

E. Bozzo,  
C. Spandonari

## Copertura della "Piazza del Mare" alla Marinafiera di Genova

Nel novembre 2001 la Marinafiera di Genova S.p.A., società alla quale partecipano fra gli altri l'Autorità Portuale di Genova e la Fiera di Genova S.p.A., affidava al Consorzio C.I.A. - Consorzio di Ingegneria e Architettura - l'incarico di studiare una soluzione per la sistemazione di una vasta area, limitata a sud e ad est dai moli prospicienti l'entrata di levante del porto, a nord adiacente l'area espositiva della Fiera di Genova e aperta ad ovest sugli approdi nautici della Marinafiera di Genova.

Obiettivo dell'intervento era di recuperare tale area come ulteriore spazio espositivo da utilizzare in occasione del Salone Nautico Internazionale di Genova e per manifestazioni fieristiche, sportive e musicali. Per una maggiore fruibilità degli spazi il Committente richiedeva che una notevole parte dei piazzali fossero coperti.

La condizione ultima e fondamentale era che l'area fosse attrezzata e la copertura realizzata in tempo per l'allestimento del Salone Nautico Internazionale del 2002, in programma all'inizio del mese di ottobre.

Preliminare e non secondaria condizione, necessaria per il raggiungimento dell'obiettivo finale, era anche di ottenere, entro pochi mesi, le necessarie delibere urbanistiche presso gli Enti Locali, compito non scontato, data l'importanza e la vastità dell'intervento.

La posizione dell'area, situata all'imbocco del porto e visibile da ampie zone del litorale genovese, l'importanza che il suo utilizzo assumeva nell'ambito degli spazi espositivi fieristici, la compatibilità con il futuro progetto d'ampliamento verso mare degli approdi nautici di Marinafiera, e, soprattutto, i limitatissimi tempi disponibili per la progettazione e la realizzazione, imponeva una soluzione architettonica-strutturale originale ed organica e un processo progettuale sinergico con le necessità realizzative, in modo da limitare al massimo i tempi di fabbricazione e montaggio.

La "Piazza del Mare", protetta da una copertura tessile di circa 9000 mq sostenuta da una struttura metallica costituita da sei grandi archi di circa 70 m, è stata inaugurata alla fine del mese di settembre 2002, pochi giorni prima di ospitare l'esposizione dei grandi yacht italiani nell'ambito del Salone Nautico Internazionale.

La grande copertura di circa 9000 m<sup>2</sup> della "piazza del Mare" alla Marinafiera di Genova è stata inaugurata alla fine del mese di settembre 2002, pochi giorni prima di ospitare l'esposizione dei grandi yacht italiani nell'ambito del Salone Nautico Internazionale. La struttura portante in acciaio è costituita da sei travi principali di circa 70 m, profilate ad arco, che sostengono una serie di archi tralicciati su cui si fissa la membrana tessile di copertura in fiberglass-PTFE.

L'ausilio delle tecnologie informatiche per il calcolo e l'elaborazione dei dati progettuali, le tecniche di modellazione tridimensionale e in galleria del vento, organiche metodologie operative hanno consentito di rendere più funzionale e sintetico sia il processo di progettazione multidisciplinare che la realizzazione, limitando i tempi e ottimizzando le lavorazioni di officina e di cantiere.

### Copertura della "Piazza del Mare" alla Marinafiera di Genova

*The 9000 m<sup>2</sup> roof of the Piazza del Mare at the Marinafiera complex in Genoa was opened at the end of September 2002, a few days before it went on to house a number of big Italian-built yachts at the annual International Boat Show.*

*The main steel structure is made up of six arch shaped girders approximately 70 m long, supporting a series of trussed beams coated with PTFE fiberglass fabric.*

*The completion and workshop and on-site operating times were reduced by using information technologies for the calculation and the development of the design, with the design and construction processes aided by wind tunnel testing, 3D modelling techniques for detailing, and the adoption of organic operating methods.*

### LE STRUTTURE DI COPERTURA

#### Strutture principali e secondarie in acciaio

La copertura ha pianta rettangolare con dimensioni 120 x 72 m e altezza utile variabile da 9 a 20 m circa dal piano della piazza, come rappresentato schematicamente in Fig. 3.

La struttura d'acciaio, costituita da sei travi principali poste ad interasse di 24 m in direzione est-ovest e da archi ribassati di collegamento in passo di 6 m in direzione nord-sud, è irrigidita nel proprio piano da una controventatura realizzata con tiranti diagonali che le conferiscono un comportamento a piastra. Il peso totale è di circa 1350 t.

Ciascuna trave principale è costituita da una coppia di sezioni a doppio T composte saldate di altezza variabile, affiancate ad interasse di 3.6 m. I due elementi che le costituiscono sono collegati fra lo-



Fig. 1 -  
Fotoinserimento  
della copertura in  
fase di  
progettazione  
preliminare

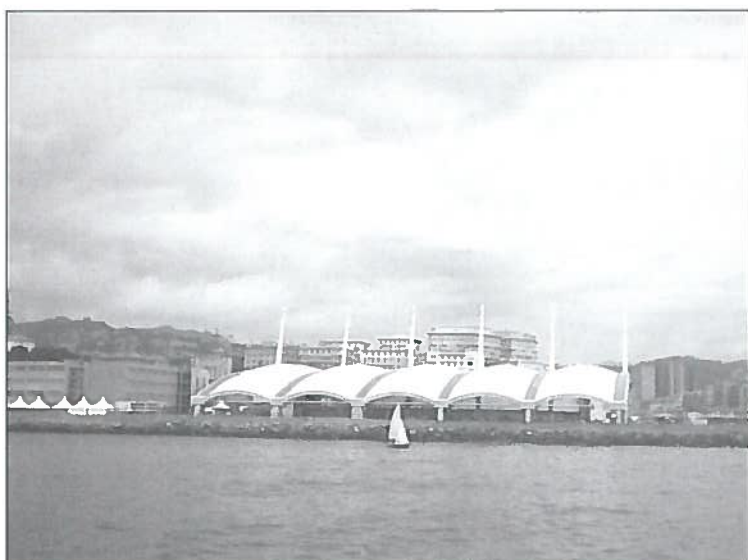


Fig. 2 - Vista della copertura dal mare

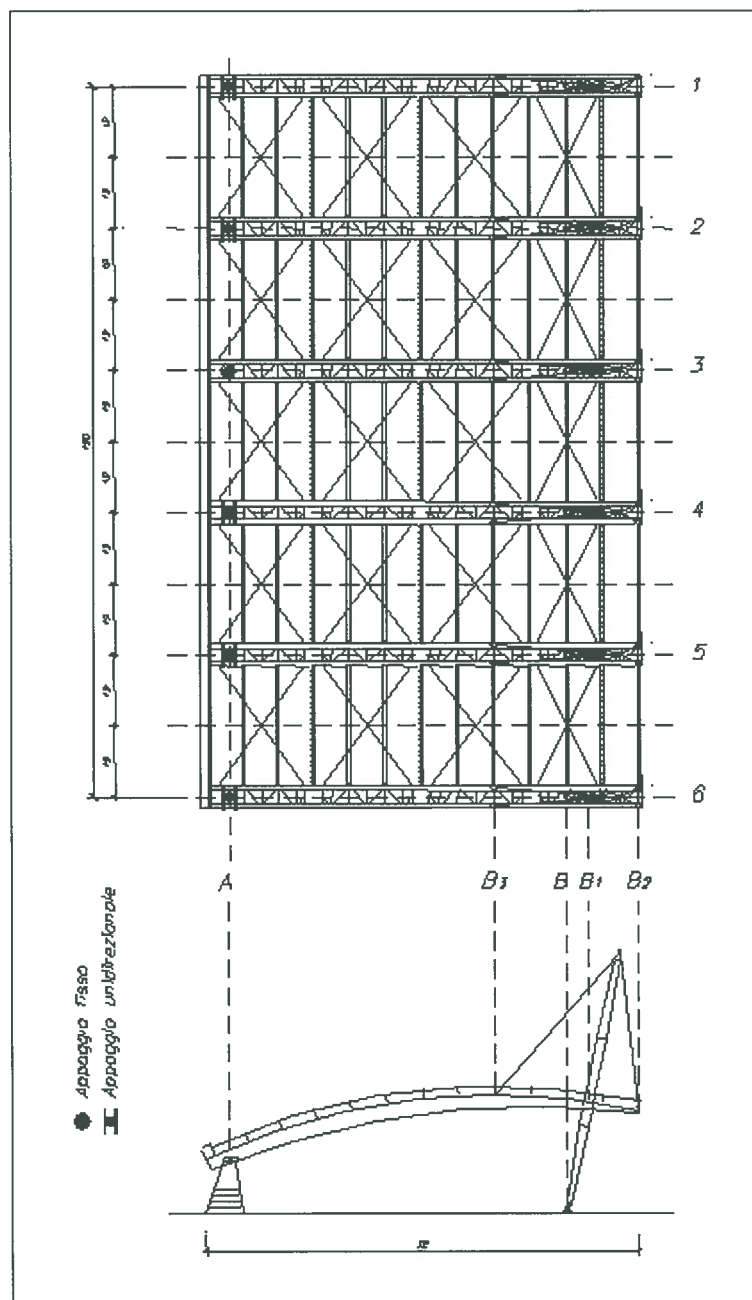


Fig. 3 - Schema planimetrico e sezione schematica della copertura

ro da diaframmi a parete piena ad interasse di 6 m e da controventature reticolari a schema "Warren", localizzate in corrispondenza delle ali superiori e inferiori. L'altezza varia, in funzione delle necessità statiche e dell'andamento delle sollecitazioni flettenti, da un minimo di 1.2 m ad un massimo di 3.0 m circa. Le piattabande hanno una larghezza costante di 50 cm e uno spessore variabile da un minimo di 25 ad un massimo di 40 mm; l'anima ha spessore costante di 12 mm ed è suddivisa in pannelli da irrigidimenti orizzontali e verticali.

Le travi principali, con schema statico di trave continua su quattro appoggi, sono suddivise in sette tronchi, collegati fra loro da coprigiunti bullonati serrati ad attrito. Esse sono vincolate in corrispondenza della fondazione che si eleva di 8 m circa dal piano della piazza (filo A), sospese a due coppie di stralli (fili B2, B3) confluenti sulla sommità di un pennone tubolare, appoggiate direttamente su un pennone in una posizione intermedia (filo B1) tra i punti di sospensione.

Per evitare coazioni dovute alle variazioni termiche, cinque dei sei appoggi sferici (posizioni A1, A2, A4, A5, A6) consentono movimenti lungo l'allineamento, mentre il sesto appoggio sferico (posizione A3) è fisso e quindi in grado di contrastare le azioni esterne.

I pennoni, giacenti con il proprio asse sul piano verticale di simmetria delle travi principali, si sviluppano per circa 43 m con un'inclinazione di 12 gradi rispetto alla verticale verso l'esterno della copertura e sono realizzati con sezioni circolari di diametro variabile da 80 a 160 cm. Sono funzionalmente divisi in due tronchi: l'inferiore, compresso, costituisce l'appoggio intermedio delle travi principali, il superiore, reso continuo con le strutture delle travi principali stesse, è pressoinflesso e accoglie in sommità le due coppie di stralli obliqui.

Sulle travi principali sono impostati gli archi tubolari a geometria ribassata che costituiscono l'orditura di sostegno della membrana tessile di copertura: essi sono disposti ad un interasse di circa 6 m e presentano una luce di 20.4 m. Alcuni archi presentano all'intradosso una configurazione simmetrica a fuso di larghezza variabile, tale da costituire un arco-puntone con la doppia funzione di supporto della membrana tessile e di montante della struttura reticolare di controvento della copertura (fig. 3). L'adozione di una coppia di tubi per i correnti superiori degli archi si giustifica con la necessità di offrire alla membrana tessile una superficie di appoggio priva di spigoli e la predisposizione di un cavo in tensione sulla membrana, idoneo a contrastare le eventuali azioni di depressione del vento sulla membrana stessa.

Alle due estremità delle travi principali, gli archi reticolari sono sostituiti da elementi a cassone di sezione rettangolare in composizione saldata, opportunamente irrigiditi con diaframmi, di dimensioni 1200 x 1200 mm in corrispondenza del filo A e di dimensioni 800 x 600 mm in corrispondenza del filo B. Tali archi, con la loro continuità, garantiscono localmente la stabilità torsionale delle travi principali.

La struttura reticolare d'ogni singolo arco-puntone è completata da due coppie di sbatocchi laterali in tubo, collegati all'intradosso delle travi principali

in corrispondenza del controvento inferiore locale, in modo da determinare una continuità strutturale tra due archi puntone contigui.

La stabilità degli archi fuori del piano è assicurata dalla presenza di collegamenti alle travi a cassone di estremità, posti in mezzzeria ed ai quarti della luce. Tali collegamenti sono realizzati in tubo ad asse leggermente curvilineo per evitare l'interferenza con la membrana tessile che, tesa sulla luce di 6 m, presenta un'inflessione nel piano trasversale.

### Membrana tessile

La membrana tessile di copertura è costituita da teli in Fiberglass rinforzato con PTFE, tesi sugli archi secondari in strisce di 20.4 x 72 m circa, in modo da ottenere superfici a sella a doppia curvatura. La tensione viene applicata ai teli lateralmente in corrispondenza delle travi principali in acciaio, ove i teli stessi non rimangono a contatto degli archi, ma si sollevano leggermente da essi per effetto della geometria tridimensionale imposta alla membrana.

Il collegamento della membrana alle travi principali è affidato ad un sistema costituito da un profilo di bordo in alluminio entro il quale viene fissata la membrana e da lamine flessibili in acciaio inox, collegate al profilo di bordo e avvolte attorno ad un profilo tubolare in acciaio fissato all'estradosso delle travi principali.

Il collegamento della membrana alle travi di testata a cassone è affidato ad un sistema costituito da un profilo di bordo in alluminio entro il quale viene fissata la membrana e da un profilo angolare solidale con i cassoni, cui viene fissato il profilo di bordo.

Inoltre, al fine di evitare eventuali distacchi della membrana dagli archi di supporto, in caso di depressione indotta dal vento, si sono previsti cavi di tensionamento in acciaio zincato protetti da guaine localizzate all'estradosso della copertura.

Le acque meteoriche sono convogliate dalla membrana in canali di gronda in acciaio zincato, collocati immediatamente a ridosso delle travi principali nello spazio tra le coppie di elementi che le compongono. Lo spazio restante viene coperto con lucernari in policarbonato a profilo leggermente arcuato, suddivisi in moduli di lunghezza costante con sormonti trasversali che evitano infiltrazioni d'acqua all'interno.

### LA PROGETTAZIONE

La copertura è stata progettata secondo la Normativa Italiana vigente per i pesi propri, i carichi permanenti e i sovraccarichi accidentali (es. neve, vento), tra cui particolare importanza ha assunto soprattutto l'azione del vento sulla membrana tessile e sulle strutture. Per la particolare geometria della

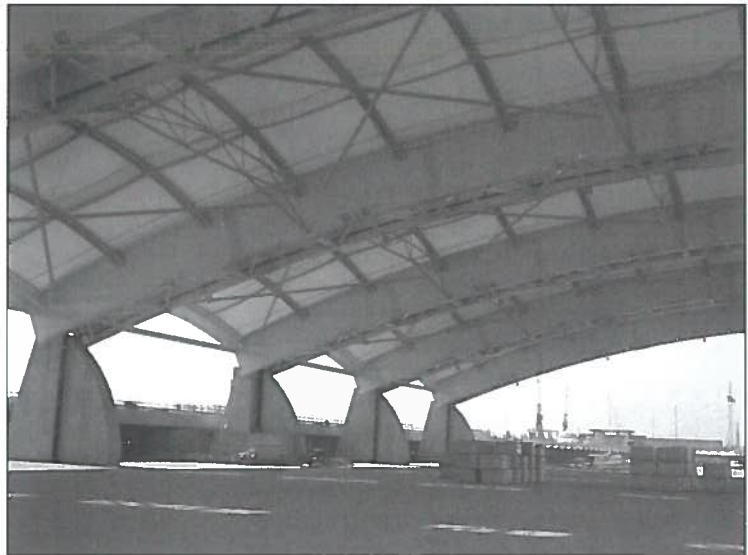
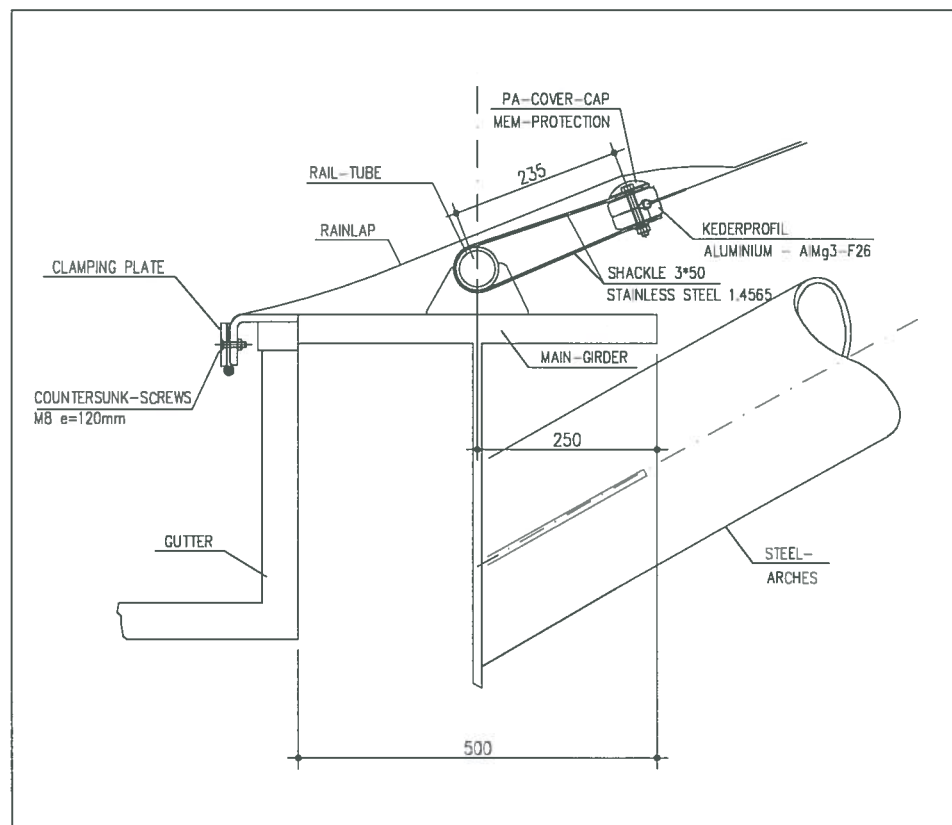


Fig. 4 - Vista della copertura dal livello della piazza: si possono osservare gli archi di sostegno della membrana tessile nella forma semplice e nella configurazione ad arco-puntone



copertura e per superare le incertezze connesse alla determinazione dei coefficienti di forma, si è ricorsi ad una campagna di test in galleria del vento, realizzata presso i Laboratori del CREACIV di Prato.

Si è costruito un modello rigido semplificato della copertura, strumentato con 60 trasduttori di pressione localizzati sia all'intradosso che all'estradosso (fig. 6), al fine di poter valutare i coefficienti di pressione netti. Oltre alla copertura, si sono modellati anche i volumi localizzati in adiacenza, come, ad esempio l'edificio del Palasport, e si sono considerati profili differenti per venti spiranti da terra o dal mare, secondo le direzioni principali della struttura e secondo le bisettrici a 45 gradi.

Fig. 5 - Dettaglio del collegamento tra strutture metalliche e membrana tessile



Fig. 6 - Vista del modello fisico della copertura realizzato per i test in galleria del vento

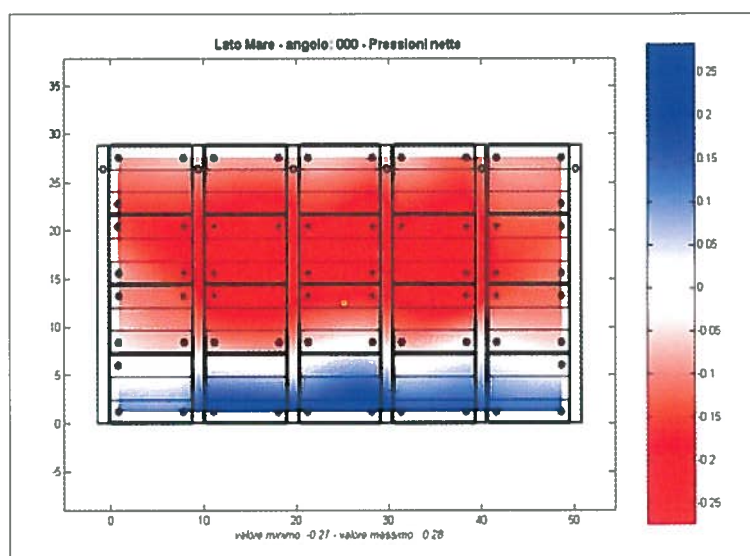


Fig. 7 - Coefficienti di pressione media (pressioni nette, angolo 0°, profilo lato mare)

Dall'elaborazione dei dati, si sono ottenuti i coefficienti di pressione massimi e minimi netti in corrispondenza delle prese e i coefficienti medi su ogni trave principale (fig. 7); tali coefficienti hanno consentito di valutare gli effetti locali del vento sulla membrana di copertura e di confrontarli con quelli ipotizzati sulla base delle normative sui carichi e sovraccarichi. Nelle fasi iniziali della progettazione si sono formulate, infatti, ipotesi sull'entità delle azioni indotte dal vento sulla copertura, ottenute dall'interpretazione ed estrapolazione delle schematizzazioni proposte dalle norme (rif. 3, 4, 5, 6). La particolare geometria ad arco, la presenza della notevole mole del Palasport sul lato nord, l'assenza di baraccature sui lati e la possibilità, quindi, che il vento si potesse infiltrare al di sotto della copertura, hanno aggiunto, però, problematiche che solo un esame in galleria del vento poteva aiutare a risolvere. In particolare, era molto importante valutare con precisione la distribuzione e i valori limite di pressione/depressione sulla membrana tessile, al fine di valutare le sollecitazioni e scegliere il materiale più adatto sia dal punto di vista tecnico che economico. Inoltre, era necessario poter valutare con precisione le azioni sui vincoli esterni. L'esame dei risultati ottenuti in galleria del vento ha consentito di ridurre in maniera sensibile, rispetto alle prime ipotesi, i valori di pressione, soprat-

tutto quelli localizzati in prossimità della mezzeria delle travi principali e, soprattutto, di confermare le ipotesi formulate per l'entità massima delle depressioni. Il tutto si è quindi tradotto in una riduzione di peso delle strutture di supporto principali e secondarie di circa il 12%.

L'analisi strutturale (rif. 1, 2, 7) è stata svolta con l'ausilio di diversi modelli globali o parziali della struttura, in campo lineare e non, elaborati con il codice agli elementi finiti STAAD/Pro, sviluppato dalla Research Engineers, USA.

Durante l'iter progettuale, oltre al dimensionamento strutturale, si è dovuta affrontare e risolvere una serie di criticità legate al limitatissimo tempo disponibile per la fabbricazione e il montaggio. Si sono quindi adottate soluzioni che consentissero di contenere le dimensioni dei tronchi da fabbricare in officina e da trasportare in cantiere, evitando trasporti eccezionali costosi e, soprattutto, più lenti. Si sono quindi limitate le saldature in cantiere ai soli elementi cassonati che, per ragioni architettoniche e formali, non era possibile collegare con giunti bullonati di scarso impatto visivo. Ciascun dettaglio strutturale è stato quindi pensato non solo in funzione statica, ma soprattutto in funzione delle necessità di fabbricazione, protezione, trasporto, stoccaggio e montaggio.

#### L'UTILIZZO DELLE TECNICHE DI MODELLAZIONE 3D PER LA PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO

Per le caratteristiche dimensionali della copertura, che presenta forme curvilinee variamente disposte nello spazio, con la presenza di nodi strutturali complessi e a più vie, la scelta di supportare l'intero iter di progettazione con uno strumento di modellazione tridimensionale è stata non solo naturale, ma necessaria.

A questo fine è stato scelto il programma Xsteel, che consente non solo di modellare i diversi componenti strutturali, ma di avere sempre sotto controllo la geometria dei diversi elementi che li compongono.

L'utilizzo di tale programma ha consentito:

- la modellazione della struttura in tempi rapidi
- la produzione degli elaborati del progetto esecutivo
- lo studio e la modellazione dei collegamenti
- l'integrazione in un unico modello degli input provenienti dalle diverse discipline
- la produzione dei disegni di prefabbricazione e montaggio
- l'elaborazione delle liste materiali di profili, piastre e bulloneria.

In particolare, poiché per l'esiguità del tempo a disposizione non è stato possibile eseguire in officina alcun tipo di premontaggio delle travi principali prodotte, con l'utilizzo di Xsteel si è potuto eseguire un controllo virtuale del progetto e delle tolleranze di montaggio, confidando che le tecniche automatizzate per il taglio e la saldatura delle lamiere limitassero gli errori e le tolleranze di fabbricazione.

Inoltre, avendo a disposizione il modello della struttura è stato più semplice prevedere in officina anche molte delle lavorazioni necessarie per con-

sentire il corretto passaggio di canalizzazioni e impianti, con notevole risparmio sui tempi di montaggio, in termini di forature e saldature in opera.

Nella figura 8 si riporta uno scorcio prospettico del modello strutturale, mentre in figura 9 è rappresentato un disegno di assemblaggio relativo ad un spezzone di trave principale.

### IL MONTAGGIO

Le figure 10, 11 e 12 riportano alcuni momenti della messa in opera della copertura. Si può affermare che la fase del montaggio è stata la più delicata di tutto il processo di realizzazione dell'opera. Dapprima si sono preparati i tasselli del mosaico, stabilendo con precisione l'ordine di fabbricazione dei pezzi, il tempo del loro trasporto e stoccaggio in cantiere. Si è quindi proceduto all'assemblaggio

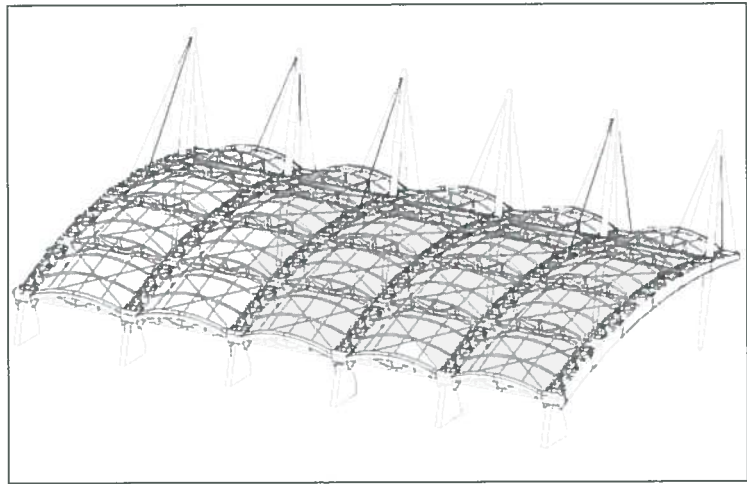


Fig. 8 - Scorcio prospettico del modello realizzato con Xsteel

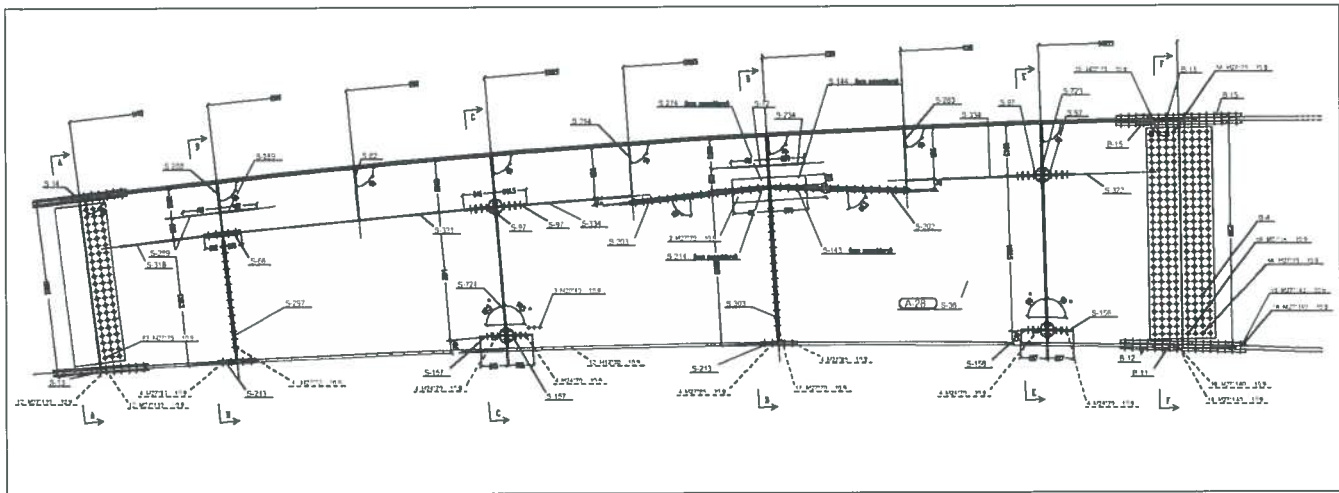


Fig. 9 - Disegno di assemblaggio di un tronco di trave principale realizzato con Xsteel

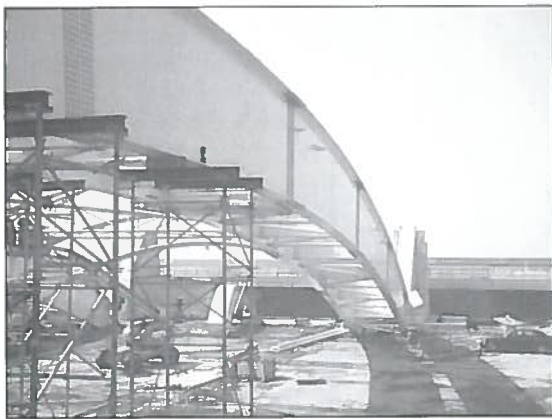


Fig. 10 - Assiemaggio di una trave principale in cantiere prima del varo sugli appoggi fissi

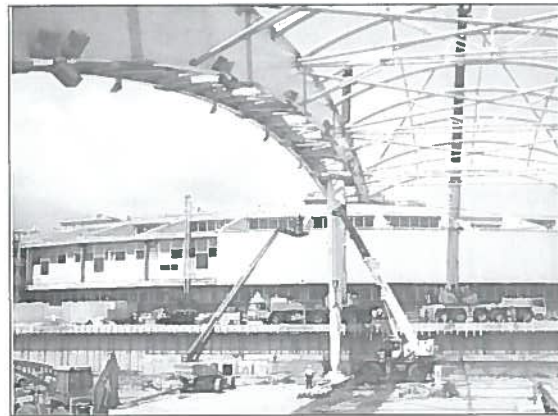


Fig. 12 - Varo di una coppia di travi principali

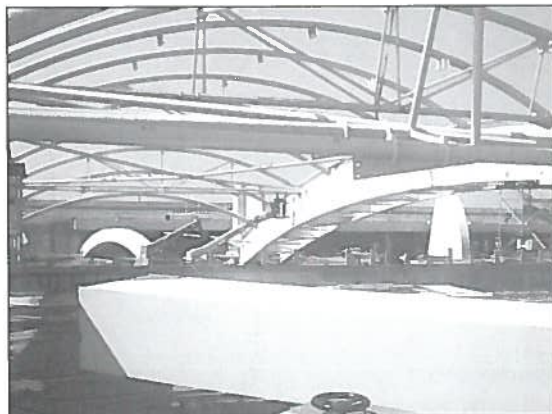


Fig. 11 - Assiemaggio degli archi di collegamento fra le travi principali e dei cassoni

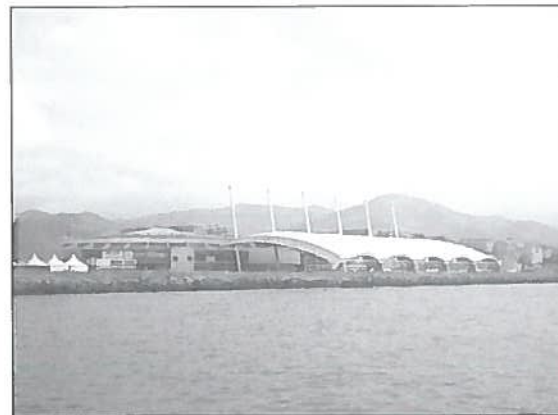


Fig. 13 - Struttura completa vista dal mare

delle travi principali facendo uso di gru e di appositi calaggi. Il primo nucleo ad essere varato è stato un modulo completo di copertura di dimensione 72x27 m circa, costituito da una coppia di travi principali con i relativi archi intermedi e controventi. Il varo è avvenuto con l'ausilio di imponenti mezzi d'opera, operando contemporaneamente con cinque gru gommate per il sollevamento della struttura e la messa in posizione sugli appoggi sferici predisposti sui setti in cemento e in testa ai tronchi inferiori dei pennoni, a loro volta tenuti in posizione da altre due gru. A partire da questo nucleo centrale stabile anche alle azioni orizzontali, si è articolato quindi il montaggio delle restanti parti della copertura, procedendo lateralmente verso l'esterno. Particolarmente complesso è stato anche il montaggio dei lunghi teli in fiberglass, che sono stati prima distesi sugli archi e poi messi in tensione attraverso i dispositivi previsti sui bordi, facendo assumere alla membrana la configurazione geometrica prevista a progetto. Il sollevamento e fissaggio dei tronchi superiori dei pennoni, il tensionamento degli stralli e il completamento di tutti gli impianti hanno com-

pletato le operazioni di montaggio, avvenuto entro i tempi programmati per la consegna dell'opera al Committente, con tolleranze geometriche e dimensionali in accordo con quelle teoriche.

## CONCLUSIONI

La realizzazione della Copertura della Piazza del Mare alla Marinafiera di Genova si può considerare un'occasione nella quale lo spirito di collaborazione e la tenacia di Committente, Enti locali, progettisti e imprese esecutrici sono riusciti a raggiungere un obiettivo arduo, soprattutto in termini temporali, superando una serie di criticità tecniche e ambientali. L'ausilio delle tecnologie informatiche per il calcolo e l'elaborazione dei dati progettuali, le tecniche di modellazione tridimensionale e in galleria del vento, organiche metodologie operative hanno consentito di rendere più funzionale e sintetico sia il processo di progettazione multidisciplinare che la realizzazione, limitando gli sfridi e ottimizzando le lavorazioni di officina e di cantiere.

## PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI

1. D.M. 9 gennaio 1996 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche
2. Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione (CNR 10011/88)
3. Legge 5 novembre 1971 N. 1086, D.M. 14 febbraio N. 155 AA.GG/STC. "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
4. D.M. 16 gennaio 1996: Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi
5. Circolare 4 luglio 96 N. 156 - Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. 16 gennaio 1996
6. Eurocodice 1 – "Basi della progettazione ed azioni sulle strutture"
7. Eurocodice 3 Parte 1-1 "Progettazione delle strutture di acciaio: regole generali e regole per gli edifici"

## BIBLIOGRAFIA

Borri C., Bozzo E., Bartoli G., Imprenda A.: "Analisi sperimentale delle azioni del vento su una copertura di grandi dimensioni" Atti 7° Convegno Nazionale Ingegneria del vento IN-VENTO-2002, 2002.

## CREDITI

### Progettazione architettonica:

Consorzio CIA – Grattarola Associati & Partners  
Progettisti: arch. V. Grattarola, arch. P. Bandini

### Progettazione strutturale:

Consorzio CIA – Sidercad S.p.A.  
Progettisti: ing. E. Bozzo, ing. C. Spandonari

### Realizzazione:

ING.INS.INT. S.p.A. – Capogruppo costruzione  
Elli Falcone S.r.l. - Costruttore della carpenteria  
metallica e montaggi  
Canobbio S.p.A. - Fornitore membrana tessile

**Prof. dr. ing. Edoardo Bozzo**

*DISEG – Università degli Studi di Genova – Presidente Sidercad S.p.A. - Genova*

**Dr. ing. Carlo Spandonari**

*Direttore tecnico della Sidercad S.p.A. - Genova*