



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

LA ESTRUCTURA EN LA OBRA DE PIER LUIGI NERVI:  
El caso del Palacio de los Deportes de Roma (1956-1957).

THE STRUCTURE IN THE WORK OF PIER LUIGI NERVI:  
The case of the Sports Palace of Rome (1956-1957).

Autor/es

Beatriz Martínez Becana

Director/es

Sergio Sebastián Franco (Universidad de Zaragoza)  
Simona Salvo (Universidad de la Sapienza de Roma)

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2019





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. Beatriz Martínez Becana con nº de DNI 73023209 A ,en  
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de  
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el  
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,  
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
(Título del Trabajo)

LA ESTRUCTURA EN LA OBRA DE PIER LUIGI NERVI:  
El caso del Palacio de los Deportes de Roma(1956-1957).

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser  
citada debidamente.

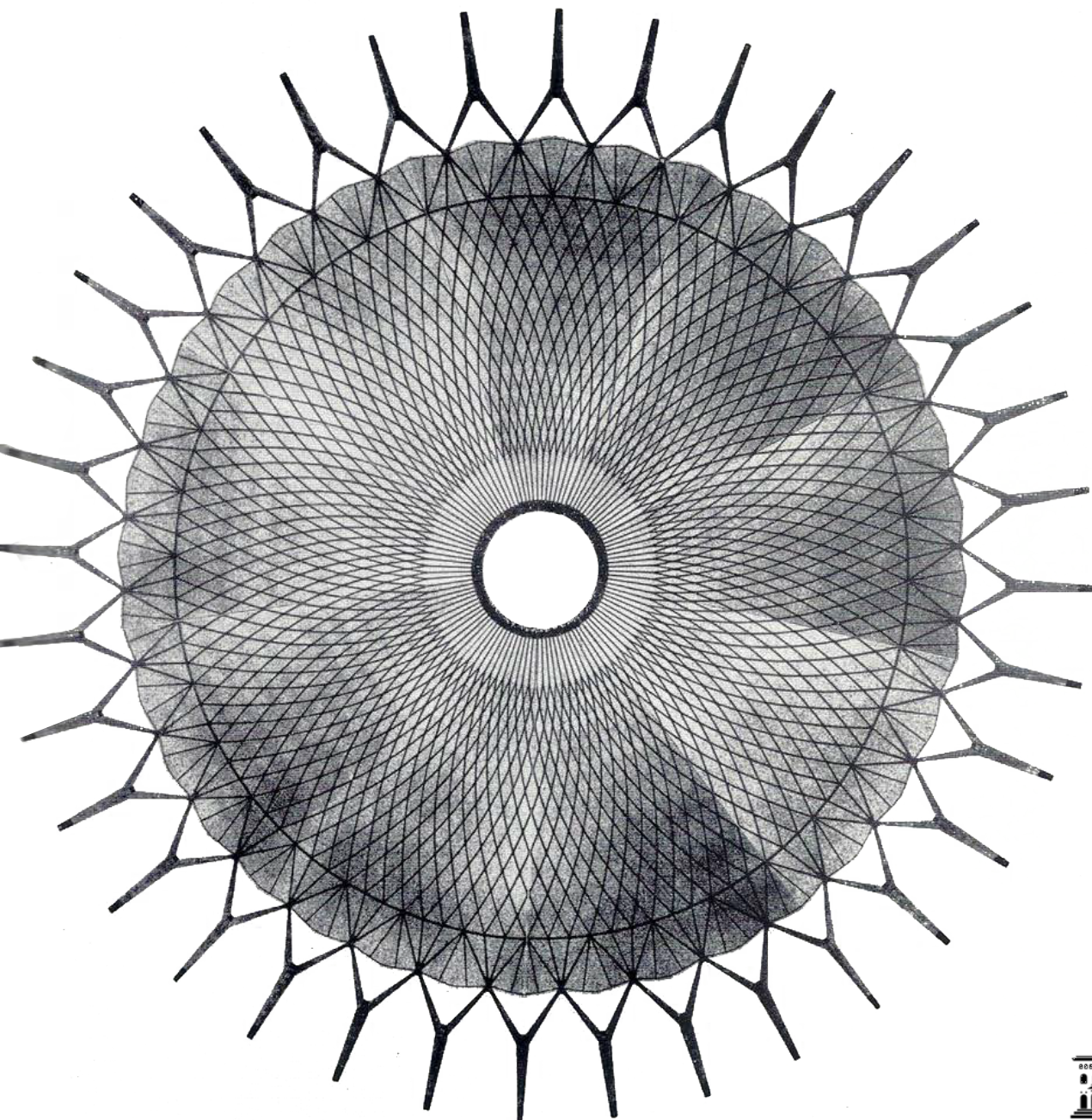
Zaragoza, 16 de Septiembre de 2019

Fdo:

TRABAJO FIN DE GRADO Beatriz Martínez Becana

# LA ESTRUCTURA EN LA OBRA DE NERVI:

El caso del Palacio de los Deportes de Roma (1956-57).



**Universidad**  
Zaragoza



# LA ESTRUCTURA EN LA OBRA DE NERVI:

El caso del Palacio de los Deportes de Roma (1956-57).

AUTOR | Beatriz Martínez Becana

DIRECTOR | Sergio Sebastián Franco (Universidad de Zaragoza)

CODIRECTOR | Simona Salvo ( Universidad de la Sapienza de Roma)

Grado en Estudios de Arquitectura  
Universidad de Zaragoza



**Universidad**  
Zaragoza



*"Ogni volta che scopriamo nuove tecniche spesso ci atteniamo stupidamente alle vecchie forme. Un nuovo materiale, come il cemento, crea da sé le sue forme."*

*"Cada vez que descubrimos nuevas técnicas, nos solemos apegar a las viejas formas. Un nuevo material, como el cemento, crea sus propias formas"*

**Pier Luigi Nervi**

*"Una struttura è architettonicamente valida quando è corretta."*

*"Una estructura es arquitectónicamente válida cuando es correcta".*

**Pier Luigi Nervi**

## RESUMEN

Lejos de querer ser un trabajo de carácter narrativo como lo son la gran mayoría de trabajos que se han realizado hasta el día de hoy sobre Pier Luigi Nervi, éste pretende ser una continuación de todos ellos centrándose principalmente en desarrollar el aspecto constructivo y estructural que tanto caracteriza la arquitectura de dicho autor.

Ambos aspectos tratan de analizarse en profundidad a través del estudio del "Palazzetto de los Deportes de Roma(1956-1957)". Una de las obras que posiblemente mejor recoge cada una de las investigaciones e innovaciones que él mismo realiza con dicha estructura y técnica constructiva a lo largo de toda su carrera como ingeniero civil.

## ABSTRACT

Far from being a work of a narrative nature such as the big majority of works that have been done about Pier Luigi Nervi to this day, this is intended to be a continuation to all of them focusing mainly on developing the constructive and structural aspect that characterizes the architecture of said author.

Both aspects are analyzed in depth through the study of the "Palazzetto of the Sports of Rome (1956-1957)". One of the projects that possibly best includes each of the investigations and innovations carried out by himself with said structure and construction technique throughout his career as a civil engineer.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>08</b>
Objetivos y justificación del tema .....	09
Metodología y fuentes .....	10
Estructura del trabajo .....	11
<b>BLOQUE I: PIER LUIGI NERVI .....</b>	<b>12</b>
I.I BIOGRAFÍA .....	14
I.II CONTEXTO HISTÓRICO Y ORÍGENES DE SU OBRA .....	18
I.III METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	19
I.IV ESTRATEGIAS PROYECTUALES .....	24
I.V LA INNOVACIÓN CONSTRUCTIVA .....	26
<b>BLOQUE II: CASO DE ESTUDIO. "EL PALAZZETTO DE LOS DEPORTES EN ROMA".....</b>	<b>30</b>
II.I TRADICIÓN Y FORMA .....	32
II.II DESCRIPCIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	36
II.III ESPACIO Y SUPERFICIE .....	38
Origen proyectual .....	39
Funcionamiento y planimetría .....	40
Análisis de la forma .....	42
II.IV SECCIÓN Y ESTRUCTURA .....	45
Diseño y funcionamiento estructural de la cúpula .....	46
Diseño y funcionamiento estructural de los pilares .....	48
Diseño y funcionamiento estructural de la cimentación .....	50
II.V CONSTRUCCIÓN .....	52
II.VI INFLUENCIA DEL PALAZETTO EN LA OBRA POSTERIOR DE P.L.NERVI .....	65
II.VII ESTADO ACTUAL .....	68
<b>BLOQUE III: CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y CRÉDITOS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS GRÁFICOS.....</b>	



## INTRODUCCIÓN

## Objetivos y justificación del tema

Mi estancia de Erasmus en Roma me ha dado la oportunidad de conocer nuevos autores y proyectos de arquitectura realizados en la propia ciudad; de los cuales no tenía conocimiento previo y sin embargo significaron en el momento de su construcción un gran cambio en la manera de ver y concebir la arquitectura. De todos ellos los que más interés han despertado en mí han sido los realizados por el ingeniero italiano Pier Luigi Nervi por el uso que hace de la estructura como elemento generador del proyecto y de ahí mi predilección por dicho autor y tema sobre el que enfocar el trabajo.

Una vez elegido el tema planteado he decidido elegir un proyecto que él mismo hubiese realizado en la propia ciudad y que por un lado pudiese resumir todos los principios estructurales y constructivos que desarrolla el autor a largo de su carrera y que por otro a mí me supusiera un aporte de conocimiento. En este caso, de la cúpula.

Ambas decisiones desencadenan finalmente en la elección de una obra comúnmente llamada "Palazzetto de los Deportes". Una instalación deportiva que el mismísimo Nervi, en colaboración con el arquitecto Annibale Vitellozzi, se encarga de proyectar, calcular y construir en dicha ciudad con motivo de los Juegos olímpicos de los años 60.

El principal objetivo de estudiar en profundidad dicha obra es demostrar cómo la buena arquitectura no es aquella que responde únicamente al mero capricho estético tanto del arquitecto como del cliente que la solicita y que tan en auge estuvo hasta el siglo XX, sino aquella que partiendo del "menos es mas" es capaz de adaptarse a las necesidades políticas y económicas de una época concreta afirmando que la verdadera belleza no está en las envolturas ni en los adornos exteriores de un edificio sino en la propia estructura portante, sistema articulador de todo proyecto.

Este último concepto es el hilo conductor del estudio a realizar, sobre el cual se reflexiona acerca de dónde parten y en que se basan cada una de sus investigaciones y de qué medios hace uso para llegar a dicha arquitectura desnuda pero de gran belleza.

Para ello se realiza un estudio profundo del funcionamiento de cada uno de los sistemas estructurales que conforman dicha obra en cuestión para un posterior entendimiento de los avances que supusieron la aplicación de dichos sistemas, tanto en el momento de construcción de dicha obra como en la actualidad. Avances que no solamente han influenciado la manera de construir en Italia, sino en todo el mundo.

## Metodología y fuentes

El trabajo consiste en analizar los avances tanto estructurales como constructivos que ha supuesto la figura de P.L.Nervi en la actualidad haciendo un recorrido por sus investigaciones teórico-experimentales y obra construida. En base a ésta y con objeto de conocer sus claves y esencia, se pretende analizar cuales son sus orígenes e inspiraciones y que motivos son los que le llevan a desarrollar las técnicas constructivas que aplica en el caso de estudio, el Palazzetto de los Deportes en Roma.

La investigación histórica y bibliográfica nos permite encuadrar y descubrir su contribución conceptual en la historia, tanto la visión que tiene de la verdadera arquitectura como sus métodos de trabajo para alcanzarla. Para ello, se comienza realizando una breve descripción de su biografía en la que se encuadra la evolución de toda su obra así como cuales son sus estrategias proyectuales que le permiten diferenciarse de cualquier arquitecto de su época como por ejemplo la estrecha relación que establece entre técnica y estética, o más bien entre sinceridad constructiva y belleza.

Dicho axioma que sirve de base en su poesía y práctica constructiva, unido a su fuerte carácter experimental, le permite desarrollar nuevos métodos constructivos que supondrán un gran avance para la época en la que se encuentra siendo éstos mucho más económicos, prácticos y capaces de reducir los tiempos de ejecución en obra de lo que venían siendo los sistemas convencionales. Sobre todo ello reflexiona en múltiples ocasiones en conferencias y libros escritos por él mismo como *"Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato"* (Roma, 1945).

En lo referente a las fuentes, el libro mencionado anteriormente junto a muchos otros han sido obtenidos del amplio archivo de "La Sapienza" los cuales me han permitido la recopilación de la mayor parte de información así como de las citas que el propio autor hace sobre su obra.

De forma paralela, mi estancia Erasmus en Roma me ha dado también la oportunidad de contar con la ayuda de la arquitecta Simona Salvo de la universidad de La Sapienza, gran conocedora de dicho autor, así como de poder acceder al archivo de Nervi situado en el museo MAXXI de la propia ciudad donde he podido terminar de recopilar la información que me faltaba así como conseguir documentación gráfica de gran valor. Gran parte de dicha documentación gráfica corresponde al proceso de construcción de la obra, que tanto en libros como en la web no ha sido posible encontrar y que tan importante ha sido para terminar de entender aspectos que quedaban incompletos con la información más teórica. A todo ello se le suman las diversas visitas realizadas a la obra donde realmente he podido percibir en primera persona qué sensaciones transmite dicho edificio en el entorno que se encuentra y algunos matices de su construcción que solo son perceptibles una vez estás delante suyo. Siempre desde el exterior ya que no fue posible el acceso al interior durante toda mi estancia por el escaso uso que se le da a dicha instalación deportiva hoy en día.

Una vez recopilada toda la información se dispone a estudiar cómo estructurarla de la mejor manera para que se entienda el motivo del trabajo, otorgando la mayor importancia a los avances constructivos y estructurales que ha supuesto dicha obra conmemorando a Pier Luigi Nervi como uno de los máximos exponentes de la arquitectura racionalista del siglo XX.

## Estructura del trabajo

El trabajo, el cual se aborda desde el ámbito del proyecto, trata de reflexionar sobre la importancia del carácter estructural que tiene que tener toda buena y correcta obra de arquitectura según el propio autor.

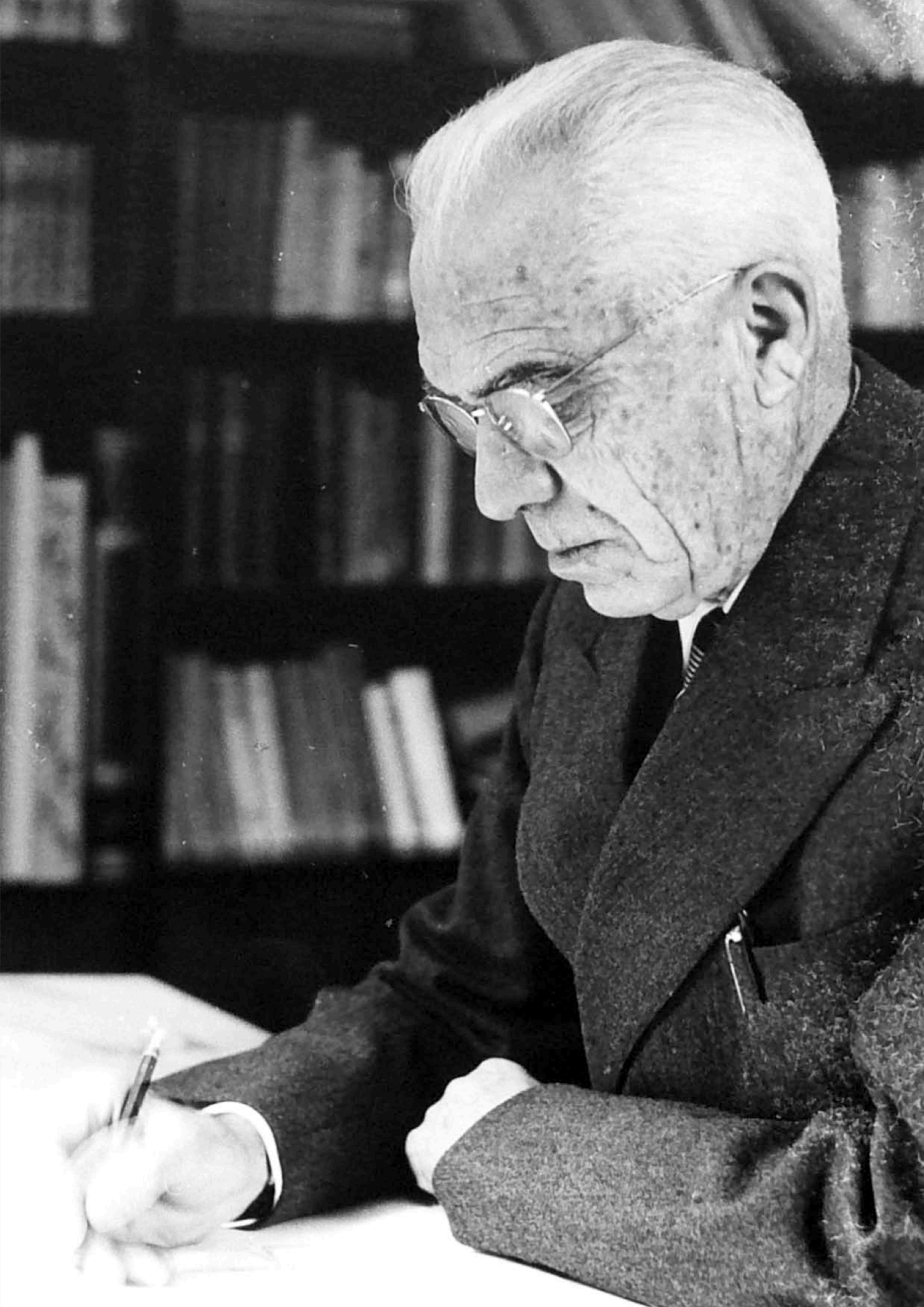
En primer lugar se inicia con una breve introducción que contiene los objetivos y justificación del tema del trabajo, así como la metodología seguida, las fuentes bibliográficas y la organización del mismo.

Una vez decidido el motivo principal de este trabajo, el análisis de la estructura y construcción en el Palazzetto de los Deportes de Roma, se ve necesario dar comienzo con un primer bloque dedicado únicamente a la figura de Pier Luigi Nervi, donde se narran los orígenes, historia y obras realizadas desde su etapa de estudiante hasta la más madura y adulta y donde también tienen cabida cada una de las estrategias proyectuales y metodologías de trabajo que sigue a lo largo de su carrera y que le llevan a las innovaciones que incluye en el caso de estudio del que se habla en el siguiente bloque.

El segundo bloque estará enfocado propiamente al desarrollo del caso de estudio, "el Palazzetto de los Deportes en Roma", obra a la que llegará tras años de experimentación con trabajos anteriores de gran similitud y la cual supone la culminación del perfeccionamiento en las técnicas explicadas en el apartado anterior. El análisis de dicha obra se enfoca desde un punto de vista proyectual sobretodo centrándose en la parte más constructiva y estructural del edificio. Cómo P.L.Nervi es capaz de diseñar una obra de gran belleza haciendo uso de un único material de construcción y otorgando toda la fuerza y peso a la estructura portante que lo conforma.

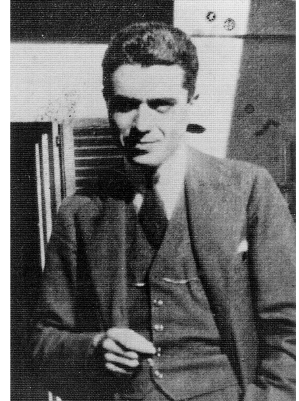
Finalmente, se concluye el trabajo con un tercer bloque correspondiente a una serie de conclusiones personales acerca de la importancia que ha tenido la figura de Nervi a la hora de abordar la concepción de un proyecto usando la estructura como elemento generador y su capacidad de depuración continua de los sistemas estructurales con el fin de adaptarlos a una época de escasez aunando economía, belleza y función.

**BLOQUE I:** PIER LUIGI NERVI





[FIGURA 1] Pier Luigi Nervi ( primera fila, segundo por la derecha) con sus profesores y compañeros de escuela. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 2] Pier Luigi Nervi en un retrato fotográfico de los años veinte. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

## I. Biografía

P.L.Nervi nace en Sondrio el 21 de junio de 1891 cuando Italia todavía es una joven nación que acaba de abrirse al progreso.<sup>1</sup>

Su infancia se ve marcada por diversos hechos tanto familiares como políticos. Es todavía un niño cuando tiene que comenzar a cambiar de ciudad debido al trabajo de su padre y a vivir diversos regímenes políticos que se suceden en tiempos relativamente rápidos, además de dos guerras mundiales, dos crisis económicas, la gran depresión del 1929 y la crisis petrolífera.

A los diecinueve años se inscribe en la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Bolonia, una de las más prestigiosas de toda Italia, dejando a su familia en la ciudad donde había pasado toda su juventud y aventurándose a ir solo por sus propios medios.

Es en dicha facultad donde P.L.Nervi logra fusionar todos sus conocimientos de materiales con la sensibilidad artística para posteriormente aplicarlos a lo largo de su carrera profesional como ingeniero. Allí aprende todo sobre el cálculo teórico y experimental en el uso del cemento armado, material totalmente innovador en aquella época, y a su vez las bases para lograr una síntesis perfecta entre el proyecto y su puesta en obra mediante un conocimiento exhaustivo de las técnicas constructivas.

En 1913 se gradúa con una excelente nota.<sup>2</sup> Inmediatamente después entra a trabajar en el estudio de uno de sus profesores llamado Attilio Muggia, considerado primer ingeniero en conseguir la patente del cemento armado en Italia, y quien guiará sus primeros pasos en el mundo profesional.

Tiempo después entra en "la Società anonima per Costruzioni Cementizie (SACC)" de Bolonia pero con la entrada de la Primera Guerra mundial tiene que dejar su actividad como ingeniero para entrar en las milicias militares como subteniente.<sup>3</sup> Es aquí donde despierta su pasión por la aviación, la cual influirá en su carrera durante los años treinta.

Una vez terminado el servicio militar vuelve a la SACC donde lo destinan a Florencia y será a principio de los años 20 cuando pasa a formar parte de "la Società degli Ingegneri di Firenze" la cual le permite participar en varios proyectos y obtener así una mayor práctica y experiencia.

Dicha formación de carácter más práctico, junto a los estudios que ya seguía realizando sobre el cemento armado desde el momento que finaliza la carrera, es lo que le impulsa a dar sus primeros pasos en solitario y por consiguiente a recibir sus primeros encargos, como la construcción de una presa en Montecatini.<sup>4</sup>

Todo ello sucede en un momento en el que Italia sufre un estado de agitación tanto político, económico y social provocado en parte por las consecuencias que tuvo en dicho país la guerra.

Esta gran crisis la aprovechará posteriormente Mussolini para formar gobierno y hacerse con el poder absoluto del país, pasando a ser un régimen dictatorial.

1. Certificado de nacimiento de Pier Luigi Nervi Ignazio Alberto Felice, copia conforme a la original entregada el 23 de enero de 1914 en Sondrio, Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.  
2. Graduado en la "Escuela de ingenieros" el 11 de agosto de 1913, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.  
3. Carta del 13 de agosto de 1922 al "Comando del 2º regimiento, Genio Bolonia", Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.  
4. El 3 de marzo de 1921, los marqueses Pucci le encargan la construcción de la presa en el transcurso de Elsa a Granaiole, carta del 16 de junio de 1921, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 3] Irene Calosi Nervi en una foto de los años veinte. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 4] Modelo de la primera serie de Hangar, Orvieto, 1935-1938. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



Durante estos años su relación con el profesor Muggia<sup>5</sup> se empeora y por consiguiente se produce su dimisión en la SACC en abril del 1923. Ambas situaciones vienen motivadas porque Nervi quiere impulsar su carrera en solitario y no depender en sus decisiones de terceras personas. No sería hasta el 1 de junio de ese mismo año cuando funda junto a otro socio la "Sociedad de ingenieros Nervi y Nebbiosi", abriendo posteriormente sucursales en grandes ciudades como Roma, Florencia o Nápoles.

Años mas tarde, el 27 de abril de 1924 ,contrae matrimonio con Irene Calosi, mujer discreta y sencilla con la cual tuvo cuatro hijos, de los cuales tres le echarían una mano en la realización de la mayor parte de sus proyectos en los años cincuenta.

Los años posteriores de colaboración con Nebbiosi son de gran importancia en la carrera de Nervi ya que junto a él realizó sus primeros proyectos de cines, teatros, garajes, edificios industriales, en definitiva, proyectos de diversa índole que le permitieron explotar al máximo las capacidades estructurales y estéticas del cemento armado.

Entre ellos destaca el teatro Augusteo de Nápoles en 1926, construcción clave en este periodo, en la que exprime su ambición de crear estructuras en cemento armado de gran ligereza.

Todo esto estaba ocurriendo en un momento donde todavía los revestimientos de los edificios seguían una tendencia clasicista que recurría a la ornamentación decorativa tradicional con el fin de ocultar la realidad estructural de cada uno de ellos. Dicha solución sin embargo desaparece con la emergencia de Nervi y sus proyectos más industrializados en los que es ahora la propia estructura la que adquiere toda la fuerza y protagonismo.<sup>6</sup> Esa conmoción por seguir llevando a cabo dicha idea es lo que le lleva en 1932 a crear una nueva empresa junto al su primo e ingeniero Giovanni Bartoli, la cual administra y dirige hasta el 1978.

Durante estos años Nervi y su socio se beneficiaron de todas los programas de modernización de infraestructuras y servicios que el régimen fascista estaba llevando a cabo para obtener la mayor propaganda posible, recibiendo así gran cantidad de encargos tanto públicos como privados. Éstos iban desde el monumento a la Bandera en Roma y un arco de proclamación del nuevo Imperio italiano<sup>7</sup> a proyectos para la Exposición Universal del 1942, pabellones o estadios.

Del 1932 al 1942, la actividad de Nervi se centra en el desarrollo de dos temas principales que ya anticipaba en sus inicios de carrera: la imaginación y la realidad constructiva.

Ambos los comienza a aplicar en los primeros encargos que recibe en esta época, uno de los cuales sería la construcción de dos ejemplos de hangar tras ganar un concurso propuesto por las Fuerzas aéreas italianas en 1935.

Ambas obras de estructura geodésica y que funcionaban como un conjunto, fueron la solución más económica a la que llegó Nervi y a su vez la que requería menor cantidad de acero, siempre haciendo uso de un cálculo previo y la construcción de modelos de gran dimensión con los que experimentaba aplicando diferentes fuerzas y de esta manera reforzar sus cálculos estructurales previos.

Cuatro años más tarde en 1939 da un paso más allá en el diseño de dichos hangares esta vez haciendo uso de una nueva técnica constructiva, la prefabricación estructural.<sup>8</sup>

A finales de 1943 con la caída del fascismo, se proclama la República social Italiana. Se trató de un periodo de transición a un sistema económico prácticamente autárquico en donde el estado de necesidad del pueblo era muy alto.

Este derrumbe de la economía condujo a Nervi a reflexionar sobre la utilización del material en función de la escasez de medios que había en ese momento y la implementación de proyectos de investigación.

5. Carta del 14 de marzo de 1923 a Muggia, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.

6. M de Vita, Los silos de Nervi son un monumento que pueden y deben tener un futuro, en "La Domenica", 2 de noviembre de 2008. Los silos expresan eficazmente la búsqueda de un lenguaje industrial modernista así como la voluntad de la sociedad Solvay en confiar a un ingeniero un proyecto en el cual destaca la innovación y el rigor experimental.

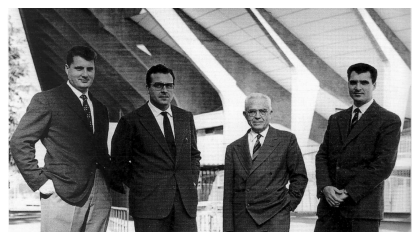
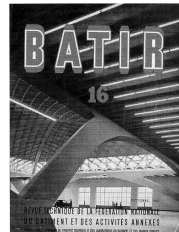
7. El arco fue ideado por Nervi juntos a los arquitectos Adalberto Libera y Vincenzo Di Berardino. Si se hubiese construido hubiese sido enteramente de cemento o constituido al menos de elementos de cemento ensamblados y de una luz de 200 metros.

8. P.L.Nervi, L'architecture inspirée par la construction, Construction à l'aide de mesures prises sur des modèles scientifiques, in "De l'Ingenieur", n.37, 11 de septiembre de 1954, pp.535.



[FIGURA 5] Revista "Batir", n.16, Octubre 1951: en portada una imagen del Palacio de Exposiciones de Turin. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 6] Pier Luigi Nervi con sus hijos Antonio, Mario y Vittorio durante una visita de obra al estadio Flaminio, Roma, 1960. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



Desde el 1946, una vez terminada la guerra, hasta 1979, año de su muerte, entraríamos en la segunda fase de su carrera, cuyo ímpetu se basaría en la construcción industrializada y mayor visión de futuro, basándose en la economía y rapidez de ejecución en obra.

Son años de gran éxito para él ya que por un lado decide abrir un estudio junto a sus tres hijos dedicado exclusivamente a la proyectación, mientras que la sociedad Nervi e Bartoli, de la que ya era partícipe anteriormente, se ocupaba de la construcción.

Este hecho de compaginar su actividad profesional de ingeniero-arquitecto con la de emprendedor fue recibida con gran admiración hasta tal punto que grandes empresas del mundo de la construcción como la Deutscher Beton Verein dijo que hasta ese momento nadie había sido capaz de compaginar de manera tan brillante la labor de constructor, el sentimiento de arquitecto y la capacidad de emprender.<sup>9</sup>

Es capaz de realizar todo ello a la vez que ejerce también de docente y conferenciante<sup>10</sup> en donde trata de transmitir a sus oyentes el resultado de cada una de sus investigaciones así como la filosofía constructiva de cada una de sus obras<sup>11</sup>, la importancia de la función, la técnica, la expresión formal, la economía o el trabajo conjunto entre el ingeniero-arquitecto. Reflexiones que todo proyecto arquitectónico debería incluir para conseguir el éxito según Nervi.

En 1948 vuelve a ganar otro concurso, esta vez para la construcción del pabellón B del Palacio de Exposiciones de Turin. Fue un proyecto con muchos impedimentos como el breve tiempo de entrega y la dimensión abismal que tenían que cubrir en cubierta. Los vence gracias al uso particular que hace del hormigón armado esta vez materializado en grandes piezas prefabricadas onduladas que permitían aumentar los tiempos de montaje de la cubierta, salvar la luz de 100 metros y una mayor economía de la obra.

Entrados los años cincuenta realiza ya proyectos que reflejan su madurez y los avances constructivos que ha ido desarrollando hasta este momento:

-En París realiza la sede de la UNESCO(1952-58) en la que hace de una institución de las Naciones Unidas un referente de arquitectura contemporánea.

-En Roma por su parte lleva a cabo una planificación urbana a gran escala a cargo de la organización de los Juegos Olímpicos de 1960. Es aquí donde Nervi junto a su hijo, plasma todas sus ambiciones y recursos arquitectónicos desarrollados a lo largo de su carrera profesional como el uso del hormigón armado y de los elementos prefabricados y solo así poder afrontar tanto la rapidez de construcción como los bajos presupuestos a los que se enfrentaban con dichas construcciones.

Entre sus obras principales destaca el Palazzetto de deportes, el estadio Flaminio, el Palacio de deportes del EUR y el viaducto de la avenida de Francia.

Como resultado de su duro trabajo logra que todo el mundo se haga eco de la importancia de la escuela de ingeniería italiana. Sus obras no solo se publican en las revistas de arquitectura más importantes, sino también en periódicos y revistas populares de todo el mundo; las universidades más prestigiosas compiten para invitarlo a dar clases y conferencias y recibe un sinfín de títulos honoríficos.

El estudio Nervi está llamado a diseñar y crear arquitectura en todo el mundo, desde Europa a Estados Unidos, desde Sudamérica a Sudáfrica, desde India a Oriente Medio: un éxito mundial que consagra a Pier Luigi Nervi como uno de los protagonistas de la arquitectura y de la ingeniería del siglo XX. Sin embargo a mitad de los años setenta su salud se deteriora y tanto su actividad profesional como literaria comienza a decaer pasando a tener únicamente un rol de supervisión y asesoramiento dentro del estudio.<sup>12</sup> También se retira del comité técnico del ISMES y de la asociación de ingenieros de la escuela de Bolonia de la que era miembro.<sup>13</sup>

Finalmente muere el 9 de enero de 1979 en Roma y desafortunadamente la estructura ambiciosa e interdisciplinar que había creado durante su carrera no sobrevivirá en la posteridad dadas las pésimas condiciones económicas en las que entró su familia y estudio tiempo después.

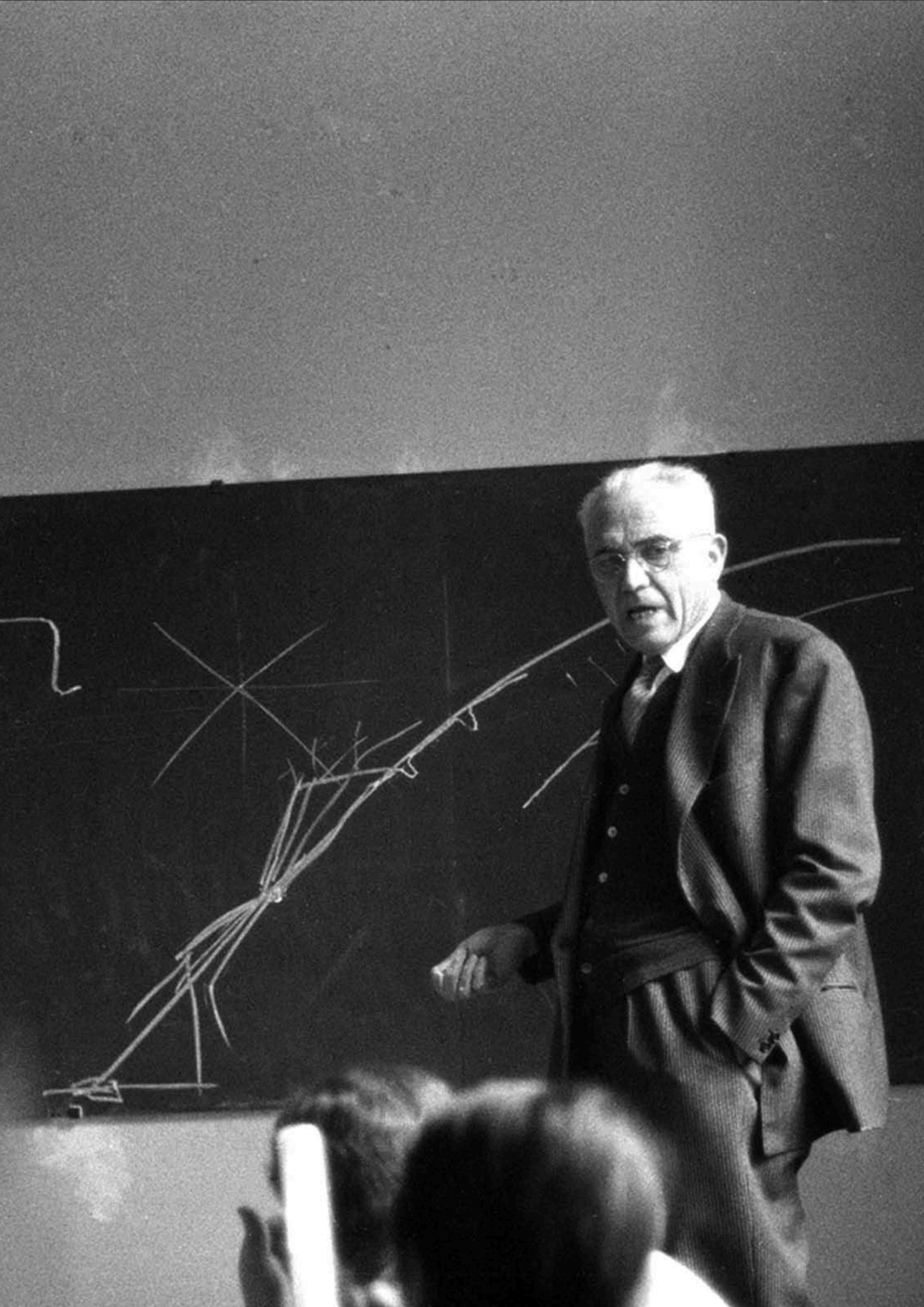
9. Carta colectiva del 26 de octubre de 1960, Wiesbaden, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.

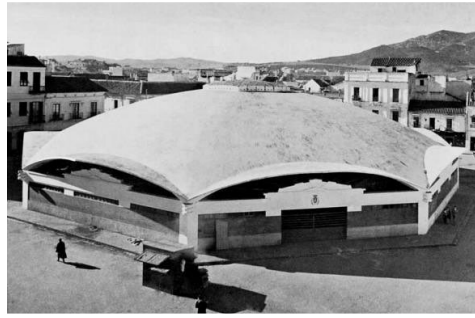
10. Se ve por ejemplo en la carta de Pier Luigi Nervi a los estudiantes de la facultad de arquitectura del Politecnico de Milan, 21 de Enero de 1965, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.

11. Ver por ejemplo "Formas estéticas y leyes físicas", debatido con la participación de Bruno de Finetti, Gillo Dorfles y Pier Luigi Nervi, en "Ciudades de las Máquinas", año XIV, n3, mayo-junio, 1966, Roma.

12. Algunos contratos en el extranjero lo citan como consultor de referencia desde principios de los años setenta. Sobre su papel dentro del estudio de 1973 a 1975, ver el cuestionario completo enviado a la Dirección General de Desarrollo y Cooperación de la Comunidad Europea en Bruselas el 10 de diciembre de 1975, Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi.

13. Nervi todavía expone los objetivos del ISMES fundado en 1957 en "La investigación experimental en el campo de la construcción", extractos de un informe sobre investigación, Instituto Académico de Roma, Roma, 1970, pp151.





[FIGURA 7] Mercado de Algeciras diseñado por Torroja en colaboración con Manuel Sánchez Arcas, 1934-1935, Algeciras, España.



[FIGURA 8] Palazzetto de los Deportes diseñado por Pier Luigi Nervi en colaboración con Annibale Vitellozzi, 1956-1957, Roma, Italia. MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

## II.Contexto histórico y orígenes de su obra

Las secuelas que deja la posguerra no solo en Italia sino en Europa, Estados Unidos y numerosos países del resto del mundo hace que durante la primera mitad del siglo XX se tenga que enfocar la arquitectura de una manera totalmente nueva y distinta a lo que se venía haciendo hasta el momento, adaptándola a las nuevas condiciones y necesidades humanas.

Como consecuencia a dicha situación surge el racionalismo. Una corriente preocupada por la mejora de la sociedad y la vida de la gente a través de un lenguaje innovador que supuso una ruptura con la tradición en busca de una nueva forma de construir y de interpretar la relación del ser humano con su entorno. Para ello se vale no solo de los aportes teóricos, las nuevas formas de concebir los espacios y de utilizar el diseño como herramienta para aunar funcionalidad y estética, sino también en la utilización de nuevas técnicas y materiales.

Se trata entonces de un nuevo enfoque fundamentado en la razón y la funcionalidad, basado en formas geométricas simples y materiales de orden industrial como el acero o el hormigón, al tiempo que se renuncia a la ornamentación excesiva haciendo de la estructura y el esqueleto del edificio una arquitectura bella y correcta.

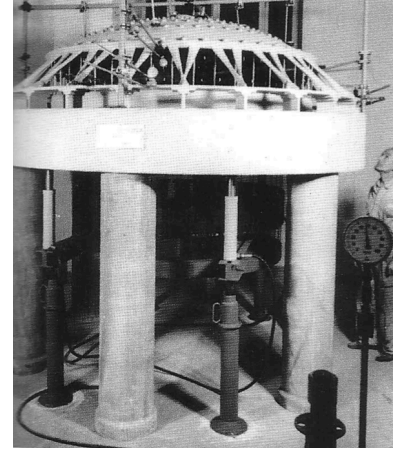
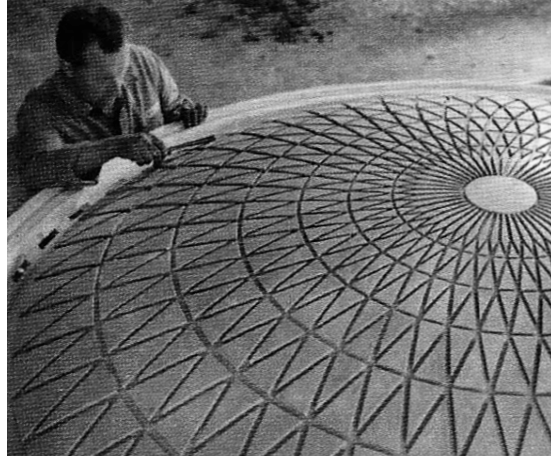
Toda esta nueva situación de cambio que estaba viviendo la arquitectura en esta época, unida al estado de necesidad y de derrumbe económico que vive Italia debido a la proclamación de la República y las consecuencias que deja en dicho país la Segunda Guerra mundial, permite a Pier Luigi Nervi reflexionar sobre todos estos nuevos conceptos pero sobretodo acerca de la utilización del material en función de la escasez de medios y en el diseño de nuevos sistemas constructivos.

Será desde el 1946, una vez terminada la guerra, hasta 1979, año de su muerte, el periodo de tiempo en el cual materializaría cada una de las investigaciones que había realizado hasta entonces. Investigaciones que se basaban en la combinación del hierro con el hormigón y la construcción industrializada. Dos sistemas que aportarían grandes avances como el ahorro de material y la rápida ejecución en obra.

Estas investigaciones, dada la situación que vivía Italia en ese momento, fueron lo que motivaron al gobierno a elegirlo como encargado de realizar la mayor parte de las instalaciones para los Juegos Olímpicos romanos de 1960. Entre ellas estaban: El Palazzetto de Deportes (1956-1957), el cual responde al caso de estudio de dicho trabajo, el Palacio de Deportes en el EUR (1955-1959), el estadio Flaminio (1956-1959) y el viaducto de Francia (1959-1960). Cuatro pequeños 'milagros' constructivos que en cuestión de años serían considerados verdaderos monumentos dignos de admirar.

En paralelo a P.L.Nervi arquitectos reconocidos como Eduardo Torroja en España estaban llevando a cabo estudios muy similares basados en la economía de medios y aprovechamiento máximo del material como sería el caso del mercado de Algeciras: una humilde construcción de planta central resuelta con una cubierta laminar de hormigón armado. Solución que sería muy similar a la que propondría años posteriores Nervi en su Palazzetto pero que sin embargo no muestra todavía esa obsesiva preocupación por el carácter estético que es posible alcanzar a partir de la propia estructura y que tanto caracteriza a las obras planteadas por Nervi.

### III. Metodología de trabajo



[FIGURA 9-10] Modelo elástico en resina a escala 1:50 del Centro cultural de Norfolk en fase de construcción y en la fase de pruebas estáticas, 1967. Seriate (Bérgamo), archivo histórico ISMES.

Pier Luigi Nervi a lo largo de su carrera establece una metodología propia de trabajo cuyo origen se remonta a los grandes tratados arquitectónicos del siglo XIX llevados a cabo por autores como Viollet le Duc en Francia o Sullivan en los Estados Unidos.

Éste último explica como la lógica estructural y la función se fusionan en el acto de la construcción a diferencia de la naturaleza y sus leyes que son el tramite necesario para unir la idea con el proceso de hacer arquitectura: "[...] Una obra de arte, como una obra de la naturaleza, es una idea realizada, y las ideas son la esencia de la arquitectura. Crear un nuevo organismo es una operación que tiende a lo divino y por el hecho de ser nuevo no puede ser una imitación de ninguna obra anterior de la naturaleza."<sup>14</sup>

Siguiendo estos pasos Pier Luigi Nervi establece dos fases en la definición de sus proyectos:

La primera fase se basa en afrontar los problemas vinculados a la construcción, a la puesta en obra y a la economía del proyecto.

En dicha fase Nervi otorga gran importancia a la capacidad de intuición. Herramienta que ya sirvió de base en la construcción de las grandes obras del pasado a falta de los métodos y teorías de calculo estructural que existen actualmente y que aun así él sigue considerando indispensable; dicha capacidad la desarrolla mediante la experimentación con maquetas de grandes dimensiones sobre las que posteriormente aplicaría diferentes fuerzas con el fin de buscar la solución constructiva mas adecuada y la mayor optimización de material posible.

La segunda fase, en cambio, la vincula a la definición del proyecto con el objetivo de alcanzar la mayor armonía y expresión estética, una vez analizados y estudiados los problemas técnicos y constructivos de la primera fase.

La gran diferencia entre estas dos fases de proyecto es que la primera es de carácter objetivo y responde únicamente a cuestiones de carácter técnico, mientras que la segunda es más personal y no puede ser controlada por ninguna ley, únicamente por la capacidad más abstracta y artística del autor. Sin embargo, ambas las interpreta como un diálogo que le servirá para alcanzar la mejor solución posible en cada uno de sus proyectos.<sup>15</sup>

14. J. Gubler (a cura di), "Progetto vs composizione: una piccola antologia", en "Casabella" n. 520-521, enero/febrero, 1986, numero monográfico con el tema "Composición/proyección", pp. 7, 8.

15. P. L. Nervi, "Aesthetic and Technology in Building. The Charles Elliot Norton Lectures, 1961-1962, traducidos de la versión italiana por Robert Einaudi, Harvard University Press, Cambridge, Massachussets, 1965, pp. 101-102.





## LA BÚSQUEDA EXPERIMENTAL:

Desde el comienzo de su carrera, una de las claves de su trabajo es la constante e inagotable investigación experimental, con la que busca explorar las posibilidades constructivas del hormigón armado con un espíritu audaz e innovador. Todo ello le servirá posteriormente para poder poner a prueba todas las tipologías formales resultantes de la aplicación de la "prefabricación estructural" y el "hormigón armado", elementos indispensables en su manera de construir.

Esta investigación experimental la realiza ayudándose de modelos que reflejan, en menor escala, cada una de las diferentes estructuras que él mismo proyecta. Sobre ellos, mediante procesos de lectura y medición, obtiene el estado de equilibrio interno de la estructura, el cual es similar al real.

El único inconveniente práctico radica en el hecho de que la preparación de un modelo, su carga y las lecturas de las tensiones son operaciones largas y costosas, de modo que cuando es posible, es más práctico y conveniente realizar una evaluación teórica y recurrir al método experimental solamente en casos que supongan una complejidad estructural mayor.

Los métodos experimentales de investigación se pueden dividir en dos categorías:

los medidores de deformación y los fotoelásticos.

-Los medidores de deformación se basan en la lectura directa, obtenida mediante galgas extensiométricas, de las deformaciones de alargamiento o contracción de la sección resistente y de la cual se quiere conocer su estado de sollicitación.

Para ello, es necesario determinar previamente el módulo de elasticidad del material con el que se ha construido el modelo y una vez calculado, el paso de las deformaciones a las tensiones y la resultante de las fuerzas que actúan sobre él, se obtienen con gran facilidad y precisión.

-Métodos fotoelásticos: permiten transformar los estados de tensión en juegos luminosos a través de los cuales podemos ver la propagación de acciones externas dentro de un sólido.

La fotoelasticidad al principio se limitaba al estudio de sistemas planos con los que se realizan pequeños modelos de plástico transparente como el celuloide o la baquelita. Sin embargo, en los últimos años, a través de procedimientos ingeniosos, se ha hecho posible aplicar la fotoelasticidad a sólidos tridimensionales.

Uno de los aspectos más útiles de dicho método es que permite evaluar de forma directa qué concentraciones locales de tensión existen en los cambios repentinos de sección, en las esquinas y, en general, en todos los puntos singulares de una estructura.

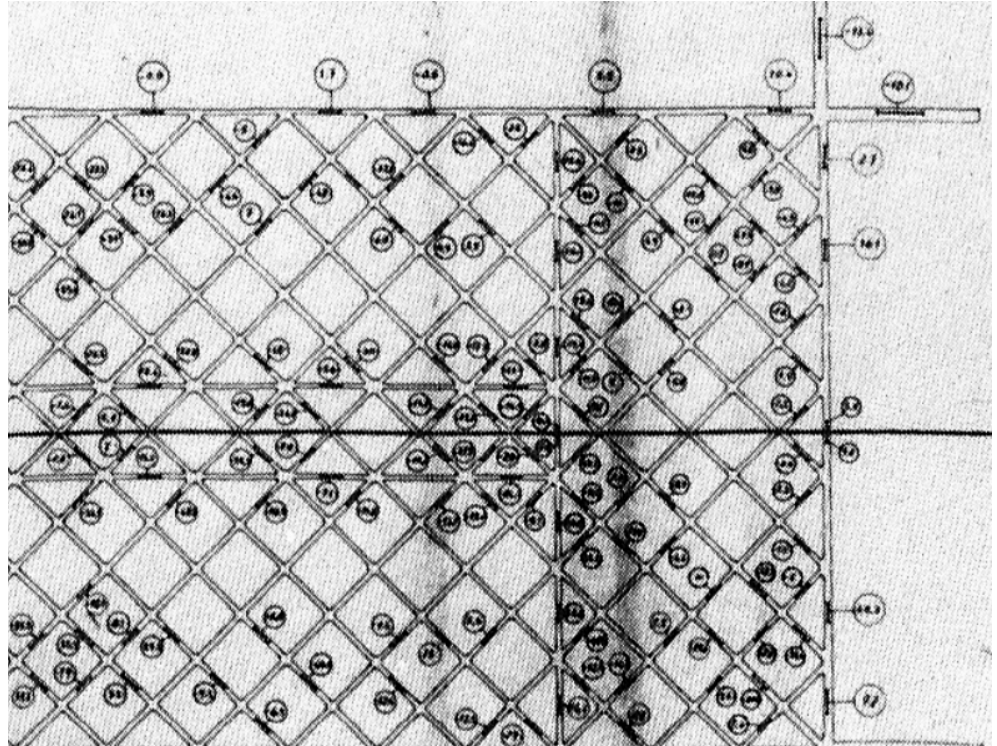
Estos métodos fueron aplicados por primera vez en 1935 en el Laboratorio de Pruebas y Modelos del Politécnico de Milán para el estudio de los hangares de estructura geodésica, estudio que repetiría en 1939 para la nueva versión del mismo hangar.

Las cargas aplicadas a los nodos del modelo, equivalentes en escala a los pesos propios y sobrecargas de la estructura original, estaban constituidas por pequeñas pesas. Mientras que, las galgas extensiométricas, claramente visibles, se aplicaron en la parte superior e inferior de las varillas en las que se quería determinar la componente normal y el momento flector, realizando las pertinentes lecturas con la estructura descargada, con sobrecarga y, por control, después del momento de carga.

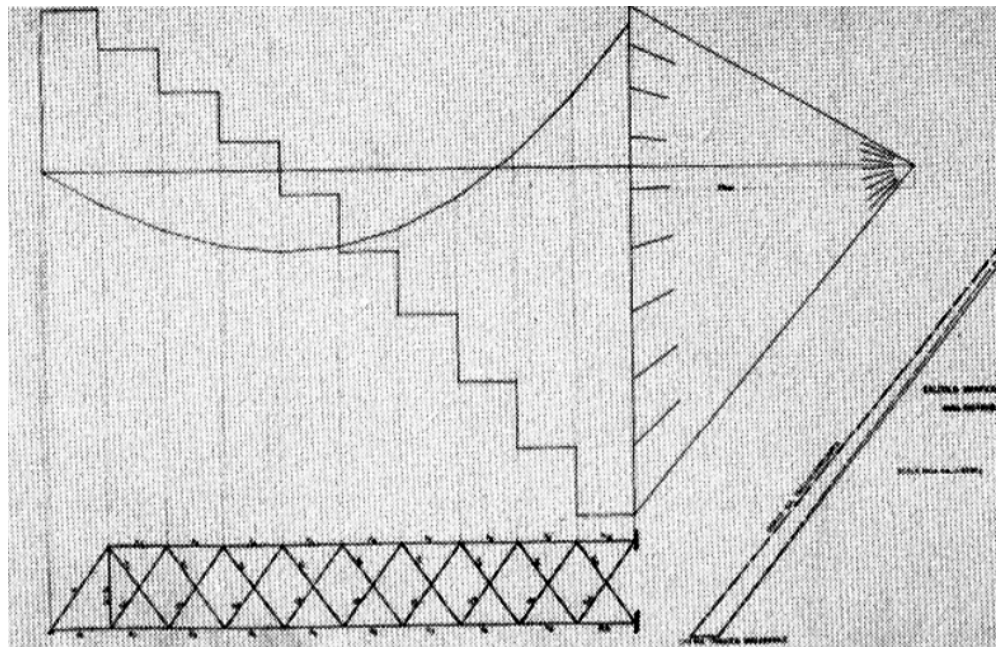
La investigación experimental es por tanto un método que ofrece la posibilidad de realizar controles de forma directa, además de evitar errores graves de cálculo ya que un modelo permite repetir la determinación de las tensiones que pueden parecer dudosas cuántas veces se desee.

Todo ello es lo que le sirve a Nervi como justificación a la hora de elegir y dar importancia al método experimental con respecto a cualquier procedimiento teórico concebible.

*"[...] Los resultados de las pruebas en modelos me permitieron profundizar en el comportamiento estático de la estructura y evaluar los esfuerzos ejercidos sobre ella, y se encontró que la evaluación general proporcionada por los cálculos preliminares empleados en la construcción del modelo fue tal que no se requirió casi ninguna modificación."*

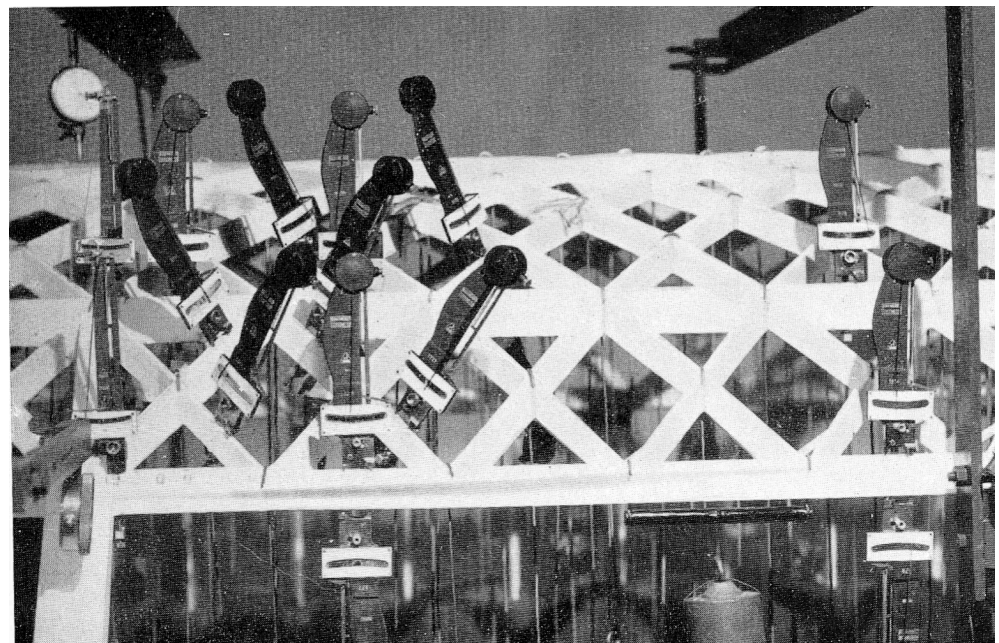
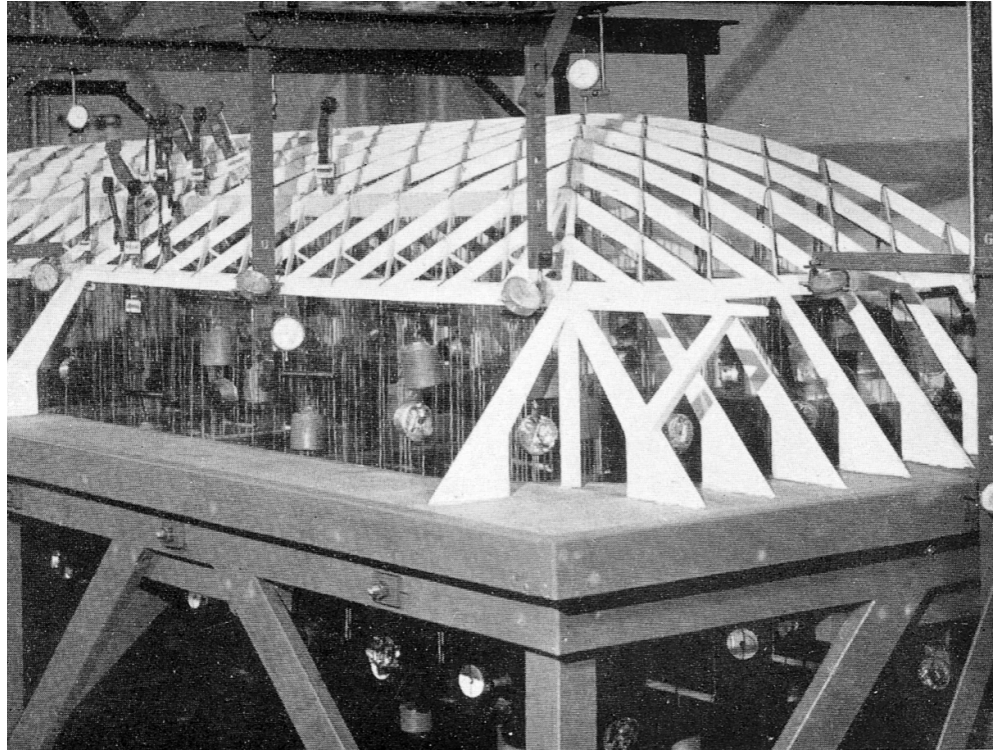


[FIGURA 11] Cálculo de las deformaciones unitarias y de los esfuerzos en toneladas del hangar de Orvieto, laboratorio del Politecnico de Milan, 1935. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 12] Cálculo gráfico de la distribución de acciones en una sección de la estructura del hangar de Orvieto, laboratorio del Politecnico de Milan, 1935. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



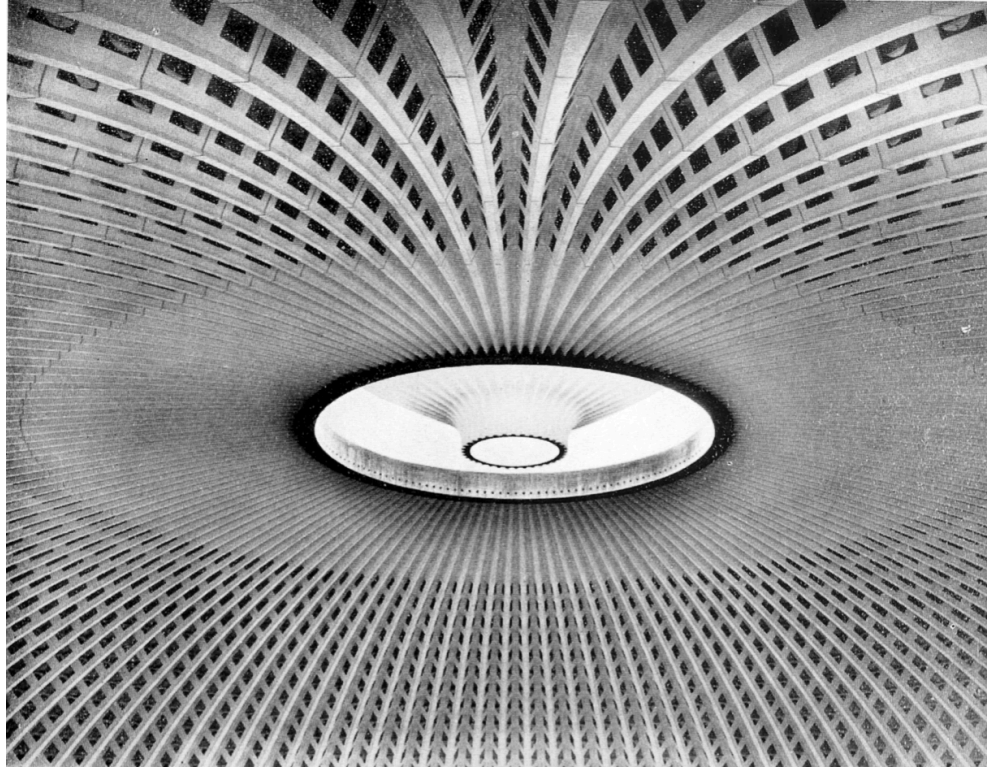


[FIGURA 13-14] Modelo en plástico del hangar de Orvieto, realizado para la determinación de los efectos del peso, laboratorio del Politécnico de Milan, 1935. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



## IV.Estrategias proyectuales

### LA SINCERIDAD CONSTRUCTIVA Y LA BELLEZA



[FIGURA 15] Vista interior de los elementos nervados que conforman la cúpula del Palacio de los Deportes, 1960, Roma. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

*"Como siempre en mi carrera como proyectista, he constatado que los problemas estáticos, interpretados y llevados a cabo a través de lentos periodos de búsqueda y de proporcionamiento, son las fuentes de inspiración arquitectónica mas eficaces. Para mí esta regla es absoluta y sin excepciones".*

Así es como describe Pier Luigi Nervi (1891-1979) en la segunda edición de su monografía titulada "Costruire correttamente", como ha sido capaz de llegar a la solución que proyecta para la cobertura del Palacio de los Deportes situado en el barrio EUR de Roma(1956-60, en la cual dice que "la estructura está determinada por exigencias tanto estáticas como funcionales."<sup>16</sup>

A través de estas palabras, dedicadas a uno de sus pabellones deportivos más célebres ,emerge claramente un punto clave que Nervi aplicará a lo largo de su carrera como arquitecto: la estrecha relación entre Técnica y Estética, o más bien entre sinceridad constructiva y belleza.<sup>17</sup>

Este axioma, que sirve de base en su poesía y práctica constructiva, viene transformado en su manera de tratar la forma arquitectónica y el cemento armado, en cuyo uso Nervi es una de las personalidades más célebres y admiradas del mundo.

### LA FUNCIÓN

Aparte de la sinceridad constructiva y belleza, otro punto clave en la obra de Nervi es el fuerte carácter funcional. Nervi insiste siempre en sus escritos sobre la necesidad de que una buena arquitectura tiene que basarse en la "perfecta funcionalidad de la construcción", más aun en aquellos netamente funcionales en los cuales hay una total identidad entre función y estructura.<sup>18</sup>

Dentro de esta tipología estarían todos los edificios deportivos a los cuales se lega la importancia del trabajo del ingeniero.

<sup>16</sup>.P.L.Nervi, "Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate", Hoepli, Milan, 1955.

<sup>17</sup>.Sobre esta cuestión leer "Pier Luigi Nervi studente e docente: la formazione dell'ingegnere-architetto" en "La lezione di Pier Luigi Nervi", Mondadori, Milano, 2010.

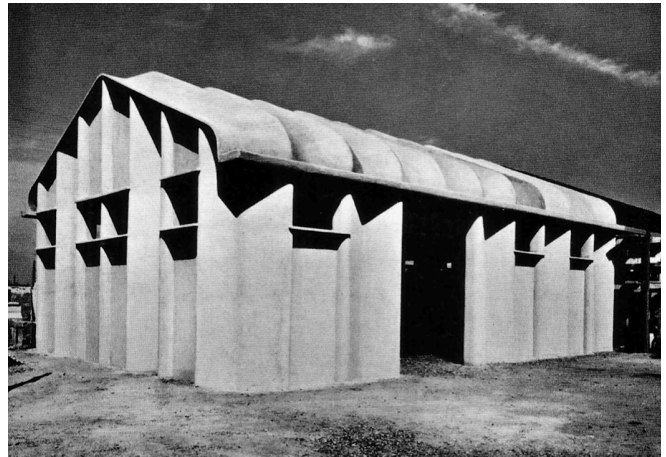
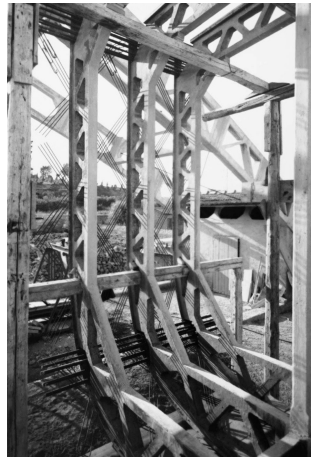
<sup>18</sup>.G.Perugini, Pier Luigi Nervi, en "Rassegna critica di architettura", n.30, 1954, p.2.



## V.La innovación constructiva en Pier Luigi Nervi

*Desde el principio de su carrera como ingeniero P.L.Nervi no para de experimentar con el hormigón para lograr un único objetivo: obtener un sistema de construcción ligero pero que al mismo tiempo ofrezca las mas altas capacidades estructurales sin perder el sentido de la estética. Sistema al que llegaría posteriormente haciendo un uso propio del hormigón armado, así como de los sistemas prefabricados.*

### EL USO COMBINADO DE HIERRO Y HORMIGÓN, EL "FERROCEMENTO"



[FIGURA 16] Construcción de uno de los veleros mediante la técnica basada en el ferrocemento, 1942-1943. Archivo Vasari.

[FIGURA 17] Almacén experimental realizado con placas de cemento armado, Magliana, 1945. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

El "ferrocemento" es el resultado de una reformulación que hace Nervi del compuesto del hormigón armado desarrollado durante los años de guerra a través de la experimentación y construcción de barcos. Ésta reformulación se distinguirá del comúnmente llamado hormigón armado por la adición de una serie de finas mallas metálicas en el interior de la mezcla realizada a base de cemento y arena permitiendo así la realización de losas de espesor muy reducido al mismo tiempo de tener la capacidad de adaptarse a cualquier forma sin perder por ello resistencia.

Se trata por tanto de un nuevo material con dos características principales:

Desde el punto de vista estructural, se comporta como un material homogéneo facilitando la solución del problema de la diferente resistencia a tracción con la que trabajan tanto el hormigón como el acero; mientras que desde el punto de vista constructivo, permite fabricar losas delgadas sin el uso de encofrados, ya que las mallas metálicas pueden funcionar como encofrados desechables. La importancia de estas características se confirma en su libro *Ciencia o el arte de construir? Características y posibilidades del cemento armado* de 1945 donde dice:

*"La consecuencia, desde mi punto de vista, más importante [...] se debe al hecho de que la malla metálica, así preparada, es capaz de recibir y retener el mortero de cemento, hasta obtener el grado deseado de plasticidad y consistencia".*

Estas dos características las pudo poner en práctica en el diseño estructural, no solo del campo de la construcción sino también del naval. Para éste último llegó a diseñar elementos de gran capacidad resistente a pesar de tener tan solo 3cm de grosor, de manera que, en el momento de sollicitación máxima de la pieza, ésta no llegase a romperse, sino que únicamente sufriese una cierta variación interna de sus componentes y asegurase una mínima consistencia para evitar el paso del agua.

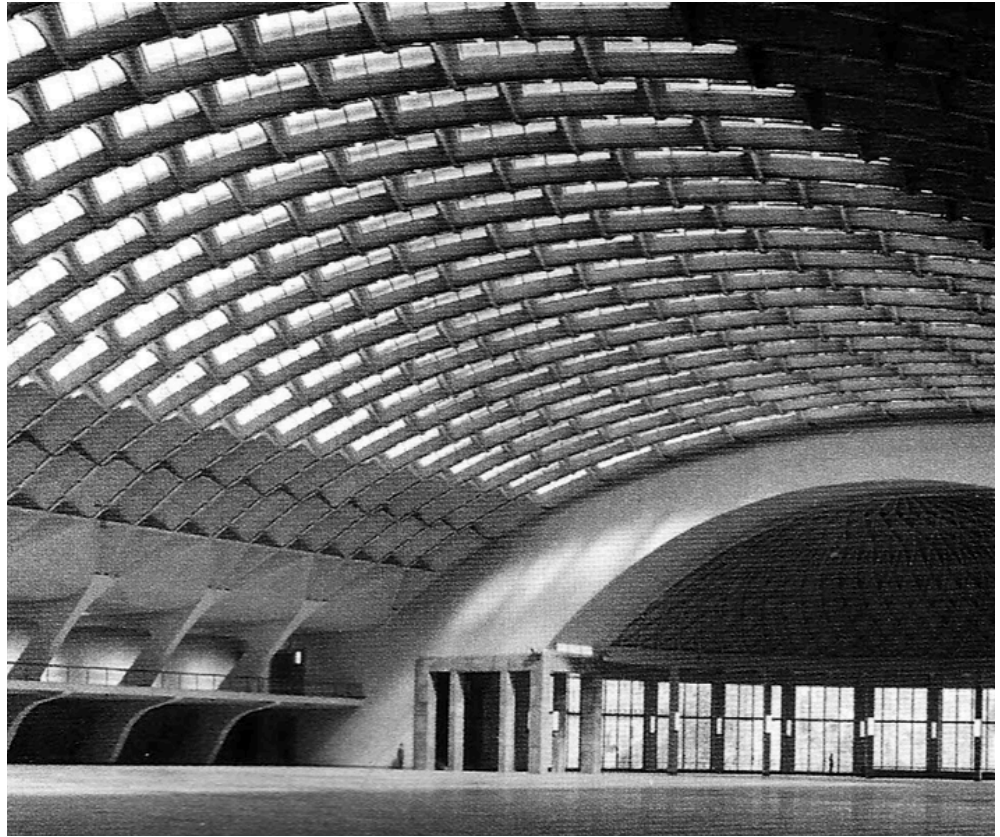
Ejemplo de ello fue el velero que él mismo apodó como "Irene" una vez acabada la guerra en 1945.

Dicho barco lo realizó gracias a dicho sistema constructivo sin hacer uso en ningún momento de un solo encofrado y una vez acabado y colocado en el agua resultó ser además perfectamente impermeable, lo cual demuestra ser una prueba más de la eficacia del sistema constructivo implementado por P.L.Nervi en los años cuarenta.

P.L.Nervi, "Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate", Hoepli, Milan, 1955. Capítulo quinto, p. 29-31

Pier Luigi Nervi, *Architetture voltate: verso nuove strutture*, p. 50-54.





[FIGURA 18] Resultado final cubierta del Pabellón central de Exposiciones de Turín. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

Paralelamente a estas aplicaciones en el campo naval siguió realizando pruebas más precisas en el Laboratorio del Politécnico de Milán, con el objetivo de proporcionar elementos numéricos acerca de la extensibilidad de dichas muestras de hierro y cemento.

Continuando con el campo de la construcción, se realizó por primera vez en 1946 con fines experimentales, y por parte de la sociedad de Ingenieros Nervi & Bartoli, un almacén en Roma.

En él paredes y techos tienen también tan solo un grosor de 3 cm pero va un paso más allá usando un acabado corrugado en todas las piezas metálicas situadas en su interior.

Todo esto le servirá de base hasta el final de su carrera en el diseño de cada una de sus obras en las cuales con el paso del tiempo irá incluyendo pequeñas innovaciones.

En el caso de la Fiera di Milano en 1947, decide cubrir la cubierta de la galería central de 16 m de ancho, mediante el uso de una estructura ondulada realizada con este mismo sistema que utiliza de base el acero y el hormigón. También lo aplica en la realización de grandes bóvedas como la de 90 m de luz que realiza para el pabellón central de Exposiciones de Turín, la cual está construida mediante la soldadura de pequeños segmentos de onda de "ferrocemento" prefabricado a pie de obra dando lugar al diseño de vigas onduladas que realiza también gracias a dicho sistema.

Todo ello ejemplifica una vez más su gran talento por lograr pasar del diseño de elementos ondulados rectilíneos a aquellos curvos, y por tanto de la cubierta plana a la bóveda.

Llegado a este punto él mismo tiene la esperanza de que con el tiempo este nuevo uso se vaya extendiendo y su puesta en obra permita dotar a todo edificio de un carácter más arquitectónico y estético, no solo por su independencia del encofrado sino por la gran variedad de formas que es capaz de adoptar.

## LA PREFABRICACIÓN ESTRUCTURAL



[FIGURA 19] Hangar realizado a base de elementos prefabricados, segunda serie, Orvieto, Torre del Lago, 1939-1942. Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi



[FIGURA 20] Puesta en obra de los elementos prefabricados de hormigón armado en el Palazzetto de Deportes de Roma, 1956-1957. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

Este segundo sistema desarrollado por Nervi se basa en el diseño y construcción previo de piezas de "ferrocemento" para una vez en obra tan solo tener que unir las y obtener la estructura deseada. Esto le permitió no solamente avanzar los tiempos de construcción y lograr una mayor ligereza, sino también obtener características estéticas como los ritmos producidos por el flaqueo de elementos iguales entre sí. Cualidad que el sistema anterior mencionado no era capaz de conseguir.

Sin embargo, no todo son aspectos positivos, ya que desde el primer momento se le plantean dificultades como:

El hecho de ser un sistema prácticamente nuevo no le permite basarse en ningún estudio anterior, únicamente en su propia experiencia y trabajos análogos, además de tener que adquirir un conocimiento suficientemente profundo y preciso para establecer las distintas etapas de diseño, transporte y montaje.

Otra dificultad viene dada por la inexperiencia de los trabajadores, supervisores y ayudantes, quienes están acostumbrados únicamente a los sistemas y métodos tradicionales, y por tanto, es difícil acostumbrarlos a la precisión absoluta de la prefabricación.

El primer campo donde tendría la oportunidad de aplicar dicho sistema estructural sería en el diseño de hangares geodésicos, construidos en los años treinta. Es el momento histórico en el que se encuentra lo que le lleva al uso de dicho sistema, ya sea por razones económicas como por uso reducido de materiales y velocidad de ejecución.

Aquí los elementos prefabricados formaban una estructura reticular de rombos de manera que cada nodo estaba soldado para poder transmitir correctamente todas las sollicitaciones de tracción y compresión. Su efectividad se verificó antes del inicio de la construcción mediante numerosas pruebas de laboratorio.

Otro caso fue el diseño de la media cúpula cubierta de la parte posterior del Pabellón central de Exposiciones de Turín, donde para poder enfrentarse al problema de cubrir la luz de la cúpula, tuvo que idear un tipo diferente de prefabricación estructural.

Para solucionarlo decide dividir la superficie a construir en pequeñas porciones de 2 a 4 m<sup>2</sup> y reproducir cada uno de estos elementos en una maqueta de gran tamaño, de modo que, colocados uno al lado del otro, pudiera estudiar su comportamiento y funcionamiento como un todo.

Dichos elementos estaban diseñados de tal forma que al colocarse uno al lado del otro, se dejaban pequeñas juntas de aproximadamente 10 a 15 cm de ancho sobre las cuales, previa colocación de armaduras, se llevarían a cabo los famosos nervios que permanecen a la vista y que tanto caracteriza la expresividad con la que trabaja el autor durante toda su obra. Dichos nervios no solo funcionan desde el punto de vista estético y visual sino que además sirven de refuerzo a todo este sistema estructural prefabricado.

En definitiva, ambos sistemas son dos grandes innovaciones que, combinadas con su ímpetu de hacer visible la propia estructura portante, otorgan a Nervi la posibilidad de crear su propio lenguaje formal, y tipológico, reconocible hoy en día en todo el mundo.

P.L.Nervi, "Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate", Hoepli, Milan, 1955. Capítulo sexto, p.33-36

Pier Luigi Nervi. Architetture voltate: verso nuove strutture, p.55-58.



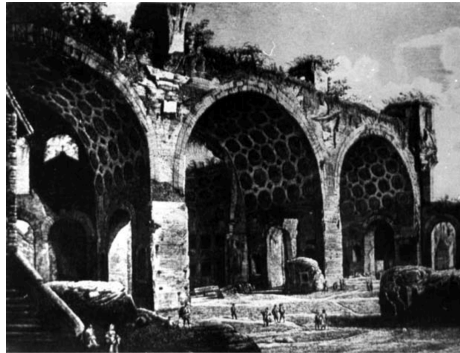
**BLOQUE II:** CASO DE ESTUDIO  
EL PALAZZETTO DE LOS DEPORTES  
EN ROMA (1956-57) .



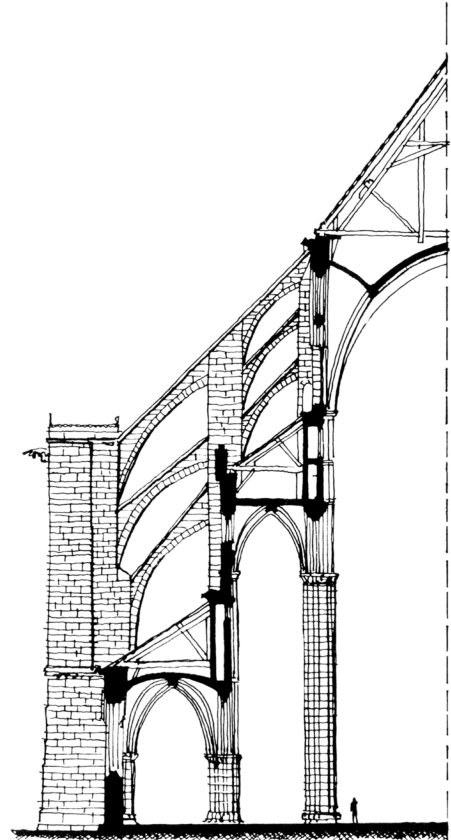




## TRADICIÓN Y FORMA



[FIGURA 21] Basilica de Massenzio, Roma, III secolo d.C



[FIGURA 22] Esquema de catedral gótica

"La forma se obtiene a partir de los elementos estructurales que le pertenecen. No se concibe una cúpula cuando uno aún se pregunta cómo construirla".<sup>19</sup>

Así es, como en 1955, Louis I. Kahn describió el trabajo de Pier Luigi Nervi, el cual se centró en investigar y resolver a lo largo de toda su carrera el problema de la cobertura de grandes luces y los límites físicos en la arquitectura.

Este problema lo acaba resolviendo mediante el sistema del arco, base sobre la cual realizará cada uno de sus diseños posteriores de cúpulas, bóvedas parabólicas y techos geodésicos.

El haber llegado a dicho sistema, en gran parte es gracias a su interés por la historia del pasado, el cual se refleja en la reelaboración de las formas arquetípicas del foro romano, de la basílica y del templo circular, así como de los sistemas utilizados en las catedrales góticas.

Giulio Carlo Argan escribe al respecto:

"Es muy significativo que los principios básicos de la arquitectura de Nervi sean, casi siempre, el cobertizo y la cúpula, es decir, un esquema longitudinal y un esquema central; incluso si, casi como si buscara una posibilidad de síntesis o al menos equivalencia entre los dos esquemas, los cobertizos están cubiertos en su mayoría con bóvedas y las cúpulas tienden a aplanarse y adelgazarse incluso llegando a invertir su curvatura".<sup>20</sup>

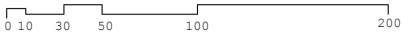
Por lo tanto, Nervi no inventa formas nuevas ni elabora edificios complejos, se limita simplemente a la aplicación de soluciones estructurales y formales derivadas directamente de la asimilación de los arquetipos constructivos de épocas anteriores, desde la romana a la gótica, entre ellas la cúpula.

## EL ARCO COMO ELEMENTO GENERADOR DE LA CÚPULA

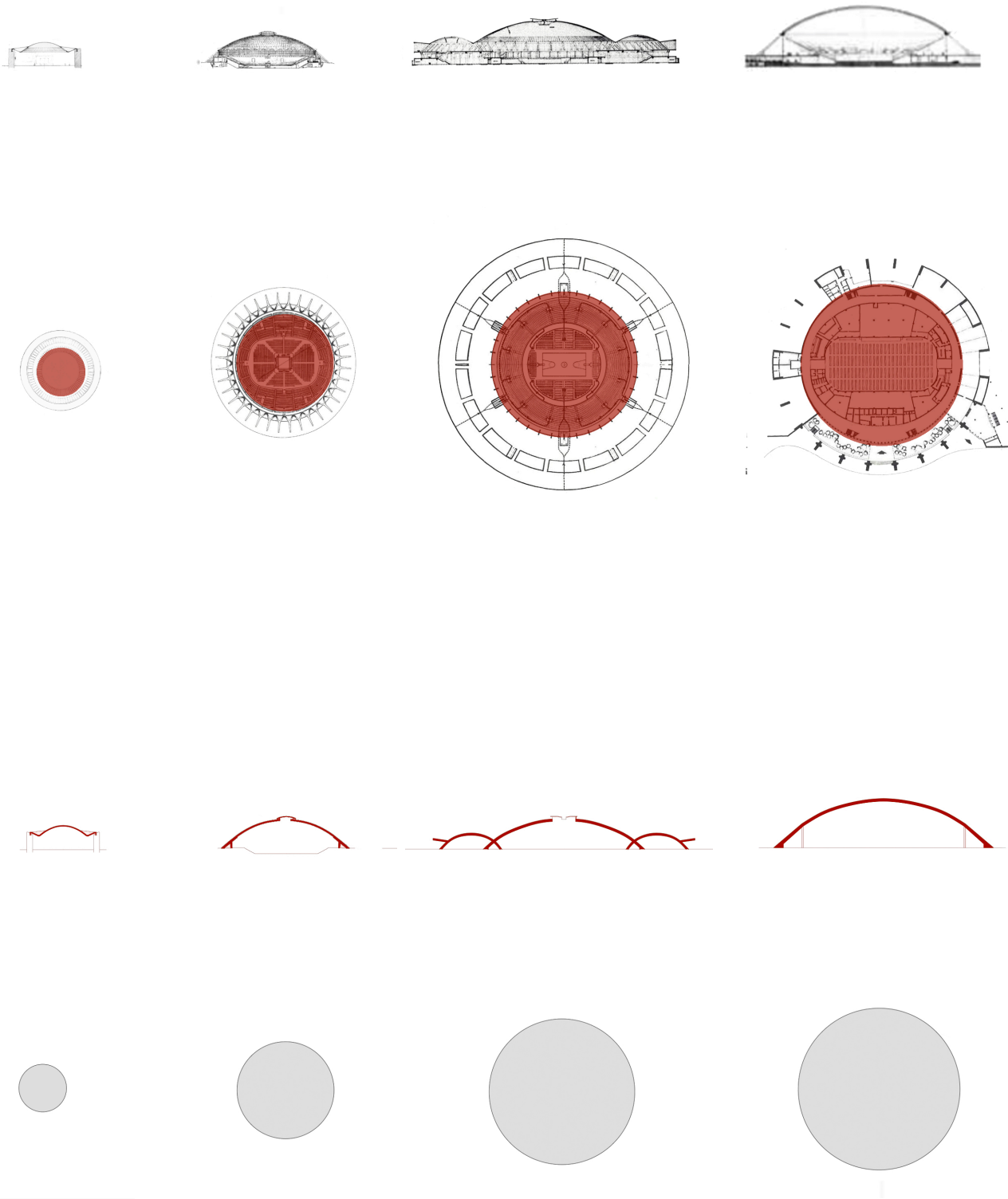
A continuación se puede observar como Nervi partiendo de una sección tan simple como es el arco parabólico, éste es capaz de adaptarlo a sus diferentes obras teniendo en cuenta la función y la luz a cubrir, obteniendo así resultados que aunque a simple vista parecen muy similares no utiliza una solución estructural igual en ninguno de ellos.

<sup>19</sup>L.I. Kahn, *Ordine è*, in M. Bonaiti (a c. di), *Architettura è*. Louis I. Kahn, *gli scritti*, Electa, Milano 2002, p. 65.

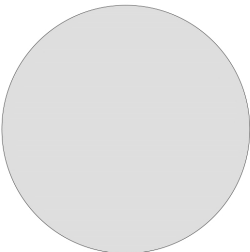
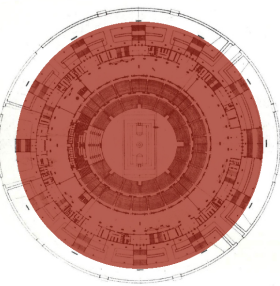
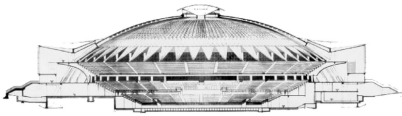
<sup>20</sup>G.C. Argan, *Pier Luigi Nervi*, Il Balcone, Milano 1955, p. 22.



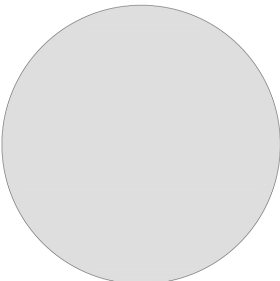
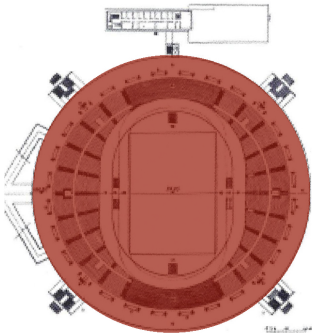
Cubierta Mausoleo de Augusto 1951    Palazzetto de Deportes Roma 1956    Feria del Mar Génova 1961    Palacio de Deporte Norfolk 1966  
Diámetro 30m                      Diámetro 60m                      Diámetro 90m                      Diámetro 100m



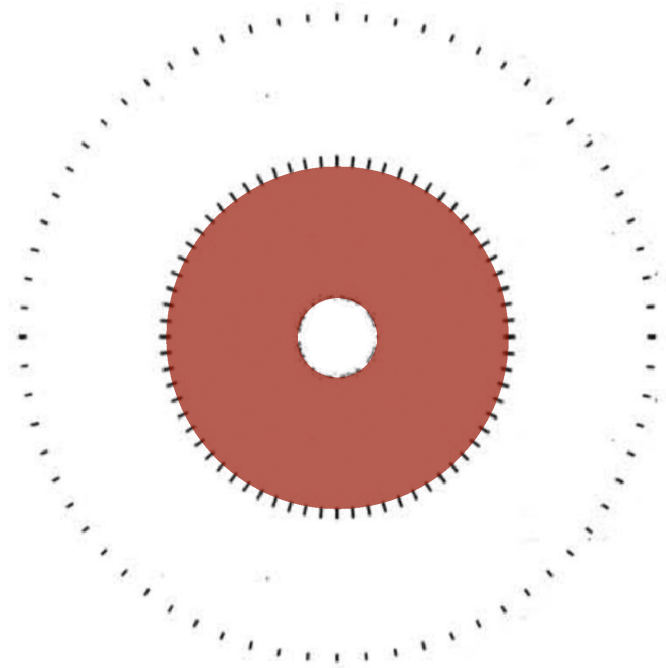
Palacio de Deportes Roma 1956  
Diámetro 130m



Palacio de Deportes Viena 1953  
Diámetro 146m



Centro deportivo Caracas 1956  
Diámetro 180m



## DESCRIPCIÓN Y EMPLAZAMIENTO





[FIGURA 23] Entorno del Palazzetto de los Deportes en el momento de su construcción. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

El "Palazzetto", como comúnmente denomina Nervi a dicha obra, es un pabellón multifuncional situado en la ciudad de Roma utilizado principalmente para la práctica de distintos deportes y cuya construcción se remonta a cuando Roma es elegida candidata para albergar los Juegos Olímpicos de 1960.<sup>21</sup>

En el momento que se elige candidata a la ciudad de Roma, ésta tan solo dispone de dos estadios y ambos son insuficientes para poder hacer frente a un acontecimiento de tal envergadura. Como solución se plantea llevar a cabo una gran obra de urbanización de toda la zona circundante a Vía Flaminia, situada al norte de dicha ciudad, aprovechando la pésima situación en la que ésta se encontraba tanto de degrado como de abandono. Esta obra de urbanización permitiría dotar a la ciudad de Roma de todas las infraestructuras necesarias para la realización de dichos Juegos Olímpicos al mismo tiempo que transformaría este lugar en un espacio totalmente nuevo y renovado, haciendo de él un punto de referencia dentro de la ciudad.

Entre las infraestructuras a realizar dentro del plan urbanístico entraría nuestro caso de estudio, el "Palazzetto de Deportes", construcción que se encarga al mismísimo Pier Luigi Nervi en colaboración con el arquitecto Annibale Vitellozzi y al cual se le atribuiría la autoría de muchas otras obras del mismo plan como son el estadio Flaminio y el viaducto de la avenida de Francia.

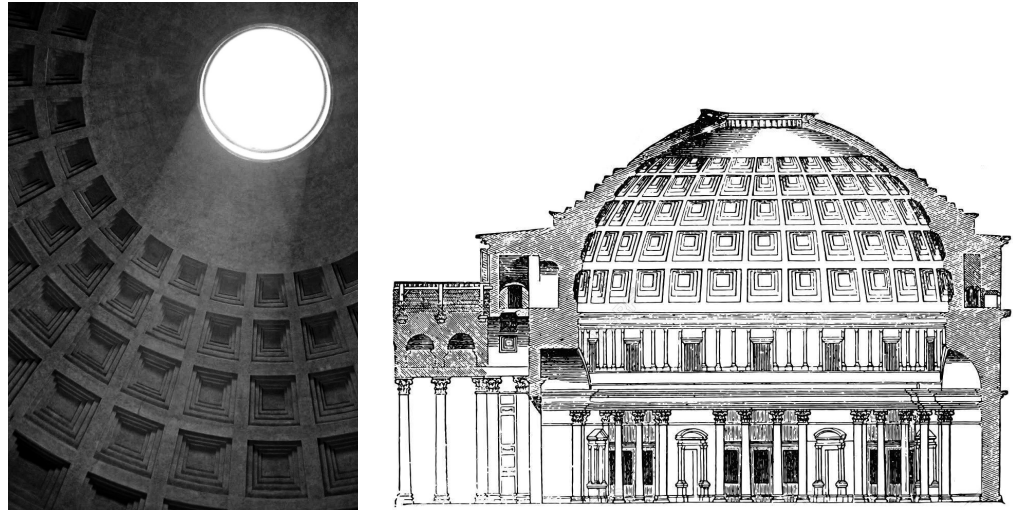
En la construcción del Palazzetto se plantean dos retos a superar: un presupuesto y un margen de tiempo mínimos. Dos aspectos clave que obligarán a P.L.Nervi a tener que poner en práctica y depurar al máximo todos los sistemas sobre los que ha ido investigando hasta el momento, tanto estructurales como constructivos, a través de los cuales será capaz de aunar economía y velocidad de ejecución con los principios arquitectónicos de belleza y función.

Finalmente el resultado es un edificio de planta circular de 60m de diámetro cubierto por una cúpula laminar de espesor mínimo realizada mediante elementos prefabricados de hormigón armado y sustentada por un sistema de 36 pilares con forma de Y, dispuestos alrededor del perímetro de la planta e inclinados para dar continuidad a la pendiente de la cúpula.<sup>22</sup> Toda esta disposición estructural permite obtener un espacio diáfano interior en el que poder situar el campo de juego y un graderío modulable con capacidad para acomodar entre 4000 y 5000 espectadores.

<sup>21</sup>. 1960 Olympics, vol. I, pág. 626. Perugini, Pier Luigi Nervi, en "Rassegna critica di architettura", n.30, 1954, p.2.  
<sup>22</sup>. Arketipo Magazine, ed. «Palazzetto dello Sport a Roma».

## ESPACIO Y SUPERFICIE

## ORIGEN PROYECTUAL



[FIGURA 24-25] Vista interior y sección del Panteón de Agripa en Roma.

El uso de la cúpula en dicho proyecto resulta de la reflexión que realiza P.L.Nervi a lo largo de su carrera a la hora de buscar una manera de construir grandes espacios cubiertos con el menor uso de material. Todo ello unido a la depuración máxima que hace de los sistemas de prefabricación para aplicarlos en la realización de dicha cobertura le permitirá no solo responder a muchas de las preguntas que se hicieron arquitectos como Sigfried Giedion entre 1941 y 1954 acerca de cómo sería la cobertura en nuestro tiempo, sino que logrará demostrar además cómo a partir de la repetición en serie de dichos elementos es posible otorgar una estética y belleza única a un espacio de tal envergadura.

Esta manera que tiene Nervi de concebir la cúpula como elemento principal del proyecto hará que el arquitecto Bruno Zevi compare el Palazzetto con el Panteón de Roma, sugiriendo similitudes y paralelismos con el edificio del emperador Adriano: a partir de la misma base de partida (una estancia cilíndrica cubierta por una cúpula), Bruno Zevi señaló que mientras que el Panteón contiene y es la base de una forma esférica, la estructura de Nervi y Vitellozzi es un hemisferio que abraza un cilindro, en el que la luz entra por los lados (no verticalmente como en el Panteón) e idealmente agranda el espacio, mitigando su efecto monumental.<sup>23</sup>

Bruno Zevi también se atreve a utilizar imágenes para describir la fuerza figurativa, plástica y dinámica que transmite el Palazzetto, y que gracias a las innovaciones que introduce dicha obra, le sirve a Nervi para dar un gran salto en la reinterpretación formal del tradicional Panteón. Utiliza expresiones como "*Una medusa enorme*", debido a la terminación ondulada de la cúpula y los caballetes en forma de Y y un "*panteón aplastado*" por la cúpula que tiende a aplanarse.

Continuando con la referencia a esta obra clásica, Nervi, de la mano de Vitellozzi, con dichas innovaciones también logra, por un lado, reemplazar el "grosor" tan característico del Panteón por una ligera cúpula en forma de cáscara, y por otro, conseguir transmitir un espacio interior mucho más amplio del que realmente es desde visto desde el espacio exterior.

Esto último lo conseguirá gracias a la disposición que hace de un sistema de ventanas a lo largo de su perímetro. Cerramiento que permite una entrada lateral de luz y, que a su vez, se ve multiplicada gracias a la formalización nervada que adquieren las piezas prefabricadas vistas desde interior de la cúpula y por el hundimiento del campo de juego.

En definitiva, un sinfín de sugerentes efectos ópticos pensados para evitar los violentos claroscuros que caracterizan al mismísimo Panteón y que demuestran no solo la virtud del autor en el dominio de la técnica constructiva sino también en aspectos tan importantes como son la luz y el espacio en la arquitectura.

23. Zevi, «Un Pantheon schiacciato di cemento armato», pagg. 73-190

## FUNCIONAMIENTO Y PLANIMETRÍA

*Una vez explicados todos los recursos que utiliza P.L.Nervi para dotar al Palazzetto de una fuerza figurativa, plástica y dinámica inigualable proveniente únicamente de la propia materialización y formalización que otorga a la estructura, se continua con el estudio del funcionamiento y planteamiento espacial de dicha obra.*

Nervi llega a esta configuración en planta no solo por cuestiones de estructura sino también por cuestiones funcionales, las cuales se encuentran constantemente relacionadas.

El hecho de proyectar dicha obra con una planta central, y una cobertura a modo de cúpula, le permite trasladar la estructura portante de todo el edificio al exterior y obtener por tanto un espacio interior totalmente diáfano en el que poder diseñar una distribución sin impedimento alguno.

Al mismo tiempo, el hecho de que esta estructura portante esté inclinada continuando la geometría de la cúpula, le permite utilizarla de corredor exterior donde situar los accesos y sacar mayor partido al interior. Espacio que destina únicamente a la implantación del campo de juego y al graderío de su alrededor.

En lo que respecta al espacio interior, éste lo subdivide en tres niveles para ganar más espacio y consecuentemente poder colocar el numero de gradas necesarias para cumplir con el aforo de los 5000 espectadores previstos.

De los tres niveles, el correspondiente a la planta calle sería el principal ya que es en éste donde situaría todo el sistema de accesos así como los correspondientes servicios propios de un polideportivo como vestuarios, cafetería, baños etc. Además en esta planta también posicionaría las escaleras que conducen a la planta superior donde se encuentra parte del graderío apoyado sobre ésta o a la planta inferior donde se sitúa el campo de juego a una cota de -3m.

El estudio de los cerramientos e iluminación como se ha mencionado anteriormente también será clave en esta obra ya que a través de su materialización permitirá o no la entrada de luz en su interior.

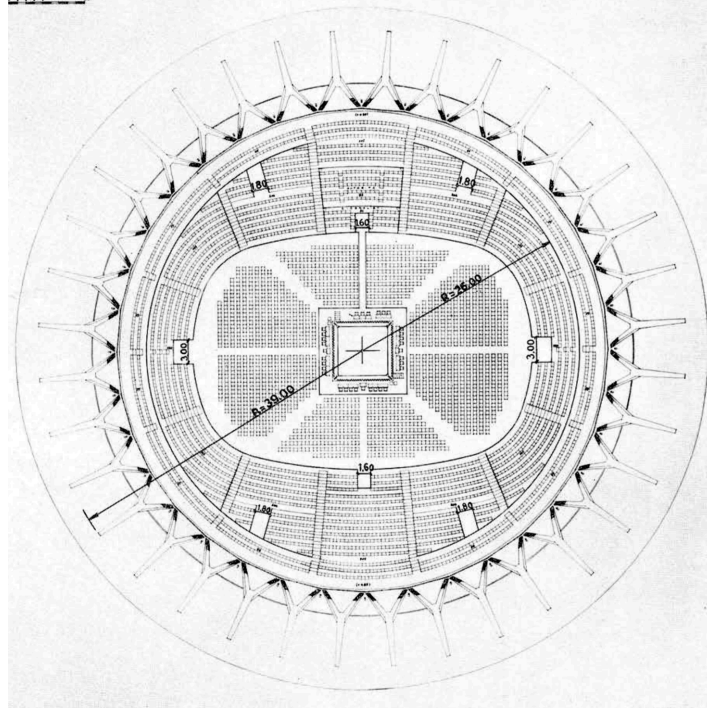
En la zona de accesos, dado que en su interior se encuentran estancias que requieren de cierta privacidad, se utiliza un cerramiento masivo y opaco a base de fábrica de ladrillo a diferencia de la parte superior correspondiente a la terminación del graderío, que con el fin de ventilar, iluminar y agrandar visualmente el espacio de juego, se utiliza un sistema vítreo continuo.

Este sistema de acristalamiento se compone de cuatro hileras de ventanas posicionadas a lo largo de todo el perímetro del edificio y de las cuales las tres inferiores son fijas y las superiores se abaten utilizando un sistema mecanizado permitiendo la ventilación interior.

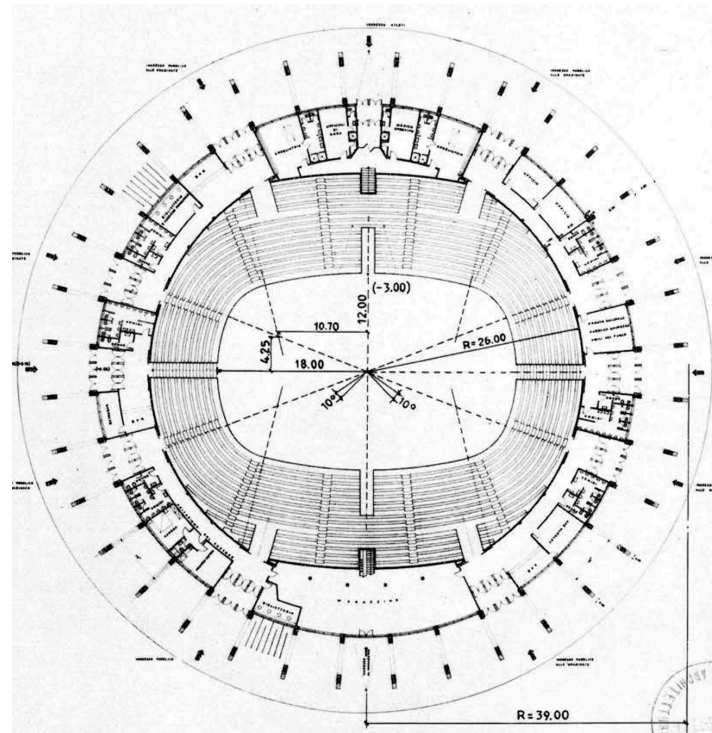
La elección de este segundo cerramiento, por un lado, terminará de ayudar a iluminar de manera natural el Palazzetto junto al óculo central de la cúpula y, por otro, facilitará una visión más nítida de la continuación estructural que se produce entre cubierta y pilares.



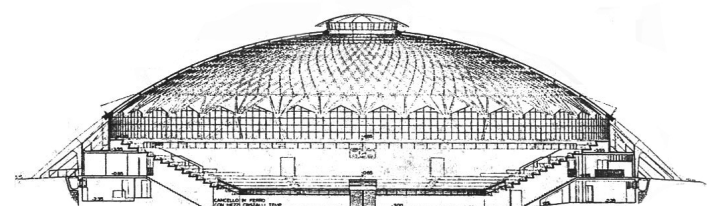
[FIGURA 26] Distribución interior del Palazzetto con el sistema de ventanas perimetrales que permiten el acceso de luz natural al interior. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 27] Planta graderio Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



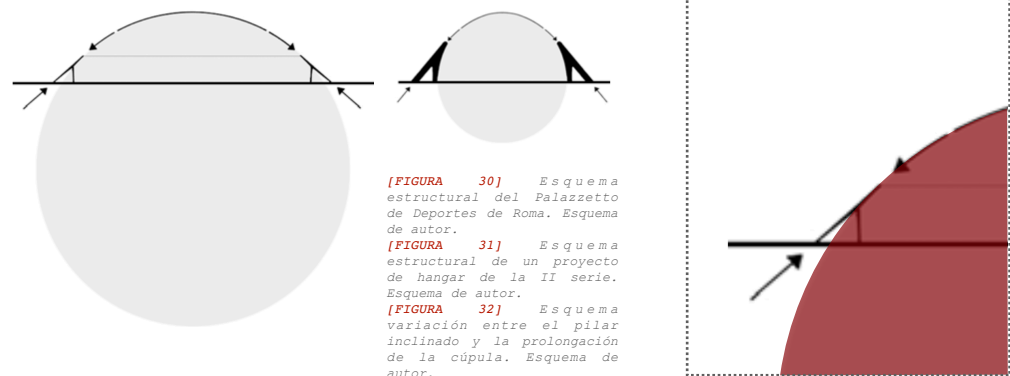
[FIGURA 28] Planta acceso y servicios Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 29] Sección Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



## ANÁLISIS DE LA FORMA



Como se ha explicado anteriormente Nervi soluciona la cobertura del Palazzetto de deportes mediante una gran cúpula. Sistema utilizado desde la época romana para cubrir las grandes luces de los espacios centrales y cuya configuración es el resultado de la revolución de un arco, en este caso parabólico antifunicular.<sup>24</sup>

Para el análisis de dicha geometría es fundamental el papel que tiene la sección, ya que a través de su lectura es posible comprender con más claridad no solo la idea del proyecto sino también el sistema de equilibrio de fuerzas que tienen lugar en dicha estructura.

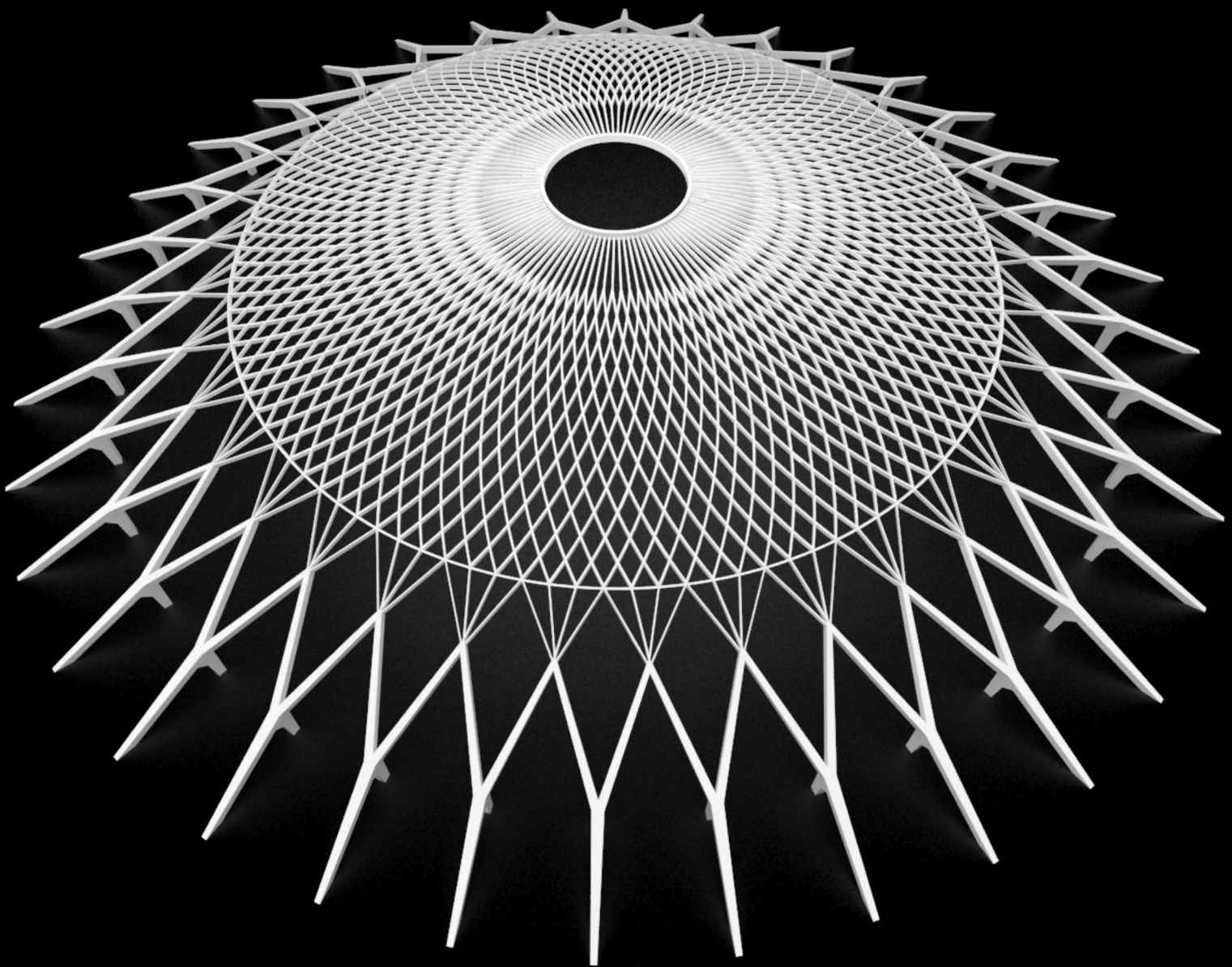
Tal y como se observa en el esquema superior, Nervi recurriría a dicha forma como resultado de la depuración de las cúpulas y bóvedas que venía haciendo años anteriores. Estructuras como las bóvedas utilizadas para cubrir los hangares de los años 40 las cuales aún estaban pensadas con la geometría de semicírculo que utilizaban los romanos para sus construcciones. El problema de este tipo de geometría era la gran flecha que adquiría la estructura y por tanto las tensiones de flexión que se podían llegar a producir en ella. Flexión que se tendría que acabar resolviendo mediante la construcción de un sistema de nervios en cubierta y pilares perimetrales de gran canto y dimensión (Fig.30).

Nervi, que siempre ha tratado de buscar la manera de construir más económica y con menor material posible en sus obras, sabía que este planteamiento no podía ser el óptimo para obtener ambos principios y sería lo que le impulsaría a seguir investigando años posteriores hasta llegar a la forma de arco antifunicular. Forma que acabaría aplicando en la construcción del Palazzetto de los Deportes de Roma y que le permitiría obtener una estructura de una flecha mucho menor en la que apenas se produjesen tensiones de tracción ni de flexión y consecuentemente poder construir dicho proyecto con un sistema de nervios y pilares mucho más ligeros y de menor canto tal y como se observa en el estudio comparativo de la parte superior.

Una vez explicada la geometría utilizada en la cúpula del Palazzetto así como la evolución hasta llegar a ella, se pasa a analizar la estructura portante de dicha obra. Estructura que en este caso se caracteriza por no ser un muro de cerramiento continuo, como ocurre en muchos ejemplos de cúpulas, sino una estructura cuya formalización vendrá dada de la resultante de las fuerzas de la cubierta permitiendo el equilibrio total de la estructura (inclinada siguiendo la tangente del perfil parabólico de la cúpula).

Esta formalización inclinada que otorga al sistema portante la aprovecharía a su vez para poderlos situar de forma radial en la parte externa del edificio no sólo por cuestiones de equilibrio estructural sino también por cuestiones estéticas y funcionales, consiguiendo con ello también una mayor presencia de la obra en el lugar donde se construye y un espacio interior totalmente libre y diáfano.

<sup>24</sup>. Para más detalle ver D.L. Schodek, Structures, Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey 2001, trad. it., D. Coronelli, L. Martinelli (a c. di), Strutture, Pàtron Editore, Bologna 2004.





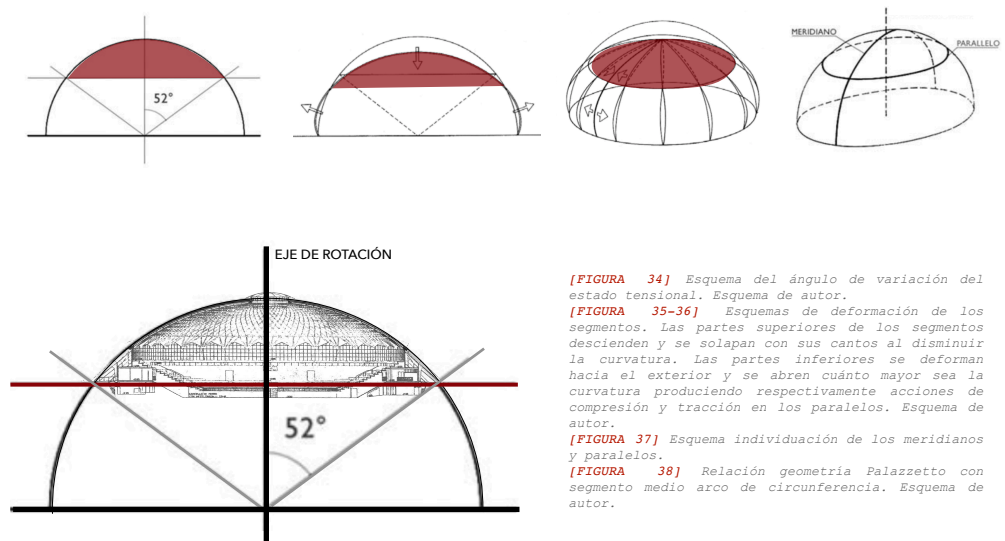
## SECCIÓN Y ESTRUCTURA

Una vez analizada la geometría general del Palazzetto de los deportes nos centramos ahora en esta parte del trabajo en la resolución tanto estructural como constructiva de dicha obra. Para un mayor entendimiento se cree conveniente dividir los sistemas que componen su estructura y estudiarlos por separado, partiendo de su funcionamiento hasta llegar a su resolución constructiva y puesta en obra. Se divide por tanto la estructura del Palazzetto en: Cúpula, pilares y cimentación.

## DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CÚPULA



[FIGURA 33] Geometría del Palazzetto una vez finalizada su construcción. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 34] Esquema del ángulo de variación del estado tensional. Esquema de autor.

[FIGURA 35-36] Esquemas de deformación de los segmentos. Las partes superiores de los segmentos descienden y se solapan con sus cantos al disminuir la curvatura. Las partes inferiores se deforman hacia el exterior y se abren cuánto mayor sea la curvatura produciendo respectivamente acciones de compresión y tracción en los paralelos. Esquema de autor.

[FIGURA 37] Esquema individuación de los meridianos y paralelos.

[FIGURA 38] Relación geometría Palazzetto con segmento medio arco de circunferencia. Esquema de autor.

El funcionamiento de la cúpula está muy vinculado al comportamiento estático de un arco. Sin embargo ésta por la formalización que tiene presenta un mayor nivel de complejidad estructural. Una de las principales diferencias que presenta respecto a una bóveda por ejemplo es la distribución de fuerzas que se produce a lo largo de los llamados "meridianos" y "paralelos" dado que en el primer caso no existen.

Funciona de tal manera que la fuerza ejercida por el peso propio y por las cargas distribuidas sobre ella deforman la configuración inicial de los meridianos, los cuales se corresponden con la sección vertical de la de la cúpula, achatando toda la estructura.

Para evitar este suceso es precisamente para lo que existen los paralelos. De todos ellos cabe destacar sobretodo el que está colocado a una inclinación de  $52^\circ$  con respecto al eje de rotación, ya que es en este punto dónde se produce el paso de compresión a tracción dentro de la cúpula y por tanto será dicho paralelo el único que no sufrirá un cambio de forma definiéndose como neutro. Respecto a dicha posición, los paralelos situados en la parte superior experimentarán una acción de compresión mientras que los inferiores experimentarán una acción de tracción.



Teniendo en cuenta dicho funcionamiento, Nervi diseña la cúpula del "Palazzetto" de tal manera que su geometría se corresponda únicamente con la porción superior resultante de la división generada por dicho ángulo de 52°. Porción en la que los meridianos se deforman hacia dentro, hacia el eje de la cúpula, y los paralelos transversales a los mismos se comprimen tratando de impedirlo.

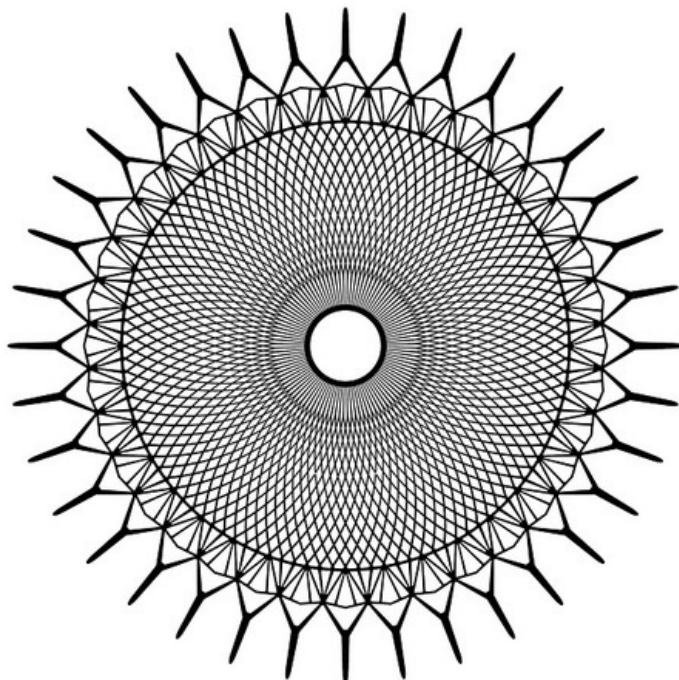
Este fenómeno permite que la cúpula funcione únicamente a compresión y por tanto poderla construir con una cantidad de hormigón armado mucho inferior de lo que hubiese ocurrido si ésta hubiese tenido que soportar además tracciones ya que en este supuesto tendría que haberse necesitado más cantidad de armadura para compensar dichas tracciones y por tanto aumentar el grosor de la cobertura.

Esta reducción de material que se consigue como consecuencia de plantear la estructura de tal manera es lo que permite a P.L.Nervi resolver la cúpula aplicando uno de los sistemas constructivos que desarrolla a lo largo de su carrera, la prefabricación estructural de mínimo espesor. Su uso le permitiría en dicha obra no solamente avanzar los tiempos de ejecución y lograr una mayor ligereza de la cúpula, sino también obtener características estéticas como los ritmos producidos por el flanqueo de elementos iguales entre sí vistos desde el espacio interior.

Para su realización tuvo que descomponer la superficie total de la cúpula de 60 m de diámetro en una matriz reticular formada por 1620 elementos de tan solo 2,5 cm de espesor. Estos eran el resultado de la repetición de 17 moldes distintos, los cuales estaban diseñados de tal manera que los de menor dimensión se colocaban en la parte cenital y a medida que se iban acercando al perímetro exterior de la cúpula éstos aumentaban de tamaño. Este reparto se pensó con el fin de aumentar progresivamente el refuerzo de nervios por unidad de superficie del exterior a la zona central de la cúpula ya que esta última era la más crítica de la estructura a pesar de aligerarse colocando un óculo.

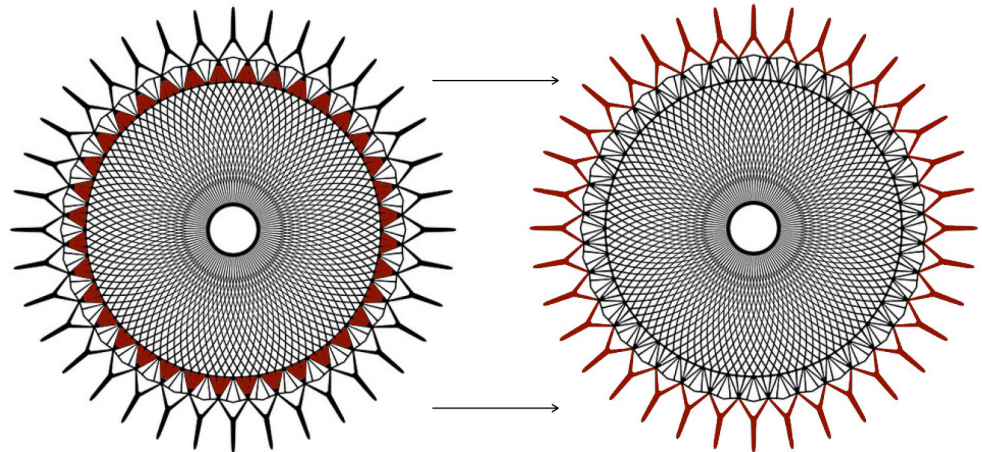
*Dicho de otra manera, su planteamiento y disposición responden una vez más a los principios de una arquitecta sincera y real que muestra a través de la propia estructura dónde se producen los mayores esfuerzos la obra.*

Su puesta en obra estaba pensada de tal forma que al colocarse una de estas piezas al lado de la otra, por su configuración formal, se obtenían pequeñas juntas de aproximadamente 12 cm de ancho. Juntas que tras la colocación de una serie de armaduras sobre ellas y un posterior hormigonado se materializarían en los famosos nervios que permanecen a la vista. Dichos nervios no sólo funcionan desde un punto de vista estético y visual sino que además, por la conformación geométrica que adquiere este tipo de estructura prefabricada, hacen que se pueda asociar su comportamiento al de una membrana. Estructura que se caracteriza por no producirse en ella tensiones de flexión.



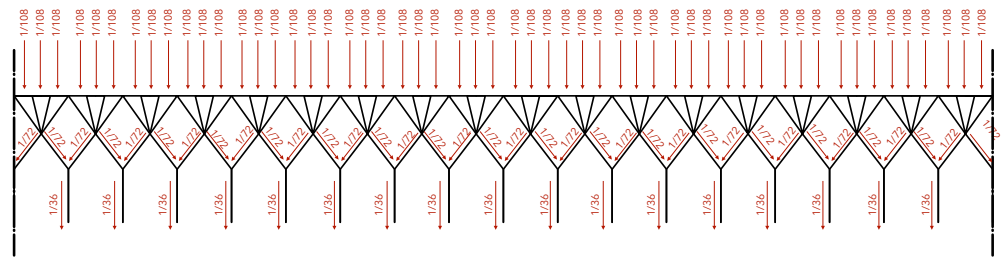
[FIGURA 39] Esquema del despiece de la cubierta en sus más de 17 variedades de moldes, partiendo de las más pequeñas situadas en el interior a las de mayor dimensión en la zona más externa del Palazzetto. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

## DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PILARES PERIMETRALES



[FIGURA 40] Esquema del último anillo de la cúpula con el sistema de anclaje perimetral encargado de transportar la carga de la cúpula a los pilares perimetrales en Y. Esquema de autor.

[FIGURA 41] Esquema del sistema de pilares perimetrales en Y encargado de recibir la carga del anclaje perimetral y transportarla al anillo de cimentación. Esquema de autor.



[FIGURA 42] Esquema de reparto de cargas desde las piezas que conforman el anillo más externo de la cúpula hasta los pilares perimetrales en Y. Esquema de autor.

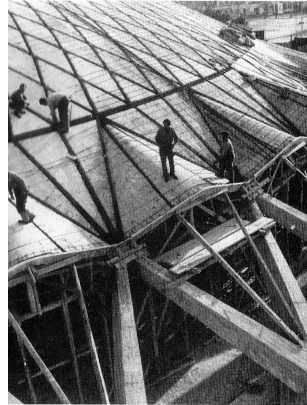
Como ya se ha mencionado anteriormente Pier Luigi Nervi diseñó todo un sistema de soportes perimetrales en forma de "Y" continuando la dirección y forma de la cúpula hasta su encuentro con el terreno.

Cada uno de estos pilares era el encargado de recibir  $1/36$  de la carga total de la cúpula y estaba diseñado de tal manera que sus dos alas superiores recibiesen la mitad del peso que recibía a su vez cada uno de los anclajes situados entre la parte superior de éstas y la terminación de la cúpula.

Cada uno de estos anclajes al mismo tiempo eran los encargados de recibir el peso distribuido correspondiente a tres de las piezas del anillo exterior de la cúpula, las cuales ya no tenían una forma romboidal sino triangular de mayor dimensión. Forma a la que llega Nervi para solucionar la continuación de los nervios diseñados en cubierta hasta su finalización en los puntos donde se situaban dichos anclajes.

Todo este sistema de despiece en formas triangulares de la zona exterior permite a su vez dotar de un carácter estético diferente a la terminación de la cúpula en forma de abanico curvo, mucho más sugerente de lo que podría haber sido si se hubiese pensado continuo en todos sus puntos.

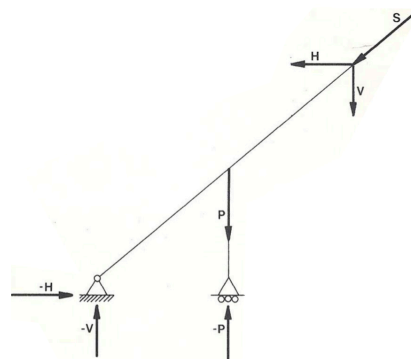
Otro claro ejemplo dónde se puede ver la importancia que otorga el autor al carácter estético de la estructura una vez ésta cumple éste con su función.



[FIGURA 43] Proceso de construcción de los soportes. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 44] Proceso de unión de los pilares con la cubierta mediante un sistema de anclaje en abanico curvo. Cada uno de ellos absorbe 1/36 del empuje total de la cúpula para posteriormente transmitirlo a cada pilar en "Y". Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 45] Estado final del Palazzetto una vez finalizada su construcción. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



$S = V + H$  Tensión de la cúpula aplicada sobre cada pilar.

H Fuerza concentrada equivalente a la tensión anular de la cátena.

P Fuerza concentrada equivalente al peso propio del pilar.

[FIGURA 46] Esquema estático de un pilar perimetral en Y de Paolo Desideri.

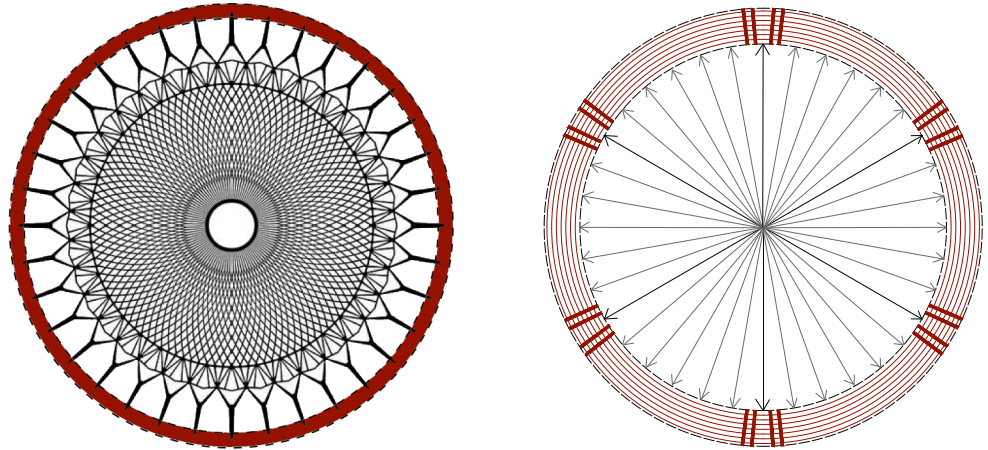
Con la introducción de este anillo de pilares inclinados en su perímetro exterior, al hacer éstos de apoyo de la cúpula evitando su desplazamiento radial, no necesita construir en dicha obra el anillo de tracción que normalmente se sitúa en la parte superior de éstos y que tiene lugar en gran cantidad de ejemplos de cúpulas. Este diseño inclinado lo aprovecharía también para introducir con mayor facilidad luz al interior del estadio así como generar un corredor exterior en el perímetro del mismo Palazzetto.

Sin embargo, Nervi pese a la gran utilidad que le da a este sistema se ve en la necesidad de reforzarlo, tal y como se ve en el esquema de cargas superior, por un segundo pilar vertical posicionado en la parte trasera de éstos. La función de dicho pilar sería servir como punto de apoyo para evitar la posible flexión de dicho sistema pilares inclinados debida a su peso propio y que ésta a su vez afectase a la flexión total de la estructura.

Este diseño pensado por el autor facilita además la distribución de cargas provenientes de la cúpula de tal manera que el pilar vertical ayuda a distribuir la componente vertical hasta el apoyo de éste, habiendo ahora dos reacciones verticales en lugar de una en ausencia de éste. Dicha distribución que hace de la componente vertical de la carga en dos soportes diferentes le permitirá que ambos reciban mutuamente una magnitud mucho menor y consecuentemente poder ser diseñados con una sección mucho más reducida de lo habitual.

Respecto a la componente horizontal, ésta únicamente discurrirá por los soportes inclinados hasta ser compensada por la reacción situada en su apoyo y que viene dada por la cimentación construida en todo su perímetro exterior, la cual adoptará una forma de anillo y estará previamente pretensada.

## DISÑO Y FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN



[FIGURA 47] Esquema de la posición del anillo de cimentación pretensado respecto a la geometría del Palazzetto de los Deportes. Esquema de autor.

[FIGURA 48] Esquema del funcionamiento interno del anillo de cimentación con el respectivo reparto de cables de acero pretensado. Esquema de autor.



[FIGURA 49] Proceso de almacenaje y transporte de los cables de acero utilizados en el interior de la cimentación. MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

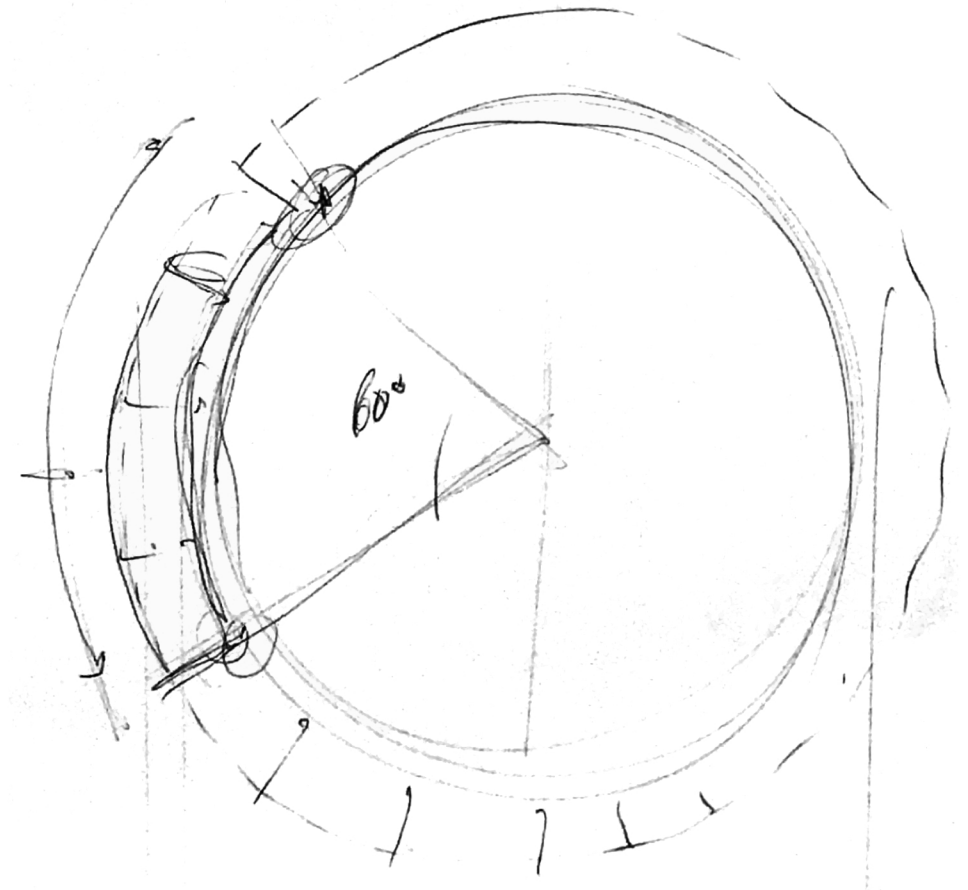
La cimentación cómo se puede observar en los esquemas superiores está resuelta mediante un anillo de cimentación. Una solución estructural propia de los edificios de planta central cubiertos por cúpulas y que consiste en una zapata continua de hormigón armado que discurre a lo largo de toda la circunferencia que conforma la base de los soportes inclinados más exteriores.

El desafío en este caso fue cómo depurar dicho anillo tratando de buscar una solución que ayudase a absorber las cargas horizontales de gran magnitud que provenían de la cúpula y al mismo tiempo pudiese rigilizar la estructura, disminuyendo los desplazamientos que se pudiesen producir consecuentemente en dicha cimentación.

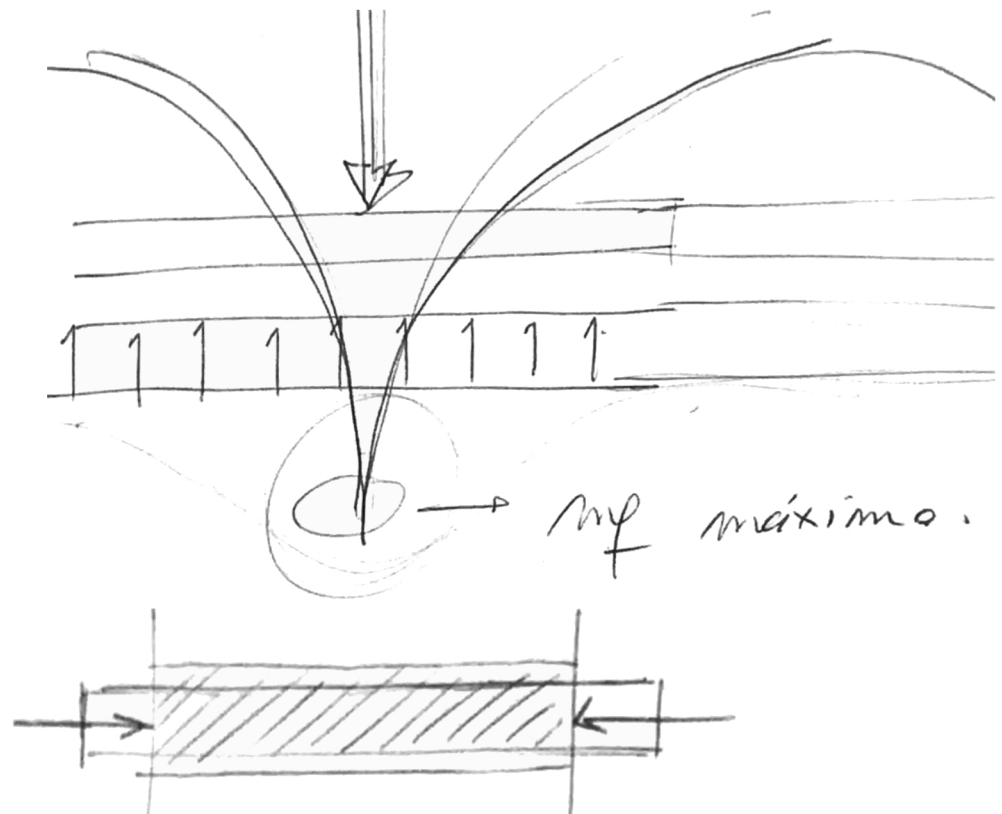
La solución fue incluir en la base de dichos pilares, en concreto cada seis, un sistema de cables de acero pretensados por medio de unos listeles de hormigón que comprimirían dicha cimentación y una vez entrase carga toda la estructura del Palazzetto ésta pudiese tener un cierto margen para ser traccionada y no por ello agrietarse como hubiese ocurrido posiblemente con una solución de anillo sin estos elementos.

La combinación del sistema portante de pilares inclinados con este tipo de cimentación permitirá no solo absorber todas las tensiones generadas por el propio peso de la cúpula; sino también, por su disposición en el perímetro, permitirá conseguir un mayor grado de libertad en la distribución de las particiones interiores del pabellón.





[FIGURA 50] Replanteo del sistema pretensado de la cimentación cada porciones de  $60^\circ$ . Lo suficiente, debido a su geometría simétrica, para rigilizarlo y disminuir con ello desplazamientos. Dibujo de Autor.



[FIGURA 51] Esquema que muestra el momento flector máximo que produce el apoyo de la estructura portante en el anillo de cimentación y por tanto donde tiene lugar el refuerzo pretensado. Dibujo de autor.

[FIGURA 52] Compresión de la cimentación situada en la base de los pilares perimetrales debido al refuerzo pretensado. Dibujo de autor.



## CONSTRUCCIÓN

## FASES DE SU CONSTRUCCIÓN

## I. Cimentación



[FIGURA 53] Replanteo, excavación y preparación del anillo de cimentación exterior. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 54] Proceso de pretensado de los cables interiores y colocación de las esperas de los pilares inclinados. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

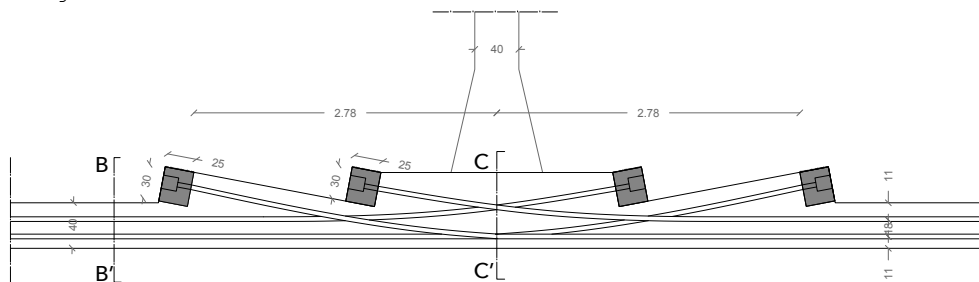
La construcción del Palazzetto comienza mediante el replanteo y elaboración de la cimentación.

Esta se divide a su vez en dos partes: la exterior, y a su vez cimentación de los pilares inclinados, que consiste en un anillo realizado mediante una losa continua de hormigón en cuyo interior se coloca en la base de cada seis pilares un refuerzo realizado mediante el pretensado de unos cables de acero. Todo ello con el fin de absorber todas las futuras tensiones provenientes de la cúpula.

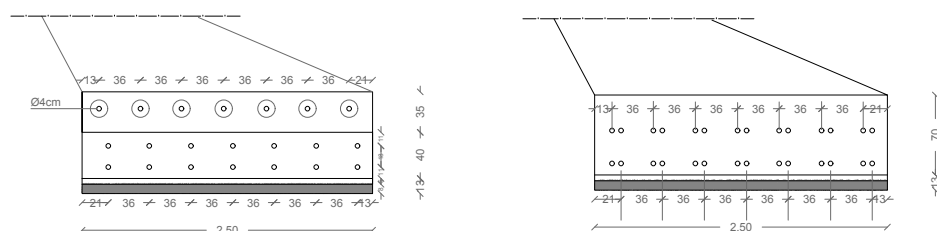
Paralelamente a la cimentación de dicho anillo más exterior se lleva a cabo la cimentación que compartirán tanto los pilares verticales, que sirven de soporte a los pilares en "Y", como los que se encuentran a lo largo del cerramiento exterior, que sirven de soporte a un pequeño forjado perimetral sobre el cual se apoyarían las gradas.

Esta segunda cimentación no se resuelve de manera continua como la anterior sino en forma de zapata aislada.

Para el primer tipo de cimentación, debido a su complejidad, se plantean a continuación una serie de detalles que tratan de hacer más comprensible su funcionamiento. Su puesta en obra consiste en la construcción de unas pequeñas barras de hormigón de 30x25 cm de sección sobre las que se horadan siete aberturas y se pasan sobre cada una de ellas cables de acero de 4cm de diámetro. Finalmente tiene lugar el pretensado de éstos y el hormigonado de todo el conjunto. Estas barras así pensadas permiten incorporar y adaptar este sistema de refuerzo pretensado a una forma circular sin perder por ello ninguna característica resistente.



**[FIGURA 55]** Detalle en sección que muestra los sistemas de fijación de los cables de acero pretensados mediante listeles de hormigón armado. Dibujo de autor.



[FIGURA 56-57] Detalles que muestran la distribución de los cables pretensados en el interior del anillo. Dibujos de autor.

## II. Encofrado y construcción de la estructura portante perimetral



[FIGURA 58] Proceso de colocación del encofrado de los pilares inclinados sobre un sistema de andamios provisional. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 59] Resultado final del sistema de pilares una vez ya hormigonados con las respectivas marcas del encofrado de madera así como las esperas para la cúpula. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 60] Proceso de colocación de una serie de elementos prefabricados curvos que hacen de apoyo para las piezas de la cúpula. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

Una vez realizada toda la cimentación se lleva a cabo el encofrado y hormigonado del sistema de 36 pilares que cierra el perímetro del Palazzetto y hará de base sobre la que construir la cúpula posteriormente.

En primer lugar se realizan los verticales y sus respectivas esperas sobre los cuales apoyarán los pilares inclinados una vez finalizados éstos.

Para los últimos, debido a la complejidad de su puesta en obra, los albañiles se ayudan de una red de andamiaje de madera colocada de tal manera que les permite obtener tanto la inclinación como la formalización en Y del encofrado con la que han sido proyectados.

## SECCIÓN A-A'

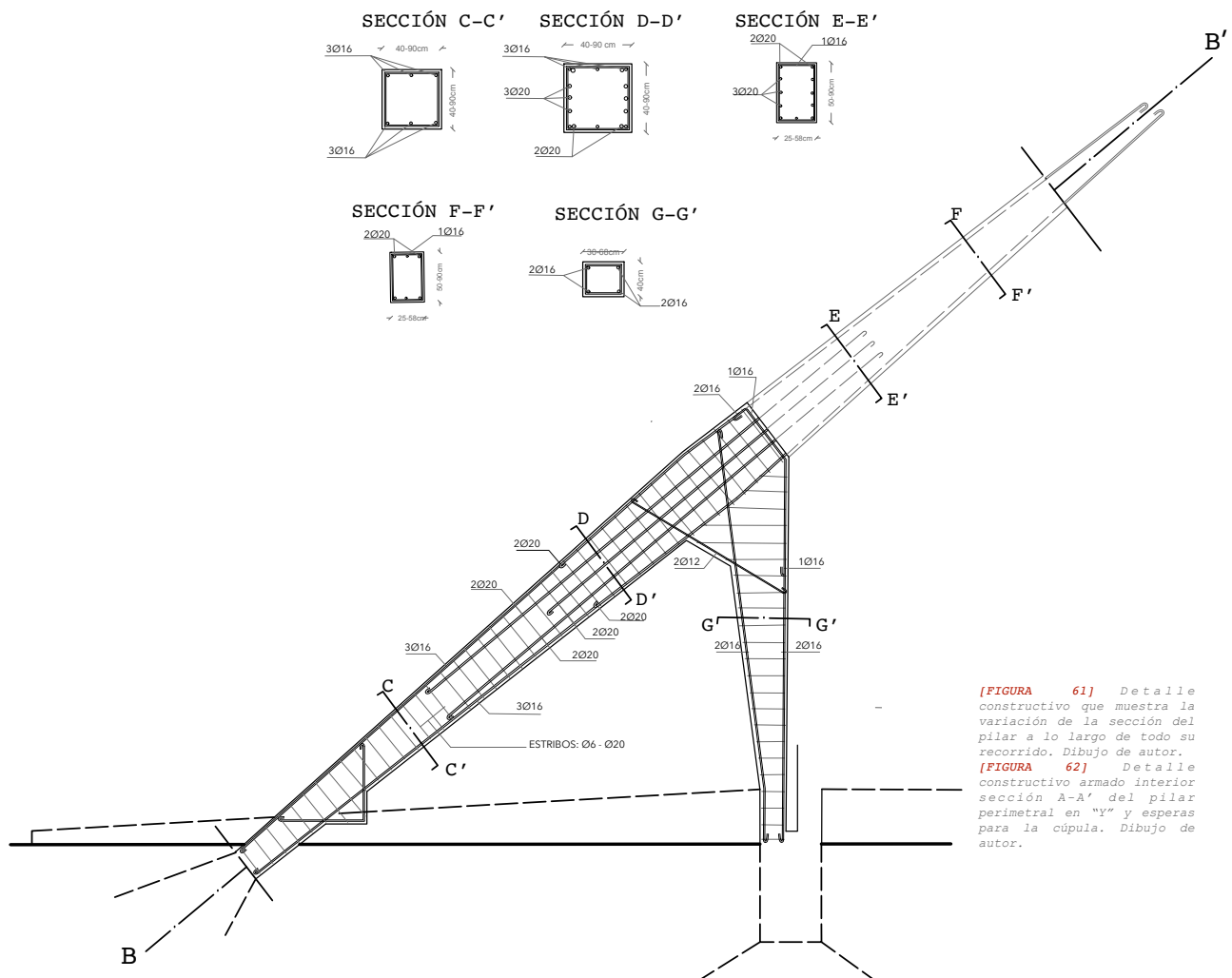
La forma con la que son proyectados los pilares perimetrales es a primera vista uno de los aspectos que más llama la atención de dicha obra ya que su configuración en Y dista mucho de cualquier tipología de pilar a la que estamos acostumbrados a ver.

Sin embargo, esta forma no es un mero capricho del autor sino una forma que trata de hacer explícito el funcionamiento estructural, afirmando una vez más que el resultado estético en la arquitectura de Nervi está sujeto en todo momento al correcto funcionamiento estático.

Tal y como se observa en los detalles constructivos inferiores dicha sección a pesar de ser reducida en todo su recorrido es variable a lo largo de todo el sistema de soportes aumentando de los extremos hacia la parte central correspondiente con el punto de transición de las dos alas superiores a una sola situada en el soporte (25-90cm x 40-90cm).

Esta zona de unión de las alas superiores se considera uno de los más críticos dentro de la estructura portante ya que es el punto donde se acumula toda la carga que ha recibido anteriormente cada una de ellas por separado y que por tanto P.L.Nervi tiene que solucionar habilidosamente planteando la construcción de un segundo pilar vertical que libera gran parte de la componente vertical que llega a dicho punto.

Este punto donde tiene lugar la unión de todas las vertientes del pilar se soluciona constructivamente hablando con el aumento de sección y por tanto de su armado interior, lo cual explica como de la sección C-C', que únicamente se utiliza una armadura de Ø16 en su cara superior e inferior por su proximidad al extremo inferior, se pasa a la D-D' correspondiente con el inicio de dicha zona crítica y que se soluciona mediante la introducción de un refuerzo en las caras laterales con armados de Ø20.



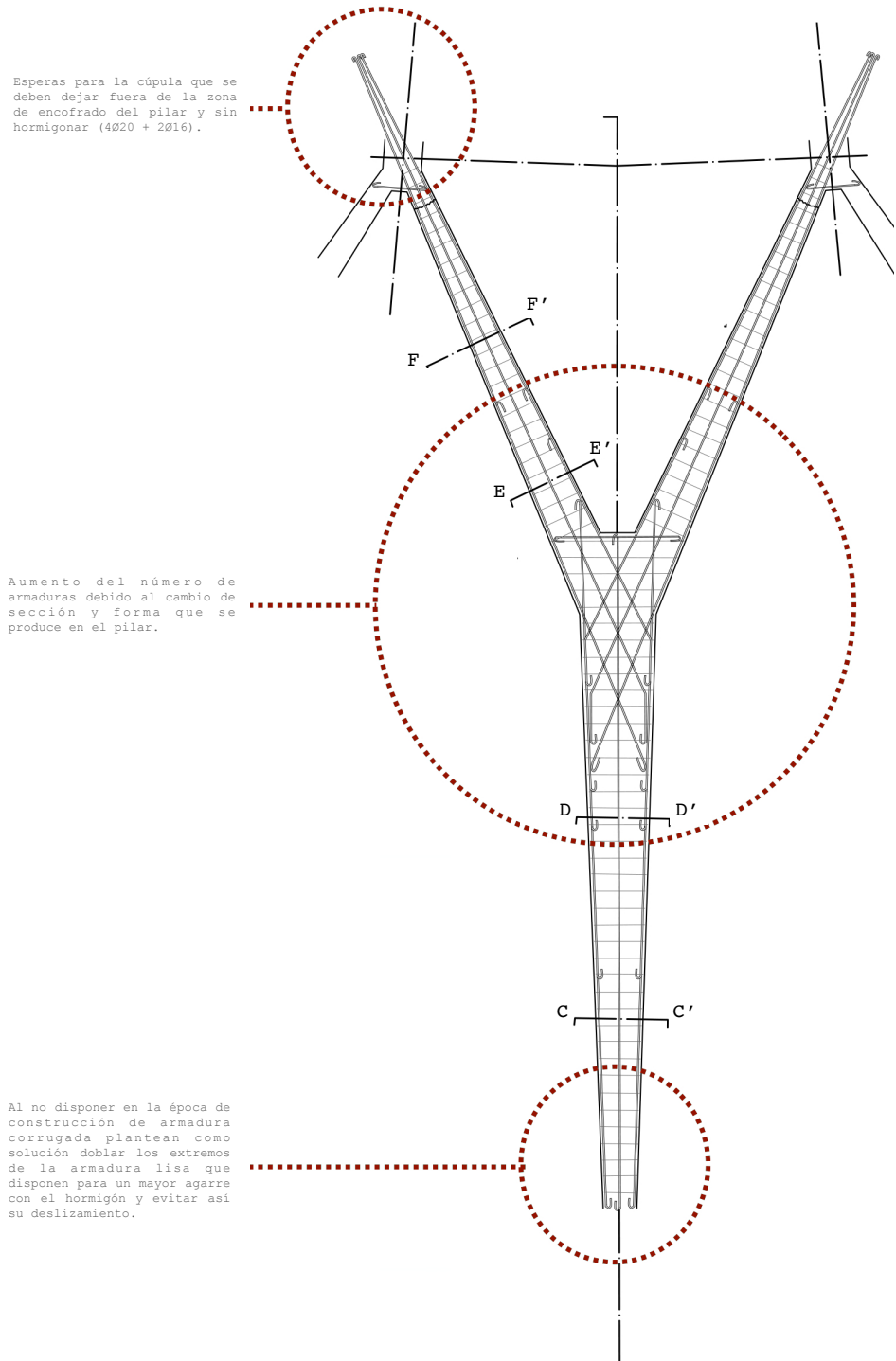
[FIGURA 61] Detalle constructivo que muestra la variación de la sección del pilar a lo largo de todo su recorrido. Dibujo de autor.

[FIGURA 62] Detalle constructivo armado interior sección A-A' del pilar perimetral en "Y" y esperas para la cúpula. Dibujo de autor.

## SECCIÓN B-B'

Otro aspecto importante recae en la forma de construir dichos soportes , ya que debido a las exigencias estructurales y formales a cumplir se tienen que ejecutar in situ mediante la solución tradicional de encofrado de madera. Éstos posteriormente serán hormigonados dejando siempre los extremos de las armaduras más externas libres para que funcionen como esperas tanto para la cubierta como la cimentación.

En dichos soportes la armaduras no tienen una terminación corrugada, como ocurre hoy en día, sino que son lisas y dobladas por sus extremos. Una solución que permite conseguir un mayor agarre de la armadura con el hormigón y evitar así su deslizamiento.



[FIGURA 63] Detalle constructivo armado interior sección B-B' del pilar perimetral en "Y" y esperas para la cúpula. Dibujo de autor.



### III. Colocación del andamio de la cúpula y sistema de soporte del graderío



**[FIGURA 64]** Proceso de colocación del sistema de andamios de la cúpula. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

**[FIGURA 65-66]** Proceso de colocación de la grúa en el punto central del edificio para facilitar el transporte de materiales en cubierta al mismo tiempo que tiene lugar la construcción de la estructura que sirve de soporte al graderío. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



Esta tercera fase es clave en la construcción de la cúpula y una de las que más tiempo requirió dentro del periodo de construcción del Palazzetto. Ésta se basa en la meticulosa colocación de un complejo sistema de andamios que adoptan la forma de la futura geometría de la cúpula y la incorporación de una gran grúa situada en la parte central del edificio. Ambos soluciones son de gran gran ayuda en fases posteriores facilitando el transporte de las piezas así como su colocación.

Al mismo tiempo que se implantan tanto la grúa como el sistema de andamios, se comienza la construcción del forjado perimetral sobre el cual se apoyarían las gradas posteriormente.





#### IV. Despiece del modelo y puesta en obra de las piezas prefabricadas



[FIGURA 67-68] Elaboración del modelo de madera que reproduce una porción de la cúpula así como del dibujo que muestra la futura formalización de las piezas prefabricadas. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 69] Fabricación de uno de los moldes de mampostería. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 70] Elaboración del armado interior de una de las piezas. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 71] Resultado final de las piezas prefabricadas momentos antes de su recubrimiento. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 72-73] Colocación de las piezas prefabricadas en cubierta y posterior repartición de armadura sobre ellas para la configuración de los nervios interiores. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

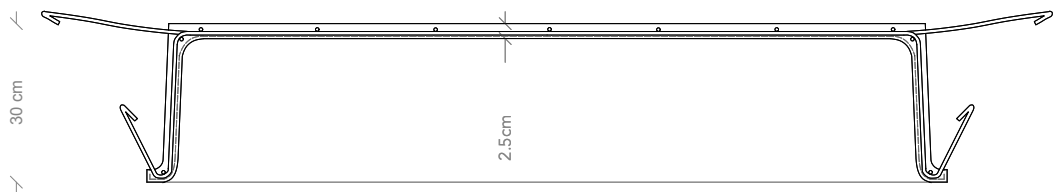
Una vez dispuesto correctamente todo el sistema de andamios se pasa al diseño, construcción y montaje de cada una de las piezas prefabricadas. En primer lugar se realiza un modelo de madera el cual reproduce a escala real una porción de la geometría de dicha cúpula y hace de soporte sobre el que trazar cada una de los 13 variedades de formas romboidales y triangulares que adquirirán posteriormente cada uno de los moldes de mampostería. Éstos moldes a su vez serán los elementos tipo que servirán de base para fabricar cada una de las piezas que se repetirán "n" veces hasta lograr la recomposición final de la cúpula.

El papel de estos moldes será fundamental ya que serán éstos los que se usen de referencia para otorgar la forma romboidal deseada tanto a la armadura(Ø6) como a la fina malla metálica que conformarán cada una de las piezas. Una vez obtenida la geometría final de la armadura ésta hará de encofrado perdido sobre el que se vierte una fina capa de 2,5cm de hormigón. Lo necesario para cubrir toda la armadura y malla metálica dispuesta anteriormente y dicha pieza no pierda propiedades resistentes.

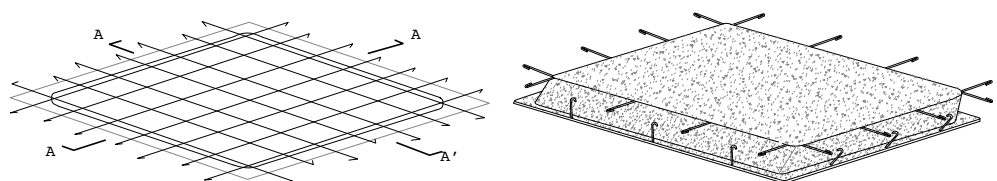
Este proceso como se puede observar es clave en la construcción de dicha obra donde el autor trata de llevar al límite la técnica del "ferrocemento". Técnica que ha ido desarrollando a lo largo de su carrera profesional con el fin de obtener la mayor ligereza y ahorro de material posible y que logrará depurar en gran medida con la construcción de dicho Palazzetto. Además el hecho de resolver toda la construcción de la cúpula con elementos prefabricados le permite realizar dicha fase de proyecto en tan solo 30 días. Algo impensable para la época en la que se encuentra.



[FIGURA 74] Resultado final de una de las piezas prefabricadas. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 75] Detalle en sección (A-A') que muestra el interior de cada una de las piezas prefabricadas utilizadas en la construcción de la cúpula. 21 de julio de 1956, Parma, CSAC. Dibujo de autor.



[FIGURA 76-77] Detalle que muestra la distribución interior de la armadura y formalización final que adquiere una de las piezas prefabricadas utilizadas en la construcción de la cúpula. 21 de julio de 1956, Parma, CSAC. Dibujo de autor.

### V. Unión entre piezas y acabado de la cubierta

Todas las piezas que se utilizan en la construcción de la cúpula son romboidales excepto aquellas que se sitúan en el anillo más exterior coincidentes con los puntos de unión a los pilares. A éstas en concreto se les otorga una forma triangular para que, mediante la composición de unas con otras, logren romper la uniformidad de la cúpula con una terminación ondulada.

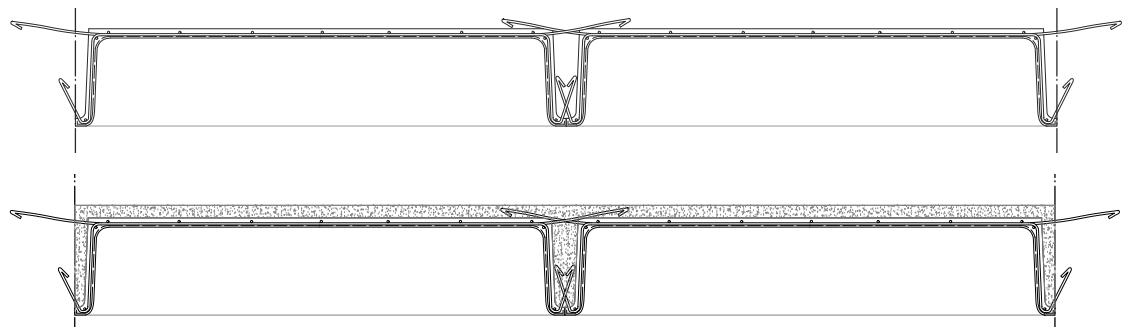
Por otro lado, cabe recalcar que el diseño y distribución que se hace de las armaduras en el interior de cada pieza será clave para facilitar en una segunda fase de construcción el ensamblaje de todas ellas y por consiguiente la conformación de los famosos nervios interiores cuya función sería reforzar la capacidad resistente de la cúpula.

Una vez encajadas debidamente en cubierta la totalidad de las piezas, se finaliza su construcción con un reparto de armaduras en la parte superior y con una cobertura de cemento de alta resistencia. Todo esto termina de ayudará a ensamblar todos los elementos al mismo tiempo que otorgará un acabado liso y uniforme a la cúpula visto desde el exterior.



[FIGURA 78] Proceso de hormigonado para el ensamblaje de piezas y acabado en cubierta. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

#### DETALLE DE UNIÓN ENTRE PIEZAS PREFABRICADAS Y POSTERIOR HORMIGONADO



[FIGURA 79-80] Detalle constructivo que explica cómo resulta la unión entre piezas y su posterior relleno con hormigón armado. Dibujo de autor.





## VI. Cerramientos

Al mismo tiempo que se finaliza el ensamblaje y cobertura de piezas en cubierta, se lleva a cabo el cerramiento del Palazzetto. Dicho cerramiento lo conforman un primer anillo opaco de fábrica de ladrillo, correspondiente a la planta baja que da acceso al interior del complejo deportivo, y un segundo anillo vítreo, realizado mediante un sistema de ventanas tanto fijas como abatibles las cuales permiten la entrada de luz y ventilación del interior.



[FIGURA 81] Recubrimiento y unificación de la cubierta con una ligera capa de cemento. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 82] Colocación del sistema de cerramiento situado en planta baja. En este caso realizado con fábrica de ladrillo para dotar de mayor privacidad al interior. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 83] Vista del sistema de cerramiento situado en primera planta. En este caso el sistema de vidrieras que permiten el acceso de luz al interior. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



## **INFLUENCIA DEL PALAZZETTO EN LA OBRA POSTERIOR DE P.L.NERVI**





[FIGURA 84-85] Despiece de la cubierta en piezas prefabricadas con formas romboidales y resultado final del Palazzetto de los Deportes en Roma (1956-1957). Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 86-87] Despiece de la cubierta en piezas prefabricadas con formas triangulares y resultado final del Cultural and Convention Center en Norfolk (1965-1971).



A lo largo de toda la carrera profesional de P.L.Nervi la arquitectura deportiva adquiere un destacado papel cuyo recorrido en el tiempo refleja la propia evolución del autor.

Una vez acabados los Juegos Olímpicos, y por consiguiente cada uno de los edificios que le fueron encargados para dicha celebración, su estudio comienza a ganar fama y prestigio por la gran calidad y brillantez con la que éstos habían sido resueltos. Tal fue su nivel de repercusión que a finales de los sesenta comienza a recibir una gran cantidad de encargos de todas partes del mundo, más concretamente de los Estados Unidos, y de los cuales muchos de ellos seguían siendo instalaciones deportivas.

Entre ellos destaca el *Cultural and Convention Center*, realizado junto a *William y Tazewell & Associates (1965-1971)*. Edificio que ha resultado de la influencia directa de dicho Palazzetto y que vuelve a evidenciar dos de las cuestiones que tiene en cuenta en el diseño de cada uno de ellos: la relación entre el diámetro y el sistema de apoyo de la cúpula.

Dicha instalación podría considerarse la reinterpretación posterior más directa realizada por el propio Nervi sobre el palazzetto de Roma puesto que se trata también de una gran cúpula de hormigón armado realizada a base de elementos prefabricados y un sistema de pilares dispuestos radialmente en el perímetro del edificio.

El desfase de tiempo entre una obra y otra es el resultado de años de perfeccionamiento y depuración de la técnica constructiva llevada a cabo por el autor desde el principio de su carrera como ingeniero. Estos avances se plasman sobretodo en la forma que tiene de resolver tanto la cúpula como los pilares, elementos principales de ambas instalaciones deportivas de planta circular y que sin embargos distan bastante entre una y otra.

En el caso del *Cultural and Convention Center*, P.L.Nervi tratará de sacar partido de las propias necesidades estructurales de un edificio de tal envergadura (100m de diámetro) y de la depuración de la técnica utilizada en el Palazzetto para obtener mediante la combinación de todo ello una obra de mayor fuerza formal y estética que la primera.

En su diseño partirá de la premisa de tener que incorporar un anillo de tracción en el perímetro de la cúpula el cual ayudaría a evitar las deformaciones horizontales de ésta y le otorgaría consecuentemente un acabado lineal y continuo, a diferencia de la terminación en abanico curvo que diseña en el Palazzetto. En este caso tratará de sacar el máximo partido a dicha continuidad en su perímetro para realizar el despiece de dicha cubierta mucho más simplificado utilizando de base una única forma geométrica, el triángulo. Dicho anillo al mismo tiempo le permitiría también disminuir el número de soportes perimetrales de 36 a 24 e indirectamente el material a usar, aspecto de gran importancia en toda la obra de Nervi.

Aparte de esta reducción de soportes también se produce un cambio evidente en la formalización que hace de éstos mostrándose en este caso mucho más estilizados y con más presencia que los anteriores.

Ambos aspectos los alcanzará en el *Cultural and Convention Center únicamente* mediante la pequeña variación que hace de la forma inicial de "Y" a "V" bajando el punto de unión de ambas aberturas a la línea de terreno. Este pequeño cambio, unido al juego en sección que hace torsionándolos sobre su propio eje, significaría anular los esfuerzos de flexión producidos por el propio peso de éstos y por tanto el tenerse que evitar la incorporación de un tercer pilar vertical en dicho punto, como ocurría en el caso del Palazzetto. Pilar que entorpecía la circulación de gente por el perímetro de dicha instalación deportiva y por consiguiente la mayor parte de este espacio acabaría siendo utilizado como una zona residual donde situar vegetación.

Finalmente, para solventar el problema de la entrada de luz al interior, al suprimir el recurso que utiliza en el primer caso de otorgar una terminación curva a la cubierta, plantea un cerramiento vítreo que discurre a lo largo de toda la superficie exterior del pabellón de suelo a cubierta. Solución que aparte de introducir la iluminación que requiere un edificio de tales condiciones, ayuda a enfatizar de una manera mucho más clara el carácter estructural que Nervi siempre trata de otorgar a cada una de sus obras.

## ESTADO ACTUAL



[FIGURA 88-89] Estado del Palazzetto de los Deportes en 1957 recién acabada la obra. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.  
[FIGURA 90-91] Estado del Palazzetto de los Deportes Actualmente. Fotografías de autor.

Mi estancia Erasmus en Roma me ha brindado la oportunidad de poder visitar en persona el exterior de dicha instalación deportiva lo cual a parte de poderla observar de primera mano me ha ayudado en todo el análisis y estudio posterior de una manera mucho más profunda.

Dentro de este estudio ha tenido gran importancia la toma de fotografías de la situación actual para una posterior comparación con las mismas que se tomaron en el momento de su inauguración. Dicha comparación principalmente refleja el pésimo estado de conservación en el que se encuentra actualmente así como los cambios que ha sufrido desde el momento de su construcción hasta hoy.

Su estado descuidado actual se debe en gran parte al poco uso que se hace de él en relación al resto de instalaciones deportivas de la ciudad y por consiguiente el reducido presupuesto que va dirigido a su mantenimiento.

Resultado de ello es un acceso inundado de vegetación espontánea y de matorrales unido a una apariencia degradada y sucia del propio edificio.

Cabe incidir sobretodo en la cubierta la cual, al estar repleta de humedades y consecuente vegetación, pierde la idea inicial de mostrar la homogeneidad del material utilizado en su construcción y por tanto la continuidad que existe entre ésta y todo el sistema portante de pilares.

Todo esto unido a la colocación de aparatos y conductos de instalaciones sin cuidado alguno a lo largo de todo su perímetro exterior hace de un edificio de gran pureza y sensibilidad estructural como lo fue durante los años sesenta uno totalmente degradado, sucio y en total estado de abandono. Un lugar que a día de hoy en vez de atraer al espectador por su brillantez arquitectónica es un punto de delincuencia e indigencia dentro de la ciudad de Roma.

## **BLOQUE III: CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

Este trabajo trata de mostrar el gran cambio que ha supuesto la forma de construir de P.L.Nervi respecto a la visión que se tenía de la arquitectura hasta el siglo XX, donde el protagonismo de la arquitectura siempre recaía en la apariencia y estética de lo construido perdiendo su interés por plasmar la configuración estructural y los procesos constructivos que había detrás por su vinculación al ámbito más técnico e ingenieril.

Haciendo un recorrido por la obra de dicho autor y su respectiva concreción en el Palazzetto de los Deportes de Roma se observa como su espíritu creador demuestra cómo los elementos estructurales sí pueden utilizarse como sistema articulador de todo proyecto y hacer de ello una arquitectura funcional y bella.

La situación tanto económica como social por la que pasa el autor durante el tiempo que dura su carrera profesional le influirá a la hora de buscar que dicha arquitectura sea al mismo tiempo una arquitectura de mínimos tanto económicamente hablando como en tiempos de ejecución. De ahí su constancia y obsesión por obtener el menor espesor posible en todos los sistemas estructurales que plantea en su obra utilizando la cantidad justa e imprescindible de material.

El resultado de todo ello es una arquitectura real, sincera y depurada hasta el último milímetro que refleja todos los esfuerzos que se producen en ella y que uno con tan sólo percibirla, sin hacer uso de ningún tipo de cálculo previo, ya sabe dónde se producen las tensiones de mayor magnitud y puntos críticos de dicha estructura.

---

Otro aspecto a tratar es la constante relación que establece Nervi entre la estructura y la función y cómo una determina a la otra y viceversa. Este aspecto se puede observar de manera muy clara en el caso de los pilares perimetrales los cuales sitúa en el exterior con la intención de resaltar el funcionamiento estático de la cúpula y al mismo tiempo los utiliza como un túnel perimetral que libera los flujos peatonales del interior y permite la entrada de luz al interior.

Dicho funcionamiento estructural está vinculado al mismo tiempo con la formalización final de cada uno de los elementos que conforman sus estructuras. Ya sea la cúpula con sus característicos nervios, reinterpretación de los meridianos y paralelos, o los pilares inclinados como continuación de las fuerzas resultantes que éstos reciben de la cúpula.

Este aspecto permite reafirmar entonces que a lo largo de la obra de Nervi, y más concretamente en el Palazzetto de Roma, el resultado estético está sujeto al correcto funcionamiento estático y por tanto se tenga que considerar su arquitectura y manera de proyectar como válida independientemente de que luego guste o no guste su apariencia final.

---

Ahora bien, tras el análisis realizado de dicha obra uno se pregunta ¿Hasta qué punto Nervi es fiel a esta arquitectura real y sincera? ¿Es imprescindible toda la estructura portante que construye en su perímetro, o abusa de esta formalización estructural dejando de construir a mínimos como sí lo cumple en el sistema que implanta para construir la cúpula? Ya que así como en el segundo caso uno es consciente de que depura al máximo la técnica constructiva para alcanzar dicho objetivo llegándola a solucionar con piezas de tan solo 2,5cm de grosor, personalmente pienso que no ocurre lo mismo en la construcción de dichos pilares en donde esa constante que tanto persigue y defiende de reducir la estructura al máximo se debilita priorizando la estética y la fuerza formal para ganar con ello un mayor impacto visual visto desde el exterior. Esta falta de depuración en la estructura portante es lo que le llevaría a su vez a tener que acabar incluyendo un sistema de apoyo vertical que entorpece la continuidad del cerramiento exterior y tener que seguir investigando sobre como solucionar este aspecto en años posteriores. Aspecto que acabaría solucionando con gran brillantez en el *Cultural and Convention Center* y que da muestra una vez más de cómo trata de superarse con cada una de las obras que diseña.

Sin embargo, volviendo a una de las citas del propio autor con la que se abre el trabajo:

***"Cada vez que descubrimos nuevas técnicas, nos solemos apegar a las viejas formas. Un nuevo material, como el cemento, crea sus propias formas"***

si se puede afirmar que dicho autor ha sabido llevarlo a cabo sacando el máximo partido a la reinterpretación que hace del cemento armado ("ferrocemento") creando a partir de dicha técnica sus propias formas. Formas que le distinguen y distinguirán de cualquier otro arquitecto y que motiva a seguir innovando y a descubrir el yo más interno de cada uno.







## ÍNDICE DE FIGURAS

- [FIGURA 1] Pier Luigi Nervi( primera fila, segundo por la derecha) con sus profesores y compañeros de escuela. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 2] Pier Luigi Nervi en un retrato fotográfico de los años veinte. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 3] Irene Calosi Nervi en una foto de los años veinte. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 4] Modelo de la primera serie de Hangar, Orvieto, 1935-1938. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 5] Revista ''Batir'',n.16,Octubre 1951: en portada una imagen del Palacio de Exposiciones de Turin. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 6] Pier Luigi Nervi con sus hijos Antonio, Mario y Vittorio durante una visita de obra al estadio Flaminio, Roma, 1960. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 7] Mercado de Algeciras diseñado por Torroja en colaboración con Manuel Sánchez Arcas, 1934-1935, Algeciras, España.
- [FIGURA 8] Palazzetto de los Deportes diseñado por Pier Luigi Nervi en colaboración con Annibale Vitellozzi, 1956-1957, Roma, Italia.MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 9-10] Modelo elástico en resina a escala 1:50 del Centro cultural de Norfolk en fase de construcción y en la fase de pruebas estáticas, 1967. Seriate (Bérgamo), archivo histórico ISMES.
- [FIGURA 11] Cálculo de las deformaciones unitarias y de los esfuerzos en toneladas del hangar de Orvieto, laboratorio del Politécnico de Milan, 1935. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 12] Cálculo gráfico de la distribución de acciones en una sección de la estructura del hangar de Orvieto, laboratorio del Politécnico de Milan, 1935. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 13-14] Modelo en plástico del hangar de Orvieto, realizado para la determinación de los efectos del peso, laboratorio del Politécnico de Milan, 1935. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 15] Vista interior de los elementos nervados que conforman la cúpula del Palacio de los Deportes, 1960, Roma. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 16] Construcción de uno de los veleros mediante la técnica basada en el hormigón armado, 1942-1943. Archivo Vasari.
- [FIGURA 17] Almacén experimental realizado con placas de cemento armado, Magliana, 1945. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 18] Resultado final cubierta del Pabellón central de Exposiciones de Turin. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi. Roma, MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 19] Hangar realizado a base de elementos prefabricados, segunda serie, Orvieto, Torre del Lago,1939-1942. Roma, MAXXI, Archivo Pier Luigi Nervi
- [FIGURA 20] Puesta en obra de los elementos prefabricados de hormigón armado en el Palazzetto de Deportes de Roma, 1956-1957. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 21] Basilica de Massenzio, Roma, III secolo d.C
- [FIGURA 22] Esquema de catedral gótica
- [FIGURA 23] Entorno del Palazzetto de los Deportes en el momento de su construcción. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 24-25] Vista interior y sección del Panteón de Agripa en Roma.
- [FIGURA 26] Distribución interior del Palazzetto con el sistema de ventanas perimetrales que permiten el acceso de luz natural al interior. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 27] Planta graderío Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 28] Planta acceso y servicios Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 29] Sección Palazzetto de los Deportes. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.
- [FIGURA 30] Esquema estructural del Palazzetto de Deportes de Roma. Esquema de autor.
- [FIGURA 31] Esquema estructural de un proyecto de hangar de la II serie. Esquema de autor.

[FIGURA 32] Esquema variación entre el pilar inclinado y la prolongación de la cúpula. Esquema de autor.

[FIGURA 33] Geometría del Palazzetto una vez finalizada su construcción. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 34] Esquema del ángulo de variación del estado tensional. Esquema de autor.

[FIGURA 35-36] Esquemas de deformación de los segmentos. Las partes superiores de los segmentos descienden y se solapan con sus cantos al disminuir la curvatura. Las partes inferiores se deforman hacia el exterior y se abren cuánto mayor sea la curvatura produciendo respectivamente acciones de compresión y tracción en los paralelos. Esquema de autor.

[FIGURA 37] Esquema individuación de los meridianos y paralelos.

[FIGURA 38] Relación geometría Palazzetto con segmento medio arco de circunferencia. Esquema de autor.

[FIGURA 39] Esquema del despiece de la cubierta en sus más de 17 variedades de moldes, partiendo de las más pequeñas situadas en el interior a las de mayor dimensión en la zona más externa del Palazzetto. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 40] Esquema del último anillo de la cúpula con el sistema de anclaje perimetral encargado de transportar la carga de la cúpula a los pilares perimetrales en Y. Esquema de autor

[FIGURA 41] Esquema del sistema de pilares perimetrales en Y encargado de recibir la carga del anclaje perimetral y transportarla al anillo de cimentación. Esquema de autor.

[FIGURA 42] Esquema de reparto de cargas desde las piezas que conforman el anillo más externo de la cúpula hasta los pilares perimetrales en Y. Esquema de autor.

[FIGURA 43] Proceso de construcción de los soportes.Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 44] Proceso de unión de los pilares con la cubierta mediante un sistema de anclaje en abanico curvo. Cada uno de ellos absorbe 1/36 del empuje total de la cúpula para posteriormente transmitirlo a cada pilar en "Y". Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 45] Estado final del Palazzetto una vez finalizada su construcción. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 46] Esquema estático de un pilar perimetral en Y de Paolo Desideri.

[FIGURA 47] Esquema de la posición del anillo de cimentación pretensado respecto a la geometría del Palazzetto de los Deportes. Esquema de autor.

[FIGURA 48] Esquema del funcionamiento interno del anillo de cimentación con el respectivo reparto de cables de acero pretensado. Esquema de autor.

[FIGURA 49] Proceso de almacenaje y transporte de los cables de acero utilizados en el interior de la cimentación. MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 50] Replanteo del sistema pretensado de la cimentación cada porciones de 60°. Lo suficiente, debido a su geometría simétrica, para rigilizarlo y disminuir con ello desplazamientos. Dibujo de Autor.

[FIGURA 51] Esquema que muestra el momento flector máximo que produce el apoyo de la estructura portante en el anillo de cimentación y por tanto donde tiene lugar el refuerzo pretensado. Dibujo de autor.

[FIGURA 52] Compresión de la cimentación situada en la base de los pilares perimetrales debido al refuerzo pretensado. Dibujo de autor.

[FIGURA 53] Replanteo, excavación y preparación del anillo de cimentación exterior.Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 54] Proceso de pretensado de los cables interiores y colocación de las esperas de los pilares inclinados. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 55] Detalle en sección que muestra los sistemas de fijación de los cables de acero pretensados mediante listeles de hormigón armado. Dibujo de autor.

[FIGURA 56-57] Detalles que muestran la distribución de los cables pretensados en el interior del anillo. Dibujos de autor.

[FIGURA 58] Proceso de colocación del encofrado de los pilares inclinados sobre un sistema de andamios provisional.Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 59] Resultado final del sistema de pilares una vez ya hormigonados con las respectivas marcas del encofrado de madera así como las esperas para la cúpula. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.



[FIGURA 60] Proceso de colocación de una serie de elementos prefabricados curvos que hacen de apoyo para las piezas de la cúpula. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 61] Detalle constructivo que muestra la variación de la sección del pilar a lo largo de todo su recorrido. Dibujo de autor.

[FIGURA 62] Detalle constructivo armado interior sección A-A' del pilar perimetral en "Y" y esperas para la cúpula. Dibujo de autor.

[FIGURA 63] Detalle constructivo armado interior sección B-B' del pilar perimetral en "Y" y esperas para la cúpula. Dibujo de autor.

[FIGURA 64] Proceso de colocación del sistema de andamios de la cúpula. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 65-66] Proceso de colocación de la grúa en el punto central del edificio para facilitar el transporte de materiales en cubierta al mismo tiempo que tiene lugar la construcción de la estructura que sirve de soporte al graderio. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 67-68] Elaboración del modelo de madera que reproduce una porción de la cúpula así como del dibujo que muestra la futura formalización de las piezas prefabricadas. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 69] Fabricación de uno de los moldes de mampostería. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 70] Elaboración del armado interior de una de las piezas. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 71] Resultado final de las piezas prefabricadas momentos antes de su recubrimiento. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 72-73] Colocación de las piezas prefabricadas en cubierta y posterior repartición de armadura sobre ellas para la configuración de los nervios interiores. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 74] Resultado final de una de las piezas prefabricadas. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 75] Detalle en sección (A-A') que muestra el interior de cada una de las piezas prefabricadas utilizadas en la construcción de la cúpula. 21 de julio de 1956, Parma, CSAC. Dibujo de autor.

[FIGURA 76-77] Detalle que muestra la distribución interior de la armadura y formalización final que adquiere una de las piezas prefabricadas utilizadas en la construcción de la cúpula. 21 de julio de 1956, Parma, CSAC. Dibujo de autor.

[FIGURA 78] Proceso de hormigonado para el ensamblaje de piezas y acabado en cubierta. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 79-80] Detalle constructivo que explica cómo resulta la unión entre piezas y su posterior rellenado con hormigón armado. Dibujo de autor.

[FIGURA 81] Recubrimiento y unificación de la cubierta con una ligera capa de cemento. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 82] Colocación del sistema de cerramiento situado en planta baja. En este caso realizado con fábrica de ladrillo para dotar de mayor privacidad al interior. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 83] Vista del sistema de cerramiento situado en primera planta. En este caso el sistema de vidrieras que permiten el acceso de luz al interior. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 84-85] Despiece de la cubierta en piezas prefabricadas con formas romboidales y resultado final del Palazzetto de los Deportes en Roma(1956-1957). Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 86-87] Despiece de la cubierta en piezas prefabricadas con formas triangulares y resultado final del Cultural and Convention Center en Norfolk(1965-1971).

[FIGURA 88-89] Estado del Palazzetto de los Deportes en 1957 recién acabada la obra. Roma,MAXXI, archivo Pier Luigi Nervi.

[FIGURA 90-91] Estado del Palazzetto de los Deportes Actualmente. Fotografías de autor.

## BIBLIOGRAFÍA Y CRÉDITOS

## WEBGRAFÍA

[https://es.wikipedia.org/wiki/Italia\\_fascista](https://es.wikipedia.org/wiki/Italia_fascista)

<https://www.arkiplus.com/racionalismo-en-arquitectura/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Racionalismo\\_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Racionalismo_(arquitectura))

<http://www.archidiap.com/opera/palazzetto-dello-sport/>

<http://inventari.fondazionemaxxi.it/>

## BIBLIOGRAFÍA

### I. Conceptos generales:

Nervi P.L., *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Edizioni della Bussola, Roma 1945.

Pier Luigi Nervi a cura di Paolo Desideri.

Nervi P.L., *Costruire correttamente: caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Hoepli, Milano 1955.

Chilton J., Heinz Isler, Thomas Telford Publishing, London 2000. Chiorino C., Olmo C. (a c. di), Pier Luigi Nervi. *Architettura come sfida*, Silvana Editoriale, Cinisello Balsamo 2010.

*L'architetto - L'influenza del cemento armato e del progresso tecnico-scientifico sull'architettura di oggi e di domani*, 1961. Fondazione MAXXI.

*Olympiad 1960 - From Athens to Rome, 1958*. Fondazione MAXXI.

International Olympic Committee (1960). *The XVII Olympiad Rome 1960 (en inglés)*. Vol. I. Consultado el 24 de abril de 2011. «1960 Olympics, vol. I».

*Aujourd'hui - Pier Luigi Nervi*, 1959. Fondazione MAXXI.

'Pier Luigi Nervi studente e docente: la formazione dell'ingegnere-architetto' en 'La lezione di Pier Luigi Nervi'', Mondadori, Milano, 2010.

Good Hope Center, en 'Architect & Builder'', n.27, diciembre de 1977, pp.2-9, M.Desideri, el 'Good Hope Center' de Cape Town, en 'L'industria italiana del cemento'', 1978. Fondazione MAXXI.

P.L.Nervi, *L'architecture inspirée par la construction*, *Construction à l'aide de mesures prises sur des modèles scientifiques*, in 'De Ingenieur'', n.37, 11 de septiembre de 1954, pp.535.

Debate sobre 'Formas estéticas y leyes físicas', con la participación de Bruno de Finetti, Gillo Dorfles y Pier Luigi Nervi, en 'Ciudades de las Máquinas'', año XIV, n3, mayo-junio, 1966, Roma.

J.Gubler, 'Progetto vs composizione: una piccola antología'', en 'Casabella' n. 520-521, enero/febrero, 1986, número monográfico con el tema 'Composición/proyección'', pp.7,8

P.L.Nervi, 'Aesthetic and Technology in Building. The Charles Eliot Norton Lectures, 1961-1962

L.I. Kahn, *Ordine è*, in M. Bonaiti (a c. di), *Architettura è*. Louis I. Kahn, *gli scritti*, Electa, Milano 2002, p. 65.

S. Poretti, *Considerazioni sull'opera di Pier Luigi Nervi*, in L. Ramazzotti (a c. di), *Nervi oggi*, cit., pp. 111-112.

### II. Estudio y análisis del Palazzetto de los Deportes en Roma:

Pier Luigi Nervi. *Architetture per lo sport*, Fondazione MAXXI, 2017

Pier Luigi Nervi. *Architetture voltate: verso nuove strutture*. Trabajo de doctorado de Pasqualino Solomita.

*Il cantiere - Il palazzo dello sport all'EUR, 1960*. Fondazione MAXXI.

*Cultural and Convention Center, Norfolk - Virginia (1965 - 1971)*. Fondazione MAXXI.

Eduardo Torroja. *Razón y ser de los tipos estructurales*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2007.

