



Riccardo Morandi: formes sous contraintes

L'effondrement du viaduc du Polcevera à Gênes a vu son constructeur devenir tristement célèbre. Riccardo Morandi (1902-1989) fut pourtant l'une des figures les plus marquantes de l'ingénierie au 20^e siècle, tant en Italie qu'au niveau international. Son œuvre a fortement contribué au développement du béton armé et précontraint. Cet article tente de mettre en évidence la diversité des réalisations de l'ingénieur romain et de les resituer dans leur époque.

Texte et photos: Lukas Ingold et Tobias Erb



LE VIADUC DU POLCEVERA

Concours: 1959-1960
 Construction: 1963-1967
 Typologie: pont haubané et travées en poutres
 Technologie: béton précontraint
 Longueur totale: 1182 m
 Travées principales: 208 et 203 m
 Travées courtes: 73-75 m
 Hauteur des pylônes: 90 m
 Hauteur du tablier: 45 m

- 1 Viaduc du Polcevera à Gênes (1963-1967): tel un ruban suspendu, le tablier surplombe le val Polcevera.
- 2 Le pylône qui s'est effondré le 14.08.2018. La photo date de 2013.

La profonde consternation provoquée par l'effondrement du viaduc de Gênes, qui a entraîné la mort de 43 personnes, n'a pas tardé à déclencher un débat houleux sur la cause de la catastrophe. Au vu de la polémique attisée par la presse et le monde politique, la faute a été précipitamment imputée à la conception imaginée par l'ingénieur et à l'entreprise d'exploitation responsable de l'entretien. C'est ainsi que des voix se sont élevées pour réclamer la démolition rapide des parties du pont restées intactes ainsi que la planification d'une nouvelle construction. Mais, alors que les résultats du concours pour la reconstruction sont imminents, plusieurs spécialistes se sont exprimés dans la presse spécialisée contre une démolition. Ceux-ci demandent d'envisager des variantes qui préservent le viaduc.¹ Même s'il n'existe pas de cas comparable, la reconstruction de la section effondrée du pont semble judicieuse, également du point de vue économique, pour permettre une remise en service rapide de l'ouvrage. Mais la préservation du viaduc du Polcevera présente aussi un intérêt majeur sur le plan de la culture architecturale. Le pont compte parmi les plus importants ouvrages d'art à grande échelle bâtis pendant le boom économique italien dans

les années 1950 et 1960. Il symbolise l'essor fulgurant du pays à cette époque. Une croissance qui a permis à l'Italie de se hisser parmi les principales nations européennes sur les plans économique et culturel.

Concilier structure, technologie et processus de construction

Construit entre 1963 et 1967, le viaduc du Polcevera se déploie majestueusement au-dessus de Gênes. Tel un ruban de 1,2 km suspendu à 45 m de hauteur, le tablier enjambe le fleuve qui a donné son nom à l'ouvrage, le réseau ferroviaire de la gare de marchandises, plusieurs sites industriels et un quartier résidentiel. Le viaduc constituait un axe de transport capital: au niveau urbain, il reliait le centre-ville au port industriel et à l'aéroport, tandis qu'à l'échelle nationale, c'était un maillon de l'autoroute reliant Gênes à l'ouest et au nord.

La structure représente une combinaison unique de typologies distinctes qui découlent des travées dissemblables. Dans les sections courtes de 75 m des poutres reposent sur des piles de type V. Pour les travées plus importantes, de plus de 200 m, le choix s'est porté sur une structure à haubans supportée par des pylônes de 90 m de haut.² Les haubans principaux sont enchâssés dans une gaine en béton comprimée par la précontrainte. Cet aspect de la construction a été maintes fois critiqué au cours des derniers mois, mais ce procédé convenait à l'époque pour protéger contre la corrosion.³ L'utilisation de la précontrainte a aussi joué un rôle central pour le déroulement des travaux. Des haubans temporaires ont permis de faire l'impasse sur

1 Aurelio Muttoni, interviewé par Alizée Guilhem, « La sécurité des ouvrages d'art s'améliore partout », *Le Temps*, 22.08.2018.

Voir aussi: Francesco Karrer, Tullia Iori et Roberto Realforzo, « Ripristinare Ponte Morandi? Soluzione rapida e sostenibile », *Il Sole 24 Ore*, 11.10.2018, p. 24.

2 Riccardo Morandi, « Il viadotto sul Polcevera », *L'Industria Italiana del Cemento*, n° 12, 1967, pp. 849-872.

3 Aurelio Muttoni, *op. cit.*



3

- 3 Le pont de la Magliana à Rome (1963-1968) : en référence au viaduc du Polcevera, Riccardo Morandi a utilisé ici le principe des haubans pour enjamber une des rives du Tibre les plus menacées par les glissements de terrain.
- 4 Le pont Carpineto près de Potenza (1971-1977) : le même principe de haubanage a encore été utilisé pour réaliser ce pont autoroutier dans le sud de l'Italie. Mais ici, des ancrages de retenue ont été placés des deux côtés.

un cintre et de poser à l'avancement les poutres caissons en porte-à-faux du tablier. Des éléments préfabriqués et précontraints ont ensuite été accrochés dans les espaces intermédiaires par encorbellements successifs. La conception intégrait toute une série de procédés techniques auxquels Riccardo Morandi a largement apporté son concours. La technique de précontrainte innovante a donné lieu, d'une part, à la typologie du pont à haubans et, d'autre part, à la pose à l'avancement. Pour réaliser le viaduc du Polcevera, l'ingénieur est parvenu à concilier de façon prégnante des considérations relatives à la structure, à la technologie constructive et au processus de construction. Il a démontré de façon saisissante le potentiel d'une utilisation intégrale du système de béton précontraint.

Une pluralité d'approches

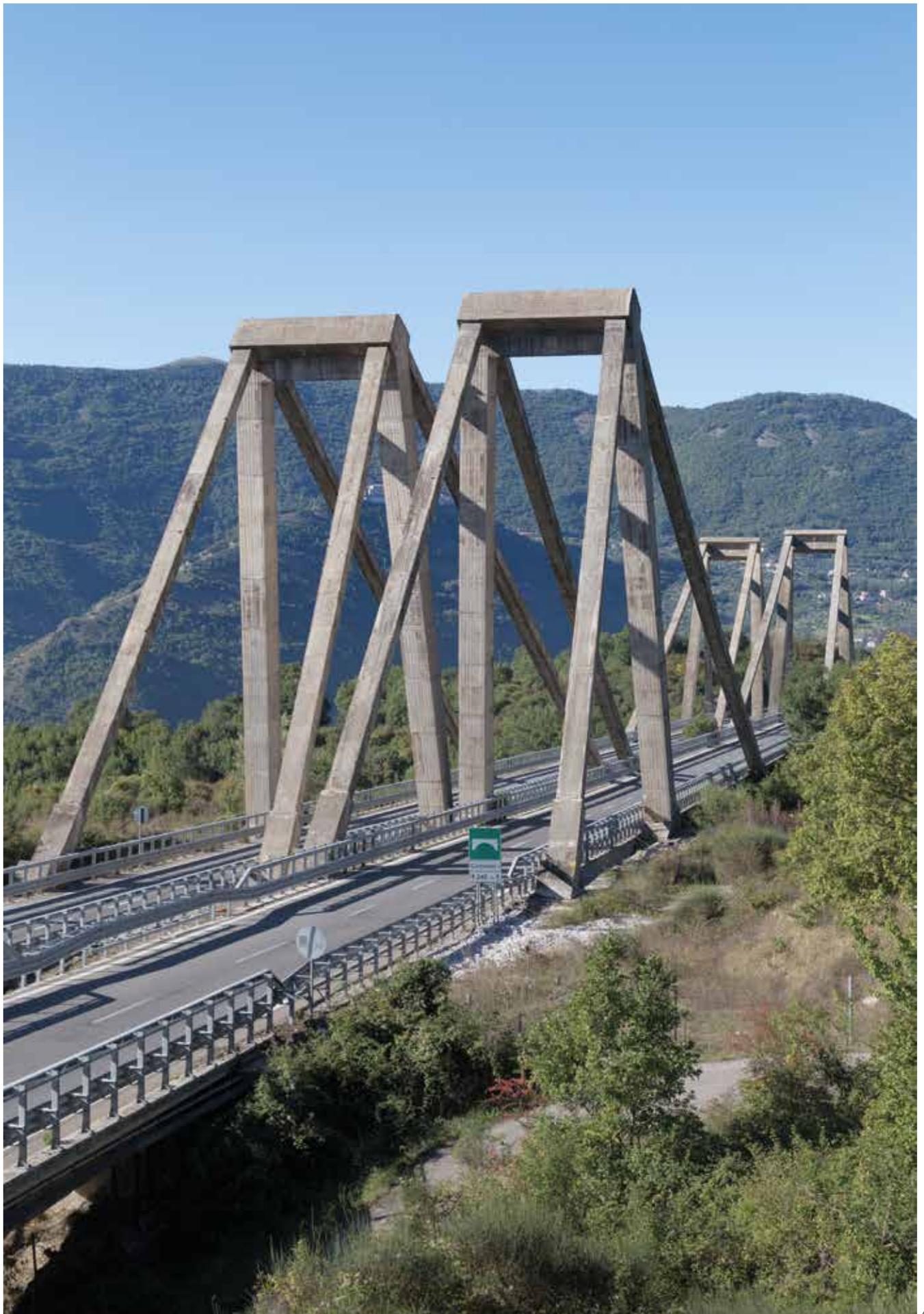
Les débats incessants autour de l'économicité de la structure et de la construction sont une constante dans l'œuvre de Riccardo Morandi et étaient déjà présents pour la construction du viaduc de la Fiumarella à Catanzaro (1958-1962). Avec une travée de 231 m, ce pont en arc, le plus long pont en Italie à ce jour, a été construit au moyen d'un cintre. Même si ce type de construction demande beaucoup de temps, il était rentable à l'époque en raison des salaires peu élevés. Des articulations à ouverture rapide assemblaient les tubes uniformes du système d'échafaudage Dalmine Innocenti, permettant un montage et un démontage rapides ainsi qu'une utilisation modu-

laire. Après le bétonnage de l'arc, les mêmes éléments d'échafaudage ont pu être réutilisés pour construire les supports inclinés situés au-dessus de l'arc ainsi que le tablier.⁴

Par contre, la méthode de pose à l'avancement utilisée sur le viaduc du Polcevera s'est révélée totalement inédite, tandis que le principe des haubans s'est avéré être une nouvelle typologie de structure. Peu de temps auparavant, Riccardo Morandi avait déjà développé une conception semblable pour le pont qui surplombe le lac Maracaibo, au Venezuela (1957-1962, travées de 235 m, voir fig. 1, p. 27). Dans les deux cas, le comportement structurel avait été contrôlé au sein du célèbre laboratoire d'essais ISMES de Bergame au moyen de modélisations physiques.⁵ Le pont de la Magliana, à Rome (1963-1968, travée de 145 m), le pont Carpineto, près de Potenza (1971-1977, travée de 181 m), ou le pont du Wadi al-Kuf, en Libye (1965-1971, travée de 282 m), ont aussi été construits selon des principes similaires. Presque immédiatement après les premiers ponts, Riccardo Morandi a aussi appliqué le principe des haubans pour réaliser les toits de grande portée de deux hangars de l'aéroport de Rome-Fiumicino (1960-1964). Pour le hangar destiné au Boeing 747 construit peu après (1968-1970), Riccardo Morandi a tendu le haubanage de la surface du toit vers

4 Ilaria Giannetti, *Il tubo Innocenti. Protagonista invisibile della Scuola italiana di Ingegneria*. Gangemi, Rome, 2017, pp. 104-111.

5 Tullia Iori, Sergio Poretti (eds.), *SIXXI 4. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*, Gangemi, Rome, 2017, pp. V-XIII.

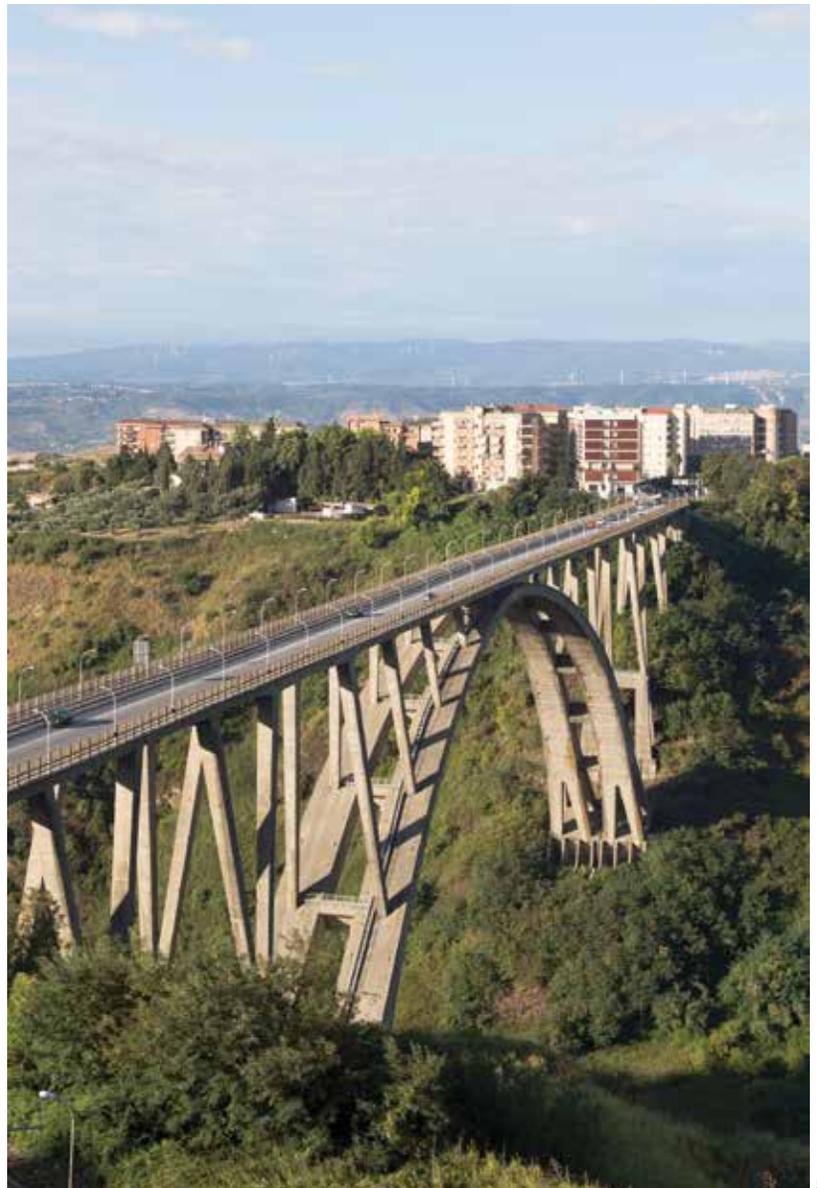


trois pylônes massifs. Il a ainsi créé une structure en éventail afin de spatialiser le même principe.

L'approche de Riccardo Morandi, qui consistait à combiner différents éléments dans des constellations équilibrées, se retrouve aussi dans ses constructions de moindre échelle, à l'instar du pont de la Via Olimpica, à Rome (1958-1960), ou de la salle d'exposition souterraine du Salon de l'automobile de Turin (1958-1959). Malgré l'utilisation différente, les deux ouvrages se basent sur la même typologie de structure et sur l'utilisation de la technique de précontrainte. Les poutres s'équilibrent sur des appuis minces, tandis que les extrémités des poutres sont mises en tension par le bas à l'aide d'un élément de traction, de manière à créer un comportement de type portique. Le plafond de la salle d'exposition est également réalisé par des croisements en formes de losanges, l'imposant espace étant articulé en conséquence. L'œuvre de Riccardo Morandi se caractérise par une grande pluralité d'approches en matière de constructions en béton armé et précontraint, tant pour les ponts que pour les structures de grande portée de bâtiments industriels, hangars, casernes ou cinémas.

Dans le miroir de l'après-guerre

La plus grande partie des créations de Riccardo Morandi remonte à l'après Seconde Guerre mondiale, période au cours de laquelle l'Italie a connu des mutations politiques, économiques et sociales rapides. Celles-ci découlent du miracolo economico qui a touché tout le pays dans les années 1950 et 1960 et qui s'est exprimé par une apogée culturelle dans les domaines de l'architecture, de l'art, de la littérature et du cinéma.⁶ La relance est toutefois également passée par la mise en place de programmes nationaux d'envergure en matière de construction de logements, comme INA Casa, et par des projets d'infrastructure tels que l'Autostrada del Sole. Le béton armé jouait un rôle central pour les activités de construction soutenues qui en ont découlé. Les propriétés spécifiques du matériau correspondaient aux conditions de l'époque définies par la rareté de l'acier et un secteur de la construction caractérisé par l'artisanat.⁷ En matière d'ingénierie, le développement du béton armé est devenu un objet de recherche central aux multiples approches. Riccardo Morandi s'est surtout concentré sur de nouveaux procédés de construction et, à partir du milieu des années 1940, au développement de systèmes précontraints.⁸ Pour cela, il s'est référé aux brevets d'Eugène Freyssinet et Franz Dischinger, déposés en France et en Allemagne dans l'entre-deux-guerres.⁹



5

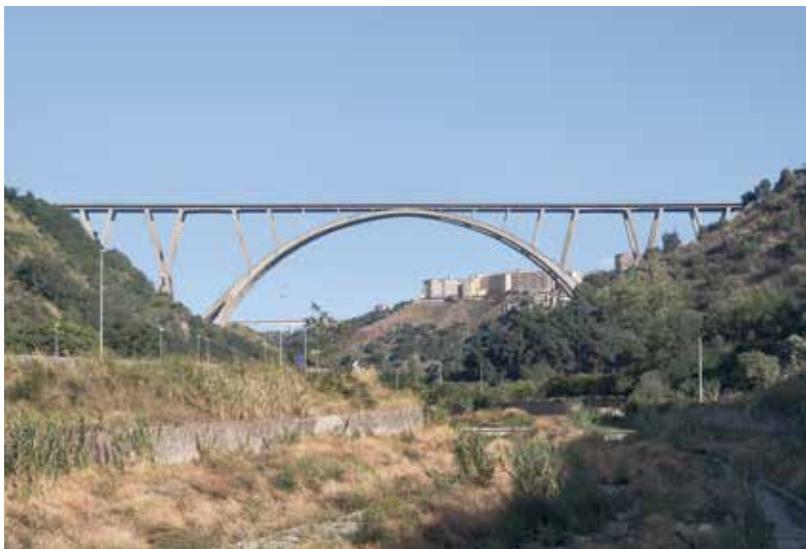
A la même époque, Pier Luigi Nervi, qui était en quelque sorte un antagoniste de Riccardo Morandi, travaillait sur la préfabrication de voûtes de grande portée et Sergio Musmeci, élève de Morandi et Nervi, se consacrait à la question des structures minimales qui concordent directement avec la répartition intérieure des forces. Tandis que Pier Luigi Nervi axait ses réalisations sur le principe de la résistance par la forme et que Sergio Musmeci explorait les formes en exacerbant ce principe, les créations de Riccardo Morandi étaient davantage marquées par la manipulation des forces intérieures. La précontrainte a permis d'appliquer des forces de manière ciblée à l'intérieur d'un composant. La mise sous tension des câbles en acier qui, tels des cordes, traversent les éléments, vise surtout à comprimer de manière ciblée la masse de béton qui sera ensuite exposée essentiellement à des forces de traction, et ce avant le transfert des charges proprement dit.

6 Terry Kirk, *The Architecture of Modern Italy. Volume II: Visions of Utopia. 1900–Present*, Princeton Architectural Press, New York, 2005, pp. 143-205.

7 Sergio Poretti, *Italian Modernisms: Italian Architecture & Construction in the Twentieth Century*, Gangemi, Rome, 2013, pp. 208-253.

8 Giuseppe Imbesi, Maurizio Morandi, Francesco Moschini, *Riccardo Morandi: innovazione tecnologia progetto*, Gangemi, Rome, 1991, pp. 121-124.

9 Max Herzog, *150 Jahre Stahlbeton (1848-1998)*, Ernst & Sohn, Berlin, 1999, pp. 6-7.



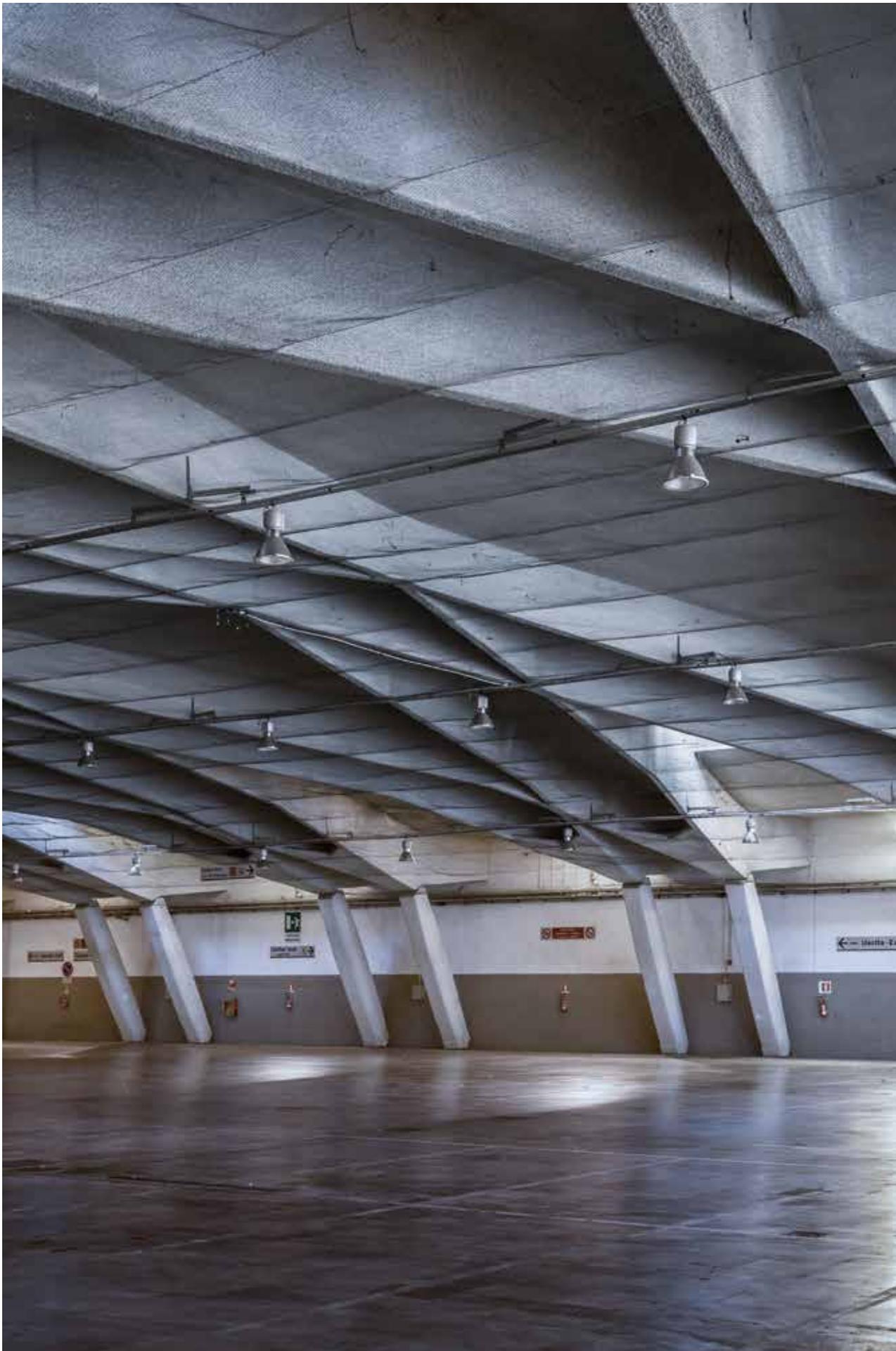
6



7

5, 6 Le viaduc de la Fiumarella, vers Catanzaro (1958-1962) : contrairement au viaduc de Gênes, ce pont en arc comprenant une travée de 231 m a encore été érigé avec un cintre.

7 Le hangar Boeing 747 près de l'aéroport Rome-Fiumicino (1968-1970) : la suspension en éventail spatialise le principe du pont à haubans.



Concrètement, cette surpression augmente la rigidité et permet de réaliser les éléments filigranés. La technique de la précontrainte a ainsi une influence directe, mais subtile, sur l'aspect, car elle façonne dès le départ la structure du béton sur lequel elle agit, sans être directement visible. C'est ainsi que les projets de Riccardo Morandi se distinguent par leur gracilité prononcée.

L'œuvre de Morandi a influencé de manière déterminante le travail de nombreux ingénieurs italiens et étrangers, tant sur le plan technologique que conceptuel. Parmi ceux-ci, on peut citer entre autres Silvano Zorzi, bâtisseur de nombreux ponts de l'Autostrada del Sole, Aldo Favini, qui, avec les architectes Angelo Mangiarotti et Bruno Morassutti, a utilisé de manière créative la technique de la précontrainte pour réaliser l'église de Baranzate (Milan), ou encore Sergio Musmeci, que nous avons déjà évoqué. Morandi doit surtout sa renommée internationale aux ponts qu'il a conçus. Ses ponts à haubans ont été comparés à ceux de Fritz Leonhardt en Allemagne et ont fait l'objet de discussions intenses car, contrairement à celles de l'ingénieur italien, les conceptions de Fritz Leonhardt étaient réalisées entièrement en acier¹⁰. En Suisse, cette influence se retrouve essentiellement dans l'œuvre de Christian Menn. Le pont du Ganter (1977-1980, travée

de 174 m) situé sur la route du col du Simplon fait référence à Morandi, tant du point de vue conceptuel que technique, les haubans étant enchâssés dans du béton et précontraints. L'analyse des influences permet de reconnaître d'emblée le rôle de Riccardo Morandi en tant que concepteur. Si l'ingénieur romain est devenu une référence majeure dans le domaine de l'ingénierie au cours de la seconde moitié du 20^e siècle, c'est grâce à la créativité dont il a fait preuve dans sa quête de nouvelles typologies de structures, de technologies constructives inédites et de processus de construction novateurs inspirés par les nouvelles possibilités offertes par le béton armé et précontraint, un matériau encore récent à l'époque.

Lukas Ingold et Tobias Erb sont architectes et assistants scientifiques à l'Institut pour la technologie dans l'architecture (ITA) et à l'Institut d'histoire et de théorie de l'architecture (gta) de l'EPF de Zurich.

Traduit de l'allemand par Simone Dinkel, Wulf Übersetzungen.

¹⁰ Fritz Leonhardt, *Brücken. Bridges*. DVA, Stuttgart, 1990, pp. 257-278.

⁸ Salle d'exposition vers Turin (1958-1959): la combinaison des différents éléments, comme les appuis articulés et l'agencement rhombique des poutres est caractéristique des constellations équilibrées complexes des conceptions de Riccardo Morandi.

Coup de projecteur sur les ingénieur-e-s suisses

Commandez le deuxième volume de *L'art des ingénieurs suisses*, ce recueil de projets exceptionnels réalisés en 2017-2018.

Une collection indispensable pour votre bureau, votre institut ou vos étudiants et un cadeau apprécié par vos partenaires commerciaux.

Schweizer Ingenieurbaukunst
L'art des ingénieurs suisses
Opere di ingegneria svizzera 2017/2018

128 pages, trilingue allemand, français, italien
ISBN 978-3-9523583-8-2 / Fr. 49.-

Commandez dès maintenant le livre
à buch@espazium.ch ou en librairie !



espazium

Der Verlag für Baukultur
Les éditions pour la culture du bâti
Edizioni per la cultura della costruzione