

# Nuovi sviluppi per strutture reticolari spaziali composite

G. C. Giuliani, C. Carini

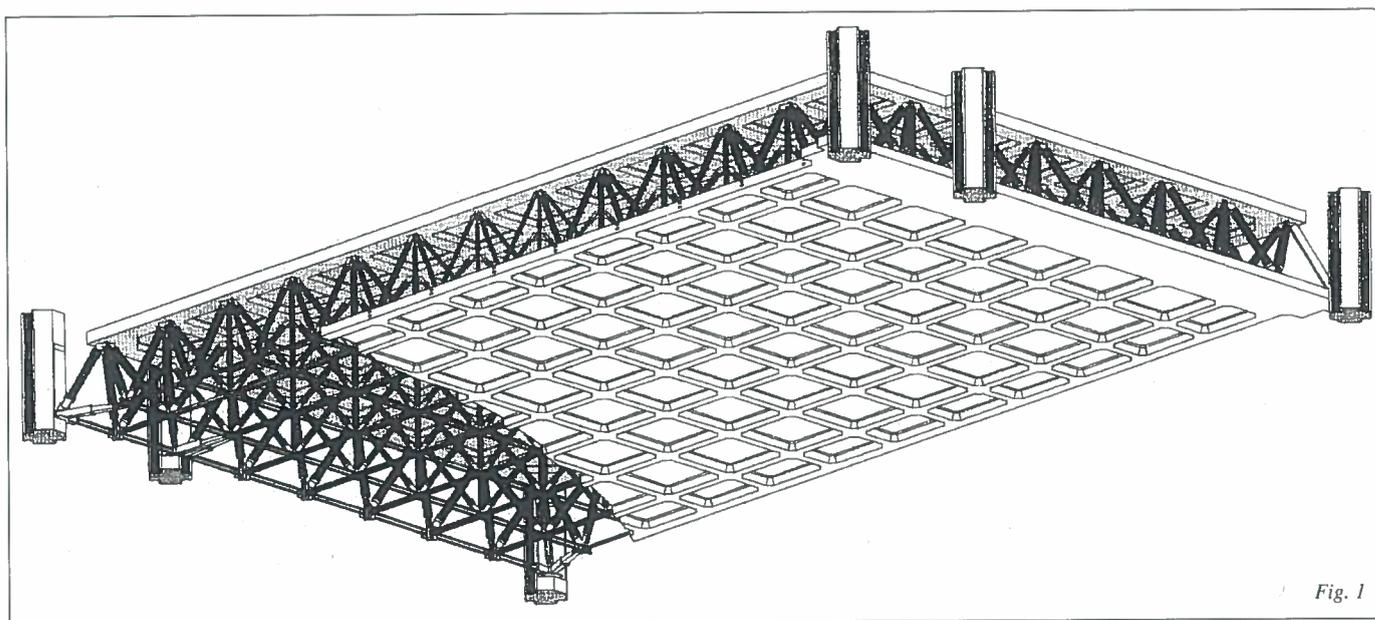


Fig. 1

## 1. PREMESSA

Le strutture composite in acciaio-calcestruzzo costituiscono in generale una soluzione interessante e competitiva sotto l'aspetto prestazionale rispetto alle più tradizionali realizzazioni in solo acciaio o solo calcestruzzo, almeno nella fascia intermedia delle azioni risultanti dai carichi di progetto, ed hanno finora trovato applicazioni quasi esclusivamente nei ponti.

Facendo ricorso ad una progettazione evolutiva rispetto a quella corrente si possono sfruttare tutte le possibilità offerte dalla individuazione di più efficienti schemi resistenti; dalla attribuzione di specifiche funzioni ai componenti strutturali e dalla selezione dei materiali più idonei.

Nella costruzione di seguito esaminata si sono introdotti i seguenti concetti innovativi:

- lo schema resistente da piano a spaziale;
- gli elementi lineari compressi sostituiti da campi bidirezionali in calcestruzzo;
- gli elementi lineari tesi, normalmente in acciaio, sostituiti da campi bidirezionali in calcestruzzo precompresso;
- le anime trasformate in aste;
- l'acciaio normale sostituito da quello ad altissima resistenza per precompressione, senza perdita di rigidità;
- le tolleranze di costruzione ridotte a quelle delle lavorazioni

meccaniche, da effettuarsi su pochi elementi di dimensioni ridotte;

- i bulloni dei sistemi di assemblaggio sostituiti da perni.
- In dettaglio si tratta di una struttura composita spaziale con schema a piastra su sei appoggi disposti secondo lo schema di fig.1, che realizza un impalcato avente le dimensioni in pianta di 32.41x20.0 m e la capacità totale di sovraccarichi permanenti 2.0 kNm<sup>-2</sup> ed accidentali 2.0 kNm<sup>-2</sup>, oltre ad un carico

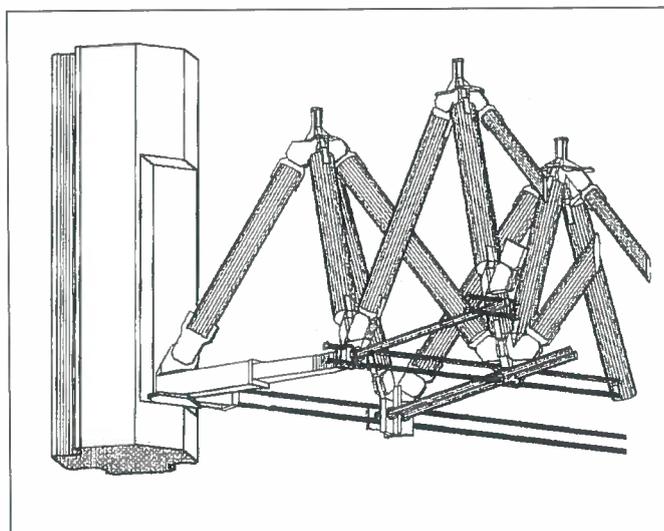


Fig. 2

Dr. ing. Gian Carlo Giuliani, dr. ing. Cesare Carini  
Liberi professionisti, Milano.

lineare  $9.5 \text{ kNm}^{-1}$  dovuto alle facciate ed insistenti su ognuno dei lati maggiori.

La funzione della struttura è quella di collegare i nuovi padiglioni espositivi della Fiera di Milano [4] al di sopra della via Teodorico (un collegamento simile sarà costruito anche sulla via Colleoni) consentendo il transito dei visitatori e la distribuzione degli impianti; per quest'ultimo motivo la tipologia strutturale più conveniente è risultata essere quella a piastra composta spaziale già adottata per il livello superiore dei padiglioni (v. *Costruzioni Metalliche* n. 2/96, pagg. 33-48).

## 2. CARATTERISTICHE STRUTTURALI

La struttura è composta da due solette nervate in calcestruzzo collegate da aste tubolari in acciaio fissate a nodi annegate nei getti (fig. 2); le azioni flettenti globali sono decomposte in azioni assiali nel piano delle solette che, nel caso di trazione, sono contrastate da post-compressione a cavi.

Le azioni taglianti sono decomposte in azioni assiali nelle aste disposte con orientamento spaziale.

Nei punti di incontro delle aste sono disposti nodi metallici che hanno funzione di collegamento al calcestruzzo; in corrispondenza di ogni nodo, le forze oblique degli elementi in acciaio sono equilibrate dalla reazione incrementale del campo orizzontale di tensioni agente nella soletta e dai carichi verticali.

E' stato prescelto un collegamento fra nodi e calcestruzzo di tipo rigido allo scopo di sviluppare la totale capacità portante della struttura, tenendo conto che le azioni taglianti orizzontali sono concentrate nei giunti e non distribuite lungo le nervature.

D'altra parte, l'introduzione nel calcestruzzo di azioni orizzontali incrementali, richiede che le pressioni di contatto trasmesse dal nodo, con le relative tensioni di scissione, siano contenute entro livelli compatibili con la resistenza del getto, senza incertezze di valutazione; per tale ragione è stata prescelta una giunzione a cerniera fra gli elementi in acciaio ed il nodo, così da evitare momenti parassiti residui nel collegamento.

L' altezza fra i centri dei nodi del traliccio spaziale è pari a 2.35 m; lo spessore totale comprensivo delle solette è pari a 2.74 m. Il traliccio è costituito da  $6 \times 11$  tetraedri su basi quadrate da  $2.50 \times 2.50$  m, contornati da due fasce perimetrali di 11 tetraedri su basi rettangolari da  $2.50 \times 1.60$  m; su ogni allineamento degli appoggi sono disposti 8 tetraedri con base quadrangolare.

Lo spazio compreso fra le solette in calcestruzzo è accessibile ed è usato per assolvere la fondamentale esigenza di alloggiare tutti gli impianti.

La piastra inferiore in calcestruzzo precompresso è del tipo a cassettoni con interasse delle nervature su maglia di  $2.50 \times 2.50$  m, contornate da bande laterali su maglia  $1.600 \times 2.50$  m. Le nervature hanno spessore 0.30 m e larghezza 0.375 m e la soletta di collegamento ha spessore 0.06 m; la resistenza caratteristica del calcestruzzo è 37 MPa.

Cavi rettilinei di post-compressione con numero di trefoli  $d = 15$  mm variabile da 4 a 14, sono annegati nelle nervature e concentrati sull'asse nella direzione longitudinale e su due livelli nella direzione trasversale.

La piastra superiore in calcestruzzo è del tipo a cassettoni con lo stesso interasse delle nervature di quella inferiore, ma spostato di mezzo modulo a causa dell'orientamento obliquo del traliccio spaziale così che non vi sono moduli rettangolari laterali. Le nervature hanno spessore 0.35 m e larghezza 0.55 m e la soletta di collegamento ha spessore 0.15 m; la resistenza caratteristica del calcestruzzo è ancora 37 MPa.

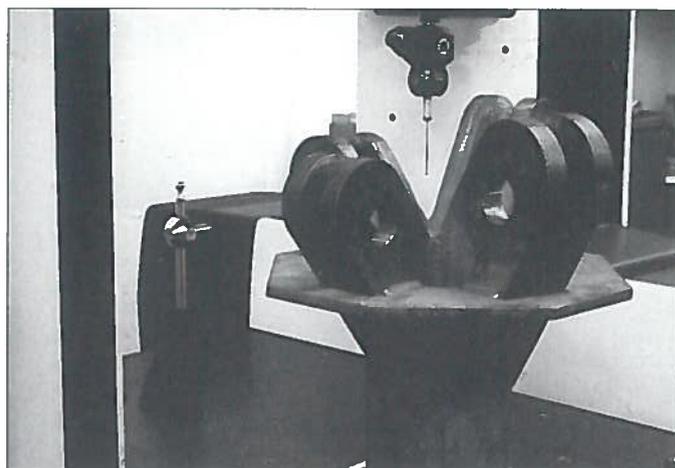


Fig. 3

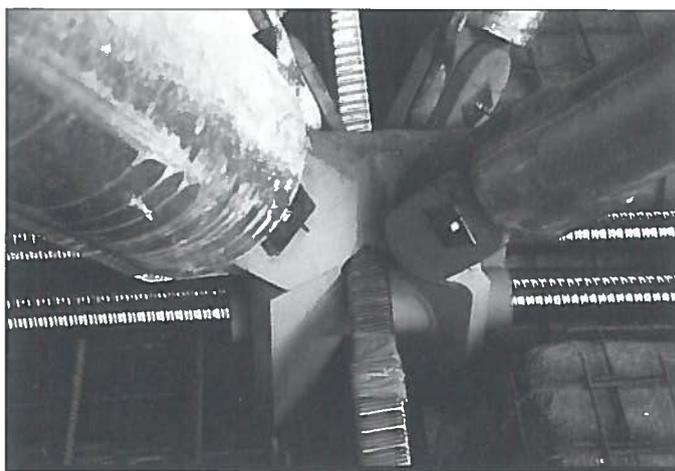


Fig. 4

## 3. COMPONENTI IN ACCIAIO

I componenti in acciaio realizzano la connessione resistente a taglio fra le piastre in calcestruzzo e sono costituiti dalle aste e dai nodi del traliccio spaziale.

Per i nodi si sono utilizzati alcuni degli elementi in ghisa sferoidale impiegati nella costruzione delle piastre degli edifici espositivi; per le posizioni in cui le azioni o la geometria del traliccio spaziale hanno inibito l'uso di nodi standard, si sono progettati elementi realizzati con piastre in acciaio saldate studiando con il costruttore in fase di progetto le sequenze delle passate e gli opportuni controlli sulle saldature (fig. 3).

I nodi sono in generale costituiti da un elemento centrale di forte spessore, al quale sono saldati i piatti che realizzano le orecchie per l'alloggiamento dei perni di connessione alle aste; i nodi inferiori sono attraversati dal sistema di cavi bi-direzionali di post-compressione (fig. 4).

Alcuni nodi destinati ad accogliere le testate di tiro dei cavi longitudinali hanno conformazione particolare dovuta ai vincoli geometrici con le strutture esistenti.

Le aste in acciaio sono realizzate con tubi in acciaio di classe 430 MPa, provvisti alla estremità di terminali piatti in acciaio saldati e forati per il collegamento a perno con le orecchie dei nodi.

La lunghezza media è circa 2.450 mm e varia con le dimensioni dei nodi e dei terminali delle aste che risultano, così come il diametro dei tubi, funzione della intensità delle forze trasmesse. I terminali in acciaio delle aste hanno dimensioni variabili in accordo ai diametri dei tubi ed alle dimensioni

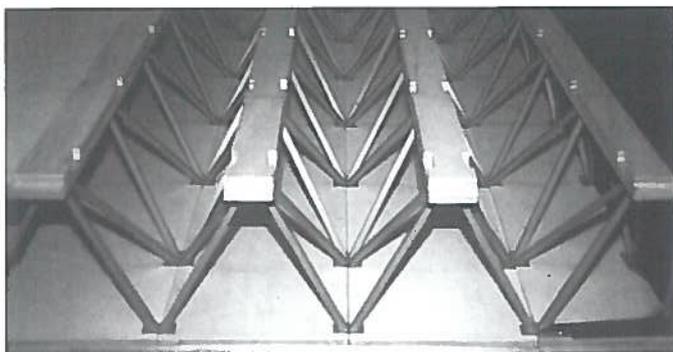


Fig. 5

principali dei perni. Allo scopo di ottenere spessore adatto all'alloggiamento dei perni e larghezza adatta alla saldatura ai tubi, i terminali furono ottenuti mediante forgiatura di una piastra rettangolare.

#### 4. ANALISI STRUTTURALE

Una analisi lineare ad elementi finiti dell'intera piastra fu effettuata con la assunzione di rigidità infinita dei nodi e tolleranze nulle di montaggio; tale ipotesi era stata suffragata dagli studi precedentemente sviluppati per la piastra tipo degli edifici e dalle prove di carico.

Si osserva che alcuni elementi della soletta superiore disposti sugli allineamenti degli appoggi risultano tesi per gli effetti dei carichi e della continuità trasversale; essendo limitato il livello tensionale la trazione risultante è ripresa da armature passive con controllo della fessurazione.

In generale in tutti gli elementi il livello tensionale risulta limitato così che risulta valida l'assunzione nella analisi di comportamento lineare dei materiali fino ai carichi di esercizio.

Gli effetti del 2° ordine e delle imperfezioni furono tenuti in conto per il dimensionamento delle aste in acciaio.

#### 5. PROCEDIMENTO DI COSTRUZIONE

La procedura di costruzione originariamente ideata prevedeva il pre-assemblaggio di strisce precomprese di struttura aventi larghezza 2.50 m da collegare successivamente mediante post-compressione trasversale (fig. 5).

In tale modo veniva eliminato il costo di una cassettera da

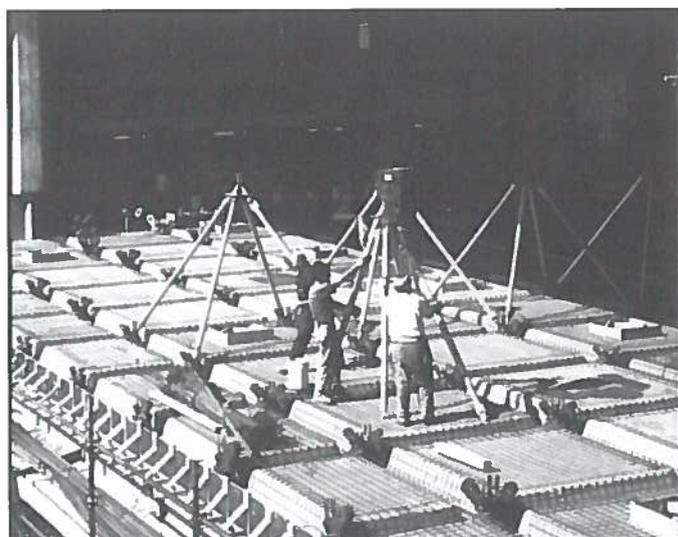


Fig. 6

predisporsi sul luogo di costruzione. Di fatto, assecondando la richiesta dei Costruttori di minimizzare il tempo di chiusura della strada necessario per i montaggi, l'intero sistema fu adattato per un getto su cassero sostenuto da impalcati realizzati con travi parallele in c.a.p. e montati preventivamente a livelli inferiore e superiore.

La piastra inferiore è gettata in una sola operazione su una cassaforma dotata di forme a perdere in GFRC nella quale sono preventivamente posate parti pre-assemblate di armatura, il traliccio spaziale completo ed i cavi di post-compressione (fig. 6-7-8-9).

La piastra superiore è realizzata in calcestruzzo armato normale gettato su elementi quadrati prefabbricati a cassettone

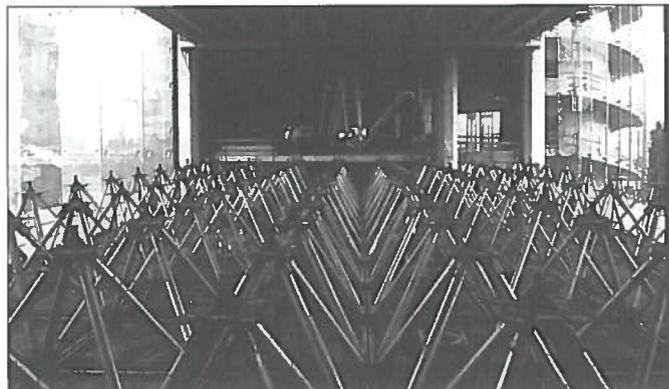


Fig. 7

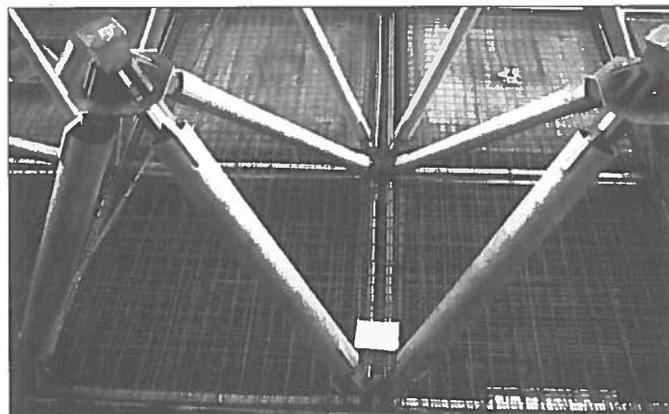


Fig. 8

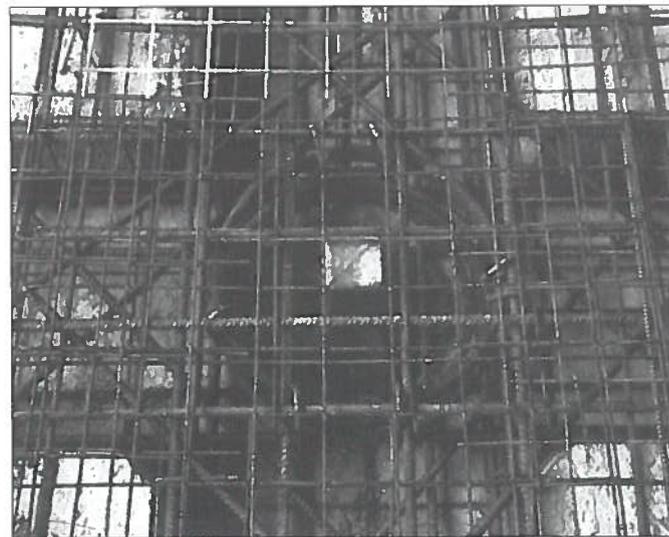


Fig. 9

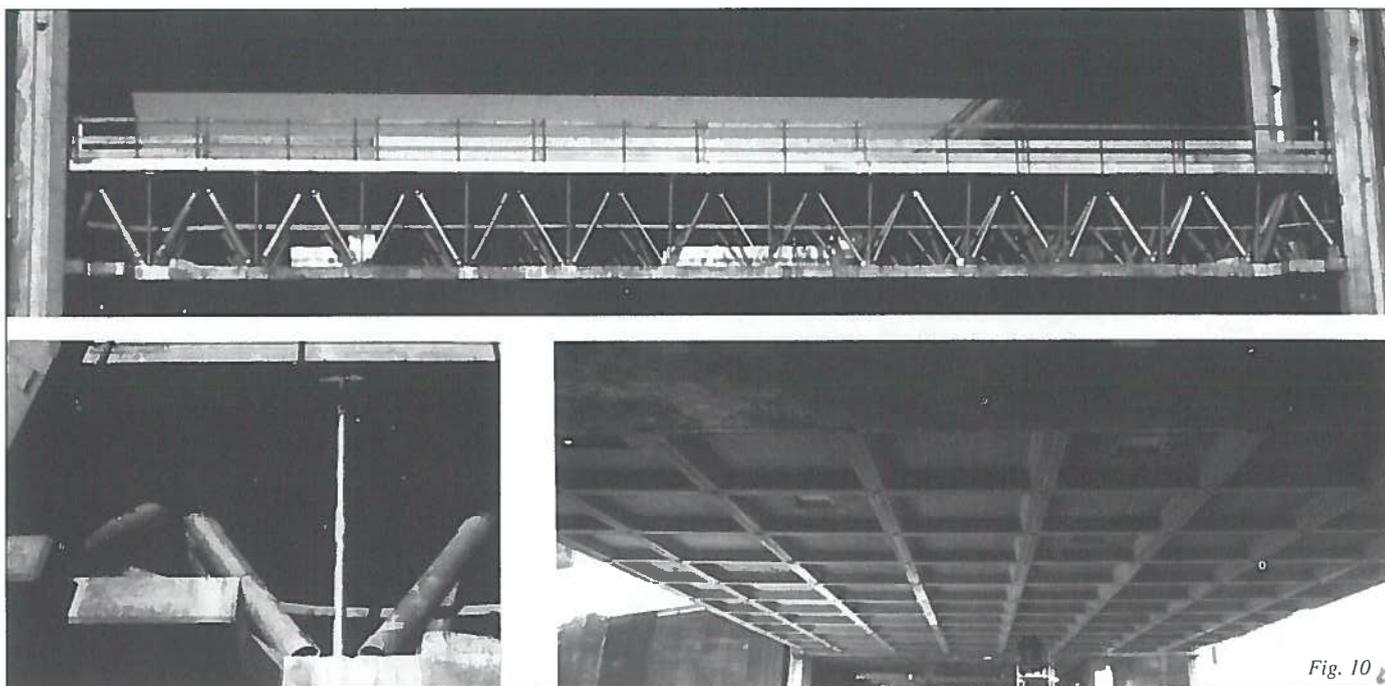


Fig. 10

con spessore 0.05 m che appoggiano sulle basi dei nodi superiori.

Il procedimento di assemblaggio e costruzione può essere sintetizzato nelle seguenti fasi :

- fase 1** preparazione del ponteggio di sostegno con imposta sull'impalcato esistente della quota 7.00; posa delle forme a perdere in GFRC;
- fase 2** assemblaggio sul cassero di elementi del traliccio spaziale completi dei nodi superiori ed inferiori;
- fase 3** posizionamento di gabbie preconfezionate di armatura e dei cavi di precompressione
- fase 4** getto della piastra inferiore;
- fase 5** posa in opera di tutti i condotti e cablaggi principali e delle principali apparecchiature connesse;

**fase 6** posizionamento delle lastre prefabbricate della soletta superiore sulle piastre dei nodi superiori e delle relative armature pre-assemblate;

**fase 7** collegamento provvisorio con barre Dywigag degli impalcati in c.a.p. esistenti alle quote 7.00 e 23.00;

**fase 8** getto della soletta superiore; tiro ed iniezione dei cavi di post-tensione; disarmo.

Tutte le operazioni di getto furono effettuate con calcestruzzo riscaldato a temperatura di 40 °C durante il confezionamento in centrale automatizzata disposta in prossimità al luogo di costruzione.

Per compensare le inflessioni degli impalcati di sostegno dovute al getto della struttura composita, le casserature furono allestite con la opportuna controfreccia, in modo da ottenere al disarmo una struttura piana con intrasso a vista (fig. 10).

#### RIFERIMENTI

La progettazione strutturale è stata effettuata da Redesco srl con la consulenza dei dott. ingg. Gian Carlo Giuliani e Cesare Carini.

Le strutture in acciaio sono state approntate dalla Soc. COMS nell'ambito di un subappalto al consorzio ITACA (CMC / Recchi / G.Maltauro / E.Frabboni / CGC / Italtel Telesis / Kone) aggiudicatario della costruzione generale.

L'ideazione della variante al sistema costruttivo è dovuta al geom. F. Pagani, responsabile della prefabbricazione del consorzio ITACA.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] ISMES, 1990, "Prove di carico su nodi superiore ed inferiore di una piastra ortotropa", Bergamo.
- [2] Giuliani G.C., 1992, "A new joint for a long span precast mixed structure", Proceedings of IASS-CSCE International Congress 1992 - Innovative large span structures, Vol. 2, p. 912.
- [3] Giuliani M.E., 1995 "Innovative Composite Spatial Structures for the New Milano Fair Exhibition Facilities", Proceedings of the IASS International Symposium 1995 - Spatial Structures: Heritage Present and Future, vol.1, p.451.
- [4] Giuliani G.C Giuliani M.E., "Strutture composite spaziali innovative di grande portata per i nuovi padiglioni espositivi della Fiera di Milano", Costruzioni Metalliche, Vol. 48 - N.2 marzo-aprile 1996.