

Due originali applicazioni di tensostrutture a membrana

Ing. Giovanni Golfieri
Ing. Giorgio Vignoli,
Tensoteci s.r.l., Milano

CHIESA S. FRANCESCO D'ASSISI A TERMOLI

Descrizione delle strutture

Le strutture principali dell'edificio sono costituite da:

- una struttura a torre (campanile) in c.a.
- una struttura ad anello sghembo, a pianta poligonale
- una struttura di sostegno verticale rappresentata da muri verticali in c.a. di varia altezza
- una struttura di copertura, ordita e collegata al campanile ed all'anello poligonale in c.a.

Il motivo architettonico dominante è rappresentato dalla figurazione «a tenda» della copertura.

Per ottenere la «forma» desiderata, senza incorrere in un falso strutturale, la soluzione del problema era rappresentata dall'adozione di una struttura che naturalmente lavorasse in regime di membrana.

Da questo presupposto il campanile rappresenta «l'asta di sostegno della tenda»; la membrana realizza la «copertura della tenda» e l'anello perimetrale costituisce l'ancoraggio della stessa.

Nella struttura del campanile, alto 30 m, viene ancorata la struttura di copertura realizzata mediante una rete di funi.

Queste funi si ancorano in basso

all'anello poligonale in c.a. che delimita l'area utilizzabile in pianta della copertura.

Nella figura 1 è possibile osservare le

varie parti della struttura globale. Nella figura 2 si può rilevare la completa libertà formale che ha caratterizzato la definizione della pianta del fabbricato.

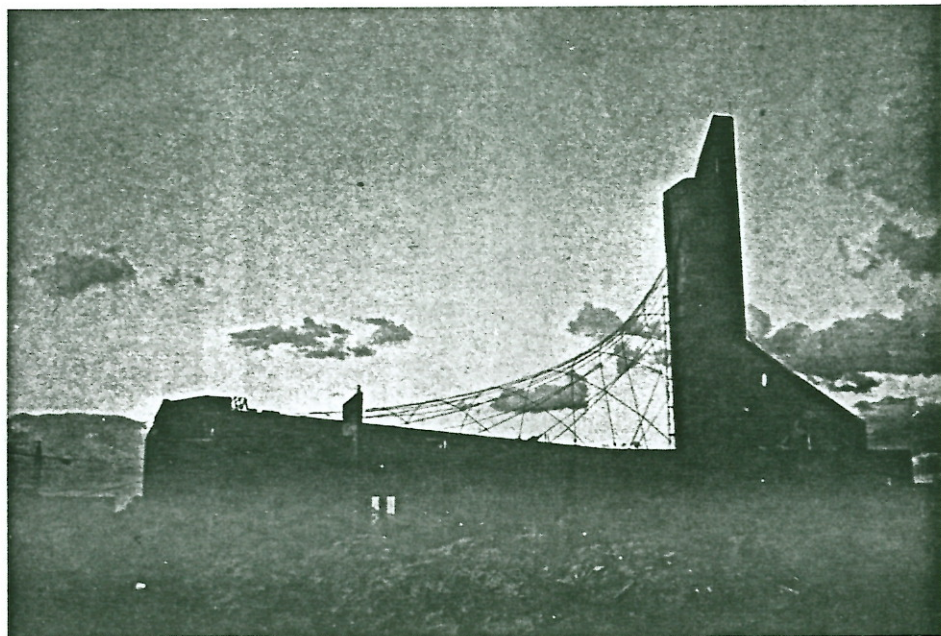


Fig. 1. Chiesa S. Francesco d'Assisi a Termoli (Campobasso), in fase di costruzione.

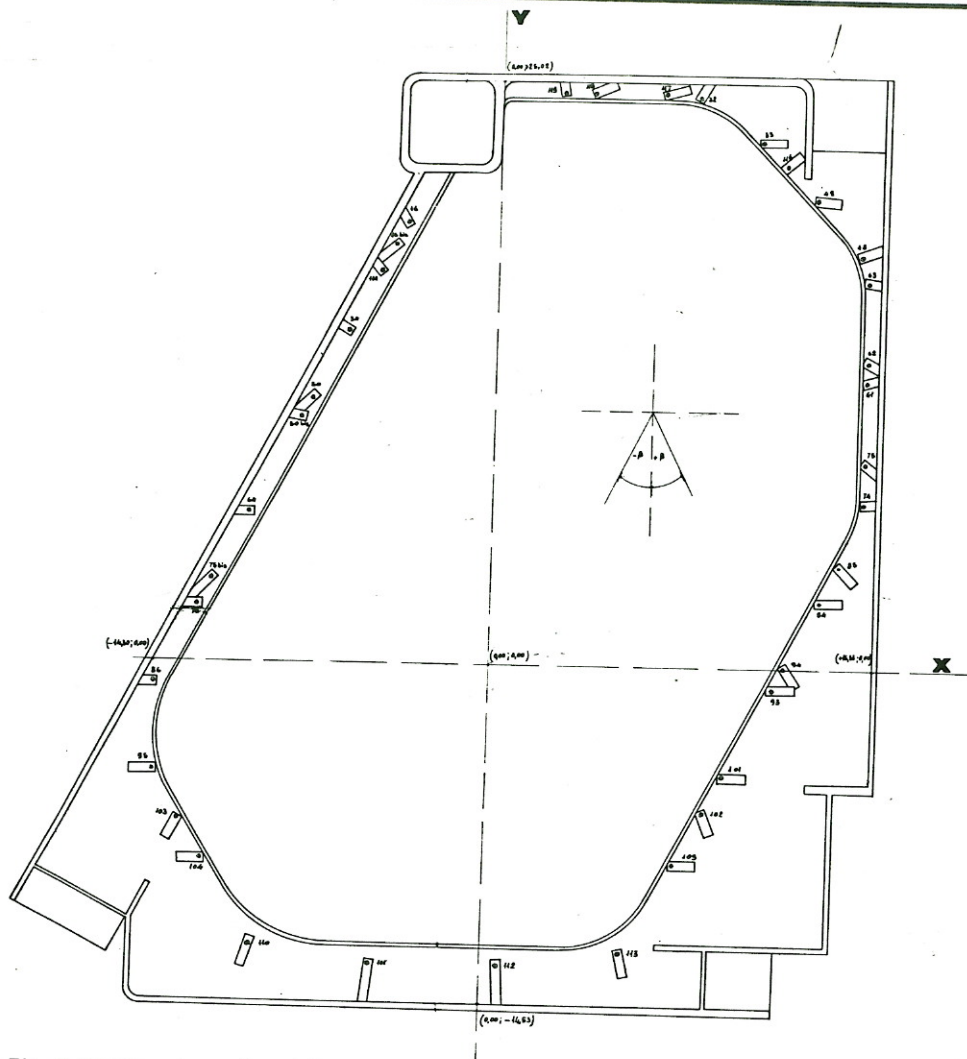


Fig. 2. Pianta schematica della chiesa.

La ricerca della forma

Come è possibile rilevare dalle figure 1 e 2 la forma della copertura non è definibile analiticamente. La ricerca della forma della copertura è condotta per via numerica.

La geometria della rete di funi è stata ottenuta imponendo l'equilibrio nei vari nodi della stessa, considerando quali dati del problema le coordinate dei punti d'ancoraggio e lo stato di preten-

sione iniziale introdotto nelle funi portanti e stabilizzanti.

La geometria equilibrata che ne è risultata non è stata giudicata soddisfacente; pertanto si è imposto un ulteriore vincolo strutturale rappresentato dalla richiesta di sforzi costanti su alcune funi portanti e stabilizzanti.

Fra tutte le soluzioni equilibrate possibili si desidera ottenere una soluzione ottimizzata che abbia sforzi costanti in aste prefissate.

Matematicamente la soluzione del problema può essere impostata come segue:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{variabili: } [x, y, z, S] \\ \text{funzione obiettivo:} \\ \quad f = \sum [(S - \bar{S})^2] \rightarrow \min \\ \text{vincoli: } g(x, y, z, S) = 0; S > 0 \end{array} \right.$$

dove:

x, y, z = coordinate del nodo generico

S = sforzo nell'asta generica

\bar{S} = sforzo richiesto per l'asta generica.

La soluzione del sistema di equazioni non lineari che consegue alla suddetta impostazione è stata ottenuta mediante un apposito programma elettronico convertito recentemente su minicalcolatore HP 1000 dotato di strumentazione hard-ware che permette un facile dialogo interattivo grafico tra progettista ed elaboratore.

Introdotti i dati mediante digitalizzatore il controllo della ricerca della forma è stato effettuato visivamente su video grafico e i risultati definitivi sono stati graficati su plotter (figg. 3, 4 e 5).

La configurazione geometrica ottenuta è la superficie di copertura che «naturalmente» si adagia alle condizioni al contorno con un predeterminato regime di sforzi su alcune famiglie di funi. Le linee dove lo sforzo è costante si

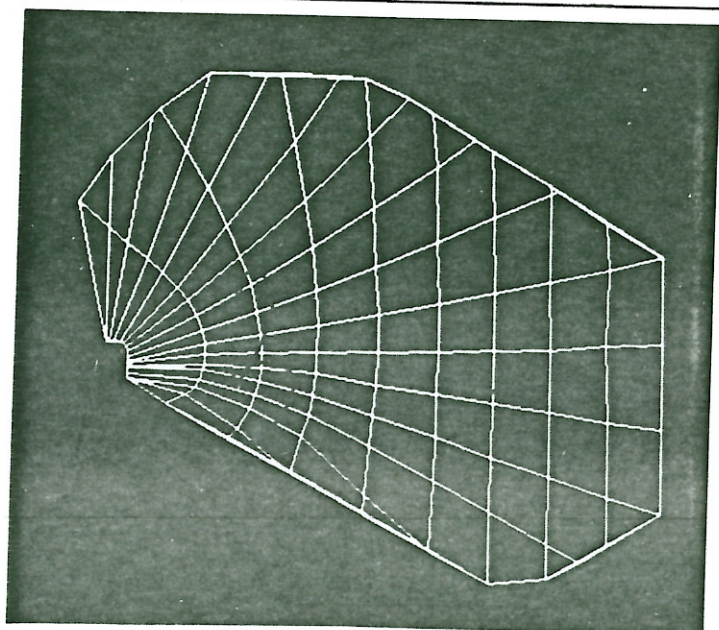


Fig. 3. Rete di funi: pianta al video.

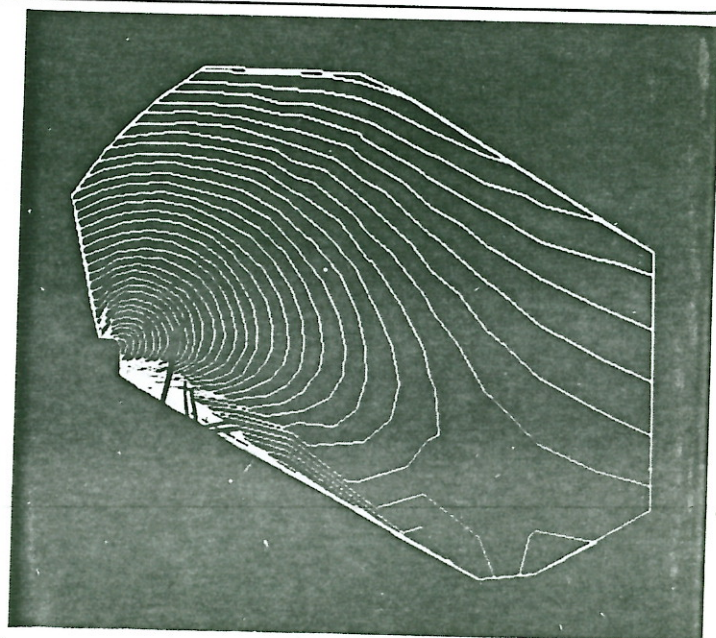


Fig. 4. Curve di livello della membrana di copertura al video.

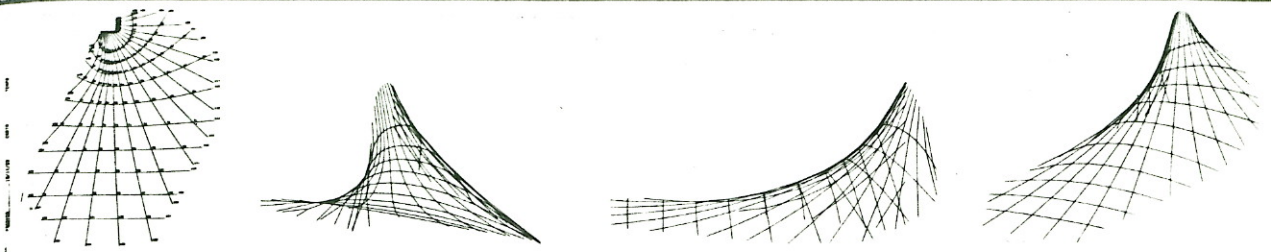


Fig. 5. Reti di funi: proiezioni ortogonali al plotter.

dispongono secondo le geodetiche delle superfici passanti per i due punti d'ancoraggio; perciò, in una delle fasi di carico, in corrispondenza del quale è stato cercato lo stato «0», abbiamo che la trasmissione di sforzi nel piano tangente alla superficie è nulla. Gli sforzi nei morsetti ad attrito sono così minimizzati nelle altre situazioni di carico.

I valori di sforzo desiderati erano di 10 000 kg nelle funi portanti e 8 000 kg in alcune delle funi stabilizzanti; la massima differenza ottenuta tra valore richiesto e calcolato degli sforzi è stata di 162 kg, pari ad un errore del 2%. I risultati ottenuti sono visualizzati mediante plotter nella figura 5.

Aspetti tecnologici

Le funi impiegate per la realizzazione delle reti sono di tipo spiroidale zincate di 26 mm di diametro. Sono composte di 61 fili di 2,9 mm di diametro in acciaio ad alta resistenza con tensione di rottura pari a 160 kg/mm², sezione metallica complessiva di 402,9 mm² e carico di rottura di 58 000 kg. Dopo un opportuno numero di cicli di prestiratura al banco, fino al 50% del carico di rottura, si è ottenuto un modulo di elasticità stabilizzato pari a 16 500 kg/mm².

Nell'ideazione del particolare di ancoraggio delle funi alle strutture in c.a., ci si è posti i seguenti obiettivi:

- semplicità e facilità di montaggio
- possibilità di ampia regolazione della lunghezza delle funi per ovviare in fase di pretensione di stato «0» agli eventuali errori di cantiere
- possibilità di rotazione del capocorda in ogni direzione per permettere sia i movimenti corrispondenti ai vari stati di carico della struttura sia sopperire ad errori di direzione nella posa dei tirafondi
- immediata trasmissione al calcestruzzo delle componenti trasversali degli sforzi in conseguenza delle rotazioni predette.

Tali esigenze sono state soddisfatte mediante il particolare brevettato illustrato nella figura 6.

Il capocorda della fune è del tipo «da ponte» regolabile, ed è ancorato a due tirafondi mediante cerniera sferica a contrasto.

Il blocco della cerniera è contenuto «a misura» in una scatola in lamiera saldata, annegata nel calcestruzzo.

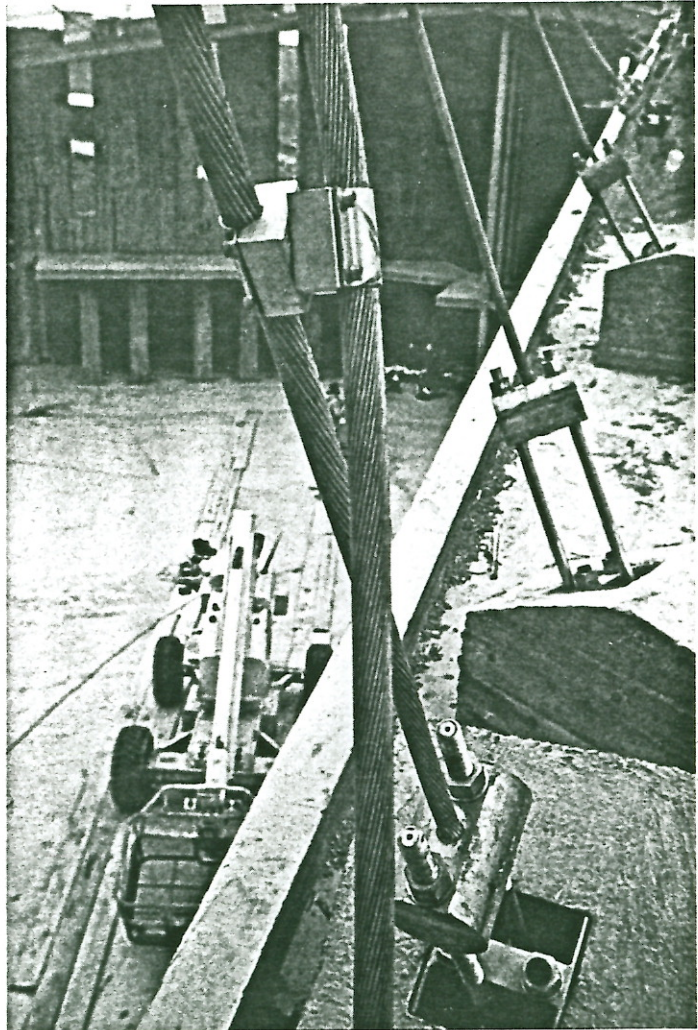


Fig. 6. Particolare del dispositivo di ancoraggio e del morsetto.

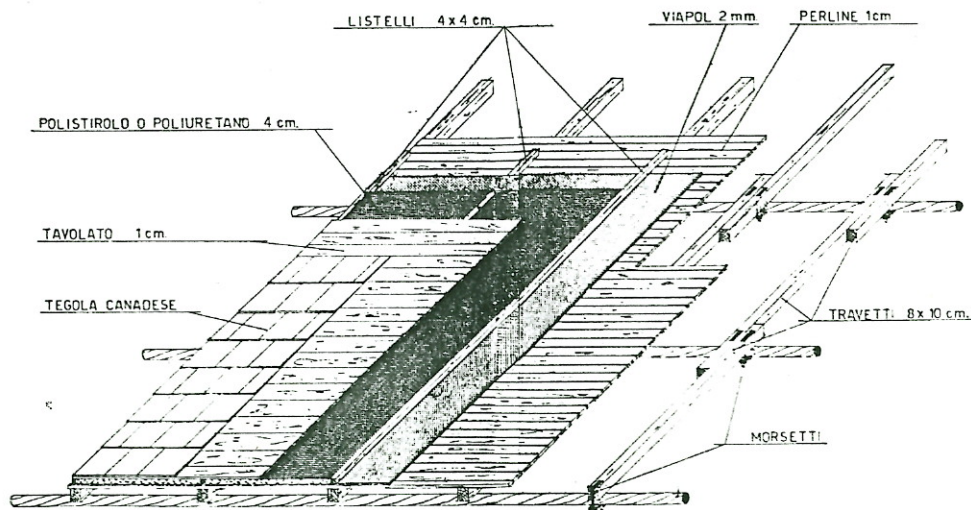


Fig. 7. Schema del manto di copertura in legno.

La copertura

Nel campo delle strutture «a forma libera», intendendo per libertà la non determinazione analitica (per esempio, sfera, paraboloide iperbolico, ecc.), si può notare che la velocità e sofisticazione dello sviluppo delle tecniche di calcolo e di realizzazione strutturale sono molto maggiori di quelle relative allo sviluppo delle tecnologie dei materiali di copertura.

Le forti curvature della superficie strutturale imponevano grosse limitazioni nell'impiego di alcune tecnologie di copertura. Le tradizionali lamiere grecate mal si adattano in questi casi, dovendo essere tagliate su misura con grandi difficoltà di assemblaggio. Coperture leggere quali poliestere + PVC o Teflon non sono state considerate adatte alla destinazione ed utilizzazione del luogo.

La soluzione del problema è stata trovata impiegando una copertura in legno. Con questo materiale altamente adattabile e lavorabile si è ottenuto un risultato ottimo dal punto di vista tecnico ed economico ed una innegabile validità estetica (figg. 7 ed 8).

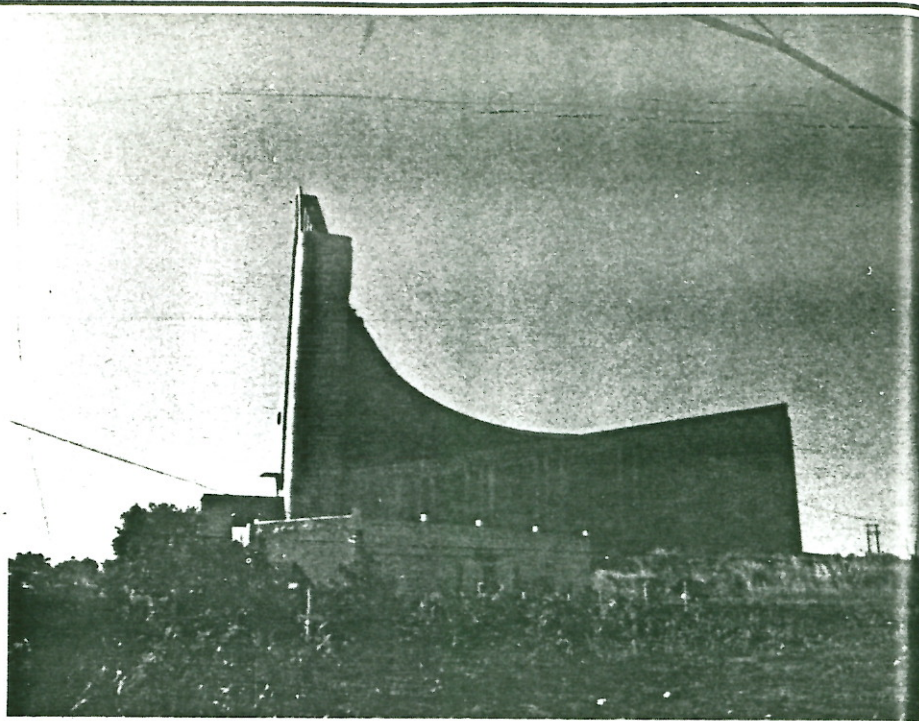


Fig. 9. Vista d'insieme della chiesa a lavori ultimati.

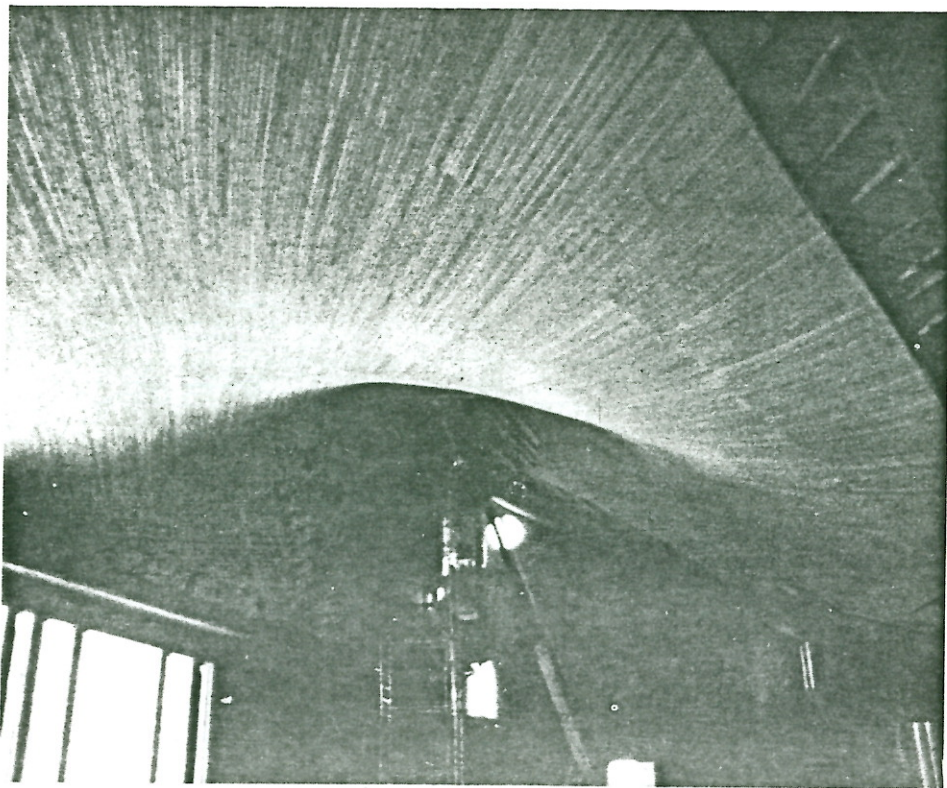


Fig. 8. Interno della chiesa: particolare del controsoffitto in legno.

Progetto ed esecuzione

Committente: Provincia di Foggia dei Frati Minori Cappuccini.

Direzione Lavori: Ing. Fernando Barbati, Roma.

Progetto delle strutture: Ing. Ezio Dolara, Roma.

Consulenza per la tensostruttura: Ing. Massimo Majowiecki, Bologna.

Fornitura e montaggio tensostruttura: Tensoteci s.r.l., Milano.

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

Opere in c.a.: Impresa Prearo, Termoli (Campobasso).

* * *