. (eccetto quelli sotto riportati): S355 J0 secondo EN 10025

Acciaio da carpenteria per il corrente inferiore delle travi reticolari principali di copertura del padiglione: Piatti in S460 secondo UNI EN 10025-4, Profili tubolari in S460 NH secondo UNI EN 10219-1

Acciaio da carpenteria per il corrente di ritegno orizzontale dei moduli di copertura mobile: Piatti in S690 secondo UNI EN 10025-6

6.2.2 ACCIAIO PER PROFILI, NODI E COLLEGAMENTI DELLA RETICOLARE SPAZIALE TIPO “MERO”

Acciaio da carpenteria per profili tubolari:

- Sezioni circolari

Tubi circolari finiti a freddo S 355 JOH secondo EN 10219-1

Acciaio da carpenteria S 355 JO secondo EN 10025

- Coni

Acciaio da carpenteria S 355 JO secondo EN 10025.

Acciaio per sfere dei nodi della reticolare spaziale:

Acciaio secondo EN 10083-1: C45E/Ck 45

Acciaio saldabile EN 10025: S 355 JO

Acciaio per collegamenti aste-nodi della reticolare spaziale:

Perni: Acciaio 102Cr6 secondo EN 10132-4

Dadi di regolazione (Spanner sleeves): Acciaio 25CrMo4 secondo EN 10083-1

6.2.3 ACCIAIO PER TIRAFONDI

Acciaio da carpenteria per piatti e profili aperti laminati a caldo: S355 JO secondo UNI EN 10025-2

Barre in acciaio ad alta resistenza tipo Macalloy.

6.2.4 ACCIAIO PIOLI DI CONNESSIONE ACCIAIO-CLS

Tipo Neloson o equivalenti: Acciaio S235J2G3+C450, $f_{yk} \geq 350$ N/mm², $f_u \geq 450$ N/mm², Allungamento a rottura > 12%.

6.2.5 ACCIAIO PER PERNI

Acciaio 30 CrNiMo 8 secondo EN 10083:

valore caratteristico minimo della tensione a snervamento $f_{yk} \geq 700$ N/mm²

valore caratteristico minimo della tensione a rottura $f_{uk} \geq 900$ N/mm²

6.2.6 BULLONI

Bulloni “non a serraggio controllato”: In accordo con UNI EN 15048-1 e p.to 11.3.4.6.1 NTC 2018

viti classe 8.8 e 10.9 (UNI EN ISO 898-1:2013)

dadi classe 8 e classe 10 (UNI EN 898-2:2012)

rondelle acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC 32-40 (UNI EN 10083-2:2006)

Bulloni “a serraggio controllato”: In accordo con UNI EN 14399-1 e p.to 11.3.4.6.2 NTC 2018
viti classe 8.8 e 10.9 (UNI EN 14399-1, 14399-3 e 14399-4)
dadi classe 8 e 10 (UNI EN 14399-3,14399-4)
rondelle durezza 300-370 HV (UNI EN 14399 parti 5 e 6)

6.2.7 SALDATURE E PROCESSI DI SALDATURA

Collegamenti saldati secondo NTC2018 p.to 11.3.4.5.

6.2.8 LAMIERE GRECATE

Per lamiere collaboranti tipo Hi-Bond; Acciaio zincato tipo S280GD UNI EN 10346:2009
carico di rottura a trazione ≥ 360 N/mm²
carico caratteristico di snervamento ≥ 280 N/mm²

6.3 COMPUTO DELLA QUANTITÀ DELLE STRUTTURE

In seguito, vengono riportate le quantità principali dei diversi manufatti:

• Padiglione	
o Carpenteria metallica	2.196.111 kg
o Reticolare Mero	228.875 kg
o Lamiera grecata	19.299 m ²
o Calcestruzzo	2.206 m ³
o Armatura da calcestruzzo	414.988 kg
• Mall	
o Carpenteria metallica	871.359 kg
o Reticolare Mero	20.857 kg
o Lamiera grecata	3.148 m ²

o Calcestruzzo	1.419 m ³
o Armatura da calcestruzzo	177.893 kg
• Corpo Est	
o Carpenteria metallica	314.885 kg
o Lamiera grecata	1.388 m ²
o Calcestruzzo	724 m ³
o Armatura da calcestruzzo	127.886 kg

7 CREDITS

Stazione appaltante: Fiera di Bologna S.p.A.

Progettazione Architettonica: Di Gregorio Associati - Gianni Di Gregorio, Francesco Di Gregorio con gli associati Francesco Musetti, Umberto Marossa

Progettazione Strutturale: MJW Structures di Ing. Massimo Majowiecki e collaboratore Ing. Stefano Pinardi

Progettazione Impiantistica: In.Te.So. Ingegneria, Officina Elettrica Studio di Progettazione, Area Progetti - Studio Associato

Progettazione Esecutiva Geotecnica: Teleios S.r.l.

Progettazione Antincendio: IM. TECH Srl

Progettazione Movimentazione del coperto: Edilab s.r.l. con Ing. Luca Strata

Coordinamento generale: Open project

Direzione Lavori Edili Strutturali: Studio Enarco - Ing. Aldo Barbieri

Direzione Lavori Impiantistica: BFEng s.r.l., Studio Breveglieri

Imprese Costruttrici: STRABAG S.p.A., Cimolai S.p.A., Bouygues E&S In Tec Italia S.p.A. e Coop L' Operosa

Collaudatore in corso d'opera: Ing. Poluzzi

Foto: HG Esch



Massimo Majowiecki

Durante la sua carriera il Prof. Ing. Massimo Majowiecki si è specializzato in grandi coperture, tensostrutture e strutture non convenzionali, ricercando soluzioni ottimali per rispettare le esigenze strutturali ma anche funzionali, estetiche ed economiche. Massimo Majowiecki ha affiancato alla professione l'attività di ricerca e l'insegnamento nelle Università di Bologna e di Venezia. Inoltre, ha collaborato in qualità di consulente e progettista strutturale a numerosi progetti internazionali, per quali ha ricevuto numerosi premi. Tra i suoi progetti più noti troviamo: la copertura dello Stadio Olimpico di Roma, l'EUR Centro Congressi “La Nuvola” di Roma, l'Allianz Stadium di Torino, la copertura dei percorsi pedonali di EXPO 2015 a Milano e la passerella pedonale sullo Swan River a Perth in Australia.



Giuliano Aloisio

L'Ingegnere Giuliano Aloisio si laurea in Ingegneria Civile all'Università di Bologna il 14 marzo 2019 con la tesi dal titolo “Valutazione delle performance sismiche di serbatoi metallici free-standing”. Subito dopo la laurea inizia la sua collaborazione con lo studio MJW Structures come ingegnere strutturista e come sviluppatore software per EnExSys Srl. Il suo primo lavoro con lo Studio MJW Structures è stato il nuovo Stadio ad Il Cairo in Egitto. Per quest'ultimo si è occupato dai modelli di calcolo allo sviluppo dei dettagli, fino al coordinamento con i partner egiziani.



Giovanni Berti

L'Ingegnere Giovanni Berti si laurea in Ingegneria Civile all'Università di Bologna il 20 marzo 2008 con tesi dal titolo: "Studio e modellazione numerica di fenomeni aeroelastici: il caso del ponte Tsing Ma di Honk Kong". Dal 2008 collabora continuamente con lo studio MJW Structures con ruolo di progettista strutturale specializzato in concezione strutturale di grandi coperture e ponti, in particolare nella modellazione numerica di geometrie strutturali complesse, nell'elaborazione dei dati ottenuti dai test in galleria del vento e nell'analisi transitoria delle fasi di montaggio.



Monica Mingozi

L'Ingegnere Monica Mingozi ottiene la laurea magistrale in Ingegneria Edile-Architettura all'Università di Bologna il 15 marzo 2019 con la tesi dal titolo: "Analisi non lineare di strutture di tipo spoke wheel in presenza di imperfezioni". Una volta laureata, ha intrapreso un rapporto di collaborazione con lo studio MJW Structures con il ruolo di ingegnere strutturista. Si occupa di diverse fasi della progettazione, a partire dal calcolo numerico fino alla modellazione BIM (Revit) e alla presentazione di elaborati grafici. Tra le altre cose, ha collaborato alla progettazione definitiva dello Stadio Dall'Ara di Bologna e al progetto esecutivo del Nuovo Tecnopolo di Bologna.



Stefano Pinardi

L'Ingegnere Stefano Pinardi si laurea in Ingegneria Civile all'Università di Bologna il 23 giugno 1993 con la tesi dal titolo: "Analisi dinamica aleatoria dell'azione del vento nei ponti sospesi, con particolare riguardo alla soluzione progettuale del ponte sullo Stretto di Messina". Dal 1994 collabora continuamente con lo studio MJW Structures con ruolo di progettista strutturale specializzato particolarmente in strutture in acciaio e funi. La grande esperienza maturata nel campo della ricerca di forma per le tensostrutture e l'analisi non lineare di strutture di grandi dimensioni lo ha condotto a rivestire un ruolo fondamentale nella concezione e dimensionamento strutturale dei ponti e passerelle progettati dallo studio MJW Structures.



Elisa Sammarco

L'Ingegnere Elisa Sammarco consegue la laurea in Ingegneria Civile all'Università di Bologna il 13 febbraio 2014 con tesi dal titolo: "Non linear response of planar asymmetric systems". Dopo varie esperienze in diversi settori nel campo della progettazione, dal 2015 collabora continuamente con lo studio MJW Structures con ruolo di progettista strutturale. Il primo lavoro a cui ha partecipato è stato il ponte ciclopedonale in acciaio di Perth e successivamente si è occupata di altri progetti di grandi strutture, per cui ha curato la modellazione numerica e in ambiente BIM, utilizzando il software Revit.