

# CONNAÎTRE ET RESTAU- RER LE FERROCIMENT DE PIER LUIGI NERVI DEUX OPPORTUNITÉS RÉCENTES



Toutes les œuvres de Pier Luigi Nervi portent la marque de ses qualités uniques d'ingénieur concepteur. En même temps, elles ont toujours été étroitement liées aux conditions culturelles et sociales italiennes. Ces dernières changent considérablement pendant sa longue carrière (entre 1910 et la fin des années 1970) qui peut être divisée en trois grandes périodes: la première, qui commence avec la Première Guerre mondiale, est marquée par les vicissitudes de l'époque fasciste et le règne du régime autarcique; la deuxième qui suit la Seconde Guerre, peut être définie par l'intense activité de la Reconstruction et l'euphorie du boom économique; la troisième enfin se caractérise par l'austérité consécutive à la crise pétrolière qui marque les années 1970. Ainsi, il apparaît que Nervi ait vécu non pas une, mais trois vies.

Après avoir débuté comme architecte moderne, il fut l'ingénieur créateur d'une nouvelle méthode de construction, le Système Nervi, pour enfin devenir le célèbre constructeur que l'on sait, à la renommée internationale. Toutes aussi intenses, ces trois vies coexistent, interagissent, tout en restant indépendantes les unes des autres<sup>1</sup>.

1 Sur l'œuvre de Nervi, voir Sergio Poretti, « Nervi che visse tre volte », dans Tullia Iori, S. Poretti, *Pier Luigi Nervi. L'Ambasciata d'Italia a Brasilia*, Milan, Electa, 2008, pp. 8-49; Tullia Iori, *Pier Luigi Nervi*,

Milan, Motta Architettura, 2009; Tullia Iori, Sergio Poretti, « Pier Luigi Nervi: his Construction System for Shell and Spatial Structures », *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*,

vol. 54, n° 176-177, 2013, pp. 117-126. Sur la « première vie » de Nervi, voir Claudio Greco, *Pier Luigi Nervi. Dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino, 1917-1948*, Lucerne, Quart Editions, 2008.

## Le Système Nervi

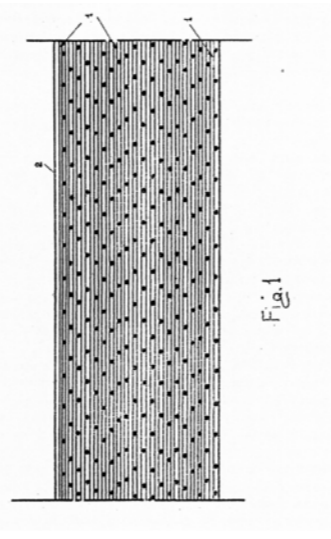
La période de la carrière de Nervi qui nous intéresse le plus du point de vue de la construction est sa « deuxième vie » qui débute lorsque le débat sur l'autarcie fait rage en Italie. En 1935, celle-ci envahissait l'Éthiopie et la Société des Nations lui imposait alors de lourdes sanctions. En effet, aucun Etat ne pouvait lui vendre des matériaux qui puissent être utilisés à des fins militaires, en particulier les métaux. Le fascisme voyait là l'occasion de promouvoir l'autarcie, c'est-à-dire l'autosuffisance économique déjà inhérente à la doctrine du corporatisme des années précédant le Régime. La modeste production nationale d'acier allait être exclusivement destinée à l'armement. En conséquence, l'industrie de la construction devait renoncer aux barres d'armature, et donc au béton armé. En 1937, ce matériau fut accusé de ne pas être suffisamment « italien » et le régime fasciste restreignit son utilisation. D'abord limité à certains types de bâtiments (les édifices hauts et ceux des zones sismiques), il fut tout simplement interdit en 1939.

Lors de cette période difficile, Nervi explora à nouveau les potentialités inconnues du béton armé en concevant des hangars d'aviation pour l'armée de l'air italienne (les premiers à Orvieto). Les matériaux anti-autarciques, interdits dans les bâtiments civils, étaient évidemment disponibles pour la construction d'équipements militaires. L'aventure des hangars marque alors la transformation de la société Nervi & Bartoli en un véritable laboratoire pour la recherche expérimentale de nouvelles manières de construire. Selon Nervi, le béton armé n'était pas une technique de construction codifiée, mais plutôt une « stratégie de construction » susceptible d'être améliorée ou intégrée à d'autres inventions car il n'était qu'aux premiers stades de son développement.

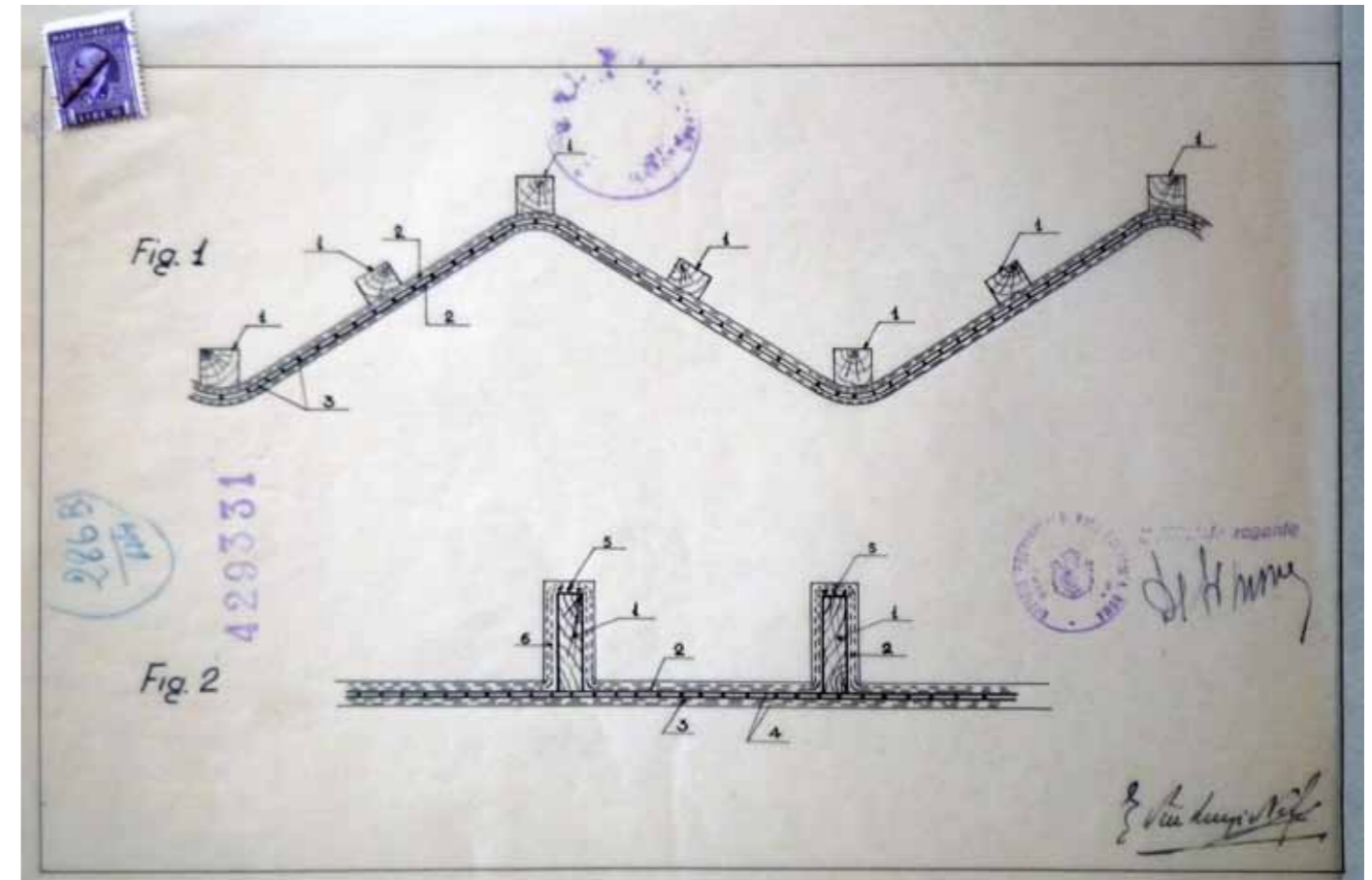
Deux inventions majeures vont être à la base de la nouvelle méthode de construction des structures de Nervi.

La première est définie par l'ingénieur lui-même comme « préfabrication structurelle » et a été introduite en 1940 lors de la deuxième série de hangars pour avions, construite à Orvieto, Orbetello et Torre del Lago. L'enchevêtrement d'arcs entrecroisés de la première série de hangars (Orvieto) a été effectué sur place par coulage au moyen d'un coffrage complet en bois très coûteux et long à confectionner. Lors de cette deuxième occasion, les arcs ont été préfabriqués en petites portions, puis assemblés sur place en rétablissant ainsi la conformation monolithique et la continuité structurelle de l'ensemble. Pour construire les fragments d'arc en treillis, Nervi dispose des planches de bois (recyclées des dizaines de fois) directement sur le sol battu. Les coûts sont réduits de façon spectaculaire. Le système est immédiatement breveté.

La seconde invention est celle du « ferrociment » (*ferrocemento*). Si le béton armé ordinaire est un matériau composé de béton avec très peu d'acier, Nervi inverse les proportions habituelles des deux composants : il prépare un ensemble de maillages d'acier disposés les uns sur les autres (qu'il compare à du « feutre ») et les recouvre de béton appliqué à la truelle sur un côté, jusqu'à ce que le « feutre » (feltro) soit saturé et que le béton ne puisse sortir de l'autre côté, là où il est lissé. L'élément ainsi obtenu, très fin (3 cm à peine en général), est très résistant, élastique, flexible et peu onéreux car il ne nécessite pas de coffrage. En outre, Nervi montre que son matériau, à portée égale et précisément en raison de l'épaisseur réduite, utilise beaucoup moins d'acier que le béton armé ordinaire. Bien sûr, pour être employé dans la construction, le ferrociment doit être façonné sous une forme appropriée (ondulée ou plissée par exemple) afin de devenir « résistant par la forme ». Il s'agit bien là d'une variante « génétique » du béton armé.



1



2



3

**Photo d'ouverture** Le Pavillon de la Magliana après restauration, 2013.

1 Brevet italien n° 406296, Pier Luigi Nervi, Rome, *Perfezionamento nella costruzione di solette, lastre e altre strutture cementizie armate*, 15 avril 1943.

2 Brevet italien n° 429331, Pier Luigi Nervi, Rome, certificat completif au brevet n° 406296, 29 septembre 1944.

3 Le Pavillon de la Magliana presque terminé, 1945.

2 Voir brevet italien n° 406296, Pier Luigi Nervi, Rome, *Perfezionamento nella costruzione di solette, lastre e altre strutture cementizie armate*, 15 avril 1943.  
 3 Brevet n° 429331, Pier Luigi Nervi, Rome, certificat completif au brevet n° 406296, 29 septembre 1944.  
 4 Le bois dans le ferrociment s'est au fil du temps mieux

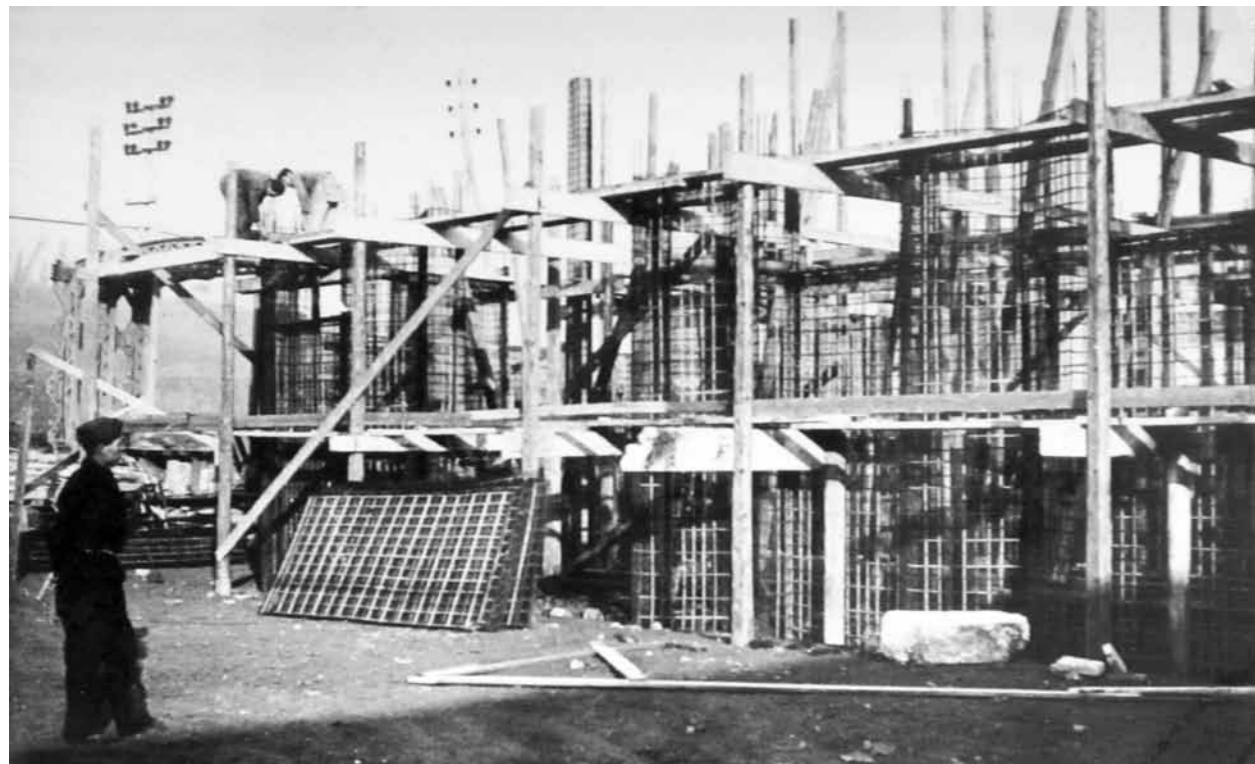
conservé que l'acier.  
 5 C'est en février 2013, au cours des travaux de restauration à l'intérieur du Pavillon de la Magliana et suivant les directives de Nervi, ainsi que le relevé de l'édifice original, que l'entreprise de construction S.A.G.I. a reproduit un fragment de la paroi verticale courbe du pavillon (1,35 mètre de large sur un mètre de

haut). Le fragment est aujourd'hui exposé au Département DICII, à l'Université de Rome Tor Vergata.  
 6 Voir Pier Luigi Nervi, *Scienza o Arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Rome, Edizioni della Bussola, 1945.  
 7 Voir Pier Luigi Nervi, *El lenguaje arquitectónico*, Buenos Aires, Platt S.A.C. e I., 1951.

Le 15 avril 1943, Nervi dépose son premier brevet sur le ferrociment<sup>2</sup>. Quelques mois plus tard, la situation politique italienne est bouleversée. En août, le fascisme s'effondre et le 8 septembre 1943 l'armistice est signé; les nazis envahissent Rome. Nervi ferme son entreprise afin de ne pas être obligé de collaborer avec l'envahisseur.

Quelques prototypes de ferrociment se trouvent alors sur le balcon de sa maison, soumis aux intempéries et montrés aux collègues en visite, juste pour tenter d'en imaginer les applications possibles. Le 6 juin 1944, les Alliés débarquent. Rome est libérée, même si la guerre continue et que le front se déplace sur la *Linea Gotica*, près de Florence. Nervi rouvre alors son entreprise. Sur un terrain dont il est propriétaire, situé à la Magliana, il conçoit et construit un pavillon intégralement en ferrociment de trois centimètres d'épaisseur seulement, première construction utilisant ce matériau.

Au cours des mois qui suivent, les caractéristiques du ferrociment changent: au paquet de treillis d'armature est ajouté un noyau interne de tiges d'acier et des éléments en bois rigidifiant le maillage. Le matériau est protégé par un nouveau brevet, le 29 septembre 1944: «Le voile (*soletta*) est composé d'une couche centrale de faible épaisseur (un quart ou un cinquième de l'épaisseur totale) et de deux couches extérieures armées de plusieurs treillis, sans porter atteinte au principe fondamental selon lequel les multiples couches de treillis, (espacées de tiges), doivent former une épaisseur inférieure de quelques millimètres seulement à celle du voile final, nécessaire pour couvrir les couches externes de mortier de ciment»<sup>3</sup>



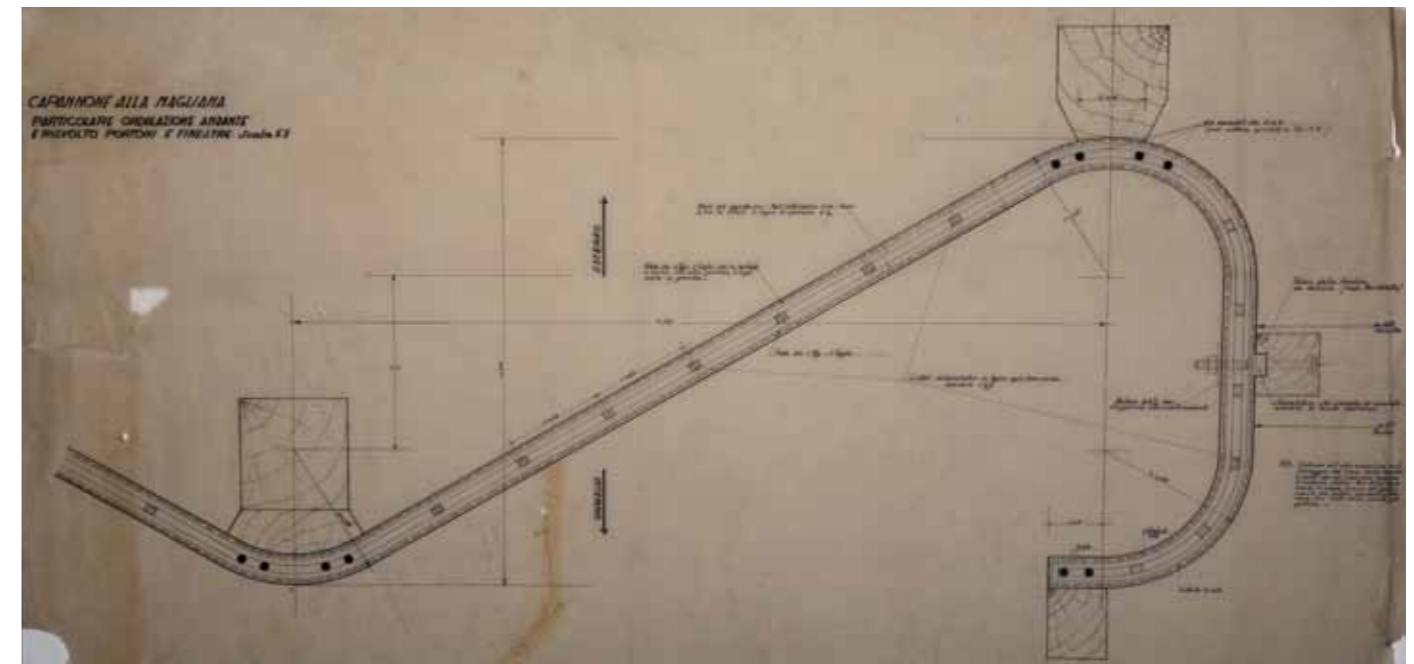
4

4 Le Pavillon de la Magliana en construction, 1944-1945.

5 Détail 2257/5 du ferrociment de la paroi verticale du pavillon.

6 Modèle en bois servant à pré-assembler les barres verticales et horizontales avec les tasseaux.

7 Mise en œuvre des armatures.



5



6



7

Nervi raconte, dans le texte du brevet, comment il a construit le pavillon. D'abord, il prédispose les montants en bois qui forment l'échafaudage de la structure (ces montants finiront par être éliminés une fois l'ouvrage terminé). Puis, il prépare l'armature, en métal et en bois, ligaturée à l'aide de fils de fer, de façon à donner à l'ensemble une certaine robustesse. Pour plier l'acier d'armature à la bonne courbure, les ouvriers utilisent une matrice en bois qui sert également à pré-assembler les barres verticales et horizontales avec les tasseaux. Enfin, les treillis sont mis en œuvre, petit à petit, directement sur place.

Pourquoi tant de bois? Le bois coûte moins cher et est, dans l'immédiat après-guerre, plus facile à trouver que les tiges d'acier. Le bois ne se plie pas facilement, de sorte qu'on ne peut pas l'utiliser pour les courbes mais uniquement pour les surfaces planes. A l'intérieur de ce premier ferrociment, le bois n'a pas de fonction statique, étant constamment interrompu, mais sert à assurer la rigidité de l'armature de sorte que les deux couches du treillis peuvent être correctement maintenues entre elles. En effet, si l'armature est rigide, elle emprisonne mieux le mortier de ciment et engendre moins de pression et de fatigue pour l'ouvrier<sup>4</sup>.

Ainsi, le mortier est introduit (avec la plasticité voulue) à la truelle, à travers l'armature métallique «de telle sorte que l'exécution de l'opération sur l'une des faces du voile implique que le ciment reflue vers l'autre face, en remplissant complètement l'épaisseur. [...] L'opération est donc effectuée d'un côté, mais contrôlée

de l'autre pour s'assurer de la distribution uniforme du mortier. Pendant cette première étape du traitement, les faces externes du voile, et en particulier celle vers laquelle le mortier est poussé, ne peuvent être parfaitement régulières; dès que le mortier commence à prendre, les surfaces devront être travaillées à la taloche ou à la truelle en obtenant ainsi la couche de finition désirée. La structure est complètement terminée dès le premier traitement, sans nécessiter d'enduits supplémentaires.»<sup>5</sup>

Le 22 mai 1945 quand le premier livre de Nervi, *Scienza o Arte del costruire?*<sup>6</sup> fut imprimé, le pavillon était presque terminé (une image illustre les trois quarts du bâtiment). Six pages sont d'ailleurs consacrées au ferrociment qui va permettre à Nervi de devenir l'ingénieur le plus célèbre du monde. Dans le livre suivant, *El lenguaje arquitectónico*<sup>7</sup> (publié le 20 décembre 1951 à Buenos Aires) Nervi dit, se référant au «galpón para nuestro depósito de Roma»: «La construction a obtenu d'excellents résultats techniques, même si son coût est quelque peu supérieur à celui du système traditionnel.»

## Les applications du ferrociment et la mise au point du Système Nervi

Nervi n'utilisera presque plus le ferrociment comme dans le Pavillon de la Magliana: trop pénible, trop long, trop compliqué. En dehors des bateaux, de la couverture de la Foire de Milan (conçue principalement par Guido Oberti, construite par une autre entreprise et aujourd'hui détruite) et de quelques autres petites œuvres sculptées (comme le tremplin pour le Kursaal ou la sphère pour l'Exposition EA53), il préférera ne pas réaliser de structures porteuses en ferrociment confectionnées directement sur place.

Dès lors, le ferrociment ne sera utilisé que pour préparer de petits éléments afin de composer, comme dans un puzzle, des ouvrages gigantesques. Le cœur du système de construction Nervi est désormais la combinaison du ferrociment avec la préfabrication structurelle.

Le Système Nervi est une méthode de construction à la fois économique et rapide. Économique, car il élimine les coffrages en bois coûteux et difficiles à réutiliser, tout en réduisant les coûts des matériaux en limitant les épaisseurs des éléments porteurs (diminuant ainsi le poids propre). Rapide, car l'exécution est décomposée en deux secteurs autonomes où les ouvriers peuvent travailler en parallèle: d'une part, le chantier proprement dit où sont réalisés les fouilles, les fondations, les piliers et l'ensemble des éléments coulés en place; de l'autre, le chantier de préfabrication nécessaire à la confection des éléments complétant la structure. Ceux-ci sont petits, légers et faciles à déplacer de la zone de stockage au chantier qui se trouve toujours à proximité. Le temps d'exécution nécessaire et les coûts de réalisation sont ainsi réduits de moitié.

Cet ingénieux système est développé durant de nombreuses années. C'est grâce aux tentatives et aux erreurs successives qu'est trouvée la solution la plus efficace. Pour réaliser des voûtes et des coupes, il faut d'abord décomposer la structure en petits morceaux. Combien? Il est nécessaire, à chaque fois, de trouver un compromis entre le nombre de pièces, leur taille et donc leur poids, et la difficulté d'organiser le chantier. Comment préparer les pièces avec la certitude qu'en les assemblant, elles formeront correctement une voûte, ou mieux, un dôme? Dans ce dernier cas, comment faire pour que les morceaux aient la double courbure nécessaire à la formation de la coupole?

Il faut d'abord un modèle de préparation: Nervi emploie à cette fin une contre-forme en terre. La solution ressemble beaucoup à celle utilisée dans la construction des hangars. Pour la petite « facocchieria » à Torre in Pietra (1946), les planches de bois sont placées sur un moule négatif de terre. Les éléments, rhomboïdaux sont d'abord des boîtes renversées. Dans le Hall B du Palais des Expositions de Turin (1947-1948), les « vagues » font pour la première fois leur apparition, décomposées en « claveaux » et brevetés rapidement après l'inauguration de l'édifice. Les claveaux des vagues sont préfabriqués à même le chantier sur des formes en bois (huit types



8



9

8 Voir Tulli Iori, « Pier Luigi Nervi Annibale Vitellozzi Palazzetto dello sport a Roma, un prototipo ripetibile e a buon mercato / The Palazzetto dello Sport in Rome », Casa-

bella, n° 782, octobre 2009, pp. 50-65; Tulli Iori, Sergio Poretti, *The Nervi System: A Model-Game to understand*, dans Robert Carvais, André Guillerme, Valérie Nègre, Joël

Sakarovitch (dir.), *Nuts & Bolts of Construction History. Culture, Technology and Society*, vol. 1, Paris, Picard, pp. 97-103.



10



11

différents ici). Dans le hall sont également utilisés des losanges particulièrement perfectionnés: Nervi leur ajoute un bord de sorte que deux pièces mises côte à côte forment un canal permettant de réaliser le coulage du béton « sur place ». Cependant, pour façonner les pièces, une simple planche de bois ne suffit plus. La préparation devient compliquée. Le moule doit être positif, comme on le voit sur le chantier de la construction de la coupole elliptique qui couvre la salle de bal de Chianciano Terme (1952).

Ce bref résumé ne mentionne que quelques-unes des étapes de l'évolution du système, l'excellence étant atteinte avec le Petit Palais des Sports de Rome (1956-1957). Le dôme est ici constitué de 1620 blocs creux rhomboïdaux, appelés *tavelloni* (de 13 types différents). Chaque *tavellone* est assez petit pour être confectionné à la main et déplacé par deux ouvriers. C'est là la clé de la réalisation. Ce qui a rendu le processus manuel si extraordinairement rentable, c'est une solution « générationnelle » ingénieuse qui a permis la production d'environ 30 blocs creux par jour, avec la certitude que chacun d'entre eux se recomposera exactement dans l'assemblage final<sup>8</sup>.

Quelle est donc cette solution « matriarcale »? Tout d'abord, un modèle en bois est produit qui duplique un segment de la calotte sphérique (de 10 degrés). Sur ce profil, après avoir tiré à la main les axes, 13 moules différents sont réalisés en maçonnerie. Chaque moule est utilisé pour fabriquer un bloc prototype en ferrociment constitué d'un squelette de barres d'armature minces et de treillis métalliques sur lesquelles a été appliquée une couche de béton avec du sable fin de 2,5 cm d'épaisseur. Pour dupliquer 108 fois chacun des 13 prototypes, Nervi met en place une séquence d'étapes précise: en tournant le premier bloc appelé *nonna* (grand-mère), on obtient sur l'envers un petit nombre de *mamme* (mères); les

*mamme* sont ensuite mises à l'abri où plusieurs équipes d'ouvriers les utilisent pour produire des dizaines de *figlie* (filles) qui seront employées dans le processus de construction (la terminologie générationnelle appartient au jargon du chantier).

La première pierre du Petit Palais des Sports est posée en juin 1956. Les travaux seront terminés en seulement 420 jours. Le devis est incroyablement bas: 200 millions de lires (environ 2,5 millions d'euros aujourd'hui). Le travail va vite grâce à deux chantiers contigus: dans l'un, on réalise les fondations et les 36 béquilles de béton armé traditionnel; dans l'autre, on produit les pièces d'une mosaïque qui constitueront la coupole. A la fin du mois de décembre 1956, tous les blocs préfabriqués sont prêts et stockés à proximité des béquilles disposées en un cercle presque terminé. Les blocs sont placés les uns à côté des autres sur un échafaudage très léger. L'assemblage ne requiert que 30 jours seulement. Puis, une fois le puzzle terminé, des barres d'armature sont positionnées et le béton est coulé dans les vides entre les *tavelloni*. Le dôme finira par ressembler à un bloc monolithique dont personne ne pourra jamais croire qu'il est le résultat du démontage/assemblage pourtant illustré par les photos de la construction.

8 « Facocchieria » à Torre in Pietra (1946): planches de bois placées sur un moule négatif en terre.

9 Salle de bal de Chianciano Terme (1952): chantier de la construction de la coupole elliptique.

10 Petit Palais des Sports de Rome (1956-1957). Réalisation du bloc prototype en ferrociment (les grand-mères) sur le modèle en bois.

11 Petit Palais des Sports en construction.

9 La recherche présentée ici fait partie du projet SIXXI, acronyme d'Histoire de l'Art de l'ingénieur du XX<sup>e</sup> siècle en Italie, financée par le Conseil européen de la recherche,

grâce à un ERC Advanced Grant 2011 (*Principal Investigator*: professeur Sergio Poretti), à l'Université de Rome Tor Vergata ([www.sixxi.eu](http://www.sixxi.eu)).  
10 Pour plus de détails sur

cette restauration, voir Tullia Iori, Alberto Meda, « Il restauro della motobarca in ferroceemento 'La Giuseppa' di Pier Luigi Nervi », *Enco Journal*, n° 55, 2012, pp. 19-23.

11 Le bateau a été transféré à l'Université de Rome Tor Vergata grâce à l'initiative du professeur Claudio Greco.  
12 Voir Tullia Iori, Sergio Poretti (dir.), *Pier Luigi Nervi. Architettura come Sfida. Roma. Ingegno e costruzione. Guida alla mostra*, Milan, Electa, 2010.

tura come Sfida. Roma. Ingegno e costruzione. Guida alla mostra, Milan, Electa, 2010.

En février 1957, le dôme est achevé et ouvert aux premiers visiteurs beaucoup plus tôt que prévu et dans les limites du budget. C'est cela le Système Nervi.

La particularité des dômes, des voûtes et des planchers de Nervi réside dans leur enchevêtrement minutieusement articulé, ondulé, plissé, nervuré, qui enrichit la surface. Paradoxalement, le caractère exceptionnel des œuvres de Nervi (et donc leur italianité) réside dans leur complexité obtenue à l'aide d'une méthode simple et économique inventée par lui. Cela est étroitement lié au sous-développement technologique que connaît le secteur de la construction en Italie pendant les années de reconstruction et jusqu'à la première moitié des années 1960. L'image singulière de son architecture structurelle est devenue l'une des icônes du style italien : parfait exemple (et en même temps monumental) du *made in Italy*, ingéniosité créative qui permet de tirer le meilleur parti des ressources disponibles.

## Restaurer le ferrociment<sup>9</sup>

Comme on vient de le voir, le matériau comme le système mis au point par Nervi sont tout à fait originaux. Rien de semblable n'a jamais été utilisé auparavant et qui plus est, la technique de l'ingénieur italien est en constante évolution, ce qui fait que le ferrociment de 1945 n'est pas le même que celui de 1960.

Au fil des années, le ferrociment se transforme profondément et même statiquement : alors que dans la construction des bateaux ou du Pavillon de la Magliana, il doit supporter seul les charges statiques, par la suite il se métamorphose en un matériau permettant de préparer des coffrages perdus qui restent intégrés à la structure. S'il conserve sa fonction de résistance, celle-ci n'est plus clairement identifiée : il s'agit plutôt d'un système mixte dans lequel le ferrociment agit en combinaison avec le coulage sur place du béton armé traditionnel.

Restaurer le ferrociment est par conséquent une opération expérimentale. Les procédures connues pour réparer le béton armé n'aident ici en rien. Les contraintes sont en effet les suivantes : une épaisseur de 2 à 3 centimètres à respecter strictement, une armature dense recouverte d'une pellicule de béton de quelques millimètres seulement et une fabrication artisanale. L'équipe de recherche SIXXI dirigée par le professeur Sergio Poretti et par l'auteur, tous deux de l'Université de Rome Tor Vergata, a eu la chance d'avoir à deux reprises à restaurer le ferrociment avec l'appui d'Italcementi Group, premier producteur de ciment en Italie.

Les premiers travaux de restauration ont été effectués sur le bateau à moteur « La Giuseppa », réalisé en ferrociment par Pier Luigi Nervi avec son fils Antonio en 1972<sup>10</sup>. Il s'agit du bateau familial utilisé pendant six ans pour les vacances d'été, principalement sur la côte amalfitaine. Offert par les héritiers Nervi à l'Université de Rome Tor Vergata en 2002<sup>11</sup> et entreposé le plus souvent devant le Département de génie civil, le bateau a été exposé au MAXXI (Musée national des Arts du XXI<sup>e</sup> siècle), à Rome, à l'occasion de l'exposition « Pier Luigi Nervi. L'Architecture comme défi »<sup>12</sup> (décembre 2010-mars 2011), puis au siège de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) auprès du Circo Massimo à Rome, jusqu'au mois de septembre suivant.

En prévision de cette prestigieuse tournée, le bateau à moteur a subi une restauration minutieuse. La coque en ferrociment possède une épaisseur de seulement 1,4 cm et les



12



13

12 Détail de l'armature de la coque du bateau de pêche pour la FAO, 1970.

13 Bateau de pêche en construction devant le Pavillon à la Magliana, 1970.

techniques d'intervention développées pour le béton armé, non seulement ne s'appliquent pas ici, mais n'offrent aucun appui méthodologique. L'intervention a ainsi offert une occasion unique d'analyser directement le matériau et de tester des procédures d'exécution inédites, constituant par là une précieuse contribution à la nécessité prochaine de restaurer les œuvres les plus prestigieuses de Nervi.

« La Giuseppa » est l'ultime rescapé des nombreux bateaux réalisés par l'ingénieur italien immédiatement après la fin de la Seconde Guerre mondiale. Ceux-ci, par leurs formes complexes et leur légèreté caractéristique, avaient semblé pour Nervi correspondre à l'application la plus naturelle de son nouveau matériau. Malgré les excellents résultats de ses navires, confirmant la validité de la technique nouvelle, Nervi est contraint d'abandonner rapidement ce secteur, d'une part, à cause du peu d'enthousiasme dont font preuve la plupart des utilisateurs attachés aux traditions, et d'autre part, en raison de son succès croissant dans d'autres domaines de la construction.

En mars 1967, en dépit de ses nombreuses activités, Nervi a à nouveau la possibilité de travailler sur ses bateaux en ferrociment bien-aimés. La FAO lui a en effet commandé deux embarcations de pêche destinées au lac artificiel Nasser en Egypte, alors créé par le barrage d'Assouan, dans le but de promouvoir la réalisation d'outils économiques pour la pêche, reconnus comme une aide précieuse dans la lutte contre la faim.

Le projet, auquel Nervi participe *pro bono*, prévoit de construire deux prototypes à Rome. Il envisage également de rédiger un manuel d'instructions pour leur mise en œuvre qui puisse permettre à l'avenir de former une main-d'œuvre locale capable de reproduire ce type d'embarcation, particulièrement adapté aux pays en voie de développement. En septembre 1970, les deux bateaux – l'un de 7,5 mètres et l'autre de 10 mètres – sont mis à l'eau à Fiumicino. Le programme de la FAO n'aura pas de suite, mais cette petite aventure humanitaire offre l'occasion à Nervi de relancer un projet de production de bateaux en ferrociment, en commençant par un bateau pour lui-même (qui restera le seul de cette seconde

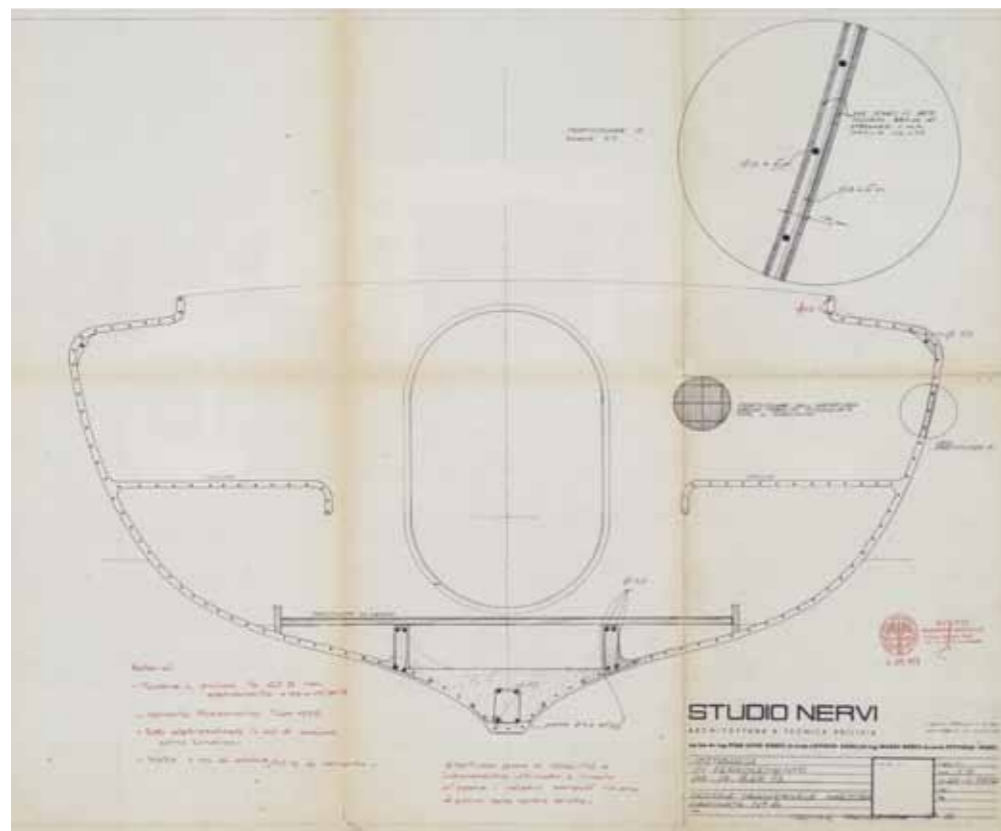
tentative devenue anachronique, le coût des matériaux n'équivalant entre-temps qu'à un cinquième de celui de la main-d'œuvre). Les autres embarcations fabriquées par Nervi ont aujourd'hui toutes disparu : abandonnées, détruites ou oubliées quelque part. Le bateau, privé de la famille et hors d'eau depuis 1979, est l'unique et précieux rescapé d'une expérimentation continue autant que stimulante.

À l'occasion du transfert du navire à Rome Tor Vergata, le chantier naval qui en avait la garde depuis des décennies a effectué une opération de nettoyage. Il a été décidé d'appliquer sur un côté de la peinture marine traditionnelle et de laisser l'autre à l'état naturel, c'est-à-dire sans aucune protection. Le bateau a été placé à l'extérieur du campus universitaire comme une véritable sculpture exposée aux agents atmosphériques.

A l'été 2010, au moment d'entreprendre sa restauration, il était très détérioré et présentait des portions de béton manquantes à cause de la corrosion des treillis d'armature. Le côté peint, bien mieux conservé en apparence, a révélé, après élimination de la couche de finition, des détériorations bien plus importantes liées à une exécution incorrecte de l'opération de nettoyage précédente (en particulier à cause de l'usage de résines incompatibles du point de vue de la matière et de la couleur).

On a d'abord effectué un lavage à l'eau sous pression pour éliminer la peinture et les pièces de conglomérat expulsées. Afin d'éliminer les résines, dont l'adhérence était plus tenace, un léger ponçage a été exécuté. L'armature dénudée, après nettoyage et brossage, a été traitée avec un vernis protecteur.

A ce stade, on a procédé à l'application d'un produit à base de ciment, mis au point pour cette intervention spécifique par les laboratoires CTG Italcementi de Bergame. Le produit utilisé, Effix Design ST, devait répondre aux exigences suivantes : être un matériau cimentaire afin d'assurer la compatibilité avec le composé d'origine, posséder une granulométrie aussi proche que possible de celui-ci, garantir une parfaite correspondance chromatique avec le matériau original très vieilli, avoir une consistance thixotrope appropriée à l'application à la main en adoptant les mêmes techniques utilisées pour la confection du ferrociment, être applicable en respectant une épaisseur exceptionnellement fine pour



14



15

14 Détail de la coque en ferrociment du bateau à moteur « La Giuseppa », 1972.

15 Restauration de « La Giuseppa » dans le Laboratoire des matériaux et des structures de l'Université de Rome Tor Vergata, 2010.

16 Restauration du bateau devant le MAXXI à Rome, 2011.



16

ne pas altérer les caractéristiques du matériau ni la géométrie de la structure (pas plus de 14 mm d'épaisseur), protéger la structure dans le temps en garantissant une durabilité suffisante et une constance des qualités chromatiques et de l'aspect lisse de la surface traitée, raison pour laquelle le matériau choisi pour l'intervention a été additionné de TX Active, un catalyseur capable de décomposer les polluants atmosphériques présents dans l'air et par conséquent assurer une surface autonettoyante.

Les matériaux ont été préparés par le laboratoire CTG, prémélangés et conditionnés dans des fûts. En raison de la durée de conservation limitée du produit, celui-ci a été mélangé avec une petite quantité d'eau et immédiatement appliqué à la truelle. L'application de deux couches, exécutée par la société S.A.G.I. de Rome, a demandé un soin exceptionnel à cause de la nécessité de maintenir la courbure double et parfois inversée de la coque, tout en conservant strictement constante l'épaisseur ajoutée.

La mise en œuvre du produit a contribué à la réalisation d'une recherche historique sur le matériau de construction d'origine. Il a en effet été possible de reconstituer les phases de réalisation du ferrociment en identifiant la procédure adoptée lors de la construction, difficilement déductible de la documentation disponible dans les archives. A titre d'exemple, la grande rugosité de l'intérieur de la coque a permis de déduire que l'application provenait de l'extérieur vers l'intérieur jusqu'à la saturation de l'armure.

L'opération a été exécutée en deux phases temporellement bien distinctes. Le nettoyage et la restauration du flanc droit ont été réalisés auprès du Laboratoire des matériaux et des structures de l'Université de Rome Tor Vergata, sous la direction du professeur Alberto Meda. La restauration du flanc gauche a été en revanche effectuée pendant l'exposition au MAXXI, devenant en elle-même une petite exposition pédagogique au sein de la rétrospective consacrée à Pier Luigi Nervi.

La restauration de « La Giuseppa » a donné l'occasion de développer des synergies entre université et entreprise, toujours souhaitées, mais difficile à réaliser en Italie. La collaboration active des laboratoires de recherche d'Italcementi s'est avérée précieuse. Sensibilisés et stimulés par la valeur exceptionnelle de l'œuvre, ils ont su mettre au point un produit spécifique, car ceux disponibles sur le marché n'étaient pas appropriés. Ce matériau, à la fois traditionnel et novateur, est non seulement en mesure de garantir le respect du ferrociment, mais est aussi capable d'actualiser sa performance, d'augmenter sa durabilité et de stabiliser sa couleur, comme en témoigne la parfaite conservation du bateau, exposé dans la cour du Département de génie civil trois ans après l'intervention.

Le projet représente le point de départ pour l'élaboration de lignes de conduite en faveur de la conservation du ferrociment utilisé dans les œuvres les plus importantes de Pier Luigi Nervi, toutes datant désormais de plus de cinquante ans. Fort du succès de la restauration du bateau, Italcementi a également contribué à restaurer le Pavillon de la Magliana en 2013.

Après la mort de Nervi, la société Nervi & Bartoli a fait faillite : son terrain et le pavillon ont été vendus aux enchères et achetés par un particulier. Le pavillon est maintenant utilisé



17

17 Le Pavillon de la Magliana en 1987.

18 Ferrociment d'origine dans le Pavillon de la Magliana.



18

comme garage. En vérité, l'Etat aurait voulu le démolir pour en faire un parking public, mais Irène Nervi, la fille d'Antonio, et l'Université de Rome Tor Vergata ont mené une action de défense qui a permis de le sauvegarder. Finalement, le pavillon a été inclus dans la « Charte Qualité » de Rome, un catalogue d'œuvres qui méritent une attention particulière de la part de l'administration, une sorte de reconnaissance culturelle, mais sans moyens concrets de protection.

Pour l'instant, le pavillon ne peut être déclaré « bien commun » : l'expropriation ne suffit pas, car on a besoin de fonds pour mener à bien un nouveau projet. Le propriétaire peut donc continuer à l'utiliser. Restaurer était donc l'occasion d'exhorter le Conseil municipal à intervenir.

La restauration a eu lieu au début de l'année 2013. Italcementi a financé les matériaux et mis au point les produits, et l'entreprise de construction SA.GI s'est chargée de l'exécution. Le laboratoire CTG a développé un béton spécial sans retrait, évolution du produit Effix utilisé pour le bateau, afin d'intervenir sur les parties endommagées et de reconstruire celles détruites. Un autre produit spécial, resté sans nom, a été utilisé pour la dernière couche de béton, à base de TX Active à l'échelle nanométrique. L'équipe SIXXI a mis à disposition ses compétences scientifiques et techniques et le projet a financé les coûts de la campagne de sensibilisation et de communication.



19



20

20 Reproduction du ferrociment, 2013: un fragment de la paroi verticale courbe du Pavillon de la Magliana.

19 Restauration du pavillon, 2013.

Photo suivante Le pavillon après restauration, 2013.

Recent restorations of the motorboat "La Giuseppa" (1972) and the Magliana warehouse (1944) have revealed some of the secrets of ferrociment, a material developed by Pier Luigi Nervi between the 1930s and the late 1950s. During his "second life" the Italian engineer invented what has become known as the Nervi System: a new way of building large structures that he developed through his long experience with constructing and engineering statics. Inventions such as ferrociment and prefabrication minimised construction time and costs; they were the basis of the system, alongside a series of original technical solutions. Ferrociment is a composite material composed of layers of reinforcement encased within a concrete containing fine aggregate. It is in a sense a "genetic" variant of reinforced concrete. Two patents were issued in 1943 and 1944. Perfected during the construction of fishing vessels, the new process had the homogeneity and formability required to make thin complex layers without timber formwork.

The warehouse in Rome was the first use of the system in building construction. The walls, no more than 3 cm thick, are formed into folds for stability. The building, now used as a garage, underwent major restoration in 2013, in the wake of the successes achieved using novel techniques to restore "La Giuseppa." This contribution is part of the European Research Project SIXXI (20<sup>th</sup> Century Structural Engineering: the Italian Contribution – ERC Advanced Grant 2011), under the leadership of Prof. Sergio Poretti.

**TULLIA IORI** est professeur d'architecture à l'Université de Rome Tor Vergata. Ses recherches portent sur l'histoire de la construction, l'histoire du génie civil et la sauvegarde de l'architecture moderne. Elle est « chercheur principal adjoint » du projet SIXXI (20<sup>th</sup> Century Structural Engineering: the Italian Contribution – ERC Advanced Grant 2011). Spécialiste de Pier Luigi Nervi, elle a été co-commissaire, avec Carlo Olmo et Sergio Poretti, de l'exposition au MAXXI « Pier Luigi Nervi, l'architecture comme défi » (2010). Ses publications récentes sont les suivantes: *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale* (2001, Prix Edoardo Benvenuto en 2003), *Ingegneria italiana* (dir., 2007); *Pier Luigi Nervi. L'Ambasciata d'Italia a Brasilia* (avec S. Poretti, 2008), *Pier Luigi Nervi* (2009), *Pier Luigi Nervi. Architettura come Sfida. Roma. Ingegno e costruzione. Guida alla mostra* (avec S. Poretti, 2010), *Ingegneria oggi* (dir., 2012), *SIXXI 1-Storia dell'ingegneria strutturale in Italia* (dir., 2014).



