

Le grandi strutture tridimensionali dell'edificio sopraelevato per le sale convegni e riunioni della Fiera di Milano

G.C. Giuliani, G. Valentini, A. Ortolan, F. De Pizzol

Large scale spatial structures for the elevated conference and meeting building of the Milan Trade Fair

L'edificio è caratterizzato da strutture in vista composte da grandi capriate reticolari che supportano impalcati con reticolo tridimensionale per il piano di calpestio e la copertura. La costruzione sopraelevata, la luce e la posizione degli appoggi, che obbliga uno sviluppo dell'edificio con forte sbalzo, hanno richiesto la progettazione di una struttura con marcato comportamento tridimensionale.

L'ottimizzazione delle operazioni di assemblaggio e l'obiettivo di eleganza formale sono stati conseguiti con l'uso nelle capriate di elementi saldati collegati con perni e negli impalcati con pre-assemblaggio di piastre e successiva bullonatura delle aste inclinate.

1. GENERALITÀ

L'edificio sopraelevato per le sale convegni e riunioni, è conformato a timpano e costituisce uno dei segni strutturali ed architettonici più evidenti dei nuovi edifici espositivi della espansione sul Portello della Fiera di Milano; essendo situato sulla facciata Nord, esso appare quasi frontalmente ai viaggiatori provenienti dal nodo autostradale viciniore e diretti verso il centro.

La posizione elevata al di sopra degli edifici espositivi (dalla Q. 28.50 alla Q. 41.90), le notevoli luci fra gli appoggi e le dimensioni (in pianta 20 m x 108 m), nonché la grande struttura reticolare a capriata costituiscono elementi di spicco dell'intero prospetto (fig. 1).

Dal punto di vista architettonico appare evidente il richiamo all'idea classica del tempio, che trova nei massicci corpi in c.a. di sostegno e nella travatura reticolare superiore straordinariamente agile, un'interpretazione del tutto inusuale.

Oltre ad identificare marcatamente l'inizio del nuovo complesso espositivo, il timpano accoglie una sala per conferenze da 250 posti, sale riunioni e ristorazione per ospiti particolari; l'accesso avviene dal piano terreno mediante ascensori diretti o dal piano parcheggio posto a Q. 23.00 mediante scale e ascensori.

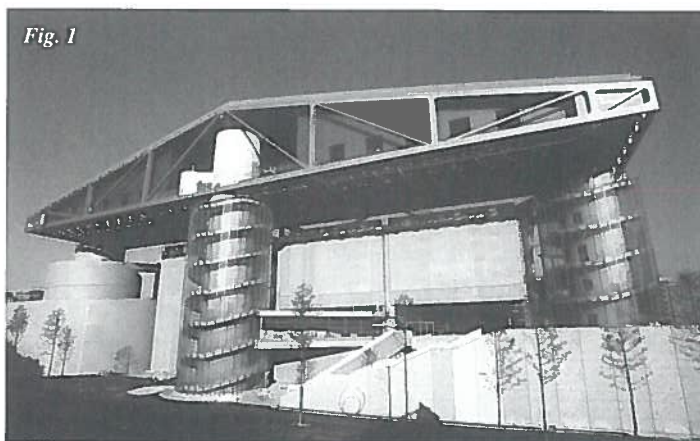


Fig. 1

The building owes its character to the in sight structures, consisting of huge pitched trusses supporting three-dimensional trussed decks for the floor and roof.

The elevated position, the span and bearing location, implied considerable overhang of the building, and made it necessary to design a structure with an enhanced three-dimensional behaviour.

The optimisation of the assembly operations and the elegance of the form were obtained by using welded members and pin connections for the trusses and pre-assembled plates with bolts for the skew struts and ties of the decks.

1. GENERAL

The elevated conference and meeting building features a tympanum-like shape and is one of the most important structural and architectural features of the new exhibition buildings in the Portello expansion of the Milan Trade Fair. It is located on the northern side of this, and is the first view of the complex for drivers coming from the nearby motorway junction and heading towards the city centre.

Its elevated position over the exhibition buildings (from level 28.50 to 41.90), the large span within the bearings, the dimensions (20 by 108 m) and the wide trussed and pitched structure are the outstanding features of the whole prospect (fig. 1).

In architectural terms, the reference to the classic idea of a temple is quite evident, being based on massive concrete shafts supporting the extraordinarily slender upper truss in an absolutely unusual interpretation.

In addition to the strong marking of the northern facade of the compound, the tympanum shaped building houses a conference room with 250 seats, meeting rooms and a luxury restaurant. Access is by direct lifts from ground level and by lift and stairs from the parking area located at level 23.00.

The structure is supported on six points: at the centre, on a circular lift and stair shaft and on the steel extension of a

La struttura è sopportata in sei punti: al centro sul nucleo circolare del corpo scale e ascensori e sul prolungamento di un pilastro dell'edificio espositivo; in vicinanza delle estremità rispettivamente sulle murature di un corpo scala e su una trave contenuta nella rampa per mezzi pesanti ed autovetture. La posizione planimetrica degli appoggi presenta 3 allineamenti trasversali; alle estremità i punti di sostegno sono molto arretrati rispetto al filo della facciata anteriore così che l'intera struttura presenta uno sbalzo massimo di circa 12 m decrescente verso la mezzeria.

2. CONCEZIONE STRUTTURALE

Il timpano si inserisce perfettamente nello standard di elevato contenuto tecnologico che contraddistingue l'intero progetto di ampliamento dello spazio fieristico milanese: esso è in particolare il frutto di una sensibilità strutturale progettuale in grado di ridonare artigianalità all'esecuzione delle membrature, ciò è reso evidente dal particolare che da sempre contraddistingue e impietosamente seleziona le strutture in carpenteria metallica: il giunto.

Nei collegamenti fra le capriate e le travi trasversali, e fra queste ed i sostegni in cemento armato, riemerge infatti il gusto comunemente perduto per la fedeltà incondizionata allo schema statico teorico, per il vincolo ideale, per la "cerniera pura". Tale gusto comporta necessariamente il coinvolgimento di una sensibilità progettuale che trasferisce concetti meccanici nell'impostazione strutturale.

La posizione planimetrica degli appoggi non consente l'impostazione delle strutture principali a capriata lungo le relative congiungenti, così che lo schema strutturale risulta complesso e fattibile solo se si tiene conto del comportamento tridimensionale (fig. 2).

In particolare, in prossimità delle estremità, si hanno travi trasversali ancorate alle murature sottostanti in modo da sorreggere a sbalzo le capriate che sono disposte parallelamente alle facciate, all'esterno di queste; nella zona centrale si ha ancora una trave trasversale che sopporta le capriate con piccoli sbalzi ed è appoggiata sul nucleo scala anteriore e su colonna metallica solidale ad un pilastro in c.a.p. dell'edificio espositivo.

column of the rear building, at the ends, on the walls of a stairway at the western side and on a deep beam which is part of the truck and car ramp at the eastern side.

The positions of the bearings is along three transverse alignments. At the ends the supports are shifted from the facade and the whole structure therefore features an overhang with a maximum of 12.00 m, decreasing towards the middle section.

2. STRUCTURAL CONCEPTS

The tympanum blends in perfectly with the high technology which is a distinctive feature of the whole Milan Trade Fair extension project. It is, in particular, the result of a structural awareness which is able to restore a number of craft features in the member assembly, which is emphasised by the component that has always distinguished and mercilessly selected metal structural work: the joints.

In the connections of the trusses to the transverse beams and the latter to concrete supports there is a reappearance of the commonly lost inclination for an unreserved loyalty towards the theoretical structural scheme, as an ideal constraint and pure hinge. A tendency of this nature necessarily involves a design sensitivity which transfers motor concepts to the structural idea. The bearing position does not make it possible to lay the main trusses along the straight connecting lines, with the result that the structural scheme appears to be complicated and its feasibility can be obtained only if the space behaviour is taken into account (fig. 2).

Close to the ends, transverse cantilever beams anchored to the lower concrete walls support the main trusses which lie parallel to, but outside of, the facades. In the middle section another transverse beam supports the main trusses with short overhangs and bears on the shaft of a central staircase and on a steel extension of a pre-stressed concrete column of the exhibition building.

The free length of this member is reduced by a horizontal truss beam, anchored to the staircase and therefore restraining the top of the pre-stressed concrete column. The top of this structure is used as a pedestrian link between the parking area and the lift and stairs.

The lower chords of the main trusses are supported by the stairway on the northern side and a tie hanging from the middle beam on the parking area side. The ends of the trusses are connected by two Vierendeel-like beams.

The level 28.50 m floor and the roof are supported by a two-way space truss fitted with struts and ties which lie in a 45 degree skew direction with respect to the longitudinal and transversal chord members. With this arrangement the structure takes the form of a space deck which features high stiffness and is integrated into the general resisting system.

The space deck is integrated by transverse

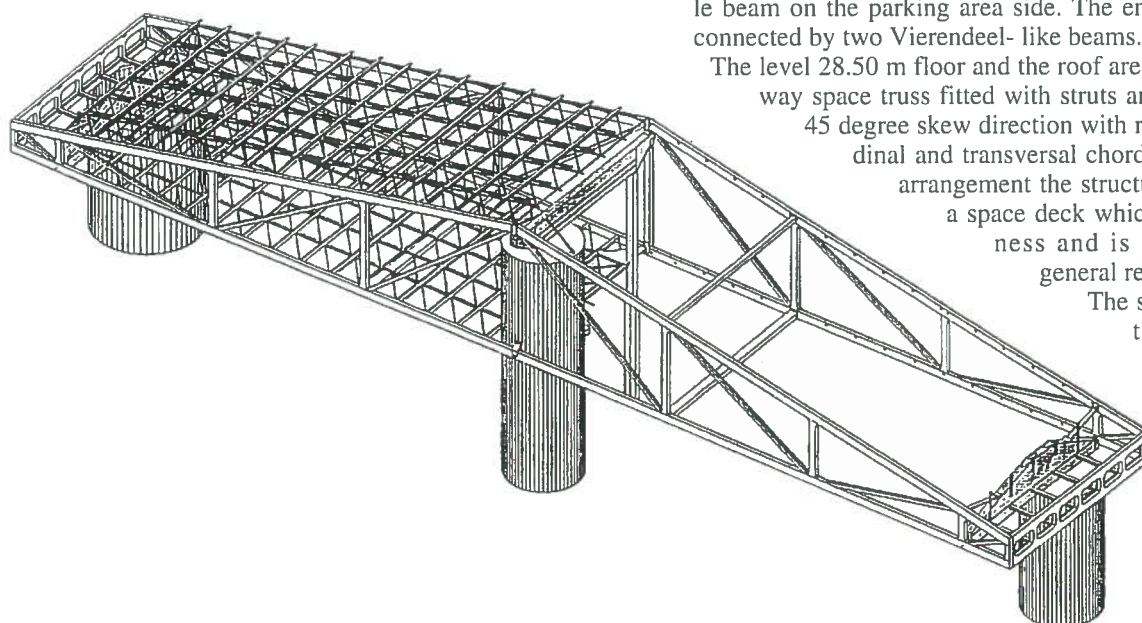


Fig. 2

Allo scopo di ridurre la lunghezza di libera inflessione di tale elemento verticale è stata inserita una trave reticolare disposta nel piano orizzontale in modo da vincolare al corpo scala la sommità della colonna in c.a.p.; al di sopra di questa struttura è realizzato un collegamento fra il parcheggio ed il gruppo scale e ascensori.

Le briglie inferiori delle capriate sono rispettivamente sostenute sul fronte principale direttamente dalle murature della scala e, verso il parcheggio, da biella discendente dalla trave trasversale.

Le testate delle capriate sono collegate da travi tipo Vierendeel.

Le orditure secondarie, che danno appoggio al piano di calpestio della Q.28.50 ed alle falde di copertura, sono costituite da campi di tralicciatura bidirezionale con aste diagonali orientate a 45° rispetto ai correnti longitudinali e trasversali; si ottiene in tal modo una struttura del tipo "space deck", dotata di elevata rigidità assiale e flessionale e che risulta integrata nello schema resistente generale.

Le orditure secondarie sono integrate con travi trasversali che collegano le capriate in corrispondenza dei nodi.

In conclusione la rigidità torsionale dell'intera struttura, che è fondamentale a causa del non allineamento degli appoggi, risulta dalla somma dei contributi delle travi di estremità e dall'effetto "cassone" conferito dalle capriate e dagli "space decks".

La discontinuità del flusso ottimale delle tensioni tangenziali dovuto alle capriate che collegano solo puntualmente i due impalcati, dà origine sia ad una accettabile riduzione della rigidità torsionale sia a limitate azioni addizionali nelle membrature.

3. VINCOLI

3.1 Vincoli esterni

Il sistema dei vincoli è complesso in quanto deve assicurare sia la stabilità al ribaltamento verso l'esterno, sia consentire le dilatazioni termiche e gli spostamenti indotti dai carichi; i punti fissi rispetto agli spostamenti nelle 3 direzioni dei correnti superiori delle capriate sono posti sulla trave trasversale in corrispondenza del corpo centrale.

Le travi a mensola hanno un attacco interno realizzato con bielle in piatto di acciaio provviste di boccole sferiche in modo da consentire gli spostamenti longitudinali delle semicapriate e trasferire alle murature soltanto azioni assiali che, essendo di trazione, sono riprese da barre post-tese (fig. 3); l'appoggio esterno verso lo sbalzo è del tipo in neoprene cerchiato e PTFE che consente gli spostamenti sia longitudinali che trasversali.

Sulla mezzera della struttura sono predisposti punti fissi per i correnti inferiori delle capriate che sono incernierati al fusto delle scale nella parte anteriore e ad una trave di controventamento orizzontale nella parte posteriore.

3.2 Vincoli interni

I vari elementi strutturali sono mutuamente vincolati allo scopo di assicurare la stabilità sotto carico e conferire adeguata rigidità; a causa della conformazione della struttura e della posizione planimetrica dei vincoli esterni, i collegamenti devono contrastare in generale azioni dirette secondo 3 assi non complanari (fig. 4).

Le semicapriate sono collegate alle travi a mensola in corrispondenza dei correnti, lo schema strutturale realizzato con elementi incernierati non crea momenti parassiti.

Analoghi collegamenti a cerniera e a pendolo sono presenti al

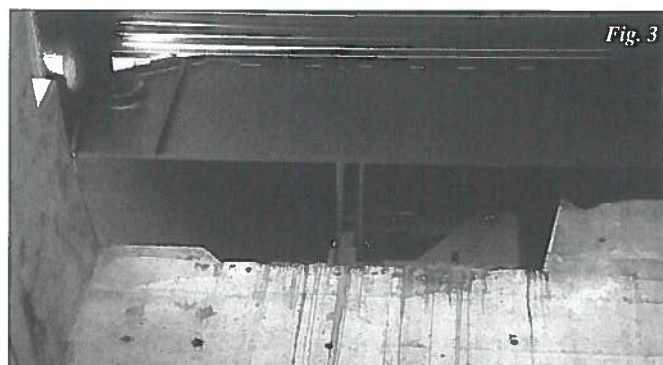


Fig. 3



Fig. 4

beams which connect the joints of the twin trusses.

The torsional stiffness of the whole structure, which is fundamental because of the lack of bearing alignments, is obtained from the sum of the contributions of the cantilever beams and by the "box" effect created by the main trusses and by the lower and the upper space decks; the discontinuity of the optimal tangent stresses, due to the not distributed but concentrated connections between the main trusses and the space decks, yields both an acceptable reduction of the torsional stiffness and a limited magnification of the member forces.

3. RESTRAINTS

3.1 External restraints

The restraint system is a matter for thought, because it has to withstand the overturning moment and allow for the thermal strains and for the general displacements produced by the loads

The fixed points for the three displacement components of the upper chords of the truss are located on the transverse middle beam. The lower outer chords of the truss are pin connected to the stair shaft while the inner ones are fixed to a horizontal bracing truss built into the same stair shaft.

At the inner side, the cantilevering beams are anchored by a system of steel rods fitted with spherical sockets to allow for the longitudinal displacements of the two halves of the main trusses and to transfer to the axial actions only to the outer walls (fig. 3). These tensile forces are balanced by post-tensioned bars.

The outer bearing, in the cantilever direction, is of a restraint

centro fra le semicapriate e la trave trasversale; è assicurata la continuità dei correnti con benefico effetto sulle azioni e sulle deformazioni di insieme.

3.3 Giunzioni

I principali elementi strutturali sono mutuamente collegati mediante perni in modo da agevolare il montaggio e rendere molto efficienti le giunzioni sia sotto l'aspetto strutturale che del consumo dei materiali; in effetti si evitano contropiastre e bulloni, nonchè momenti parassiti dovuti alla estensione del collegamento necessario per l'alloggiamento di tutti i bulloni (fig. 5).

Tutte le strutture sono state progettate per la costruzione in officina di elementi da assemblare a piè d'opera, tenendo conto delle esigenze di trasporto e di corretta costruzione.

Le travi a cassone e le travi Vierendeel di testata sono state completamente assemblate in officina e montate direttamente in opera.

Le capriate sono state suddivise in elementi comprendenti le aste verticali ed i nodi di collegamento ai correnti e nelle rimanenti aste orizzontali ed inclinate; le giunzioni sono state realizzate mediante saldature a piè d'opera a piena penetrazione su lembi già preparati e muniti di talloni di innesco.

Le giunzioni degli impalcati sono di tipo saldato in officina per le piastre di attacco ai correnti e bullonato a piè d'opera per le aste oblique e l'orditura ortogonale ai correnti.

4. ELEMENTI STRUTTURALI

4.1 Mensole di estremità

Sono costituite da travi a cassone ad intradosso piano ed estradosso sagomato a trapezio secondo l'andamento dei momenti flettenti così da ottenere un peso contenuto e consentire il passaggio per la manutenzione degli impianti (fig. 6).

Le anime sono provviste di irrigidimenti orizzontali e la piattabanda superiore è dotata di coprighiunto in corrispondenza delle variazioni angolari del profilo longitudinale.

In corrispondenza dei punti di applicazione dei carichi e delle reazioni di appoggio, sono presenti setti irrigidenti aventi spessore 15 mm; gli spessori delle anime e delle piattabande sono rispettivamente 15 mm e 50 mm e l'unione è ottenuta con cordoni d'angolo riportati con arco sommerso.

Le estremità sono provviste di alloggiamenti lavorati meccanicamente per i perni di attacco delle capriate (fig. 7).

L'altezza massima di 4000 mm è stata determinata da vincoli geometrici mentre la scelta degli spessori delle anime risulta da uno studio di ottimizzazione con l'obiettivo di minimizzare il costo tenendo conto dell'incidenza degli irrigidimenti.

4.2 Trave trasversale centrale

E' pure a cassone, con piattabande parallele a distanza di 2500 mm e con rastremazioni alle estremità per l'alloggiamento dei perni per gli attacchi delle capriate.

4.3 Capriate

Sono grandi travi reticolari con correnti inferiori e superiori rispettivamente orizzontali ed inclinati dal colmo alle estremità, entrambi aventi sezione a cassone di dimensioni esterne 800 x 450 mm., composti con lamiere di spessore 25 mm. e dotati di raccordi curvilinei delle anime in corrispondenza dei nodi (fig. 8).

Pure a cassone di dimensioni 600 x 420 mm. sono i montanti verticali, mentre le diagonali, che risultano tese, sono costituite da profili HE 400 dei tipi B e M.

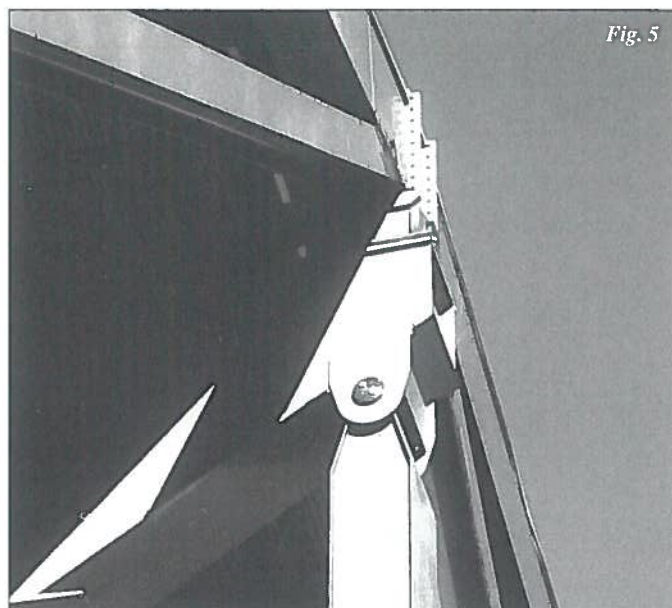


Fig. 5

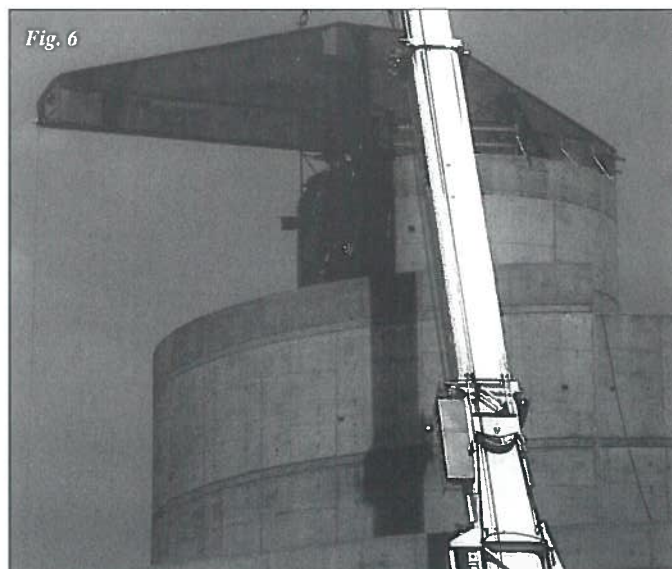


Fig. 6

ned neoprene-PTFE pot type which allows for the longitudinal and transverse displacements of the main trusses.

3.2 Internal restraints

All the structural members are mutually restrained to ensure the general stability of the building under the load effects and to achieve the required stiffness. Because of the structural shape and the position of the external restraints, the internal connections have to withstand actions directed along 3 axes not contained in a plane (fig. 4).

The upper and lower chords of the main truss are connected to the cantilevering beams in a way which avoids undesirable bending moments.

Similar connections based on pin and pendulum elements are located in the middle between the main truss halves and the transverse beam. The chords are continuous through the connections, thus achieving a favourable effect on the actions and deflections of the whole structure.

3.3 Junctions

The mutual junctions of the main structural members are based on pins to ease the erection and maximise the efficiency of the connections for structural concepts and the reduction in



Fig. 7

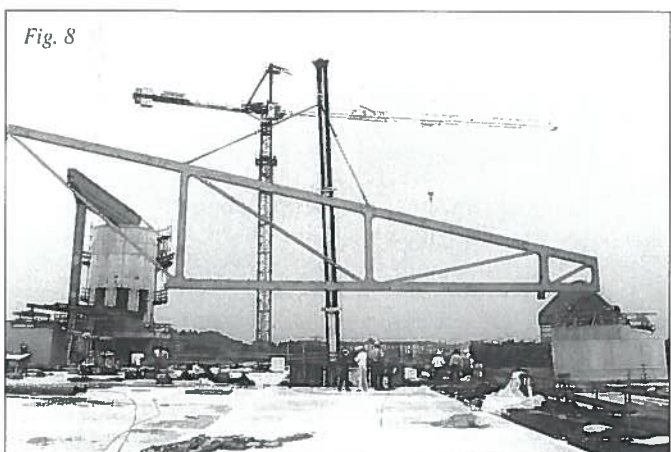


Fig. 8

consumption of materials. Bolts and plates are, in fact, no longer necessary and bending moments arising from the extension of the joint, necessary to house all the bolts, are eliminated (fig. 5).

All the structures were designed for the shop manufacture of the elements to be assembled at the construction site, taking into account the transport and erection requirements.

The cantilevering beam and the end Vierendeel beams were completely assembled in the shop and erected directly on site. The main trusses were divided into elements, including the vertical members with the chord junctions, and the horizontal and skew members. The connections were achieved by means of on site fully penetrating welding on prepared edges, with the arc ignition shifted on special heels.

The connections of the decks feature shop welded plates to the chords and bolted junctions for the skew members and secondary chords.

4. STRUCTURAL ELEMENTS

4.1. Cantilevers

The end cantilevers are box beams featuring a horizontal flat bottom flange and an upper flange laid in trapezium profile, according to the pattern of the bending moments, thus reducing the self weight and allowing for a passage to the mechanical rooms (fig. 6).

The webs are equipped with longitudinal stiffeners and the upper flange is reinforced by additional outer plates in the corners of the longitudinal profile.

In the sections where the concentrated loads and reactions are applied, 15 mm thick transverse diaphragms provide the stress diffusion into the webs. The thicknesses of the webs and flanges are 15 and 50 mm respectively and were set as the result of an optimisation analysis with cost reduction objective, taking into account the incidence of the stiffeners.

The ends are equipped with machined sockets to fit with the connection pins of the trusses (fig. 7).

The maximum height of 4000 mm was determined by geometrical constraints.

4.2 Middle transverse beam

This is also a box beam, with parallel flanges set at a depth of 2500 mm, tapered close to the ends to house the pins for the connections of the main trusses.

4.3 Main trusses

The huge main trusses are composed of a horizontal lower chord and a pitched upper chord, which feature a box section with the outer dimensions of 800 by 450 mm and composed of 25 mm thick plates. Close to the joints, the web connection with the vertical struts and skew ties shows a round fillet.

The vertical struts also feature a 600 by 420 mm box section, while the skew ties, which are always under tensile stresses, are composed of rolled wide flange sections HE 400 B or M.

4.4 End beams

These beams feature a Vierendeel structural scheme with all the members built with box sections and connected to each other by round fillets.

4.5 Decks

The structure is arranged in a three-dimensional pattern. The upper and lower chords are laid in two right-angled directions and are connected by skew members; the centre lines are arranged along the edges of a 3125 by 3125 mm square pyra-

4.4 Travi di testata

Sono a schema del tipo Vierendeel con tutti gli elementi a cassone; gli attacchi dei montanti ai correnti sono dotati di raccordi curvilinei.

4.5 Impalcati

Sono elementi spaziali con correnti superiori ed inferiori disposti secondo due direzioni ortogonali e collegati da aste inclinate; la maglia è a piramide con base quadrata con lato 3125 mm. ed altezza 1562.5 mm (fig. 9).

I piani di calpestio e di copertura sono realizzati con lamiera grecate a cui sono sovrapposti strati isolanti e, rispettivamente, lastre prefabbricate in fibrocemento e pavimento vinilico e pannelli in acciaio pre-verniciato.

Una interessante particolarità della struttura è costituita dal sistema di connessione tridimensionale che è realizzato mediante piastre saldate ai correnti trasversali e bullonature senza ricorrere a nodi particolari (fig. 10).

I correnti e le diagonali sono costituiti da angolari accoppiati; l'intera struttura rimane con l'intradosso a vista e, grazie alle caratteristiche evidenziate, risulta particolarmente elegante.

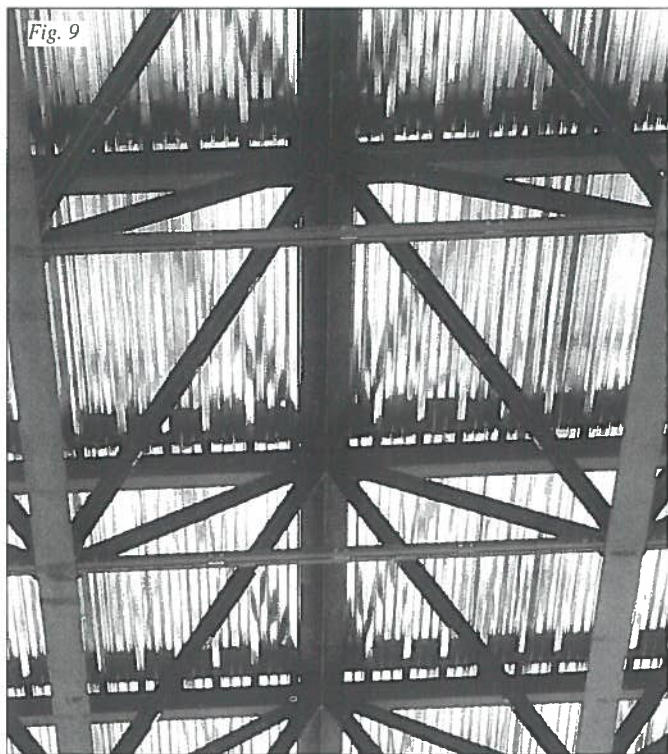


Fig. 9

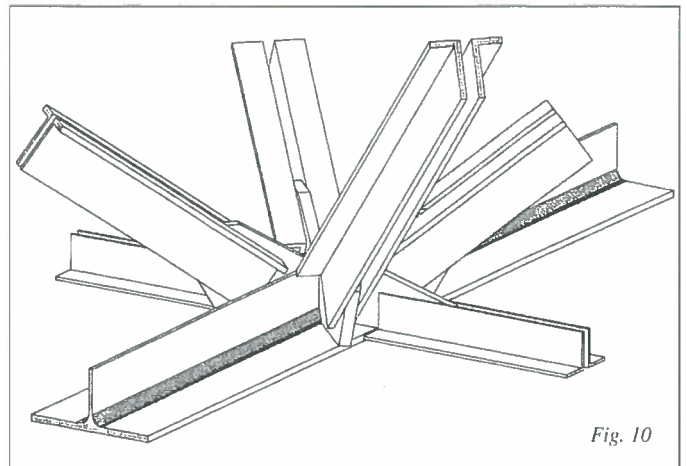


Fig. 10

5. MATERIALI

I profilati e le lamiere assemblate a cassone sono del tipo Fe430C; i perni di collegamento degli elementi strutturali sono ottenuti per rettifica da barre di acciaio C40.

Negli appoggi a biella soggetti a spostamenti in esercizio sono impiegate boccole sferiche di tipo rivestito in bronzo e PTFE sinterizzati.

Tutte le saldature, sia in officina che a piè d'opera, sono state effettuate in accordo a procedimenti di preriscaldamento, definizione progettuale dello spessore e del numero dei cordoni, accensione su talloni, molature e controlli radiografici e ultrasuoni. Tutti i bulloni impiegati per le connessioni degli impalcati sono del tipo 8.8, serrati con attrezzi ad aria compressa tarati per la coppia richiesta.

6. ASSEMBLAGGIO E MONTAGGIO

La realizzazione di una struttura delle dimensioni globali di ca. 108 m di lunghezza, 20 m di larghezza e 12 m di altezza, posta in opera ad una quota di intradosso di ca. 28 m, mediante connessioni mutue di tipo cerniera con tolleranze di accoppiamento dell'ordine del decimo di mm, ha comportato un'attenzione esecutiva del tutto non ordinaria, sia in fase di programmazione delle attività sia in fase propriamente esecutiva di officina e di cantiere.

6.1 Problematiche

L'impostazione del lavoro ha focalizzato quattro problematiche principali:

- fattibilità costruttiva globale delle giunzioni previste dal progetto esecutivo e pianificazione delle sequenze di esecuzione dei nodi delle capriate (giunti saldati)
- pianificazione delle sequenze di esecuzione dei nodi fra le capriate e le travi trasversali di collegamento (giunti a cerniera)
- pianificazione delle sequenze di esecuzione dei giunti saldati di cantiere
- pianificazione delle sequenze di posa in opera in quota.

Nell'ambito della realizzazione, il passaggio dell'informazio-

mid with a height of 1562.5 mm (fig. 9).

The floor and roof surfaces are composed of corrugated steel sheets and insulating panels under pre-cast fibre-reinforced concrete plates covered by vinyl tiles and steel panels respectively.

An interesting feature of the structure is the three-dimensional connection system based on plates welded to the chords and on bolted junctions, without using any special costly joints (fig.10).

All the members are composed of coupled rolled angles. The whole structure remains visible and, thanks to the aforesaid features, has an elegant shape.

5. MATERIALS

The structural shapes and the plates making up the box sections are of Fe430C grade. The pins for the connections of the structural elements are obtained by machining C40 steel bars.

The swinging bearings, which are subjected to displacements throughout the life of the structure, are equipped with spherical sockets lined with sintered bronze and PTFE.

All the welds, whether prepared in the shop or on the construction site, were performed in accordance with the pre-heating procedures, design definition of the thickness and the number of beads, ignition heels, grindings and ultrasonic and radiographic controls.

All the bolts used for the deck connections are of 8.8 grade, and were tightened by compressed air driven tools, calibrated to the prescribed torque.

6. ASSEMBLY AND ERECTION

The construction of a structure with overall dimensions of 108 m in length, 20 m in width and with a depth of 12 m, located in a construction at a ceiling height of 28, fitted by hinge-like mutual connections and with coupling tolerances of only tenths of mm, required very special attention during the manufacturing process, while a number of programming activities related to the construction in the workshop and on site.

6.1 Problems

The organisation of the work brought four main problems to light:

- Global construction feasibility of joints required by the final design and planning of the construction sequences of the truss welded joints
- Planning of the construction sequences of the joints between the trusses and the transversal connection beams (hinged joints)

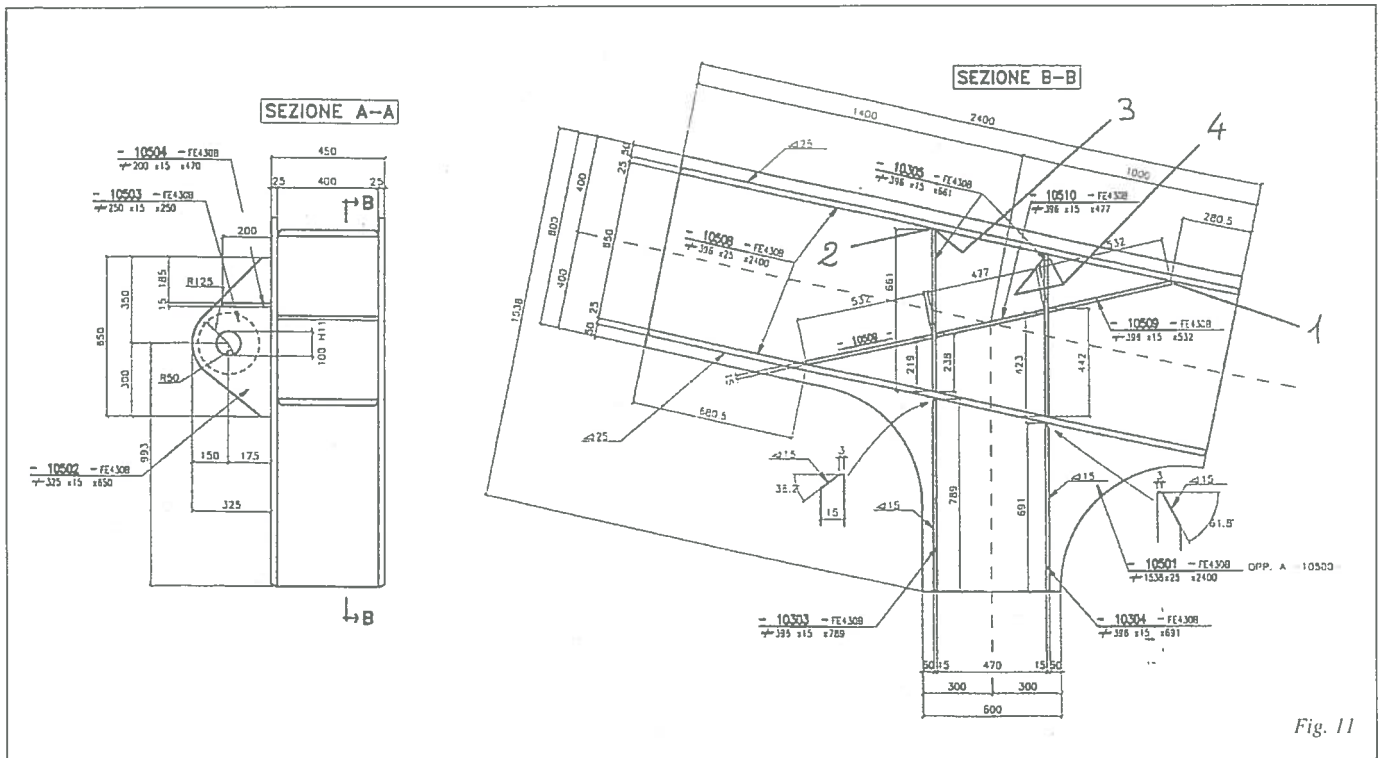


Fig. 11

ne progettuale al livello costruttivo di officina richiede di evidenziare direttamente le modalità e le difficoltà operative.

È in questa delicata fase di transito che il costruttore svolge in collaborazione con il progettista un'azione fondamentale di razionalizzazione delle attività esecutive, fra le quali ricordiamo:

- e) la realizzazione della corretta accessibilità alle diverse componenti dell'elemento in esame
- f) la semplificazione della procedura di saldatura impiegata
- g) la semplificazione della metodologia di controllo non distruttivo impiegata
- h) la limitazione delle deformazioni conseguenti l'esecuzione dei giunti saldati.

La concezione scatolare delle aste ad esempio ha comportato per l'esecuzione dei nodi lo studio ed il rispetto di una sequenza particolare. messa a punto in collaborazione con il progettista nel rispetto delle esigenze tensionali e della fattibilità della posa di tutti gli irrigidimenti previsti, sia per l'ottenimento delle condizioni minime di accessibilità ai lembi dei giunti saldati e quindi del rispettivo livello qualitativo richiesto. In fig.11 viene rappresentato un nodo tipico di composizione delle capriate ed evidenziata la sequenza suddetta.

Il particolare tipico del nodo strutturale costitutivo inferiore e superiore, degli "space-deck", rappresentato in fig. 12, entrambi di tipo reticolare spaziale, ha evidenziato la necessità di eliminare le seguenti difficoltà esecutive:

- i) scarso sostegno del bagno di saldatura durante l'esecuzione del giunto e conseguente alta probabilità del verificarsi di difetti
- j) conseguente difficoltà di esecuzione ed interpretazione dei controlli non distruttivi applicati
- k) estrema difficoltà di rispetto delle geometrie di progetto e conseguente alta probabilità del verificarsi di problemi all'atto della posa in opera e della alterazione degli andamenti tensionali teorici.

La modifica proposta, elaborata e verificata in collaborazione con il progettista ha consentito di superare tutti gli aspetti sopra descritti, comportando senza dubbio un aggravio delle operazioni (rielaborazione delle lunghezze di tutti i profilati

- c) Planning of the construction sequences of the joints welded on site

- d) Planning of the erection sequences.

With regard to the construction, the conversion of design information to operating levels involves a number of practical difficulties and careful assessment of the methods applied. It is during this delicate stage that the building contractor and consultant carry out the basic rationalisation of the implementation operations, among which we should mention:

- e) the provision of suitable access to the various parts of the element under examination
- f) the simplification of the welding procedure employed
- g) the simplification of the non-destructive control method employed
- h) the limitation of deformation consequent to joint welding.

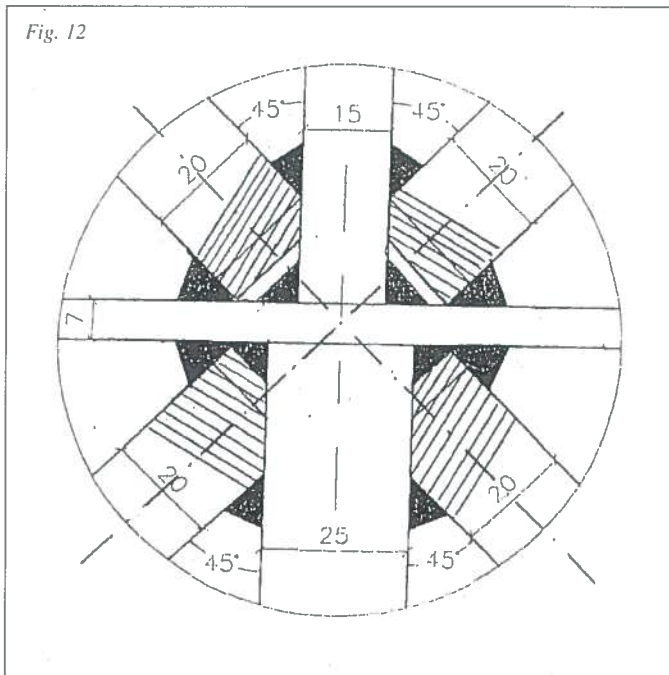
For example, the box section of the members required for the construction of joints, the study and respect of a special sequence, perfected together with the consultant, taking into account the stress requirements and the feasibility of installing all the stiffeners and to achieve the minimum accessibility conditions for the fillets of the welded joints and hence fulfil the quality standard requirements. Fig. 11 shows a typical joint for the composition of the trusses and gives an example of this sequence.

The typical detail of the structural joint in the upper and lower space-decks, both trussed in three dimensions and set out in fig.12, required solutions to the following problems:

- i) poor support of the welding beads during the construction of the joint and hence a strong possibility of producing faults
- j) consequent difficulty in performing and interpreting the non-destructive controls applied
- k) great difficulty in fulfilling the design geometry requirements with a consequently strong possibility of creating problems during the erection phase and creating variations to the theoretical stress patterns.

The modification proposed, developed and controlled together with the consultant enabled us to overcome all the negative features mentioned above. Although this undoubtedly made it

Fig. 12



interessati dalla modifica), ma consentendo una notevole riduzione dei tempi di esecuzione ed un consistente incremento statistico delle possibilità di controllo e verifica del livello qualitativo finale.

6.2 Tolleranze

Il rispetto delle tolleranze prescritte e quindi la corretta impostazione delle successive attività di cantiere ha rappresentato certamente il problema di maggiore importanza.

La posa in opera ad un'altezza dal suolo compresa fra i 28 ed i 40 m di elementi di dimensioni e snellezza così accentuate, attraverso vincoli di tipo a cerniera mutui e con le strutture, non poteva assolutamente concedere spazio ad imprecisioni nelle lavorazioni di officina, che comunque erano destinate a sommarsi a quelle determinate dall'esecuzione dei giunti di cantiere.

D'altro canto gli effetti dell'esecuzione di un giunto saldato sulle caratteristiche dimensionali degli elementi interessati, specie se di piccolo spessore, sono del tutto evidenti.

La programmazione di un semplice premontaggio in officina non poteva rappresentare la soluzione al problema, essendo in grado di produrre "soltanto" una presa di coscienza eventualmente anticipata degli scostamenti comunque verificatisi.

L'unica soluzione concreta è consistita nella realizzazione delle parti destinate ad accoppiarsi contestualizzando sempre le relative fasi di assemblaggio (fig. 13). Si è proceduto secondo una sequenza così articolata:

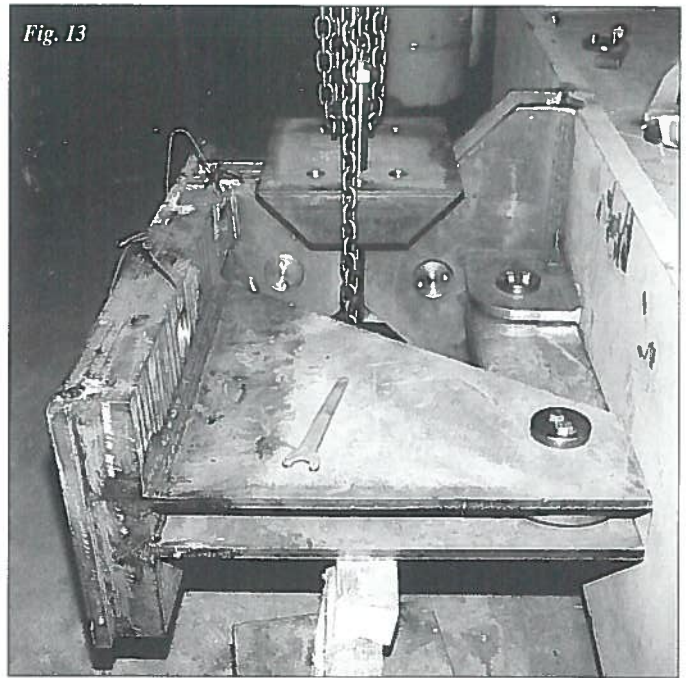
- a) composizione (assemblaggio) separata di ciascuno dei due elementi
- b) accoppiamento degli elementi mediante il vincolo previsto
- c) esecuzione dell'attività di saldatura per l'80% circa del totale previsto
- d) svincolo degli elementi per il completamento dell'attività di saldatura
- e) premontaggio e verifica dimensionale finale.

L'attuazione della metodologia indicata ha consentito di risolvere brillantemente i problemi deformativi connessi con i fenomeni di ritiro a cui sono soggetti i giunti saldati, ottenendo il rispetto delle tolleranze imposte.

6.3 Trasporto e montaggio

Il problema delle tolleranze è stato necessariamente connesso

Fig. 13



necessary to revise the lengths of all the sections involved in the modification, it provided a considerable reduction of the erection time and a considerable statistical increase in the possibilities of controlling and assessing the final quality standards.

6.2 Tolerances

The fulfilling of the prescribed tolerances and the consequent correct organisation of the later activities on site, was undoubtedly the most significant problem encountered.

Erecting elements of such a considerable size and slenderness, through hinge-type or mutual constraints with concrete shafts, at a height between 28 and 40 m from ground level, left no room for inaccuracy in the workshop processes which would be added to those taking place during the on site construction of joints.

On the other hand, the effects of joint welding on the dimensional features of the elements involved, especially if rather thin, are most obvious.

Programming a simple pre-assembly in the workshop was considered as a solution, as this would only produce an awareness in advance of the deviations which were obtained in any case.

The only actual solution consisted in completing the parts intended to be coupled while ensuring that their assembly stages were performed simultaneously (fig.13). The sequence was therefore performed in the following order:

- a) separate assembly of each of the two elements
- b) coupling the elements by means of the intended constraint
- c) the performance of approximately 80% of the total welding operations
- d) release of the elements to complete welding activities
- e) pre-assembly and final dimensional assessment.

The implementation of the method described provided a brilliant solution to the deformation problems related to the shrinkage to which welded joints are subjected, thus achieving adherence to the imposed tolerances.

6.3 Transport and erection

The tolerance problem was necessarily related to the study of the method of transport from the workshop to the building site and then to the hoisting and erecting procedure.

In consideration of the features of the selected hoisting means (crane truck with max. carrying capacity of 5000 kN, assisted

allo studio delle modalità di trasporto dall'officina al cantiere e successivamente di sollevamento e posa in opera.

In considerazione delle caratteristiche del mezzo di sollevamento individuato (autogru della portata massima pari a 5000 kN, coadiuvata da due autogru di appoggio della portata massima rispettivamente pari a 1500 e 1000 kN) e delle quantità e modalità di esecuzione dei giunti in quota, sono state costruite in cantiere, a terra, due coppie di semicapriate, prive della sola parte centrale del corrente inferiore.

Durante le operazioni a terra di assiemaggio e successiva saldatura è stato a tal fine effettuato un controllo topografico particolarmente accurato, sia preventivamente agli accoppiamenti fra i lembi, sia successivamente alle relative deformazioni.

È risultato evidentemente di importanza fondamentale il corretto posizionamento della trave di collegamento di colmo e delle travi di collegamento intermedie, sui punti di vincolo con i nuclei in c.a. Tale correttezza doveva essere ottenuta superando due ordini di problemi:

- a) la compensazione delle diverse tolleranze di esecuzione insite nelle operazioni di getto dei supporti in calcestruzzo e di fabbricazione delle travi metalliche
- b) il posizionamento con precisione dell'ordine del mm in un punto dello spazio distante ca. 10 m dal punto di vincolo, a sbalzo per ca. 8 m, ad una quota di ca. 28 m, della cerniera di un trave alta 4 m.

Il montaggio è avvenuto sequenzialmente iniziando dal sistema colonna in acciaio - controventi orizzontali presenti in mezzzeria procedendo con le travi trasversali di colmo e di estremità e con le semicapriate ed infine con le travi Vierendeel (figg. 14-15).

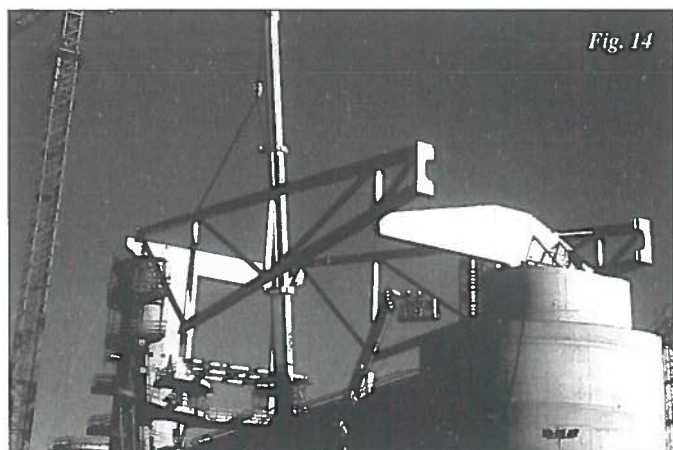
Le lunghezze dei tratti delle briglie inferiori adiacenti alla mezzzeria, sono state aggiustate in base a rilievo effettuato dopo il montaggio delle semicapriate.

La stabilità delle strutture è stata assicurata da elementi di collegamento appositamente previsti allo scopo.

L'assemblaggio degli impalcati tipo "space-deck" è avvenuto mediante bullonatura a piè d'opera fino a costituire pannelli di larghezza pari a due moduli e lunghezza pari a quella di appoggio sui correnti delle capriate; il montaggio è avvenuto con l'ausilio di gru a torre già presente in cantiere.

7. STRUTTURE SECONDARIE

All'interno delle strutture principali sono costruite strutture secondarie per il supporto delle facciate e della copertura delle sale centrali, che è ribassata rispetto alle falde della capriata, in modo da conferire all'interno un più armonico rapporto delle dimensioni dei locali ed all'esterno la vista passante attraverso la zona sottostante il colmo della capriata.



by two auxiliary crane trucks with a max. carrying capacity of 1500 and 1000 kN respectively) and the number and method of constructing the joints on site, two pairs of semi-trusses, without the central part of the lower stringer, were assembled on site at ground level.

During the ground assembly operations and subsequent welding, a particularly accurate topographic control was performed, both before the edge coupling and after the relevant deformations.

The exact positioning of the ridge and the intermediate connecting beams at the constraint points on the concrete shafts was clearly of fundamental importance. The necessary precision was achieved by overcoming two kinds of problem:

- a) the compensation of the different performance tolerances of the concrete column casting operations and the manufacture of the metal beams
- b) the positioning with millimetric precision of the hinge of a beam approx. 3.8 m deep in a point approximately 10 m from the constraint point, cantilevered for approx. 8 m, at a height of approx. 28 m.

The erection started with the steel column-horizontal bracing system of the middle section, followed by the transverse ridge and end beams and finally the main truss halves and Vierendeel beams (figs. 14-15).

The lengths of the intermediate parts of the lower chords were adjusted in line with a survey carried out after the erection of the main truss halves.

The stability of the structures during erection was obtained by means of specially designed connection members.

The assembly of the decks was performed at ground level by means of bolts in order to build units with a two module width and a length corresponding to the distance of the main truss chords. The erection was performed by the tower crane already operating at the site.

7. SECONDARY STRUCTURES

Inside the main structures, secondary load resisting units are necessary to bear the facades and the roof of the central hall, which lies at a lower level beneath the pitches, to obtain a more harmonic ratio of the dimensions of the inner space and to give the trusses a transparency below the ridge.

The northern facade middle section is shaped according to a



La facciata anteriore ha andamento curvilineo ad emiciclo che ripropone l'elemento architettonico circolare della scala in calcestruzzo armato; la struttura verticale prende appoggio su un profilo scatolare sovrapposto a quello dell'impalcato ed è contrastata in alto dalle travi e dalla controventatura della copertura secondaria che scaricano le spinte orizzontali su strutture verticali laterali fissate fra la copertura principale e l'impalcato.

Il rivestimento è costituito, dall'esterno verso l'interno, da pannelli di alluminio, pannelli isolanti, pannelli di rivestimento in gesso.

8. MASSA DELLE STRUTTURE

La massa delle strutture risulta come segue:

- travi trasversali a cassone di estremità	kg	95.000
- trave trasversale a cassone centrale	kg	35.000
- capriate	kg	310.000
- travi Vierendeel	kg	28.000
- impalcato inferiore	kg	140.000
- impalcato copertura	kg	120.000
- altre strutture	kg	90.000
- baraccatura di facciata	kg	42.000
Totale	kg	860.000

9. PERSONALIA

I consulenti che hanno approntato la progettazione completa ed integrata secondo le istruzioni della Direzione del Progetto di Riqualficazione e Sviluppo dell'E.A.Fiera sono:

- Mario Bellini Associati per la progettazione architettonica
- Redesco srl, (Studio Giuliani) per la progettazione e le specifiche strutturali (dr. ing. C.Carini per la modellazione strutturale; dr. ing. G.Valentini per la progettazione dei componenti meccanici)
- Intertecno srl per la progettazione impiantistica
- SPI (Soc.Prog.Integrali) per i computi e le specifiche civili
- Dr. ing. A. Vettese per la Direzione del Progetto E.A.Fiera

A seguito di appalto internazionale è risultato aggiudicatario dei lavori di costruzione "chiavi in mano" il consorzio costituito da: CMC / Recchi / G. Maltauro / E. Frabboni / CGC / Italtel Telesis / Kone.

I controlli della esecuzione delle saldature sono stati effettuati da IIS (Istituto Italiano della Saldatura).

Le strutture in acciaio sono state realizzate e montate dalla soc. MAEG (TV) (figg.16-17).

cylindrical surface which mirrors the circular reinforced concrete stair shaft; the vertical structure bears on a box beam which is superimposed on the deck elements, with its top restrained by the beams and the braces of the secondary roof, which transfer the horizontal forces to a pair of vertical trusses resisting the shear forces.

The facades are composed of outer aluminium panels, insulation and plaster drywalls.

8. MASS OF THE STRUCTURES

The mass of the structures can be obtained from the following items:

- end transverse box beams	kg	95.000
- middle box beam	kg	35.000
- Vierendeel beams	kg	28.000
- main trusses	kg	310.000
- lower space deck	kg	140.000
- upper space deck	kg	120.000
- secondary structures	kg	90.000
- facade structures	kg	42.000
Total	kg	860.000

9. CREDITS

The consultants who prepared the complete integrated design according to the requirements of the Direction of the Project for the Upgrading and Development of the Milan Trade Fair, represented by A. Vettese, are:

- Mario Bellini Associates for the architectural design
- Redesco srl (G.C and M. E. Giuliani for the structural design and specifications, C. Carini for the structural modelling, G. Valentini for the design of the machined components)
- Intertecno srl for the mechanical design
- SPI for the quantity surveying and civil works specifications

As the result of an international tender, the "turnkey" construction work was carried out by a joint venture made up of: CMC / Recchi / Maltauro / Frabboni / CGC / Italtel Telesis / Kone.

The control of the welding was performed by IIS (Istituto Italiano della Saldatura), and the steel structures were built and erected by MAEG (figs. 16-17).



Fig. 16



Fig. 17