

Le *Boom* de l'ingénierie italienne (1955-1965)

Tullia Iori

Entre les années 1950 et 1960, l'ingénierie italienne connaît un succès international considérable ; mais c'est une étape de courte durée, une apogée éclatante qui décline rapidement au cours des années soixante-dix. Les années qui furent les plus favorables coïncident avec celles du *boom* économique, quand l'identité italienne émerge et obtient une reconnaissance spécifique dans de nombreux secteurs ; c'est une identité non plus auto-célébrée, comme au temps du fascisme, mais conquise dans des compétitions internationales, comme le montre le catalogue de l'exposition *Twentieth Century Engineering* du MoMa de New York en 1964, dans lequel les œuvres italiennes se comptent par dizaines.

Plusieurs faits ont été avancés pour expliquer le phénomène du « miracle » économique, beaucoup sont à l'origine du *boom* de l'ingénierie. Ce *boom* est le résultat d'un travail continu débuté avant la Deuxième Guerre mondiale par tous les protagonistes du secteur : les écoles théoriques et les académies, qui, déjà dans les années trente, ont développé des recherches fructueuses ; les ingénieurs projeteurs, qui ont investi leur culture constructive dans l'insatiable expérimentation, y compris lors des sombres années des restrictions autarciques ; les entreprises, qui ont conservé une dimension moyenne afin d'absorber, d'éduquer et d'organiser une main-d'œuvre à caractère artisanal ; l'État qui, entre mille contradictions, a garanti des investissements d'une ampleur suffisante à relancé entièrement le secteur du bâtiment et des infrastructures.

Les causes du déclin, en revanche, n'ont pas encore été totalement explorées, mais il va de soi que la perte d'une identité totalement italienne

(celle-là même que Sergio Poretti a défini, citant Pasolini, comme la « disparition des lucioles »¹) est à la base de cette récession.

Nous effectuerons ici une première analyse des causes qui ont participées au « miracle » italien de l'ingénierie (l'École, l'expérimentation, le soutien de l'État) et vérifierons leur progressive sortie de scène. Il ne s'agit que de premières notes, ébauches d'une recherche plus approfondie, encore en cours².

1. L'École italienne : les deux maîtres, Colonnetti et Danusso

Au cours des années de succès de l'ingénierie italienne dans le monde, deux orientations théoriques à l'origine des expérimentations peuvent être distinguées. L'« école » de Gustavo Colonnetti (1886-1968) et celle d'Arturo Danusso (1880-1968).

Les deux savants travaillent à partir d'une seule et même conviction, née d'une analyse approfondie des caractéristiques (et des anomalies) de la technique dominante en Italie : le béton armé. Tous deux sont conscients que la théorie élastique classique, mise au point pour l'acier et hâtivement appliquée à ce nouveau matériau lors de sa phase expérimentale, n'est en aucun cas suffisante pour expliquer le comportement du béton armé. Ainsi, considèrent-ils comme nécessaire d'explorer toutes les potentialités du matériau, en étudiant non seulement les déformations élastiques, mais aussi les déformations plastiques.

Il s'agit aussi de prendre en considération, dans le calcul statique des constructions, non seulement

les charges permanentes ou accidentelles, mais aussi les états de tensions qui se vérifient dans un corps en l'absence de forces externes (issues de l'intervention des déformations plastiques, mais aussi d'autres causes de différentes natures) : des états pour lesquels, tous deux, parallèlement et indépendamment, forgent un néologisme. Colonnetti les appelle *coactions*, terme introduit en 1917 en même temps que les bases de sa théorie³ ; Danusso emploie le terme d'*autotensions*, expression qui, en 1934, fera le titre de l'un de ses fameux articles clarifiant la portée pratique, les applications et le bénéfice de l'adaptation plastique⁴.

Malgré ces intérêts communs, les divergences de pensée entre les deux savants sont substantielles. Colonnetti est convaincu qu'il est possible de formuler une nouvelle théorie mathématique qui sache prévoir le comportement réel des structures au-delà de la phase élastique. La théorie doit être de caractère absolu et inclure tous les cas particuliers. Il ne s'agit donc pas d'une méthode de calcul élaborée pour résoudre un problème spécifique, comme celui de l'homogénéisation de la section du béton armé, mais plutôt d'une « théorie générale de l'équilibre élasto-plastique », ou mieux encore, une « théorie générale des coactions » qui comprend aussi bien l'équilibre élasto-plastique que le fluage, c'est-à-dire l'équilibre visco-plastique, la précontrainte et d'autres possibles éventuelles coactions naturelles ou artificielles.

A cet optimisme sur les potentialités de synthèse de sa théorie s'ajoute la conviction que l'ingénieur doit avoir un rôle actif dans le comportement des constructions. Il faut, selon Colonnetti, « dresser » les structures pour répondre aux sollicitations d'une manière optimale, ce qui revient à appliquer aux corps des coactions artificielles, préalablement déterminées par le calcul, capables de corriger l'état d'équilibre naturel des structures mêmes⁵. « L'application concrète la plus brillante » de l'idée de coaction est exprimée dans l'œuvre d'Eugène Freyssinet et, de façon plus générale, dans la précontrainte, que Colonnetti divulguera en Italie dès la fin des années 30. Précontraindre signifie ainsi dresser le béton à résister aux efforts de traction.

Danusso, au contraire, soutient qu'il est nécessaire de laisser les structures s'adapter naturellement aux charges, en pourvoyant ainsi aux éventuelles

lacunes des connaissances du projeteur. Cette confiance dans les ressources intrinsèques des ouvrages naît de la conscience qu'en réalité, l'intervention des déformations plastiques (et des autotensions qui en découlent) peut avoir un impact bénéfique : ils tendent « à décharger certaines parties de la structure, qui, dans un régime élastique, seraient chargées à l'excès, s'il y a d'autres parties, initialement moins engagées, où les efforts puissent migrer au bénéfice de la stabilité dans l'ensemble ». La capacité d'adaptation plastique, innée dans les structures complexes et le plus souvent hyperstatique est toutefois de prévision théorique très difficile. Danusso reste sceptique sur la possibilité d'interpréter la structure de façon mathématique, il s'en remet à une « machine calculatrice des efforts », c'est-à-dire à un modèle à échelle réduite à soumettre aux épreuves de charges, en laboratoire, afin de simuler le comportement de l'ouvrage.

On comprend dans quelle mesure leurs deux positions furent stimulantes pour les ingénieurs italiens. Danusso, grâce à son expérience de jeune projeteur, explore le comportement des structures au-delà de la limite du calcul, grâce à la fondation, en 1931, du laboratoire *Prove, modelli e costruzioni* au Polytechnique de Milan. Son école collabore avec des ingénieurs comme Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Sergio Musmeci, qui par inclination personnelle, ne se contentent pas de solutions déjà codifiées. Colonnetti, en parallèle, incite les projeteurs à ne pas attendre passivement les états de coaction qui devraient se déclencher dans les structures ; il les encourage au contraire à réaliser dans les structures des coactions artificielles capables d'assurer immédiatement des distributions des tensions internes les plus favorables possible. Ainsi promulgue-t-il, à tous les niveaux (par l'élaboration, en 1939, d'un système de calcul et par un brevet de poutres à armatures prétendues) la diffusion de la technique de la précontrainte, assurant à un groupe nombreux d'ingénieurs italiens un rôle de premier plan à l'échelle internationale.

Mais le moment n'était pas opportun : en septembre 1939, le béton armé (qui n'était pas assez « italien » du fait de l'emploi d'acier et de banches en bois d'importation) est interdit dans les constructions publiques et privées. En 1940, l'entrée en guerre de l'Italie, allait suspendre définitivement l'activité dans le secteur du bâtiment.

2. La reconstruction : un laboratoire à ciel ouvert

Paradoxalement, les longues années de guerre, et en particulier les mois précédant la libération, sont exceptionnellement profitables pour l'ingénierie italienne. En effet, l'inactivité forcée, jointe à l'expérience et à l'habileté accumulée, produisent des résultats inespérés. Nervi imagine en 1939 un système pour construire les structures de grande portée, sans utiliser de bois pour les banches et en économisant les fers d'armature. La technique de la *préfabrication structurelle* et les plus importantes inventions liées à cette technique, sont stimulées par le régime autarcique. Le *ferrocemento*, ce nouveau matériel élastique homogène et isotrope, est breveté en avril 1943. Il passera plusieurs mois sous forme de semelles armées équi-diffuses sur le balcon de la maison de Nervi, pendant la période de l'occupation de Rome. Morandi, brevette en février 1944 son premier système de précontrainte, qui se base sur la pré-tension des armatures par dilatation thermique par le biais de courant électrique à bas voltage. Ce système qui ne sera jamais utilisé, montre l'intérêt de ce dernier pour les coactions.

Ces recherches sont conduites à Rome, « *ville ouverte* », mais la situation est très différente au Nord, où l'occupation nazie est bien plus oppressante. Colonnetti, clairement antifasciste, s'enfuit d'Italie peu après l'armistice, le 18 septembre 1943. Ils seront des dizaines de milliers, hommes politiques, éditeurs, entrepreneurs, simples soldats ou nobles à s'enfuir vers la Suisse. Mais Colonnetti ne reste pas inactif durant son exil, il devient Recteur du Camp d'internement universitaire de Vevey, où il recueille plus que 200 réfugiés, anciens étudiants d'ingénierie et d'architecture pour lesquels il organise, avec la collaboration de l'Université de Lausanne, de véritables cours académiques. Silvano Zorzi, Aldo Favini, et beaucoup d'autres ingénieurs seront ses étudiants ; il leur enseignera les fondements théoriques, mais aussi pratiques du béton armé précontraint.

Le 7 décembre 1944, emmené par le gouvernement provisoire constitué après la libération de Rome, Colonnetti se voit confier la tâche de relan-

cer la recherche en Italie. Il assume la charge de président du Centre national de la recherche. Le système productif, industriel et tertiaire, du Pays n'ayant pas subi de dommages significatifs, l'activité reprend avec peu d'investissements. Les infrastructures, en revanche, ont subi des dommages considérables, surtout dans l'Italie centrale au-delà de la ligne Gustav. Des milliers de ponts sont détruits et des kilomètres de rues doivent être réparées. La reconstruction des ponts et des infrastructures va devenir un terrain d'expérimentation pour plus d'une génération d'ingénieurs.

Les premières initiatives de Colonnetti en sein au CNR concernent le béton précontraint. Ainsi, fonde-t-il, le 1^{er} juillet 1945, le *Centro di studi sulle coazioni elastiche*, qui aura un rôle décisif, dans la recherche, la diffusion et la vérification des structures réalisées avec cette nouvelle technique. Les premières structures précontraintes sont réalisées en 1950 en utilisant d'abord les brevets étrangers, puis, rapidement, les brevets nationaux (le brevet R de Giuseppe Rinaldi et le brevet M du bien plus célèbre Morandi). Mais l'utilisation du béton précontraint ne convainc pas tous les groupes de recherche. Ces derniers se livrent également à d'autres expérimentations, sur le béton armé classique qui connaît un succès important. L'acier, au contraire, ne réussit pas, pour des raisons politiques et économiques, à entrer sérieusement en compétition avec le béton.

Après ses premières vérifications expérimentales, Nervi met à l'épreuve son système sur une série de petits bâtiments prototypes. Dans l'après-guerre, à Turin, il a l'occasion de projeter et construire, le Salon B au Parc du Valentino, commencé pendant l'été 1947 et achevé en septembre 1948 (fig. 1). Entre temps, en 1950, Danusso transforme son laboratoire universitaire de modèles en une structure privée autonome, l'Ismes, Institut expérimental des modèles et des structures, qui devient une référence pour l'expérimentation sur les digues dans toute Europe. Au-delà des digues, Danusso fera aussi des recherches expérimentales sur d'autres structures complexes : le gratte-ciel Pirelli, à Milan, par exemple, qu'il projette avec Nervi, et dont les simulations sur un énorme modèle se déroulent en janvier 1955.

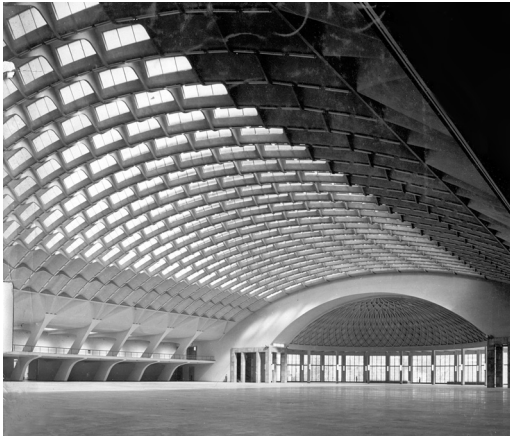


Fig. 1. Pier Luigi Nervi, salon B à Turin (1947-48), vue de l'intérieur.

3. La phase « Gronchi » des œuvres publiques

Une fois achevée la phase de reconstruction destinée à la restauration du patrimoine détruit par les bombardements, commence en Italie, à partir du milieu des années cinquante, une campagne sans précédent d'investissements pour la réalisation d'édifices et d'infrastructures.

La phase la plus active coïncide avec la présidence de Giovanni Gronchi, de 1955 à 1962. On entreprend alors l'Autoroute du Soleil, les installations sportives des Olympiades d'hiver (1956) de Cortina d'Ampezzo et celles d'été de Rome (1960), l'aéroport international de Fiumicino (Rome), les pavillons pour les célébrations du Centenaire de l'unité de l'Italie à Turin (1961). C'est le président Gronchi qui coupera le ruban d'inauguration de la majeure partie des ouvrages réalisés en Italie après guerre.

L'Autoroute du Soleil contribue à l'affirmation de l'identité de l'ingénierie structurelle italienne. La conception est rapide (les grandes lignes du projet avaient déjà été élaborées, entre le 1953 et le 1955, par Francesco Aimone Jelmoni pour le compte de Sisi (association Eni, Fiat, Italcementi et Pirelli), pour être *offertes* à l'État) et la phase exécutive également. Gronchi assiste à la pose de la première borne kilométrique à San Donato

Milanese, le 19 mai 1956, et le 3 décembre 1960 Fanfani inaugure la tranche « Trans-Apennins » ; 750 kilomètres de parcours sont ouverts au trafic le 4 octobre 1964. C'est la Société d'État de Concessions et Constructions des Autoroutes, fondée pour l'occasion, qui accomplit l'ouvrage. Pour l'exécution des lots, peu de kilomètres sont attribués par adjudication. Dans la plupart des cas, l'entreprise de construction redessine complètement les œuvres d'art. Ainsi la diversité des ponts et des viaducs, projetés par des ingénieurs appelés à réaliser des pièces uniques, sans aucune exigence de standardisation, font de la *rue de l'unité* un compendium des compétences de l'ingénierie italienne de cette période.

On peut y voir l'affirmation du béton armé, qu'il soit classique ou précontraint (seul deux pont sur 400, seront réalisés en acier, limités au tronçon le plus inaccessible, dans les Apennins Tosco-Emilien, au Col de Citerna). Les traversées des fleuves les plus prestigieux (le Pô, l'Arno, le Tibre) sont confiées au précontraint, avec des solutions isostatiques (et pourtant capables de s'adapter aux mouvements des fondations dus à des terrains peu résistants), élaborées par Zorzi, Morandi, Cestelli Guidi, Castiglia, Levi, Turazza et d'autres, utilisant les peu de brevets italiens et étrangers déjà connus. Dans les profondes vallées des Apennins on préfère l'arc en béton armé ordinaire de grande portée et de plus grande élégance avec des solutions qui, réélaborant l'arche de type Maillart, proposent des configurations statiques très originales. Les viaducs (sur le torrent Aglio de Oberti (fig. 2), sur le torrent Poggettone et Pecora Vecchia de Carè et Giannelli, sur le Merizzano et sur le Gambellato (fig. 3) de Krall, sur le Sambro de Morandi), se succèdent le long du trans-Apennins. Espacés de quelques dizaines de kilomètres, ces viaducs s'intègrent au paysage naturel. Leur construction sera réalisée par des cintres roulants et des audacieux blondins, manœuvrés par des ouvriers de grande expérience à la tête d'une main-d'œuvre non qualifiée, mais abondante et à bas prix.

Pendant que s'inaugurent les unes après les autres les phases intermédiaires de l'Autoroute du Soleil, les ingénieurs italiens ont d'autres occasions pour occuper le devant de la scène internationale.

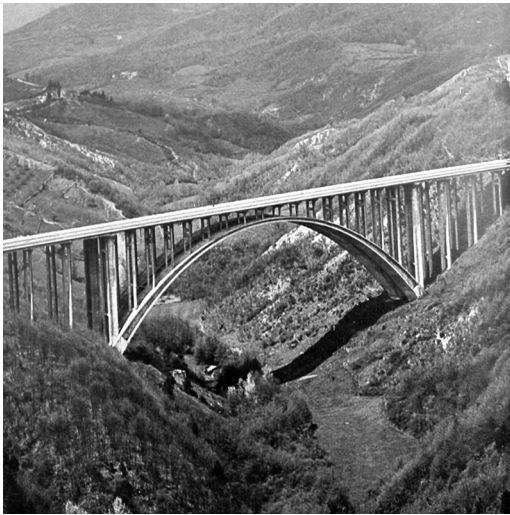


Fig. 2. Guido Oberti, viaduc sur l'Aglio, Autoroute du Soleil (1957-59).

Pour les jeux de la XVII^e Olympiade d'été, la ville de Rome se dote d'une nouvelle série de structures sportives. Le vélodrome, le stade de natation (où le jeune Sergio Musmeci projette une voûte polygonale originale), le stade Flaminio, le palais et le petit palais du sport (fig. 4) projetés par Nervi et réalisés dans des délais très courts par sa propre entreprise, mettant en valeur ses inventions, le *ferrocemento* et la préfabrication structurale. Pour favoriser les flux touristiques et les déplacements internes à la ville,

beaucoup d'autres infrastructures seront projetées : le viaduc de corso Francia, également conçu par Nervi, résout la circulation du village olympique. Non loin, Morandi réalise le viaduc de la contournement qui amène au stade Olympique (il adoptera un système à travée sur deux appuis avec des portes à faux symétriques repris par des tirants tendus, ce qui sera un de ses modèles statiques le plus efficaces). Morandi gagne, en 1957, le concours pour le terminal de l'aéroport international Leonardo da Vinci. Morandi se fait également connaître cette même année pour son projet de pont sur la lagune de Maracaibo. Avec ses neuf kilomètres et sa portée libre de 235 mètres, il s'agissait alors du plus long pont du monde. Ce pont à haubans « homogène », conçu entièrement en béton armé précontraint, y compris les parties tendues, va devenir un des symboles du *boom* italien. Le viaduc sur la Polcevera, construit pour un lot de l'autoroute Gênes-Savone après un concours proposé par l'Anas en 1960, en confirme l'intérêt constructif (fig. 5). La travée de type de celle de Maracaibo et celle de Gênes seront soumises à des essais statiques par l'Ismes, afin de déterminer les surfaces d'influence des réactions. Répétant le même schéma statique, Morandi réalisera, les années suivantes, deux hangars de l'aéroport romain pour la compagnie aérienne nationale (le premier sur concours, lancé en 1960, et complété en 1964) et un pont pour l'autoroute Rome – Fiumicino (1963-67).

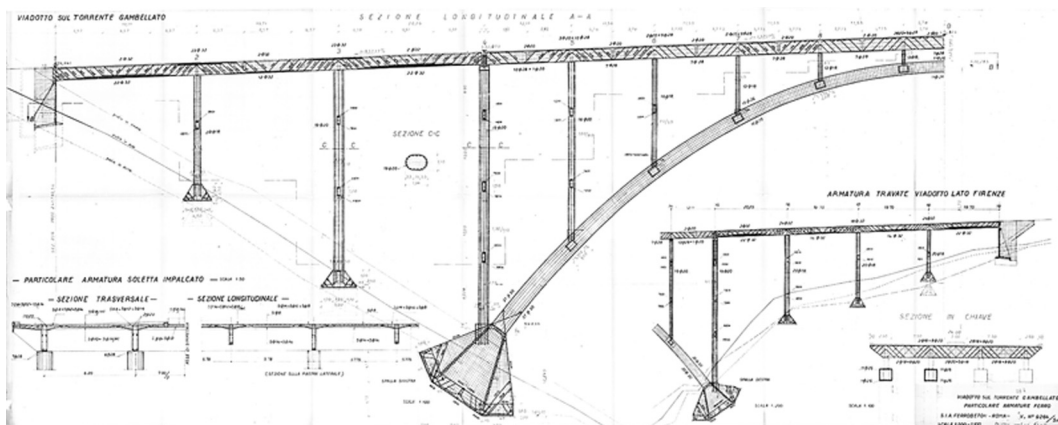


Fig. 3. Giulio Krall, viaduc sur le torrent Gambellato, Autoroute du Soleil (1957-60), projet exécutif.

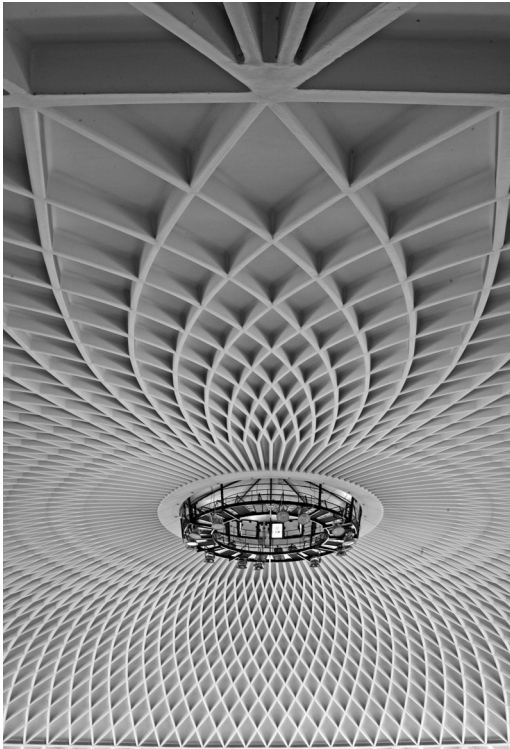


Fig. 4. Pier Luigi Nervi, petit palais des sports à Rome (1956-57).

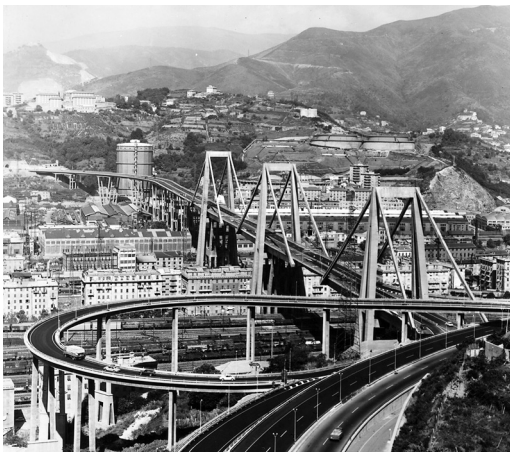


Fig. 5. Riccardo Morandi, viaduc sur le torrent Polcevera à Gênes (1960-67).

Le 4 juillet 1959 est lancé le concours pour la construction du Palais du travail pour l'exposition du centenaire de l'Unité de l'Italie, à Turin. Nervi et Gino Covre l'emportent (fig. 6). Pour tenir les délais alors très courts, Nervi renonce à ses inventions les plus chères, confiant la couverture aux spectaculaires planchers champignons d'acier de Covre, construits par les établissements Antonio Badoni de Lecco. L'édifice colossal sera réalisé en moins d'un an (de février à décembre 1960). À une dizaine de mètres, est élevé au même moment le palais des expositions, dont le concours a été lancé fin mars 1959 : une couverture voûtée en béton précontraint reposant sur trois appuis (une idée de Levi et de Nicolas Esquillan qui a calculé la voûte du CNIT de Paris). Morandi a aussi l'opportunité de laisser sa marque sur le site de l'exposition avec la réalisation des travées précontraintes du monorail futuriste surélevé, qui relie les différents bâtiments de l'exposition implantés dans le parc. Les festivités s'ouvrent le 7 mai 1961, Gronchi est présent, prêt à inaugurer.

4. De l'euphorie du « miracle » à l'austérité

D'un point de vue économique, l'année 1963 est celle du changement. On observe un ralentissement général lié à des raisons sociales, politiques, économiques. Les effets de ce ralentissement éco-



Fig. 6. Pier Luigi Nervi, palais du travail à Turin (1959-61), vue du chantier.

nomique se font immédiatement sentir dans le monde de l'ingénierie. À l'occasion de l'inauguration de l'Autoroute du Soleil, Aldo Moro prononce un discours mélancolique, retransmis à la télévision ; c'est un appel au peuple italien à coopérer pour affronter une crise qui semble temporaire, mais qui, en réalité ne fera que s'aggraver.

Beaucoup d'opérations programmées et mises en chantier durant la présidence de Gronchi et donc en phase de réalisation ralentissent. La ligne A du métro de Rome est mise en adjudication en 1960, mais les travaux (fig. 7) ne seront commencés que bien plus tard et terminés en 1977.

Les travaux de l'Autoroute Salerno-Reggio Calabria sont lancés en janvier 1962, non pas en concession (celle-ci étant trop peu utilisée pour être suffisamment rentable financièrement), mais à charge totale de l'État qui, comme dans beaucoup d'autres secteurs, choisit d'avoir un contrôle majoritaire sur le choix des programmes. Le projeteur, Salvatore Ruiz met quatre années pour décider de son parcours. Les procédures changent, les prix lévitent, les financements ralentissent, les retards s'accumulent, malgré une mécanisation croissante de la construction. La croissance des équipements de chantier permet de réduire la main-d'œuvre devenue trop coûteuse du fait des actions syndicales, mais les machines viennent souvent de l'étranger, ainsi les projets ont du mal à conserver une continuité avec l'expérience constructive accumulée dans les années précédentes.

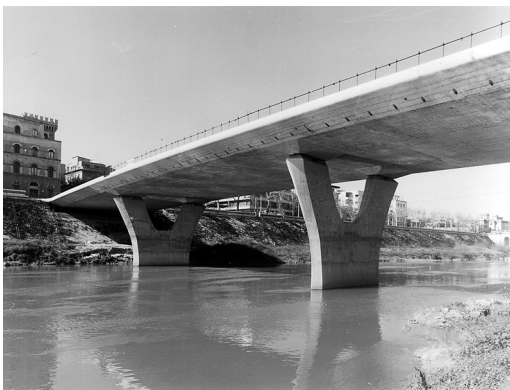


Fig. 7. Silvano Zorzi, Luigi Moretti, pont sur le Tibre pour le métro de Rome (1964-72).



Fig. 8. Sergio Musmeci, pont sur le fleuve Basento à Potenza (1967-75).

En 1956, Colonnetti laisse la présidence du Cnr du fait de son âge. Il restera encore actif, mais beaucoup de ses initiatives qui avaient soutenues la recherche dans le secteur de l'ingénierie et des constructions perdent petit à petit de leur vigueur. À partir de 1961, le centre sur l'état des coactions élastiques n'est plus le seul conseillé auprès du Ministère pour l'examen préventif des projets en béton armé précontraint. La phase pionnière de l'expérimentation sur chantier est terminée, une autre phase débute, beaucoup plus restrictive, de contrôle et de surveillance.

L'Isme de Danusso perd aussi lentement son prestige. Le 9 octobre 1963 s'effondre le mont Toc et la digue du Vajont, qui provoque environ 2 000 morts. La présidence de l'Isme est confiée à Nervi, qui loin de la considérer comme une charge honorifique, fera de son mieux pour sauver l'institution, faisant procéder à des essais statiques et dynamiques sur beaucoup de ses derniers ouvrages. Malgré le prestige de l'ingénieur, le modèle physique est destiné à laisser place à un modèle mathématique : le développement de l'algèbre matricielle et l'introduction des ordinateurs favorisent les



méthodes numériques et la mise au point de codes de calculs automatiques. En 1969, l'institut ouvre une section d'études réservée aux méthodes des éléments finis pour chercher à s'aligner sur les expérimentations déjà mises au point dans d'autres pays européens, mais il n'est pas à l'avant-garde.

C'est le pont de Musmeci sur le Basento à Potenza qui conclut l'épopée de l'ingénierie italienne (fig. 8). Musmeci conjugue les recherches de Heinz Isler et celles de Frei Otto, dans le but de retrouver mathématiquement la forme optimale du pont à partir de la position des liaisons et des sollicitations voulues. Le résultat est l'un des exemples les plus originaux des expérimentations italiennes, une structure puissante, façonnée grâce

à l'habileté artisanale, dimensionnée par simulation sur un modèle de l'Ismes et rigoureusement réalisée avec un matériau alors anachronique (par rapport à la recherche étrangère la plus avancée), le béton armé, en partie précontraint, laissé nu, plié en un mouvement qui laisse percevoir la « fatigue » de la construction.

La conjoncture laisse cependant place à l'austérité. Le modèle de développement capitaliste italien semble désormais arrivé à bout. Le 22 novembre 1973, le gouvernement de Mariano Rumor donne des prescriptions restrictives pour affronter la crise pétrolière. Les années suivantes seront difficiles dans beaucoup de secteurs, aussi pour l'ingénierie.

NOTES

1. S. Poretti, *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Roma, Gangemi, 2008, p. 303.

2. Pour les références bibliographiques complètes, voir T. Iori, « L'ingegneria del miracolo italiano » dans T. Iori, S. Poretti (par les soins de), *Ingegneria italiana*, numéro monographique de la revue *Rassegna di architettura e urbanistica*, 121-122, 2007, p. 33-59.

3. G. Colonnetti, « Su certi stati di coazione elastica che non dipendono da azioni esterne », *Rendiconti della Regia Accademia dei Lincei*, juin 1917, p. 43-47.

4. A. Danusso, « Le Autotensioni. Spunti teorici ed applicazioni pratiche », *Rendiconti del seminario matematico e fisico di Milano*, VIII, 1934, p. 217-246.

5. G. Colonnetti, *Scienza delle costruzioni*, Torino, Einaudi, 1941, p. 449.

