

Nuova Fiera di Rimini

Il seguente intervento riporta l'iter progettuale e costruttivo seguito per la realizzazione della nuova sede della Fiera di Rimini.

Superficie d'intervento: Il quartiere fieristico, realizzato in prossimità dell'area urbana, occupa una superficie di 460000 mq.

Superficie totale di pavimento: è di 127000 mq in dodici padiglioni e servizi annessi, di cui la superficie espositiva lorda è di 82000 mq.

La progettazione generale è stata curata dallo Studio di architettura *Von Gerkan, Marg und Partner* di Amburgo.

Il progetto prevede la realizzazione di dodici padiglioni espositivi indipendenti uguali, di dimensioni 60 m x 96 m e di un corpo centrale adibito a servizi.

La copertura dei padiglioni, in legno lamellare come la cupola del corpo servizi, presenta forma di "volta a botte" su un'unica luce con altezza massima, in chiave, di circa 20 m e minima, alle imposte, di 10 m circa.

Descrizione generale dei padiglioni:

I padiglioni si compongono di due sistemi strutturali distinti se riferiti alle tecnologie costruttive ed i materiali impiegati (fig.1):

1. la parte inferiore (sottostruttura "A") (fig.4) in calcestruzzo armato in opera, comprende le fondazioni di tipo superficiale (plinti) ed i setti o pilastri verticali; tale sistema costituisce sia la struttura di sostegno verticale della copertura sia il sistema di stabilizzazione globale del manufatto rispetto alle azioni orizzontali esterne (vento e sisma).
2. la volta a botte di copertura (sottostruttura "B") (fig.5) è composta da elementi prefabbricati in legno lamellare di prima categoria, assemblati in cantiere, supportati da una trave di bordo in acciaio, a sezione scatolare.

SOTTOSTRUTTURA "A"

La volta a botte di copertura, avente luce di 60 m ed altezza in chiave di 12 m, poggia sulla "sottostruttura" in calcestruzzo armato ed acciaio, costituita da una serie di setti verticali alti circa 10 m rispetto al piano campagna posti ad interasse di 12 m; tali setti, aventi sezione rettangolare di dimensioni 325 x 50 cm, rappresentano il sistema di stabilizzazione della struttura lungo la direzione trasversale X. I setti sono incastrati ai plinti di fondazione.

Una trave longitudinale in calcestruzzo armato molto rigida (sezione rettangolare 50x125 cm) collega in sommità i setti ed ha il compito di trasferire a questi le spinte orizzontali dalla volta di copertura.

Allo scopo di eliminare in parte le spinte orizzontali indotte dalla volta ed evitare il trasferimento delle stesse sui setti in c.a. viene disposta ogni 12 metri una catena, fune in acciaio spiroidale, collegata direttamente alla trave di bordo ed alla copertura tramite pendini in tondo d'acciaio.

La stabilizzazione della struttura, rispetto alle azioni orizzontali in direzione longitudinale, viene garantita da quattro grandi pareti in calcestruzzo armato disposte tra due setti trasversali contigui.

Considerata la "leggerezza" della copertura in legno e, di conseguenza i "modesti" carichi verticali trasmessi alle strutture di fondazione, alla base dei setti sono state progettate fondazioni superficiale con plinti di dimensioni planimetriche di 10x5 ed altezza 1.60 m per i setti di testa e di 10x4x1.60 m per i setti intermedi. Tutti i basamenti fondazionali sono collegati da catene in c.a.. Inoltre tutti i plinti vengono collegati anche dalla soletta di 20 cm di spessore costituente il pavimento.

E' evidente che il sistema strutturale descritto risulta controventare l'intera struttura del padiglione nelle due direzioni perpendicolari.

Corso di aggiornamento professionale

Università degli Studi di Bergamo

Facoltà di Ingegneria

SOTTOSTRUTTURA "B"

Come già riferito in premessa, per la costruzione della copertura si fa ricorso al legno lamellare di prima categoria: la struttura della volta sarà realizzata secondo uno schema a "graticcio" composto da una maglia regolare avente elementi di forma romboidale con assi diagonali di dimensione 3 m x 6,0 m (fig. 6). Ciascuna trave in legno costituente il modulo romboidale ha una sezione di 70x16 cm, costante su tutta la copertura. La copertura del padiglione si conclude sui fronti con due "arconi", sempre in legno lamellare, aventi sezione rettangolare di dimensioni 70 x 50 cm.

Le travi lignee sono mutuamente connesse mediante giunti in grado di trasferire sollecitazioni flessionali-assiali e taglianti e ripristinare pertanto la continuità strutturale della sezione.

La volta a botte si scarica, ad interasse di 3 m, attraverso vincoli a cerniera su una trave di bordo a cassone in acciaio. Questa trave è costituita da concetti di 12 m di lunghezza, collegati fra loro e a dei capitelli in acciaio mediante giunzioni bullonate. I capitelli d'acciaio fissati ai setti in calcestruzzo con 22 tirafondi M36.

In corrispondenza dei setti in calcestruzzo armato la volta è stabilizzata da una catena costituita da funi in acciaio ad alta resistenza che disegnano una reticolare.

La stabilizzazione della volta di copertura è garantita dalla propria forma a guscio, dal sistema di unione con il quale vengono assemblati gli elementi del graticcio e dai vincoli posti alle estremità. Inoltre, ulteriore contributo alla rigidità ed alla stabilità del guscio nel proprio piano viene assicurato, dal tavolato posto superiormente al graticcio, fissato superiormente tramite chiodatura. E' stata comunque verificata la resistenza degli elementi e la stabilità della struttura in tutte le condizioni di carico (anche di natura sismica) sia in presenza che in assenza del contributo del tavolato che non viene, in tale caso, considerato nel calcolo delle strutture.

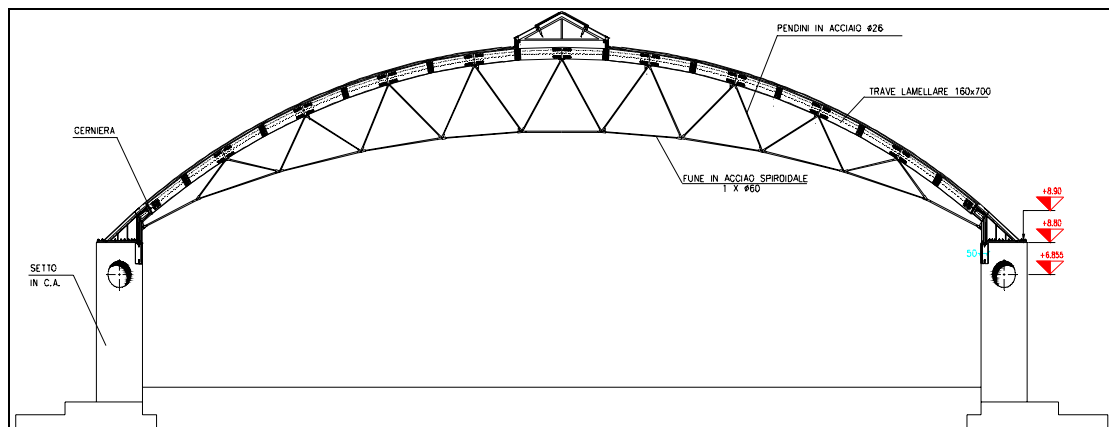


fig.1



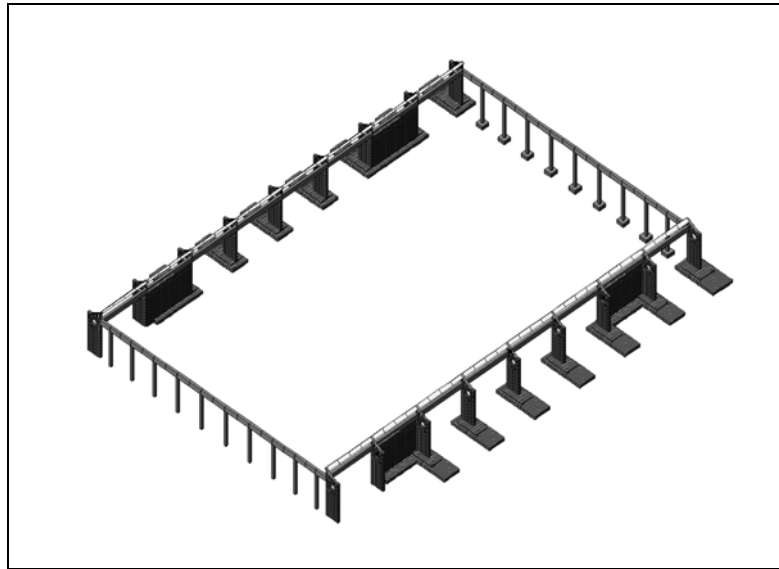


fig.4 Sottostruttura A

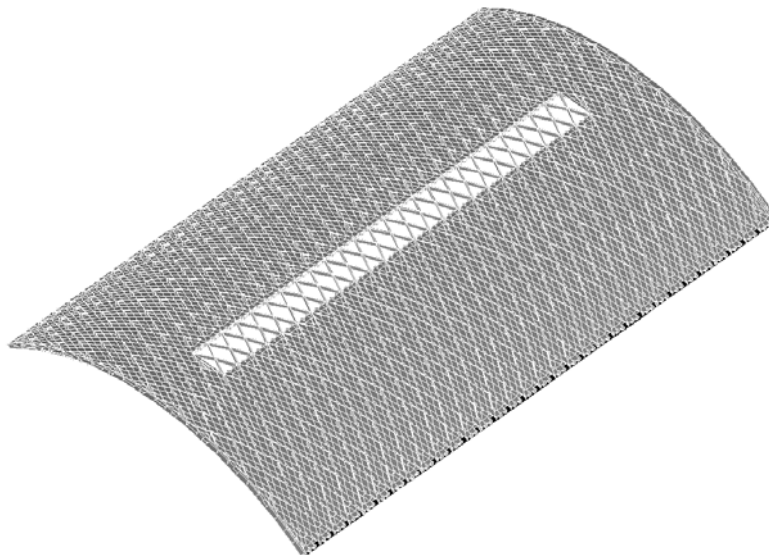
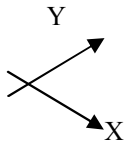


Fig. 5 Sottostruttura "B" – Volta di copertura in legno lamellare

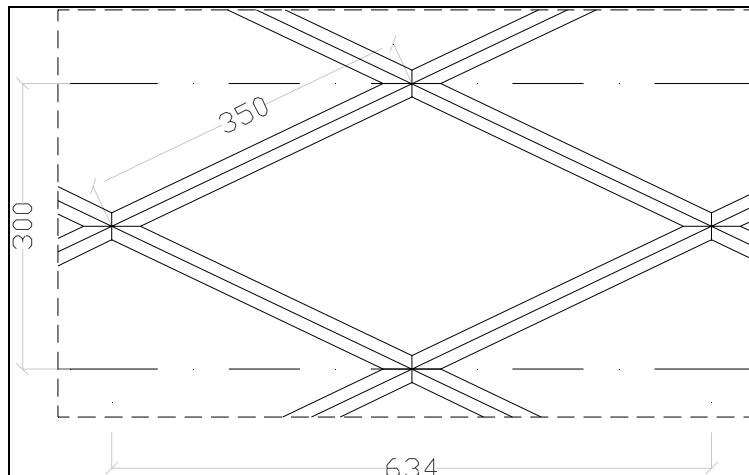
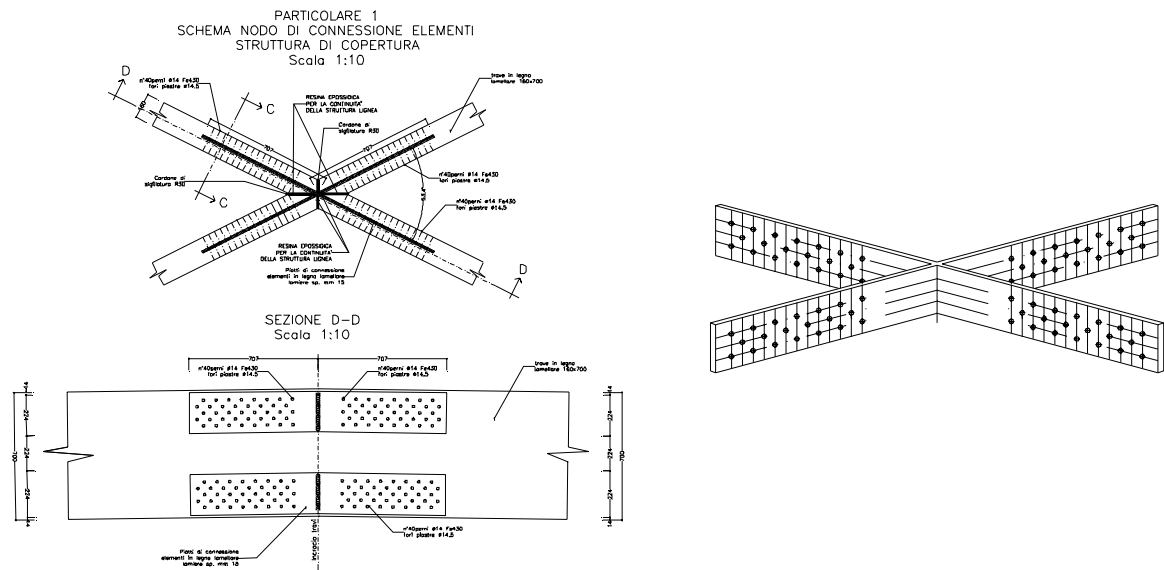


fig. 6 Schema maglia graticcio di copertura

Connessione fra le travi lignee della copertura

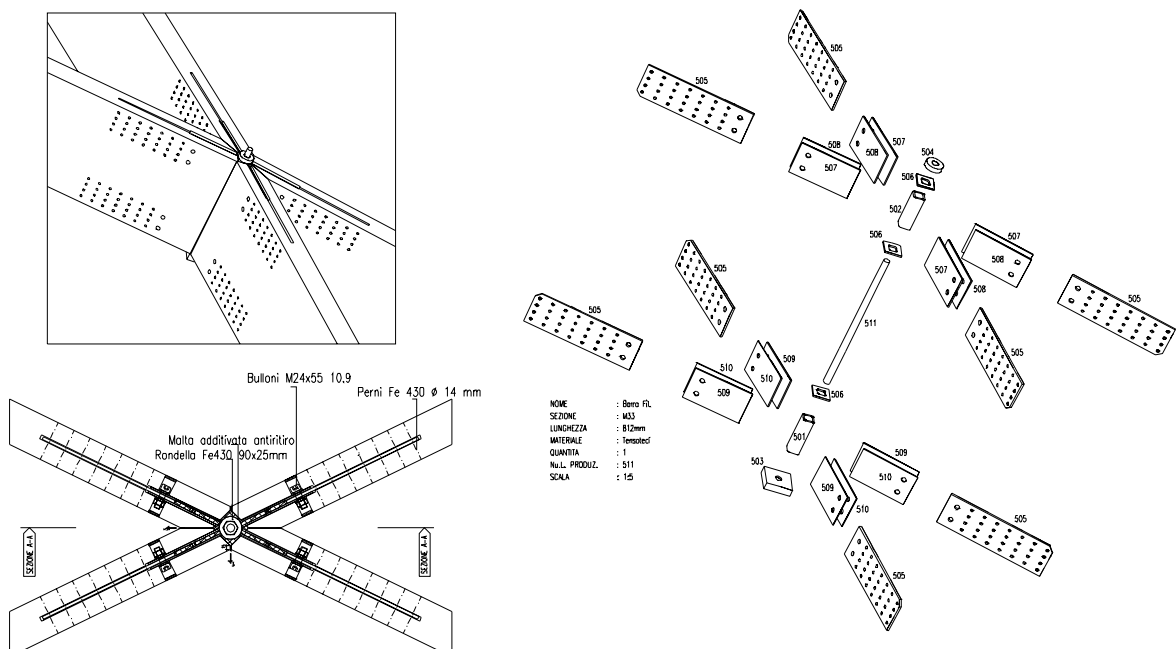
Particolare attenzione durante la progettazione è stata rivolta al nodo di collegamento fra le travi lignee, al fine di trovare una connessione capace di ripristinare perfettamente la continuità fra gli elementi e contemporaneamente facile da costruire. E' stata così ideata la prima tipologia di nodo realizzata attraverso un elemento in acciaio a forma di "X" collegata alle travi in legno, entro una sede ricavata per fresatura, mediante perni passanti. Gli elementi vengono infine solidarizzati attraverso l'iniezione di resina epossidica.



Durante l'elaborazione costruttiva del progetto il giunto è stato conformato in due elementi: una piastra in acciaio solidale alle quattro teste delle travi attraverso perni e un elemento centrale, a "X"; la loro unione è realizzata con 16 bulloni M24, classe 10.9, immediatamente meccanicamente efficienti. Le cavità risultanti fra elementi in acciaio e legno vengono saturati mediante colatura di boiaccia reoplastica, quale l'EMACO S55.

I perni, $\phi=24$, sono in acciaio Fe 430 e il loro numero è stato ottimizzato prevedendo tre tipologie di collegamento in funzione delle sollecitazioni massime agenti sul nodo.

Proprio in accordo con questa necessità si è ritenuto opportuno portare a termine delle adeguate sperimentazioni, su diverse tipologie costruttive, presso il laboratorio certificato dell'Università di Udine.



Catena di stabilizzazione

Le catene come già accennato sono costituite da funi spirodali e disegnano una reticolare, con una fune principale che descrive una curva e dei pendini diagonali che collegano la fune principale ai nodi del graticcio di copertura.

La fune principale, $\phi=60$, e i pendini diagonali $\phi=32$, sono in acciaio ad alta resistenza. I pendini sono bullonati alla piastra inferiore del nodo. Tale collegamento trasferisce le sollecitazioni assiali alla sezione della trave attraverso una barra filettata che attraversa il nucleo del nodo.

La catena viene tesata al valore di progetto di 850 kN mediante martinetti idraulici in corrispondenza delle cerniere. Il tiro di progetto è stato determinato ai fini di equilibrare la spinta orizzontale trasmessa dalla copertura per il peso proprio e i carichi permanenti. Invece la quota parte della spinte orizzontali, indotte dai carichi accidentali, vengono scaricate a terra attraverso i setti in calcestruzzo.

L'operazione di tesatura viene effettuata in seguito alla costruzione delle due fasce di competenza della catena.

La tesatura della fune principale garantisce un tiro nei pendini, noto conoscendo la geometria della reticolare.

Montaggio

La geometria finale del nodo lo riduce ad una connessione semplicemente bullonata in cantiere. Questa facilità di assemblaggio ha consentito un montaggio della struttura relativamente semplice.

Il montaggio della copertura ha seguito due diverse modalità. Il primo sistema consiste nell'utilizzo di una centina capace di riprodurre perfettamente l'intradosso della struttura, in fasce di 60 x 12 m una susseguente l'altra.

La centina viene spostata orizzontalmente su rotaie e verticalmente attraverso martinetti idraulici in modo tale da consentire movimenti liberi e veloci.

Il secondo sistema consiste invece nella composizione a piè d'opera di tre maxi-conci di dimensioni 18x12 m, portati poi fino alla quota stabilità su due torri di ponteggi e collegati attraverso il semplice serraggio dei bulloni in quota.

Vista la dimensione dell'intervento e i carichi in gioco si è ritenuto necessario sviluppare accurati modelli di calcolo per indagare lo stato tensionale e deformativo anche durante le fasi di montaggio.

Modelli di calcolo

L'intera struttura è stata studiata sotto carichi sia statici che dinamici attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti: SUPERSAP prodotto da ALGOR INTERACTIVE SYSTEM. La corrispondenza dei modelli di calcolo adottati alla realtà è stata provata sia da prove sperimentali condotte sul singolo nodo della copertura, che attraverso prove statiche e dinamiche sull'intera opera, una volta realizzata.

Nel caso specifico è stata eseguita una modellazione tridimensionale completa della copertura, della sottostruttura in c.a. e delle fondazioni, inserendo nel modello ad elementi finiti tutte le singole parti costitutive la struttura del padiglione.

Infatti per questo tipo di struttura composta dall'assemblaggio di più materiali diversi interagenti è essenziale impostare uno studio complessivo. Infatti il limitare lo studio alla sola copertura come incernierata ai setti in c.a. non conduce a risultati corretti, per questo motivo è stato impostato un modello di calcolo completo.

Il modello generale è così costituito:

- le travi in legno sono modellate con elementi "beam", quindi dotati di rigidità flessionale secondo due direzioni, assiale e torsionale;
- Il tavolato è stato discretizzato attraverso elementi "truss" in modo da trasferire solo sollecitazioni assiali;

Corso di aggiornamento professionale

Università degli Studi di Bergamo

Facoltà di Ingegneria

- I setti in cls costituenti gli appoggi puntuali alla volta di copertura e i setti di controventamento sono stati discretizzati, invece, con elementi di tipo "plate" dotati di rigidità flessionale e membranale;
- I plinti di fondazione sono stati discretizzati sempre attraverso elementi "plate" su suolo elastico alla Winkler;

Ai fine di una reale simulazione del comportamento del terreno, il coefficiente di Winkler è stato valutato nel caso di carico permanente e accidentale con conseguenti cedimenti di consolidazione o immediati.

L'area su cui si andrà a realizzare il progetto della Nuova Fiera a Rimini, è classificata dalle vigenti normative a rischio sismico di seconda categoria.

Gli effetti sismici sono stati valutati anche mediante un'analisi dinamica della struttura considerata in campo elastico lineare. Si è ricorsi quindi all'analisi modale della struttura del padiglione adottando per lo spettro di risposta quello fornito dalla nostra normativa. Mediante l'analisi modale sono state individuate le frequenze proprie di vibrazione. I risultati sono stati successivamente utilizzati per l'analisi in spettro di risposta al fine di determinare lo stato tensionale e deformativo della struttura sottoposta all'azione sismica.

Quale verifica del comportamento al fuoco dell'intera struttura di copertura, si è prefigurata la situazione, dopo 30' di fuoco, con elementi con sezioni ridotte e senza il contributo delle funi di catena.

Si è ipotizzata inoltre una situazione limite, non di esercizio, che prefigura con esito positivo per motivi eccezionali, quale ad esempio l'atto terroristico, il collasso di uno dei setti portanti in c.a.

A tutt'oggi sono stati completati i primi otto padiglioni e il corpo centrale di servizi, le strutture di questi sono state assoggettate a prove di tipo statico e dinamico con esito positivo

Per riprodurre le condizioni di carico statiche, sono stati fissati dei cavi tra la copertura e il pavimento. Questi sono stati poi opportunamente tirati fino a raggiungere i valori di progetto, in corrispondenza di questi si sono poi letti gli spostamenti conseguenti.

Per le prove dinamiche si è sistemata invece una vibrodina in diverse zone della copertura, capace di simulare una forzante sia verticale che orizzontale e in seguito si sono letti i valori degli spostamenti.