

l'industria italiana del
CEMENTO

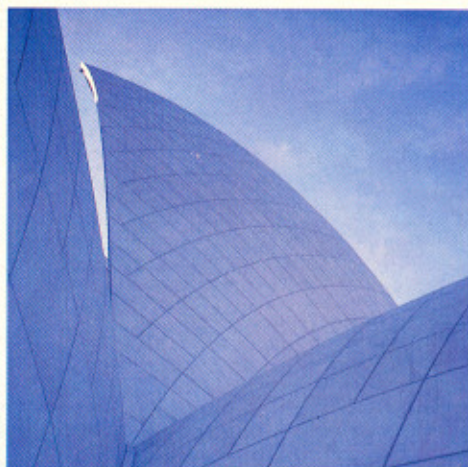


Il Tempio Baha'i a Nuova Delhi

The Baha'i House of worship in New Delhi

Progetto architettonico / Architect:
Arch. Fariburz Sahba

Progetto strutturale / Structural
Engineering: **Flint & Neill
Partnership**



Il Tempio Baha'i, recentemente realizzato ed inaugurato a Bahapur, alla periferia di Nuova Delhi, rappresenta il settimo anello di una ideale catena che circonda il nostro globo, costituita da centri di culto Baha'i. Le altre sedi si trovano rispettivamente negli Stati Uniti, a Panama, a Kampala, a Francoforte, a Sydney e nelle isole Samoa nel Sud Pacifico.

La « fede » Baha'i è un movimento internazionale indipendente, il cui scopo è quello di evidenziare e salvaguardare l'unitarietà del genere umano all'interno di una comunità costituita da differenti nazionalità, razze, religioni, culture e storia.

Ciascun tempio Baha'i è progettato per conformarsi alla cultura ed alle aspirazioni religiose della popolazione del paese che lo ospita, allo scopo di accogliere i membri di tutte le comunità etniche che ne fanno parte, ed offrire loro un luogo di culto dove incontrarsi come pari e venerare insieme il Creatore dell'Universo ed i suoi Profeti.

Il progetto architettonico

Dopo aver ricevuto l'incarico della progettazione, ma prima di dare inizio alla stessa, l'Architetto Fariburz Sahba, iraniano di nascita e di formazione professionale, ha dedicato una considerevole quantità di tempo alla visita di alcuni templi in India ed allo studio dell'arte e dell'architettura tradizionale di questo paese al fine di poter comprendere appieno lo spirito degli abitanti del territorio nel quale si apprestava ad operare.

Influenzato da questa indagine diretta ed approfondita, egli è giunto ad identificare i concetti di purezza, di semplicità e di freschezza, insiti nella Fede Baha'i, con la forma del fiore di loto, spesso ricorrente nella cultura artistica orientale; come conseguenza il suo progetto rappresenta proprio un fiore di loto, sbocciato a metà, galleggiante sull'acqua e circondato dalle sue foglie.

Dal momento che la Fede Baha'i intende raccogliere in sé le nove prin-

The Baha'i House of Worship, recently completed and inaugurated at Bahapur, in the southern district of New Delhi, represents the seventh ring in the ideal chain of Baha'i Houses of Worship circling our globe. The other six are located in USA, Panama, Kampala, Frankfurt, Sydney and the Samoa islands in the South Pacific.

The Baha'i faith is an independent international movement aiming at evidencing and safeguarding the concept of oneness of mankind within a community comprising all nations, races, religions, cultures and histories.

Each Baha'i house of worship is designed to suit the culture and the religious aspirations of the people of that particular part of the world and to welcome the members of all the ethnic groups it comprises thus providing a venue where to meet as equals and worship together the Creator of the Universe.

The architectural design

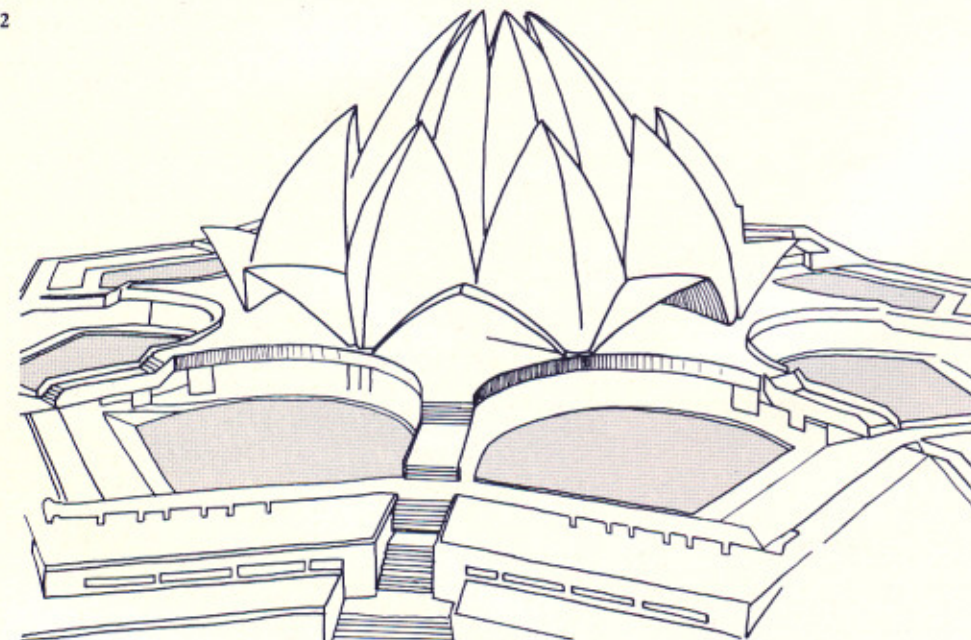
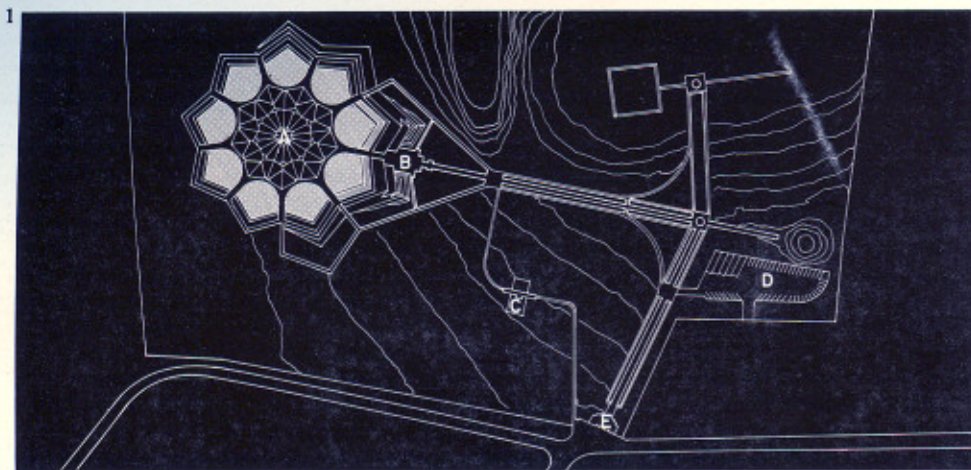
After having received the design commission, but before having begun work, architect Fariburz Sahba, an Iranian by birth and professional education, devoted considerable time to visiting other temples in India, and to studying the country's traditional art and architecture, his purpose to be able to fully understand the spirit of the inhabitants of the territory in which he was about to work.

Influenced by this direct in-depth investigation, his mind associated the concepts of purity, simplicity and freshness innate in the Baha'i faith with the shape of the lotus flower, an often-recurring image in Indian art and culture. Thus, his design represents a half-opened lotus flower floating on the water and surrounded by its leaves.

Since the Baha'i faith intends to embrace within itself the nine main religions of the world, the architect, with the aim in view of translating this intention into a tangible symbol,

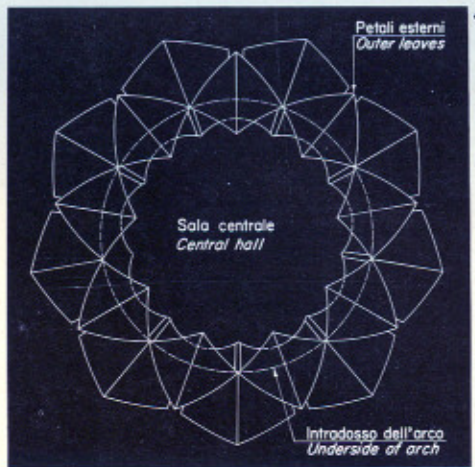
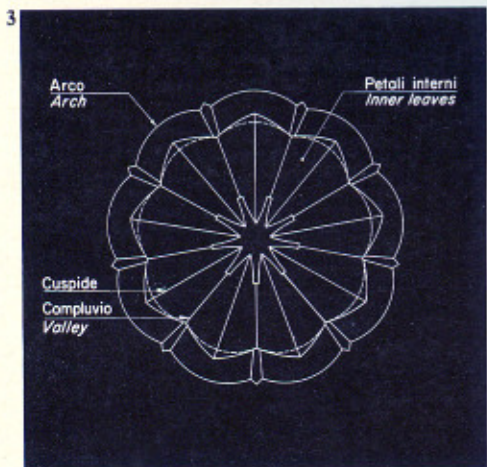
Presentazione / Presentation:
**Dott. Ing. Arch. Alessandro Bolzan Mariotti
Posocco**





1-2 - Planimetria generale e vista prospettica del nuovo centro di culto Baha'i a Nuova Delhi: a) Tempio; b) Edificio ausiliario; c) Servizi; d) Parcheggio; e) Ingresso principale; 3 - Vista dall'alto della disposizione dei petali interni e degli archi; 4 - Sezione orizzontale della disposizione dei petali d'ingresso e di quelli esterni; 5-6 - Sezione e pianta del complesso religioso.

1-2 - Masterplan and view of the elevation of the new Bahá'í House of Worship in New Delhi: a) Temple; b) Ancillary building; c) Service block; d) Parking lot; e) Main entrance; 3 - View from above of the position of the inner leaves and of the arch structure; 4 - Horizontal section of the position of the entrance and external leaves; 5-6 - Section and plan of the House of Worship.



cipali religioni mondiali ed al fine di tradurre in simbolo tangibile tale intendimento, ciascuna parte del fiore, come ad esempio la foglia ed il petalo, viene riproposta nove volte a formare un insieme assai armonico e di notevole pregio architettonico.

Il complesso edilizio consiste in un edificio principale, il tempio vero e proprio, in un edificio secondario, che ospita il centro di ricevimento, la biblioteca e gli uffici amministrativi, ed in un blocco servizi; l'edificio del tempio è costituito da un piano interrato, destinato ad accogliere le apparecchiature tecniche per gli impianti elettrico ed idraulico, e da una struttura fuori terra a forma di loto destinata a grande spazio assembleare coperto.

Tutto all'interno trovano posto ampi passaggi pedonali, delimitati da balaustre curviformi di pregevole fattura, scale, deputate al collegamento tra i vari livelli della costruzione, e ponticelli, necessari al superamento delle nove vasche che rappresentano le foglie galleggianti.

Tali vasche, oltre ad assolvere ad una ovvia funzione estetica, costituiscono un elemento di fondamentale importanza nel processo di ventilazione e climatizzazione naturale dell'intero edificio.

Il fiore di loto, visto dall'esterno, è composto da tre ordini di foglie o petali, tutti realizzati con sottili getti in calcestruzzo.

L'ordine più periferico, formato da nove elementi chiamati « le foglie di entrata », si apre verso l'esterno e dà corpo ai nove varchi di accesso ad una galleria perimetrale di forma anulare; l'ordine successivo di petali, chiamati « le foglie esterne », punta verso l'interno e, unitamente al precedente, costituisce la copertura della galleria sopra indicata.

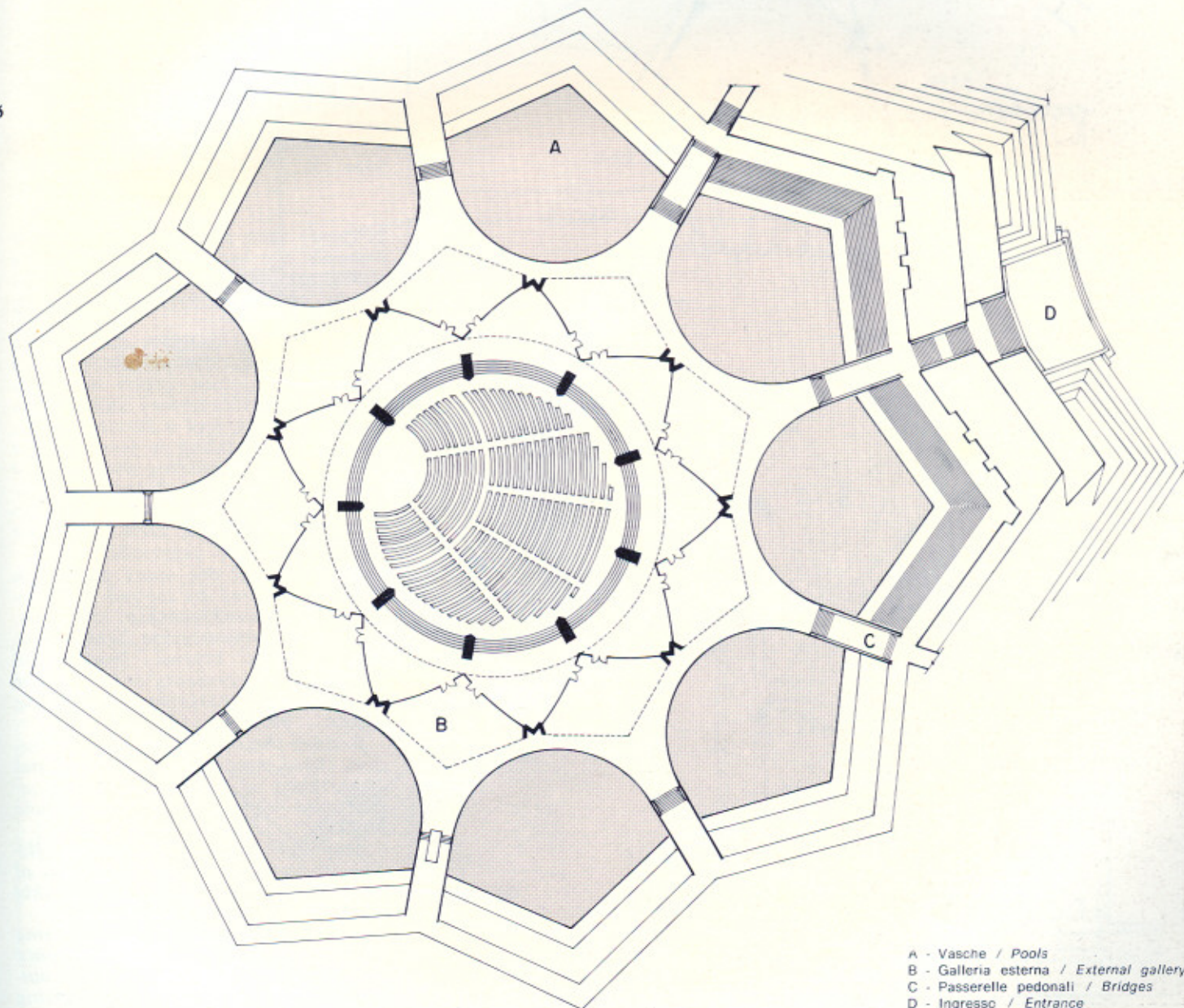
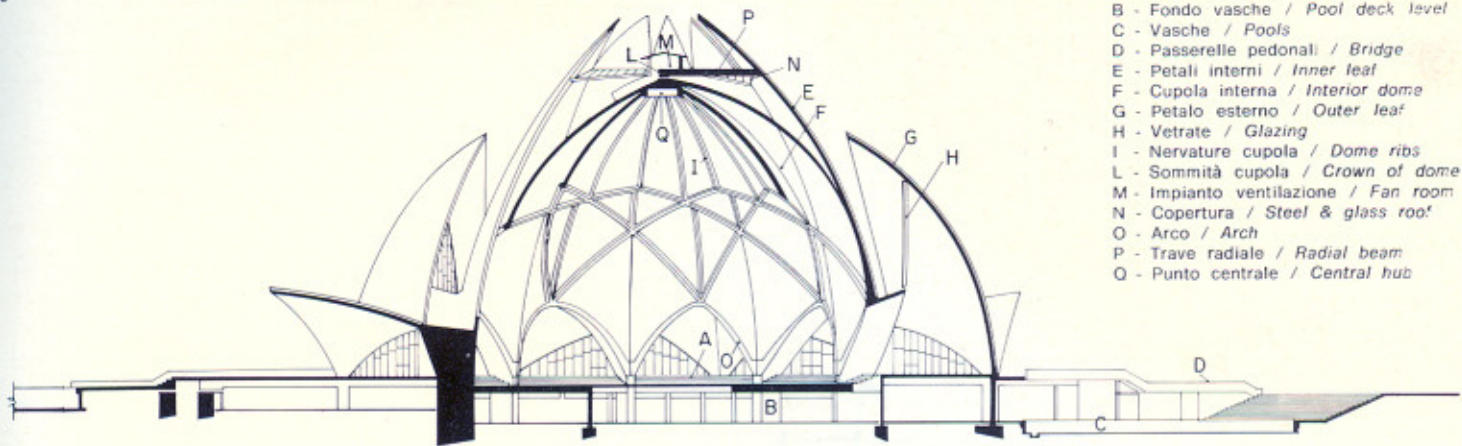
Il terzo ordine di nove petali, definiti « le foglie interne », parzialmente chiuso in sommità, quasi a rappresentare un fiore non completamente sbocciato, si erge al di sopra delle restanti strutture e funge da copertura alla sala assembleare.

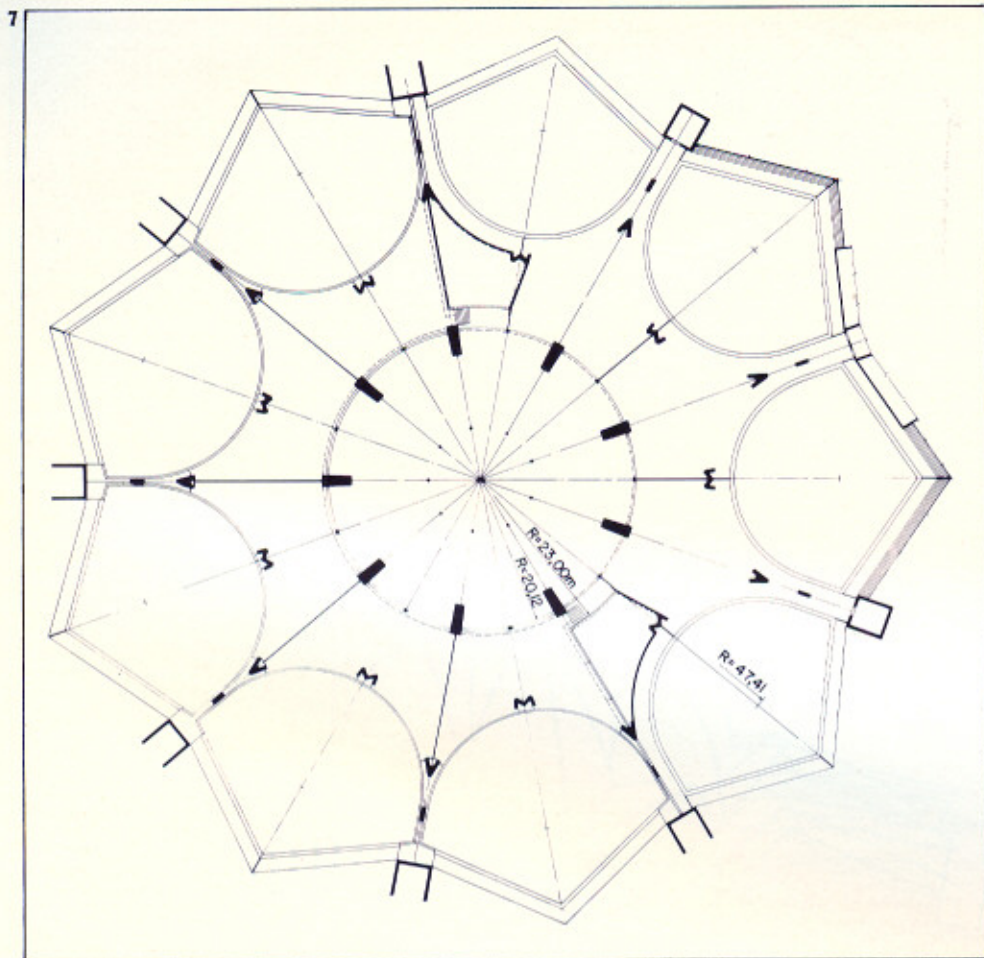
Nove travi, disposte radialmente al livello più alto, conferiscono rigidità strutturale all'intero complesso e su di esse poggia la copertura, realizzata in acciaio e vetro al fine di consentire l'illuminazione con luce naturale all'interno dell'edificio.

In corrispondenza di ciascuno dei nove varchi di entrata ed al culmine di altrettante scalinate si trova un arco di notevoli dimensioni che simbolizza per il fedele il passaggio ed il distacco tra il caos del mondo esterno e la pace del luogo di meditazione.

Il progetto strutturale

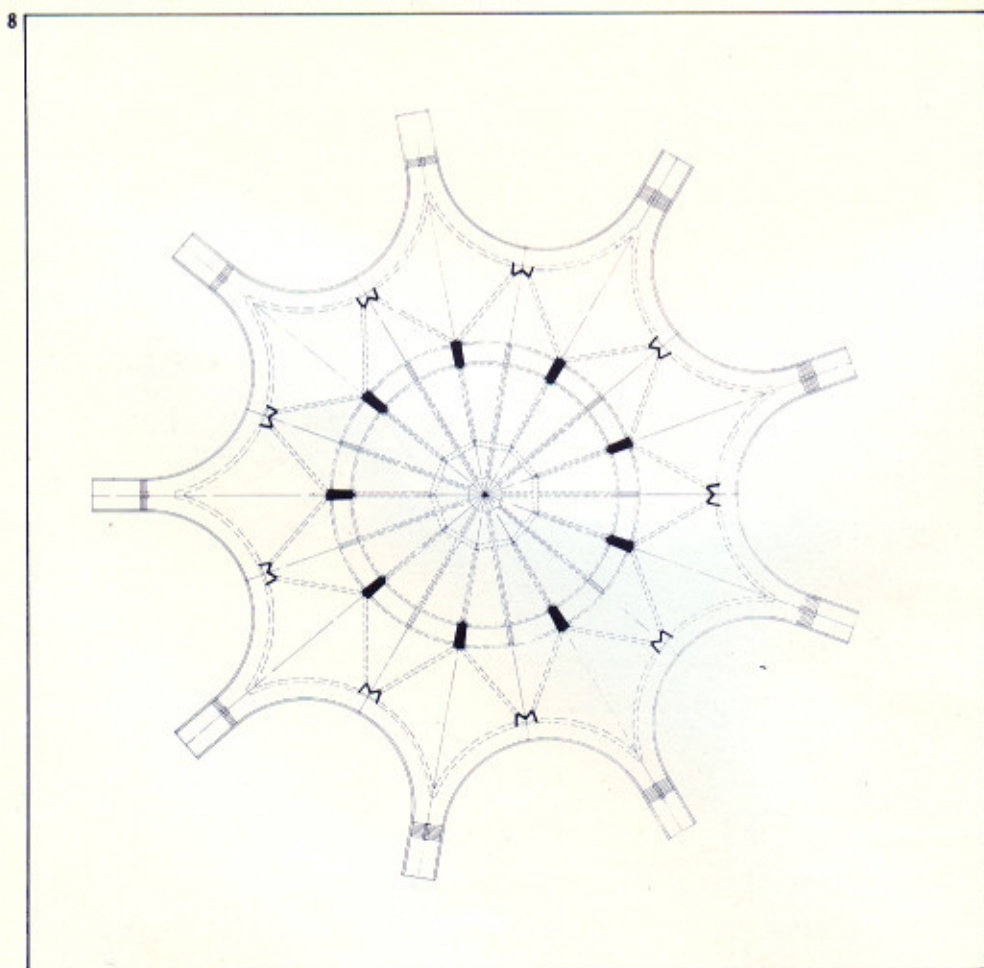
Le forme del fiore di loto, brillantemente ideate e rappresentate graficamente dall'architetto progettista,





7 - Pianta del basamento; 8 - Pianta del podio.

7 - Plan of the basement structure; 8 - Plan of the podium structure.



proposes each part of the flower, for example the leaf and the petal, nine times, to form a very harmonious whole, one of considerable architectural value.

The building complex comprises a main building, the temple itself, a secondary building, which holds the reception center, library and administrative offices, and a services block. The temple building is formed by a basement floor, holding the technical units for the electrical and water systems, and by an above-ground structure of lotus shape, used as a large covered hall for assemblies.

All around it are many pedestrian routes, bordered by curved balustrades of fine workmanship, stairways, used for communication between the construction's several levels, and small bridges, crossing over the nine ponds which represent the floating leaves.

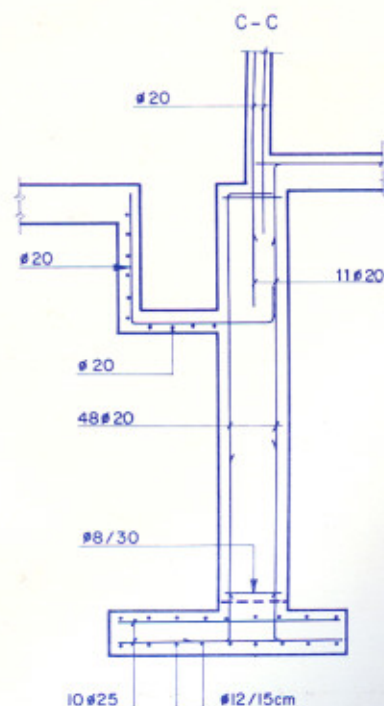
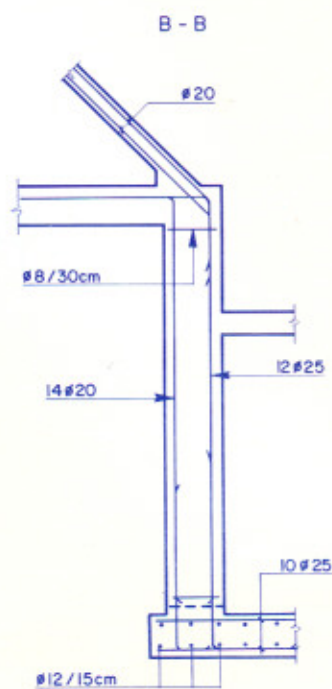
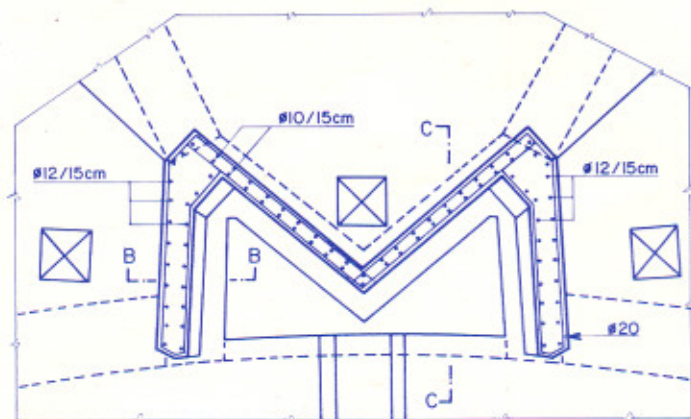
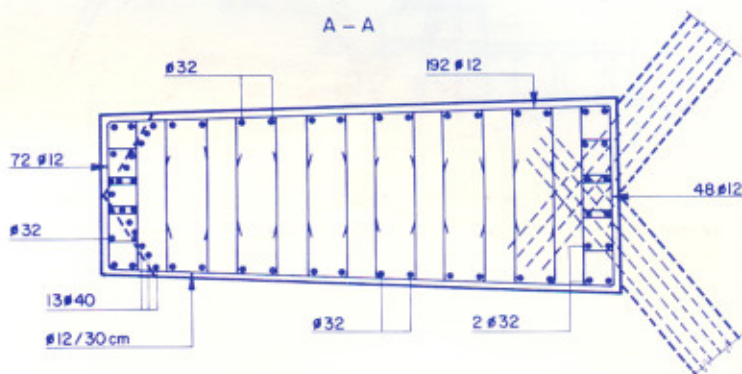
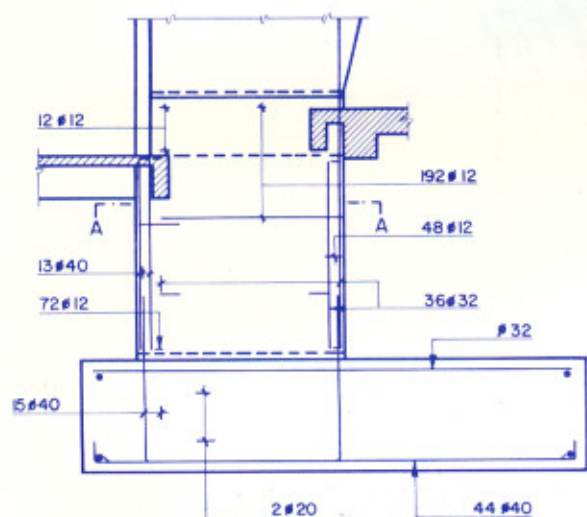
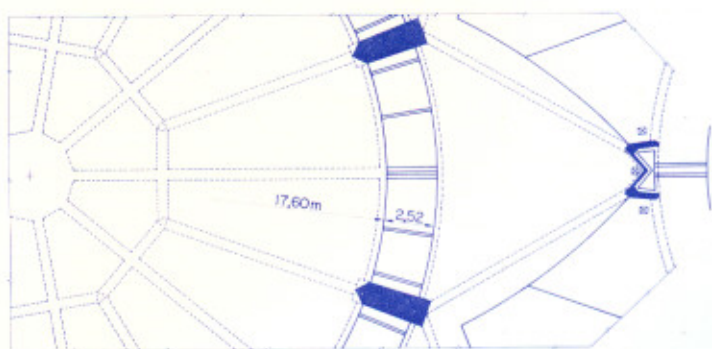
Besides their obvious esthetic function, these ponds are of fundamental importance to the natural climatization and ventilation of the whole building.

Seen from the outside, the lotus flower is made up of three orders of leaves or petals, all created of thin pours of concrete.

The outermost order, comprising nine elements called the «entrance leaves», opens up towards the outside to form the nine passages giving

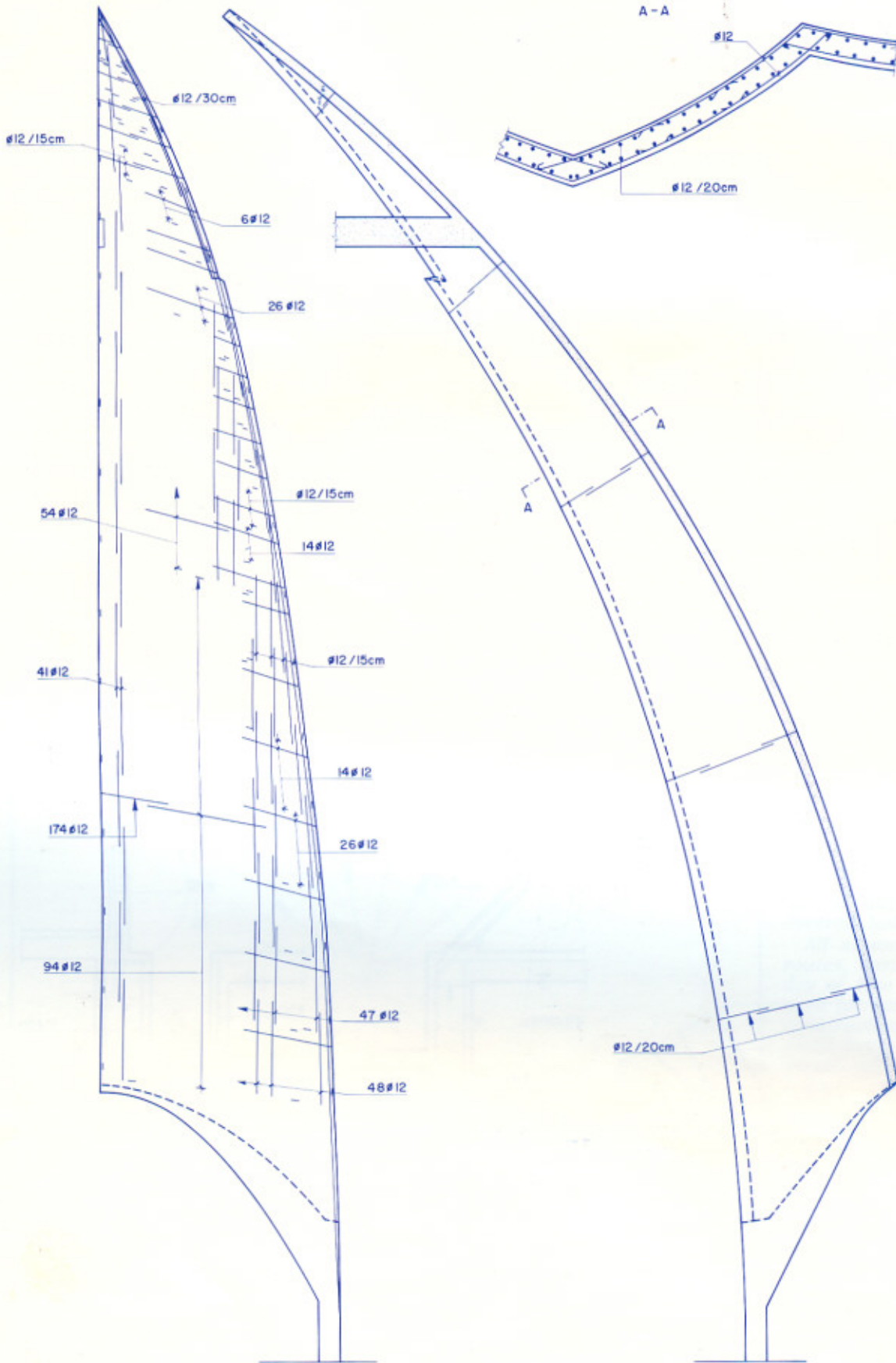
SALA PRINCIPALE E SALA D'INGRESSO
AL LIVELLO DEL PODIO: PIANTA E AR-
MATURA DEI PILASTRI

MAIN HALL AND ENTRANCE HALL AT
PODIUM LEVEL; PLAN AND REINFORC-
ING STEEL IN THE COLUMNS



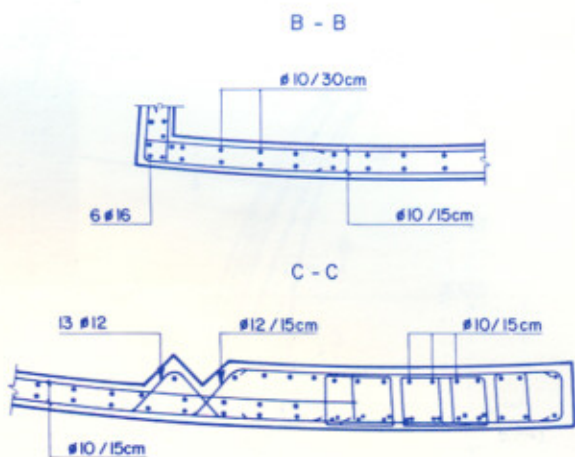
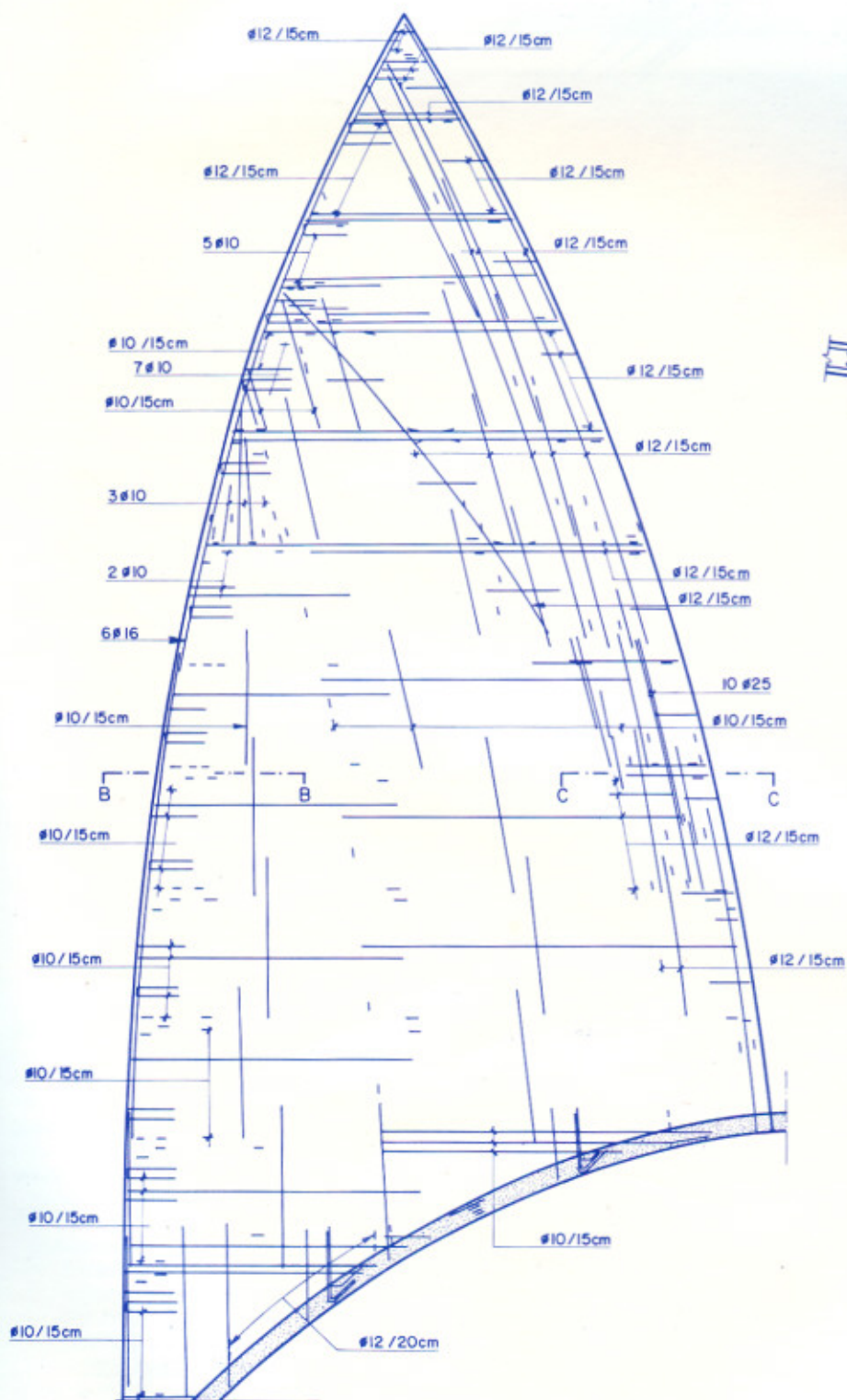
ARMATURA DEI PETALI INTERNI

REINFORCING STEEL OF THE INTERNAL LEAVES



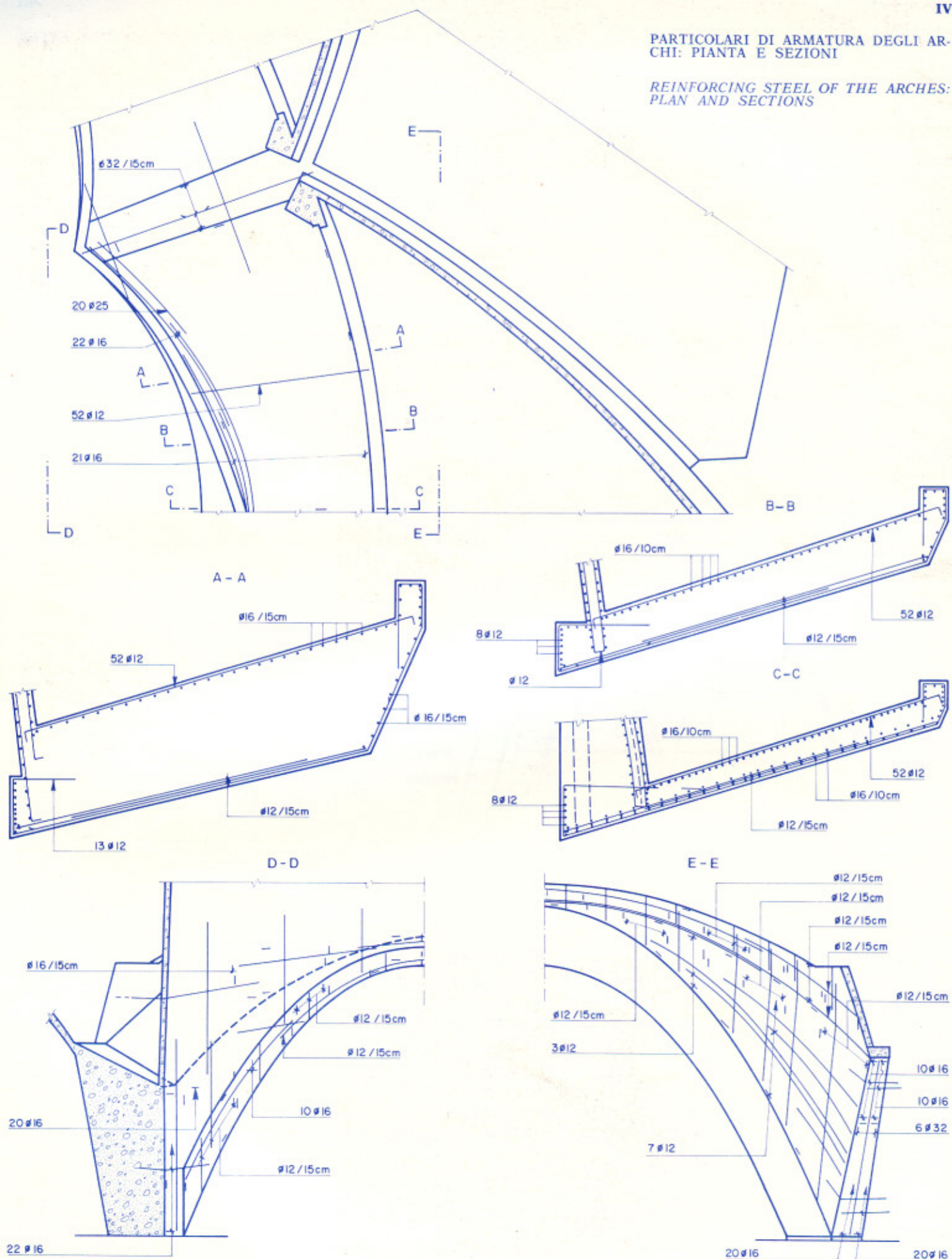
ARMATURA DEI PETALI ESTERNI

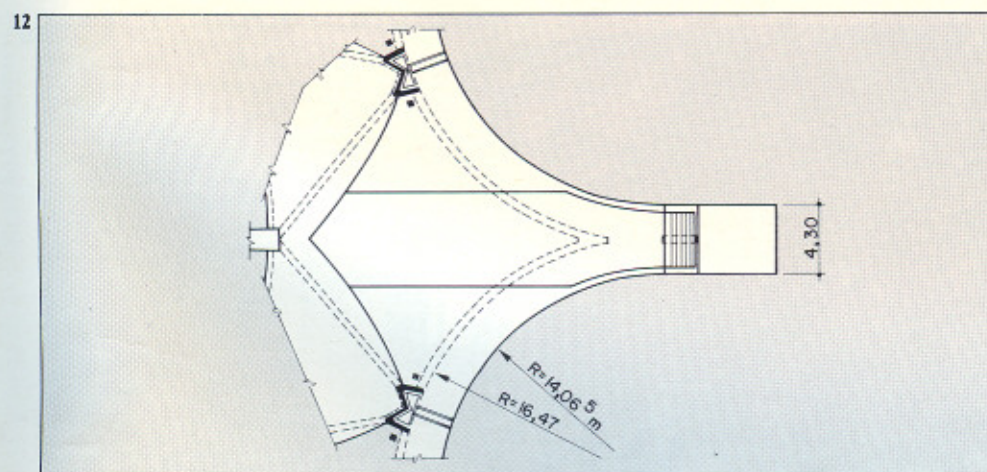
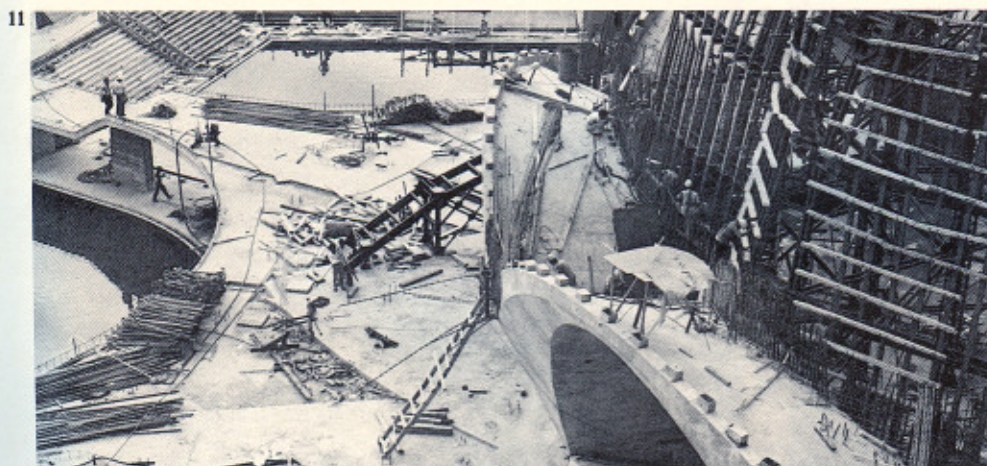
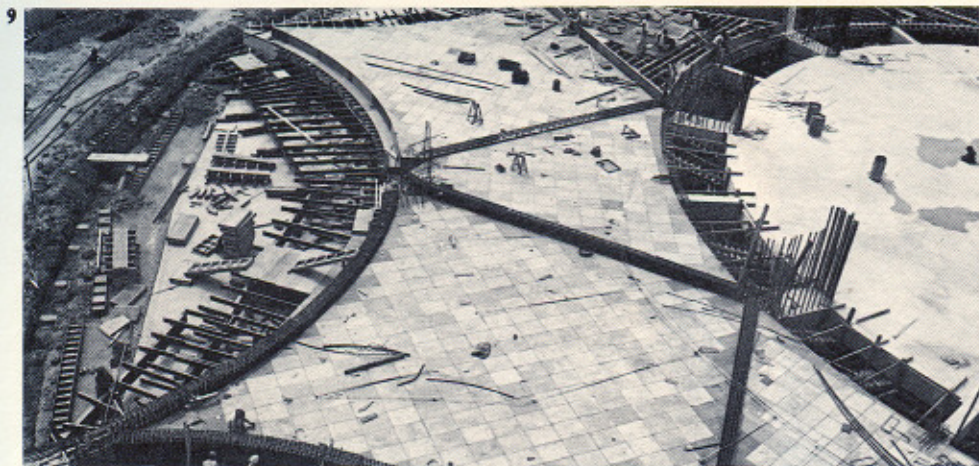
REINFORCING STEEL OF THE EXTERNAL LEAVES



PARTICOLARI DI ARMATURA DEGLI ARCHI:
PIANTA E SEZIONI

REINFORCING STEEL OF THE ARCHES:
PLAN AND SECTIONS

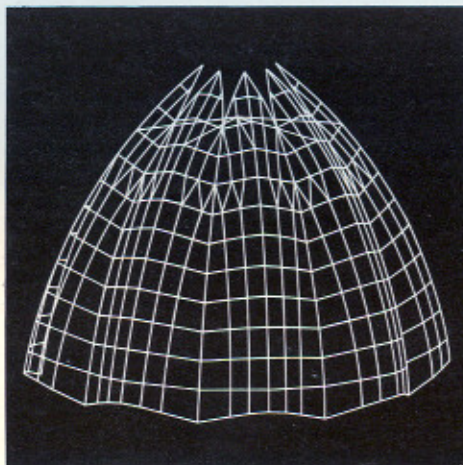




dovevano essere tramutate in ben definiti solidi geometrici, come sfere, cilindri, toroidi o coni, onde permettere lo studio e la progettazione da un punto di vista strutturale.

Partendo da questo concetto e tenendo conto della complessità del problema, lo Studio Flint & Neill Partnership di Londra, incaricato della progettazione strutturale, ha lavorato circa due anni per determinare le equazioni geometriche descrittive delle forme, in maniera tale da poterle successivamente utilizzare come base per l'analisi strutturale assistita dal computer e per la progettazione esecutiva.

Inizialmente sono stati utilizzati



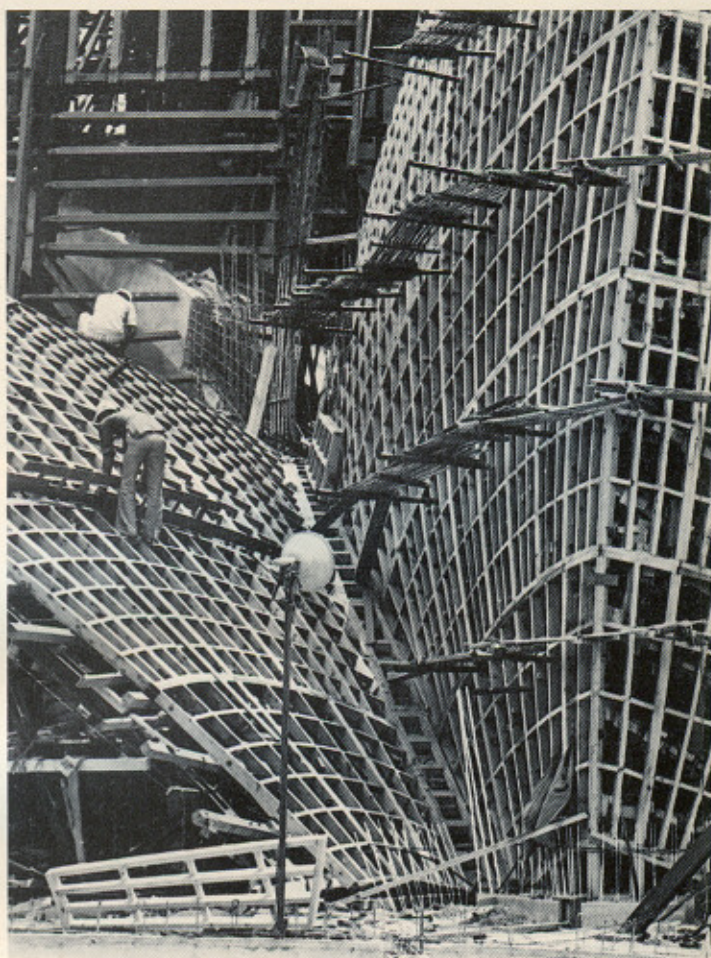
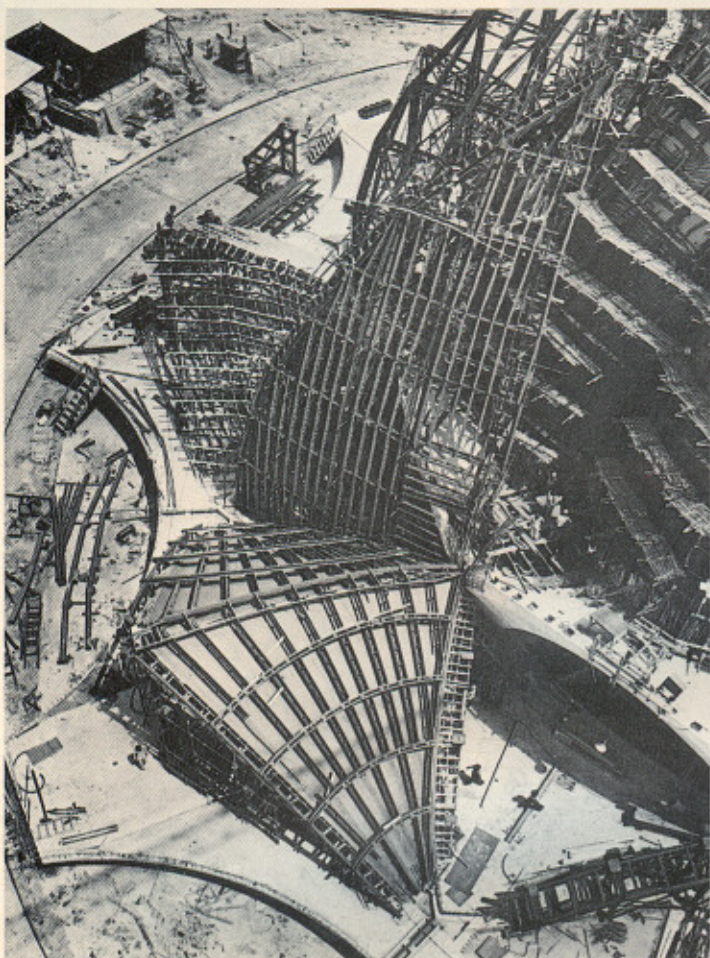
9-10 - Preparazione delle cassafornie e delle armature e getto della parte basamentale dell'edificio, dove si susseguono passaggi pedonali, vasche, rampe di collegamento e nove archi che danno accesso ad una galleria perimetrale; 12 - Particolare in pianta del podio e delle passerelle pedonali; 13 - Modello di calcolo relativo ai petali interni elaborato con il programma PLATE.

9-10 - Preparation of the formwork and of the reinforcing steel for the pour of the basement, with pedestrian routes, fountain pools, connecting ramps and nine arches giving access to the perimetrical gallery; 12 - In plan detail of the podium and pedestrian routes; 13 - The computer model of the internal petals developed with the programme PLATE.

modelli di calcolo, per il programma LEAP, costituiti da griglie equivalenti, mentre in una successiva fase si è passati a modelli piani da elaborare con il programma PLATE; le ordinatrici dei modelli piani seguivano l'andamento delle linee longitudinali e latitudinali sulle superfici sferiche e quello di cerchi di diverso diametro sulle superfici toroidali al fine di rendere minima l'influenza della non perfetta planarità degli elementi quadrilateri.

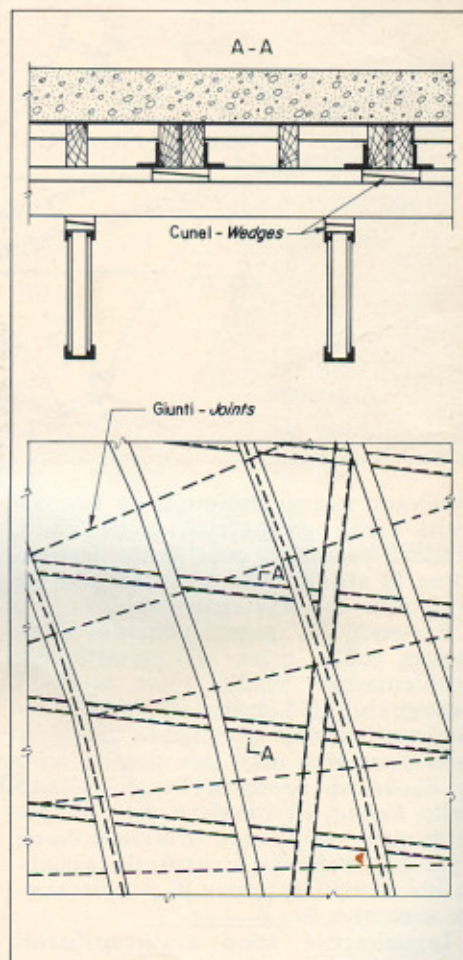
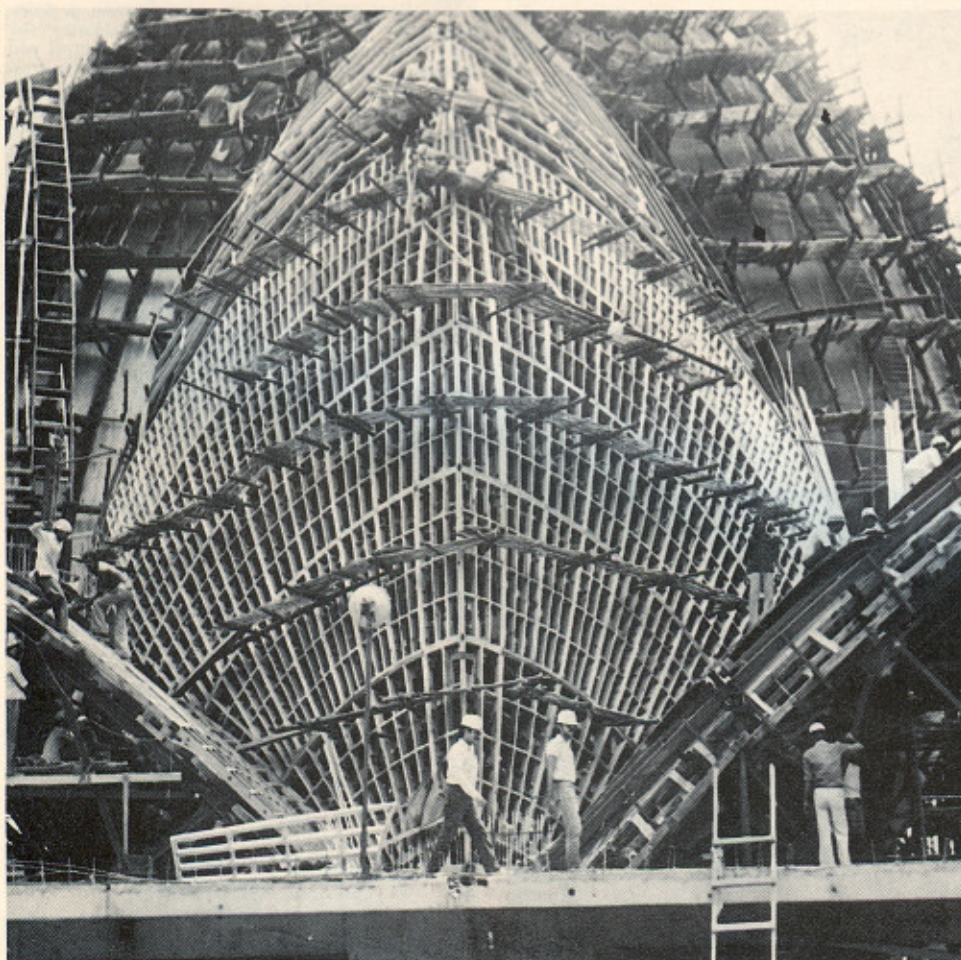
Come risultato, per quanto concerne i due ordini di petali definiti «foglie di entrata» e «foglie esterne», le linee generatrici interne ed esterne dei setti sono state definite attraverso

14

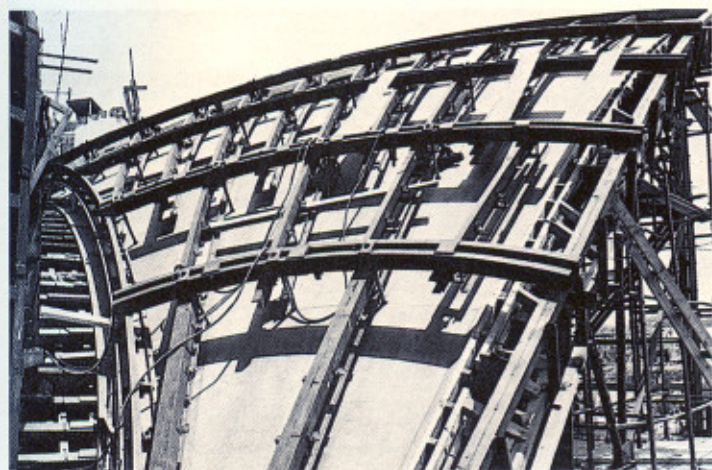
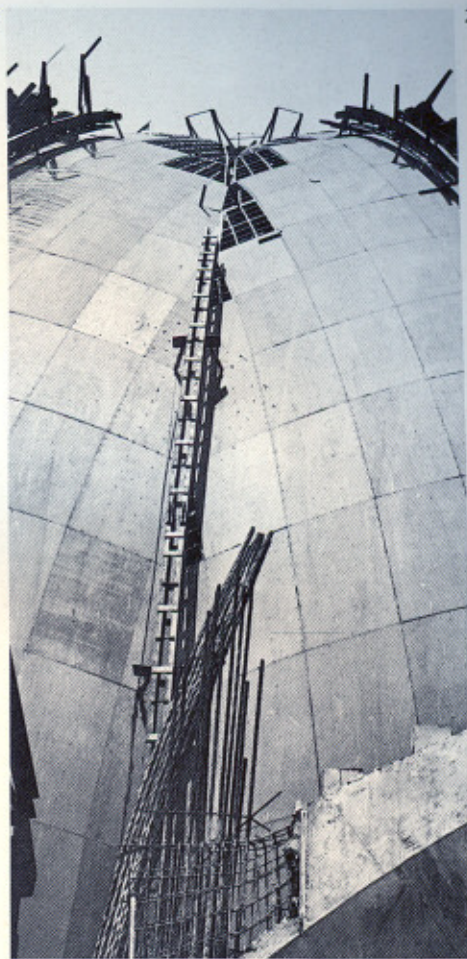
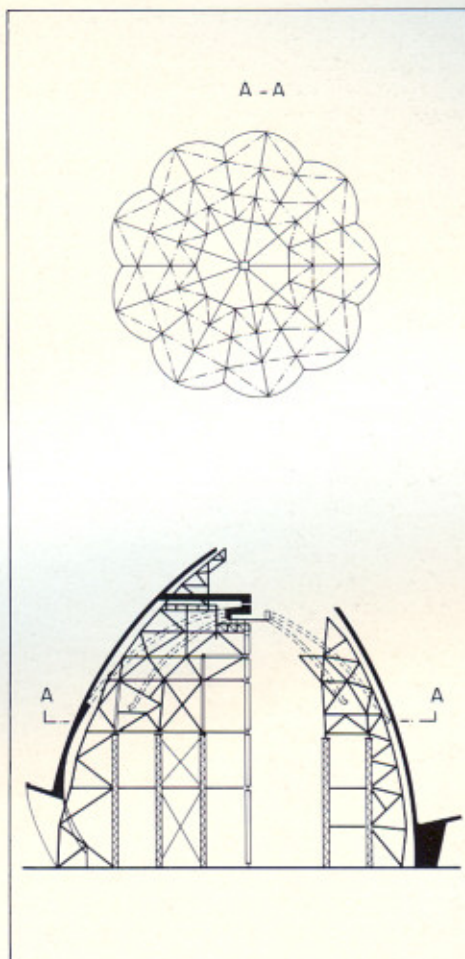
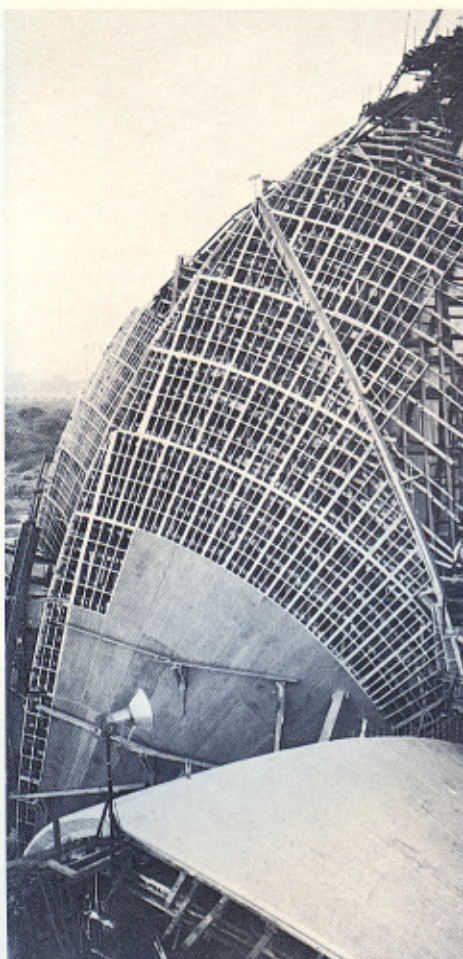


15

16

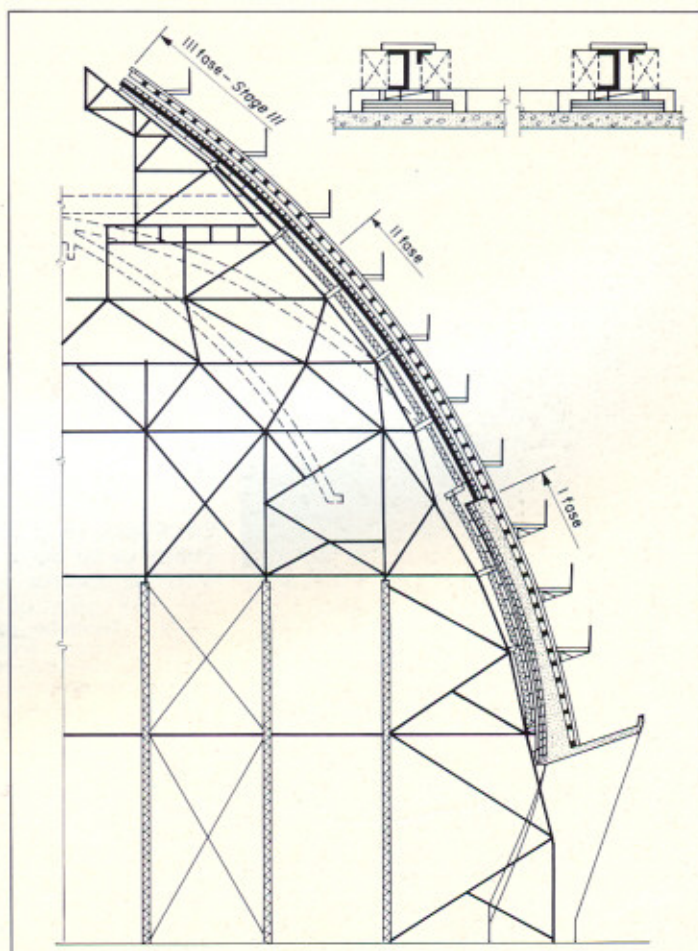


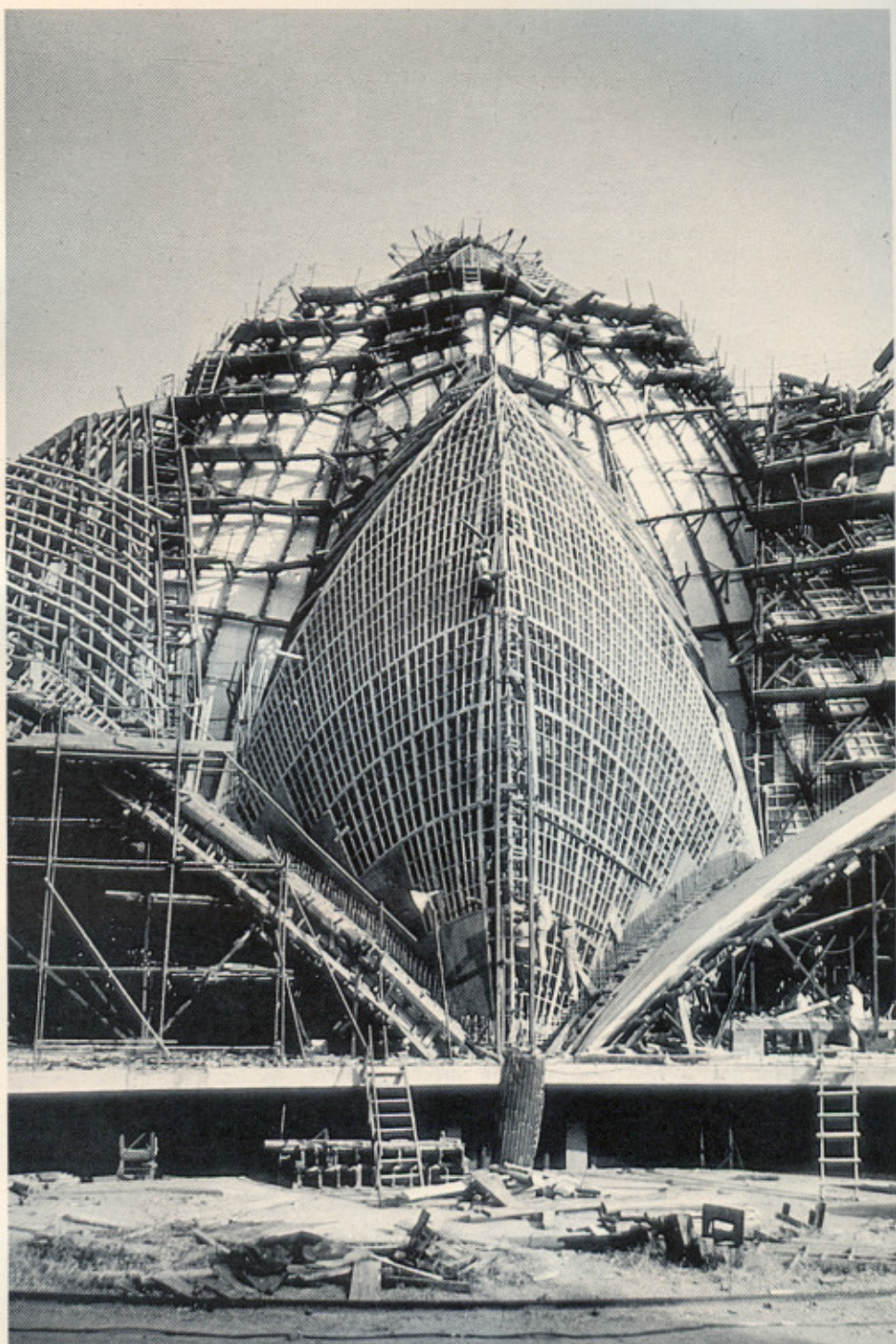
17



14-15-16-18-20-21 - Per il getto di ogni petalo si è provveduto per prima cosa a fissare la cassaforma interna nella sua interezza, dalla base al vertice, quindi è stata posta in opera l'armatura metallica ed infine è stata montata la cassaforma esterna; 17 - Particolari in sezione e pianta della centina di legno; 19 - Particolari in sezione e pianta dei ponteggi interni; 22 - Particolari delle centine e delle cassaforme per il getto dei petali.

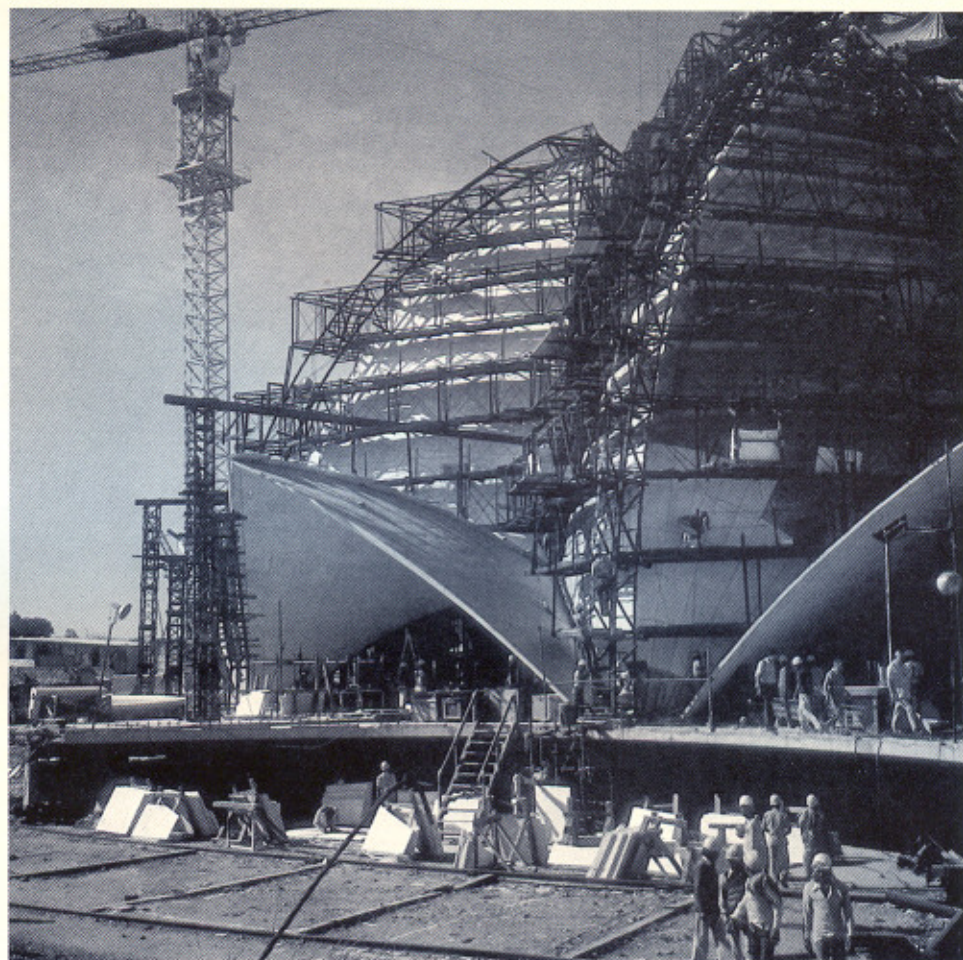
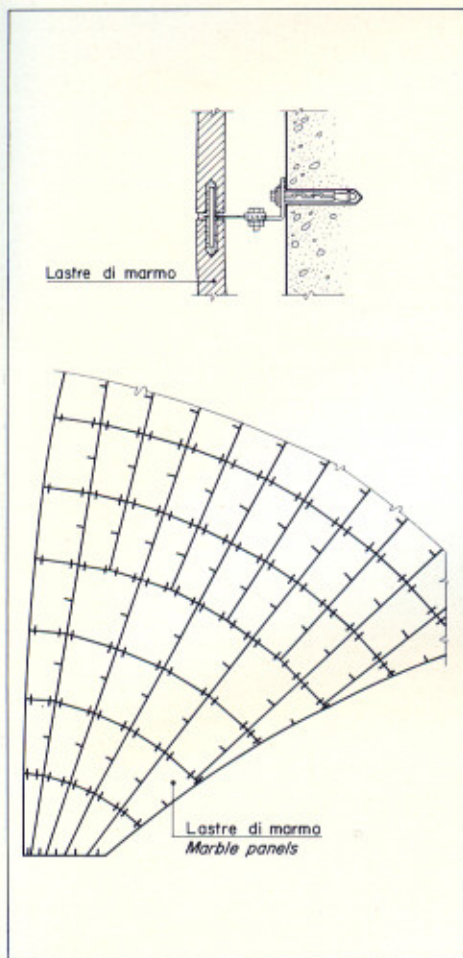
14-15-16-18-20-21 - Each leaf was cast only after the internal formwork was fixed along its whole length from foot to summit, positioning of the reinforcing steel and placing of the external formwork; 17 - Details in section and plan of the wooden formwork; 19 - Plan and transversal section of the internal scaffolding; 22 - Detail of falsework and of the formwork for casting the leaves.





23-24 - Tecniche tradizionali e un'efficiente mano d'opera locale hanno consentito la perfetta coordinazione delle fasi e dei ristretti tempi di lavoro; 25 - Il getto di ogni petalo in calcestruzzo di cemento bianco, è stato eseguito senza soluzione di continuità protraendo le necessarie operazioni sino ad un massimo di 48 ore consecutive; 26 - Particolare delle staffe metalliche per l'ancoraggio delle lastre di rivestimento in marmo; 27 - Le superfici esterne dell'intera costruzione sono state rivestite con lastre di marmo proveniente dalla Grecia e sapientemente sagomate in Italia: la forma di ogni lastra è stata calcolata in modo da seguire la geometria e le complesse linee architettoniche dell'edificio.

23-24 - Traditional techniques and an efficient local workforce enabled smooth coordination of the construction procedure within a fairly tight schedule; 25 - Casting of each white cement concrete leaf was executed without stop for up to 48 hours consecutively; 26 - Detail of the steel pins bearing the marble cladding panels; 27 - The external surfaces of the house of worship were clad with white marble panels quarried in Greece and carefully cut in Italy: the exact shape of each panel was calculated in order to follow the complex geometry and architecture of the building.



so l'involuppo di porzioni infinitesime di superficie di un numero infinito di sfere di differente raggio e con i centri disposti in punti prefissati all'interno dell'edificio. I diametri di tali sfere sono stati determinati in modo tale che gli involuppi risultanti garantissero in ogni punto uno spessore dei setti sufficiente a resistere alle sollecitazioni strutturali.

Dimensionalmente ciascuna « foglia di entrata » è larga 18,2 m alla base e si innalza per 7,8 m al di sopra del livello di imposta, mentre ciascuna « foglia esterna » è larga 15,4 m, alta 22,5 m ed ha uno spessore del setto variabile da 255 a 135 mm.

Invece, per quanto concerne l'ordine di petali definiti « foglie interne », il cui andamento è caratterizzato dall'alternarsi di cuspidi e di concavità, le superfici interne ed esterne dei setti sono state definite attraverso due involuppi toroidali; ciascuna foglia è larga 14 m alla base, alta 34,3 m al di sopra del livello di imposta, e lo spessore del setto mantiene costante il valore di 200 mm.

Tutto intorno allo spazio assembleare, come già detto in precedenza, si trovano nove varchi di entrata, disposti ad intervalli angolari costanti di 40°, sormontati da archi la cui forma è stata definita attraverso la combinazione di superfici piane, coniche e cilindriche.

access to an annular peripheral tunnel; the next order of petals, called the « outer leaves », aims toward the inside and, together with the first one, forms the roof of the tunnel just mentioned.

The third order of nine petals, called the « inner leaves », is partly closed at its top, as if to represent a flower that has not as yet completely blossomed. It stands up above the other structures and acts as the roof to the assembly hall.

Nine beams arranged radially at the highest level give the whole complex structural stiffness; bearing on them is the roof, of steel and glass to provide natural lighting inside the building.

At each of the nine entranceway openings and at the tops of as many stairways are found arches of considerable size, symbolizing for the faithful a passage out of the chaos of the outside world, detachment from it, and the peace of the place of meditation.

The structural design

The forms of the lotus flower, brilliantly conceived and graphically shown by the architect, had to be interpreted using very definite geometric solids, such as spheres, cylinders, toruses or cones, so as to ena-

ble them be studied and designed structurally.

With this concept as its starting point and taking account of the problem's complexity, the London engineering offices Flint & Neill Partnership, who were given the commission for the structural design, took some two years to work up the geometric equations describing the forms, so that they could later be used as the basis for the computer-assisted structural analysis and for the final design.

For the shell analyses equivalent grillage models with the program LEAP were initially used. Plate element models were subsequently developed for use with the program PLATE. Examples of the idealizations adopted for the entrance and outer leaves and for the inner leaves are shown in figures 15 and 16. The grids of the plate models followed lines of longitude and latitude of the spherical shells, and great and small circles on the toroids, to minimize the lack of planarity of the quadrilateral elements.

Regarding the two orders of petals called the « entrance leaves » and the « outer leaves », the inside and outside generating lines of the thin-walled elements were defined by means of envelopes of infinitesimal portions of surface of an infinite number of spheres of varying radii, whose cen-



L'analisi dei carichi

Per il dimensionamento della struttura e per la progettazione del sistema di cassaforme sono stati presi in considerazione i seguenti carichi:

- il peso proprio della cassaforma 750 N/m^2 (circa 76 Kg/m^2);
- il peso proprio dell'armatura metallica;

- la sollecitazione dinamica 2000 N/m^2 (circa 204 Kg/m^2);

- l'azione del vento 1000 N/m^2 (circa 102 Kg/m^2);

- il valore più elevato tra quello del peso proprio del calcestruzzo e quello della pressione idraulica, calcolati in ogni singolo punto prevedendo un rateo di posa di $0,45 \text{ m/h}$ ed una temperatura minima di 10°C .

La pressione idraulica è stata determinata per mezzo della formula

$$P = 7,2 + (785 R) / (TC + 17,8)$$

dove

P = pressione idraulica laterale (KN/m^2)

R = rateo di posa (m/h)

TC = temperatura del calcestruzzo nelle cassaforme ($^\circ\text{C}$).

Per quanto riguarda le «foglie interne» sono state considerate diverse combinazioni dei carichi sopra elencati, raggruppati a seconda della fase costruttiva sulla base del seguente schema:

- fase 1: calcestruzzo dal vertice dell'arco sino alla quota di $14,4 \text{ m}$ al

di sopra del livello del pavimento;

- fase 2: calcestruzzo dalla quota di $14,4 \text{ m}$ al di sopra del livello del pavimento sino all'intradosso delle centine della cupola;

- fase 3: calcestruzzo dall'intradosso delle centine della cupola sino alla copertura.

Le combinazioni dei carichi presi in considerazione sono state:

- 1) Peso proprio della struttura spaziale (simmetrico).

- 2) Peso proprio della copertura (simmetrico).

- 3) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 1 (dissimmetrico).

- 4) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 1 (simmetrico).

- 5) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 2 (dissimmetrico).

- 6) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 2 (simmetrico).

- 7) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 3 (dissimmetrico).

- 8) Carico dinamico + peso proprio del calcestruzzo fase 3 (simmetrico).

- 9) Azione del vento.

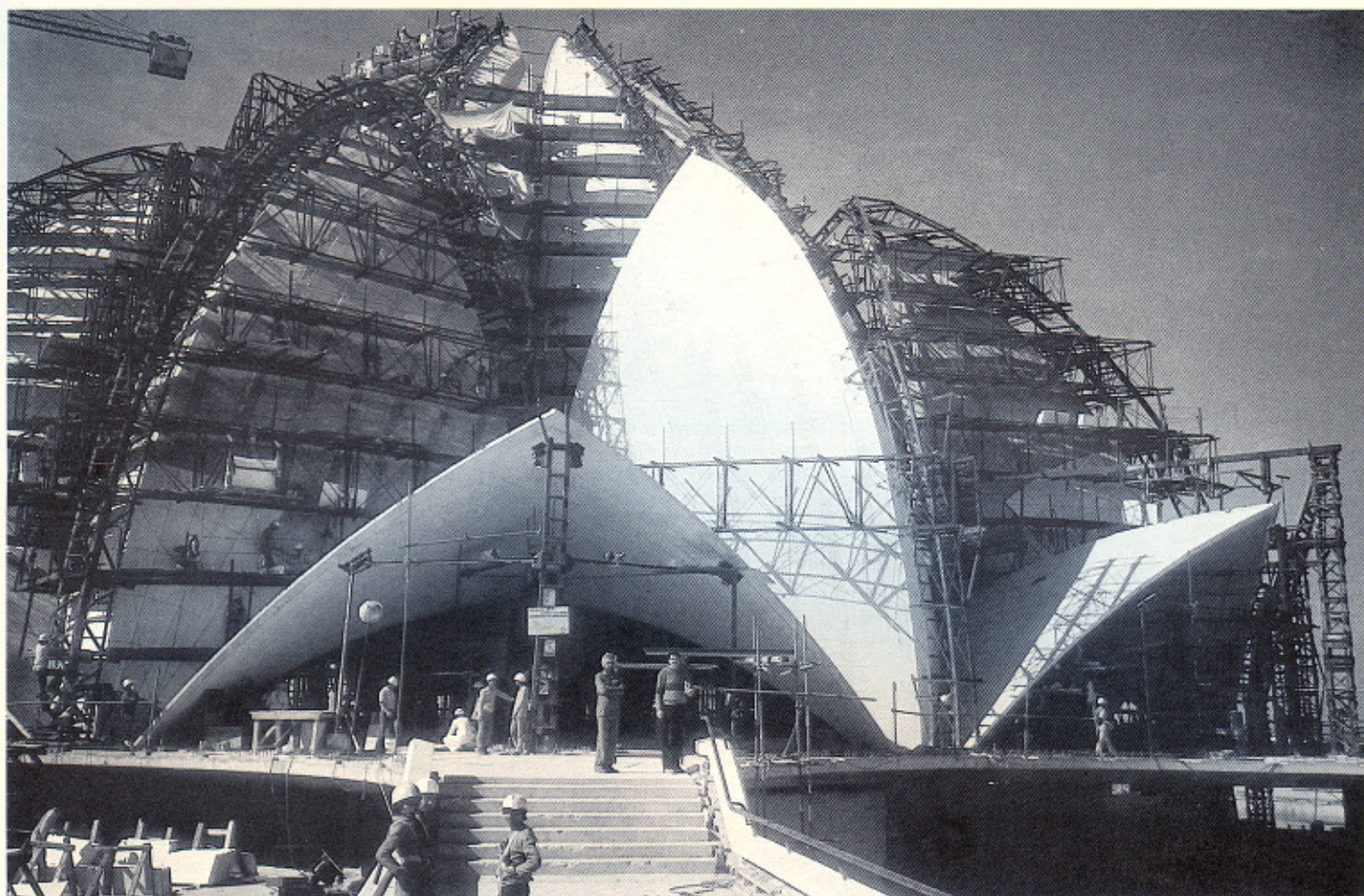
Analogamente si è proceduto per quanto riguarda le «foglie di entrata», le «foglie esterne» e la copertura della cupola, con la sola variante che ciascuna trancia di cupola veniva realizzata mediante una sola sequenza di getto.

Il progetto esecutivo

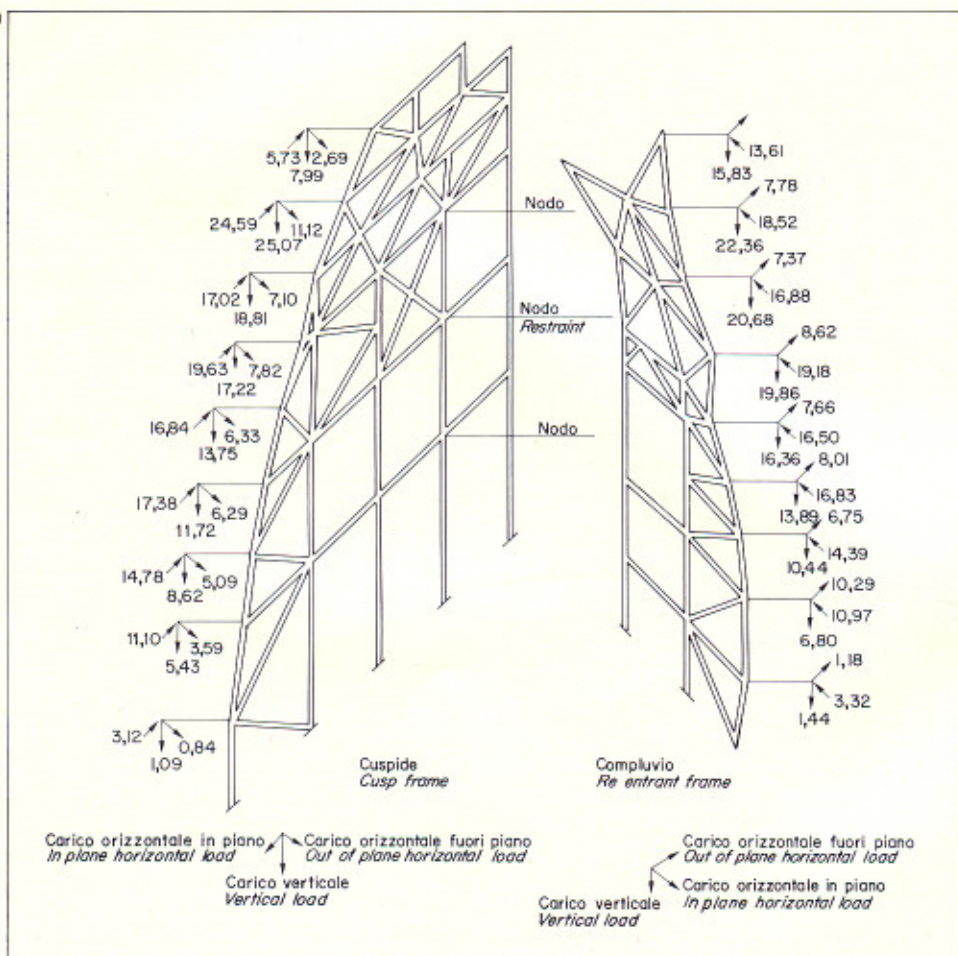
Come già visto in precedenza, le dimensioni, la forma, gli spessori ed altri particolari della struttura sono stati inizialmente determinati attraverso le equazioni di diverse superfici geometriche e la risultanza di involucri di vario genere. Sino a quel punto, il progetto era costituito essenzialmente da quote, raggi ed equazioni assai complesse e necessitava, quindi, di essere tradotto in elaborati, facilmente ed immediatamente intelleggibili da parte degli addetti all'esecuzione, in cui tutto fosse espresso in termini dimensionali di lunghezza, larghezza, altezza, spessore e curvatura.

Per giungere a questo risultato l'intero edificio è stato dapprima suddiviso in nove segmenti, ciascuno delimitato da un settore circolare ampio 40° , e quindi su ogni segmento è stato idealmente tracciato un sistema tridimensionale di assi ortogonali.

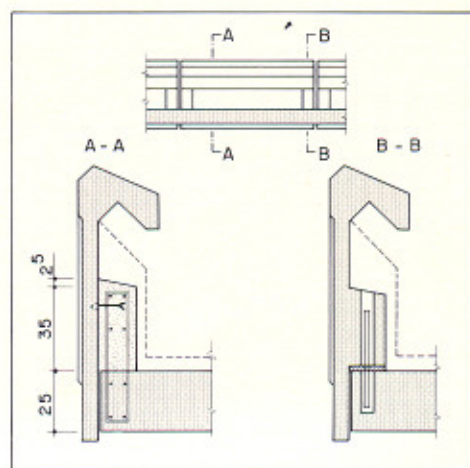
Successivamente, mediante l'ausilio di un elaboratore elettronico messo a disposizione dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Istituto Indiano di Tecnologia di Madras, tutti i punti chiave della struttura sono stati identificati per mezzo di coordinate X, Y e Z, utilizzando le quali i tecnici di cantiere sono giunti al corretto posizionamento delle cassaforme per i getti.



30



31



28-29 - Ogni « petalo d'entrata » è largo 18,20 m alla base e s'innalza per 7,80 m dal livello d'imposta; ogni « petalo esterno » è largo 15,40 m ed alto 22,50 m; ogni « petalo interno » è largo 14 m alla base, ha un'altezza di 34,30 m ed uno spessore costante di 200 mm; 30 - Elaborazione di un modello dei carichi dovuti a una delle combinazioni considerate per la fase II; 31 - Prospetto e sezioni della balaustra del podio prefabbricata in c.a.

28-29 - The dimensions of the leaves are as follows: entrance leaves: 18,20 m wide at the base and 7,80 m in height from the springer; the external leaves are 15,40 m wide and 22,50 m tall, the internal leaves are 14,00 m wide, 34,30 m tall and are a constant 20 cm thick; 30 - A computer model indicating the loads due to one of the combinations of loading for stage II; 31 - Elevation and sections of the precast r.c. podium balustrade.

La costruzione

Tenuto conto della particolarità della forma architettonica, la predisposizione, la posa in opera ed il disarmo delle cassaforme nonché le operazioni di getto del calcestruzzo hanno costituito il principale problema in corso di costruzione.

Per ciascun petalo si è provveduto a fissare preventivamente la cassaforma interna nella sua interezza, dalla base al vertice, ed a controllarne il posizionamento, quindi è stata posta in opera l'armatura metallica del cemento armato ed infine si è passati al montaggio per trince della cassaforma esterna.

Al fine di eliminare la presenza di tracce di riprese sulle superfici destinate a rimanere a vista, il getto di ogni petalo è stato eseguito senza soluzione di continuità protraendo le necessarie operazioni sino ad un massimo di 48 ore consecutive.

Per facilitare la posa in opera del calcestruzzo e la sua compattazione, i pannelli della cassaforma esterna sono stati montati una fila per volta, man mano che il livello del getto andava salendo, ed il tutto è stato eseguito con stupefacente coordinazione ed in tempi estremamente ristretti.

Vi è poi da notare che il sistema di supporto e fissaggio della cassaforma esterna, per la particolare configurazione della stessa, doveva essere in grado non solo di servire questa opera provvisoria ma doveva anche essere opportunamente dimensionato per resistere ai carichi imposti dal calcestruzzo, per sorreggere le piattaforme di lavoro delle maestranze e per costituire punto di appoggio ai necessari mezzi d'opera.

Il sistema di supporto della cassaforma interna, invece, era costituito semplicemente da una struttura metallica componibile, formata da una maglia spaziale ad elementi radiali e concentrici.

La rilevante complessità delle operazioni sopra succintamente descritte ha comportato per i progettisti un notevolissimo impegno, estrinsecatosi, dopo una accuratissima analisi dei carichi eseguita con l'ausilio del computer, in una serie di oltre 150 disegni contenenti rigidissime specifiche, sia dimensionali sia per i materiali, e dettagliate istruzioni relative alle sequenze di lavoro.

Grande attenzione è stata anche posta al corretto realizzarsi del gioco di linee, architettonicamente enfaticamente, imposto dalle tracce delle giunzioni dei pannelli delle cassaforme sulle superfici del calcestruzzo a vista.

Tali linee dovevano seguire ben precisi andamenti longitudinali e latitudinali lungo le sfere ed i toroidi generatori dei setti ed inoltre dovevano essere le uniche presenti e visibili; per giungere a questo risultato è stato addirittura realizzato un mo-

delatori were located in established points inside the building. The diameters of these spheres were so determined that the resulting envelopes assured a «leaf» wall thickness at every point sufficient to stand up against the structural stresses.

Each «entrance leaf» is 18,2 m wide at its base and rises up 7,8 m above its foot, whereas each «outer leaf» is 15,4 m wide and 22,5 m tall, its wall thickness running from a maximum 255 mm to a minimum 135 mm.

As for the order of petals called the «inner leaves», whose form is characterized by an alternation of cusps and concavities, the «leaves'» inner and outer surfaces were defined using two toroidal envelopes. Each leaf is 14 m wide at the base, rises up 34,3 m above its foot, and has a constant 200 mm wall thickness.

As noted above, there are nine entrance openings spaced all around the assembly area. They are arranged at constant angular intervals of 40° and surmounted by arches whose shape is defined by a combination of plane, conic and cylindrical surfaces.

Loading

For the design of the formwork the following loads were considered:

— dead load of formwork 750 N/m² of surface area.

— self weight of structural steel members;

— live load 2000 N/m² of plan area;

— basic wind pressure 1000 N/m²;

— the greater of dead load of concrete or liquid pressure at any point corresponding to the rate of placement 0,45 m/hr and minimum temperature of 10°C (during winter). Concrete pressure was calculated as per ACI publication - SP.4.

Liquid pressure:

$$P = 7,2 + (785 R) / (TC + 17,8)$$

where:

P = lateral liquid pressure (KN/m²)

R = rate of placement (m/hr)

TC = temperature of concrete in the forms (°C).

For the inner leaf, various combinations of the above loads were considered for the following conditions (fig. 27):

— stage 1: concrete from top of arch to 14,4 m above floor level;

— stage 2: concrete from the 14,4 m level to the underside of the star beams;

— stage 3: concrete from the star beam level to the top.

The combination of loads considered were:

1) Self weight of space frame (symmetrical).

2) Dead load of shutter (symmetrical).

3) Live load + dead load of concrete stage 1 (unsymmetrical).

4) Live load + dead load of concrete stage 1 (symmetrical).

5) Live load + dead load of concrete stage 2 (unsymmetrical).

6) Live load + dead load of concrete stage 2 (symmetrical).

7) Live load + dead load of concrete stage 3 (unsymmetrical).

8) Live load + dead load of concrete stage 3 (symmetrical).

9) Wind load for full height.

Based on the above loads, computer analysis for all possible combinations was carried out using SAP IV program. One cusp frame and one re-entrant frame along with interconnecting bracings were considered as a unit.

For entrance and outer leaves and the shells of the interior dome, similar loading conditions were considered, the only difference being that the all shells were cast in a single pour.

The final design

As noted above, the structure's dimensions, shape, thicknesses and other details were initially determined using the equations of various geometric surfaces and the resultants of envelopes of sundry kinds. To this point, then, the design was basically made up of elevations, radii and very complex equations; it needed to be translated into drawings that were easily and immediately readable by those entrusted with executing it, so that everything was expressed in lengths, widths, heights, thicknesses and curvatures.

To get to this result the whole building was first broken down into nine segments, each one delimited by a 40° wide circular sector; then, a three-dimensional orthogonal-axis system was traced out in conception on each segment.

Then, using an electronic computer made available by the Civil Engineering department of the Indian Institute of Technology in Madras, all the structure's key points were identified by their X, Y and Z coordinates; using these, the construction yard foremen could arrive at the proper positioning of the forms.

Construction

Considering the very special nature of the architectural form, preparing the forms, setting them up and striking them, as well as pouring the concrete into them, were the main construction problem.

In order to eliminate any traces of successive pours on the exposed concrete surfaces, the pour of each petal was carried out without stopping, the necessary operations going ahead for up to 48 consecutive hours.

To facilitate pouring and compact-

dello in scala al fine di meglio studiare il problema e di prevedere con esattezza la corretta successione degli interventi in fase realizzativa.

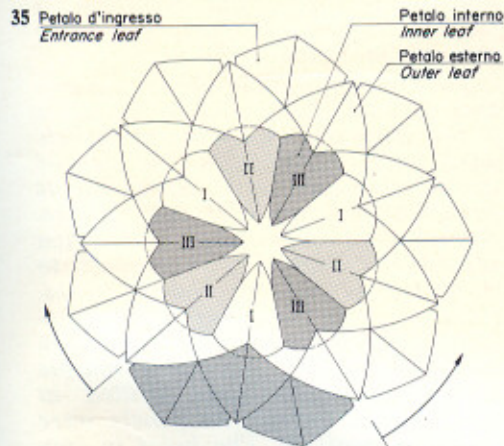
I materiali

I petali del fiore di loto sono stati realizzati in calcestruzzo di cemento bianco, i cui componenti, dosati secondo la proporzione 1:1,44:3,36, erano degli aggregati dolomitici estratti nelle miniere di Alwar vicino a Delhi, della sabbia silicea bianca proveniente da Jaipur e del cemento bianco importato dalla Corea; tale calcestruzzo, prodotto in cantiere con un rapporto acqua/cemento pari a 0,42, aveva una resistenza cubica a 28 giorni pari a 55-60 N/mm² (circa 560-610 kg/cm²) con un dosaggio di cemento variabile da 380 a 400 kg/m³.

Per garantire un elevato grado di lavorabilità del calcestruzzo di cemento ed un valore di slump pari a 100-120 mm è stato aggiunto un additivo superfluidificante in quantità variabili da un minimo dello 0,50% ad un massimo dello 0,75% rispetto al peso del cemento.

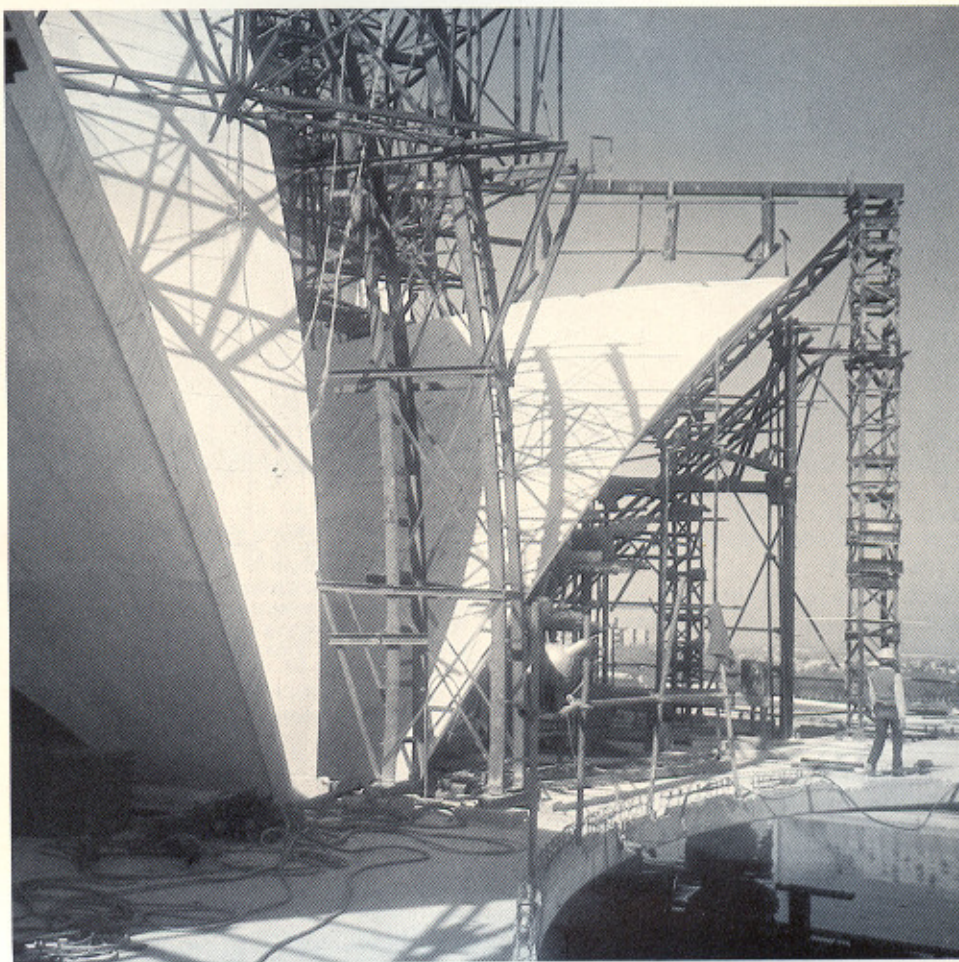
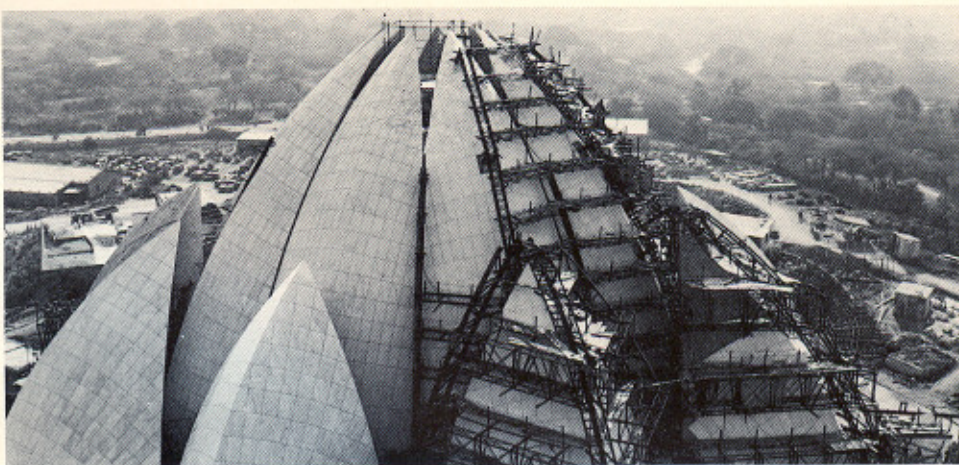
Per l'armatura metallica principale sono state utilizzate barre ad alta resistenza, trafilate a freddo, mentre come distanziatori tra i ferri sono stati impiegati elementi in acciaio appositamente progettati e realizzati.

Nelle parti strutturali per le quali



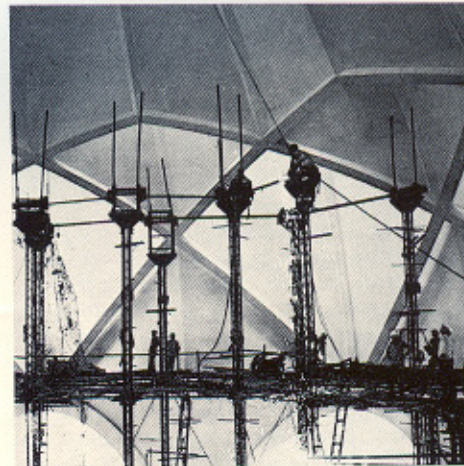
si è fatto ricorso al calcestruzzo di cemento bianco, le barre metalliche impiegate sono state preventivamente sottoposte ad un trattamento di galvanizzazione integrale, al fine di prevenire la comparsa di tracce di ruggine, e la loro piegatura è stata sempre eseguita a caldo; le indagini di controllo più volte effettuate hanno dimostrato che le proprietà meccaniche del ferro non venivano sostanzialmente modificate dai processi di lavorazione sopra indicati.

Tutti i materiali sono stati accuratamente selezionati, al fine di garantire la durata della costruzione e di ridurre al minimo la necessità di interventi di manutenzione.



32-33-34 - Il disarmo delle centine e le operazioni di rifinitura; internamente le superfici sono state lasciate in calcestruzzo a vista con un leggero trattamento di martellatura; 35 - Sequenza delle fasi di costruzione dei vari petali.

32-33-34 - Striking of the formwork and finishing operations: internally the surfaces were left exposed with the concrete being only slightly bush-hammered; 35 - The construction sequence of the various leaves.



Sulle superfici interne del tempio non sono state applicate tinteggiature di alcun tipo e, di conseguenza, il risultato estetico finale è stato raggiunto semplicemente con una leggera martellatura del calcestruzzo esaltata dalla geometrica intersezione delle tracce dei giunti dei pannelli costituenti le cassafornice.

Il rivestimento in marmo

Di particolare interesse, in relazione ai problemi tecnici di progettazione e di posa in opera che si sono dovuti affrontare, risulta essere il rivestimento in marmo, presente sulla superficie esterna dell'intera costruzione e sugli archi interni.

Estratti nelle cave del Monte Pentelikon in Grecia, i blocchi sono stati trasportati in Italia ove la Marmi Vicentini S.p.A. ha provveduto al taglio in lastre, per una superficie complessiva di circa 10.000 m², ed alla sagomatura di ciascun pannello secondo la forma calcolata in modo da seguire la geometria e le linee architettoniche dell'edificio; infine il materiale così rifinito è stato trasferito in cantiere.

Dopo aver realizzata l'impermeabilizzazione della superficie esterna del fabbricato, per mezzo di tavolati in legno aventi ciascuno le stesse dimensioni dei corrispondenti pannelli in marmo, si è provveduto alla verifica del posizionamento di ogni singolo elemento, iniziando dalle file più basse e procedendo dalle cuspidi verso le concavità.

Una volta completata e controllata questa operazione preliminare, su ogni pannello in marmo sono stati praticati a piè d'opera dei fori in grado di alloggiare le staffe di supporto, realizzate in acciaio inossidabile e progettate in modo da sopportare le sollecitazioni provocate dal peso del pannello, dai carichi accidentali e dalle deformazioni dovute alle dilatazioni termiche. Quindi le staffe stesse sono state rese solidali alle lastre di marmo mediante uno speciale collante; i corrispondenti fori nel calcestruzzo, invece, sono stati eseguiti dopo che ciascun pannello era stato posto in posizione corretta.

L'allineamento dei pannelli è stato accuratamente controllato fila dopo fila allo scopo di assecondare la geometria delle superfici e l'andamento delle linee generatrici.

Gli elementi marmorei di estremità, quelli posti in corrispondenza delle concavità e quelli posti in corrispondenza delle cuspidi, sono stati tagliati ed adattati in situ a seconda delle varie esigenze. I giunti, larghi da 8 a 10 mm, sono stati riempiti con un cordone di gomma e quindi sigillati con pasta siliconica; infine l'intera superficie del rivestimento è stata lavata con una soluzione acquosa di acido muriatico al 30% al fine di ri-

ing the concrete, the outer form panels were mounted a row at a time as the pour level rose, the whole operation being carried out with astonishing coordination, within extremely tight time limits.

It should be noted that the system for supporting and fastening the outside form had, owing to its special configuration, to be able not only to do its particular job but had also to be properly designed so as to stand up under the loads bearing on it because of the concrete, to hold up the scaffolding for the workmen, and to act as points of support for the job equipment.

But the inner form support system consisted simply of a sectional steel structure made up of a 3D grid of radial and concentric members.

The considerable complexity of the operations just summarily described meant a very demanding task for design, it taking the concrete form of a set of some 150 drawings containing the rigidest specifications, both on dimensions and on materials, as well as detailed instructions on work scheduling; this followed a computer-assisted, very careful, analysis of the loads.

Great attention was also paid to properly realizing the architecturally-underscoring play of lines on the exposed concrete surface resulting from the panel-junction traces.

These lines had to follow a very definite pattern of longitude and latitude along the spheres and toruses generating the thin « leaf » walls. Furthermore, they had to be the only lines visible. To accomplish this a scale model was built to study the problem and to exactly lay down the proper sequence of operations during construction.

Materials

The lotus flower petals were made of white cement concrete. The components of the variously batched concretes were dolomite aggregates taken from the Alwar quarries near New Delhi, white silica sand coming from Jaipur, and Korean white cement. A mix of 1:1,44:3,36 and w/c ratio of 0,42 was adopted: the concrete was mixed on site and had a cube crushing strength at 28 days of 55 to 60 N/mm², its cement content running from 380 to 400 kg/m³.

To achieve a high workability, slump 100-120 mm, super plasticizer, 0,5 to 0,75% by weight of cement, was used.

Cold twisted deformed high tensile steel bars were used for all primary reinforcement. In the white concrete shells the bars and binding wires were galvanised to minimize the risk of eventual rusting and consequent discoloration of the surfaces. Sand blasting was carried out to reduce pickling time with a view to avoid hydrogen

embrittlement. It was found to be preferable to hot dip the bars prior to bending, having preheated them to 100°C to drive off any moisture. (Pre-bent bars tended to suffer cracking during galvanising). Tests carried out showed that the mechanical properties of the bars were not significantly affected by the chosen process.

All materials were carefully chosen to assure long life to the building and to cut maintenance operations to the minimum.

No painting of any kind was applied to the inner temple surfaces, so that the final esthetic result was achieved with only a light bush-hammering of the concrete, this being brought out by the geometric intersections of the formwork panel joint traces.

Marble cladding

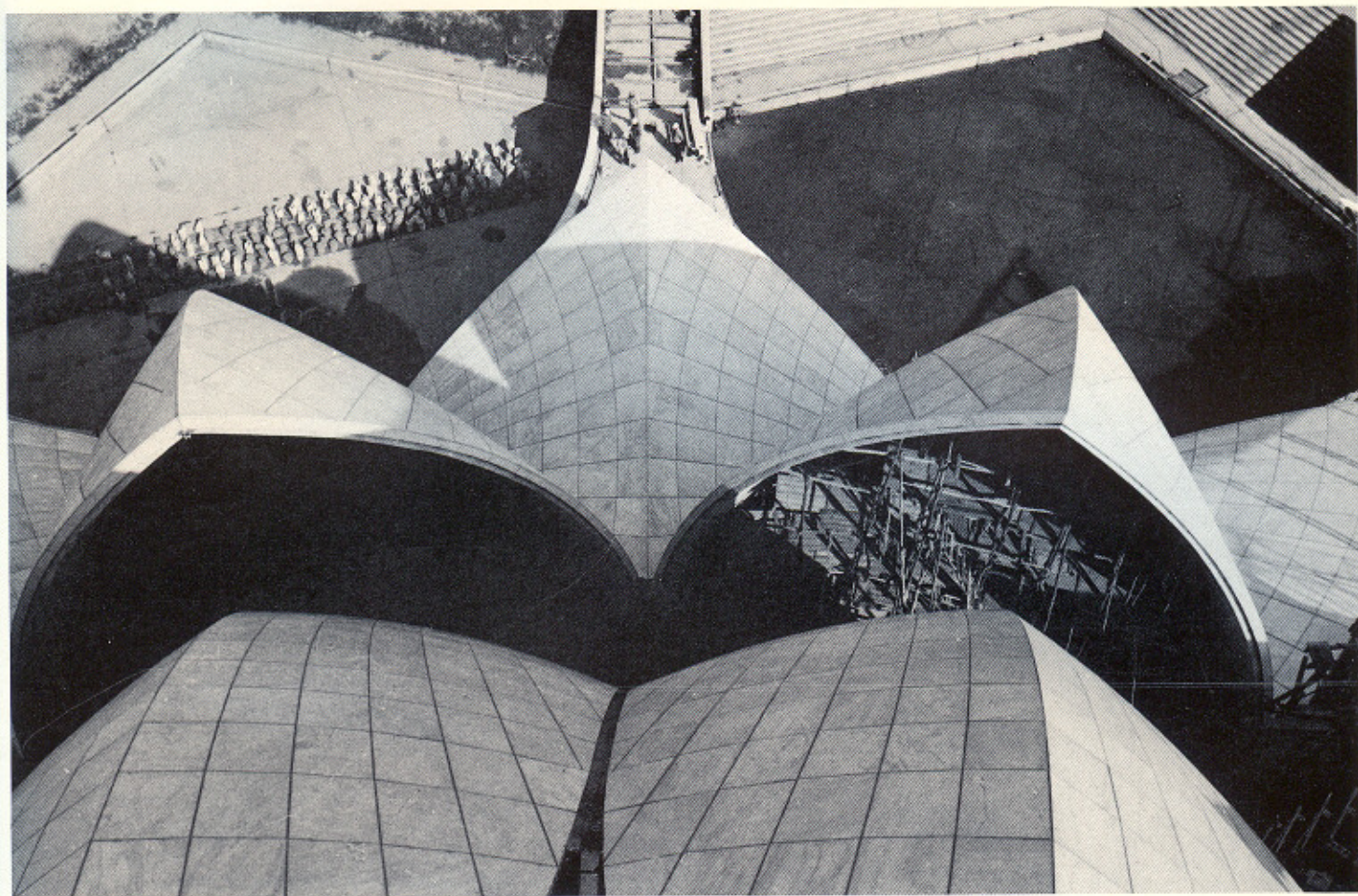
The outer surface of the shells as also the inner surface of the arches are clad with white marble panels fixed to the concrete surface with stainless steel brackets and anchors designed to carry the panel weights and superimposed loads and to accommodate thermal movements. 10000 m² of marble was quarried from the Mount Pentelikon mines in Greece and thereafter sent to Italy where Marmi Vicentini S.p.A. cut each panel to the required size and shape computed by the Engineers to suit the geometry and architectural patterns before transporting them to the site in Delhi.

After waterproofing of the top surface of each shell, timber templates of the same size as the marble panels were used to define the location of the bottommost row of marble panels first. The geometry of the cusp re-entrant and edge lines were then accurately checked with respect to these panels and the marble pieces, fixed in position from bottom towards top and cusp towards re-entrants and edges. For each marble panel edge holes were drilled at ground level before the panels were placed in position. The holes in concrete to accommodate the anchor fasteners of the stainless steel brackets were drilled to suit the holes in the marble, after each panel was aligned. After fixing of the brackets the area around the bracket hole was sealed with special water proofing compound.

The temple's inside flooring is the same white marble as used for cladding the petals, while a locally-quarried red stone was selected for the stairs and the walkways.

Quality control

Even though the construction technologies adopted were not the most sophisticated, in fact in some cases



36 - I giunti tra i vari pannelli di marmo larghi circa 8 mm sono stati riempiti con un cordone di gomma e sigillati con pasta siliconica. Tutti i materiali impiegati sono stati accuratamente selezionati secondo un preciso programma che prevedeva continui controlli qualitativi durante le varie fasi della costruzione.

36 - The 8 mm joints between the various marble panels were sealed with a rubber ribbon and with silicone. All materials were carefully selected and all underwent continuous quality control during the entire construction period.

muovere ogni residua traccia di sporcizia e di grasso.

La pavimentazione dell'interno del tempio è stata realizzata con lo stesso marmo bianco utilizzato per il rivestimento delle superfici esterne, mentre per quella delle scale e dei passaggi pedonali esterni è stata preferita una pietra rossa di estrazione locale.

Il controllo della qualità

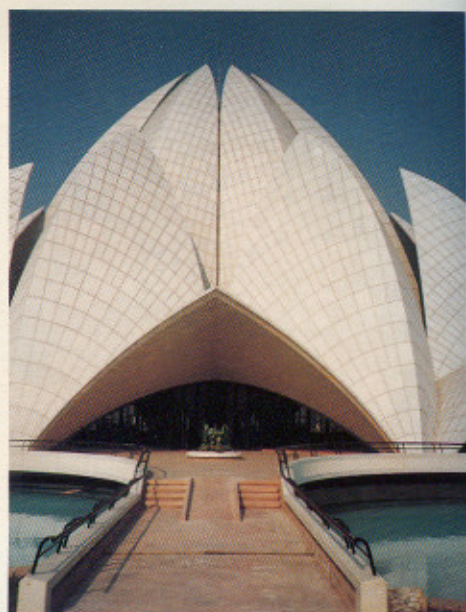
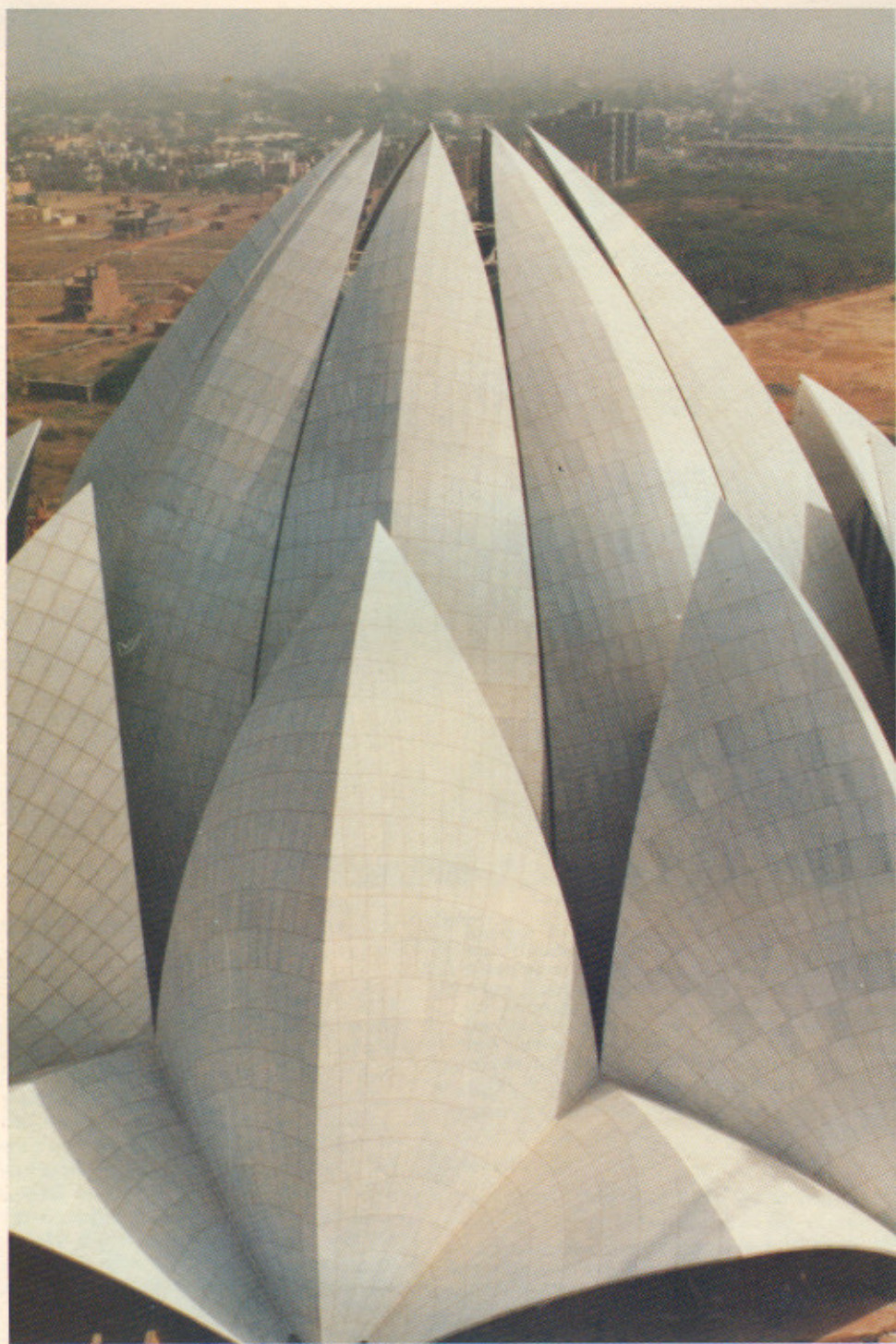
Anche se le tecnologie costruttive adottate non sono state in assoluto le più sofisticate, ed anzi si è volutamente fatto ricorso, in alcuni casi, a metodi antichi e tradizionali per il

sub-continente indiano, grande attenzione è stata posta nel controllo qualitativo dei materiali impiegati ed innumerevoli verifiche sono state effettuate sugli stessi, al fine di controllarne la rispondenza agli standard ed alle specifiche formulate, secondo un preciso programma che prevedeva determinati esami durante varie fasi della realizzazione.

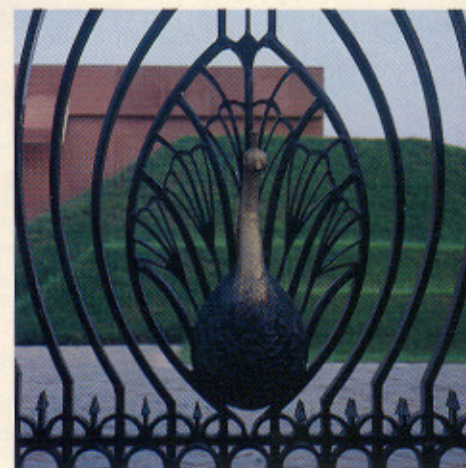
A puro titolo di esempio si riporta che un attrezzatissimo laboratorio di cantiere ha costantemente controllato le qualità del calcestruzzo posto in opera ed ha verificato che la temperatura dello stesso risultasse sempre inferiore ai 30°C, anche in presenza di temperature ambientali su-

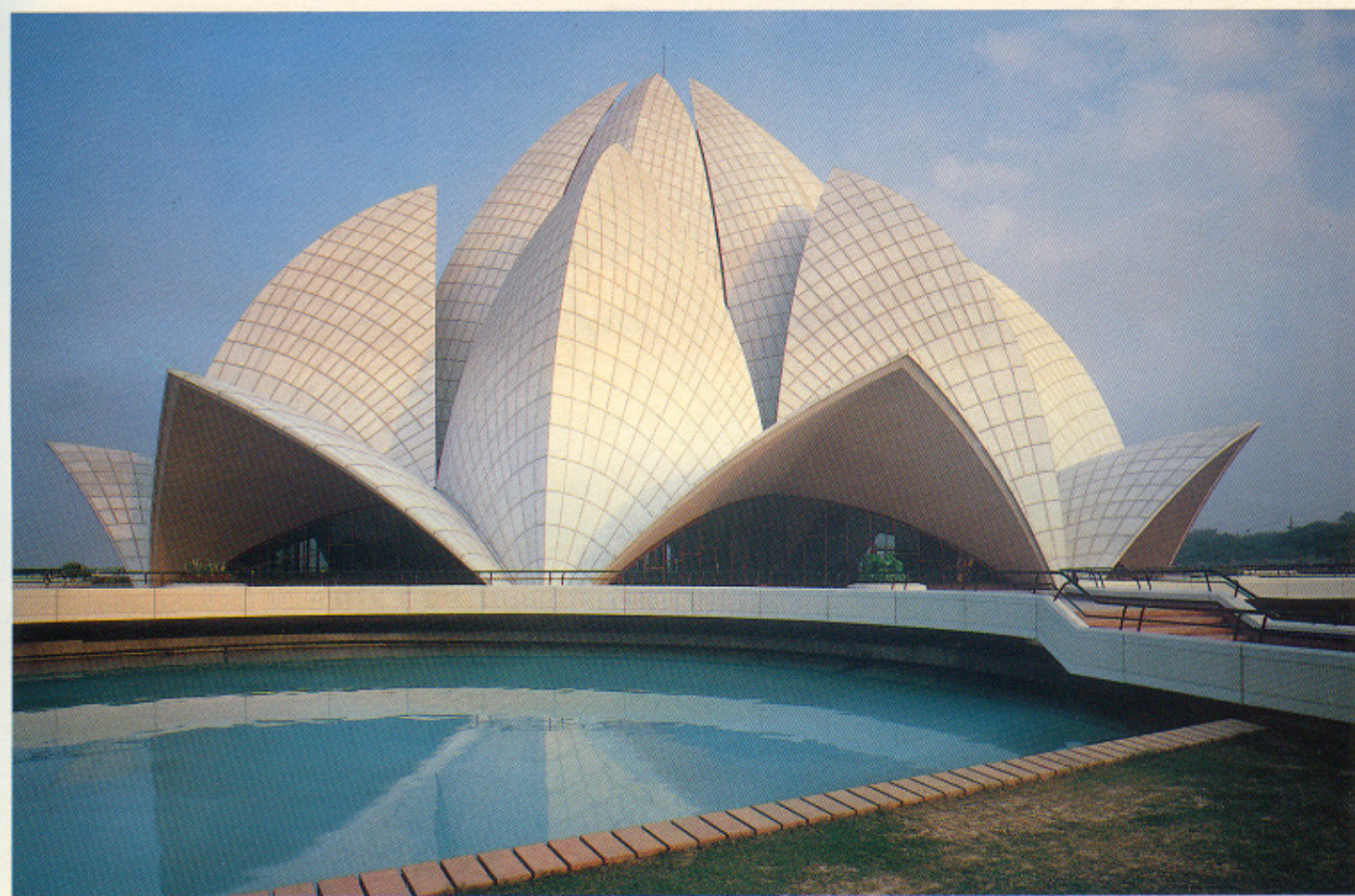
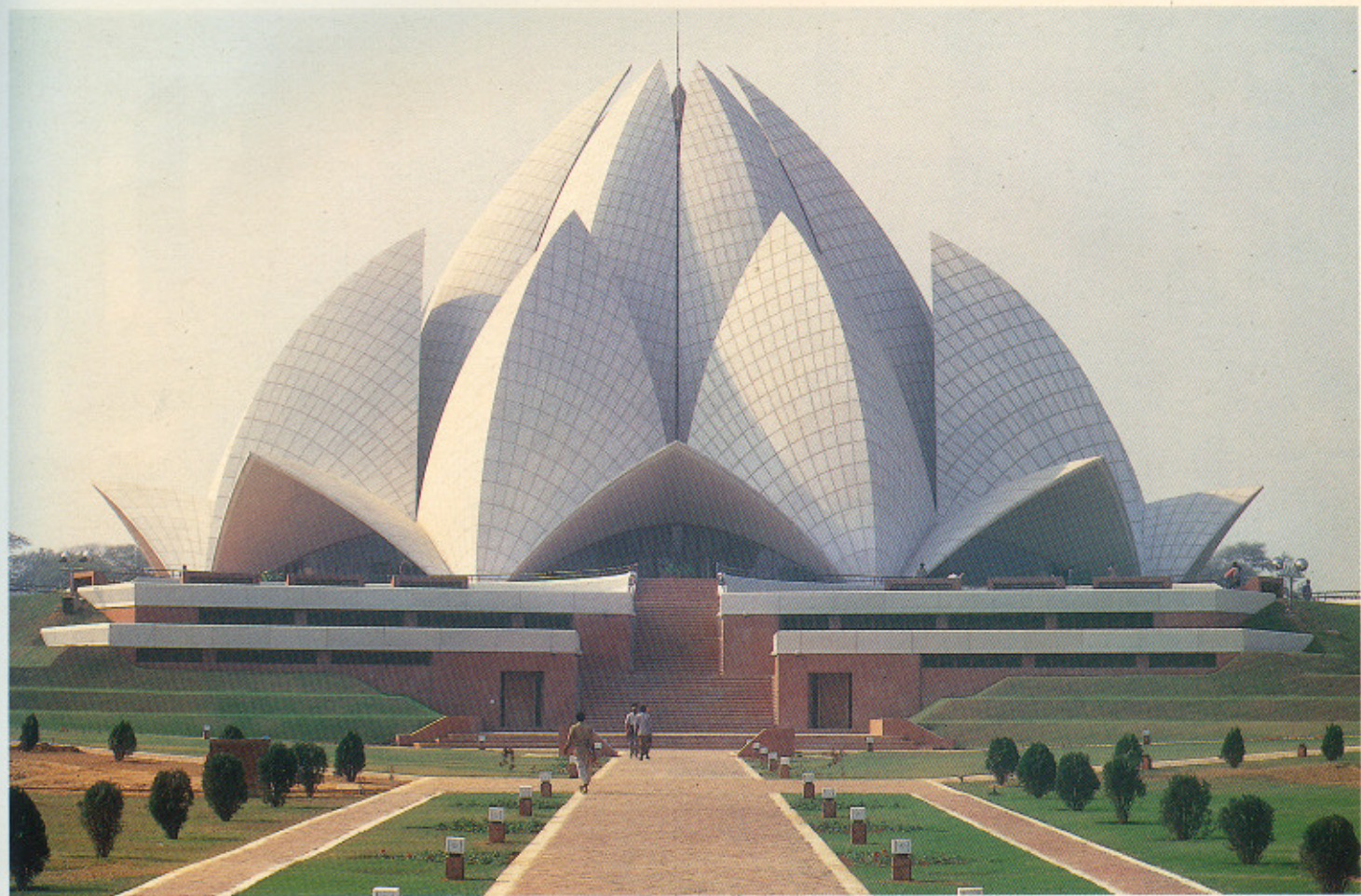
ancient and, for the Indian sub-continent, traditional methods were deliberately resorted to, great care was given to the quality control of the materials used, and numerous checks were made on them to ensure they met the standards and specifications formulated, this following a definite schedule that called for particular inspections at various phases of construction.

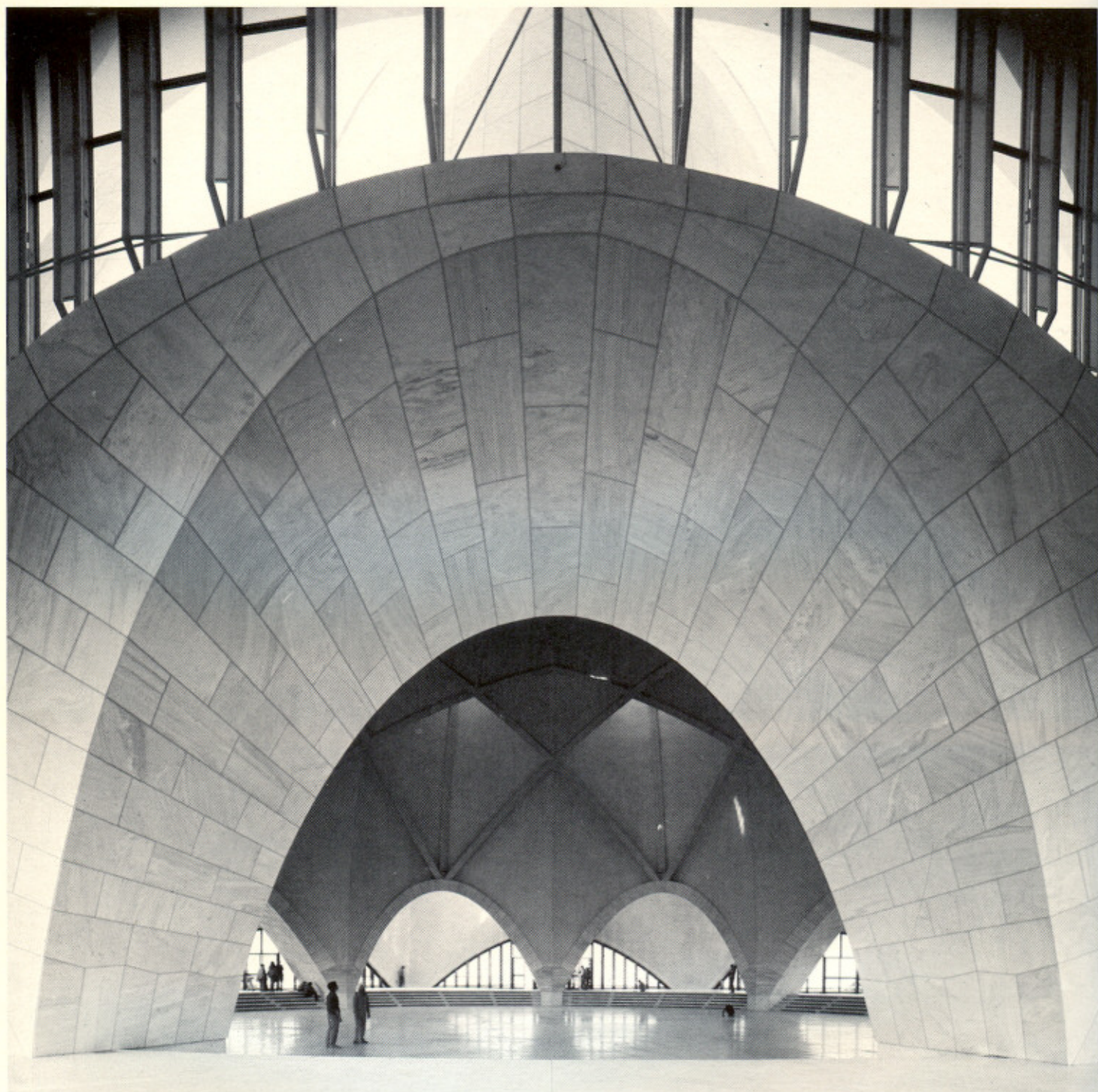
Just as an example, it may be noted that a very-well-equipped yard laboratory constantly monitored the quality of the concrete poured, and checked that the concrete temperature never rose above 30°C, even when external temperatures were running



910 660







periori ai 45°C durante i mesi estivi, disponendo, a seconda delle necessità, per l'aggiunta al conglomerato di precise quantità di ghiaccio o per il preraffreddamento degli aggregati inerti all'interno di magazzini climatizzati.

In aggiunta a questo e sempre per garantire il miglior risultato dell'opera le zone del cantiere ove erano in corso i getti sono state ricoperte, in modo da proteggere i getti stessi sia dal soleggiamento diretto sia da eventuali piogge, ed inoltre si è provveduto a mantenere costantemente bagnato il calcestruzzo per mezzo di un impianto di innaffiamento durante i 28 giorni successivi alla posa.

Conclusioni

Il Tempio Baha'i a Nuova Delhi costituisce probabilmente una delle costruzioni più particolari e più caratterizzanti edificate nel mondo ai giorni nostri.

La complessità della struttura e l'elevato standard qualitativo richiesto alla mano d'opera necessitavano di una direzione dei lavori estremamente dinamica e dotata di un elevato grado di immediata percezione dei processi innovativi oltre che di un complesso di tecnici e di maestranze consci del compito loro affidato e legati da autentico spirito di collaborazione.

Il completamento dell'opera non solo ha permesso l'entrata in funzione di un importantissimo luogo di incontri e di meditazioni religiose, ma è anche servito a fornire un esempio di eccellenza per quanto attiene a progettazione e costruzione.

* * *

Committente: Assemblea Spirituale Nazionale del Baha'i d'India. Progetto architettonico, Progetto ambientale e Direzione dei lavori: Arch. Fari-burz Sahba. Progetto strutturale: Flint & Neill Partnership. Impresa costruttrice: Larsen e Tonbro ECC Construction Group.



45°C during the summer. Where necessary, definite amounts of ice were added to the mix, or the aggregates were chilled inside air-cooled bins.

Hessian canopies were suspended from the staging to provide complete shading of the shells being concreted in hot weather. To avoid cold joints due to stoppage of work during heavy rains as also to protect rain water entering the forms, the entire concreting area was covered by tarpaulins. After removal of the outer forms the surface of the concrete was covered with hessian and cured for 28 days by keeping it wet continuously by a sprinkler arrangement fixed at the top of the shells.

Conclusions

The Baha'i temple in New Delhi is probably one of the most special and most distinctive buildings to be built in today's world.

The structure's complexity and the high standard of quality demanded of the workers meant that supervision of construction had to be very dynamic and endowed with an acute capacity to immediately perceive innovative processes. Necessary too was a group of technical personnel and of workmen who were conscious of the task they were performing, and imbued with an authentic spirit of cooperation.

When the work was completed, not only could a very important place for meetings and religious meditation go into operation, but an example of excellence of design and construction was concretely realized.

* * *

Customer: the National Spiritual Assembly of the Baha'i of India. Architectural design, environmental design, and supervision of construction: Fariburz Sahba, Arch. Structural design: Flint & Neill Partnership. Contractor: Larsen and Tonbro ECC Construction group.



*Fotografie / Photographs: Norman Mc Grath,
G. Bologna, A. Shargool.*

