

fabrizio palmisano amedeo vitone vitantonio vitone\*

# forma, concezione strutturale e itinerari dei carichi form, structural conception and load paths

Si propone una lettura tecnico-costruttiva dell'opera: quasi una radiografia che, attraverso l'analisi di alcuni intimi e non visibili aspetti dell'organismo, sembra far ritrovare nella segreta armonia tra *forma* e *struttura* la ragione delle suggestioni e del naturale coinvolgimento del visitatore. We will here outline a technical-constructive reading of the work: almost an X-ray that – by analyzing some internal and not visible aspects of the organism – seems to reveal the secret harmony between form and structure that lies behind the fascination and natural involvement of the visitors.

#### CRITERI GENERALI DI SCELTA

Le singole aree risultano funzionalmente, e in alcune specifiche loro sub-parti anche strutturalmente, indipendenti in elevazione. Al fine, poi, di assicurare le richieste caratteristiche di isolamento acustico, l'intera ossatura strutturale di ciascuna delle tre sale è stata prevista completamente separata e indipendente da quella delle opere contigue. Sebbene ciascuna area dell'opera sia dotata di un organismo strutturale suo proprio, congruente con le proprie specifiche caratteristiche, la progettazione trae spunto da alcuni principi generali, comuni a tutte le aree funzionali. In primo luogo va rilevato che – malgrado la geometria risulti variabile da area ad area, e peraltro non regolare all'interno di ciascuna di esse – è stata studiata e prevista ove possibile l'adozione di elementi strutturali di serie (lastre predalle) per la realizzazione di solai alleggeriti, e di ele-

## GENERAL DESIGN CRITERIA

The single areas are functionally, and in some specific subdivisions also structurally, independent above ground. Moreover, to assure the indispensable acoustic insulation, the entire structural skeleton of each of the three concert halls has been planned as a completely separate unit, independent from the adjacent constructions. Even if each area of the work vaunts its own structural organism, adequate for its own specific characteristics, the design is based on a number of general principles that are applicable to all functional areas.

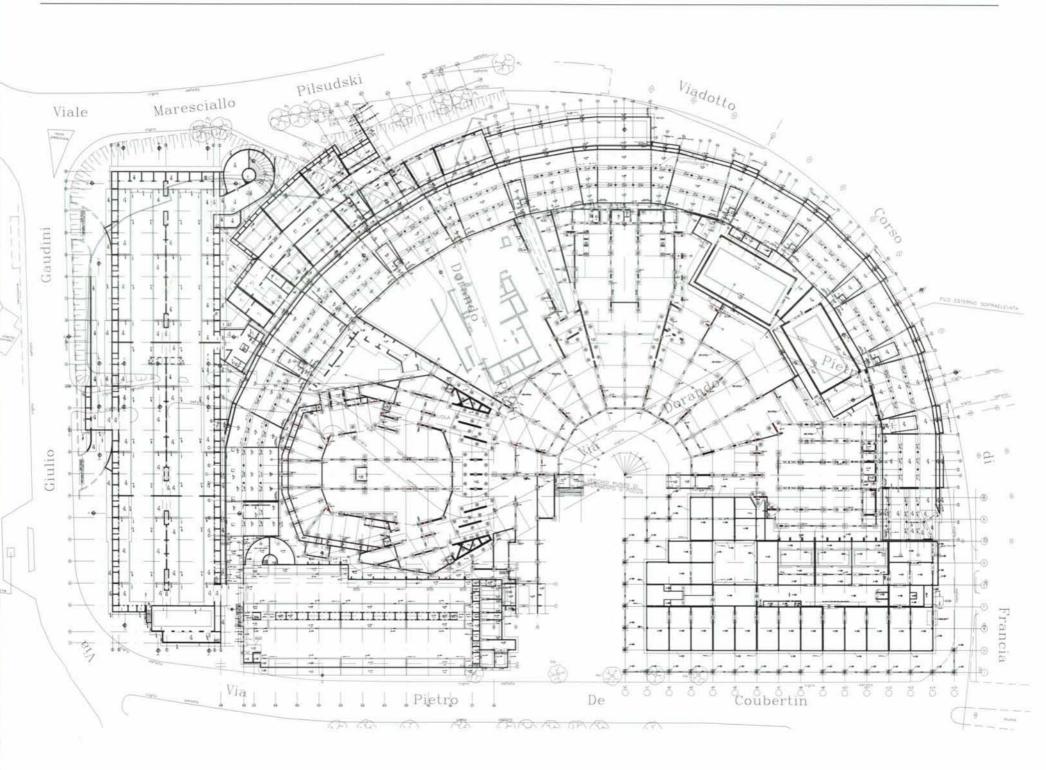
In the first place it must be observed that - in spite of the fact that the geometry is variable from area to area - as well as being irregular within each of them - the use of standard structural elements (light prefabricated concrete sills) have been studied and implemented wherever possible for the

Fase di montaggio del riccioli di copertura

Phase of the assembly of the curls of the roof

<sup>\*</sup> Studio Vitone & Associati, Bari (Vitantonio Vitone, Amedeo Vitone, Franceso Bonaduce, Nicola Cardascia, Vincenzo Giannuzzi, Luigi Maggi, Fabrizio Palmisano).





menti prefabbricati in cemento armato precaricato di solaio alveolare, di tegoli  $\Pi$  e travi a doppio T.

Tuttavia – con riguardo alle tre sale musica – la concezione geometrica dell'opera, e i suoi peculiari aspetti architettonici, sono incompatibili con soluzioni strutturali da catalogo. Al contrario essi implicano un orientamento verso l'adozione di muri portanti continui (pareti verticali; travi-parete) e – per gli organismi spaziali delle sale – di ossature miste (telai-pareti-solette), che traggono dalla solidarietà dei getti in opera la principale garanzia dell'efficacia del loro comportamento.

Per questi edifici, dunque, l'impiego della prefabbricazione è stato limitato all'uso – ove possibile – di lastre predalle, che tuttavia coprono la quasi totalità degli orizzontamenti.

#### LE OPERE DI FONDAZIONE

#### Le scelte progettuali

Tutte le opere sono state portate oltre la quota di 13,00 s.l.m., e quindi sufficientemente al di sopra del livello di rinvenimento della falda acquifera.

In armonia con indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si sono realizzate economie di costo di costru-

construction of lightweight floors, as well as prefabricated floor slabs in beehive-structured prestressed reinforced concrete, prefabricated intermediate floor slabs and wideflange I-beams. However - as far as the three concert halls are concerned - the geometric conception of the work. and its peculiar architectural aspects, are incompatible with standard structural solutions. On the contrary, they call for an orientation towards the adoption of continuous loadbearing walls (vertical walls, beam-walls) and - as to the spatial organisms of the halls - of mixed skeletons (framewalls-slabs) the performance of which depends on the solidarity of the on-site casts. In these buildings the use of prefabricated elements has therefore been limited to the installation - wherever possible - of lightweight prefabricated sills: these have nevertheless been adopted for almost all horizontal elements.

#### THE FOUNDATIONS

## The design decisions

All works have been erected above a level of 13.00 asl, and thus sufficiently above the highest level reached by the water-bed; the presence of the latter has therefore

The archaeological area



zione anche attraverso una differenziazione delle caratteristiche prestazionali delle fondazioni in funzione della sensibilità, propria di ciascun edificio, a eventuali cedimenti differenziali. Si sono pertanto adottate due tipologie strutturali: fondazioni profonde (per le tre sale musica e per il foyer) e fondazioni dirette superficiali, per tutti gli altri edifici.

### La geologia

L'origine dei terreni è essenzialmente fluviale, con locale presenza di depositi fluvio-lacustri. Il terreno di base, diffuso in tutta l'area romana, è costituito dalle argille grigio-azzurre plioceniche (dette argille vaticane), caratterizzate da un elevato grado di sovraconsolidazione. La ricostruzione del tetto di tale substrato mostra la presenza, in epoca pliocenica, di un terrazzo di altezza globale di oltre 40 m, successivamente riempitosi per deposizione di materiale di origine fluviale. Un antico solco di erosione attraversa quasi tutta l'area con direzione Nord-Nord-ovest/Sud-Sud-est: si tratta di un paleoalveo, ricoperto da successive deposizioni di materiali limosi e sabbiosi.

### Le fondazioni profonde

Sono costituite da blocchi impostati su pali trivellati f 1000 e f 1200 mm in cemento armato di lunghezza compresa tra i been essentially irrelevant for the planning of the variant. In accordance with the prescriptions of the Superior Council of Public Works, the building costs have been reduced also by means of a differentiation of the performance of the foundations according to the vulnerability of each building to any differential subsidence. As a result, two structural categories have been adopted: deep foundations (for the three concert halls and the foyer) and direct superficial foundations, for all the other buildings.

## Geology

The origin of the land is essentially fluvial, with a local presence of fluvial-lacustrine deposits. The foundation terrain, diffused in the entire Roman area, consists of Pliocene gray-blue clays (so-called Vatican clays), characterized by a high degree of overconsolidation. The reconstruction of the upper layer of this substratum reveals a presence, in the Pliocene era, of a terrace of a total height exceeding 40 m, that has subsequently been filled by sedimentation of fluvial materials. An ancient erosion furrow crosses a large part of the area in a north-northeast to south-south-east direction: It is the matter of a Paleobed that has subsequently been covered by sediments of muddy and sandy materials.

Uno dei profili geotecnici. Si distinguono i seguenti litotipi: Terreno di riporto (A). Limo argillosoargilia limosa a tratti debolmente sabbioso di colore marrone e contenente rare concrezioni calcaree (B). Sabbia medio-fine con limo o limosa di colore avana (C). Sabbia da medio fine a grossolana, grigia, con intercalazione di orizzonti millimetrici di limo (D). Limo argilloso-argilla limosa con intercalazioni sabbiose. grigio scuro-nerastro (E). Argilla limosa (argille plioceniche) grigia a tratti debolmente sabbiosa con intercalati livelli centimetrici o decimetrici di sabbia medio-fine (F). Ghiaia molto fine con inclusione di clasti in prevalenza calcarei (G). Sabbia medio fine con limo o limosa, grigia moderatamente addensata (G.) (fig. 2)

One of the geotechnical profiles: The following stone types are identified: Sedimentary land (A). Clayish silt-silty clay with a low sand content in some areas, brown in color and containing rare limy concentrations (B). Medium to fine sand with sitt, or sitty, of Havana color (C). Sand, from medium fine to rough, gray, with intermediate millimetric layers of silt (D). Clayish silt-silty clay with sandy insertions. dark gray-blackish (E). Gray silt-silty clay (Pliocene clays) slightly sandy in some points, with intermediate centimetric or decimetric levels of medium fine sand (F). Very fine gravel with inclusion of clasts, mainly calcareous (G). Gray, medium fine sand, with silt or silty, moderately dense (G.) (fig. 2)

30 e i 50 m, penetranti nel substrato compatto (argille plioceniche (formazione F), oppure, ove presenti in spessori idonei, nelle ghiaie addensate ad esse soprastanti (formazione G). Tale tipologia è stata adottata per gli edifici le cui caratteristiche geometriche e architettoniche – peraltro non modificabili senza compromettere la generale concezione del progetto – sono manifestamente incompatibili con significativi cedimenti assoluti e differenziali.

Le fondazioni su pali sono state, infatti, adottate per le sale e i relativi *foyer*.

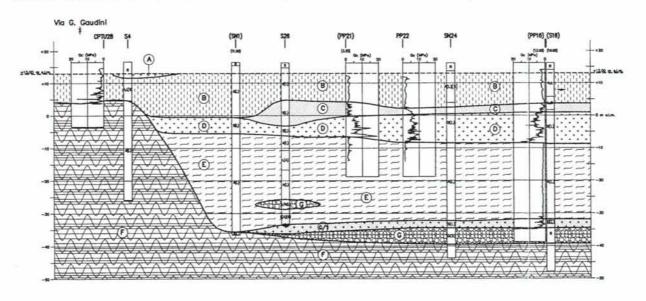
Le sale sono soggette ad azioni verticali di notevole intensità e concentrazione con elementi strutturali in elevazione molto rigidi e fortemente impegnati come membri di un organismo globale, il cui funzionamento è garantito solo dall'attivazione della loro solidarietà. Dell'importanza decisiva di questo comportamento spaziale di tipo scatolare si propone un'analisi (riferita, a titolo di esempio, alla sala media, da 1200 posti) nel paragrafo successivo. Oltre a queste intrinseche ragioni organiche, la scelta di riservare alle sale musica le fondazioni su pali è stata rafforzata da considerazioni di ordine geologico-geotecnico. Infatti esse sono situate su aree in cui il tetto del substrato rigido (formazione pliocenica) risulta molto inclinato sull'orizzontale, tanto che il piano di sedime di eventuali fondazioni superficiali sareb-

The deep foundations

The deep foundations consist of blocks, mounted on bored poles f 1000 and f 1200 mm, in reinforced concrete, from 30 to 50 m long, that penetrate into the compact substratum (Pliocene clays) (formation F) or, when sufficiently thick, in the dense gravel found above this layer (formation G).

This type of foundations have been adopted for the buildings whose geometric and architectural characteristics - which indeed could not be modified without compromising the general conception of the project - are clearly incompatible with significant absolute and differential subsidence.

In fact, foundation poles have been adopted for the concert halls (2700-1200-700) and the relative foyers. The concert halls are exposed to vertical actions of considerable intensity and concentration and their structural elements above ground are very rigid and play a crucial role as members of an overall organism, the efficiency of which depends on the activation of their solidarity. The crucial importance of this box-type spatial behavior is analyzed (taking the medium size hall with 1200 seats as example) in the following paragraph. In addition to these intrinsic organic reasons, the decision to build foundations on poles for the concert halls is also corroborated by geological and geotechnical considerations. In fact, they have been built on areas where the upper layers of the



be stato caratterizzato da un'accentuata deformabilità differenziale agli spostamenti verticali.

I foyer, funzionalmente connessi alle sale, sono dotati di fondazioni con analoghe caratteristiche per evitare – in corrispondenza dei giunti – dislocazioni verticali, la cui evoluzione nel tempo è peraltro di incerta valutazione. Si fa osservare al riguardo che mentre i cedimenti attesi delle opere dotate di fondazione su pali sono dell'ordine di 4  $\Pi$  10 mm, quelli dei corpi di fabbrica con fondazioni dirette sono dell'ordine di 5  $\Pi$  15 cm.

## Le fondazioni dirette superficiali

Sono costituite da nastri e platee, anche nervate, di spessori compresi indicativamente fra i 50 e gli 80 cm.

Tale tipologia è stata adottata per i seguenti corpi di fabbrica: edificio anulare, edificio nord, parcheggio interrato e altre unità minori. Data l'elevata deformabilità dei terreni interessati e la notevole disuniformità – anche fra zone contigue – degli spessori compressibili sottostanti il piano di sedime, l'impostazione progettuale globale di tali corpi è stata ispirata soprattutto all'intento di limitare, compatibilmente con le esigenze funzionali e architettoniche, le sollecitazioni conseguenti a tali sfavorevoli caratteristiche fondali.

rigid substratum (Pliocene formation) features a marked horizontal inclination, to the point that the subsidence level of any superficial foundations would have been characterized by an accentuated tendency towards deformation, differential with respect to the vertical movements.

The foyers, that are functionally connected to the concert halls, feature analogous foundations to prevent vertical dislocation in the hinge, the evolution in time of which is actually difficult to estimate. In this context it is significant to note that while the expected subsidence of the buildings with foundations on poles is on the order of  $4 \, \Pi$  10 mm, that of the building bodies with direct foundations is on the order of  $5 \, \Pi$  15 cm.

## The direct superficial foundations

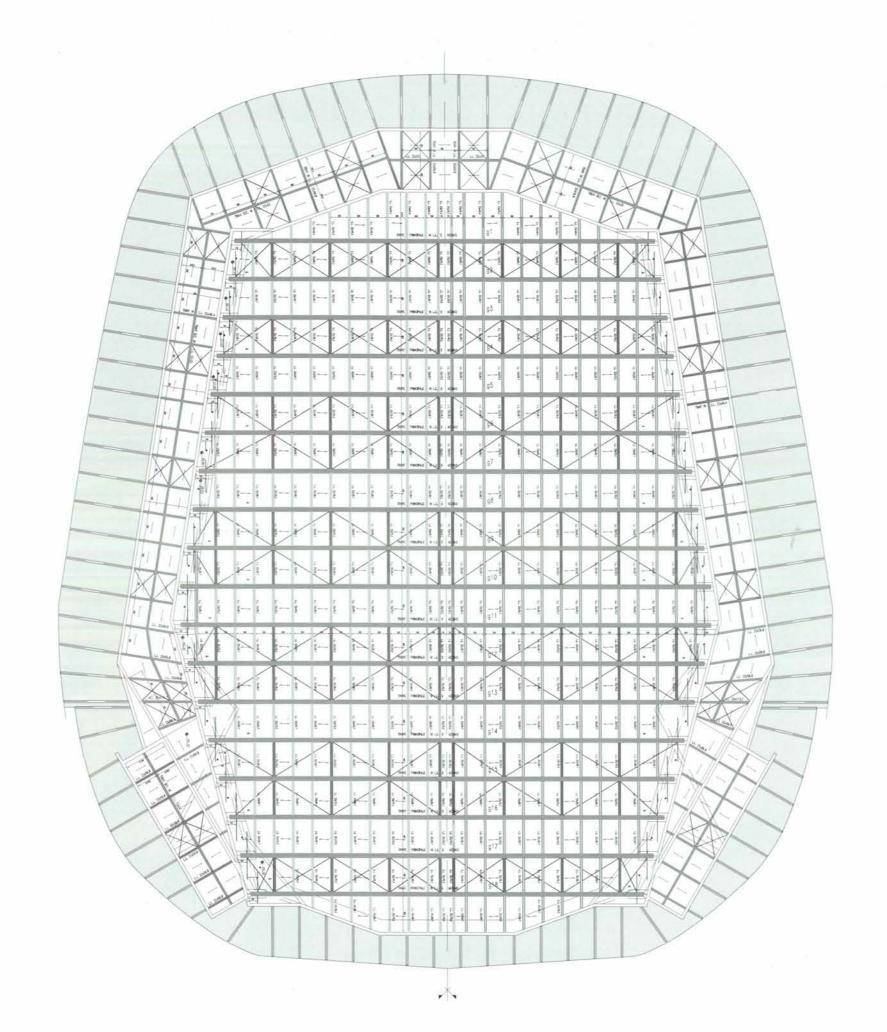
These foundations consist of strips and concrete beds, also ribbed, of a thickness varying from 50 to 80 cm.

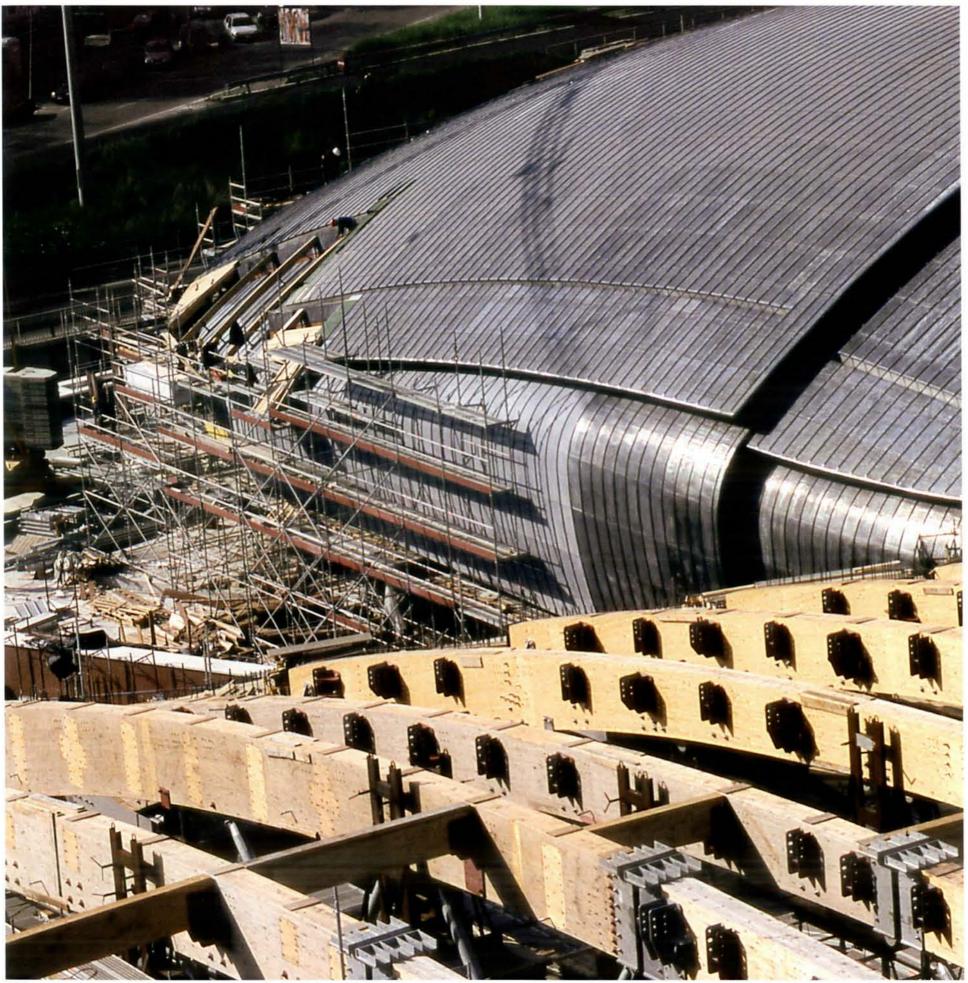
This type of solution has been adopted for the following buildings: the annular building, the northern building, the underground parking areas and other minor units.

Given the high deformability of the ground in question and the considerable lack of uniformity – also between adjacent areas – of the compressible layers below surface level, the general arrangement of these bodies has been planned principally to limit – compatibly with the functional and archi-

Sala 2700, pianta di carpenteria delle strutture di copertura (fig. 3)

2700 Hall, plan of the roof structure (fig. 3)





Il progetto delle fondazioni dei diversi corpi di fabbrica è stato in conclusione elaborato anche sulla scorta di analisi globali del complesso terreno-fondazione-struttura in elevazione.

LE COPERTURE IN LEGNO LAMELLARE DELLE SALE

Le strutture portanti di copertura delle tre sale sono costituite da orditure di travi in legno lamellare, associato a elementi di acciaio. La loro progettazione e realizzazione ha richiesto la soluzione di problematiche tecniche di inusuale difficoltà, in conseguenza:

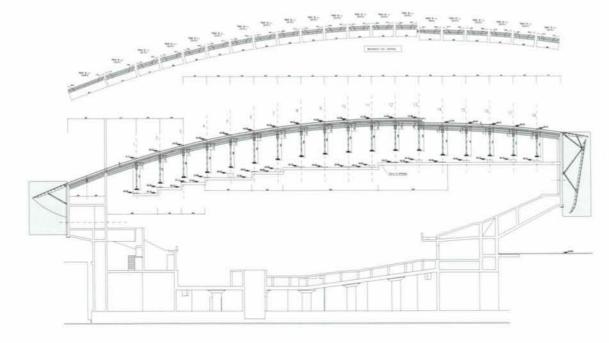
- della complessa forma toroidale delle superfici di estradosso;
- delle complesse interazioni spaziali tra i diversi elementi portanti, conseguenti a dette caratteristiche geometriche, analizzate anche attraverso analisi spaziali del 2° ordine per la verifica delle condizioni di stabilità elastica;
- delle eccezionali dimensioni delle luci delle sale (in particolare della Sala 2700);
- della straordinaria entità dei carichi permanenti, conse-

tectural requirements – the strain caused by the unfavorable type of terrain. The design of the foundations of the different buildings has finally also been elaborated on the basis of global analyses of the aggregate comprising ground, foundations and structure above ground.

#### THE ROOFS OF THE CONCERT HALLS IN LAMINATED WOOD

The load-bearing structures of the roofs of the three concert halls consist of a lattice of beams in laminated wood, combined with steel elements. The design and construction of these roofs has called for the solution of unusually complex technical problems, due to:

- the complex toroidal form of the surfaces of the extrados, that has made it necessary to use load-bearing elements with a very variable geometry;
- the complex spatial interactions between the different load-bearing elements, due to said geometric characteristics, that have also been analyzed through spatial analyses of the 2nd order to verify the conditions of elastic stability;

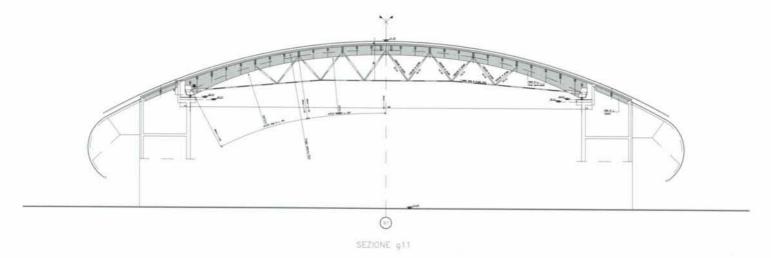


Sala 2700, sezione longitudinale mediana della copertura (fig. 4)

2700 Hall, longitudinal median section of the roof (fig. 4)

Pagina accanto Una delle fasi di posa in opera della copertura

Opposite page
One of the phases of the assembly of the roof



Sala 2700, schemi di tracciamento delle travi 11 e 12 (fia. 5)

2700 Hall, schemes of beams 11 and 12 (fig. 5)

guenti all'adozione di rivestimenti massivi per l'isolamento acustico:

- delle severe condizioni di sollecitazione termica differenziale. correlate alle condizioni di incendio;
- dell'associazione di membrature in legno lamellare (dotato di modulo elastico variabile nel tempo e di bassa sensibilità termica) con elementi integrativi strutturali in acciaio e solette di copertura in cemento armato (a modulo elastico costante e a elevato coefficiente di dilatazione).

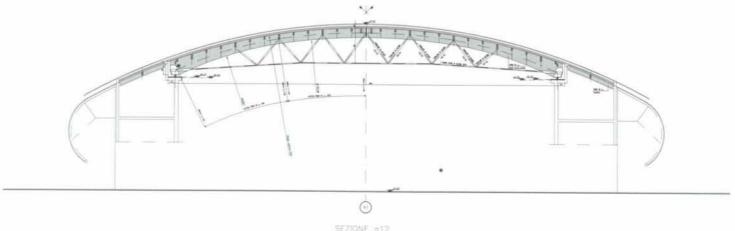
L'orditura di travi sostiene uno speciale e sofisticato sistema di rivestimento, che svolge anche un'essenziale funzione di isolamento acustico.

L'eccezionale entità dei carichi di copertura (complessivamente dell'ordine di quasi 1000 daN/ma), la necessità di superare luci libere rilevanti (sino a 54 m, nella Sala 2700), l'esigenza di assecondare la complessa geometria formale degli edifici, contenendo peraltro l'altezza di ingombro nei ristretti limiti urbanistici e architettonici disponibili hanno influito in misura determinante sia sulla configurazione deali elementi portanti e sul loro dimensionamento, sia sul loro passo. Proprio in conseguenza dell'estrema variabilità geometrica di progetto, le diciotto travi principali di copertura della Sala 2700 risultano tutte di dimensioni diverse tra loro. Le travi principali (a orditura trasversale) sono state, per tut-

- the exceptional dimensions of the spans of the concert halls (and the 2700 Hall in particular);
- the extraordinary entity of the permanent loads, due to the use of massive roofing elements to guarantee acoustic insulation:
- the severe conditions of differential thermal stress, associated with the condition of fire:
- the combination of structures in laminated wood (characterized by an elastic module that is variable in time and features a low thermal sensibility) and supplementary structural elements in steel and roofing slabs in reinforced concrete (featuring a constant elastic module and a high dilatation coefficient).

The lattice of beams supports a special and sophisticated roof covering system that also plays an essential role for purposes of acoustic insulation.

The exceptional entity of the loads supported by the roof structure (that total at almost 1000 daN/sq.m); the need to cover considerable free spans (up to 54 m, in the 2700 Hall): the need to adapt to the complex formal geometry of the buildings, at the same time keeping the height of the volume within the limits established by town planning regulations and architectural standards; all these factors have been determinant to the design of the configuration of the



Phase of the assembly of the beams in laminated wood



te e tre le sale, concepite con una configurazione ad arco parzialmente reticolare, con corrente superiore in legno lamellare (I.I.) con aste di parete e catena in acciaio. Gli arcarecci (a orditura longitudinale) sono costituiti invece da semplici travi in legno lamellare disposte su file parallele.

L'arco reticolare è a tre cerniere, con appoggi scorrevoli a rullo in acciaio, resi fissi a una estremità con collegamento meccanico alla struttura perimetrale in cemento armato. Si è evitato di utilizzare, per tali apparecchi, materiali sensibili al fuoco (tipo teflon o neoprene), eliminando la necessità di una loro periodica sostituzione. L'arco vero e proprio è costituito da due elementi in legno lamellare accoppiati a spalla a formare un'unica membratura, di altezza variabile in funzione delle esigenze geometriche e delle rilevanti sollecitazioni di calcolo. I due elementi sono solidarizzati con spinotti e/o bullonature passanti.

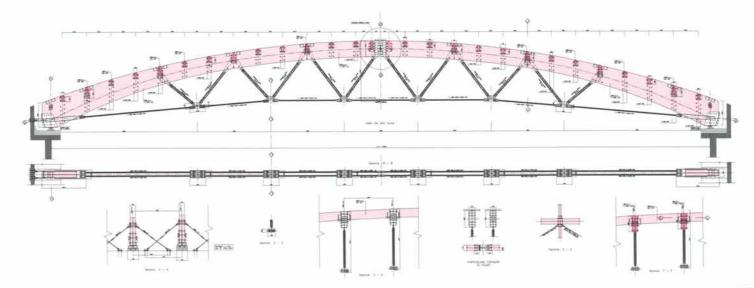
Le aste di parete sono costituite da profili tubolari in acciaio, collegati a cerniera alle estremità. Le catene sono invece formate da coppie di barre piene di grande diametro (da f 76 a f 100), in acciaio speciale da bonifica 41Cr4, filettate per *rullatura* e connesse ai nodi con manicotti o dadi filettati di produzione non di serie.

La tipologia adottata conferisce solo un debole grado di

load-bearing elements and their dimensioning, as well as their spacing. In fact, due to the extreme geometric variability of the design, none of the eighteen main beams of the roof of the 2700 Hall is of the same dimension.

The main beams (with transversal lattice) have, for all three concert halls, been conceived with a partially latticed arch configuration, with an upper stringer in laminated wood with wall poles and chain in steel. The purlins (featuring a longitudinal latticework), on the contrary, consist of simple beams in laminated wood, arranged in parallel rows. The latticed arch features three hinges, with sliding supports and roll in steel, anchored with a mechanical connection at one end to the perimetric structure in reinforced concrete. No fire-sensitive materials have been used in these systems (as Teflon or neoprene), to avoid any periodical replacement. The arch proper consists of two elements in laminated wood joined back to back to form a single structure, varying in height according to the geometric requirements and the considerable stress indicated by calculations. The two elements are joined by through kingpins and/or bolts.

The wall poles consist of tubular steel profiles, anchored to hinges at the ends. The chains, on the contrary, consist of pairs of solid bars of large diameter (from f76 to f100), in



Sala 2700, carpenteria di una trave ad arco (fig. 6)

2700 Hall, structurework of an arched beam (fig. 6)



Dettaglio dell'appoggio delle strutture lamellari

Detail of the anchoring of the structures in laminated wood

Sala 2700, particolari delle travi principali ad arco (fig. 7)

2700 Hall, details of the main arched beams (fig. 7)

Sala 700, particolare della scarpa di appoggio travi ad arco (fig. 8)

700 Hall, detail of the support shoe of the arched beam (fig. 8)

iperstaticità interna alle travi principali, che manifestano - come dimostrato dall'analisi condotta su numerosi modelli spaziali di calcolo nelle diverse condizioni di sollecitazione, comprese quelle estreme di incendio - un comportamento sostanzialmente molto vicino a quello di archi reticolari isostatici a tre cerniere.

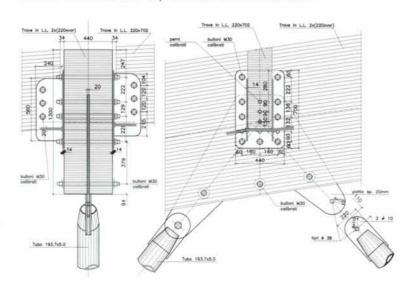
Le strutture sovrastanti gli spazi perimetrali interni delle sale sono composte da orditure di travi in legno lamellare – anch'esse a profilo curvo, per adeguarsi alla geometria della superficie di copertura – semplici (di base 22 cm) o doppie (di base 2 x 22 cm), in relazione alla misura delle luci da coprire.

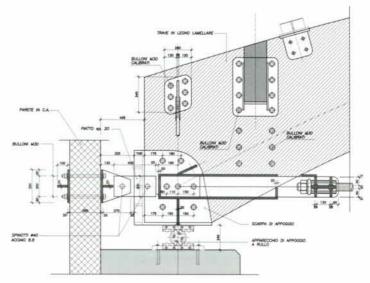
Nelle zone perimetrali esterne – aggettanti a sbalzo, a protezione delle scale metalliche sospese e delle uscite di emergenza – sono state utilizzate travi primarie a orditura radiale, disimpegnate, per motivi acustici, dalle corrispondenti travi ricadenti all'interno delle sale vere e proprie. In queste zone le travi sono configurate a ricciolo e su di esse sono direttamente sovrapposti il tavolato di rivestimento e i relativi elementi di supporto. La configurazione geometrica di tali elementi strutturali è straordinariamente complessa e assume una suggestiva valenza architettonica, caratterizzando fortemente l'aspetto esterno delle sale.

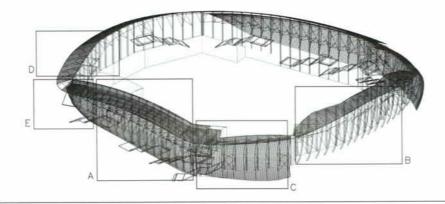
special hardened and tempered steel of type 41Cr4, threaded by rolling and connected to the nodes with customized sleeves or threaded bolts. The type of structure adopted only transmits a slight degree of hyperstaticity to the main beams, that manifest – as shown by analyses done on numerous spatial calculation models in different stress conditions, including the extreme ones of a fire – a behavior that essentially closely resembles isostatic lattice arches with three hinges.

The structures installed above the internal perimetric areas of the concert halls consist of lattices formed by beams in laminated wood – also these featuring curved profiles, adapted to the geometry of the roof surface –, used singularly (with a base of 22 cm) or in pairs (with a base of 2 x 22 cm) depending on the length of the spans.

In the areas outside the perimetric wall - that project to cover the suspended metal stairs and the emergency exits - primary beams with radial lattice have been used; they are independent from the corresponding beams located inside the concert halls proper, for acoustic purposes. In these areas the beams form curls, and the facing boards and relative support elements are directly superimposed on this structure. These beams are anchored both to the rein-







Accanto e sotto Sala 2700, geometria delle parti esterne della copertura: vista degli elementi laterali, tratto centrale "A"; tratto terminale posteriore "E" (fig. 9)

Alongside and bottom 2700 Hall, geometry of the external parts of the roof: view of the lateral elements, central part "A"; rear terminal part "E" (fig. 9)



Vista interna dell'intreccio delle strutture lignee e metalliche

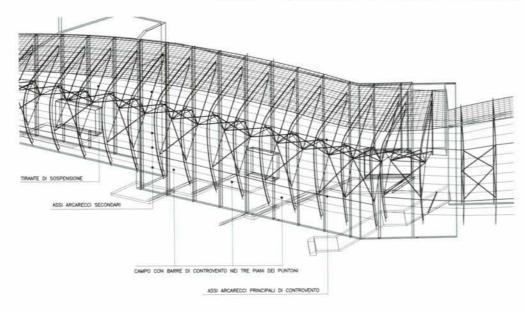
View of the interior, with the pattern created by the structures in wood and metal Le travi principali ad arco sono dotate di un ulteriore sistema di controventamento (oltre quello reticolare di falda), realizzato mediante connessioni meccaniche con la sovrastante soletta portante in cemento armato: detto sistema conferisce stabilità alla struttura anche in condizioni estreme di incendio, nell'ipotesi che le sollecitazioni termiche da questo indotte compromettano l'efficacia dell'altro irrigidimento di falda. Entrambi i sistemi di controventamento sono organizzati in gruppi autostabili indipendenti, comprendenti generalmente tre travi adiacenti. Sulle travi di ciascun gruppo autostabile è stata prevista l'applicazione, in fase di montaggio, di una coazione (precarica) da disattivare gradualmente con l'applicazione dei rilevanti carichi permanenti. La precarica ha consentito il contenimento delle deformazioni complessive in fase di costruzione.

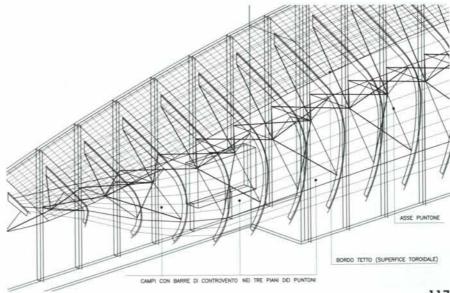
Tutte le strutture per le quali era richiesta una specifica e intrinseca resistenza al fuoco, sono state dimensionate e configurate in conformità alle norme vigenti. Per le catene, le aste di parete e gli appoggi a rullo sono stati comunque utilizzati speciali rivestimenti, esenti da amianto, in grado, oltre che di assicurare la prescritta classe di resistenza al fuoco, anche di contenere l'incremento di tem-

forced concrete walls of the halls and to pairs of tubular struts in steel ("V" or "Y" shaped), also in this case with a hinge junction. The geometric configuration of these structural elements is extraordinarily complex and striking from an architectural point of view, and gives the exterior of the hall a unique charm.

The principal arched beams are equipped with an additional wind-bracing system (apart from the latticed structure of the pitch) realized by mechanical anchoring to the load-bearing sill in reinforced concrete above: this system serves to stabilize the structure also in the extreme conditions of a fire, in case the relative thermal stress should compromise the efficiency of the other structures trussing the pitch. Both wind-bracing systems are organized in independently stable groups, generally comprising three adjacent beams. According to the project the beams of each independently stable group has been subjected to coaction (pre-loading) which has gradually been deactivated as the relevant permanent loads have been applied. This pre-loading has made it possible to reduce overall deformation during construction.

All structures requiring specific and intrinsic fireproofing have been dimensioned and configured in accordance

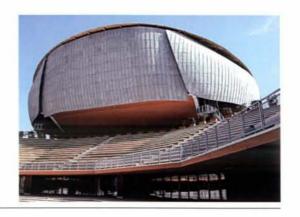






Sala 1200, il fronte a sbalzo verso la cavea

1200 Hall, the facade projecting towards the amphitheater



peratura degli elementi protetti nelle condizioni dell'incendio di progetto. Le variazioni termiche, comunque sensibili, di detti elementi di acciaio – differenziali rispetto alle parti in legno, considerate inerti – sono state prese in considerazione nei modelli spaziali adottati per il calcolo delle sollecitazioni indotte dall'incendio nei gruppi autostabili di travi.

# L'AUDITORIUM DI ROMA: IL METODO DEL PERCORSO DEL CARICO (*LPM*)

Lo STM (Strut and Tie Model), nato da un'idea di Hennebique, successivamente sviluppato da Ritter e Morsch, viene più recentemente proposto dalla Scuola di Stoccarda con un approccio di tipo globale al progetto delle strutture in cemento armato. Oggi l'impiego dello STM va sempre più accreditandosi, tanto da cominciare a essere inserito organicamente all'interno di normative tecniche di importante riferimento internazionale.

Il Metodo del Percorso del Carico (F. Palmisano, A. Vitone, C. Vitone, From load path method to classical models of structural analysis, Atti dell'ISEC-02 - International Structural Engineering and Construction Conference, Roma 23-26

with the regulations in force. Chains, wall poles and roll supports have in any case undergone special surface treatments, without asbestos, capable not only of guaranteeing the required fireproofing class, but also of reducing temperature increase of the protected elements in case of fire involving the project. The thermal variations, in any case considerable, of said steel elements – differential with respect to the wooden parts, that are considered inert – have been taken into consideration in the spatial models adopted for the calculation of the stress provoked by fire to the independently stable groups of beams.

## THE ROME AUDITORIUM: THE LOAD PATH METHOD (LPM)

The STM (Strut and Tie Model), based on an idea of Hennebique, subsequently developed by Ritter and Morsch, has more recently been proposed by the Stuttgart School with a global approach to the design of structures in reinforced concrete. Today the use of the STM is gaining more and more recognition, and is in fact beginning to be systematically included as part of important technical regulations used on an international level.

The Load Path Method (F. Palmisano, A. Vitone, C. Vitone, From



STM tracciato sulla facciata della Sala 1200 (fig.10)

STM traced on the 1200 Hall facade (fig.10)

Pagina accanto Vista esterna dei gusci laterali

Opposite page
External lateral view of the shells

Settembre 2003) – proposto per tracciare quel modello del traliccio (STM) che si mostra sempre più utile per l'analisi delle strutture in cemento armato – è nel contempo uno strumento semplice ed efficace di interpretazione del comportamento di una struttura. La sua applicazione ad alcune opere del complesso dell'Auditorium di Roma mostra la possibilità di accedere, anche attraverso vie molto semplici, a una lettura non solo intuitiva della correlazione tra forma e struttura, sino a percepire direttamente il rapporto fra dimensione geometrica e intensità degli sforzi.

## Lo sbalzo verso la cavea della Sala 1200

La fig. 10 rappresenta lo *STM* tracciato sulla sola facciata esterna – che compare nella foto a pagina 119 – del fronte strutturale a sbalzo verso la cavea della Sala 1200, prima del completamento con le opere murarie.

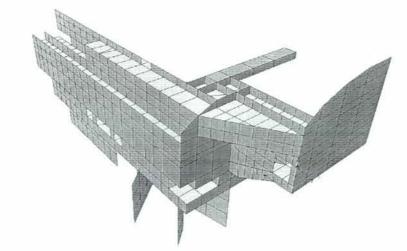
Secondo l'impostazione classica del modello del traliccio, le aste sono soggette al solo sforzo normale. Infatti i nodi che le solidarizzano sono sconnessi alla rotazione, e i carichi si ammette siano applicati solo ai suddetti nodi. Il simbolismo grafico adoperato consente di distinguere immediatamente le aste tese (a tratto intero) da quelle compresse (tratteggiate) e, quindi, di distinguere le linee principali di sviluppo delle barre di acciaio – che costituiscono l'arma-

load path method to classical models of structural analysi, Deeds of the ISEC-02 - International Structural Engineering and Construction Conference, Rome, 23-26 September 2003) - presented to outline the lattice method (STM) that has proven increasingly useful for the analysis of structures in reinforced concrete - is a simple yet efficient instrument for reading structural behavior.

Its application to some of the buildings belonging to the Rome Auditorium complex shows that it is possible to obtain, also by very simple paths, a reading that is not merely intuitive of the correlation between form and structure: to the point of achieving a direct perception of the relationship between geometric dimension and intensity of the strain.

The projection of the 1200 Hall towards the amphitheater Figure 10 represents the STM traced solely on the outer facade – that appears in the photo on page 119 – of the structural facade that overhangs the amphitheater, of the 1200 Hall, before the completion of the masonry works.

According to the traditional approach of the lattice method, the poles are only exposed to normal strain. In fact, the nodes that render them solidary are disconnected from the rotation, and the exertion of loads is only allowed on the aforesaid nodes. The graphic symbols make



Modello agli elementi finiti della Sala 1200 (fig. 11)

Model with finished elements of the 1200 Hall (fig. 11)

tura di pareti e solette in cemento armato - dalle regioni in cui la funzione portante è invece affidata al calcestruzzo compresso. Si riconosce immediatamente, attraverso un semplice confronto con la fig. 11 (che rappresenta il correlativo modello agli elementi finiti), che lo STM non è solo uno strumento di analisi, ma è anche un mezzo di rappresentazione grafica del comportamento strutturale di immediata percezione. Il modello con elementi finiti (FEM) resta in effetti una pura rappresentazione geometrica che di per sé non può fornire alcuna informazione sulla statica dell'opera. L'efficacia e la suggestione dell'immediatezza con cui lo STM propone la sua stessa geometria perché vi si legga anche la natura e persino l'intensità dell'impegno al quale la struttura è soggetta, risultano tuttavia notevolmente rafforzati se al disegno del modello del traliccio si perviene passo passo attraverso la sistematica applicazione del metodo del percorso del carico LPM (Load Path Method), come viene proposto dalle successive figg. 12-15.

Criterio generale per la *lettura* di una struttura attraverso la sua *forma*, adoperando *LPM*, è quello di distinguere preliminarmente gli itinerari dei carichi verticali propriamente detti, da quelli delle spinte impresse dai medesimi alla restante parte dell'opera, in corrispondenza dei nodi nei quali il *vettore* che porta il carico deve deviare il suo

it possible to immediately distinguish the poles subjected to tension (continuous lines) from those exposed to compression (dashed lines), and thus to distinguish the principal lines of development of the steel bars – that represent the armature of walls and slabs in reinforced concrete – from the areas where the load-bearing function is on the contrary performed by the compressed concrete. A simple comparison with fig. 11 (that shows the correlative model with finished elements) immediately reveals that the STM is not just an instrument of analysis, but also a clear and comprehensible method of graphic representation of the structural behavior. In fact, the model with finished elements (FEM) remains a pure geometric representation that cannot as such provide any information on the statics of the construction.

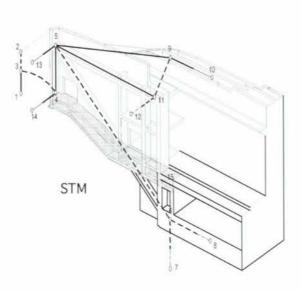
The clarity and comprehensibility with which the STM presents its characteristic geometry, to also illustrate the nature and even the intensity of the stress the structure is exposed to, may however be improved considerably if the design of the lattice model is developed gradually through a systematic application of the Load Path Method (LPM) as shown in figures 12-15. The general criterion for the reading of a structure through its form, with the aid of the LPM, is to first of all distinguish the paths of the vertical loads in the strict sense of the term,

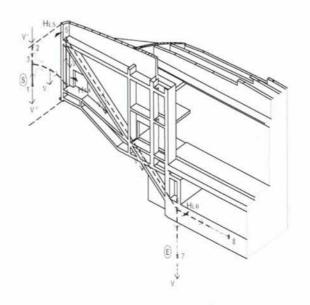
STM tracciato sullo spaccato assonometrico della Sala 1200 (fig. 12)

STM outlined on an axonometric section of the 1200 Hall (fig. 12)

LP del carico verticale V=V' + V" (fig. 13)

LP of the vertical load V=V'+V'' (fig. 13)





percorso. Nei tre tipi di forze (vettore, carico e spinta), il cui significato fisico è peraltro di immediata percezione, e nelle fondamentali due leggi, dell'equilibrio e della congruenza, si esaurisce il semplice impianto del metodo, pur tanto versatile nelle pratiche applicazioni. Come si è detto, la distinzione fra LP di V (itinerari dei carichi verticali) e LP di H (itinerari delle spinte) è un momento essenziale per attribuire alle aste dello STM un correlativo semplice significato fisico, riconoscendovi un tratto di uno dei due suddetti percorsi. Ma è anche uno strumento interessante di valutazione, sulla base di semplici considerazioni geometriche, dell'influenza che sulle scelte formali globali hanno avuto, da un lato, la necessità liberare volumi dalle masse strutturali funzionali al trasporto dei carichi verticali, dall'altro, la necessità di inserire volumi funzionali alla canalizzazione delle spinte orizzontali esercitate dai carichi costretti a deviare. Il tema proposto per il caso illustrato della Sala 1200 è quello conseguente alla necessità di realizzare il grande corpo a sbalzo verso la cavea, che è illustrato dalla fig. 10. Secondo la chiave di lettura di LPM è come dire che l'intento funzionale del progettista è quello di liberare il volume sottostante la galleria da ingombri strutturali, che sarebbero indispensabili se i carichi verticali corrispondenti ai pesi della suddetta galleria

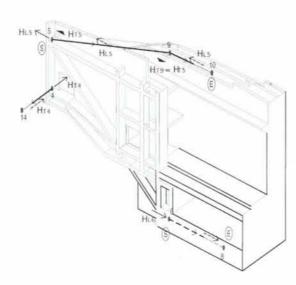
from those of the thrust exerted by the same loads towards the other parts of the work, at the nodes where the vector carrying the load must deviate its path. Despite the versatility of its practical applications, the simple approach of the method is based on a few factors: the three types of force (vector, load and thrust), the physical significance of which is straightforward and easily understood, and two fundamental laws, of equilibrium and congruence. As mentioned above, the distinction between LP of V (itineraries of the vertical loads) and LP of H (itineraries of the thrusts) is an essential aspect for purposes of assigning a correlative simple physical significance to the poles of the STM, identifying them as stretches of one of the two aforesaid paths. But it is also an interesting instrument of valuation, on the basis of simple geometric considerations, of how the formal global decisions have been influenced by - on the one hand - the need to free volumes from the structural mass necessary for the transmission of vertical loads, and - on the other - the need to insert volumes that serve to channel the horizontal thrusts exerted by loads that are forced to deviate. The theme proposed for the case exemplified by the 1200 Hall is consequential to the need to build the large body that overhangs the amphitheater, as illustrated in figure 10. According to the key

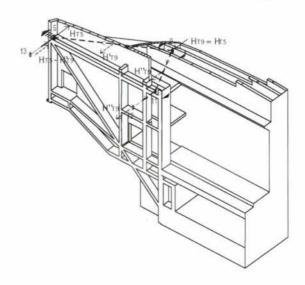
LP delle spinte orizzontali primarie (fig. 14)

LP of the primary horizontal thrusts (fig. 14)

LP delle spinte orizzontali secondarie (fig. 15)

LP of the secondary horizontal thrusts (fig. 15)





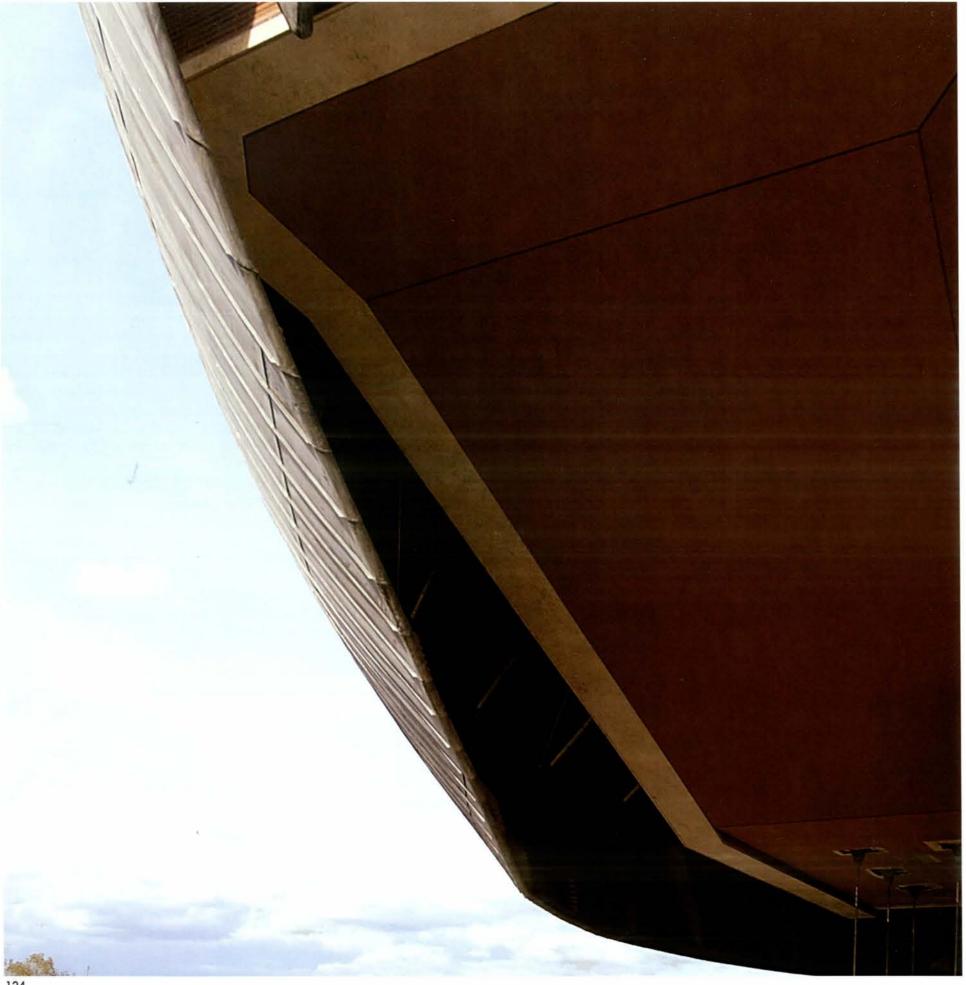
dovessero percorrere i loro naturali itinerari verticali, sino alle fondazioni. La fig. 13, riportando i soli itinerari dei carichi V (e appena accennate le spinte impresse nei nodi di deviazione), mostra con chiarezza le regioni strutturali funzionali (e la loro forma) a questa specifica esigenza. Si notino i percorsi di discesa, tutti compressi, e quelli di risalita, che, al contrario, risultano tutti tesi: i carichi della grande parete frontale in cemento armato, che dall'alto scendono (nodi 2-3) e dal basso risalgono (nodi 1-3) verso il flusso principale ad arco (3-4). E ancora, la risalita (tirante 4-5) di tutti i carichi, per poi ridiscendere con il percorso obliquo del puntone fondamentale (nodi 5-6) verso l'itinerario finale, verticale, che li porta finalmente in fondazione (nodi 6-7). L'elevatezza della quota massima raggiunta dai carichi (nodo 5), di decisiva rilevanza architettonica e formale, risulta anche immediatamente correlata all'esigenza dei carichi di sfruttare al massimo la geometria disponibile perché siano utilizzati percorsi finali di discesa ver-

of interpretation of the LPM, in other words, the functional intention of the planner is to free the volume below the balcony from structural volumes that would have been indispensable if the vertical loads represented by the weight of said balcony were to follow their natural vertical itineraries down to the foundations. Figure 13, that only shows the itineraries of the V loads (just suggesting the thrusts exerted in the deviation nodes) clearly shows the structural rules (and their form) applicable to this specific requirement.

The figure shows the downward paths, all compressed, and those of reascent, that are on the contrary all in tension: the loads of the large facade wall in reinforced concrete, that descend from above (nodes 2-3) and reascend from below (nodes 1-3) towards the principal, arched flow (3-4). And then, again, the reascent (tie-beam 4-5) of all the loads, that descend once more along the oblique path of the foundation strut (nodes 5-6) towards the final itinerary, vertical, that eventually brings them to the foundations (nodes 6-7). The high altitude of the peak level reached by the loads (node 5), that plays a decisive role from an architectural and formal point of view, is also immediately correlated to the need of the loads to fully exploit the available geometry, because the final itineraries towards the foundations are those that require the least investment in

Vista dello sbalzo della Sala 2700

View of the projection of the 2700 Hall



so le fondazioni che richiedano il minore investimento in energia di deformazione (attraverso itinerari 5-6 il meno ribassati possibile).

Le figg. 14-15, infine, sono esclusivamente dedicate al tracciato degli itinerari delle spinte orizzontali H, prodotte sia dalle deviazioni dei carichi verticali (spinte primarie: fig. 14), sia dalle deviazioni delle stesse spinte primarie (spinte secondarie: fig. 15). Si riconosce immediatamente che la forma e le caratteristiche scatolari dell'opera risultano fondamentali proprio ai fini dello sviluppo di queste traiettorie orizzontali delle spinte, che assumono, lungo l'intero perimetro, e ai lembi superiori della sala, spiccate caratteristiche di percorsi di trazione. Così come appare evidente, la stretta correlazione fra il comportamento strutturale descritto e la corrispondente programmazione delle fasi esecutive di getto e di maturazione graduale dell'opera.

#### La tribuna della cavea

Un altro esempio, forse insospettabile, di integrazione forma-struttura è rappresentato dalla cavea dell'Auditorium di Roma. La tribuna della cavea si sviluppa lungo un settore circolare nel cui centro si può riconoscere il punto di convergenza virtuale (focus) di tutta l'opera. Al foyer, sottostante la tribuna scoperta, è affidato il compito dell'intedeformation energy (through itineraries 5-6, lowered as little as possible).

Figures 14 and 15 are, finally, solely dedicated to outlining the itinerary of the horizontal thrusts H, produced both by the deviation of the vertical loads (primary thrusts: fig. 14), and by the deviation of the self-same primary thrusts (secondary thrusts: fig. 15). One immediately recognizes that the form and the box characteristics of the construction are essential precisely for purposes of the development of this horizontal trajectory of the thrusts; along the entire perimeter, and on the upper edges of the halls, these clearly assume the characteristics of traction itineraries. Also the close correlation between the structural behavior described, and the corresponding planning of the executive phases of casting and gradual completion of the works, is evident.

## The tribune of the amphitheater

Another, perhaps unexpected, example of integration between form and structure consists of the amphitheater of the Rome Auditorium. The tribune of the amphitheater is developed along a circular sector, the center of which may be recognized as the point of vital convergence (focus) of the entire work. The fover, below the open-air trib-

Pagina accanto Vista dal basso del volume a sbalzo

Opposite page View of the overhanging volume from below grazione funzionale delle tre sale. Questa sensazione di unitarietà è certamente accentuata dalla particolare concezione strutturale, a sbalzo in direzione radiale, che lascia tutto il fronte anulare del foyer completamente libero da qualsiasi soluzione di continuità. Come si mostrerà in seguito, la leggerezza della soluzione è una conseguenza di una ricerca mirata a utilizzare le risorse di resistenza insite nella forma, nella geometria strutturale della tribuna.

L'aspetto strutturalmente più impegnativo è rappresentato dall'estremità a sbalzo, contrassegnata con i nodi 0-1-2-3 (fig. 16).

La trave anulare – la cui sezione trasversale rettangolare, fra i nodi 2-3, è inclinata rispetto alla verticale – appare infatti del tutto inadeguata in considerazione della rilevante luce, fra i due setti verticali radiali in cemento armato (7/8-7/8: si veda la fig. 20). L'impegno al quale sarebbe chiamata la trave, qualora si trascurasse di attivare le risorse di resistenza di cui pure la tribuna è dotata per forma, sarebbe poi di molto aggravato dalla circostanza che il carico complessivo agente – peso proprio e accidentale – su tutta la regione 0-1-2-3 è non solo di per sé elevato, ma anche eccentrico rispetto alla trave. La rilevanza del carico e della eccentricità, a sua volta, rappresenta una conseguenza inevitabile dell'intento progettuale di accentuare l'effetto a sbalzo.

une, serves as functional integration between the three concert halls. The sense of unity is certainly underscored by the particular structural conception, of projection with a radial orientation, that frees the entire annular front of the foyer completely from any interruption. As shown below, the lightness of the solution is the result of a research aimed at exploiting the intrinsic resistance resources of the form, in the structural geometry of the tribune.

The aspect that has been most demanding from a structural point of view consists of the overhanging extremity, indicated with nodes 0-1-2-3 (fig. 16).

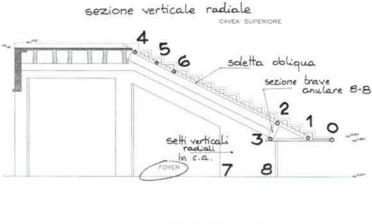
The annular beam (whose transversal rectangular section, between nodes 2-3, is inclined with respect to the vertical) in fact appears completely inadequate considering the large span between the two vertical radial walls in reinforced concrete (7/8-7/8: see fig. 20). The stress the beam would have been exposed to, if the resistance resources featured by the tribune by virtue of its form were not activated, would then be seriously aggravated by the fact that the total load dead and live – supported by the entire region 0-1-2-3 is not just high as such, but also eccentric with respect to the beam. The importance of the load and the eccentricity, in their turn, represent an inevitable consequence of the architect's intention to underscore this projecting effect.

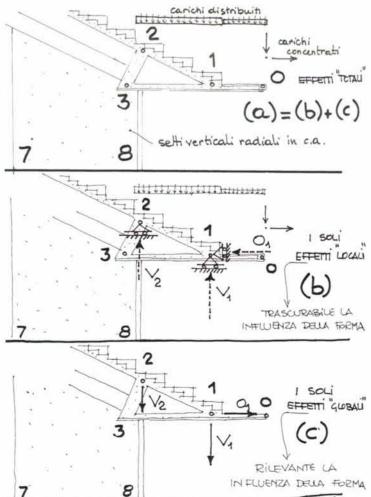
Sezione verticale radiale del foyer (fig. 16)

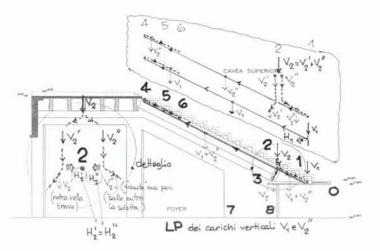
Vertical radial section of the foyer (fig. 16)



Detail of the projecting part of the tribune (fig. 18)

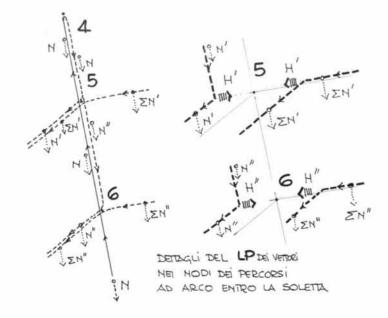






LP dei carichi V1 e V\*2 (fig. 17)

LP of loads V1 e V"2 (fig. 17)



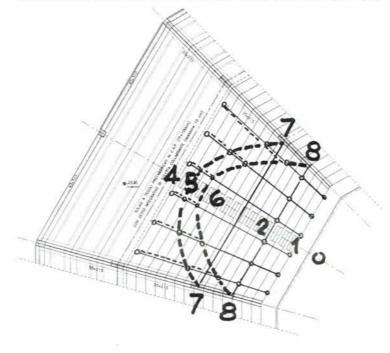
Dettaglio del LP del vettori nei nodi del percorsi ad arco entro la soletta (fig. 19)

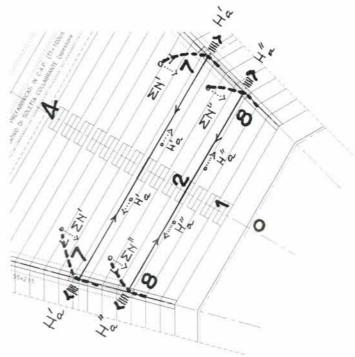
Detail of the LP of the vectors in the nodes of the arched itineraries within the slab (fig. 19)

Sono infiniti gli STM possibili (e cioè equilibrati): la ricerca, utilizzando il Load Path Method, della congruenza, e cioè del minor investimento possibile in energia di deformazione, si identifica con quella della soluzione che assicura al meglio l'utilizzazione delle risorse di resistenza disponibili per effetto della geometria funzionale propria dell'opera. Come mostra la fig. 18, la soluzione del problema consiste, dunque, nel tracciare i percorsi dei due carichi V., V. e della spinta O,, oltre a quelli delle spinte da loro impresse (in corrispondenza dei nodi ove tali percorsi vengono deviati): si deve scegliere, fra le infinite possibilità disponibili, quella di cui si possa apprezzare la modesta entità dell'energia di deformazione investita. Sotto il profilo metodologico giova sempre, applicando LPM, distinguere e analizzare separatamente l'itinerario dei carichi da quello delle spinte. È un criterio che del resto si mostra particolarmente utile quando, analizzando la forma di un'opera, si vuole non solo riconoscere la misura in cui essa aderisce alla concezione strutturale, ma anche distinguere l'influenza che su di essa può avere avuto la scelta adottata per i per-

An infinity of STMs are feasible (or in other words balanced): the research (using the Load Path Method) of the congruence, that is to say the least possible investment in deformation energy, serves to identify the solution that allows an optimal exploitation of the resistance resources offered by the functional geometry characterizing the work. As shown in fig. 18, the solution of the problem thus consists of tracing the paths of the two loads  $V_{\mu}$ ,  $V_{\mu}$  and the thrust  $O_{\mu}$  as well as those of the thrusts they are exposed to (in the nodes where these paths are deviated): among the infinite possibilities available, one must choose the one found to feature a limited development of deformation energy.

From a methodological point of view It is always convenient to distinguish the itinerary of loads from those of thrusts and analyze them separately on the basis of the LPM. This criterion proves particularly useful when the analysis of the form of a construction is effectuated not only to verify to what extent it corresponds to the structural conception, but also to distinguish to what extent it has been influenced by the choices adopted for the itineraries of the two types of ac-





STM nella soletta (fig. 20)

STM in the slab (fig. 20)

LP delle spinte anulari (fig. 21)

LP of the annular thrusts (fig. 21)

corsi dei due tipi di azioni (verticale e orizzontale: carichi e spinte). Nel caso in esame i carichi  $V_1$  e  $V''_2$  (fig. 17) guadagnano la quota più elevata disponibile, proprio alla ricerca della massima economia in energia di deformazione. Infatti, solo partendo dalla sommità i due carichi possono ridiscendere verso i setti portanti verticali in cemento armato (che costituiscono la stazione di destinazione) utilizzando gli itinerari (ad arco: fig. 20) meno dissipativi, che sono appunto quelli più *rialzati*.

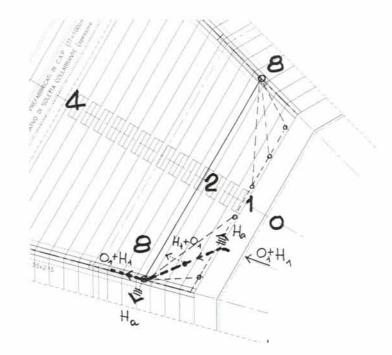
La fig. 20 mostra il modello del traliccio (STM) relativo alla soletta obliqua della gradonata. Le figg. 19 e 21 mostrano dettagli di LP. Si noti (fig. 19) l'effetto della solidarietà nei nodi, a proposito della correlazione fra forma e statica: i carichi provenienti da monte deviano (tracciando così il profilo dell'arco) quanto basta per imprimere la spinta sufficiente a equilibrare quella che il carico esercita per deviare a sua volta ed entrare nel flusso dell'arco che si dirige verso le estremità vincolate.

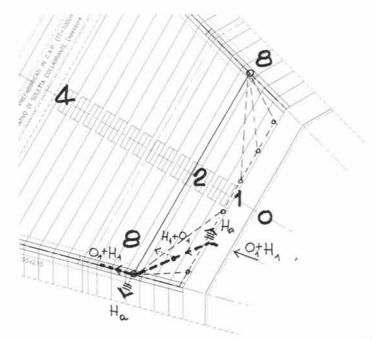
La fig. 22, infine, illustra *STM* e *LP* parziale della spinta H, esercitata dal carico V, per deviare lungo la risalita 0-4 (fig.

tion (vertical and horizontal: loads and thrust). In the case in point the loads V, and V"<sub>2</sub> (fig. 17) reach the highest level available, precisely in search of the greatest economy in terms of deformation energy. In fact, only by starting from the top may the two loads return down towards the load-bearing walls in reinforced concrete (that represent their destination) using the itineraries (arched: fig. 20) that entail the least dissipation, represented by the highest paths.

Figure 20 shows the lattice model (STM) of the oblique sill of the stands. Figures 19 and 21 show details of the LP. Observe (fig. 19) the solidarity created by the nodes, in terms of correlation between form and statics; the loads originating from above deviate (thus tracing the profile of the arch) to the extent necessary to exert the thrust sufficient to balance the one exercised by the load to deviate in its turn, and enter in the flow of the arch that is oriented towards the fixed extremities.

Figure 22, finally illustrates partial STM and LP of the H, thrust exercised by the V, load, to deviate along the reascent 0-4 (fig. 17). The model clearly shows that that hori-





LP delle spinte orizzontali radiali (fig. 22)

LP of the radial horizontal thrusts (fig. 22)

17). Il modello mostra chiaramente che il ballatoio orizzontale all'estremità inferiore viene utilizzato come lastra-trave, capace di portare ai setti radiali anche le spinte orizzontali (O,+H,). zontal gallery at the lower end serves as slab-beam, capable of conveying also the horizontal trusts to the radial partitions (O,+H,).

#### CONCLUSIONI

L'analisi delle caratteristiche tecniche strutturali dell'Auditorium di Roma, attraverso la descrizione di alcune sue parti - dalle fondazioni, alle strutture in elevazione in cemento armato, alle coperture in legno lamellare - è un'occasione di riflessione per apprezzare l'integrazione fra i valori estetici della forma e i contenuti prestazionali della struttura che in quella forma si esprime. Lo strumento di indagine prescelto è lo Strut and Tie Model (STM), e il metodo proposto per disegnarlo è il Load Path Method (LPM).

L'efficacia del metodo dipende naturalmente dalla misura in cui il modello – anche grazie a un'adeguata organizzazione geometrica delle sue aste – aderisce all'effettiva configurazione della struttura. Riveste, dunque, particolare interesse in questa prospettiva, la ricerca oggi in atto di strumenti che rendano meno empirica la scelta del disegno del modello.

LPM, come si è detto, è stato proposto come metodo per diseanare lo STM.

#### CONCLUSIONS

The analyses of the technical and structural characteristics of the Rome Auditorium, on the basis of the description of some of its parts (from the foundations to the structures above ground in reinforced concrete, to the roof elements in laminated wood) represent an opportunity to reflect and appreciate the integration between the aesthetic values conveyed by that form. The instrument chosen for this verification consists of the Strut and Tie Model (STM), while the method adopted to illustrate it consists of the Load Path Method (LPM). The LPM, has been proposed as a method for designing the STM.

The efficiency of the method naturally depends on the extent to which the model – also thanks to an adequate "geometric" organization of its poles – reflects the actual configuration of the structure. In this perspective the research, currently in progress, of instruments that make the model design decisions less empirical, is of particular interest.

The paragraph about the projection of the 1200 Hall contains some examples of application. The STM is developed gradually, by the attribution of a precise physical significance to Nel paragrafo sul corpo a sbalzo della Sala 1200 sono riportati alcuni esempi di applicazione. Si costruisce lo *STM* passo passo, attraverso l'attribuzione di un preciso significato fisico a ciascuna delle aste del traliccio al quale è assimilata la struttura principale in cemento armato.

Il flusso del percorso dei carichi (*LPM*) non rappresenta dunque solo un disegno suggestivo del comportamento della struttura, ma anche un efficace e chiaro strumento di indagine e di giudizio.

L'organica e sistematica applicazione di *LPM* sembra aprire nuove prospettive nella ricerca di un linguaggio comune all'ingegnere e all'architetto, perché – in unico disegno – si possano esprimere in armonia gli aspetti formali, estetici, funzionali e strutturali dell'opera. each of the poles of the lattice to which the main structure in reinforced concrete is assimilated.

The flow of the load itineraries (LPM) therefore not only represents a fascinating drawing of the behavior of a structure, but also an efficient and clear instrument of investigation and valuation.

An organic and systematic application of the LPM seems to open new perspectives in the research for a language that may be shared by engineer and architect, because they may, in a single design, express the formal, aesthetic, functional and structural aspects of a construction in a harmonious manner.

# 1994-2002 auditorium parco della musica

Renzo Piano Building Workshop, architetti

Gara: 1994

Design team: K. Fraser (architetto incaricato), S. Ishida (senior partner) con C. Hussey, J. Fujita e G.G. Bianchi, L. Lin, M. Palmore, E. Piazze, A. Recagno, R. Sala, C. Sapper, R.V. Truffelli (partner), L. Viti; G. Lagnasco (operatore CAD)

Consulenti: Ove Arup & Partners (strutture e impianti); Müller Bbm (acustica); Davis Langdon & Everest (controllo costi); F. Zagari, E. Trabella (paesaggisti); Tecnocamere (prevenzione incendi)

Progetto esecutivo: 1994-1998

Design team: S. Scarabicchi (partner incaricato), D. Hart (partner), M. Varratta con S. Ishida, M. Carroll (senior partners) e M. Alvisi, W. Boley, C. Brizzolara, F. Caccavale, A. Calafati, G. Cohen, I. Cuppone, A. De Luca, M. Howard, G. Giordano, E. Suarez-Lugo, S. Tagliacarne, A. Valente, H. Yamaguchi; S. D'Atri, D. Guerrisi, L. Massone, M. Ottonello, D. Simonetti (operatori CAD); D. Cavagna, S. Rossi (modelli)

Consulenti: Studio Vitone & Associati (strutture); Manens Intertecnica (impianti); Müller Bbm (acustica); T. Gatehouse, Austin Italia (controllo costi); F. Zagari, E. Trabella (paesaggisti); Tecnocons (prevenzione incendi); P.L. Cerri (graphic design)

Fase costruttiva: 1997-2002

Design team: S. Scarabicchi (partner incaricato)

con M. Alvisi, D. Hart (partner) e P. Colonna, E. Guazzone,

A. Spiezia

Consulenti: Studio Vitone & Associati (strutture); Manens Intertecnica (impianti); Müller Bbm (acustica); Techint/Drees & Sommer (direzioni lavori) Renzo Piano Building Workshop, architects

(CAD Operator)

Competition, 1994
Design team: K. Fraser (architect in charge), S. Ishida
(senior partner) with C. Hussey, J. Fujita and G.G. Bianchi,
L. Lin, M. Palmore, E. Piazze, A. Recagno, R. Sala,
C. Sapper, R.V. Truffelli (partner), L. Viti; G. Lagnasco

Consultants: Ove Arup & Partners (structure and services); Müller Bbm (acoustics); Davis Langdon & Everest (cost control); F. Zagari, E. Trabella (landscaping); Tecnocamere (fire prevention)

Design Development, 1994-1998
Design team: S. Scarabicchi (partner in charge),
D. Hart (partner), M. Varratta with S. Ishida, M. Carroll
(senior partners) and M. Alvisi, W. Boley, C. Brizzolara,
F. Caccavale, A. Calafati, G. Cohen, I. Cuppone,
A. De Luca, M. Howard, G. Giordano, E. Suarez-Lugo,
S. Tagliacarne, A. Valente, H. Yamaguchi;
S. D'Atri, D. Guerrisi, L. Massone, M. Ottonello, D. Simonetti
(CAD Operators); D. Cavagna, S. Rossi (models)

Consultants: Studio Vitone & Associati (structure); Manens Intertecnica (services); Müller Bbm (acoustics); T. Gatehouse, Austin Italia (cost control); F. Zagari, E. Trabella (landscaping); Tecnocons (fire prevention); P.L. Cerri (graphic design)

Construction phase, 1997-2002 Design team: S. Scarabicchi (partner in charge) with M. Alvisi, D. Hart (partner) and P. Colonna, E. Guazzone, A. Spiezia

Consultant: Studio Vitone & Associati (structure); Manens Intertecnica (services); Müller Bbm (acoustics); Techint / Drees & Sommer (site supervision)