

PALACIO DEL TRABAJO. TURÍN, 1960-61.

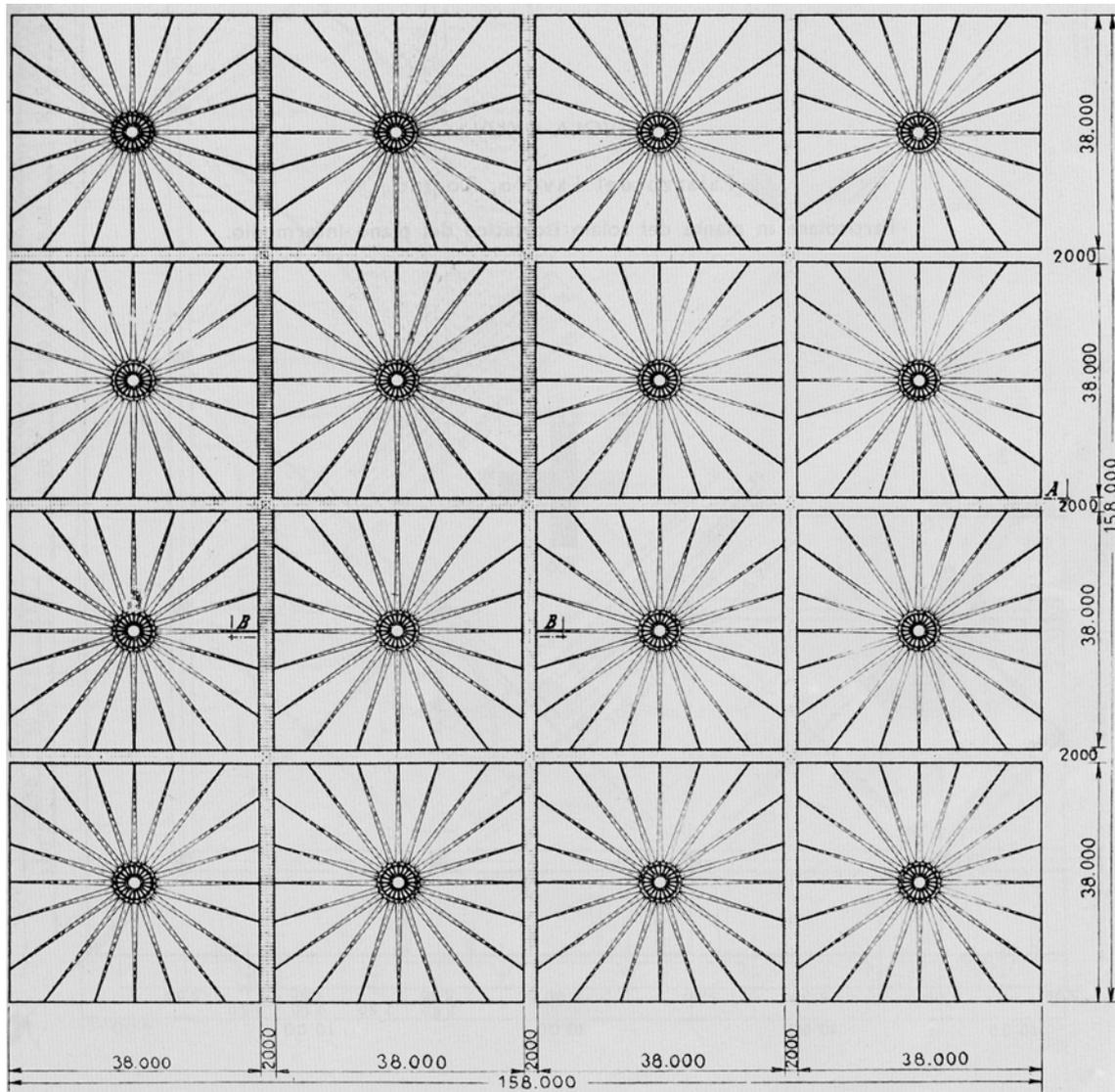
Antonio Nervi y Pier Luigi Nervi con la colaboración en la construcción de las estructuras de hierro del ingeniero G. Covre.



Este proyecto ganó en julio de 1958 el concurso convocado por el Comité Italia 61' con ocasión del centenario de la unidad del país. El destino del edificio era doble: uno provisional, acoger la Exposición Internacional del Trabajo, y otro definitivo como gran centro profesional y de negocios. Las bases determinaban la superficie a cubrir y el programa debía ser capaz de dar respuesta a los dos usos previstos.

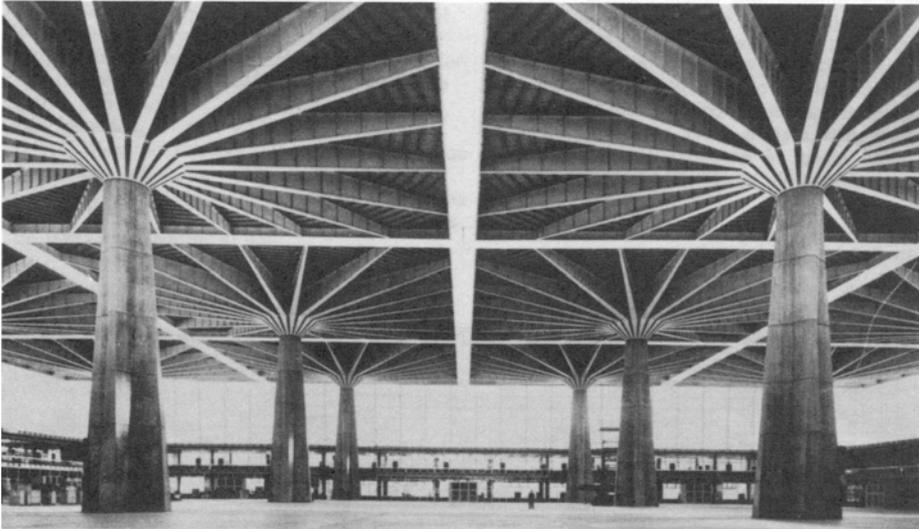
Otro condicionante era la necesidad de completar la obra en muy poco tiempo. El Palacio del Trabajo de Turín es un edificio de grandes dimensiones que se levantó en sólo doce meses. Esta condición del encargo puso en primer plano la importancia del proceso constructivo y de la organización de los trabajos y condicionó, en cierto modo, algunas características del diseño final.

La cubierta se fragmentó en dieciséis elementos cuadrados de 38 por 38 metros, dispuestos en una malla de cuatro por cuatro módulos. Cada uno de los cuales consistía en un gran pilar con su correspondiente forjado (a modo de paraguas). Entre ellos se dejó una banda de techo libre de 2 m, separación que permitía el paso cómodo de las grúas, necesarias para montar los forjados metálicos. (En total más de 250.000 metros cuadrados de techo). La modulación permitió organizar la construcción de manera que muchos trabajos podían hacerse a la vez.



El forjado de cada módulo está formado por 20 vigas, resueltas con perfiles metálicos colocadas en voladizo, en disposición radial, sobre los capiteles de los pilares de hormigón armado. En las franjas de separación del techo entre los módulos se colocó

un cerramiento acristalado con lo que se dotó a la nave de una claraboya corrida que ilumina todo el recinto.



Vista interior.

Las cuatro fachadas son completamente acristaladas y una estructura metálica externa da rigidez al cerramiento de manera independiente de la estructura principal. En todo el perímetro de la planta se construyó una galería para oficinas y servicios, y sus forjados se construyeron con un encofrado móvil de nervios curvilíneos. En este forjado se apoya la estructura del cerramiento perimetral y sus protecciones solares, que se colocan en aquellas fachadas donde incide el sol.



Detalle de la esquina.

La geometría del pilar.

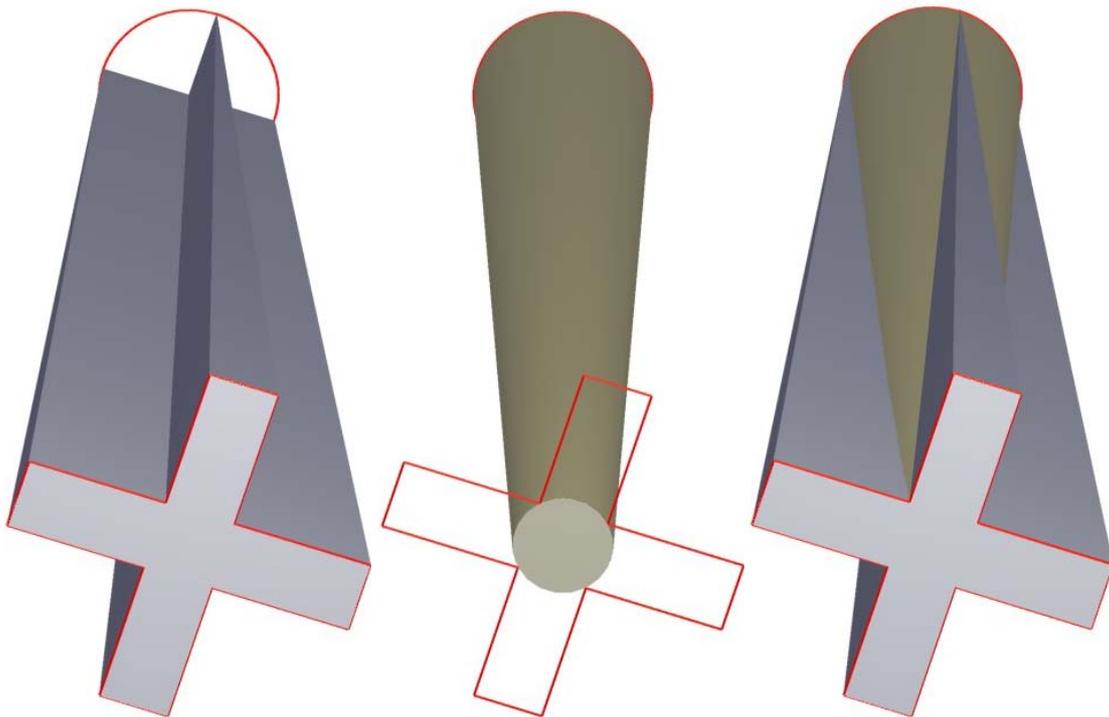
Este tipo de edificios, de programa poco concreto, requieren unas dimensiones fuera de lo normal. Este es el primer condicionante, con distancia, de entre todos los que intervienen en el diseño de los elementos estructurales: su magnitud.



La estructura de la cubierta es independiente de los forjados de la galería perimetral.

Cada pilar tiene una altura de 20'85 metros y su sección a nivel del suelo es una cruz griega formada por dos brazos rectangulares de 1 por 5 metros; mientras que su sección en el capitel es un círculo de 2'50 metros de diámetro. Entre las dos directrices extremas se desarrolla todo el fuste que cambia de una silueta a otra de manera suave, sin aristas horizontales. Esta es la superficie de transición estudiada en este edificio.

El modo de resolver esta transición es, como en los casos de otros pilares analizados antes, plantear ciertas aristas longitudinales rectas entre las dos directrices extremas de partida que dividen en partes iguales el pilar. También aquí, se puede entender su volumen como la macla de unas figuras básicas formadas a partir de las secciones extremas iniciales: para este caso serían dos prismas triangulares cruzados y un tronco de cono invertido, como se representa en los dibujos siguientes.



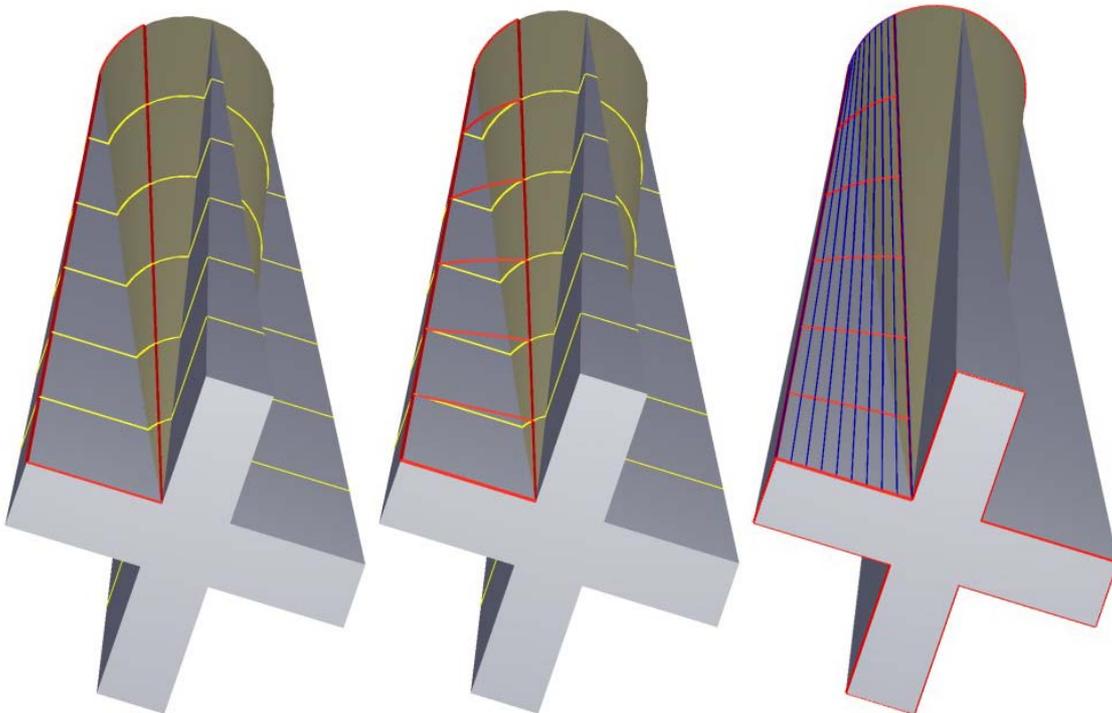
Este planteamiento a base de volúmenes simples es sólo una manera de explicar la construcción geométrica de la forma de los pilares.

Esta primera operación permite concentrar los problemas constructivos de la forma en pocos puntos. Los cuatro triángulos laterales forman cuatro caras planas que ya son parte de la envolvente del fuste. En el resto de la figura aparecen, otra vez, aristas entre caras que forman ángulos cóncavos. En este caso, además, una de las caras en cuestión es curva y en el vértice inferior coinciden dos aristas cóncavas cosa que complica más aún la esquina, sobretodo ante la idea de construir un molde de madera.

Este caso es algo distinto a los anteriores por tener una cara curva con lo cual el cuadrilátero alabeado que se convertía en paraboloides hiperbólicos es también ahora un cuadrilátero alabeado pero con un lado curvo. Gracias a la simetría de todo el pilar basta con resolver la mitad de la esquina formada por las tres caras que se han descrito, para después repetir la solución en el resto del elemento. Resolviendo un octavo de la envolvente se da respuesta a todo el pilar.

La arista longitudinal que ha servido para dividir en dos mitades la cara curva del tronco de cono es una generatriz de ese cono. La superficie que se debe resolver queda reducida al cuadrilátero alabeado formado por: esa generatriz del cono, la arista larga de la cara plana, el lado del brazo de la cruz y un octavo de circunferencia.

En la siguiente imagen, a la izquierda, se han dibujado las líneas horizontales que acentúan la geometría de la figura compuesta descrita hasta ahora, basada en la macla de figuras básicas, y se destacan en rojo las que delimitan lo que después será una cara alabeada. Los siguientes dos dibujos reproducen la formación de la cara alabeada.



Las líneas destacadas en rojo definen la cara que se resuelve como superficie reglada alabeada. En azul las generatrices del reglado.

Esta cara alabeada es una superficie reglada y para tener un control de ella hay que entender cual es su geometría. Cualquier superficie alabeada queda determinada por tres directrices. En el caso de este pilar el cuadrilátero alabeado define dos de ellas que son la arista de la base y la arista curva del capitel. Las dos líneas longitudinales (la generatriz del cono y el lado del triángulo) son las dos generatrices extremas que forman parte de la superficie reglada.

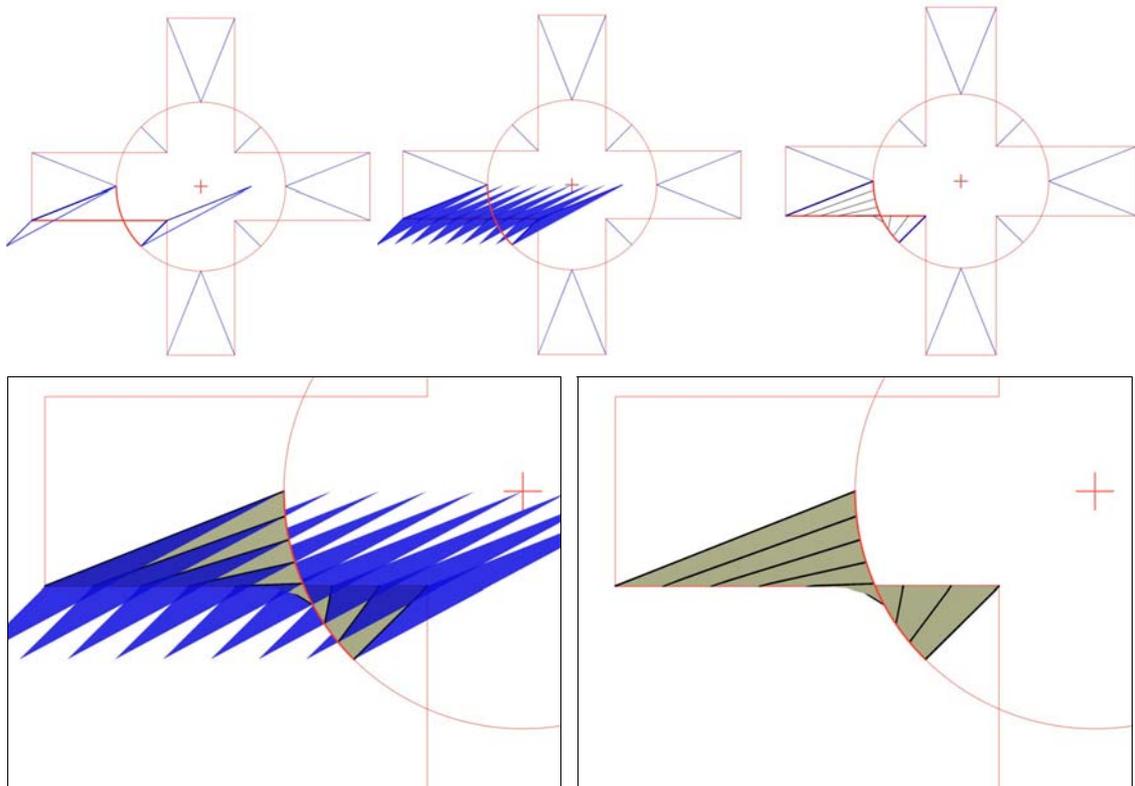
La cuestión que queda por determinar es la tercera directriz. Esta tercera directriz viene a ser la ley que debe definir la distribución de rectas generatrices que se apoyan en las dos directrices establecidas. Gracias a esta ley se podrá saber la generatriz de la superficie para cualquiera de sus puntos. En esto se cifra la capacidad de control de esta forma: en la posibilidad de situar cualquier punto en la superficie.

La opción más inmediata sería que las rectas generatrices fueran paralelas a un mismo plano. Este plano sería, obviamente, la orientación paralela a las dos generatrices extremas. Éstas son dos rectas que se cruzan en el espacio, por lo tanto, hay una orientación (un plano) del espacio común a ambas: el plano determinado por dos rectas paralelas a ellas que se cortan en un punto.

Una vez determinado este plano basta con desplazarlo para cortar con él las dos directrices y por cada par de puntos obtenidos así se definiría una generatriz de la superficie. La familia de rectas así construidas formarían una reglada de plano director en la que todas las generatrices se mantendrían paralelas a una misma orientación.

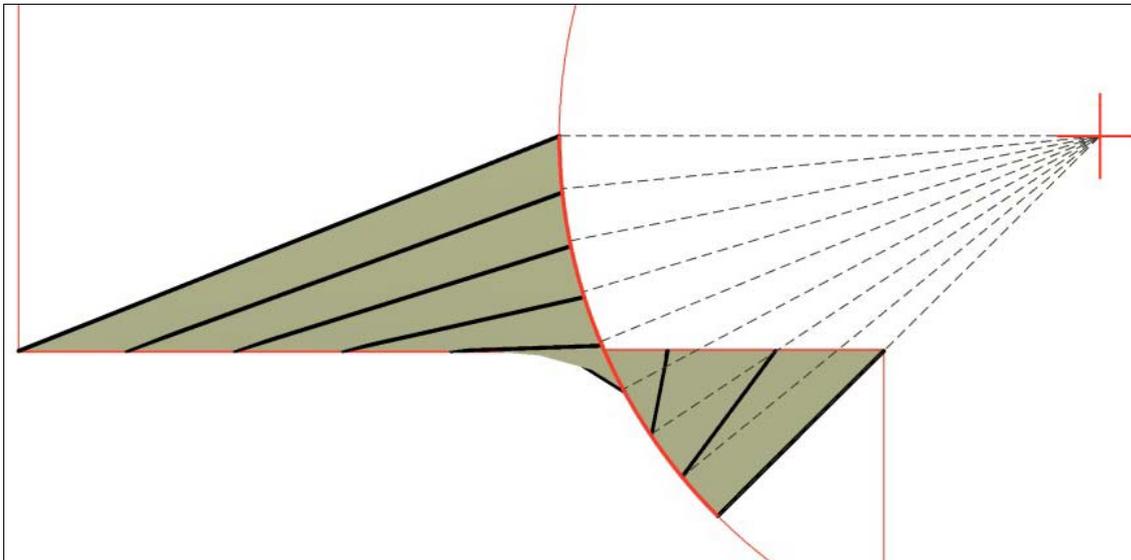
Los dibujos siguientes pretenden ilustrar como sería la formación de estas caras alabeadas formadas según la opción de plano director. A la izquierda, se representa la formación del plano paralelo a las generatrices extremas. En el centro la familia de planos paralelos cortan las dos directrices y, a la derecha, las rectas

generatrices que forman la superficie propiamente dicha. Más abajo, el detalle representa todo el proceso en una sola imagen.



Detalle en planta donde se representan la familia de planos paralelos a las dos generatrices extremas, las generatrices que éstos planos definen (en línea negra) y la superficie que forman.

Sin embargo, debido a que una directriz es curva y la otra es recta, los cortes del plano con ellas no serían proporcionales, es decir que, en general, el plano que cortaría el segmento recto por la mitad no cortaría por la mitad el arco.

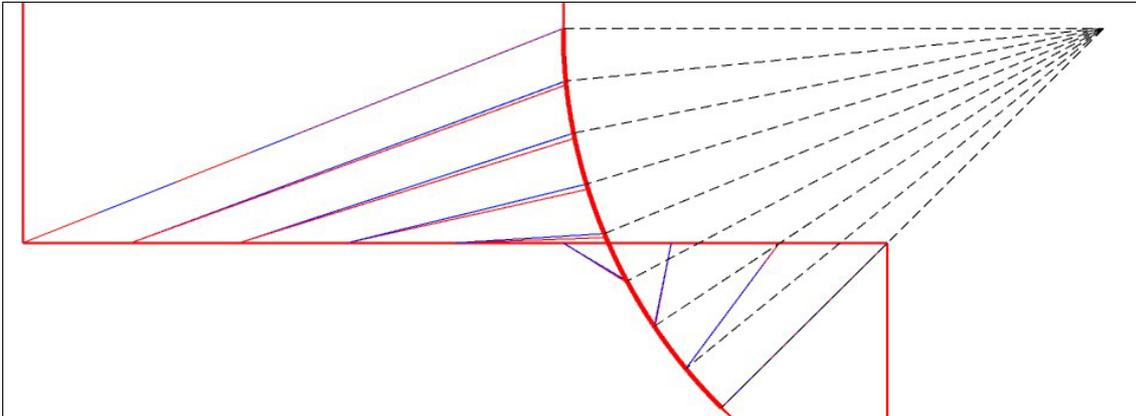


Las líneas discontinuas dividen la circunferencia en partes iguales y no coinciden con los extremos de las generatrices obtenidas por los cortes de la familia de planos paralelos.

Otra opción posible sería la superficie formada por rectas apoyadas en las dos directrices de tal manera que éstas quedarán divididas en partes iguales: una construcción por equidistancias. Esta variante de superficie reglada alabeada no se recoge en los libros de geometría como ejercicio abstracto, pero como construcción geométrica incorpora la lógica de la construcción material.

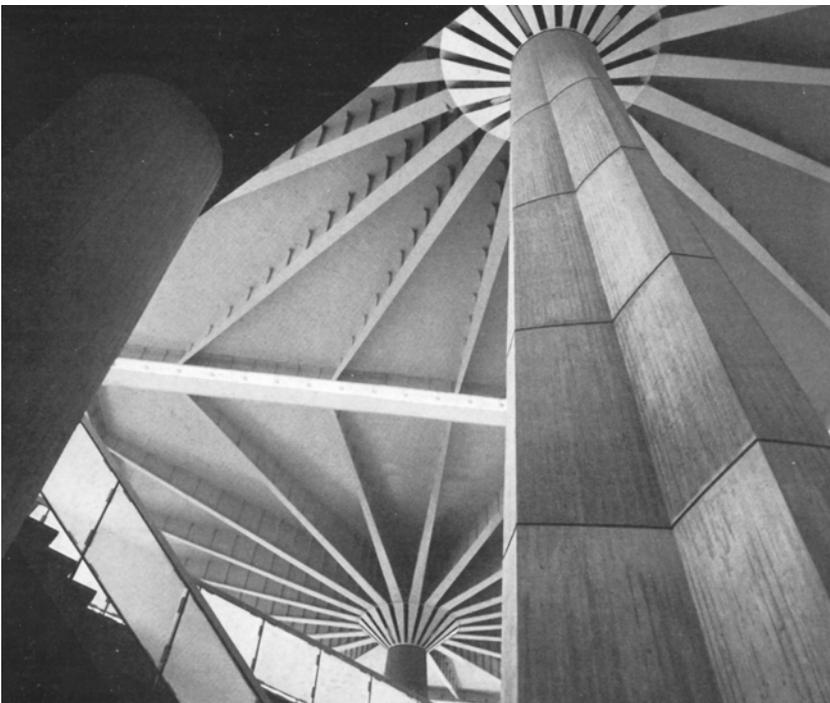
Las dos opciones (la de generatrices equidistantes y la de generatrices de plano director) dan superficies muy parecidas de hecho la desviación de las generatrices de plano director sólo es, en los casos más desfavorables, de unos 12'5 milímetros respecto de las generatrices de equidistancias.

El dibujo representa las dos opciones de reglado de la superficie. La que corresponde a rectas generatrices paralelas a un plano se han destacado en rojo. Las generatrices en azul representan la familia de generatrices que dividen las dos directrices en el mismo número de partes iguales. Las dos opciones son muy parecidas y producen superficies muy similares.



Detalle en planta del pilar con las dos familias de generatrices superpuestas.

De hecho la huella que han dejado los listones del encofrado en el pilar reforzaría la idea de que la opción construida es la segunda puesto que las juntas son continuas en toda la longitud del fuste y en igual número. Como se reconoce en las fotografías, las generatrices se *dibujan* en la piel del pilar debido a su construcción.



Vista del pilar desde abajo.

La construcción del pilar

Llama la atención el hecho de que, aun siendo los forjados metálicos, los pilares se construyeran de hormigón. Pero se consideró que el tiempo de espera para el fraguado de los pilares y la reutilización del molde no supondría un retraso en el proceso y en cambio se podrían organizar los trabajos de manera rigurosa.

Puesto que el hormigón debía quedar visto y los pilares debían ser iguales entre ellos, se construyeron en serie: a partir de un mismo encofrado que se pulía y reparaba cuidadosamente después de cada vertido y desencofrado. La superficie del molde era de doble capa de madera. La cara que iba a quedar gravada en la superficie se formó con listones de unos 12 cm de ancho perfectamente clavados a la segunda cara. Estos listones dispuestos longitudinalmente al pilar seguían las líneas rectas de la superficie e iban menguando al acercarse al capitel, puesto que, cada cara alabeada reduce su anchura de dos a poco menos de un metro en los 20'85 metros de la altura del fuste.

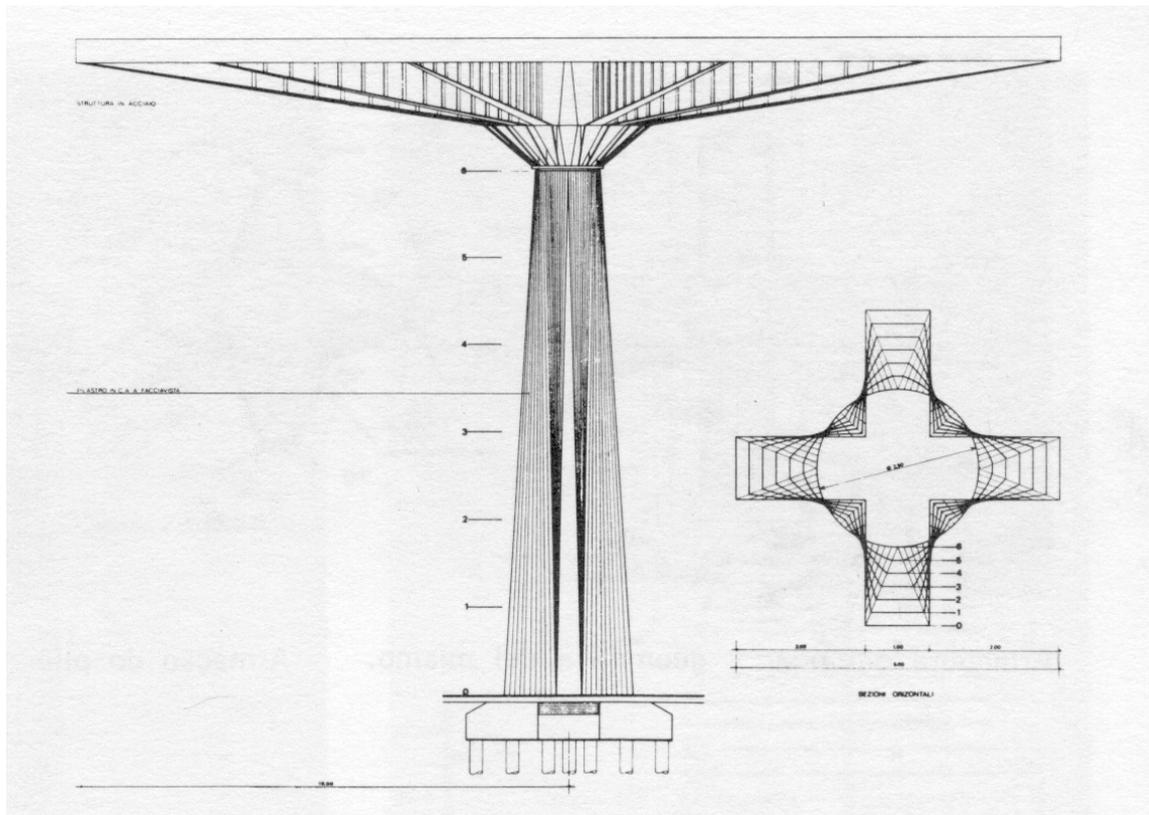


El hormigonado se hizo en seis vertidos y entre cada uno y el siguiente se dejó un berenjeno de 2 cm, para permitir un mejor control del acabado del material en las juntas de construcción. Un almacén de barras, a modo de costillas exteriores, permitía asegurar que los moldes mantuvieran su forma después del encofrado y el desencofrado sucesivos.

Las imágenes que se conservan de la construcción dan idea de cómo se conformó el molde. Aunque el fuste se dividió en 6 partes para fraccionar el encofrado, cada uno estos tramos se construyó a base de una sucesión de secciones horizontales. De manera que cada fragmento es, a su vez, una pieza de sección variable, una forma de transición. Son esas secciones lo que se construye realmente y lo que permite asegurar el control de la forma curva alabeada sin discontinuidades.

El dibujo del pilar

Para entender la manera en que se ha concebido un elemento, en cuanto a su forma exterior, es interesante observar los dibujos que lo definen, la manera de dibujar y, especialmente, qué se dibuja de ellos.



En lo referente a los pilares de este edificio, Nervi dibuja básicamente una planta con los cortes sucesivos correspondientes a los seis vertidos del hormigonado. Igual que se dibuja el plano de un barco: por secciones. No sólo se dibujan las directrices extremas (la circunferencia y la cruz), sino que se superponen a ellas las secciones intermedias, de transición. El alzado del pilar aporta, para la definición de la forma, el dato de la altura y de la situación de las secciones horizontales. Se podría decir que la forma queda definida por las secciones transversales descritas en planta y que el alzado describe la ley que las organiza.

En este caso de elemento de sección variable, el dibujo de la planta define la forma por sí solo. Bastaría con escribir el valor numérico de la altura de cada sección horizontal para aportar la tercera dimensión a esa proyección ortogonal, como se haría en sistema acotado de representación.

Considerando así las secciones del fuste del pilar superpuestas en el dibujo en planta, se puede acabar de determinar la geometría de las caras alabeadas. Entre las dos opciones de solución geométrica que antes se han descrito como posibles, se ha escogido aquélla que parte de una arista recta en el ángulo convexo, a partir de los dibujos del alzado. Este dibujo de "curvas de nivel" del pilar apoya esta teoría porque las rectas generatrices se distribuyen de tal manera que dividen cada directriz extrema en partes iguales.