

Complesso Fiera del marmo a Marina di Carrara

Dott. Ing. Sabatino Procaccia,
IN.CO. S.p.A., Milano
Prof. Ing. Massimo Majowiecki,
Bologna

A Marina di Carrara in località Paradiso è sorto recentemente un complesso fieristico destinato ad ospitare la Fiera internazionale dei marmi e delle macchine connesse alla lavorazione (fig. 1).

Il complesso sorge su un terreno di circa 48.000 m², in prossimità del mare. La planimetria generale (fig. 2) mostra una disposizione allungata, parallela circa al mare, dal quale il complesso è separato oltre che dall'arenile, anche da una fascia di pineta.

La scelta di Marina di Carrara, oltre

a richiamarsi alla capitale storica della lavorazione del marmo, risulta felice in quanto la cittadina è facilmente accessibile da altre località legate a tale industria e permette un facile sbocco a mare o ad importanti nodi della rete stradale per le attività di trasporto all'estero o all'interno del paese.

Per l'afflusso ed il deflusso dei visitatori il Piano Regolatore prevede un insieme di strade che circondano il terreno, ad anello, collegandolo sia al centro di Marina, sia alla viabilità esterna verso nord: dalle tavole del

Piano Regolatore appare evidente che la direttrice preferenziale è appunto quest'ultima, in quanto consente di pervenire rapidamente alla stazione autostradale.

In questo spirito, il progetto guida prevede i tratti di collegamento all'abitato di Marina, in strade pedonali, al fine di privilegiare la provenienza dominante.

All'interno dell'area, si è dovuto dare alle zone verdi un modesto rilievo, essendo lo spazio pressoché tutto necessario per le attività espositive



Fig. 1. Vista panoramica del complesso fieristico.

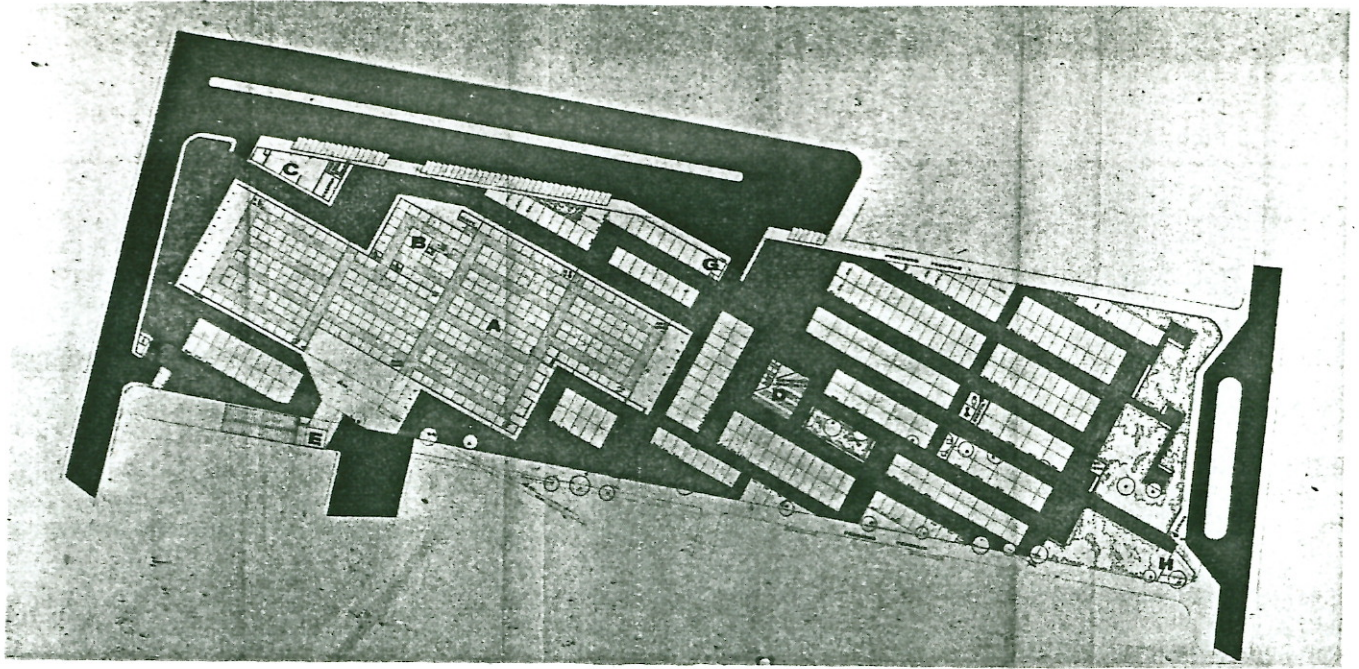


Fig. 2. Planimetria del complesso.

ed avendosi un'ampia disponibilità di verde all'esterno della Fiera, sia a monte che verso il mare.

Si sono comunque salvaguardati gli esistenti filari di palme che sono stati integrati per le piante mancanti e la cui presenza contribuisce a rendere gradevole l'aspetto generale del complesso fieristico.

La soluzione compositiva

Per la soluzione distributiva si sono esaminate diverse possibilità comprese quelle a due o più corpi distinti, tendenti a realizzare così funzioni polivalenti.

Si è ritenuto più opportuno adottare uno schema ad un solo padiglione di forma però libera (fig. 3), con molteplici di pianta, il cui asse, come già detto, si orienta su direttrici diagonali. Il corpo vario ed articolato che ne è risultato consente di raggiungere i seguenti obiettivi:

- polivalenza di usi per la facilità di ottenere spazi ridotti omogenei, idonei agli impieghi più diversi
- pari appetibilità espositiva delle varie zone interne, in quanto tutte appartenenti ad una stessa unità funzionale
- prospettive varie e suggestive all'interno, essendo sfalsati e differenziati i quattro grandi ambienti risultanti
- ricchezza di movimento planivolumetrico per le viste esterne ed inserimento nell'ambiente circostante, interpretandone idealmente le caratteristiche.

Gli ingressi pedonali sono distinti da quelli carrai data la diversa attrezzatura che richiedono, essendo per il pubblico indispensabile disporre di doppie porte, mentre per i mezzi meccanici occorrono le medesime possibili altezze libere.

Gli ingressi del pubblico sono poi in numero ed in posizioni tali da soddisfare a diverse esigenze:

- facilità di accesso dall'intero perimetro

— elevato grado di sicurezza in rapporto alla eventualità di rapida evacuazione

- possibilità di rendere autonomi spazi o settori specifici
- rapidità di collegamento ai servizi generali.

Il numero dei box interni elementari è di 247. Essi sono tutti separabili mediante la installazione di pareti mobili autoportanti che non richiedono particolari ancoraggi al pavimento.

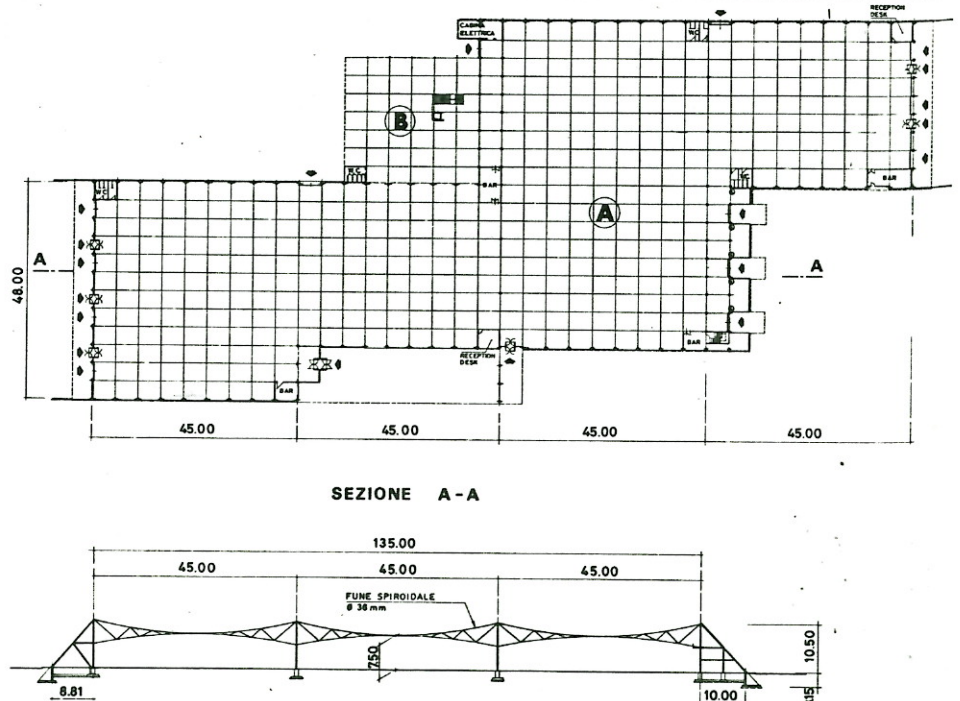


Fig. 3. Planimetria distributiva.

Le alimentazioni (luce, forza motrice, telefono, acqua), nonché la messa a terra e gli scarichi sono addotte a tutti i box mediante cunicoli trasversali alle corsie, con copertura metallica asportabile.

Distribuiti nei vari settori del padiglione si hanno n. 4 box e n. 2 gruppi di servizi igienici cui si aggiungono altri due gruppi entro la piattaforma che sta alla base della palazzina servizi.

In prossimità dei due ingressi più importanti sono stati localizzati due spazi destinati a Reception Desk, immediatamente reperibili dal pubblico. All'esterno, si hanno complessivamente n. 213 box di dimensioni 5 m x 8 m, nonché n. 40 stand di dimensioni 6 m x 10 m.

Le corsie hanno una larghezza di 7 m. Box e stand sono serviti da canalizzazioni poste in polifore facenti capo a colonnette fisse che servono da due a quattro spazi elementari.

Anche all'aperto si ha una distribuzione diffusa di servizi in quantità adeguata.

Gli ingressi sono dotati di biglietterie attrezzate.

Dall'insieme delle esigenze di spazio disponibile e di interconnessione tra servizi all'aperto ed al coperto è scaturito un padiglione principale a pianta con più rettangoli rialzati.

In corrispondenza di una delle rientranze planimetriche del fabbricato principale (capannone A), in posizione baricentrica e compenetrandosi funzionalmente al livello del piano espositivo si è disposta sul lato est la palazzina uffici.

Questo corpo è realizzato attualmente nella sua prima fase, vale a dire con due soli piani oltre ad un ammezzato. Questo fabbricato (palazzina B) dispone al piano superiore di una sala convegni modernamente attrezzata per le attuali esigenze negli scambi tecnici ed informativi a livello internazionale.

Nella sua configurazione finale la palazzina B verrà rialzata fino a 7 piani (pilastri e fondazioni sono già dimensionati allo scopo) venendo a costituire così l'elemento verticale che darà più slancio al complesso, che

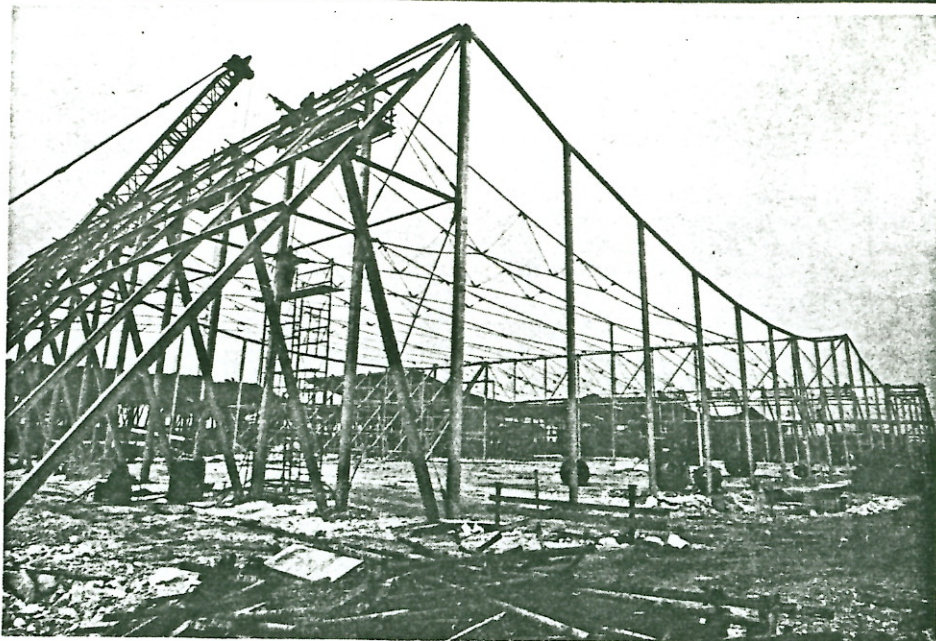


Fig. 5. Il padiglione fieristico durante il montaggio: vista esterna.

per il resto è a sviluppo prevalentemente orizzontale, ingentilito dall'uso della tensostruttura, che con il suo particolare andamento ricco di curve e di cuspidi, movimentata ed arricchita

lo spazio adibito a capannone. La figura 4 mostra i prospetti principali del fabbricato, così come le figure 5 e 6 ne evidenziano alcuni dettagli.

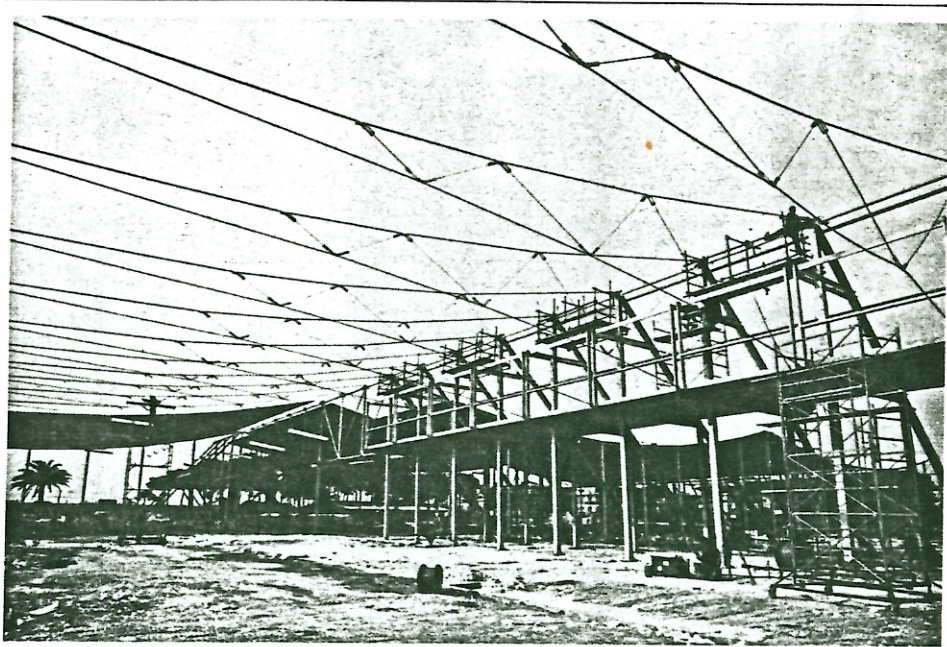


Fig. 6. Il padiglione durante il montaggio: vista interna.

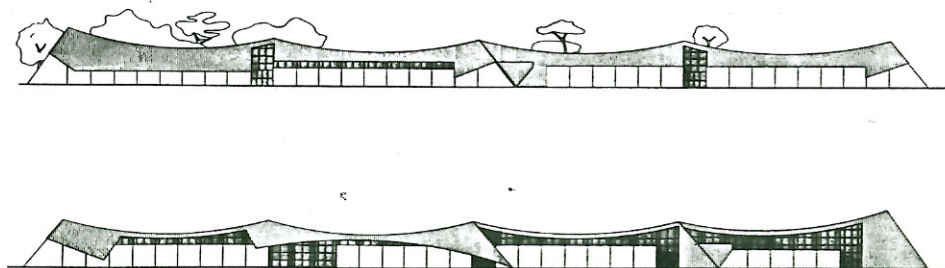


Fig. 4. Prospetti lato Carrara e lato mare.

La soluzione funzionale

Gli spazi interni sono stati idealmente divisi in scacchi di 4 m x 5 m, ponendosi il lato di 5 m parallelamente alle funi della tensostruttura (fig. 7).

Ad ogni due file affiancate di box è stata inserita una corsia che risulta pertanto larga 4,00 m, misura sufficiente per un agevole movimento delle gru semoventi.

Il fronte dei box, ai fini del maggior possibile fronte espositivo, è quindi di 5,00 m. Si hanno poi corsie trasversali, assai utili al fine della libertà del movimento interno sia in fase di allestimento che di esposizione.

In corrispondenza delle corsie si è collocato, generalmente ad entrambi gli estremi, un accesso carraio, onde facilitare l'ingresso delle merci ingombranti, e favorire un rapido allestimento degli stands espositivi.

ne generale era stata affidata dalla Internazionale Marmi e Macchine agli Architetti Silvestro Telara, Giancarlo Cacciatori e Dino Geloni di Carrara con il coordinamento dell'Ing. Giorgio Conato di Bologna e la consulenza per la tensostruttura dell'Ing. Massimo Majowiecki e per gli impianti dell'Ing. Anteo Girombelli.

L'appalto è stato aggiudicato alla Impresa Edilizia Tirrena di La Spezia che ha affidato la progettazione esecutiva alla IN.CO. S.p.A. di Milano per conto della quale l'Ing. Sabatino Procaccia ha curato il progetto esecutivo e seguito i lavori in cantiere; la direzione dei lavori è stata compiuta dall'Ing. Alberto Dazzi affiancato per gli aspetti artistici ed architettonici dai progettisti dal progetto guida.

La tipologia strutturale del fabbricato principale è la tensostruttura. Si tratta nel caso specifico di una serie di tensostrutture a travi piane for-

La variabile dominante del problema è, evidentemente, legata alla scelta di grandi luci libere senza ostacoli strutturali intermedi (fig. 7). Principalmente da quest'ultima variabile o ipotesi progettuale, ne è conseguita l'adozione di tensostrutture piane quale soluzione ottimale del problema.

L'orditura delle tensostrutture è stata condotta in modo da seguire la distribuzione in pianta delle aree o corpi di fabbrica costituenti l'edificio in questione. Si è già fatto rilevare che le tensostrutture sono state ordite parallelamente tra di loro a interassi costanti di 4,00 m.

Per seguire l'andamento irregolare in pianta sono state necessarie 4 tipologie differenti di tensostrutture così divise:

- Tensostrutture ad 1 campata
- Tensostrutture a 2 campate asimmetriche
- Tensostrutture a 2 campate simmetriche
- Tensostrutture a 3 campate.

In sezione le tensostrutture sono tutte formate da:

— una fune superiore \varnothing 34 mm spirroidale, zincata in ogni filo elementare con min 200 g/m² di deposito di zinco, con resistenza minima di ogni filo elementare $\sigma_{rott} \geq 160$ kg/mm²;

— una fune stabilizzante \varnothing 24 mm, con le stesse caratteristiche della fune portante;

— collegamenti diagonali in tondo d'acciaio tipo 2 ($\sigma_{am} = 2400$ kg/cm²) \varnothing 18 mm zincato, dotato di opportune forcelle a U;

— morsetti ad attrito in lega d'alluminio dotati di bulloni di serraggio di classe 8,8.

Dal punto di vista geometrico le tensostrutture hanno i seguenti dati:

- luce libera (L) = 45 m
- freccia f. portante = 2,95 m
- freccia f. stabilizzante = 2,13 m
- distanza fra ancoraggi = 5,20 m
- numero di collegamenti = 12
- pendenza per smaltimento acqua = $1 \div 1,5\%$.

Calcolo delle tensostrutture

Criteria di calcolo

Il calcolo delle tensostrutture comprende la ricerca della geometria iniziale e la successiva verifica delle varie fasi di caricamento, correlando nelle varie fasi lo stato di tensioni a quello di deformazione e procedendo al calcolo per successivi incrementi di carico con il cosiddetto metodo « step by step ».

Il calcolo viene condotto nel discreto, considerando la struttura come un insieme formato di elementi ad asta in stato di sollecitazione monoassiale.

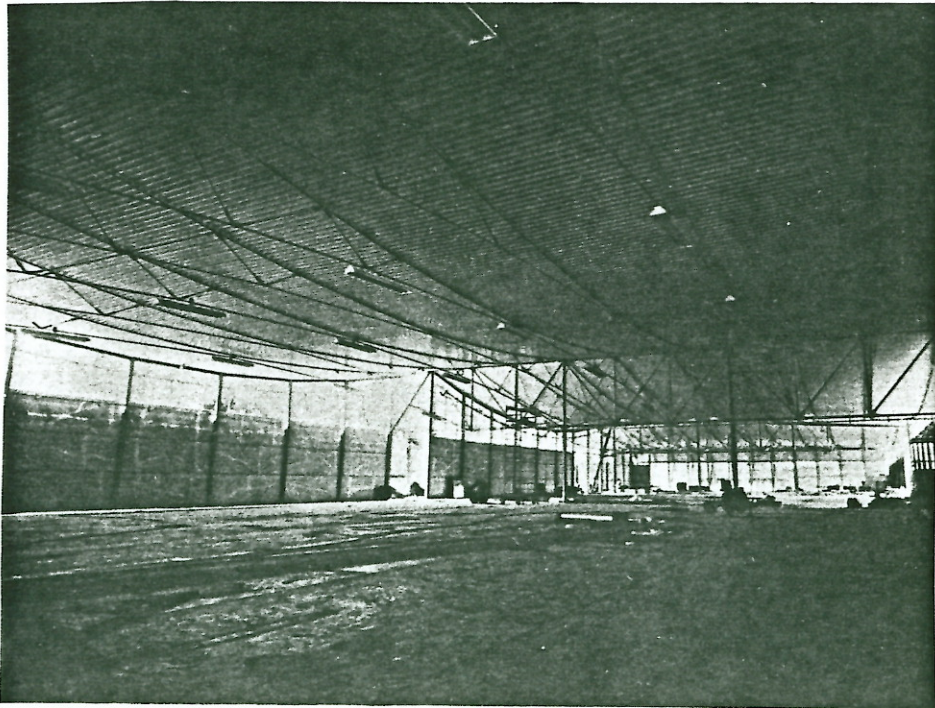


Fig. 7. Veduta dell'interno finito.

La soluzione tecnica strutturale

Il complesso è stato realizzato con il sistema dell'appalto concorso pilotato, vale a dire l'esecuzione ha avuto luogo in base ad un progetto guida consegnato alle imprese in fase di concorso.

Ciò ha permesso l'esecuzione dei lavori in tempi sorprendentemente brevi. Iniziate nel novembre 1979 le opere sono state ultimate (tranne alcuni padiglioni accessori come la mensa) agli inizi di maggio, onde consentire il frenetico allestimento degli stands e la prevista inaugurazione della Fiera il 31 maggio 1980. La progettazio-

mate da funi a curvatura contrapposta; come collegamento tra la fune superiore (portante) e la fune inferiore (stabilizzante) si sono disposti elementi diagonali costituiti da tondini in acciaio muniti di appositi attacchi e da opportuni regolatori. Una trave così concepita, detta trave Jawerth, è ormai largamente collaudata in varie ed importanti realizzazioni in Italia e soprattutto all'estero.

L'adozione della suddetta tipologia strutturale scaturiva quale soluzione di un problema di ottimizzazione di variabili di progetto che includevano aspetti figurativi, distributivi, architettonici, tecnici ed economici.

Nel caso specifico il dimensionamento di massima è risultato abbastanza agevole con l'uso delle formule e degli abachi riportati nella letteratura tecnica sull'argomento mentre il calcolo esecutivo della geometria, ai fini sia del montaggio che della diversificazione necessaria a creare le pendenze atte allo scolo delle acque piovane, è stato compiuto mediante elaboratore elettronico dai tecnici e dai consulenti della Tensoteci, fornitrice delle tensostrutture e responsabile della loro messa in opera.

Condizioni di carico

Nella figura 8 sono illustrate le 7 condizioni di carico e i relativi schemi in conformità alle normative vigenti per quanto riguarda l'entità dei sovraccarichi accidentali e ad assunzioni di progetto desunte da precedenti esperienze su strutture analoghe.

- I carichi di base considerati sono:
- peso proprio 35 kg/m²
 - neve 60 kg/m²
 - vento 100 x 0,75 x 0,8 = 60 kg/m²
- coefficiente aerodinamico del vento:
- c = -0,8 per la parte stagna
 - c = -1,2 per la parte a pensilina.

I risultati ed i criteri di verifica

Nella tabella 1 sono riassunti i risultati più significativi riguardanti lo stato di deformazione e di sollecitazione della struttura.

Per la condizione di carico 7, particolarmente significativa, si possono osservare i risultati automatici su plotter della configurazione iniziale della deformata in figura 9.

L'American Iron and Steel Institute (AISI) raccomanda dei criteri di verifica che possono essere accettati. Le verifiche consigliate sono le seguenti:

- a) UL = 1,5 DL + 3 LL
- b) UL = 2,5 (DL + LL)
- c) UL = 2 (DL + LL + WL)
- d) UL = 2 (EL)

dove:
 UL = carico di rottura della fune
 DL = sollecitazione provocata dall'azione di peso proprio
 LL = sollecitazione provocata dall'azione di neve
 WL = sollecitazione provocata dall'azione del vento
 EL = sollecitazione durante le fasi di montaggio e presollecitazione.

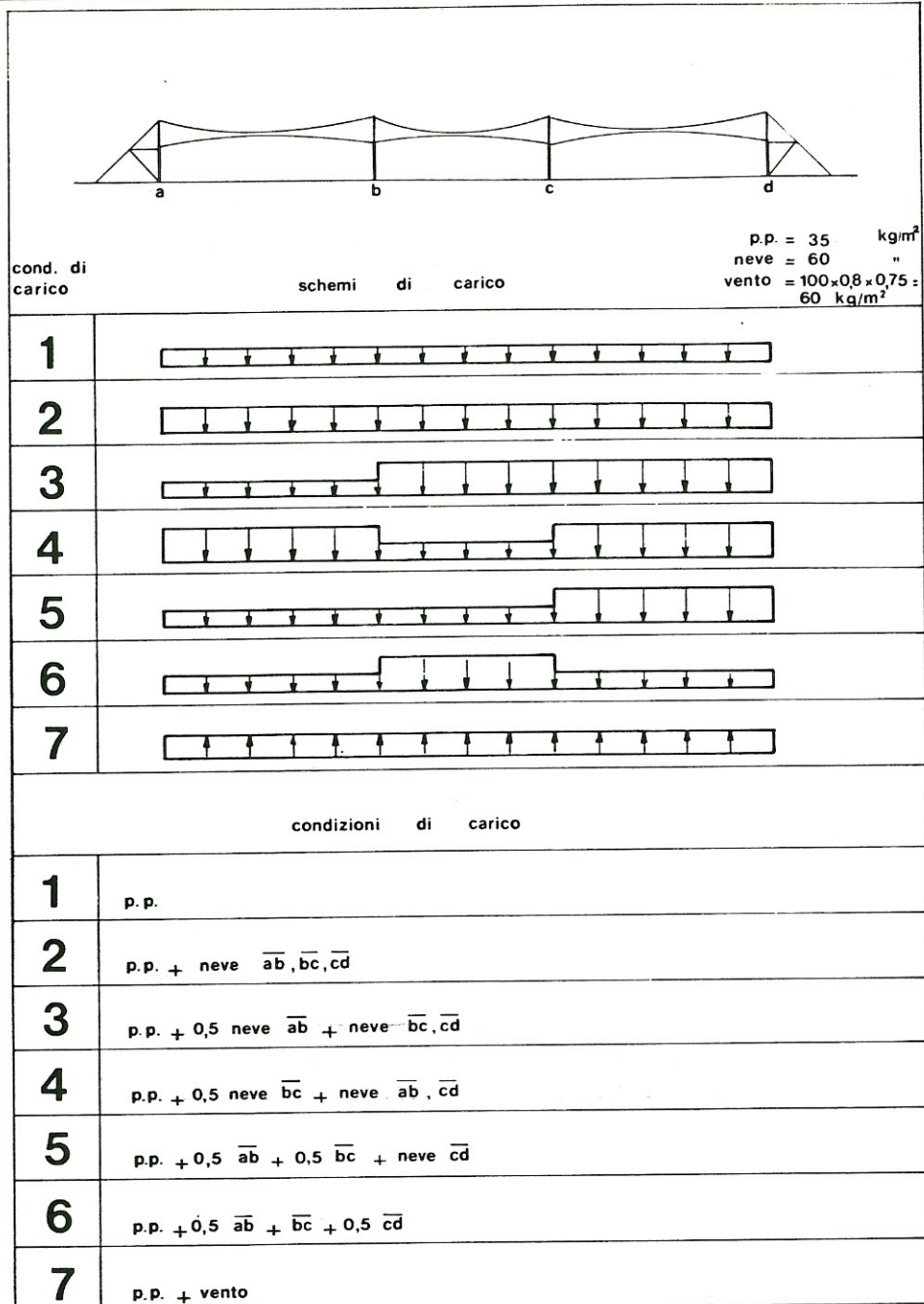


Fig. 8. Prospetto delle condizioni di carico.

TABELLA 1

Condiz. di carico	Max sollecitazioni		Max deformazioni verticali		Max deformazioni orizzontali	
	Asta	Sforzo	Nodo	Freccia (cm)	Nodo	Spostam. (cm)
1	36 e 37	21 352,7	—	—	—	—
2	33 e 40	34 103,5	7 e 8	20,3	2	0,7
3	32	34 455,7	23 e 24	31,7	15	4,3
4	25 e 48	35 077,8	7 e 8	32,6	15	-4,7
5	25	34 245,7	39 e 40	31,9	31	4,6
6	33 e 40	31 598,1	23 e 24	44,5	15	4,9
7	21 e 24	21 683,9	7 e 8	-26,5	2	-0,7

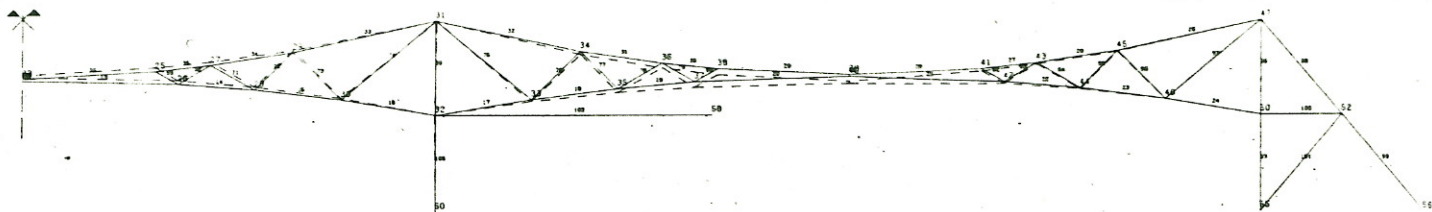


Fig. 9. Diagramma «plotter» della condizione di carico «7» (vento in depressione) ottenuto dopo aver effettuato una sequenza al video display.

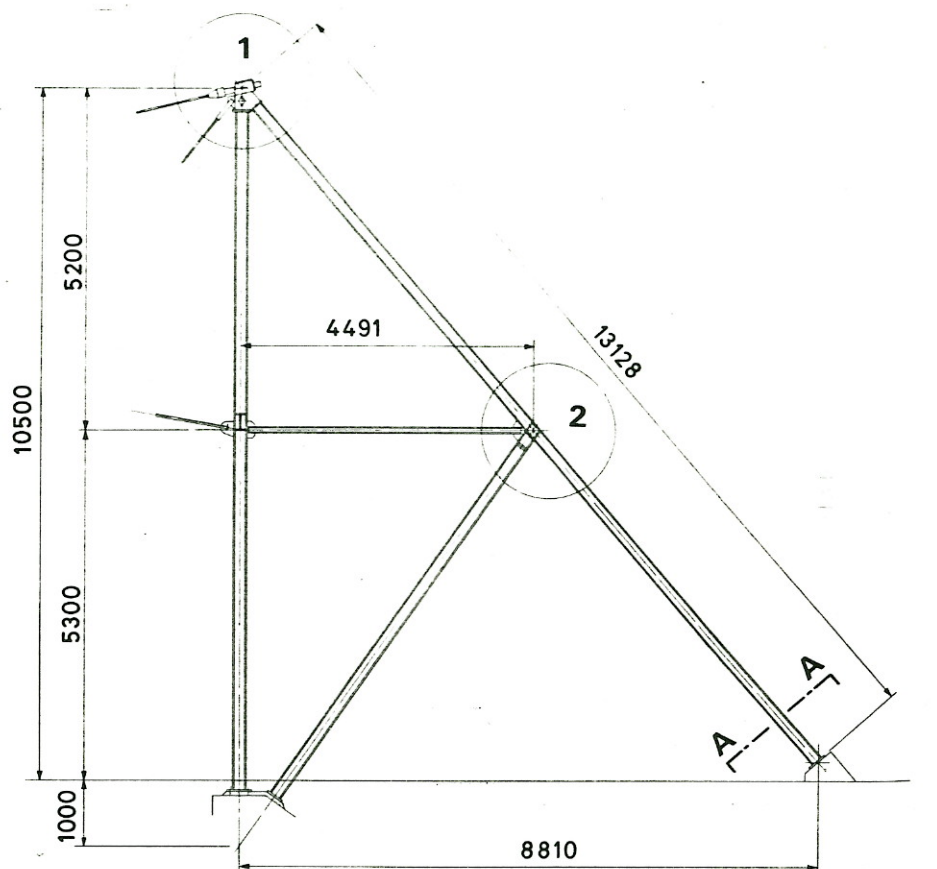
a rottura, il grado di affidabilità è notevole. Infatti le funi e i suoi particolari d'ancoraggio sono automaticamente collaudati su banco di prova, in fase di stabilizzazione del modulo elastico. Questi vengono infatti sollecitati ad un carico minimo corrispondente allo 0,55% della rottura, che risulta generalmente superiore al carico massimo in fase di esercizio. Si evita così l'evidenziarsi di qualsiasi inconveniente in fase di montaggio in sito.

L'esecuzione

Il lavoro fu affidato all'Impresa ai primi di ottobre; dopo si diede inizio immediatamente allo studio esecutivo delle strutture e contemporaneamente ad una serie di saggi e di prove penetrometriche e di laboratorio per determinare la capacità portante del terreno. Data l'ampiezza e l'estensione della zona i risultati non furono dappertutto omogenei dovendosi prevedere in alcune zone, specie dove si ritrovarono lenti più o meno importanti di argille organiche, a particolari provvedimenti riguardanti in genere il blocco di calcestruzzo di sottofondo da cui si fece sporgere una adeguata armatura di collegamento ai plinti in c.a. gettati in opera.

La variazione più rilevante apportata in fase esecutiva, in accordo con il committente ed i suoi consulenti, fu quella di uniformare le luci delle travi a più campate unificando tutte le campate nella misura di 45,0 m (contro la sequenza 50-40-50 prevista nel progetto guida). Da tale unificazione in fase esecutiva derivò altresì la diversificazione del tipo dei cavalletti di ancoraggio delle travi a funi contrapposte.

Infatti ai tipici cavalletti previsti (vedere figura 10 - cavalletti tipo A) si sono sostituiti cavalletti di diversa forma (vedere figura 11 - cavalletti tipo C) che hanno permesso il mantenimento dei percorsi e degli spazi previsti. Mediante l'adozione di solai in c.a. gettati su lamiere grecate i cavalletti tipo C hanno permesso di ricavare all'interno del volume del capannone espositivo ampie superfici destinate a servizi ed a uffici (per una area di circa 1 000 m²) che risulteranno complementari a quelli ricavati nella palazzina B e da ricavare nella so-



PARTICOLARE 1

PARTICOLARE 2

SEZ. A-A

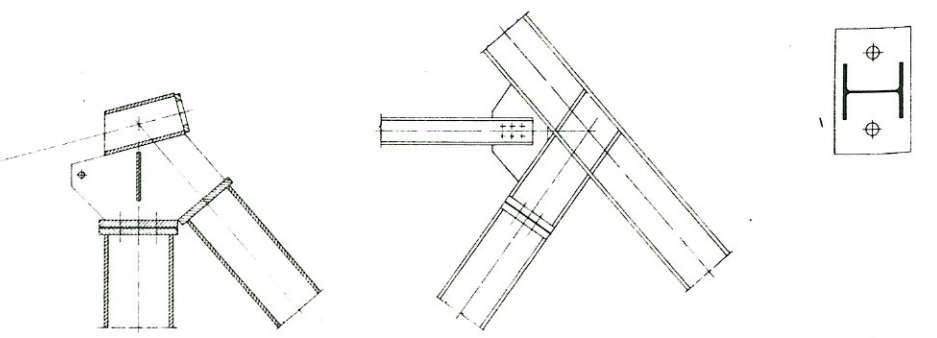
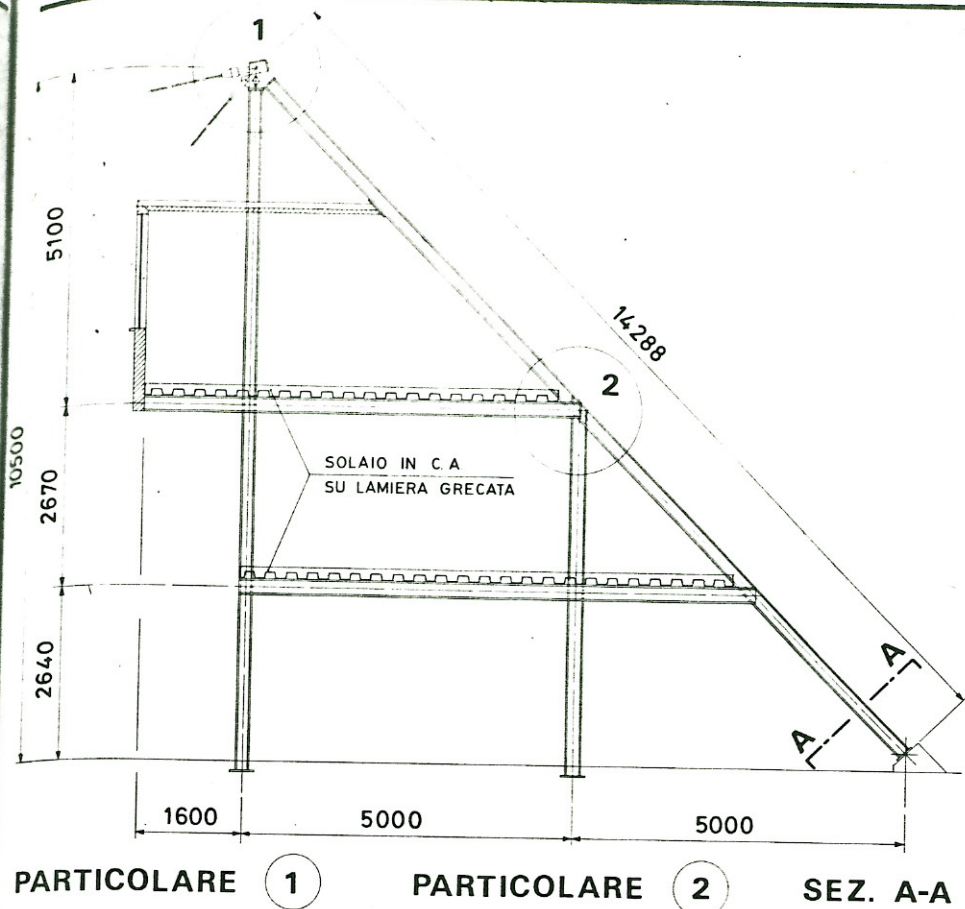


Fig. 10. Cavalletti tipo «A» e particolari.

praelevazione della stessa, attualmente in corso d'opera.

Ovviamente queste decisioni hanno comportato in opera una stretta collaborazione tra esecutori, ufficio di progettazione esecutiva, direzione lavori e consulenti del committente.

E' opinione degli scriventi che l'impiego della tensostruttura e delle strutture portanti in acciaio abbia permesso alla volontà comune di tutti i partecipanti il raggiungimento di tempi di esecuzione estremamente ridotti.



PARTICOLARE 1 PARTICOLARE 2 SEZ. A-A

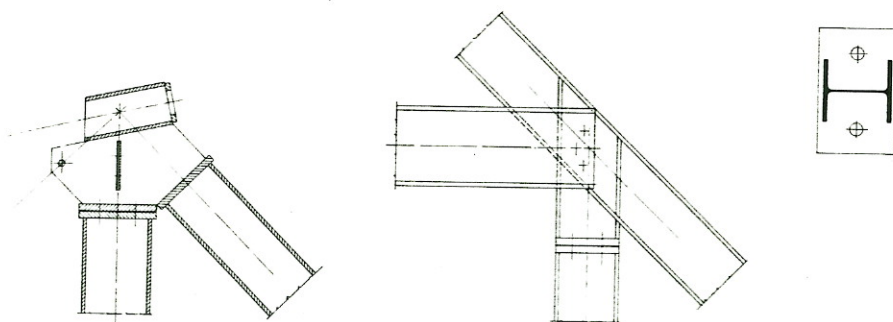


Fig. 11. Cavalletti tipo « C » e particolari.

La figura 12 mostra il sistema di ancoraggio del tiro esercitato dalle funi superiori (o portanti) delle travi di tipo Jawerth. L'ancoraggio è previsto mediante cucitura del tirante

metallico, costituito da un profilo commerciale tipo HE, al corpo morto in c.a. adottando delle barre di pre-compressione di tipo Dywidag (in numero di 2 per tirante posteriore).

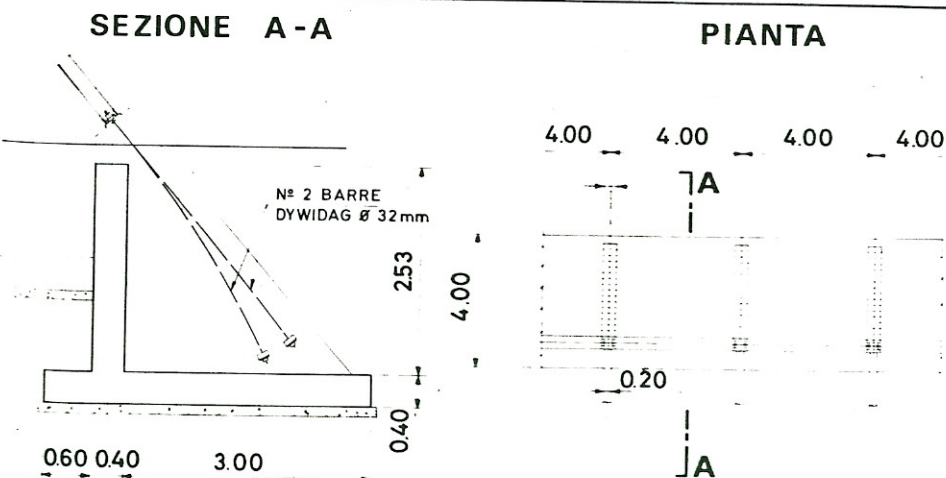


Fig. 12. Ritegno del tirante posteriore dei cavalletti di ancoraggio delle tensostrutture.

La carpenteria metallica è stata costituita e montata dalla COMETAL di Parma per conto dell'Impresa Appaltante.

La copertura adotta lamiere grecate tipo Robertson protette ad entrambe le facce, con trattamento Versacor in quella superiore, ancorate saldamente alle funi mediante speciali morsetti disposti ad agganciare la fune ogni 20 cm lungo tutto il loro sviluppo. Il pacchetto di coibentazione tipo ISOLBAC e di impermeabilizzazione mediante due guaine dovrebbe garantire per almeno 10 anni la perfetta tenuta e conservazione della copertura, che nell'ancora breve periodo di esercizio ha dimostrato un comportamento più che soddisfacente.

Dalla figura 13 si possono rilevare le finiture eseguite: pareti in cemento bianco, con pannelli prefabbricati di 16 cm di spessore alleggeriti internamente per uno spessore di circa 6 cm ripieno di fibre artificiali. A completare le facciate sono stati disposti, secondo un accurato studio degli Architetti autori del progetto guida nel loro ruolo di consulenti in corso d'opera, delle alternanze di superfici vetrate e di superfici in lamiera grecata, ottenendosi un aspetto sia interno che esterno vario e piacevolmente funzionale.

Alla esecuzione dell'opera hanno contribuito direttamente maestranze e tecnici per oltre 200 unità, per oltre 30 000 giornate lavorative in tutto, nel breve arco di 180 giornate solari consecutive.



Fig. 13. Vista del padiglione terminato.

Il collaudo

Per poter eseguire una prova di collaudo della struttura, oltre quelle consuete che riguardano la prestiratura delle funi e le prove non distruttive sulle strutture in sito, oltre quelle distruttive e/o non distruttive sui materiali impiegati si è realizzata, di concerto con il Collaudatore Professor Luca Sanpaolesi dell'Università di Pisa, una serie di prove di carico diretto sulla tensostruttura. Ciò, vista anche la maggiore importanza e

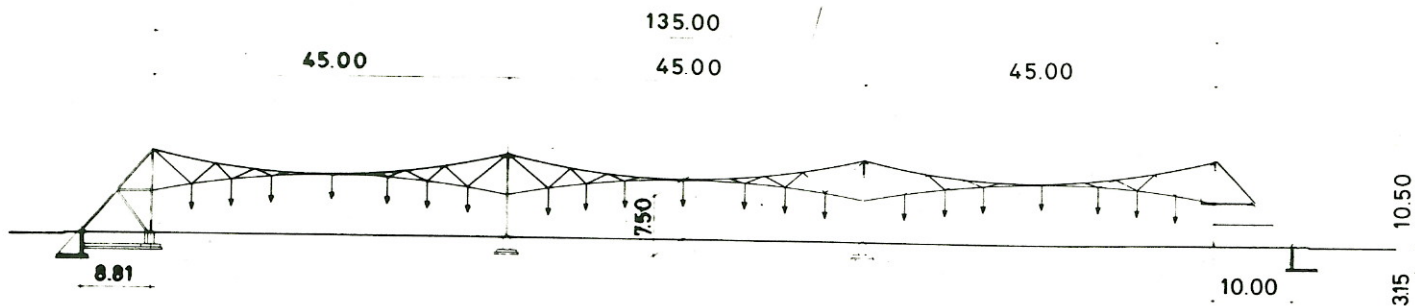


Fig. 14. Schema di carico per il collaudo statico.



Fig. 15. Veduta dell'ingresso principale (lato mare).

mole della struttura qui illustrata rispetto ad altre analoghe precedentemente realizzate in Italia.

Si è proceduto alle prove di collaudo (fig. 14) prima di eseguire il manto di copertura onde non disturbare la realizzazione del pacchetto superiore di isolamento di impermeabilizzazione. Inoltre ciò avrebbe permesso, nell'ipotesi concettualmente da mettere in conto e cioè di esito negativo del collaudo di una struttura singola o di parte di essa, di operare una pronta riparazione o sostituzione senza incidere nel buon esito tecnico dell'opera e ripercuotendosi in modo minimo nei tempi di esecuzione.

Le prove condotte al 100% del carico teorico hanno dato risultati in buon accordo con le previsioni di

deformazione ed hanno dimostrato un comportamento elastico.

Val la pena rilevare, a onore di tutti quelli che hanno operato nelle varie fasi di esecuzione dell'opera, che il collaudo così fatto doveva porre a cimento tutte le strutture: fondazioni, rinterri, pavimenti, ancoraggi in c.a., barre di precompressione di cucitura ai corpi morti, strutture metalliche ed infine le funi di acciaio, i loro ancoraggi ed i diagonali di collegamento.

Progetto ed esecuzione

Committente: Internazionale Marmi e Macchine, Carrara.

Progettazione generale: Architetti Silvestro Telara, Giancarlo Cacciatori e Dino Geloni, Carrara.

Coordinamento: Ing. Giorgio Conato, Bologna.

Calcolo della tensostruttura: Ing. Massimo Majowiecki, Bologna.

Consulenza per gli impianti: Ing. Anteo Girombelli, Bologna.

Ditta appaltatrice: Impresa Edilizia Tirrena S.p.A., La Spezia.

Progettazione esecutiva: IN.CO. S.p.A. Milano.

Progetto esecutivo: Ing. Sabatino Procaccia, Milano.

Direzione lavori: Ing. Alberto Dazzi, Carrara.

Ditta fornitrice delle tensostrutture e messa in opera: Tensoteci, Milano.

Montaggio carpenterie metalliche: COMETAL, Parma.