

**MEMBRANA A DOPPIO STRATO
PER LA COPERTURA DEL PALAZZETTO
DELLO SPORT DI TORANO CASTELLO**

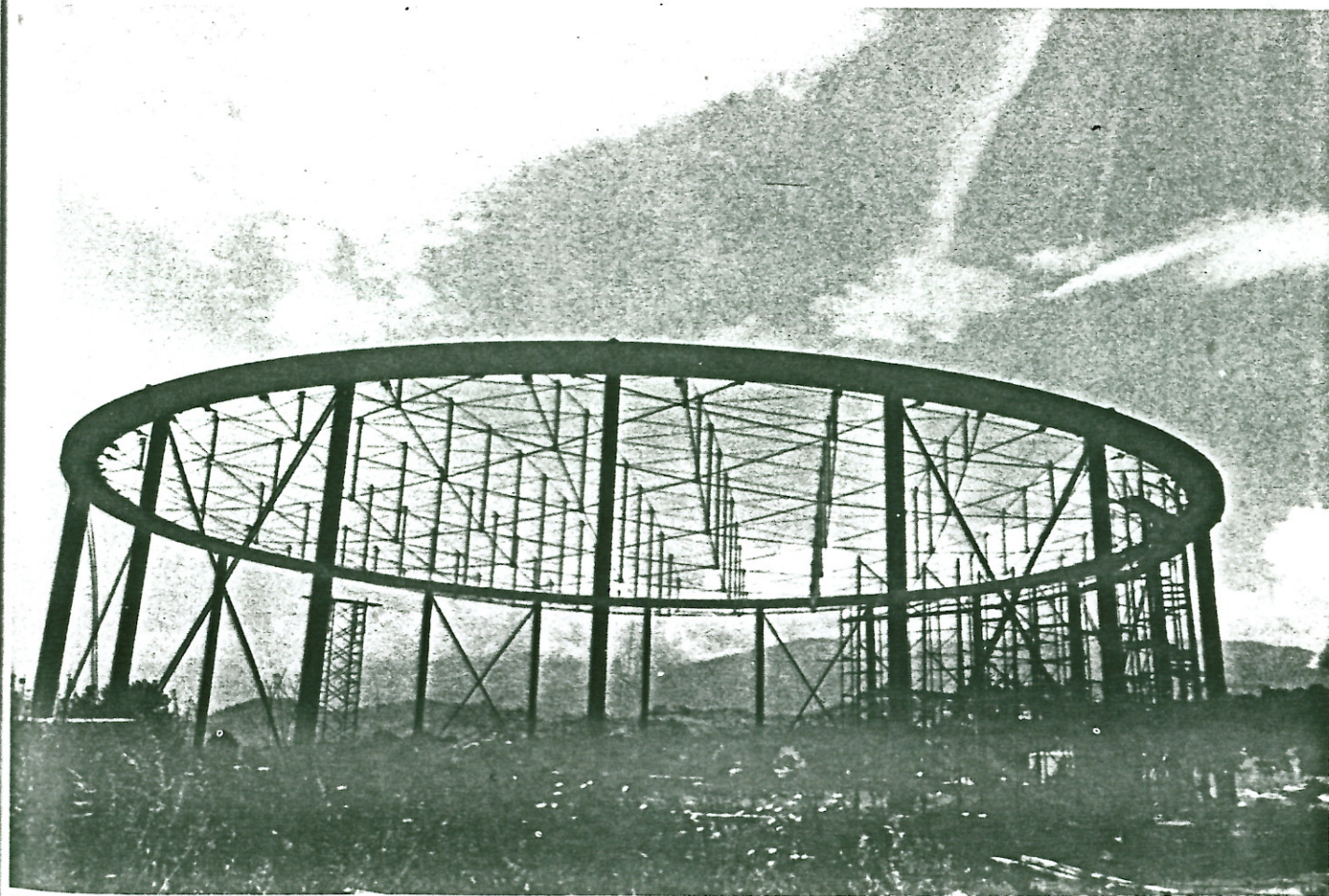


Fig. 10. Vista d'insieme della struttura.

Descrizione della struttura

L'edificio, impostato su una pianta circolare di 21 m di raggio, è costituito da una struttura di copertura di forma lenticolare sostenuta lungo il perimetro da colonne in acciaio.

La copertura, che ha quindi una luce libera di 42 m, è realizzata da una tensostruttura spaziale costituita da due distinte reti di funi collegate da montanti in tubo d'acciaio (fig. 12). La rete inferiore, formata dalle funi portanti, è disposta secondo la superficie di un paraboloide di rivoluzione con asse verticale e concavità volta verso l'alto; diversamente la rete superiore, costi-

tuita dalle funi stabilizzanti, descrive una superficie del medesimo tipo, ma con concavità volta verso il basso.

Le reti presentano in pianta maglie triangolari regolari e sono collegate dai montanti in corrispondenza dei nodi (figg. 13 e 14).

La tensostruttura, nel suo insieme, acquista pertanto la forma di una classica lente convessa.

Gli ancoraggi delle funi sono disposti lungo lo sviluppo di un anello circolare di 42 m di diametro realizzato con lamiere in acciaio a formare una sezione scatolare chiusa di forma rettangolare (figg. 15, 16 e 17). L'anello a sua volta è sostenuto da colonne, ancora in ac-

ciaio, realizzate con profili del tipo HEA.

Completano la struttura di copertura un ordine di arcarecci in UNP 120, opportunamente fissati ai nodi della tensostruttura ed all'anello di bordo (figg. 18 e 19).

La scelta strutturale

Molteplici sono state le considerazioni che hanno portato alla scelta di questa tipologia tensostrutturale estremamente insolita: anzitutto la natura sinuosa del luogo destinato alla costruzione, e la necessità di disporre di una luce libera di 42 m. Queste sono state le argomentazioni che hanno decisamente imposto l'abbandono delle tecniche costruttive tradizionali (c.a., c.a.p., reticolari in acciaio, ecc.) lasciando aperta la sola via delle tensostrutture. Infatti non soltanto le tensostrutture sono la soluzione più economica per luci libere di questa importanza, ma oltre a ciò hanno un comportamento ottimale nei confronti di eventi sismici per la leggerezza intrinseca che rende molto modesti gli effetti dell'accelerazione delle masse.

Si è individuata, pertanto, nelle tensostrutture «a ruota», la soluzione più promettente per il problema strutturale proposto: rimanendo soltanto l'alternativa fra la tipologia con disposizione radiale delle funi e quella con disposizione a rete.

L'opzione per quest'ultima è stata determinata dalle seguenti considerazioni:

- l'assenza del tamburo centrale per l'ancoraggio delle funi rappresenta un ulteriore alleggerimento della struttura proprio nella parte in cui essa è più sensibile ai carichi
- la disposizione a rete consente una distribuzione delle funi lungo la superficie della membrana più uniforme di quanto non sia concesso dalla tipologia radiale, ove si ha un addensamento delle funi al centro senza che ciò corrisponda effettivamente ad un locale aumento dello sforzo di membrana
- la possibilità di definire l'interasse tra le funi senza le restrizioni che comportava invece la presenza del tamburo centrale nella tipologia radiale. Questo fatto, inoltre, fa sì che l'azione trasmessa dalla «membrana» alla trave di ancoraggio sia quanto più possibile prossima ad un carico uniformemente distribuito lungo lo sviluppo dell'anello
- la possibilità, grazie alla scelta di una maglia triangolare, di ottenere una maggiore rigidità dell'insieme strutturale anello-tensostruttura
- l'eliminazione di tutta la serie di problemi di progettazione, esecuzione, trasporto e montaggio del tamburo centrale che la scelta della tipologia radiale avrebbe comportato.

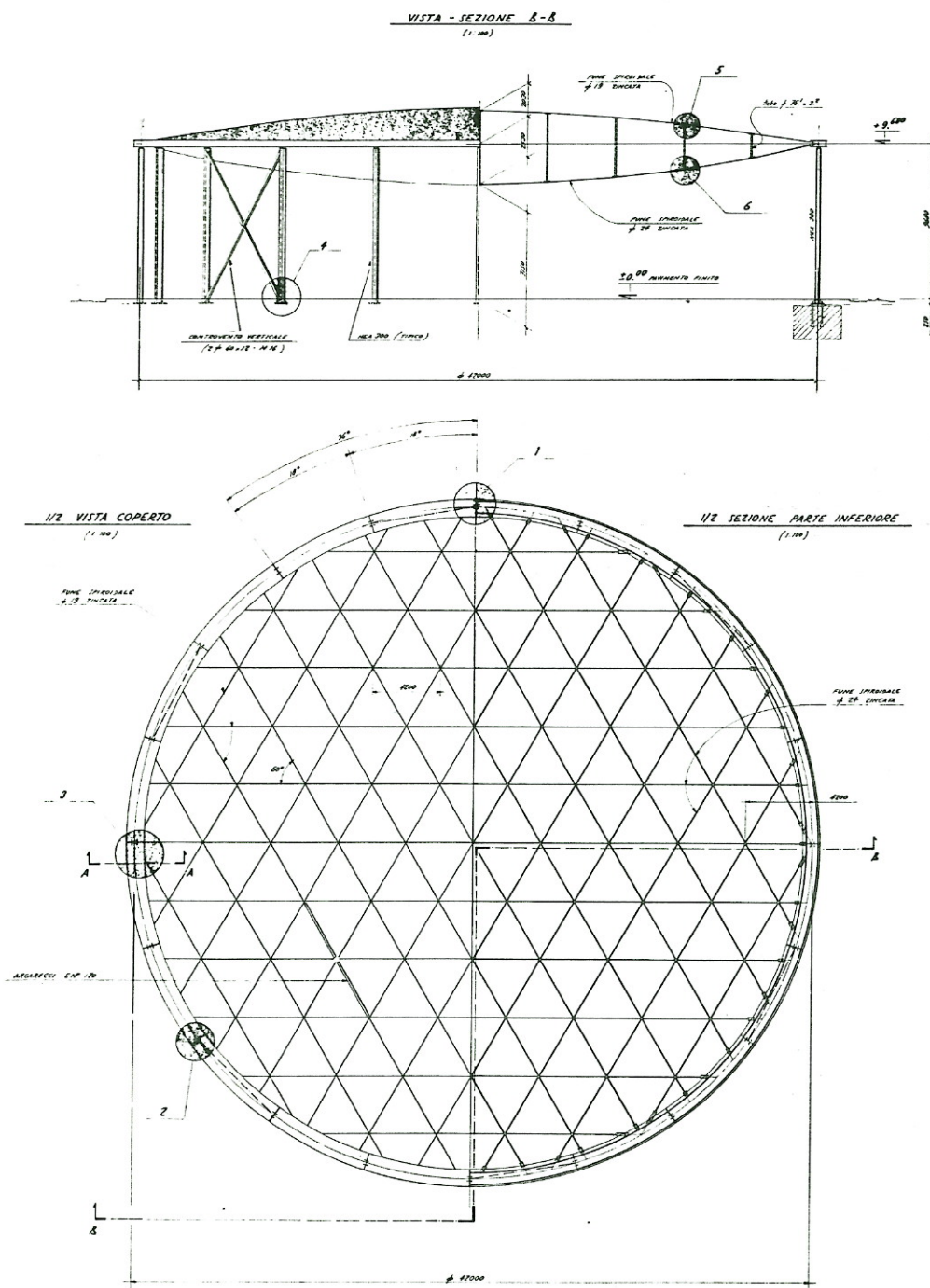


Fig. 11. Palazzetto dello Sport a Torano Castello (Cosenza). Disegno d'assieme.

i del tipo
coertura
IP 20, op
i della ten
bordo (figg

siderazion
a c questa
e trema
natura si
alla costru
or di una
scio state
no decisa
o delle tec
na" (c.a.
, cc.) la
del tenso
to le tenso
pi' econo
a i portan
c nportan
ti di event
intrinseca
g effetti
ss
nelle tenso
uzione pi
s' ittuale
nt l'alter
sposizione
on disposi

è ata de
nsiderazio

er ale pe
ap resenta
mento della
parte in cui
ai hi
nsente una
ungo la su
pi' unifor
ne sso dal
si...a un ad
al centro
de ffettiva
ne to dello

l'interasse
tr oni che
es nza de
ipologia ra
re fa si che
a nembra
or ggio sia
rossima ad
te distribu
l'ello

a scelta d
di ottenere
de insieme
st ttura

serie di pro
es cuzione
e amburo
la tipologia
ato.



Fig. 12. Collegamento in tubo d'acciaio tra le due superfici di funi.



Fig. 13. Particolare di un nodo della tensostruttura.

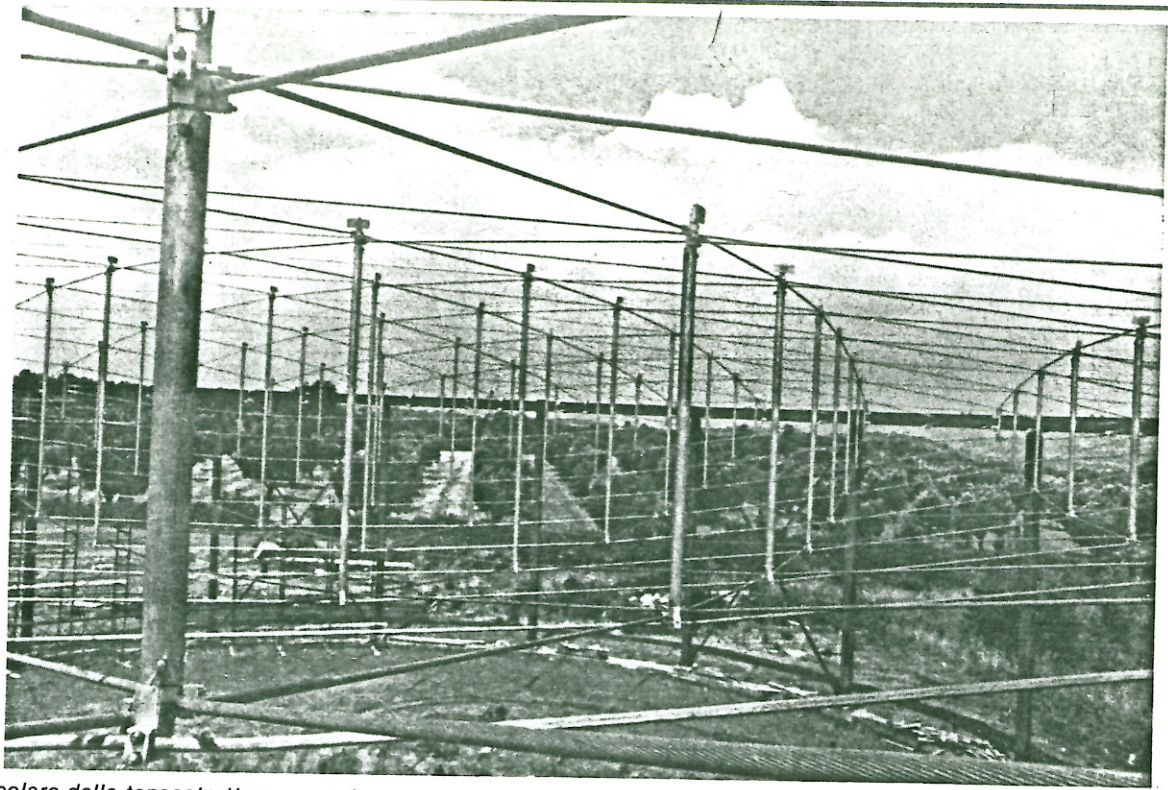


Fig. 14. Particolare della tensostruttura «a ruota».

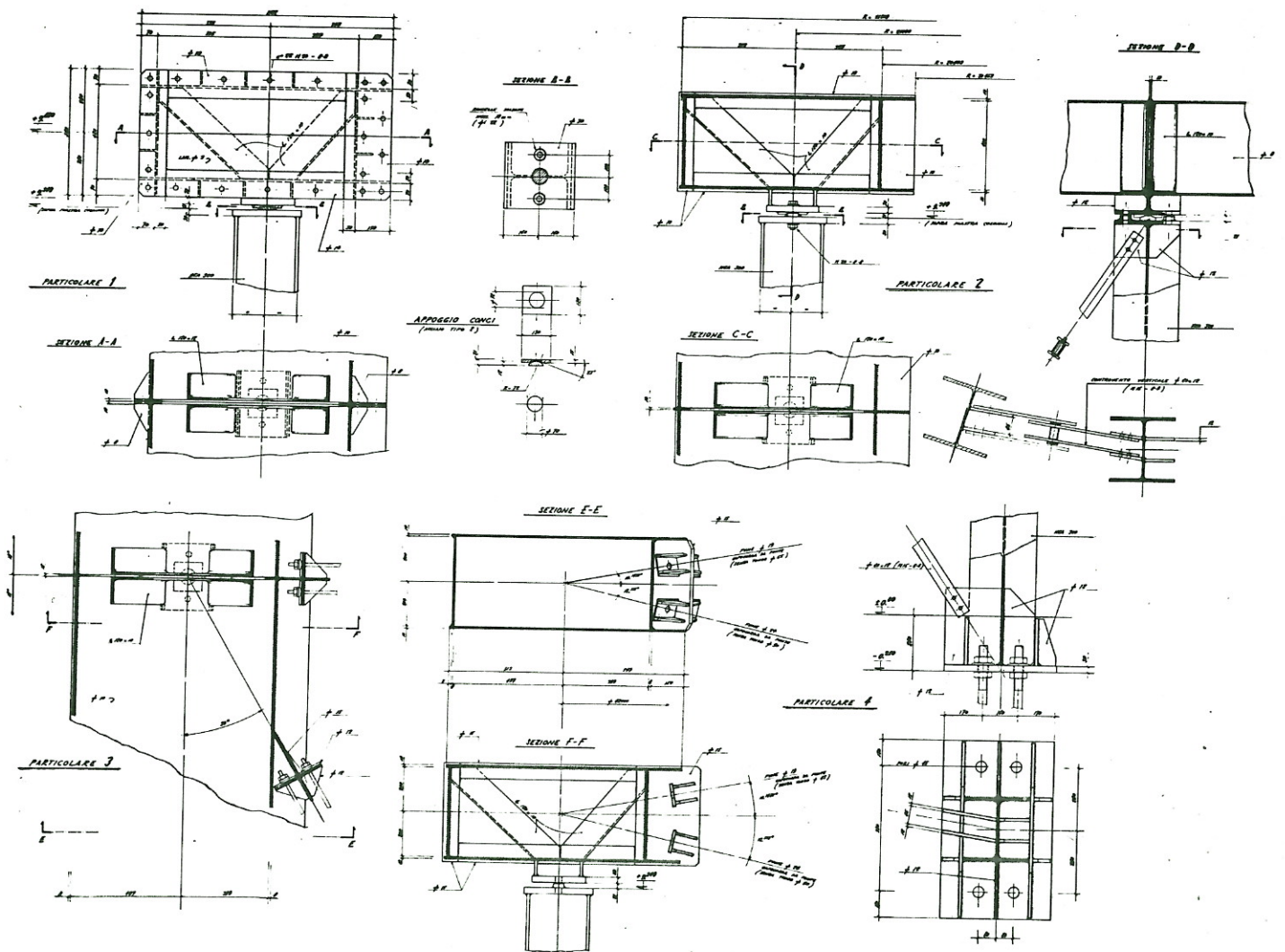


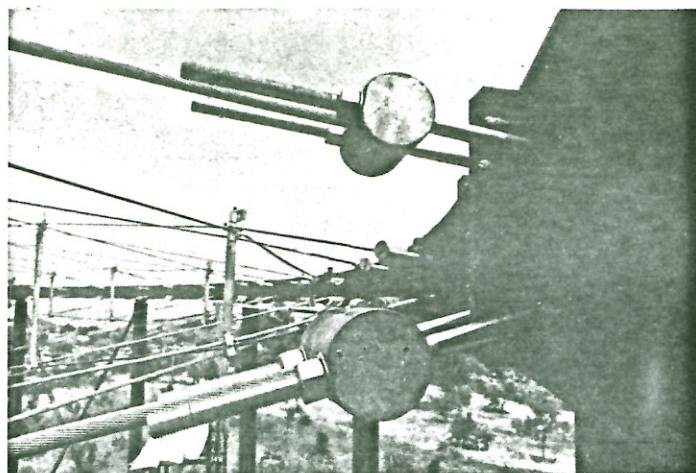
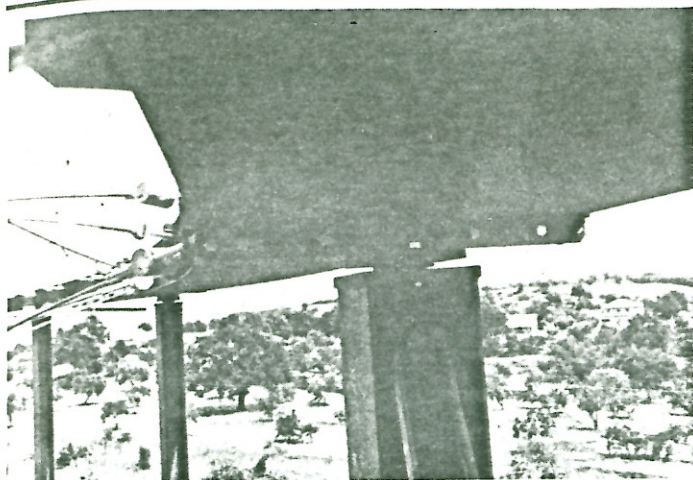
Fig. 15. Palazzetto dello Sport a Torano Castello: particolari.

Fig

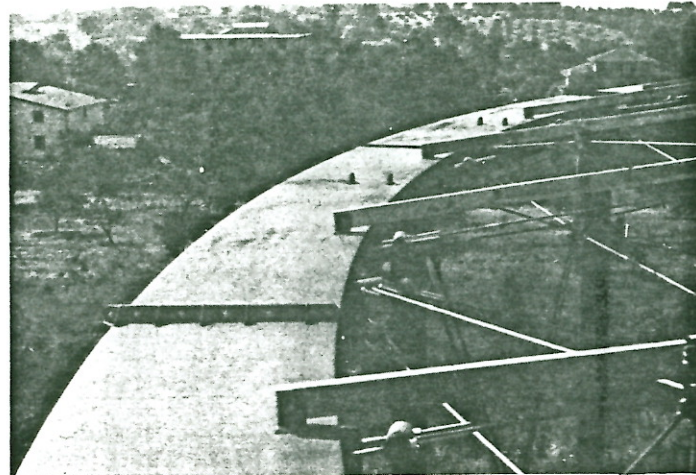
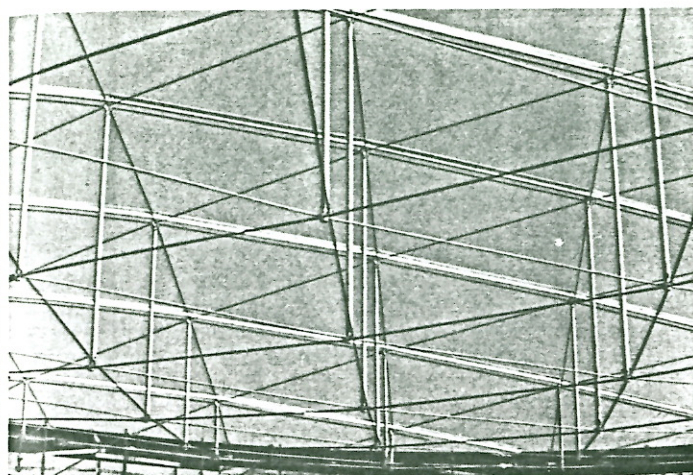
Figg

Cari
I car
cosi
ca d
acco
liana
dispe
natu

Cari
peso
caric
cope
ture:
zione
neve
azion
vento
ne/fo
varia
azion
cient



Figg. 16 e 17. Particolari della trave anulare e dei capicorda d'ancoraggio.



Figg. 18 e 19. Funi ed arcarecci di sostegno al manto di copertura, con l'attacco alla trave anulare.

Carichi e criteri di calcolo

I carichi assunti alla base dei calcoli, così come i criteri di calcolo e di verifica degli elementi strutturali, sono in accordo con la vigente normativa italiana, con un particolare riguardo per i dispositivi di legge conseguenti alla natura sismica del luogo.

Carichi assunti

peso proprio copertura	30 kg/m ²
carico permanente sulla copertura per infrastrutture: sistema di illuminazione, ecc.	5 kg/m ²
neve	75 kg/m ²
azione di depressione del vento (coeff. esposizione/forma: -0,8)	- 51 kg/m ²
variazioni termiche	± 15 °C
azioni sismiche: coefficiente sismico vert.	Kv = ± 0,20

Nella fase di impostazione dell'analisi strutturale è emersa la necessità di non trascurare la collaborazione esistente fra la tensostruttura e la trave anulare di contorno. Si è rivelato infatti consistente l'effetto positivo che tale interazione comporta sia per la rete di funi che per l'anello, nel senso che la deformabilità della trave opera una benefica livellazione e ridistribuzione dei tiri delle funi particolarmente sensibile nel caso di carichi asimmetrici. Conseguentemente, per cogliere questo particolare aspetto, si sono sviluppati i calcoli mediante un procedimento interattivo che può essere sinteticamente descritto dalle fasi seguenti:

- ricerca dello stato «0», cioè dello stato geometrico-tensionale equilibrato della tensostruttura
- calcolo della tensostruttura per la condizione di carico in esame, considerando fissi i punti di ancoraggio delle funi

c) calcolo della trave anulare di contorno, pensata a sé stante, per l'insieme dei carichi trasmessi dalla tensostruttura. Valutazione degli spostamenti dei punti di ancoraggio delle funi

d) aggiornamento delle coordinate dei punti di ancoraggio delle funi in base ai risultati di cui al punto c)

e) ritorno alla fase b).

L'esecuzione del ciclo descritto ai punti b-c-d-e ha fine quando la variazione delle coordinate dei nodi di ancoraggio delle funi (punto d) diventa irrilevante. Data la complessità del problema, l'analisi della struttura è stata eseguita su elaboratore elettronico con l'impiego di un apposito programma di calcolo che segue il procedimento brevemente descritto e del quale si riporta nella figura 20 uno schematico diagramma di flusso.

Nella figura 21 è riportato il plotter (graficazione automatica) della geometria della tensostruttura.

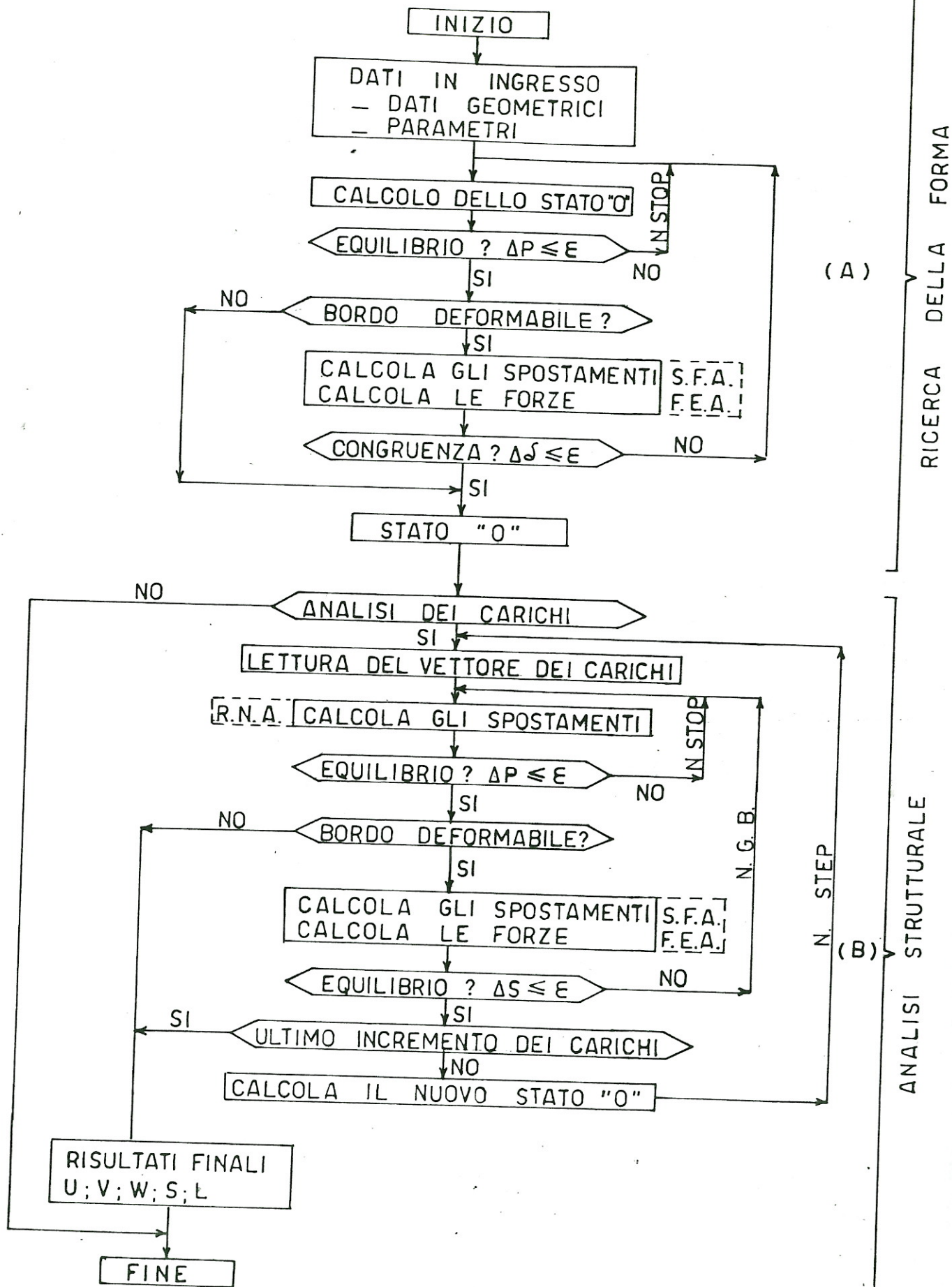


Fig. 20. Diagramma di flusso.

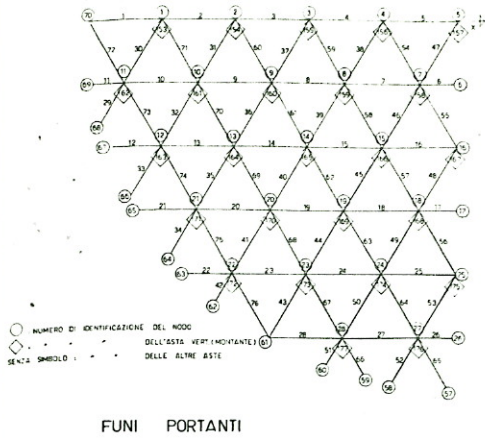


Fig. 21. Tensostruttura: proiezioni ortogonali al plotter.

Stabilità della trave anulare di contorno

La trave ad anello, sollecitata dagli sforzi trasmessi dalle funi della tensostruttura, risulta prevalentemente compressa: occorre pertanto verificarne la sicurezza nei confronti dei fenomeni di instabilità dell'equilibrio.

Un valore sicuramente cautelativo dello sforzo critico di compressione (N_{cr}) può essere dedotto dalla seguente schematizzazione: l'anello è soggetto ad una distribuzione di carichi lungo il proprio asse che può sensibilmente ritenersi uniforme; pertanto, pensato l'anello indipendente della tensostruttura, in prossimità della crisi per instabilità nel proprio piano risulta:

$$N_{cr} = E J / r^2$$

ove

E = modulo di elasticità longitudinale

J = momento di inerzia della sezione della trave rispetto all'asse verticale

r = raggio dell'asse baricentrico della trave anulare.

Peraltro l'interazione fra anello e rete di funi produce un sensibile allontanamento della soglia di instabilità perché le funi reagiscono elasticamente ogniqualvolta l'anello tende ad abbandonare la forma circolare: diversi Autori sono pressoché concordi nel ritenere che tale interazione consente di determinare per lo sforzo critico di compressione un valore del 30 ÷ 40% superiore a quello citato. Per il problema in esame si è preferito, tuttavia, rinunciare alla ricerca di un valore più preciso di N_{cr} per alcune semplici considerazioni, suggerite dalla pratica ingegneristica.

L'aumento dei carichi accidentali ha come conseguenza una redistribuzione degli sforzi dei diversi ordini di funi; ad esempio, per carichi diretti verso il basso, si ha un aumento dello sforzo delle funi portanti con conseguente diminuzione di tiro nelle stabilizzanti. Ora, la favorevole collaborazione fra tensostruttura ed anello permane fino a che entrambi gli ordini di funi (por-

tanti e stabilizzanti) conservano sforzi normali positivi di trazione. Quando però l'aumento dei carichi determina l'annullamento dello sforzo nelle funi stabilizzanti (ciò che si verifica per un moltiplicatore dei carichi prossimo a 1,5), risulta evidente che il tipo di interazione fra tensostruttura ed anello cambia radicalmente: l'effetto positivo dovuto alla presenza delle funi diminuisce sensibilmente ed il comportamento della trave anulare si approssima a quello di un anello circolare soggetto a carico di tipo idrostatico. In sostanza, di fronte ad un aumento graduale dei carichi, si contrappone una discontinuità dell'andamento delle caratteristiche intrinseche della struttura. Ciò è per rilevare quanto complessa e non certo priva di incertezze risulterebbe la metodologia di calcolo indispensabile per determinare il reale valore di N_{cr} . Ma d'altra parte, nello studio di questa struttura, vi sono aspetti e cause di errori di difficile se non impossibile valutazione, che pure devono essere presi in considerazione nella stesura del progetto: possibilità di errori di esecuzione o di montaggio responsabili dell'ovalizzazione dell'anello; possibilità di errori nella fase di pre-sollecitazione delle funi; possibile inadeguatezza dello schema di carico assunto, ecc.

Tutto questo ha indotto a preferire ad una precisa e laboriosa determinazione di N_{cr} l'accettazione di un valore sicuramente a favore di sicurezza ($N_{cr} = 3 E J / r^2$) che però consente un ragionevole margine per compensare in qualche modo le prospettate ragioni di incertezza.

Note varie di progettazione

La progettazione esecutiva della trave anulare ha seguito le usuali metodologie della Scienza e Tecnica delle Costruzioni e della Normativa in vigore; una particolare attenzione è stata rivolta alle verifiche relative ai fenomeni di imbozzamento dei pannelli costituenti la trave ed al problema della protezione dell'acciaio nei confronti degli agenti corrosivi.

A questo proposito, è stata prevista una sabbatura classe SA 2 1/2 con successiva mano di vernice al minio sulla superficie esterna. Per la superficie interna si è preferito, invece, non affidare il compito di protezione ai soli trattamenti superficiali, anche in considerazione delle difficoltà oggettive di applicazione degli stessi; pertanto si è provveduto a sigillare ermeticamente ogni apertura del cassone in modo da impedire lo scambio dell'aria con l'esterno ed evitare così il rinnovo dell'ossigeno ed il procedere di eventuali fenomeni di ossidazione.

Come si è detto, l'insieme delle strutture di copertura — trave anulare e reti di funi — è sostenuto da 20 colonne realizzate con profili del tipo HEA; 12 di queste sono collegate a due a due da una croce di S. Andrea per il controventamento dell'intero edificio nei confronti delle azioni sismiche e del vento. Questi collegamenti sono stati oggetto di particolare attenzione nella fase di dimensionamento: si è inteso introdurre un elemento che, in occasione di eventi sismici, sia in grado di conferire all'intera struttura la capacità di assorbire con adattamenti elastoplastici grandi quantità di energia. Pertanto, si è cercato di raggiungere tale scopo con un dimensionamento delle aste di controvento ed in particolare del collegamento con la colonna tale da realizzare un elemento a «duttilità controllata».

Progetto ed esecuzione

Committente: Comune di Torano Castello (Cosenza).

Progetto e Direzione Lavori delle strutture in c.a.: Ing. Giuseppe Morrone, Cosenza.

Progetto delle strutture metalliche e tensostruttura: Ing. Massimo Majowiecki, Bologna.

Fornitura e montaggio delle strutture metalliche e della tensostruttura: Tensoteci s.r.l., Milano.

Direzione montaggio tensostruttura: Ing. Mauro Nanni, Ing. Stefano Tonioni, Tensoteci s.r.l., Milano.

Opere in c.a.: SACEN s.r.l., Cosenza.