

## stadio olimpico 90: una copertura sospesa

parte I

### Presentazione (\*)

Lo Stadio Olimpico a Roma viene costruito negli anni '30 insieme all'intero complesso di impianti sportivi del Foro, di cui fanno parte la «Casa della scherma» dell'arch. Moretti, lo Stadio dei Marmi, ed il blocco delle piscine e degli uffici. Nel 1953 subisce un primo ampliamento che gli fa attribuire il soprannome di «Stadio dei Centomila» che gli rimarrà fino alle Olimpiadi del '60, anche se centomila posti non li ha mai avuti. Nel 1960, in occasione delle Olimpiadi viene ristrutturato radicalmente e portato a 54 000 posti, e così rimane fino al 1987 quando viene deciso l'ampliamento a 85 000 posti, e la realizzazione di una nuova copertura per adeguarlo alle norme della FIFA in occasione dei Campionati mondiali di calcio del 1990.

La scelta di non costruire un nuovo Stadio in zona decentrata, rispetto alla posizione dello Stadio Olimpico, come veniva da alcuni proposto, bensì di adeguare quello esistente all'interno del complesso del Foro Italico, ha rappresentato una scelta urbanistica molto precisa: mantenere il consolidato rapporto con la città di tutto il complesso sportivo del Foro, riconoscendo nell'incontro agonistico un momento di vita collettiva fortemente partecipata, strettamente collegata alla vita della città, riconfermando così i luoghi dello sport e dello spettacolo là dove già dal '30 erano stati fissati, fra la splendida collina di Monte Mario e l'ansa del Tevere.

Nell'estate del 1987 il CONI bandisce un appalto concorso per la realizzazione dell'ampliamento e della copertura dello Stadio Olimpico sulla base di un progetto-guida elaborato dagli architetti M. Clerici e A. Vittellozzi e dagli ingegneri P. Teresi e M. Michetti.

(\*) Ing. Rita Finzi.  
Consorzio Cooperative Costruzioni, Bologna.

## olympic stadium 90: a suspended roof

part I

### Presentation (\*)

The Olympic Stadium in Rome was built in the thirties along with all of the other structures making up the Foro Italico sports complex, and including the «Casa della scherma» by arch. Moretti, the Stadio dei Marmi, and the swimming pool and office block. In 1953 it was extended for the first time and subsequently given the new name, «Stadio dei Centomila» (stadium of the hundred thousand), which stuck until the Olympic Games in '60, even though the stadium has never been able to seat one hundred thousand spectators. In 1960 it underwent drastic renovation in preparation for the Olympics, and the number of seats was raised to 54000. It remained unchanged until 1987 when the decision was made to extend seating to cater for 85000 and build a new roof in order to bring the stadium in line with FIFA regulations for the 1990 World Cup.

The decision against building a new stadium in a less central area than the existing one, as some proposed, and to adapt the existing one within the Foro Italico complex, was an extremely astute choice in terms of town-planning: by keeping the whole sports complex within the Forum, its firm bond with the city was maintained, recognizing sporting events as a moment of collective life which involves everybody and is inextricably linked to city life. Thus the locations for sport and entertainment remained where they had been established ever since the thirties, between the splendid Monte Mario hill and the loop of the Tiber.

In the summer of 1987, CONI called for tenders for extension of the Olympic Stadium and construction of a roofing system based on the guide-plan devised by M. Clerici and A. Vittellozzi (architects) and P. Teresi and M. Michetti (civil engineers).

*Fig. 1 e 2. Architettura avanzata. Figs. 1 and 2. Hi-tech.*



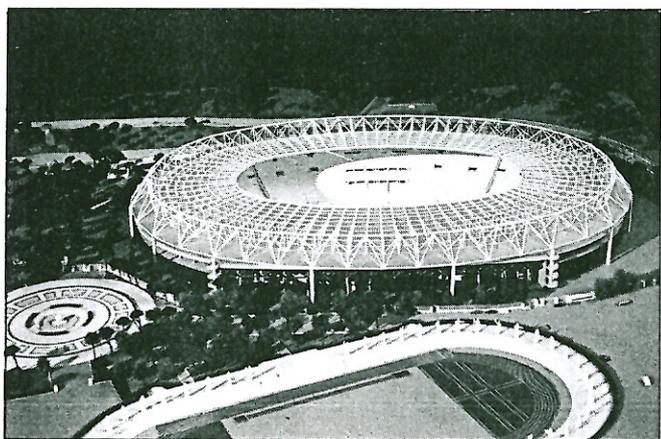
Il progetto-guida prevedeva di ampliare le due Tribune Tevere e Monte Mario, facendole crescere in fuori, di demolire le curve integralmente e ricostruirle ricomponendo la pendenza per migliorare la visibilità, e di realizzare la copertura di curve e tribune mediante una tensostruttura concepita come sistema di funi ancorate a 8 grossi pilastri in c.a. esterni all'invaso dello Stadio alti 60 m circa, e a tali funi appendere la copertura vera e propria costituita da una struttura spaziale metallica coperta da cupolini in policarbonato.

Il Raggruppamento d'Imprese (Cogefar-Impresit (Mandatara), Consorzio Cooperative Costruzioni, IM.CO, CPC, Cooperativa Gran Sasso, Elektra) si aggiudicò l'appalto concorso nel dicembre 1987 con una soluzione che rispettava fedelmente, come chiesto dal Bando, il progetto - guida, con l'impegno contrattuale per l'Appaltatore di garantire comunque al CONI, durante la durata di tutto il cantiere, la disponibilità di circa 60 000 posti nonché il regolare svolgimento delle partite durante il campionato di calcio.

A pochi giorni dalla firma del contratto con il CONI, vengono depositati al TAR del Lazio due successivi ricorsi

The guide-plan entailed extension of two of the spectator stands - Tevere and Monte Mario - by outwardly enlarging them; complete demolition of the bends and reconstruction in a more vertical form in order to improve visibility; and construction of roofing for the bends and stands using a cable truss system. The design for the latter project involved a series of cables anchored to 8 large columns of reinforced concrete located outside the volume of the Stadium and measuring approximately 60 m in height. The cables were to support the real roofing, consisting of a metal space frame truss covered with polycarbonate standard units.

An Association of the following firms: Cogefar-Impresit (Mandatary), Consorzio Cooperative Costruzioni, IM.CO, CPC, Cooperativa Gran Sasso and Elektra, won the contract with a tender made in December 1987, which faithfully followed the guide-plan — as requested in the tender call — while contractually binding the Association to guarantee the availability of approximately 60000 seats during all of the building work, and regular conditions for the World Cup football matches.



*Fig. 3. Modello di studio architettonico e di controllo ambientale della nuova soluzione di copertura. (Progettisti: G. Caloisi, M. Majowiecki, P. e J. Zucker).*

*Fig. 3. Model for architectural study and environmental survey of the new roof design (Designers: G. Caloisi, M. Majowiecki, P. and J. Zucker).*

da parte di Leghe ambientaliste che consideravano negativo l'impatto paesaggistico che la nuova struttura di copertura dello Stadio avrebbe provocato. Il CONI, quindi, chiede al Raggruppamento aggiudicatario di studiare una nuova soluzione di copertura che possa rimuovere gli ostacoli posti dalle osservazioni degli ambientalisti, impegnandosi a progettare e realizzarla nel rispetto, sempre, delle scadenze temporali imposte dallo svolgimento dei Mondiali.

Per sottoporre all'approvazione della Lega per l'ambiente e del Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali la nuova soluzione ideata, il Raggruppamento d'Imprese ha fatto ricorso ad una simulazione su video della costruzione della copertura, utilizzando un sistema CAD di modellazione tridimensionale, che ha consentito di montare immagini sintetiche della nuova copertura su immagini reali in movimento dello Stadio ottenute con riprese aeree.

Ciò ha consentito di offrire con grande efficacia anche per i «non specialisti» l'immagine dello Stadio alle pendici del Monte Mario, con la nuova copertura, così come sarebbe stato visto da pubblico e giocatori.

Questo particolare strumento di simulazione dimostrava che la struttura in questione si sarebbe inserita armonicamente nell'ambiente circostante senza turbarne l'equilibrio paesaggistico, rimuovendo così anche le obiezioni relative all'inserimento di una struttura insolita, tecnologicamente molto espressiva e dirompente, quale appare una tensostruttura.

Enorme è stato lo sforzo sostenuto delle Imprese e dai progettisti nel condurre lo studio progettuale nei tempi ristrettissimi a disposizione mentre contemporaneamente occorreva fornire al cantiere, nel frattempo riavviato, tutta la progettazione costruttiva relativa alle altre opere di ampliamento che dovevano comunque procedere.

A few days after the contract had been signed with CONI, two appeals were lodged at the Lazio Regional Administrative Court by Environmentalist Leagues who felt that the Stadium's new roofing structure would have a detrimental effect on the natural landscape. CONI subsequently asked the contractor's designers — Ing. G. Caloisi, Prof. M. Majowiecki and Studio Zucker — to look into a new roofing solution which would avoid the problems brought up by the environmentalists, naturally agreeing to plan and construct it within the time limits set by the World Cup dates.

In order to present the new solution to the Environmental League, and the Ministry of Cultural and Natural Assets, for approval, the Association created a video simulation of the roof using a CAD three-dimensional modelling system whereby synthetic images of the new roof could be mounted on real moving images of the Stadium filmed from the air.

In this way, an image which could be effectively judged, even by non-specialists, was put forward, showing the Stadium on the slopes of Monte Mario with its new roofing, and the view that spectators and players would have of it.

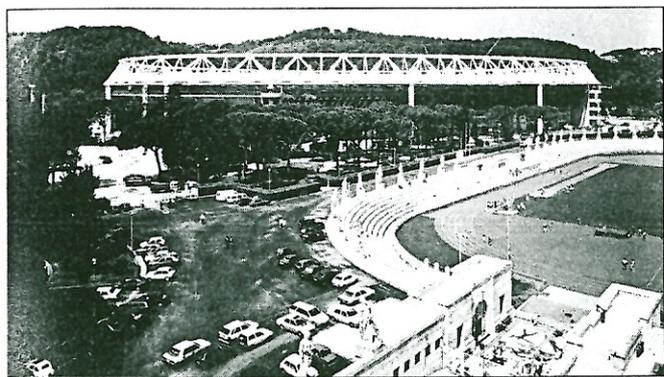
This special form of simulation showed that the structure would harmoniously fit into the surrounding environment without spoiling the landscape, and consequently eliminated objections concerning building of the unusual, and technologically expressive, cable truss system.

An enormous effort was made by the firms and the designers to carry out planning studies within the extremely short time available, while also having to supply the builders, who had started work again in the mean time, with all of the building plans for the extensions which they had to go on with.

All'impegnativa riprogettazione della copertura si aggiunge, all'inizio del 1989, quella della Tribuna Monte Mario, non prevista dal progetto d'appalto, che il CONI decideva di demolire e ricostruire perché fortemente degradata.

L'attività è stata convulsa, non senza gravi disagi e difficoltà per tutti coloro che vi hanno operato: le imprese appaltatrici, i subappaltatori e i progettisti, costretti a ritmi di lavoro serratissimi e comunque in mancanza di tutto quel tempo che è necessario per svolgere le complesse attività sia progettuali che produttive con la serenità e il rigore indispensabili. Il committente pubblico dovrebbe riflettere su tali circostanze che spesso lo vedono responsabile di una approssimativa ed incompleta programmazione delle opere da realizzare. L'emergenza e la confusione non vanno mai, a bilancio finale, a vantaggio di nessuno, tantomeno di chi voglia svolgere correttamente e responsabilmente la propria attività. Lo Stadio Olimpico che vediamo oggi ampliato e coperto è un vaso a catino di 80 file di gradoni, i cui assi longitudinale e trasversale sono rispettivamente di 314 m x 220 m, con il corsello superiore a circa 20 m di altezza dal piano di campagna.

Le curve Nord e Sud sono state interamente demolite e ricostruite; le tipologie costruttive adottate sono: fondazioni su pali di grande diametro; pilastri e travi principali in c.a. prefabbricate e precomprese solidarizzate con opportuni getti di completamento; solai prefabbricati e precompressi. Ogni curva ha 23 470 posti a sedere.



4

In addition to the complicated replanning of the roofing structure, at the beginning of 1989, CONI also decided to demolish and reconstruct the Monte Mario Stand which was in a severe state of deterioration, so that this too had to be newly planned.

The project ahead spasmodically, and not without inconveniences and problems for all those involved: contractors, sub-contractors and designers were forced to work at an extremely fast pace and did not have the full time necessary to carry out all of the complex planning and production operations with the calmness and thoroughness required.

The public contracting entity should reflect on these circumstances, often making it responsible for approximative and incomplete planning of structures to be built, because, at the end of the day, we feel that emergency operations and confusion are not to the advantage of anyone, and especially not to those who want to correctly and responsibly carry out their job. The Olympic Stadium, that has now been covered and extended, consists of a bowl-shaped volume with 80 rows of steps, whose longitudinal and transverse axes measure 314 m x 220 m respectively. The upper gangway is at a height of approximately 20 m from the playing area.

The North and South bends have been completely demolished and rebuilt using the following type of construction: foundations on wide diameter piles; prefabricated main columns and girders made of prestressed reinforced concrete, with finishing castings; and prefabricated prestressed floor elements. Each of the bends contains 23470 seats.

Fig. 4. Vista della copertura verso Monte Mario: notare la corrispondenza con lo studio ambientale illustrato nella figura 3.

Fig. 4. View of the roof overlooking Monte Mario: note the similarities with the environmental study illustrated in fig. 3.

Il volume sotto le gradinate è destinato a:

*nel sottosuolo:* locali tecnologici, le palestre e le attrezzature per atleti portatori di handicap;

*a piano terra:* locali a disposizione del CONI, magazzini, bar e servizi;

*al piano primo e secondo:* uffici distribuiti sulla fascia perimetrale esterna, e servizi per il pubblico sulla fascia perimetrale interna.

I due piani uffici sono tamponati con facciata continua tipo *curtain-wall* con vetro riflettente al fine di ottenere l'effetto di una cortina unitaria che metta in risalto l'omogeneità dell'intervento e realizzi l'immagine di corpo unico su cui «poggia» virtualmente la copertura.

La Tribuna Monte Mario interamente demolita, è stata ricostruita con tipologia costruttiva analoga a quella delle curve. Dispone di 17 740 posti. Il volume sotto le gradinate è destinato a:

*nel piano interrato:* parcheggio e magazzini;

*nel piano terra:* sala per gli ospiti della tribuna d'onore, spogliatoi per il calcio e locali tecnici;

*al piano primo:* sala stampa, strettamente collegata con la tribuna riservata alla stampa e con l'edificio ad uffici preesistente, oggi accorpato allo Stadio;

*ai piani secondo e terzo:* servizi per il pubblico (bar, pronto soccorso, ecc.) collegati al sistema di uscite. Anche il fronte esterno della Tribuna Monte Mario è tamponato con la facciata continua tipo *curtain-wall* riflettente.

The volume beneath the steps is equipped to house various rooms for technical, administrative and sporting use:

*in the basement:* technological centres, gyms and equipment for disabled athletes;

*on the ground floor:* rooms for CONI use, bar storage areas and toilets;

*on the first and second floors:* offices in the outer perimeter band public toilets in the inner perimeter band.

The two floors of offices are enclosed by a continuous, curtain-wall type facade with reflective glass in order to give the effect of a single screen, highlighting the uniformity of the structure and creating the image of a single body upon which the roof virtually «rests».

The Monte Mario Stand has been completely demolished and reconstructed using types of construction similar to those used for the bends. It contains 17 740 seats. The volume beneath the steps is used for:

*in the basement:* car parking and storage areas;

*on the ground floor:* hospitality room for guests on the V.I.P. stand; football changing rooms and technical rooms;

*on the first floor:* press room, with close links to the press stand pre-existing office block which is now an integral part of the Stadium structure;

*on the second and third floors:* public facilities (bar, first aid, etc.) linked to the exit system.

The external face of the Monte Mario Stand, like the offices, is also enclosed by a reflective curtain-wall type facade.

*La Tribuna Tevere* è stata ampliata mediante un'orditura di travi in legno lamellare poggianti su pilastri di calcestruzzo, che portano 20 nuove file di gradoni in alluminio, mentre il corpo originario non ha subito particolari modifiche tranne una pulitura ed un ripristino di tipo conservativo e, con la sua facciata in travertino, rimane unico ed isolato contatto con il linguaggio architettonico dell'intero complesso del Foro. Dispone di 17 965 posti a sedere oltre a 130 posti per portatori di handicap.

La *copertura* è costituita da una trave ad anello in acciaio reticolare spaziale di 13 m circa di altezza poggiate su 12 pilastri in acciaio e su quattro blocchi scale esterni in c.a.; a tale trave è collegato un sistema di funi radiali tesanti e portanti (tensostruttura) che si raccolgono in un anello di funi centrale concentrico alla trave perimetrale, coprendo uno sbalzo di 45 m.

Alle funi è appesa una carpenteria spaziale secondaria su cui è tesata una membrana di PTFE (politetrafluoroetilene) che costituisce la copertura vera e propria.

Questa struttura di copertura rappresenta, oggi, la nuova architettura dello Stadio, la cui tecnologia costruttiva innovativa e fortemente espressiva, sottolinea la volontà di valorizzare, ancora una volta dopo ben tre ristrutturazioni nel corso degli anni, questo luogo per lo sport e lo spettacolo ai piedi della collina di Monte Mario, in uno dei punti più significativi, quindi, della conformazione urbanistica della città.

*The Tevere Stand* has not undergone any special modifications, apart from restorative cleaning and touching up of the original structure with its travertine facade, and extension of the stand by means of a frame of laminated wooden beams resting on concrete pillars and bearing 20 new rows of aluminium steps. The stand has 17 965 standard seats and 130 seats for the disabled.

*The roof* consists of an outer reticular steel space frame ring, measuring approximately 13 m in height, supported by 12 steel columns and four external stair blocks made of reinforced concrete. Radial load-bearing and stabilizing cables (cable truss system) are fastened to this ring on the outside, and are drawn together in an inner ring, concentric to the outer one, covering a 45 m projection.

A secondary space frame structure is suspended on the cables and supports a PTFE (Teflon) membrane which forms the actual roof covering.

Today, the new roofing structure of the Olympic Stadium has given it new architectural meaning: the innovative construction technology used has created a highly expressive new image, underling the same desire, after three previous renovation projects, to newly enhance this sport and entertainment venue lying at the foot of the Monte Mario hill, in one of the most strategic parts of the city network.

## una copertura sospesa

Prof. Ing. Massimo Majowiecki (\*\*)

## a suspended roofing system

Prof. Ing. Massimo Majowiecki (\*\*)

### Criteri di progettazione

Il sistema tensostrutturale di copertura, adottato per la copertura del nuovo stadio Olimpico in Roma, è costituito essenzialmente da (fig. 1):

- un'orditura radiale di tensostrutture piane
- un anello interno policentrico di contrasto
- un sistema d'ancoraggio esterno anulare policentrico reticolare spaziale.

#### Tensostrutture piane

Le tensostrutture di tipo piano, costituite da funi portanti, funi stabilizzanti e da un sistema di collegamento di parete in fune ad andamento quasi parallelo, sono ordite in direzione radiale rispetto ai centri  $C_1$  e  $C_2$  delle curve policentriche omotetiche, generatrici dello schema geometrico generale dello stadio (fig. 2).

Dalla fig. 2 è possibile osservare che le tensostrutture corrispondenti agli allineamenti da 1 a 5 e simmetriche secondo x ed y sono generate con un angolo al centro costante di circa  $2^\circ.3'$ . Le tenso allineate con i fili 6-15 hanno un angolo generatore relativo variabile tra  $2^\circ.36'$  e  $6^\circ.87'$ , mentre da 15 a 20 l'angolo è costante, pari a  $7^\circ.6'$  circa.

### Design criteria

The cable roofing system, used to cover the new Olympic stadium in Rome, is formed mainly of (fig. 1):

- a radial distribution of cable trusses;
- a polycentric inner tension cable ring;
- an outer anchorage system consisting of a space framed, reticular, polycentric ring.

#### Cable Trusses

The cable trusses, consisting of load-bearing cables, stabilizing cables and a connecting system of vertical, almost parallel cables, are distributed in a radial direction from centres  $C_1$  and  $C_2$  of the homothetic polycentric curves from which all the geometry of the stadium is generated (fig. 2).

In fig. 2, we can see that the cable trusses corresponding to alignments 1 - 5, symmetrical about x and y, are generated with a constant central angle of approximately  $2^\circ.31'$ . The structures aligned with cables 6 - 15 have generating angles which vary from  $2^\circ.26'$  to  $6^\circ.87'$ , while from 15 to 20 the angle is constant at approximately  $7^\circ.6'$ .

*Fig. 1. Vista aerea di una zona della copertura dello Stadio Olimpico dove si possono notare i vari elementi costitutivi del sistema costruttivo: l'anello esterno reticolare, le tensostrutture radiali, l'anello interno in funi ed i moduli di copertura in Teflon.*

*Fig. 1. Aerial view of an area of the Olympic Stadium roof where the various structural members making up the roofing system can be seen: external reticular anchorage ring, radial cable trusses, internal ring made up of cables and roofing members in Teflon.*

(\*\*) Professore Associato alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

(\*\*) Associate Professor - Department of Civil Engineering University of Bologna.