RASSEGNA TECNICA

La « Rassegna tecnica » vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

FRANCESCO LUIGI GARELLA

ANDRÉ CORBOZ nous donne en forme d'article un chapitre de son livre Invention de Carouge, *ouvrage à paraître à Pâques 1967 (éditions Payot, Lausanne). Dans son* Giuseppe Viana, architetto sabaudo in Sardegna *(ART, décembre 1960), Augusto Cavallari-Murat écrivait: « per un più dettagliato esame urbanistico e sociologico (di Carouge) varrebbe la spesa di leggere le voluminose cartelle dell'Archivio di Stato di Torino »; c'est chose faite. Ce livre étudie l'entreprise carougeoise dans le détail, ainsi que ses tenants et aboutissants; il examine aussi les six architectes piémontais qui ont configuré la ville. Garella, avec son plan d'avril 1772, est le premier d'entre eux. L'A. dresse la liste de ses principaux travaux d'architecte et d'ingénieur, tous exécutés en Savoie, et tente de cerner la personnalité de ce Biellais inconnu.*

Garella est un personnage si peu connu qu'aucune étude ne lui a été consacrée et que l'excellent catalogue Brayda [1] le mentionne en *trois lignes*... Personnage mineur, certes, et artiste de petite envergure. Mais son rôle à Carouge et les responsabilités qui furent les siennes en Savoie dans le domaine du génie civil en font une figure intéressante.

Garella appartient à cette équipe d'architectes-ingénieurs de l'intendance à qui Turin doit d'avoir conservé sur son territoire le commerce de Marseille à destination de l'Europe centrale. Avec Pietro Antonio Capellino ou Capellini [2] et Carlo Gallo [3], assisté d'ingénieurs locaux comme Jean Dupuy, Christophe Anthoine, Garella projette, répare, surveille, mais construit peu.

Son père, Franco Antonio, né à Biella au début du siècle [4], fait déjà carrière en Savoie. Originaire de Cantone Garella, près de Biella, il est le premier à obtenir le double diplôme d'architecte civil et militaire et d'ingénieur, qui lui est décerné par l'Université de Turin le 27 ou 29 janvier 1733 sur présentation de deux projets, un palais et une citadelle [5]. Aujourd'hui encore, les Garella issus du lieu qui porte leur nom sont des maçons et des entrepreneurs [6]. L'activité de Franco Antonio n'a pas non plus retenu l'attention des historiens et le catalogue Brayda ne cite aucun ouvrage de lui [7].

Francesco, son fils, naît à Chambéry, à une date encore inconnue, probablement vers 1735. De ses débuts, de ses études, de son état civil, de l'année de sa mort, on ne sait encore rien. Sans doute a-t-il vécu, pour l'essentiel, à Chambéry, où il logeait au château en 1775, ainsi qu'en fait foi un plan de sa propre main [8].

Ici se place un petit problème. Le BCS, auquel nous recourrons souvent, mentionne un autre Garella [9], ou plus exactement un Francesco Luigi Garellaz, pour lequel les indications son plus abondantes: huit lignes et trois ouvrages. Ces deux architectes ne sont, à

TABLE DE ABRÉVIATIONS

AHS = Archives de la Haute-Savoie, Annecy.

ART = Atti e Rassegna tecnica della Società piemontese degli architetti in Torino (mensuel).

AST = Archivio di Stato, Turin. Si cette mention est simplement suivie d'un chiffre romain et d'un chiffre arabe, elle signifie: « Sezione di Corte, Duché de Savoie, Cité et province de Carouge », numéro du paquet (mazzo), numéro de la pièce. (Le quatrième paquet n'est pas inventorié).

AST, SC = Archivio di Stato, Turin, sezione di Corte (1ª).

AST, SC, LP = Idem, Lettere di particolari.

AST, SC, SJ = Idem, Savoie juridique.

BCS = Carlo Brayda, Laura Coli, Dario Sesia, *Ingegneri e architetti del Sei e Settecento in Piemonte*, Turin 1963.

Blavignac = Blavignac, *Etudes sur Carouge commencées le 6 août 1866*, Bibliothèque publique et universitaire, Genève, ms. suppl. 1272 à 1289.

Boll. Cuneo = Bollettino della Società per gli studi storici, archeologici ed artistici nella provincia di Cuneo (mensuel).

Boll. SPABA = Bollettino della Società piemontese di archeologia e belle arti (annuel).

Gaullieur = E. H. Gaullieur, *Annales de Carouge, notice sur l'origine l'accroissement de cette ville et ses rapports avec Genève sous le gouvernement de la maison de Savoie*, Genève 1857 (contient essentiellement 119 lettres du comte de Veyrier, du 28 août 1780 au 8 août 1782).

MDS = Mémoires et documents publiés par la Société savoisienne d'histoire et d'archéologie, Chambéry.

Perroud = C. Perroud, *Rivalité Franco-Savoyarde dans les voies d'accès vers Genève et l'Europe centrale*, in « Mémoires et documents publiés par l'Académie chablaisienne », tome L, 1952, p. 101 à 159; je cite l'édition séparée (Annecy 1952), selon sa propre pagination.

(1) BCS, p. 39.

(2) BCS, p. 24.

(3) BCS, p. 37.

(4) BCS, p. 39.

(5) BCS, p. 2. Il n'y avait pas, au début, de distinction nette entre l'ingénieur civil et l'architecte.

(6) Je remercie M. Pietro Torrione, directeur de la Biblioteca civica de Biella, de cette utile précision.

(7) On trouve à Turin (AST, SC, recueils de plans divers) un « Plan de l'Eglise paroessiale de la Ville d'Evian en Chablais comme Elle se trouue presentant construitte » daté de Thonon, 23 janvier 1729, d'une facture très grossière. F. A. Garella est peut-être l'auteur des digues construites à Carouge en 1740 par ordre de Charles-Emmanuel III; le 15 juillet 1749, il inspecte le clocher de l'église Saint-Léger, à Chambéry, qui menace ruine (André Perrin, *Notice historique sur l'église paroissiale de Saint-Léger à Chambéry*... MDS, t. VII, 1863, p. 181 ss; le 14 février 1750 nouveau rapport avec plan, ibid., 194 ss); le 11 octobre 1749, il envoie au roi un plan de restauration du château de Chambéry, exécuté (Gabriel Pérouse, *Le château de Chambéry depuis Victor-Amédée II*, MDS t. LXIII, 1918, p. 290); le 2 juillet 1751, « Etat des visites et devis du nouveau chemin à faire le long de la rivière des Usses du Regonfle à Frangy » (AHS, Materie economiche, strade e ponti, mazzo 1° d'addizione, n. 5, pièce cédée); le 16 juillet 1751, F. A. Garella dessine les façade, profil et plan des prisons de Chambéry (AST, colloc. cit.).

(8) AST, SC, reali palazzi, Chambéry, 18 février 1775, relevé de divers appartements du château.

(9) BCS p. 39.

mon sens, qu'une seule et même personne. Voici pourquoi.

Nés tous deux à Chambéry, les Garella(z) ont le même prénom. L'orthographe de leur nom ne constitue pas un indice sérieux,

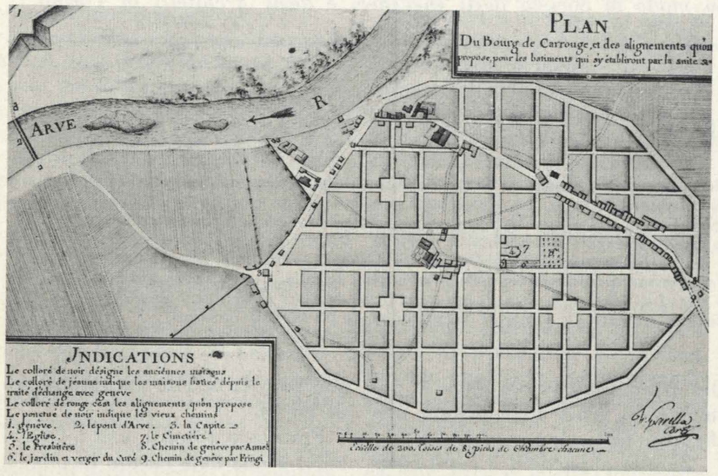

Fig. 1 - Garella, plan pour la ville de Carouge (avril 1772). Le nord est à gauche.

étant donné que l'habitude de franciser les noms était générale: l'intendant général Blanchot s'appellait en réalité Blanciotti [10], Piacenza est connu sous le nom de Plaisance, Giardino de Giardin, voire de Jardin, etc; cette mode était si répandue qu'on le trouve même dans les territoires piémontais non francophones, c'est-à-dire en Sardaigne [11]. En outre, tous les actes consultés font état d'un seul et unique Garella, dont le nom s'écrit tantôt avec et tantôt sans z; le ministre Corte lui-même écrit à Garellaz [12] une réponse à une lettre conservée [13] dont la signature est identique à celle qui figure sur tous les plans garelliens que j'ai trouvés. Comment se fait-il, dans ces conditions, que Garella ait été diplômé le 12 mai 1762, alors que Garellaz a passé son examen le 22 avril 1756? Mais cette contradiction ne paraît pas insurmontable.

La première date est tirée du manuscrit Vernazza de l'Académie des sciences de Turin, intitulé « Catalogo degli architetti approvati in Torino dai 15 luglio 1732 ai 28 gennaio 1809 »; la seconde du registre des examens universitaires [14]. En 1756, les études d'architecte étaient réglementées par les Constitutions victorines du 20 août 1729 et par le règlement pour l'Université royale de Turin du 2 octobre de la même année; ces dispositions [15] « obligeaient les architectes à subir un examen d'approbation, même s'ils n'avaient pas fait d'études régulières ni effectué un stage pratique »; un peu plus tard, cet examen (essentiellement de mathématiques) put être passé dans diverses villes, dont Chambéry; ce système, en vigueur de 1730 à 1759, est modifié le 9 mars 1762 par un « Manifesto del Magistrato della riforma riguardante gli studi, esami, ed esercizi rispettivamente degli agrimensori, misuratori, architetti civili e idraulici ». Désormais, les architectes doivent suivre des cours réguliers d'architecture et de mathématiques avant d'être admis à un double examen final, écrit et oral, qui se déroule à Turin seulement. Garella(z) subit son second examen deux mois plus tard. On peut imaginer diverses raisons à cela: sans doute les architectes gradués avant la réforme seraient-ils traités moins favorablement que ceux du nouveau système, et Garella était ambitieux; peut-être aussi y eut-il un régime transitoire, ou un jeu d'équivalences, permettant la conversion des anciens titres.

Cette digression montre que le diplôme d'architecte, conquis par deux fois par Garella, ne se décernait pas à la légère; elle permet de mieux comprendre quelle a probablement été la formation de notre personnage: d'abord, une sorte d'apprentissage chez son père, essentiellement fait de travaux de chantier; puis des notions de mathématiques élémentaires, suivies d'un examen à Chambéry; ensuite, quelques années de pratique et un examen plus sérieux, puisque l'architecte civil, selon la « Pratica dell'estimatore » de Grossi (1790) [16] devait prouver qu'il avait régulièrement suivi les cours de « géométrie spéculative et pratique » ainsi que de mécanique, et,

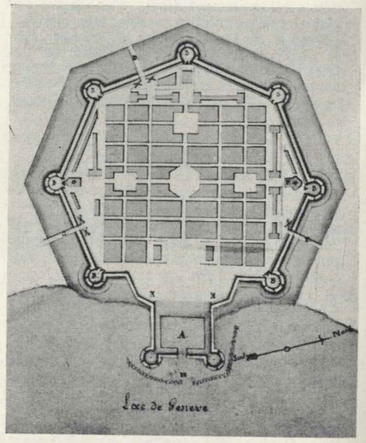

Fig. 2 - Capellini, copie du plan de Versoix envoyé le 30 août 1772 à l'intendant général de Savoie.

(10) Cf. AST, SC, SJ, 1772-1776, lettre du 24 juillet 1773.

(11) Cf. Belgrano-Belgran et surtout Perini-Perrin, in AUGUSTO CAVALLARI-MURAT, *Saverio Belgrano di Famolasco, ingegnere Sabaudo quale architetto in Sardegna*, in ART, février 1961, p. 19, note 34.

(12) AST, SC, SJ, 1783-1789, lettre du 25 septembre 1784.

(13) AST, SC, LP, Garella, 22 septembre 1784.

(14) Cf. BCS, introduction (specializzazioni e vita professionale).

(15) Cf. BCS, pp. 1 ss.

(16) Cité in BCS, p. 2. Beaucoup d'architectes furent d'abord mesureurs, bien que cette qualification ne soit pas un degré avant celle d'architecte, mais autre chose (I. A. Galletti, architecte en 1750, ne devient mesureur qu'en 1754; Cf. BCS, p. 37).

durant l'examen de mathématique, fournir, par le projet qu'on lui demandait, « des preuves insignes d'habileté, d'exactitude et de capacité dans les règles de l'architecture civile et de ce qui en dépendait ».

C'est ainsi que, « stylé à l'économie à Turin » [17], Garella passe au service du roi dès 1764, devient directeur des ouvrages, fortifications et bâtiments du duché de Savoie, puis architecte de S. M. pour la Savoie, enfin architecte des ponts et chaussées du duché [18], ce qui fait un *cursus honorum* non négligeable.

La liste de ses travaux est moins impressionnante. (Celle qui suit ne prétend d'ailleurs pas à l'exhaustivité [19] et comporte, en plus des dates des divers examens et nominations, jusqu'aux objets les plus humbles).

1735 (vers) - Naissance à Chambéry.

1756 22 avril - Architecte civil approuvé par la Royale Université de Turin, à Chambéry [20].

1756 - *Chautagne*. Projet de réparation des digues.

1762 12 mai - Architecte civil approuvé par la Royale Université de Turin, avec un projet d'église.

1764 (dès) - Au service du roi.

1769 17 avril - Remplace Pierre Cheneval, décédé [21].

Fig. 3 - Scamozzi, ville idéale.

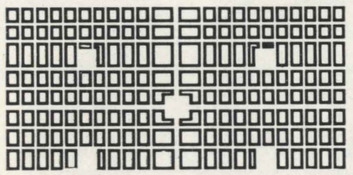

Fig. 4 - Plan de Philadelphie (1683).

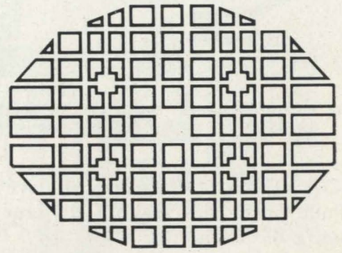

Fig. 5 - Garella, plan de Carouge restitué à sa forme idéale.

1769 8 septembre - *Lucey*. Expertise pour la reconstruction du pont sur la perte du Rhône [22].

1770 24 août - *Carouge*, ordre d'inspection des rives de l'Arve [23].

1772 19 février - Confirmé dans l'emploi de directeur des ouvrages, fortifications et bâtiments du duché de Savoie [24].

1772 8 avril - *Carouge*. Projet d'église et de presbytère (non exécutés) [25].

1772 avril - *Carouge*. Plan de la ville (non exécuté) [26].

1773 2 juillet - *Veyrier*. Plan pour la reconstruction de l'église [27].

1773 8 mai - *Maurienne*. Etat des travaux à exécuter à la route de Chambéry à Lanslebourg [28].

1773 9 juillet - *Amphion*. Construction d'un pavillon pour le duc de Chablais [29].

1773 11 août - *Carouge*. 2e plan de la ville (non exécuté) [30].

1773 - *Pont-de-Beauvoisin*. Feu d'artifice pour le passage des comtesses d'Artois et de Provence [31].

1773 et 1774 - Lève le plan de l'*Isère* entre Conflans et Montmélian et celui de l'*Arc* entre Aiguebelle et l'Isère, ainsi que des terres adjacentes [32].

1775 18 février - *Chambéry*. Relevé de divers appartements du château et plan général [33].

1775 - *Saint-Jean de Maurienne*. Arc de triomphe pour l'arrivée de Victor-Amédée III.

1775 11 novembre - Nommé architecte de S.M. pour le duché de Savoie.

1776 février - *Taninges*. Relevé du cours du Giffre à corriger en vue de la construction d'un pont [34].

1778 7 février - *Sierne*. Projet de pont (non exécuté) [35].

(17) Perroud, p. 17. Mais voir n. 39.

(18) Garella remercie de ce titre le 22 septembre 1784 (AST, SC, LP), alors que la patente, selon BCS, est du 11 juin 1786. Quid? Mais cela n'est pas un argument décisif contre l'identification des deux Garella(z) en une seule personne, puisqu'il ne pouvait y avoir, simultanément, deux architectes des ponts et chaussées du duché...

(19) Pour une étude plus poussée, il faudrait notamment dépouiller les fonds suivants: à *Turin*: AST, Materie economiche, Strade e Ponti in SC; IIa, la archiv.; IIa, 2a archiv.; IIa, administration générale du Piémont; AST, SC, Savoie économique; à *Chambéry*: Archives départementales de la Savoie, séries C et L, et fonds sarde; à *Annecy*: AHS.I.C.V.181, 23 lettres adressées par Garella à l'intendant général, concernant les bains d'Aix, Annecy, pont de Bonneville, Carouge, prisons de Chambéry, Etrembières, Miolans, pont de la Caille, pont de Crans, pont de la Dranse, pont de Rumilly, ouvrages du Regonfle, clocher de La Roche, maison de ville de Seyssel.

(20) BCS, p. 39, ainsi que toutes les indications ci-après dépourvues de références.

(21) Lettre de l'intendant général de Savoie à Garella: l'ingénieur Cheneval étant mort, Cheneval fils devient inspecteur des travaux et Garella « remplace Cheneval dans ses fonctions » (AHS.C.137.431).

(22) Perroud, p. 27. Le pont sera terminé en 1773.

(23) AHS.C.138.168.

(24) AST, sez. riunite, lettere, provincia di Savoia.

(25) AST II, 14.

(26) AST II, 14.

(27) FLEURY, *Monographie sur la paroisse de Veyrier*, in « Revue de la Suisse catholique », 1885, p. 17. Il s'agit sans doute d'une rénovation, car la mappe de Veyrier de 1729 indique un plan semblable à l'actuel, avec nef plus courte (« Genava », t. V, 1927, p. 295). Réception d'œuvre: 3 décembre 1773 (AHS.C.139. 503). Travaux commencés en 1774, bien que le porche porte la date de 1772. Consécration le 25 septembre 1789 (FLEURY, *Monographie...*).

(28) AHS, materie economiche, strade e ponti, mazzo 7 (pièce cédée).

(29) AHS.C.12.29.

(30) AST I, 7.

(31) AST, SC, SJ 1772-1776, lettres des 7 mai et 28 mai 1774.

(32) VERNEILH, *Statistique générale de la France, Département du Mont-Blanc*, Paris 1807, p. 439: « En 1773 et 1774, il (l'ancien gouvernement) fit lever les plans de ces deux rivières (l'Isère et l'Arc), ainsi que des terres adjacentes; s'il ne donna pas de suite à une entreprise aussi utile, ce fut probablement par la crainte des dépenses que devoit entraîner son exécution. M. Garella, architecte, fit à ce sujet des propositions contenues en un mémoire très-détaillé, qu'on a trouvé dans les archives de Turin ». DE LANNOY DE BISSY, *L'histoires des routes de Savoie*, MDS, t. LXVI, p. 197: « Ce mémoire prévoyait que les terrains récupérés par endiguement des cours d'eau et assèchement des rives produiraient 50.000 sacs de blé, une quantité considérable de foin, de fruit, de soies, des plus beaux chanvres et autres denrées ».

(33) AST, SC, reali palazzi Chambéry.

(34) AST, SC, SJ 1772-1776, lettre à l'intendant général de Savoie du 21 février 1776.

(35) AST, SC, recueils de plans divers.

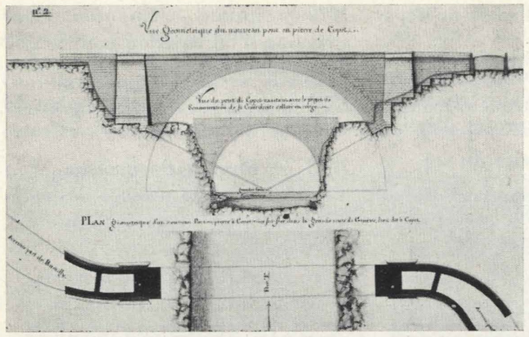

Fig. 6 - Garella, projet pour le pont de Copet (1790); au-dessous, à la même échelle, le pont encore existant (1626).

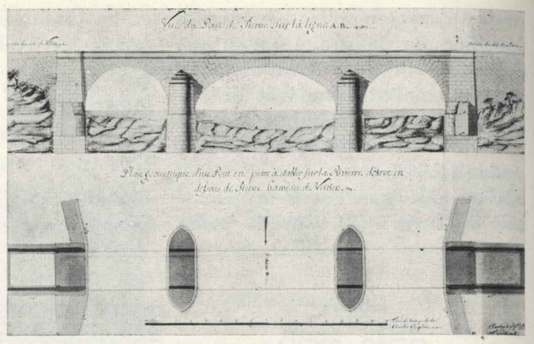

Fig. 7 - Garella, projet pour le pont de Sierne (1778).

1778 10 mars - *Chambéry*. Relevé d'une partie des maisons du faubourg de Maché [36].

1778 - *Seyssel*. Devis et plan du quai du Rhône [37].

1779 10 décembre - *Chambéry*. Projet d'écurie et de remise dans les jardins du château [38].

1780 - Sa méthode et sa pratique dans la conduite des travaux de Maurienne sont jugées trop coûteuses [39].

1781 8 mai - Nommé attaché aux ponts et chaussées du duché de Savoie.

1781 13 février - *Carouge*. Rapport et devis des travaux les plus urgents à effectuer à la grand'route Carouge-Chambéry [40].

1783 2 mars - *Saint-Julien*. Devis des travaux nécessaires pour aménager les accès et abords du pont sur l'Aire [41].

1783 mars - *Marais de Bossey*. Visite pour y chercher de la tourbe [42].

1783 - *Peccaix* (port sur le Lac du Bourget). Jalonnement des travaux du môle [43].

1784 6 janvier - *Chambéry*. Relevé de divers locaux du château [44].

1784 septembre - Nommé architecte des ponts et chaussées du duché de Savoie.

1784 septembre - *Chambéry*. Pavillon royal, amphithéâtre de 3 marches et 2 cabinets chinois pour une fête en l'honneur de LL. AA. RR. le prince et la princesse de Piémont [45].

1784 1er novembre - *Chambéry*. Plan d'une partie du château avec projet de transformation des cuisines et du 1er étage (refusé par le roi) [46].

1785 21 juin - *Chambéry*. Projet de nouvelle aile du château, de 3 étages (approuvé le 18 janvier 1786 et réalisé) [47].

1786 11 juin - Nommé architecte des ponts et chaussées du duché de Savoie.

1787 10 juin - *Rumilly*. Pose de la 1re pierre du pont Saint-Joseph sur le Chéran (exécuté; détruit) [48].

1787 12 septembre - *Sierne*. Plan et devis du pont (en bois) (exécuté; détruit) [49].

1787 - *Montmélian*. Projet d'endiguement de l'Isère (non exécuté).

1787 - *Regonfle*. Plan de la presqu'île [50].

1788 - *Carouge*. Correction (avec Gallo) du projet Giardino pour une nouvelle sortie de Carouge en direction de Veyrier (non exécuté) [51].

1789 (après le 19 avril) - *Seyssel*. Projet (avec Céard) de reconstruction de la pile centrale du pont sur le Rhône, écroulé à cette date [52].

1790 20 avril - *Copet*. Projet de pont sur le Fier (non exécuté) [53].

1792 - *Seyssel*. Plan du pont [54].

Après 1792, la trace de Garella se perd. Relevons pourtant qu'un

(36) AST, SC, reali palazzi Chambéry (plans et coupes intéressantes de deux maisons).

(37) AHS.I.C.IV.199.7.

(38) AST, SC, reali palazzi, Chambéry.

(39) Blanchard, *Bibliographie critique de l'histoire des routes des Alpes occidentales dans l'Etat de Piémont-Savoie...* Grenoble 1920, p. 40. Lettre de Garella du ler avril 1780: « M. de Pralormo (c'est le directeur des routes) m'a dit que l'on connaissait ma probité et mon désintéressement, (mais) que j'avais entrepris de trop grands ouvrages et que le manque de fonds était la cause de la mauvaise humeur des chefs » (Chambéry, Archives départementales de Savoie, C. 496).

(40) Archives départementales de Savoie, section finances, inventaire de Charles-Félix, chap. 12, ponts et chaussées, SA 373, no 14. (Il s'agit d'une description complète des ouvrages, avec leur état, de Carouge à Chambéry par Frangy).

(41) Archives d'Etat, Genève, Tabellion de Saint-Julien, no 120, 1783, p. 485 verso.

(42) AST, SC, LP, Sechi della Scaletta, 3 et 10 mars 1783.

(43) Perroud, p. 19.

(44) AST, SC, reali palazzi, Chambéry.

(45) AST, SC, LP, Garella, 22 septembre 1784. Il se vante d'avoir fait le projet de pavillon en une heure.

(46) AST, SC, reali palazzi, Chambéry.

(47) Ibidem.

(48) La paternité de ce pont pose des problèmes. Selon Perroud (p. 23), l'auteur en est Capellini, la première pierre fut posée le 27 septembre 1786 et l'ouvrage fut ouvert le 26 septembre 1790. Pour Verneilh (*Statistique générale de la France, Département du Mont-Blanc*, p. 542), l'architecte en serait Amoudruz; mais Amoudruz était l'entrepreneur, et d'ailleurs il ne figure pas dans le BCS. Enfin, selon F. Croisollet (*Histoire de Rumilly*, Chambéry 1869, p. 166) l'auteur est Garella, les travaux débutèrent le 10 juin 1786 pour s'achever fin 1791. L'ouvrage a été détruit par les Français le 24 juin 1940 (la plaque commémorative l'attribue également à Amoudruz).

(49) Archives départementales de Savoie, section finances, inventaire de Charles-Félix, chap. 12, ponts et chaussées, SA 373, no 10. (Pont de quatre travées; contrat du 16 février 1788 avec l'entrepreneur Pierre Joseph Favre, qui s'engage à terminer le ler juin 1788; un banc de marne retarde les travaux; le pont n'est réceptionné que le 6 mai 1789 (Perroud, p. 34), mais n'est pas achevé pour autant, témoin la relation de Garella du 14 mars 1791 (in SA 373) qui résume l'affaire et énumère les travaux qui restent à exécuter.

(50) AHS.I.C.IV.200.43.

(51) AST I, 7; lettre Foassa-Friot du 11 septembre 1788.

(52) ASH.I.C.IV.199.67-68.

(53) AST, SC, recueil de plans divers.

(54) AHS.I.C.IV.199.71.

Garella, architecte, oeuvre à Livourne où il arrive avec les Français lorsque la Toscane est réunie à l'Empire [55]. Est-ce le même? Il aurait environ 70 ans... mais l'hypothèse n'est pas invraisemblable: le vieil architecte de S.M. n'était point exempt d'inclinations profrançaises, puisque membre, en 1781, de la loge de Saint-Jean de la Parfaite Union [56], de tendance nettement révolutionnaire [57].

Le caractère fragmentaire des informations recueillies n'interdit pourtant pas de tracer un profil assez précis de Francesco Garella. La nature de ses interventions et son *cursus* ne laissent guère supposer de drames intérieurs, sinon ceux qui naissent de la carrière et de l'ambition: ne pas perdre son emploi et conquérir de nouveaux grades, voilà le moteur de cette vie sans doute assez dépourvue d'aises.

A peine peut-on parler d'oeuvres: l'essentiel du labeur garellien est fait de devis, de relevés, d'expertises, d'inspections. Ingénieur, il rédige plusieurs projets de ponts, dont bien peu sont exécutés; en 1778, il présente un dessin pour celui de Sierne, mais c'est un autre qu'on réalise en 1782; la passerelle qu'il peut enfin construire en 1788, pour intéressante qu'elle soit, ne suffit pas à fonder une réputation. S'il est réellement l'auteur du pont de Rumilly, en revanche, il y donne son chef-d'oeuvre. Mais vers 1780, Garella ne jouit pas d'un renom flatteur: « cette façon de bâtir (il

(55) Cf. G. Vivoli, *L'accrescimento progressivo di Livorno con le piante topografiche e con la storia*, Livourne 1830 (Ms.), cité in G. Nudi, *Storia urbanistica di Livorno*, Venise 1959, p. 105, note 27. Les lettres de P. L. Courier (qui fut à Livourne en septembre 1807 et du 2 mars au ler septembre 1808) sont muettes à ce sujet.

(56) Cf. François Vermale, *La Franc-Maçonnerie savoisienne à l'époque révolutionnaire*, Paris 1912, p. 57 (tableau des Frères, où figurent trois « Garrellaz », un financier, un archiviste et un « architecte agrégé » qui est sans doute le nôtre). La loge de la Parfaite union cessa ses travaux en 1790 par ordre du roi (ibid., p. 31); elle dépendait du Grand-Orient de France.

(57) L'hypothèse, pour séduisante qu'elle soit, ne résiste pas à un examen plus poussé, mais c'est probablement un fils de Garella qui se trouve en Toscane. En effet, Hyacinthe Garella (Chambéry 3 décembre 1775 - Aix 8 août 1852, entré à l'Ecole des ponts et chaussées en 1797, ingénieur en 1799 — cf. La Grande Encyclopédie, t. 18 —, naturalisé français le 24 janvier 1816, ingénieur en chef des ponts et chaussées des Bouches du Rhône, — cf. MDS t. XVII [1878], p. 274) a un fils, Félix-Napoléon, qui naît à Lucques le 18 avril 1809. Hyacinthe était-il le frère de Marie-Anne, née vers 1775 (MDS, ibid., p. 274) et de Louis-Marie, né le 8 décembre 1777 à Chambéry, entrepreneur des bâtiments civils de la marine à Toulon, naturalisé français le 4 juillet 1827 (MDS, ibid., p. 394)?

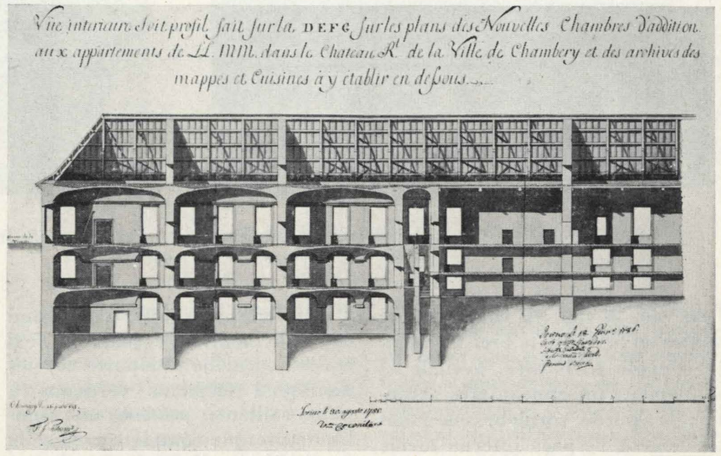

Fig. 8 - Garella, coupe de la nouvelle aile de Chambéry (1785).

s'agit du pont de Sierne en bois, de 1782) n'est pas du goût de M. l'architecte Garellaz (...), mais, comme il n'en est pas l'inventeur, il ne l'approuve pas, quoiqu'il dût se rappeler qu'il n'y est pas heureux, et combien ceux qu'il a fait faire ont déjà, dit-on, été entraînés » [58]. S'il construit, ce sont des babioles: pavillons, remise, écurie, arc de triomphe de bois et de plâtre; là encore, il fournit de nombreux projets, dont *un seul* sera réalisé - l'aile du château de Chambéry bâtie de 1786 à 1789.

Inutile, donc, de chercher à séparer les oeuvres où Garella donne sa pleine mesure de celles qui sont des travaux de routine, et moins encore de distinguer prose et poésie dans sa production. Garella est un pur opérateur, dépourvu d'imagination comme de force créatrice. Son intérêt vient d'ailleurs: du fait qu'il enregistre passivement les tendances générales de son milieu culturel, on peut le considérer comme l'échantillon d'une moyenne, l'index d'une tendance générale inconsciemment exprimée.

Cette tendance, c'est, à la fin du baroque piémontais, tandis que certains artistes produisent encore des oeuvres agiles et tendues, la paralysie progressive d'un système formel et conceptuel, en même temps que la recherche d'un idéal dans l'architecture du XVIe siécle [59].

Quelques projets de Garella sont à cet égard typiques. Nous ne nous arrêterons pas sur l'église de Veyrier (1774), où l'architecte a sans doute dû tenir compte des structures antérieures et que des remaniements ont achevé de rendre insignifiante. Le projet pour l'église de Carouge, en revanche, est plus révélateur [60]. Son plan offre une rigidité que des considérations économiques n'expliquent pas entièrement; il ne comprend que des droites et un demi-cercle, d'un caractère dur et scolaire (on pourrait même supposer que Garella utilise pour Carouge son projet de diplôme de 1762); les chapelles latérales perpendiculaires à

(58) Lettre de Veyrier du 21 janvier 1782 (Gaullieur, p. 190 s.).

(59) Cf. Nino Carboneri, *Prodromi di neoclassicismo nell'architettura piemontese del Settecento*, in « Bollettino Cuneo », N. S. 26, juin 1949, p. 41 ss. et préface à la partie *Architettura* du catalogue de la « Mostra del barocco piemontese », Turin 1963.

(60) AST II, 14.

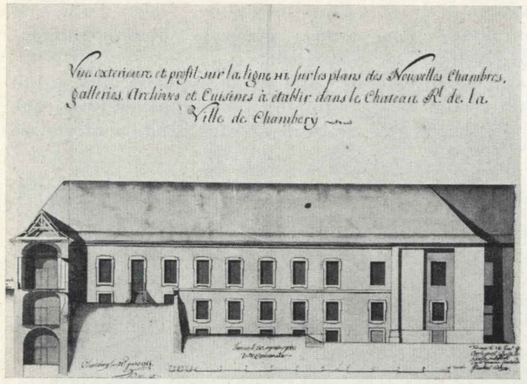

Fig. 9 - Garella, élévation de la nouvelle aile de Chambéry.

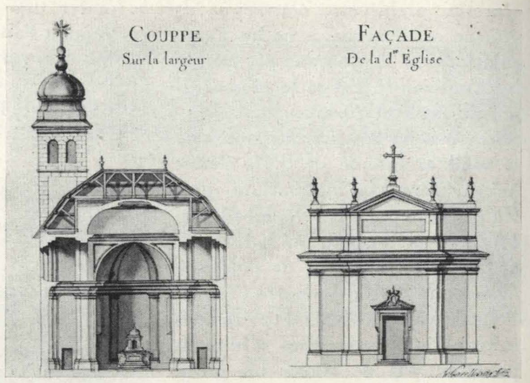

Fig. 10 - Garella, projet pour l'église de Carouge (1772).

l'axe de la nef et couvertes de voûtes en berceau, le bref transept, la coupole surbaissée, aveugle et soulignée d'un anneau très accentué, la lourde corniche enserrant totalement l'espace interne même au revers de la façade, enfin l'abside en quart de sphère, innervée par le prolongement des lésènes en *diminuendo*, autant d'éléments et de procédés qui ne se réfèrent nullement à la tradition guarino-vittonienne, mais bien à la Renaissance tardive.

Timide et correct, cet organisme se réclame d'un idéal de rigueur et de concaténation, de distinction fonctionnelle des éléments (sans pourtant recourir aux tracés de proportion). Il tend à une espèce de structuralisme, qui décompose l'édifice en forces; seules les membrures sont exprimées et les éléments de remplissage s'y insèrent exactement - voyez à cet égard les fenêtres hautes. La cage structurelle est rendue apparente par le simple jeu des colonnes engagées, des arcs transverses plats, en plein cintre, qui soutiennent la voûte à croisée d'arêtes, le tout enserré dans le fort lien horizontal de la corniche qui enveloppe le choeur d'une courbe ininterrompue. Dans cette tendance au structuralisme s'exprime Garella ingénieur.

Peu de raffinement, pas de détails. Seuls éléments baroques, l'autel et, en façade, le fronton brisé d'un cartouche à couronne et les urnes flammées.

Extérieur, lui aussi, d'un grand dépouillement: la façade, où l'excessive corniche l'emporte sur les nombreux éléments verticaux à peine saillants, présente une similitude presque complète avec celle de S. Maria di Piazza, à Turin, ajoutée en 1830 au chef-d'oeuvre de Vittone.

Effort, donc, d'austérité que souligne encore l'emploi de l'ordre toscan. Absence d'effets dramatiques à l'intérieur; rien de triomphal ou de virtuose non plus dans le clocher à bulbe - peut-être la proximité ombrageuse des Genevois y est-elle pour quelque chose. Comme c'est Mgr Biord qui a voulu cette église, il y a lieu de croire qu'il en approuva les plans, avant leur expédition à Turin. Car c'est lui, sans nul doute, qui voulait un sanctuaire sans décor, différant le moins possible des temples protestants, dans l'espoir de faciliter les conversions.

Quant au presbytère, d'une grande modestie lui aussi, toute sa qualité réside dans le rythme irrégulier de sa façade symétrique, dont les compartiments sont, à la piémontaise (et ce procédé remonte à Juvarra [61]), encadré de lésènes sans chapiteaux.

Les deux seuls ponts de pierre dont j'aie retrouvé les dessins montrent que Garella n'était pas l'incapable dont parle le comte de Veyrier.

Celui de Sierne (1778) comprend même au centre une arche à plusieurs foyers assez énigmatique. Car les ponts du génie civil piémontais sont d'un calcul simple; ils usent du demi-cercle pour le profil de l'arche, procédé à l'abri de toute surprise, vérifié par une tradition séculaire. Le pont de Copet (1790), qui devait remplacer le vieux pont de 1626 de 24 m. de portée, aurait eu plus de 45 m. d'ouverture [62], c'est-à-dire plus encore que celui de Rumilly, dont la travée de 40 m. en faisait pourtant « la plus grande arche plein ceintre construite dans le XVIII[e] siècle » [63]: or, tous deux recourent à la courbe continue. L'intérêt du pont de Sierne, c'est qu'il relève nettement de l'école française des ponts et chaussées; peut-être Garella avait-il eu connaissance de certaines épures de Jean-Rodolphe Perronet [64], comme celles du pont Saint-Edmé, à Nogent (1773), ou surtout du pont de Neuilly (1768-1772), qui ne paraîtront que plus tard [65]. Elles font preuve d'une réflexion novatrice sur les forces en jeu dans l'organisme du pont et proposent une solution beaucoup plus approchée que les arches traditionnelles. L'agent de transmission fut-il Nicolas Céard [66]? On a vu Garella travailler avec cet ingénieur français en 1789, lors de la reconstruction du pont de Seyssel, mais peut-être leur collaboration commença-t-elle plus tôt. D'ailleurs Gallo, lui aussi utilise l'arche en anse de panier pour le pont Rouge (1er décembre 1777). On ne peut toutefois se défendre de penser qu'il s'agit plutôt, chez les Piémontais, de l'imitation d'une forme que de la maîtrise d'une méthode...

Le dernier ouvrage de Garella qui reste à examiner est le projet des « nouvelles chambres, galleries, archives et cuisines à établir dans le château royal de la ville de Chambéry » (1785), qui sera réalisé, mais que d'ultérieures transformations ont altéré. Il s'agit de l'aile SE, approuvée après qu'un premier projet eut été refusé par Victor-Amédée III.

Gabriel Pérouse [67], qui ne nomme pas Garella, juge ce travail durement: « On se décida pour le projet dont l'exécution a tant gâté la perspective de la cour en supprimant la petite terrasse et la terrasse de la reine, et en masquant la terrasse des archives derrière le bâtiment maussade dont les deux ailes forment encore l'angle sud-est du château (...) les travaux commencèrent en 1786 et durèrent quatre ans (...). Achevé et décoré en 1789 (...) ». Certes, la dernière oeuvre de Garella, outre l'altération des espaces externes qu'elle a entraînée (mais l'architecte n'était pas responsable du programme), confine à une sécheresse quasi militaire. On ne la comprend peut-être qu'en la mettant en rapport avec le goût des masses pures et non décorées dominant alors dans l'Europe entière. Sans même remonter à la *Manica lunga* du Quirinal, de Fuga (vers 1730) [68], ou aux bâtiments de Juvarra pour le secrétariat d'Etat et les Archives de la Cour, à Turin (1731) [69], on pense, notamment, aux dernières constructions du Hradschin (Pacassi, 1756-1774) [70], en un mot à ces grands bâtiments aux immenses murs nus, aux façades équivalentes, dépourvues de pilastres comme d'accent central, et qui paraissent si utilitaires qu'ils finissent, au XIX[e] siècle, par devenir le prototype des entrepôts portuaires [71]: *edilizia*, non plus *architettura*.

Garella, parti du néo-XVI[e] siècle, aboutit non pas à un langage nouveau (car le bâtiment de Chambéry se situe bien dans l'axe linguistique que proposait l'église de Carouge), mais à une anémie, à un épuisement du langage. Pour comprendre l'esprit du plan de 1772, l'église a son importance; mais l'aile chambéryenne, comme point d'aboutissement, permet de déceler si l'attitude culturelle de l'architecte était féconde. Le néo-XVI[e] siècle permettait peut-être, vers 1775, une critique interne du langage reçu; mais s'il n'en sortait rien de plus efficace dix ans plus tard, c'est que le malaise n'avait pas débouché dans un renouveau.

Le plan de Carouge est, comme celui de l'église, mais de façon plus éclatante encore, un produit de la tendance néo-Renaissance. Garella a le champ libre pour imposer la *forma urbis* de son choix

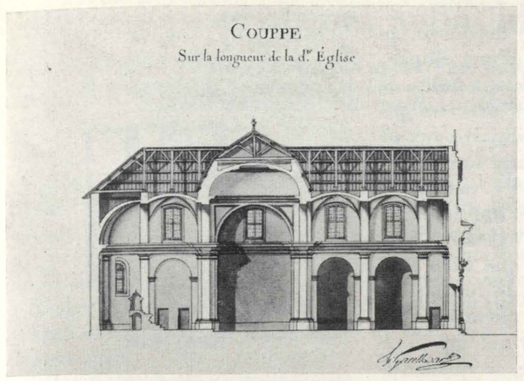

Fig. 11 - Garella, projet pour l'église de Carouge.

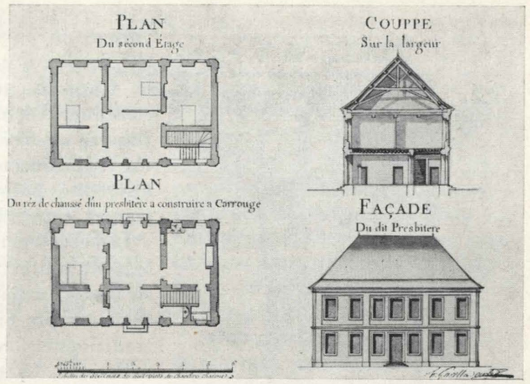

Fig. 12 - Garella, projet pour le presbytére de Carouge (1772).

(61) Cf. A. CAVALLARI-MURAT (*Fantasticheria architettonica dei Piemontesi nel Sei e Settecento*, in « Conferenze dell'ACI » 1959-1960, fasc. III, p. 76) sur la substance architectonique de Stupinigi. Mais à Stupinigi, cette réduction du décor à la structure se justifiait par l'échelle perpective et perceptive (cf. MARCO ROSCI, *Filippo Juvarra e il « nuovo » gusto classico alla metà del Settecento*, in « Atti dell'VIII convegno nazionale di Storia dell'architettura, Caserta 1953 », Rome 1956).

(62) L'occupation française empêchera l'exécution de ce projet; il faudra attendre 1862-1864 pour qu'un ouvrage de cette importance, mais à deux arches, enjambe le Fier, un kilomètre en aval, sans que la route ait à descendre.

(63) Selon F. CROISOLLET, *op. cit.*, p. 166.

(64) 1708-27 février 1794, originaire de Vevey, directeur de l'Ecole des ponts et chaussées de France dès sa fondation en 1747 et premier ingénieur des ponts et chaussées de France. Auteur de treize ponts exécutés et de huit projets. Perronet devint célèbre à la suite du déceintrement du pont de Neuilly, le 22 septembre 1772, qui eut lieu en 3 minutes et demie en présence du roi.

(65) La *Construction des Ponts* date de 1782; on y trouve les épures du pont de Neuilly, et, pour la première fois, l'arche à onze foyers. L'arche centrale du pont Saint-Edmé mesure 28,80 m., celle du pont de Sierne 25,75 m.

(66) Nicolas Céard, 21 janvier 1745 - 11 octobre 1821, entra en 1767 à l'Ecole des ponts et chaussées.

(67) In *Le château de Chambéry depuis Victor-Amédée II*, MDS, t. LVIII, 1918, p. 298 à 300.

(68) Cf. Roberto Pane, *Ferdinando Fuga*, Naples 1956, p. 123.

(69) Cf. AUGUSTA LANGE, *Il progetto di Filippo Juvarra per i palazzi delle Segreterie di Stato e degli Archivi di Corte, e per il Teatro Regio nel piano urbanistico di Amadeo di Castellamonte*, in « Bollettino SPABA », N. S., 1962-1963, p. 121 ss.

(70) Cf. KARL M. SWOBODA, *Barock in Böhmen*, Munich 1964, p. 59 s.

(71) On pense aux entrepôts vantés par Giedion (Washington Stores, New York 1845) ou Richards (St. Katharine's Docks, Londres 1824) dont la simplicité « préfonctionnelle » ou « prérationnelle » fait rêver ces auteurs.

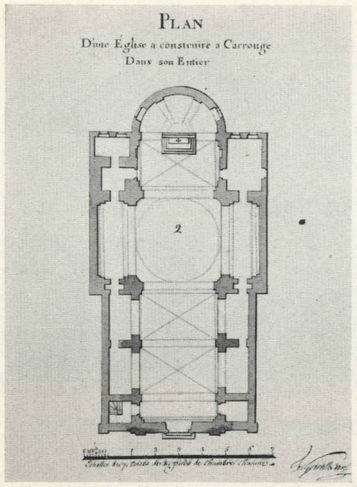

Fig. 13 - Garella, plan de l'église de Carouge.

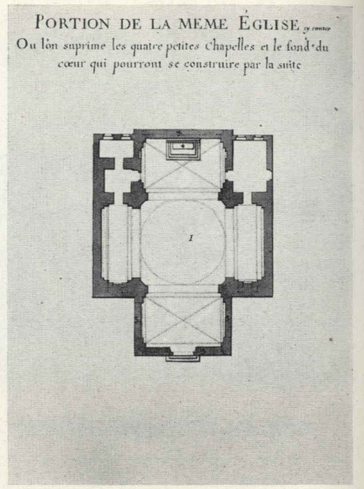

Fig. 14 - Garella, plan de la première étape de l'église de Carouge.

— car les quelques données absolues que nous avons examinées à la fin du précédent chapitre laissaient une marge de possibilités considérable. Entraîné de par son métier d'ingénieur des ponts et chaussées, on pourrait le croire sensible aux qualités topographiques d'un site, capable d'en saisir les suggestions proprement organisatrices, de s'emparer « gestaltiquement » des données pour les convertir en un organisme original. Mais sa formation lui fait recourir à une forme empruntée. L'échiquier, certes, c'est Turin et toute la tradition piémontaise, villes franches comprises, et les quatre places excentrées descendent de piazza Susina (Juvarra, vers 1728). Cependant, ce que Garella propose, c'est une ville idéale de type scamozzien, qui rappelle étrangement Philadelphie (1683). Chose curieuse, les dates semblent exclure qu'il ait eu sous les yeux la « copie du plan de l'enceinte de la Ville projetté a Versoix en juillet 1770 », exécuté par Capellini dans des circonstances qu'il vaudrait la peine d'élucider [72].

Si l'on complète de plan sans tenir compte de la frontière on obtient un polygone de douze côtés, dessiné à partir d'une ellipse: le Carouge garellien essaie de combiner l'échiquier avec un périmètre réservé d'ordinaire aux cités radioconcentriques, tandis que l'hérédité baroque s'y marque à travers cette ellipse implicite.

Les constructions existantes s'intègrent plutôt mal que bien à la structure urbaine; le projet ne tient compte ni des cheminements traditionnels, ni surtout des dénivellations. La trame, le quadrillage, que les successeurs de Garella conserveront, Robilant surtout, comme une indication générale, reste ici indifférenciée, surimposée. La formation théorique de Garella s'est faite dans les traités de la Renaissance, et sans doute sa proposition ne heurtait-elle pas le goût de la cour, puisque le plan fut approuvé [73]. L'indication est précieuse: on lit dans le plan de Carouge, comme en radiographie, l'idéal d'un état absolu, centralisé, omniprésent, au système rigide, mais où se distingue déjà une longue fêlure...

La projection sur le terrain se fait brutalement, sans transition suffisante avec une réalité dont on se débarrasse en la repoussant en marge, en lui concédant une oblique ridicule, le décrochement d'une place et la servitude d'une frontière. En quoi ce plan très statique réalise-t-il un programme de cité commerçante? Cette forme elliptique ne rime à rien, parce qu'imperceptible au piéton et destinée à un remplissage d'éléments fondés sur l'angle droit. Surtout, la référence à Scamozzi mesure ce qui sépare Carouge, version I, des villes idéales du XVI[e] siècle. Garella applique à son modèle le même procédé simplificateur que les théoriciens faisaient subir à l'architecture antique ou palladienne: croyant la réformer, ils en détruisaient l'essentiel, ce qui en constituait l'individualité. L'appauvrissement du réseau des rues, du rapport des places, bref, de la structure serrée qui caractérise les villes utopiques dans leur tension visionnaire, produit une sorte de graphique non compromettant. Plutôt qu'une proposition pour une ville réelle partant d'une démonstration d'érudition, le plan de Carouge de Garella évoque les cités américaines du XIX[e] siècle: un lottissement d'entrepreneur.

Une remarque, toutefois, doit corriger ce jugement négatif. Si ce plan avait été appliqué, il n'en serait probablement pas résulté une ville de blocs compacts, mais une cité, comme le fut Carouge, aux demeures d'un étage seulement, donnant sur des jardin: le caractère du plan aurait, par la troisième dimension, gagné en « habitalité » [74].

Dans le mélange de rationalisme et d'imagination qui caractérise le caractère piémontais et dont Marziano Bernardi a donné une si juste définition [75], c'est, chez Garella, la première composante qui l'emporte. Le fait qu'il ait été surtout ingénieur n'est pour rien dans ce déséquilibre: Rana, qui l'était aussi, et même militaire, a bien produit l'éclatante église de Strambino.

André Corboz

[72] AST, SC, Archivio topografico segreto di S. M., Versoix, 42.D.II. Il y a un plan de 1770 et une copie avec l'indication « extrait de l'original qui a été envoyé à Mr l'Intendant général Blanchot. Chamberi, ce 30 aout 1772 ».

[73] AST, SC, SJ 1772-1776, lettre du 27 juin 1772 à l'intendant général de Savoie.

[74] Cf. les illustrations du *Theatrum Sabaudiae*, La Haye, 1700 (éd. facsimilé, Turin 1964) et A. CAVALLARI-MURAT, *L'antica regolamentazione edilizia*, in ART, avril 1956.

[75] Cf. *Immagini di Torino barocca*, Turin 1950, p. 38.

Ulteriori osservazioni sulla instabilità delle schiere di vortici

GIANNANTONIO PEZZOLI, in questa breve nota, che fa seguito e completa altri due lavori comparsi sui Rendiconti dell'Accademia dei Lincei, dà una nuova dimostrazione rigorosa e nello stesso tempo del tutto elementare, della totale instabilità della schiera vorticosa di Bénard-Kàrmàn.

1. - In due note precedenti [1], [2] ho affrontato in maniera un poco diversa da quella tradizionale il probema della stabilità delle schiere vorticose doppie, del tipo di Bénard-Kàrmàn e delle schiere di vortici generalizzate di Maue-Dolaptschieff.

Nella teoria della resistenza al moto dei corpi immersi in un fluido, è di notevole importanza lo studio di queste schiere vorticose che hanno dato luogo ad una grandissima mole di ricerche. In particolare, il problema della loro stabilità fu affrontato inizialmente nel 1911 da Kàrmàn impostando la ricerca teorica sullo schema ormai classico di schiera doppia indefinita di vortici in moto piano irrotazionale di fluido perfetto, incomprimibile, illimitato.

Lo schema in questione sottoposto ad una prima indagine portò al risultato di determinare una condizione sotto la quale la doppia schiera di vortici alternati risultava stabile [3]. Il risultato però, fu messo in dubbio da vari ricercatori per le modalità con cui era stato ottenuto, e che consistevano nel perturbare in maniera infinitesima uno solo dei vortici della schiera.

Infatti H. Lamb [4] nella 5[a] edizione del suo celebre trattato di idrodinamica, dando una perturbazione assai più generale a tutto il sistema, ricavò una nuova condizione di stabilità che non coincideva con la primitiva, e che, con riferimento alla fig. 1 si scrive, come è ben noto,

$$ch\,\frac{\pi h}{l} = \sqrt{2} \qquad (1)$$

o in maniera equivalente

$$\frac{h}{l} = 0{,}280 \qquad (1')$$

(vedi anche Villat [3]). Ciò nonostante le vedute di Joukowski [5] in difesa del primo metodo, vedute che il Villat definisce erronee senza altra spiegazione.

Questo non deve far pensare che il problema fosse con ciò definitivamente risolto. Infatti, nel 1936 Schmieden [6] e nel 1939 Kot-

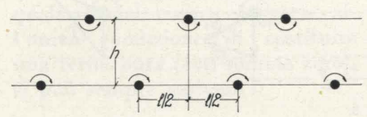

Fig. 1.

chin [7] introducendo particolari tipi di perturbazioni dimostrarono che la doppia schiera di vortici alternati diventava instabile anche nella configurazione rispondente alla condizione sopracitata, quando nella equazione del moto si tenesse conto dei termini di secondo ordine.

A ciò seguì una trattazione ancor più generale effettuata da Domm [8] sulla cosiddetta configurazione a due parametri introdotta in precedenza da Maue [9] e Dolaptschieff [10]. Questi Autori considerando delle schiere di vortici ancora più generali di quelle studiate da Kàrmàn, e precisamente, con riferimento alla fig. 2, doppie schiere con prefissato va-

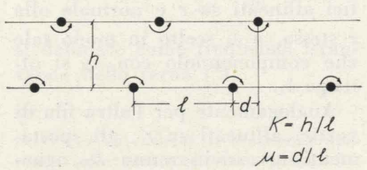

Fig. 2.

lore di $k=\frac{h}{l}$ e $\mu=\frac{d}{l}$, avevano formulato indipendentemente la condizione di stabilità per queste ultime, seguendo i metodi tradizionali; questa condizione si scrive:

$$sin\ \pi\mu = sh\,\pi\,k \qquad (2)$$

Domm nel suo lavoro prova che ogni duplice schiera di vortici in moto piano di fluido perfetto incomprimibile illimitato che soddisfa alla condizione di Maue (2) è instabile al secondo ordine, mentre ogni altra possibile disposizione, pure in duplice schiera, è instabile al primo ordine.

In questa trattazione la schiera di Kàrmàn diviene un caso particolare corrispondente a $\mu=1/2$ e costituisce l'elemento avente il massimo valore del rapporto h/l e la più piccola velocità di traslazione fra la classe delle doppie schiere di vortici di massima stabilità, o per meglio dire, di minima instabilità.

Una estesa bibliografia ed un riassunto storico sullo svolgimento delle ricerche relative alla stabilità delle schiere di vortici e sulle estensioni della teoria relativa a vortici in fluidi comprimibili, limitati ecc., sono riportati in un pregevole recente lavoro di B. R. Wille [11].

Per quanto riguarda la teoria classica, ricordo anche che i numerosissimi lavori che hanno preceduti i citati [1] e [2], ricalcano ognuno le orme dei precedenti, affetti tutti da un vizio di origine.

I ricercatori si sono sempre preoccupati infatti, di assegnare per la stabilità dei sistemi studia.-ti, condizioni che sono soltanto « necessarie » senza preoccuparsi di determinare in pari tempo anche le condizioni « sufficienti » per la validità della soluzione stessa.

Occorre ricordare che già nel 1933 G. Durand [12], in una ricerca generalmente ignorata, aveva mostrato, unicamente per speciali sistemi di perturbazione, che la schiera vorticosa alternata di Kàrmàn era instabile al primo ordine; l'instabilità dipendeva quindi, abbastanza stranamente, dal tipo di perturbazione, cosa che avrebbe dovuto far supporre che le condizioni trovate di stabilità al primo ordine non erano sufficienti, ma, tutt'al più, solo necessarie.

Nelle note [1] e [2] già citate, si è invece dimostrato, con rigoro-

so criterio matematico, che sia la schiera di Kàrmàn, sia le schiere generalizzate di Maue e Dolaptschieff, nello schema adottato sono sempre e totalmente instabili per qualunque perturbazione.

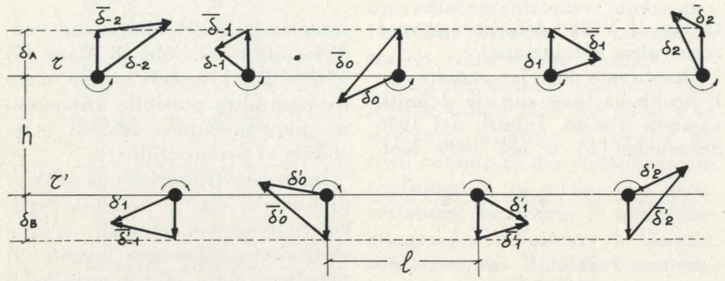

Fig. 3.

Per la schiera di Kàrmàn, che è l'unica ad essere stata effettivamente osservata, si è data anche una plausibile spiegazione del fatto che essa si formi e possa mantenersi in uno stato « quasi stabile » sia pure per uno spazio relativamente breve, dietro al corpo che la provoca.

Si è dimostrato anche, che in particolari assetti, che corrispondono molto bene a quelli osservati sperimentalmente, la forza instabilizzante ha il valore minimo possibile, e quindi con il concorso delle forze tangenziali di origine viscosa (non messe in conto nello schema adottato) e che agiscono in senso stabilizzante, si può spiegare come la schiera o scia di Kàrmàn possa avere una « vita » reale, anche se relativamente breve.

2. - Esposte le precedenti considerazioni che servono ad inquadrare l'argomento, mostriamo in questa breve nota, come sia possibile, al di fuori di ogni più o meno complessa elaborazione matematica, restando nell'ambito dello schema originario del Kàrmàn, dimostrare altrettanto rigorosamente, ma in modo del tutto immediato ed elementare, la assoluta instabilità della doppia schiera alternata di vortici.

L'estensione della dimostrazione alle schiere di Maue-Dolaptschieff è del tutto immediata e di tale evidenza che si è preferito sorvolare sull'argomento, data anche la scarsa importanza delle schiere anzidette, mai osservate sperimentalmente.

Con riferimento alla fig. 3, perturbiamo il sistema in maniera qualunque dando ad ogni vortice della schiera uno spostamento arbitrario δ_k per i vortici allineati sulla retta r e δ'_k per quelli allineati sulla retta r', essendo

$$-\infty < k < +\infty$$

Procediamo ora ragionando per assurdo; supponiamo quindi che esista, per un solo assegnato valore del rapporto $\frac{h}{l}$, un assetto stabile della doppia schiera vorticosa e sia per questo assetto

$$\frac{h}{l} = \alpha \qquad (3)$$

Noi possiamo tuttavia portare ogni vortice dalla posizione originaria alla posizione finale, cui compete l'assegnato spostamento δ_k (o δ'_k), con due spostamenti successivi: δ_A, eguale per tutti i vortici allineati su r e normale alla r stessa, e $\overline{\delta_k}$ scelto in modo tale che componendolo con δ_A si ottenga δ_k.

Analogamente per l'altra fila di vortici allineati su r', gli spostamenti successivi saranno: δ_B, uguale per tutti i vortici della fila e normale a r' e $\overline{\delta'_k}$ tale che il suo risultante con δ_B sia δ'_k.

Con le caratteristiche di fluido già precisate (perfetto, incomprimibile ecc. ...) il procedimento è legittimo in quanto qualunque azione si risente istantaneamente in tutto il sistema essendo infinita la velocità di propagazione di ogni perturbazione.

Il primo passo del procedimento consiste dunque nel dare ai vortici di r lo spostamento δ_A e a quelli di r' lo spostamento δ_B; a questo punto il sistema si è portato in un assetto per cui non vale più la (3) ma la

$$\frac{h + \delta_A + \delta_B}{l} = \beta \qquad (4)$$

con β in generale diverso da α.

Il nuovo assetto, se $\beta \neq \alpha$ caratterizza uno stato instabile del sistema e quindi i successivi spostamenti δ_k e δ'_k tenderanno a far allontanare indefinitamente tutti i vortici dalle loro posizioni di origine.

Ciò mostra che non vi può essere nessun assetto stabile del sistema caratterizzato da una relazione del tipo (3) e porta a concludere che la doppia schiera di Kàrmàn è sempre e totalmente instabile.

Giannantonio Pezzoli

BIBLIOGRAFIA

[1] Pezzoli G., *Sulla stabilità delle schiere di vortici. La doppia schiera di Bénard-Kàrmàn.* Rend. Acc. Lincei, N. 2, 1964.

[2] Pezzoli G., *Le doppie schiere generalizzate di vortici.* Rend. Acc. Lincei, N. 3, 1964.

[3] Villat, *Leçons sur la théorie des tourbillons.* Gauthier-Villars Ed., Paris, 1930.

[4] Lamb H., *Hydrodinamics.* V^a Ed., University Press, Cambridge.

[5] Joukowsky N., *Aerodynamique*, Paris, 1916.

[6] Schmieden C., *Zur Theorie der Karmanshen Wirbelstrasse.* Ing. Arch. 7, 215-241 (1936).

[7] Kotchin N. J., *Compt. Rend. (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'SSSR 24*, 18-22 (1939).

[8] Domm U., *Ueber Wirbelstrassen von geringster Instabilitat.* Z. angew. Math. u. Mech. 36, 367-371 (1956).

[9] Maue A., *Zur Stabilitat der Karmanschen Wirbelstrasse.* Z. angew. Math. u. Mech. 20, 129-137 (1940).

[10] Dolaptschieff B., *Compt. Rend. de l'Académie Bulgare des Sciences*, 1934.

[11] Wille B. R., *Kàrmàn Vortex Street. Advanced in Applied Mechanics.* Vol. VI°, Academic Press, New York and London, 1960.

[12] Durand G., *Sur les petits mouvements d'un système infini de tourbillons autour d'une position d'équilibre.* Public. Scientif. du Ministère de l'Air, Paris, 1933.

Sul comportamento dei sistemi trifasi in condizioni perturbate

Nei problemi che riguardano la regolazione delle grandi reti di trasporto dell'energia è necessario considerare i sistemi trifasi soggetti a perturbazioni che alterano il regime sinusoidale delle tensioni e delle correnti. Si rende quindi indispensabile trovare per le principali grandezze elettriche (ampiezza di tensione o di corrente, frequenza, potenza attiva e reattiva) definizioni che siano valide anche in regime variabile, giacchè quelle classiche richiedono che il sistema sia in condizioni di regime sinusoidale. In questa nota ROBERTO POMÈ *propone per le grandezze suddette definizioni che soddisfano appunto all'esigenza di essere applicabili in condizioni perturbate, e di coincidere a regime con quelle tradizionali; successivamente viene determinato un operatore vettoriale che consente di calcolare la risposta di un sistema trifase a perturbazioni di frequenza e di ampiezza nella terna delle tensioni applicate.*

1) Generalità.

Nello studio dei problemi connessi alla regolazione degli impianti elettrici, e in generale in quello del comportamento delle reti trifasi in condizioni perturbate, interessa disporre per alcune grandezze, come l'ampiezza di tensione (o di corrente), la frequenza, la potenza reale e la potenza reattiva, di definizioni che restino valide tanto in condizioni di regime sinusoidale, quanto in quelle perturbate.

In questa nota si pone in evidenza che, tra le varie trasformazioni delle grandezze trifasi che sono state proposte, soprattutto per lo studio delle macchine ruotanti, quella delle componenti simmetriche istantanee [1] si presta particolarmente a fornire le definizioni cercate.

In relazione poi allo studio della regolazione degli impianti, in questa nota si determina un operatore che consente di esprimere la relazione tra le ampiezze e le frequenze variabili dei vettori associati alle terne delle tensioni e delle correnti ai morsetti di un sistema trifase passivo.

2) Ampiezza e frequenza istantanee di una terna pura.

Date tre grandezze, tensioni o correnti, che costituiscano in regime sinusoidale una terna simmetrica diretta:

$$g_1(t) = \sqrt{2}\, A \sin \omega t$$

$$g_2(t) = \sqrt{2}\, A \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$g_3(t) = \sqrt{2}\, A \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$$

è consuetudine definire rispettivamente A ed ω valore efficace e pulsazione della terna considerata. Quando g_1, g_2, g_3 sono funzioni qualsiasi del tempo, soggette all'unica condizione di costituire una terna pura (con somma zero), si può sempre scrivere

$$g_1(t) = \sqrt{2}\, A(t) \cos \vartheta(t) \qquad (2\text{-}1)$$

$$g_2(t) = \sqrt{2}\, A(t) \cos\left[\vartheta(t) - \frac{2}{3}\pi\right]$$

$$g_3(t) = \sqrt{2}\, A(t) \cos\left[\vartheta(t) + \frac{2}{3}\pi\right]$$

dove:

$$A(t) = \sqrt{\frac{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2}{3}} \qquad (2\text{-}2)$$

$$\vartheta(t) = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{g_2 - g_3}{g_1} \qquad (2\text{-}3)$$

La trasformazione che dalle due grandezze indipendenti della terna pura fa passare alle variabili $A(t)$ e $\vartheta(t)$ consente di assumere per definizione come valore efficace istantaneo e fase istantanea della terna (g_1, g_2, g_3), le funzioni $A(t)$ e $\vartheta(t)$; di conseguenza

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\vartheta}{dt} \qquad (2\text{-}4)$$

si definisce come frequenza istantanea della terna (*).

(*) Per chi calcola la frequenza operando sulle misure effettuate in una determinata sezione del sistema non è teoricamente possibile distinguere se le perturbazioni di frequenza siano dovute a variazioni di velocità degli alternatori che alimentano la rete o a modificazione dei parametri della rete stessa. In particolare, brusche variazioni di tali parametri possono produrre variazioni a gradino dell'angolo ϑ e pertanto, come risulta dalla (2-4) un impulso nella frequenza istantanea. A questo non corrispondono analoghe variazioni impulsive delle velocità negli alternatori. In pratica non è difficile eliminare da una eventuale registrazione della frequenza calcolata con la (2-4) gli impulsi dovuti a fenomeni di questo genere; una tale procedura è necessaria dal momento che l'operatore determinato più avanti per il calcolo della risposta viene ricavato sotto la condizione che le perturbazioni di frequenza e tensione siano continue con tutte le loro derivate.

Dalle (2-1) è facile constatare che le tre grandezze $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ si possono pensare come le proiezioni ortogonali su tre assi a 120° di un vettore OP ruotante, avente ampiezza $\sqrt{2}\, A(t)$ e anomalia $\vartheta(t)$ rispetto all'asse 1 (si veda la fig. 2-1).

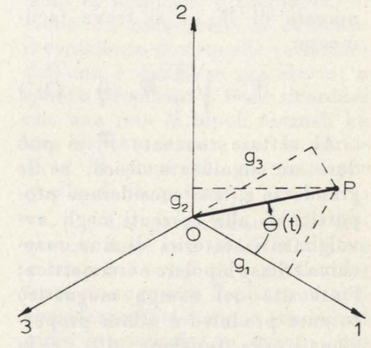

Fig. 2-1.

Con riferimento allo stesso asse polare 01, preso come asse reale, e ad un asse ortogonale immaginario ruotato di $\frac{\pi}{2}$ in senso positivo (antiorario) lo stesso vettore OP può essere anche rappresentato dal complesso $\sqrt{2}\, Ae^{j\vartheta(t)}$; tuttavia è conveniente, per giungere ad espressioni particolarmente semplici della potenza e simili a quelle che si riferiscono al regime sinusoidale, associare alla terna g_1, g_2, g_3 il vettore

$$\bar{W} = Ae^{j\vartheta(t)} \qquad (2\text{-}5)$$

che, come è facile riconoscere, risulta proporzionale alla compo-

nente simmetrica diretta istantanea associata alla terna g_1, g_2, g_3.

Ricordiamo infatti che le tre componenti simmetriche istantanee $\bar{W}_o$, $\bar{W}_d$, $\bar{W}_i$, risultano espresse dalle relazioni:

$$\bar{W}_o = \frac{1}{\sqrt{3}}(g_1 + g_2 + g_3)$$

$$\bar{W}_d = \frac{1}{\sqrt{3}}(g_1 + \alpha g_2 + \alpha^2 g_3)$$

$$\bar{W}_i = \frac{1}{\sqrt{3}}(g_1 + \alpha^2 g_2 + \alpha g_3)$$

dove: $\alpha = e^{j\frac{2}{3}\pi}$.

Nel caso di terna pura, è $\bar{W}_o = 0$, mentre $\bar{W}_i$ risulta sempre il coniugato di $\bar{W}_d$, e si trova facilmente:

$$\bar{W} = \sqrt{\frac{3}{2}}\,\bar{W}_d \text{ (1)} \qquad (2\text{-}7)$$

Al vettore ruotante $\bar{W}$ si può dare un significato fisico, se le grandezze $g_1(t)$ si considerano proporzionali alle correnti negli avvolgimenti statorici di una macchina trifase bipolare e simmetrica; l'intensità del campo magnetico rotante prodotto è allora proporzionale alla funzione $A(t)$, e la velocità di rotazione coincide con $\frac{d\vartheta}{dt}$. Un motore sincrono ideale, i cui avvolgimenti di statore siano alimentati con correnti proporzionali alle grandezze della terna, il cui rotore sia privo di inerzia e ruoti senza attrito (coppia frenante nulla) potrebbe quindi essere adoperato come frequenzimetro, per misurare la frequenza istantanea della terna delle correnti statoriche. D'altra parte il valore efficace $A(t)$ si può misurare mediante uno strumento che è in sostanza un wattmetro con due sistemi inserito in modo che, ad esempio, la prima coppia di bobine sia alimentata con le grandezze g_1 e $g_1 - g_3$, e la seconda con le grandezze g_2 e $g_2 - g_3$. Lo strumento deve avere scala quadratica e funzione di trasferimento costante sino ad una frequenza doppia di quella oltre la quale si può ritenere nullo lo spettro della ampiezza $A(t)$ che si desidera misurare.

Per la misura della frequenza istantanea, oltre al metodo del motore sincrono, si può osservare che, almeno nei casi di interesse pratico, la funzione $A(t)$ non si annulla mai; infatti la (2-2) mostra che uno zero di $A(t)$ si verifica soltanto quando si annullano contemporaneamente le tre grandezze. Ne segue che gli zeri di g_1, g_2, g_3 sono tutti e soli gli zeri delle funzioni $\cos\vartheta$, $\cos\left(\vartheta - \frac{2}{3}\pi\right)$, $\cos\left(\vartheta + \frac{2}{3}\pi\right)$, e quindi gli istanti in cui il vettore assume l'anomalia $\vartheta = \frac{\pi}{2}, \frac{5}{6}\pi, \frac{7}{6}\pi, \frac{3}{2}\pi, \frac{11}{6}\pi, \frac{\pi}{6}$ sono facilmente individuabili perchè coincidono con i successivi zeri delle grandezze considerate nell'ordine ciclico 1-3-2.

Il vettore nell'intervallo Δt_k compreso tra uno zero ed il successivo ha una velocità media $\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)_m = \frac{\pi}{3}\cdot\frac{1}{\Delta t_k}$, e la misura di Δt_k può essere effettuata con alta precisione a mezzo di contatori elettronici. Se la perturbazione di frequenza è lenta, ci si può accontentare di misurare la velocità media del vettore in un mezzo giro, contando il tempo tra uno zero ed il successivo di una sola delle tre grandezze. Una precisione ancora minore offrono alcuni frequenzimetri già in uso, i quali contano il numero degli zeri in un certo intervallo di tempo, cioè valutano la velocità media del vettore in un tempo che comprende diverse rotazioni complete.

Dalle (2-1), (2-2), (2-3) risulta che l'ampiezza $A(t)$ e la frequenza $f(t)$ di una terna pura sono costanti quando e soltanto quando la terna pura g_1, g_2, g_3, è una terna simmetrica di funzioni sinusoidali; in tal caso il vettore $\bar{W}$ ha ampiezza costante, pari a quella comune alle tre grandezze della terna, e ruota con velocità costante, pari alla pulsazione comune delle stesse grandezze, in senso antiorario se la terna è diretta, in senso orario se la terna è inversa. Ne deriva che una terna pura non simmetrica di funzioni sinusoidali presenta ampiezza e frequenza variabili; cioè la trasformazione delle grandezze g_1, g_2, g_3 nelle funzioni di ampiezza e fase serve a mettere in evidenza in modo univoco le perturbazioni di una terna di grandezze, che siano sinusoidali e simmetriche a regime, mentre indica una variazione di ampiezza e frequenza anche se la terna originale è in condizioni di regime sinusoidale, ma non simmetrica. In effetti in quest'ultimo caso, poiché la terna non simmetrica si scompone univocamente nella somma di due terne simmetriche, diretta e inversa, è facile vedere che l'ampiezza $A(t)$ e la fase $\vartheta(t)$ risultano funzioni periodiche del tempo, ma questo fatto non toglie molto alla difficoltà segnalata.

Si può tuttavia evitare questo inconveniente quando g_1, g_2, g_3 rappresentino le grandezze di una terna trifase in condizioni perturbate, perchè allora se si conosce la condizione di regime sinusoidale nell'interno della quale si svolge la perturbazione, si può scomporre la terna perturbata nella somma di una terna nominale, sinusoidale e di una terna che rappresenta la perturbazione. Alla prima corrisponde un vettore modulato periodicamente, come già si è detto, alla seconda un vettore modulato con legge qualunque in ampiezza e frequenza, il cui modulo evidentemente si annulla quando il sistema è in condizioni di regime sinusoidale.

3) Potenza nei sistemi trifasi puri.

La rappresentazione di una terna pura di tensioni mediante un vettore ruotante consente fra l'altro di ottenere una rappresentazione particolarmente suggestiva della potenza in un sistema trifase, la quale fornisce una ulteriore giustificazione della proposta di chiamare valore efficace della terna pura l'ampiezza $A(t)$, e fase l'angolo $\vartheta(t)$.

(1) Si può quindi anche considerare la rappresentazione proposta come una terna simmetrica di vettori $\bar{W}$, $\alpha^2\bar{W}$, $\alpha\bar{W}$, i quali variano sincronicamente in ampiezza e in fase e le cui parti reali coincidono rispettivamente con g_1, g_2, g_3 sempre nel caso di una terna pura. Nel caso di terna spuria, posto $g_0 = g_1 + g_2 + g_3$, le parti reali dei vettori della terna simmetrica ricordata coincidono rispettivamente con $g_1 - g_0/3$, $g_2 - g_0/3$, $g_3 - g_0/3$.

Infatti, se $e_1(t)$, $e_2(t)$, $e_3(t)$ sono le tensioni stellate e $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ le correnti in una sezione di un sistema trifase, nell'ipotesi che sia: $e_1 + e_2 + e_3 = 0$; $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, se

$$\bar{E} = E(t)e^{j\vartheta_e(t)} \qquad \text{ed} \quad \bar{I} = I(t)e^{j\vartheta_i(t)}$$

sono i vettori associabili alle due terne di tensioni e di correnti, si consideri il prodotto di $\bar{E}$ per il coniugato $\bar{I}^*$ di $\bar{I}$:

$$\bar{E}\cdot\bar{I}^* = EIi^{(\vartheta_e - \vartheta_i)}$$

È facile dimostrare che la potenza istantanea $P(t)$ nella sezione considerata, vale:

$$P(t) = Re[3\cdot\bar{E}\cdot\bar{I}^*] = 3\,EI\cos(\vartheta e - \vartheta i)$$

La parte reale del prodotto $3\bar{E}\cdot\bar{I}^*$ in condizioni di regime, quando $E(t) = E_0$, $I(t) = I_0$, $\vartheta e - \vartheta i = \varphi_0$, assume la forma consueta della potenza attiva

$$P_0 = 3E_0I_0\cos\varphi_0$$

Analogamente la parte immaginaria del prodotto $3\bar{E}\cdot\bar{I}^*$

$$Q(t) = I_m 3\bar{E}\cdot\bar{I} = 3EI\sin(\vartheta e - \vartheta i)$$

in condizioni di regime si riduce alla potenza reattiva.

Si conclude che la potenza istantanea ai morsetti di un tripolo in condizioni comunque perturbate, caratterizzate da terne pure di tensione e di corrente, si può sempre ottenere con una espressione, formalmente identica a quella della potenza attiva in regime sonusoidale con terne simmetriche, nella quale si introducano i valori efficaci delle terne di tensione e corrente perturbate, e le fasi istantanee delle stesse, come risultano dalle definizioni (2-2) e (2-3).

In modo del tutto analogo si costruisce l'espressione della $Q(t)$, a cui quindi si può dare il nome di potenza reattiva istantanea.

Le due grandezze $P(t)$ e $Q(t)$ hanno alcune proprietà comuni con le analoghe grandezze relative al regime stazionario. Ad esempio, tra le infinite terne di correnti che, con una data terna di tensioni, forniscono la stessa potenza istantanea, quella che rende nulla identicamente la potenza reattiva ha in ogni istante il valore efficace minimo. Inoltre, se le correnti i_1, i_2, i_3 di una terna pura percorrono separatamente tre resistenze uguali R, la potenza dissipata complessivamente dissipata risulta:

$$P_d = R(i_1^2 + i_2^2 + i_3^2) = 3RI^2(t)$$

e pertanto, alimentando un tripolo con una linea simmetrica, a pari tensione e pari potenza assorbita dal tripolo, le correnti che annullano la potenza reattiva rendono anche minima la potenza dissipata in linea. La potenza attiva (istantanea) in condizioni perturbate si misura ovviamente con un wattmetro con due sistemi, avente una funzione di trasferimento costante nella banda di frequenza entro la quale è apprezzabile lo spettro della funzione $P(t)$.

La potenza reattiva istantanea $Q(t)$ può ancora essere misurata mediante un wattmetro con due sistemi, di cui una coppia di bobine sia alimentata con la tensione e_1 e la corrente i_2, e l'altra coppia con tensione $-e_2$ e corrente i_1.

L'indicazione dello strumento così inserito risulta proporzionale ad $e_1\,i_2 - e_2\,i_1$, cioè alla grandezza $Q(t)$, e può considerarsi corretta durante il transitorio se è soddisfatta la solita condizione sulle funzioni di trasferimento.

4) Relazioni tra i vettori corrente e tensione in regime perturbato.

Le $L-$ trasformate $I_k(s)$ delle correnti $i_k(t)$ ai morsetti di un sistema trifase, sono legate alle $L-$ trasformate delle tensioni $e_k(t)$ ai morsetti dello stesso sistema dalla relazione:

$$\begin{vmatrix} I_1(s) \\ I_2(s) \\ I_3(s) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y_{11}(s)\; y_{12}(s)\; y_{13}(s) \\ y_{21}(s)\; y_{22}(s)\; y_{23}(s) \\ y_{31}(s)\; y_{32}(s)\; y_{33}(s) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} E_1(s) \\ E_2(s) \\ E_3(s) \end{vmatrix}$$

Se si ammette che la matrice delle $y_{i,k}(s)$ presenti le simmetrie che sono generalmente riscontrabili in tutti i sistemi trifasi di interesse pratico (linee, macchine ruotanti, trasformatori, ecc. ecc.), e cioè che sia:

$$y_{11} = y_{22} = y_{33}\;;\; y_{13} = y_{21} = y_{32}\;;\; y_{12} = y_{23} = y_{31}$$

per la linearità dell'operatore di $L-$ trasformazione e di quello che definisce i vettori associabili alle correnti e alle tensioni, è noto che:

$$L[\bar{I}] = y\;(s)\;L[\bar{E}] \qquad (4\text{-}1)$$

dove $\bar{I}(t)$ è il vettore corrente, $\bar{E}(t)$ il vettore tensione, ed è:

$$y_d(s) = y_{11}(s) + \alpha^2\,y_{12}(s) + \alpha y_{13}$$

con $\alpha = e^{-j\frac{2}{3}\pi}$.

$y_d(s)$ è l'ammettenza generalizzata diretta del sistema trifase.

La $(4\cdot 1)$ risolve evidentemente il problema di determinare il vettore $\bar{I}(t)$, risposta di un sistema trifase al vettore $\bar{E}(t)$ delle tensioni applicate; tuttavia il suo uso non sembra conveniente in tutti i casi, per le ragioni che seguono:

1) lo studio della perturbazione, ai fini della regolazione degli impianti, interessa che sia condotto in funzione delle perturbazioni di ampiezza e frequenza, in modo da mantenere in evidenza il contributo dovuto alle variazioni dell'una e dell'altra grandezza; a questo proposito è bene ricordare che una rete di bipoli normali ha una risposta lineare per le variazioni di ampiezza, ma non per quelle di frequenza.

2) Le perturbazioni di frequenza sulle reti di distribuzione e trasporto sono in generale così lente da suggerire l'opportunità di considerare il sistema in condizioni quasi stazionarie; in questo caso si può prevedere che, istante per istante, la risposta del sistema sia quella propria del regime sinusoidale permanente di frequenza pari alla frequenza istantanea, più un modesto termine correttivo che risentirà delle perturbazioni di ampiezza e frequenza. È utile quindi ricercare una espressione che consenta di apprezzare l'errore che si commette considerando soltanto il termine quasi stazionario.

3) Molto spesso le grandezze di cui si vuole determinare l'andamento durante il transitorio sono le potenze, attive o reattive [2]; a questo fine si vede che è senz'altro più conveniente un operatore che rimanga nel dominio del tempo.

Nel successivo paragrafo si trova l'espressione di un operatore che soddisfa alle esigenze messe in luce ai precedenti punti; l'espressione stessa viene giustificata in Appendice.

5) Calcolo del vettore risposta

Quando si passa dalla L— trasformata alle funzioni del tempo si trova che il vettore $\bar{I}(t)$, determinato da un vettore tensione

$$\bar{E}(t) = E(t)e^{j\int_0^t \omega_i dt} = E(t)e^{j\vartheta(t)}$$

caratterizzato da una ampiezza $E(t)$ e da una pulsazione istantanea ω_i, può sempre essere scomposto nella somma di un termine $\bar{I}_{qs}$, che chiameremo corrente quasi stazionaria, e di un termine correttivo $\bar{I}_c$ [2], che assumono la forma:

$$\bar{I}_{qs} = y_d(\omega_i)\ \bar{E}(t);\ \bar{I}_c = \bar{y}_c(t) \cdot \bar{E}(t)$$

Cioè il termine quasi stazionario si ottiene moltiplicando il vettore tensione per la ammettenza funzione del tempo ottenuta sostituendo nella ammettenza complessa di sequenza diretta $\bar{y}_d(\omega_0)$ al posto della pulsazione di regime ω_0 la pulsazione istantanea ω_i. Perciò se si pone:

$$\bar{y}_d(\omega_0) = y_d(\omega_0)e^{j\gamma(\omega_0)}$$

si ha direttamente

$$\bar{I}_{qs}(t) = y_d(\omega_i) \cdot E(t)e^{j[\vartheta(t)+\gamma(\omega_i)]}$$

e quindi il termine quasi stazionario ha ampiezza che varia proporzionalmente all'ampiezza della tensione e al modulo dell'ammettenza diretta, quando in questa ultima la pulsazione coincida istante per istante con il valore della pulsazione istantanea della terna delle tensioni, e fase uguale a quella della terna delle tensioni aumentata dell'argomento della ammettenza, calcolato anch'esso istante per istante per il valore della pulsazione istantanea. È allora intuitivo che $\bar{I}_{qs}$ sarà preponderante quando le funzioni $E(t)$ ed $\omega_i(t)$ variano molto lentamente, come avviene in realtà durante le perturbazioni delle reti trifasi.

In appendice A si ricava una espressione di $\bar{y}(t)$ valida in generale; una espressione semplificata, fondata sulla assunzione che le perturbazioni di ampiezza e frequenza siano lente, sembra tuttavia sufficiente per render conto di una larga classe di fenomeni, nella quale rientrano certamente i transitori che interessa studiare ai fini della regolazione.

L'espressione più generale dell'operatore $\bar{y}(t)$ risulta comunque essere la seguente:

$$\bar{y}_c(t) = \frac{1}{E(t)} \sum_{l=2}^{l=\infty} \frac{1}{l!}\, \bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_i) \left[(-j)^l \frac{d^l E}{dt^l} + \right.$$

$$\left. + \sum_{p=2}^{p=l} \binom{l}{p} (-1)^{l-1} \frac{d^{p-1}E}{dt^{p-1}} \cdot (-j)^{l-1} \frac{d^{p-1}\varepsilon}{dt^{p-1}} \right] - j\bar{y}_d{}^{(1)}(\omega_i) \frac{dE}{dt} \quad (5\text{-}1)$$

dove:

$\varepsilon(t)$ è lo scostamento istantaneo dalla pulsazione nominale ω_0; $\omega_i(t)$ è la pulsazione istantanea: $\omega_i(t) = \omega_0 + \varepsilon(t)$; $\bar{y}_d(\omega_i)$ è l'ammettenza nel regime sinusoidale caratterizzato dalla pulsazione ω_i. $\bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_i)$ è la derivata l^{esima} di $\bar{y}_d$ rispetto ad ω_i.

La relazione ottenuta permette di determinare il vettore $\bar{I}$, risposta ad un vettore $\bar{E}$ di cui sono note le perturbazioni di frequenza e di ampiezza, qualunque siano le velocità delle pertubazioni e lo scostamento delle grandezze dai valori nominali, purchè le purturbazioni stesse siano rappresentate da funzioni continue con tutte le loro derivate. Per i sistemi trifasi che interessa in pratica considerare, è senz'altro lecito affermare che $\bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_i)$ al crescere dell'indice l tende rapidamente a zero, in un intervallo di ω_i abbastanza ampio intorno al valore nominale ω_0, e che quindi è ragionevole limitare l a valori piuttosto modesti; inoltre una approssimazione che appare ampiamente accettabile per quasi tutti i casi pratici più importanti è quella che si ottiene supponendo lente le perturbazioni del sistema (si veda l'Appendice A), e che consente di arrivare alla formula semplificata:

$$\bar{y}_c(t) = \frac{1}{E(t)} \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!}\, \bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_i) \left[\frac{d^l E}{dt^l}(-j)^l + E(t)\frac{d^{l-1}\varepsilon}{dt^{l-1}}(-j)^{l-1}\right] \quad (5\text{-}2)$$

Quest'ultima relazione è linearizzabile se si ammette che la perturbazione di frequenza sia così limitata che $\bar{y}_d(\omega_i)$ e le sue derivate differiscono in modo trascurabile da $\bar{y}_d(\omega_0)$ e dalle derivate calcolate per $\omega = \omega_0$; e che inoltre siano piccole le variazioni di $E(t)$ intorno al valore nominale E_0. Si giunge così ad una espressione che è ancora sufficientemente approssimata per studiare un vasto numero di fenomeni di perturbazione:

$$\bar{y}_c(t) = \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!}\, \bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_0) \left[\frac{d^l e}{dt^l}(-j)^l + \frac{d^{l-1}\varepsilon}{dt^{l-1}}(-j)^{l-1}\right] \quad (5\text{-}3)$$

dove: $e(t) = \dfrac{E(t) - E_0}{E_0}$ (si veda l'Appendice A).

Nella (5-3) l'operatore $\bar{y}_c(t)$ appare come una combinazione lineare delle derivate di vario ordine delle perturbazioni: nei casi di effettivo interesse è sufficiente, come si è detto, considerare solo i primi termini della sommatoria.

6) Risposta del sistema trifase a una terna di grandezze modulate unicamente in ampiezza.

Può essere interessante considerare il caso particolare in cui il vettore $\bar{I}$ è la risposta ad un vettore $\bar{E}$ associato ad una terna di grandezze modulate unicamente in ampiezza. Posto

$$\bar{E}(t) = E(t)e^{j\omega_0 t}$$

le relazioni introdotte nel paragrafo precedente consentono di scrivere:

$$\bar{I}(t) = E(t)e^{j\omega_0 t}\left[\bar{y}_d(\omega_0) + \right.$$

$$\left. + \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!} \frac{d^l e}{dt^l} \frac{1}{E(t)} \cdot \bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_0)\right]$$

La risposta $\bar{I}$ è dunque la somma di un vettore quasi stazionario:

$$\bar{I}_{qs} = E(t) \cdot e^{j\omega_0 t} \cdot \bar{y}_d(\omega_0)$$

modulato unicamente in ampiezza, e di un termine correttivo $\bar{I}_c$

$$\bar{I}_c = \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!} \frac{d^l e}{dt^e}\, \bar{y}_d{}^{(l)}(\omega_0)\, e^{j\omega_0 t}$$

che è la risultante di vettori modulati unicamente in ampiezza, tra loro sfasati, ed è quindi un vettore modulato in ampiezza e frequenza.

Ritornando al caso più generale in cui $\bar{E}$ è modulato anche in frequenza, esso può sempre ridursi alla forma:

$$\bar{E}(t) = E(t)e^{j\vartheta(t)} = \bar{E}_v e^{j\omega_0 t}$$

dove $\bar{E}_v(t)$ è evidentemente in questo caso una grandezza complessa. Si conclude che anche la risposta alla terna pura modulata in ampiezza e frequenza può sempre essere rappresentata nella forma che si ottiene considerando la sola modulazione di ampiezza rappresentata dal complesso $\bar{E}_v$. Ciò può essere utile in qualche caso perchè, come si è visto, nelle formule che determinano il vettore risposta ad una terna modulata unicamente in ampiezza il termine correttivo $\bar{I}_c$, che si somma al termine quasi stazionario, risulta sempre una combinazione lineare delle derivate rispetto al tempo dell'ampiezza complessa della terna dell'ampiezza complessa della terna, qualunque siano la velocità e l'ampiezza delle perturbazioni.

[2] La scomposizione nei due termini è stata suggerita per la prima volta da Carson [8], per il calcolo della risposta di un bipolo ad un ingresso modulato unicamente in frequenza.

Conclusioni.

È stato considerato in generale il problema del comportamento dinamico dei sistemi trifasi, mettendo soprattutto in evidenza l'esigenza preliminare di pervenire a definizioni rigorose e univoche delle grandezze durante il transitorio, che fossero altresì coerenti con quelle che si riferiscono al sistema in condizioni di regime stazionario.

Le definizioni proposte soddisfano a queste condizioni, e l'arbitrarietà delle convenzioni sulle quali sono fondate non sembra debba preoccupare, per l'evidente significato fisico delle grandezze così individuate e la loro importanza operativa nello studio del transitorio.

Lo studio del sistema in condizioni perturbate è stato impostato ricercando la relazione funzionale tra i vettori associabili biunivocamente alle terne delle tensioni e delle correnti ai morsetti di un tripolo; è stato determinato l'operatore che consente di porre in relazione i due vettori nel caso più generale, e si è messo in evidenza che nella sua espressione interviene, insieme con grandezze che sono funzioni solo delle perturbazioni impresse, semplicemente l'ammettenza diretta del sistema, calcolata alla pulsazione istantanea, e le sue derivate. Questo fatto costituisce ancora una estensione del tutto naturale e immediata al regime variabile di un parametro del sistema tradizionalmente riferito solo al regime sinusoidale. Opportune ipotesi, suggerite dalla natura stessa dei fenomeni fisici che interessa prendere in esame, hanno consentito di semplificare l'espressione dell'operatore, riducendola attraverso due successive approssimazioni, l'ultima delle quali semplicemente lineare, che sono state discusse e giustificate.

Si è ritenuto anche utile accennare alla possibilità di considerare la più generale perturbazione come dovuta ad una pura modulazione di ampiezza, per poter contare su espressioni lineari dell'operatore senza porre condizioni limitatrici sulla velocità e sull'ampiezza delle perturbazioni. I brevi cenni alle misure hanno soltanto lo scopo di mettere in evidenza che il rilievo rigoroso delle grandezze delle quali si sono proposte le definizioni non presenta particolari difficoltà nei casi di interesse pratico.

Ringraziamenti.

Chi scrive desidera ringraziare vivemente il Prof. R. Sartori ed il Prof. R. Marenesi per avere suggerito il tema del presente lavoro ed averlo costantemente seguito ed incoraggiato.

APPENDICE A

Calcolo della risposta $\bar{I}$.
Dalla relazione:

$$L[\bar{I}] = y_d(s)\, L[\bar{E}]$$

si ricava:

$$\bar{I}(t) = \int_0^t \bar{E}(t-\tau)\bar{A}_d(\tau)d\tau \quad (1\text{-A})$$

dove $\bar{A}_d(\tau)$ è definita dalla:

$$\bar{y}_d(\omega) = \int_0^\infty e^{-j\omega\tau}\, \bar{A}_d(\tau)d\tau$$

$\bar{A}_d(\tau)$ è una funzione complessa, che ha la forma:

$$\bar{A}_d(\tau) = a_{11}(\tau) + \alpha^2 a_{12}(\tau) + \alpha a_{13}(\tau)$$

Le funzioni reali $a_{11}(\tau)$, $a_{12}(\tau)$, $a_{13}(\tau)$ sono legate alle ammettenze $\bar{y}_{11}(\omega)$, $\bar{y}_{12}(\omega)$, $\bar{y}_{13}(\omega)$, del tripolo dalle relazioni:

$$\bar{y}_{11}(\omega) = \int_0^\infty e^{-j\omega\tau} a_{11}(\tau)d\tau$$

$$\bar{y}_{12}(\omega) = \int_0^\infty e^{-j\omega\tau} a_{12}(\tau)d\tau$$

$$y_{13}(\omega) = \int_0^\infty e^{-j\omega\tau} a_{13}(\tau)d\tau$$

Supponendo che sia:

$$\bar{E}(t) = \begin{cases} 0 \text{ per } t < o \\ E(t) \cdot e^{j[\omega_0 t + \int_0^t \varepsilon\, dt]} \end{cases}$$

e indicando con $\omega_i(t) = \omega_0 + \varepsilon(t)$ la pulsazione istantanea (ω_0 è la pulsazione nominale), si ha:

$$\bar{E}(t-\tau) = E(t-\tau)\, e^{j\int_0^t \omega_i dt} \cdot$$

$$\cdot\, e^{-j(\omega_0\tau + \int_{t-\tau}^0 \varepsilon\, dt)} \quad (2\text{-A})$$

Si osservi ora che è:

$$\int_{t-\tau}^{\tau} \varepsilon(z)\, dz = \int_0^\tau \varepsilon(t-w)dw \quad (3\text{-A})$$

Si può ora sviluppare $\varepsilon(t-w)$ in serie di potenze di w, eseguendo poi l'integrazione indicata nella (3-A). Si ottiene:

$$\int_0^\tau \varepsilon(t-w)dw = \varepsilon(t) + \sum_{h=1}^{h=\infty} \frac{(-1)^h}{(h+1)!}\, \tau^{h+1} \frac{d\varepsilon^h}{dt^h}$$

Sostituendo la (4-A) nella (2-A), e quest'ultima nella (1-A), si ottiene finalmente:

$$\bar{I} = e^{j\int_0^t \omega_i dt} \cdot$$

$$\cdot \int_0^\infty G(t,\tau)\, e^{-j\omega_i\tau} \cdot \bar{A}_d(\tau)\, d\tau \quad (5\text{-A})$$

dove:

il limite superiore di integrazione che compariva nella (1-A) è sostituito con ∞, perchè $E(t) = 0$ per $t < o$;

$$G(t,\tau) = E(t - \cdot$$

$$-\tau)\exp\left[-j\sum_{h=1}^{h=\infty} \frac{(-1)^h}{(h+1)!} \frac{d^h\varepsilon}{dt^h}\tau^{h+1}\right]$$

Sviluppando ora anche $G(t,\tau)$ in serie di potenze di τe osservando che $G(t, o) = E(t)$, e che

$$\int_0^\infty \bar{A}_d(\tau)e^{-j\omega_i\tau}\, d\tau = \bar{y}_d(\omega_i)$$

si trova:

$$\bar{I}(t) = \bar{E}(t) \cdot \left[\overline{y}_d(\omega_i) + \frac{1}{E(t)} \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!} \int_0^\infty \left(\frac{d^l G}{d\tau^l} \right)_{\tau=0} \dots \bar{A}_d(\tau) \, . \, e^{-j\omega_i \tau} \, d\tau \right]; \tag{6-A}$$

dove $\overline{y}_d(\omega_i)$ è l'ammettenza calcolata alla pulsazione istantanea.

Per la (6-A) $\bar{I}$ risulta costituito dalla somma di un addendo $\bar{E}(t) \cdot \overline{y}_d(\omega_i)$, che è il termine quasi stazionario $\bar{I}_{qs}$, e di un termine correttivo $\bar{I}_c = \overline{y}_c(t) \cdot \bar{E}$. L'operatore $\overline{y}_c(t)$ è dato dalla espressione:

$$\overline{y}_c(t) = \frac{1}{E(t)} \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!} \left(\frac{d^l G}{d\tau^l} \right)_{\tau=0} \cdot \int_0^\infty \bar{A}_d(\tau) \cdot \tau^l \cdot e^{-j\omega_i \tau} \, d\tau \tag{7-A}$$

La (7-A) si può trasformare in una forma più adatta osservando che:

$$\int_0^\infty \bar{A}_d(\tau) \cdot \tau^l \cdot e^{-j\omega_i \tau} \, d\tau = j^l \frac{d^l}{d\omega_i^l} \overline{y}_d(\omega_i);$$

$$\left(\frac{dG}{d\tau} \right)_{\tau=0} = -\frac{dE}{dt}$$

$$\left(\frac{d^l G}{d\tau^l} \right)_{\tau=0} = (-1)^l \frac{d^l E}{dt^l} - j \sum_{p=2}^{p=l} (-1)^{l-p} \binom{l}{p} \frac{d^{l-p} E}{dt^{l-p}} \cdot \cdot (-1)^{p-1} \frac{d^{p-1}\varepsilon}{dt^{p-1}}; \text{ per } l = 2, 3 \dots;$$

Si ottiene allora finalmente:

$$\overline{y}_c(t) = \frac{1}{E(t)} \left\{ -j \, \overline{y}_d^{(l)}(\omega_i) \frac{dE}{dt} + \sum_{l=2}^{l=\infty} \frac{(-j)^l}{l!} \cdot \overline{y}_d^{(l)}(\omega_i) \cdot \left[\frac{d^l E}{dt^l} + j \sum_{p=2}^{p=l} \binom{l}{p} \frac{d^{l-p} E}{dt^{l-p}} \cdot \frac{d^{p-1}\varepsilon}{dt^{p-1}} \right] \right\} \tag{8-A}$$

La (8-A), che coincide con la (5-1) è l'espressione cercata dell'operatore $\overline{y}_c(t)$, ed è valida qualunque sia la velocità e l'ampiezza della perturbazione. Quando queste variazioni sono così lente da rendere lecito trascurare i termini che contengono prodotti delle derivate delle perturbazioni, cioè termini del tipo:

$$\frac{1}{E} \frac{d^h E}{dt^h} \cdot \frac{d\varepsilon^k}{dt^k}$$

nella sommatoria con indice p si può tener conto soltanto del termine con $p = 1$, ed allora la (8-A) si semplifica nel modo seguente:

$$\overline{y}_c(t) = \frac{1}{E(t)} \left\{ -j \, \overline{y}_d(\omega_i) \frac{dE}{dt} + \sum_{l=2}^{l=\infty} \frac{(-j)^l}{l!} \overline{y}_d^{(l)}(\omega_i) \cdot \left[\frac{d^l E}{dt^l} + j \, E(t) \frac{d^{p-1}\varepsilon}{dt^{l-1}} \right] \right\} \tag{9-A}$$

che è equivalente alla (5-2).

Infine, quando le perturbazioni di frequenza sono piccole e la forma della funzione $\overline{y}_d(\omega)$ nell'intorno di ω_0 autorizza a considerare $\overline{y}_d^{(l)}(\omega_i) \simeq \overline{y}_d^{(l)}(\omega_0)$ per ω_i compresa nell'intervallo di variazione che le compete, e inoltre sia lecito porre:

$$\frac{1}{E(t)} \simeq \frac{1}{E_0}$$

dove E_0 è il valore nominale dell'ampiezza della terna; posto

$$e(t) = \frac{E(t) - E_0}{E_0}$$

si trova:

$$\overline{y}_c(t) = \sum_{l=1}^{l=\infty} \frac{1}{l!} \overline{y}_d^{(l)}(\omega_0) \cdot \frac{d^l e}{dt} (-j)^l + \frac{d^{l-1}\varepsilon}{dt^{l-1}} (-j)^{l-1}$$

cioè la (5-3).

APPENDICE B

È utile ricordare che è stata proposta [4] una definizione dell'ampiezza e della frequenza associabili ad una sola grandezza $g(t)$; questa definizione è fondata su una convenzione ben giustificata nel caso di funzioni modulate. Applicando il procedimento alle due grandezze indipendenti di una terna pura, si trovano in generale due ampiezze e due frequenze, che non coincidono con l'ampiezza e con la frequenza determinabili con il metodo esposto nel presente lavoro. I due procedimenti conducono a determinare la stessa coppia di funzioni in due casi particolari, che hanno tuttavia un significato fisico ben preciso. Il primo caso si verifica quando le grandezze $A(t)$, $\vartheta(t)$ definite dalle (3) sono tali che lo spettro di ampiezza $A(\omega)$ della funzione $A(t)$ è praticamente nullo per tutti i valori di ω superiori ad un limite ω_a e risulta inoltre $\vartheta(t) = \omega_0 t$ con ω_0 costante e maggiore di ω_a. Queste condizioni sono soddisfatte dalle tensioni di fase generate da un alternatore che ruota con velocità costante, e la cui eccitazione varia lentamente (nel senso che è molto piccola la variazione dell'eccitazione che si realizza nel periodo $\frac{2\pi}{\omega_0}$ delle tensioni). Il secondo caso di accordo tra i risultati dei due procedimenti si verifica quando l'applicazione delle (2-2), (2-3) conduce a individuare una coppia di funzioni $A(t) = A_0$ = costante, e $\vartheta(t) = \omega_0 t + \mu(t)$, con ω_0 = costante e dove $\mu(t)$ è tale che lo spettro di ampiezza della funzione $e^{j\omega(t)}$ è nullo per $\omega < \omega_0$.

Tali condizioni sono soddisfatte dalle tensioni generate da un alternatore la cui velocità varia abbastanza lentamente, e che è soggetto ad una regolazione di tensione estremamente pronta.

Roberto Pomè

Torino, Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris.

BIBLIOGRAFIA

1) W. V. Lyon, *Transient Analysis of A. C. Power Systems*, J. Wiley- 1943.

2) R. Pomè, R. Genesio, *Sul comportamento dinamico di una linea di trasporto*, in corso di pubblicazione.

3) Y. H. Ku, *Transient Analysis of rotating machines and stationary networks by means of rotating reference frames*, Trans. AIEE 1951, vol. 70, pagg. 943-957.

4) G. Cocci, R. Sartori, « *Funzioni modulate* », Alta Frequenza, febbraio 1941, pag. 67.

5) C. While, H. H. Woodson, *Electromechanical energy conversion*, John Wiley and Sons- 1959.

6) K. P. Kovacs, *Symmetrische Komponenten in Wechselstrommaschinen*- Birkhouser Verlag, Basel und Stuttgart, 1962.

7) Edelmann, *Berechnung elektrischer Verbundnetze*, Springer Verlag, 1963.*d*

8) J. R. Carson, T. C. Fry, *Variable Frequency Electric Circuit Theory with Application to the theory of Frequency Modulation*, The Bell System Technical Journal, n. 4 ottobre 1937- pag. 513

INFORMAZIONI

La nuova diga di Assuan

GUIDO BONICELLI illustra le ragioni che hanno portato, a suo tempo, alla costruzione della prima diga di Assuan sul Nilo ed ora alla realizzazione, in corso, della nuova grande diga, espone le caratteristiche tecniche di quest'opera e dell'utilizzazione idroelettrica connessa, ed accenna ai lavori per nuovi insediamenti agricoli in terreni sinora deserti resi possibili dall'ingente incremento dell'accumulo idrico.

La popolazione egiziana trae gli scarsi mezzi di sussistenza di cui dispone essenzialmente dall'attività agricola e questa è completamente dipendente dalle possibilità di irrigazione offerte dal Nilo. Le piogge sono così limitate in tutto il territorio egiziano da non consentire di per sé alcuna possibilità di vita. La piovosità media al Cairo è di soli 24 mm all'anno e si riduce ancora nelle regioni meridionali tanto da risultare di circa 2 mm annui, cioè praticamente nulla, nella zona di Assuan. Invece le abbondanti portate del Nilo con le famose piene annuali apportatrici anche di limo fertilizzante hanno da millenni permesso la coltivazione intensiva della ristretta striscia di territorio lungo tutto il corso del grande fiume e della regione del delta.

Ma questa porzione di terreno coltivata ed abitata non ha che una superficie complessiva di circa 35.000 kmq a fronte del milione e mezzo di kmq dell'intero territorio dello Stato. Su questa limitata area vive tutta la popolazione egiziana, la cui entità da pochi milioni di unità nei tempi passati è andata via via aumentando, particolarmente negli ultimi decenni. L'Egitto conta oggi circa 27 milioni di abitanti ed il tasso di ulteriore accrescimento della popolazione è fra i più alti nel mondo.

La piena annuale del Nilo è dovuta alle abbondanti piogge primaverili ed estive nei territori tropicali sudanesi ed etiopici le cui acque confluiscono nel grande fiume. Le portate massime giungono ad Assuan verso la fine di agosto. In tale località la portata del Nilo varia mediamente nel corso dell'anno da meno di 450 mc/sec nel mese di aprile sino a circa 9500 mc/sec in settembre. Ma di anno in anno le variazioni di entità dei deflussi possono essere anche assai rilevanti. Mentre i deflussi complessivi annuali risultano in media di circa 80 miliardi di mc, essi possono scendere, in annate particolarmente asciutte, fin quasi alla metà e salire, nelle annate di massima abbondanza, a 120÷130 miliardi di mc. In annate eccezionali, come quella 1878-1879, si sono raggiunti i 150 miliardi di mc e la portata massima ad Assuan ha toccato i 13.500 mc/sec.

La valle del Nilo era di conseguenza soggetta ad alternanze di annate con abbondanza d'acqua, e quindi con prosperi raccolti, e di annate di siccità, e quindi di carestia. Inoltre le annate con piena eccezionalmente ingente potevano risultare a loro volta disastrose per i danni conseguenti alle inondazioni.

La disponibilità delle acque di piena che si veniva a determinare ogni anno in modo quasi improvviso e che aveva poi durata relativamente limitata diede origine a metodi di irrigazione che utilizzavano scarsamente le possibilità offerte dal terreno e dal clima. Infatti i terreni venivano ripartiti in bacini simili a quelli delle risaie, vi si facevano giungere al momento della piena le acque derivate dal Nilo per mezzo di un'adeguata rete di canali e vi si lasciavano permanere le acque stesse per una quindicina di giorni. Le acque impregnavano così il terreno e lo arricchivano anche con il deposito del prezioso limo. Ma in questo modo non era praticamente possibile che un solo raccolto per anno, mentre il clima avrebbe consentito ben maggiore utilizzazione.

Risultava dunque evidente come la possibilità di accumulare con ciclo annuale ed anche pluriennale le acque del Nilo potesse dar luogo a grandi benefici: regolare le piene nel corso dell'anno consentendo un'utilizzazione graduale delle acque estesa ad un lungo periodo dell'anno stesso; effettuare una compensazione pluriennale con accumulo di acque negli anni di maggiore abbondanza a favore degli anni più scarsi; evitare le disastrose conseguenze delle piene eccezionali.

Dopo molti anni di studi e discussioni durante l'epoca della dominazione inglese, si addivenne, verso la fine del secolo scorso, al progetto, che reca la firma di Sir Benjamin Baker, della prima diga di Assuan, costruita negli anni tra il 1898 ed il 1902. Essa sorge pochi chilometri a monte della città di Assuan in prossimità delle rapide del Nilo note con il nome di « prima cateratta » e, secondo il progetto e la realizzazione iniziale, consentiva l'accumulo di 980 milioni di mc d'acqua.

La diga, in muratura a gravità, sbarra l'intero corso del Nilo con lunghezza di circa 2130 m e comprende lungo tutta la sua lunghezza luci di deflusso a bassa quota concepite con lo scopo di consentire il trasporto a valle del limo che da millenni costituiva il fattore essenziale di fertilizzazione per i terreni irrigati.

L'efficacia della diga si rivelò subito anche superiore alle aspettative, tantoché, dieci anni dopo il completamento dell'opera, questa veniva sopraelevata di 5 m consentendo di aumentare la capacità di invaso da 980 a 2400 milioni di metri cubi.

Nel 1927, di fronte alle pressanti esigenze del Paese, determinate

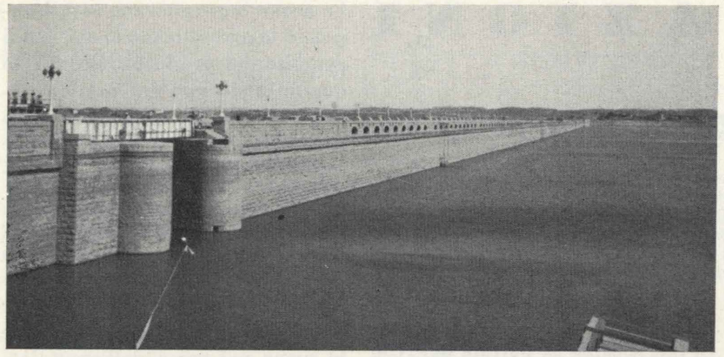

Fig. 1 - L'antica diga di Assuan come si presenta oggi vista da monte.

soprattutto dal cospicuo incremento demografico, la diga venne ulteriormente sopraelevata, questa volta di altri 7 m, e la capacità di invaso più che raddoppiata giungendo ad un accumulo di 5 miliardi di mc (fig. 1) Questo secondo lavoro di sopraelevazione richiese la costruzione degli speroni tra luce e luce di efflusso che ancora oggi caratterizzano l'opera.

Frattanto, sin dai primi anni di esercizio, si era pensato alla possibilità di utilizzare il dislivello creato dalla diga per produrre energia elettrica. Un'apposita Commissione fu nominata dal Governo egiziano nel 1945 per studiarne il progetto e curarne il coordinamento con le esigenze dell'irrigazione. L'impianto venne poi realizzato nel periodo tra il 1953 ed il 1961. Abbandonato un primo schema che prevedeva l'inserimento della centrale nel corpo della diga, si preferì la costruzione di un impianto completamente indipendente dalla diga stessa. Questo impianto, situato sulla riva sinistra, comprende opere di presa circa 600 m a monte della diga, gallerie di derivazione, centrale ed opere di restituzione. Naturalmente la caduta disponibile varia, nel corso dell'anno, entro limiti assai ampi per cui la potenza producibile passa da meno di 100 MW nel mese di luglio a circa 300 MW nei mesi invernali. La centrale contiene sette gruppi generatori con potenza di 47 MW ciascuno e due gruppi di 11,5 MW ciascuno. Quindi, complessivamente, circa 350 MW.

La disponibilità di energia elettrica di circa due miliardi di kWh annui ha consentito un primo notevole impulso all'industrializzazione del Paese ed in particolare la realizzazione di un importante stabilimento per la produzione di fertilizzanti nella zona di Assuan.

Ma il continuo aumento della popolazione, l'assillo dei problemi economici e sociali del Paese portarono ben presto a studiare la possibilità di costituire un invaso di proporzioni assai più rilevanti di quello in esercizio, tale cioè da permettere non soltanto di migliorare l'utilizzazione agricola dei terreni già tradizionalmente irrigati, ma anche di creare nuove zone di insediamento opportunamente scelte, sottraendole al deserto, e di ampliare al tempo stesso le possibilità di regolazione pluriennale.

Parallelamente si vide la possibilità di rendere disponibili ingenti quantitativi di energia elettrica per accrescere l'industrializzazione del Paese ed anche di migliorare la navigabilità del fiume a valle di Assuan.

Progetti e proposte con diverse caratteristiche furono avanzati in varie epoche, ma fu nel 1952 che l'idea della nuova grande diga di Assuan cominciò a prendere corpo.

Il Governo egiziano diede il massimo impulso a questi studi, ricercò la collaborazione di esperti di vari Paesi, in particolare l'americano Terzaki ed il francese Coyne, e nel 1954, ultimata la fase preparatoria, si giunse alla decisione di avviare la progettazione esecutiva unitamente alle trattative per i necessari ingenti finanziamenti.

Queste trattative ebbero varie vicende connesse a questioni di carattere politico e portarono nel dicembre 1958 alla firma di un accordo fra l'Egitto e l'Unione Sovietica che prevedeva i finanziamenti e l'assistenza tecnica occorrenti per la realizzazione dell'opera.

La costruzione ebbe inizio circa un anno dopo, cioè nel gennaio 1960. Frattanto, poiché il previsto nuovo invaso doveva estendersi a sud entro il territorio sudanese, vennero avviate trattative con quel Governo e stipulato nel 1959 un accordo che prevedeva la ripartizione fra i due Paesi delle acque accumulate ed un adeguato indennizzo al Sudan per i terreni occupati dall'invaso.

La nuova grande diga di cui si era così avviata l'attuazione, denominata « Sadd-El-Aali » o diga alta, viene a formare un serbatoio con capacità di circa trenta volte quella del serbatoio esistente, cioè dell'ordine di 150 miliardi di mc.

Questa ingente capacità di accumulo è tale da assicurare:

— la completa regolazione dei deflussi del Nilo nel corso dell'anno in modo da permettere in tutti i territori oggi già coltivati la sostituzione del vecchio sistema di irrigazione per bacini con più moderni metodi, nonché la trasformazione di terreni oggi deserti in nuovi comprensori agricoli, come più avanti meglio precisato;

— l'efficace regolazione pluriennale dei deflussi del Nilo così da garantire ogni anno la disponibilità di acque occorrente per le necessità di cui sopra;

— un sensibile miglioramento della navigabilità del fiume da Assuan sino al delta;

— la produzione di energia elettrica in misura così ingente (circa 10 miliardi di kWh annui) da costituire valida premessa per la graduale trasformazione dell'economia del Paese, ora essenzialmente agricola, in un'economia mista agricola ed industriale.

La diga, che è ora in avanzata costruzione, è situata circa 6,5 km a monte della vecchia diga in una zona ove la vallata del Nilo si restringe sino ad un minimo di 550 m ed ove la natura geologica dei terreni si presenta con caratteristiche particolarmente favorevoli.

L'antica diga continuerà a formare uno specchio d'acqua, a valle della nuova opera, con funzione di bacino di compensazione per la nuova centrale idroelettrica, consentendo così l'utilizzazione di portate sensibilmente più elevate nelle ore diurne che non nelle ore notturne, e quindi la produzione di energia secondo una curva di carico meglio aderente ai fabbisogni non solo di industrie a ciclo continuo, ma anche delle normali utenze.

La quota di massimo invaso è a 182 m sul mare e corrisponde ad un'altezza sul letto del fiume di 97 m. Questo livello di invaso determina un serbatoio lungo 500 km di cui 150 km in territorio sudanese. La larghezza media del lago è di circa 10 km con un massimo di 25 km; la superficie complessiva risulta dell'ordine di 5000 kmq e l'invaso complessivo lordo di 157 miliardi di mc.

La capacità del serbatoio si divide in tre parti:

— la prima, sino al livello di 147 m sul mare con capacità di circa 30 miliardi di mc, che non viene di norma svasata e che è destinata ad essere gradualmente diminuita per effetto della sedimentazione del limo trascinato dalle acque del fiume. Infatti, mentre l'antica diga con le sue numerose luci di efflusso a bassa quota permetteva il trasporto a valle del limo, la nuova opera, per le sue dimensioni e per le sue caratteristiche tecniche, rende inevitabile la sedimentazione di parte del limo stesso nel serbatoio e quindi la perdita di una delle preziose caratteristiche delle acque di piena del Nilo. D'altra parte, l'abbandono del metodo di irrigazione per bacini rende meno facile l'utilizzazione del limo. Alle esigenze di fertilizzazione si conta sopperire con fertilizzanti chimici da prodursi in adeguata quantità per mezzo di grandi stabilimenti ubicati in prossimità della nuova diga ed azionati con l'energia elettrica che le nuove opere rendono disponibile. Si è calcolato che l'accennata capacità di circa 30 miliardi di mc verrà colmata nel volgere di 500 anni;

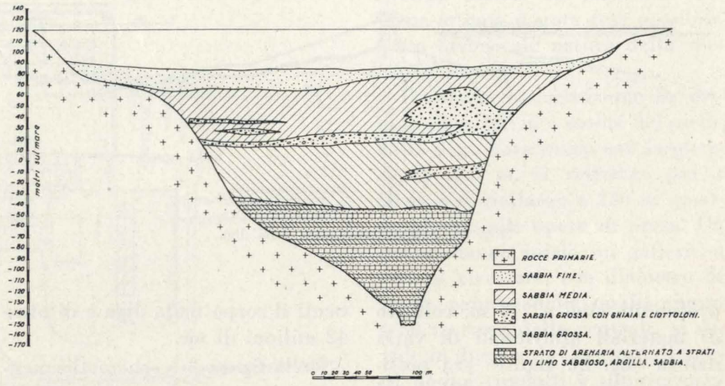

Fig. 2 - Sezione schematica del suolo nella zona di imposta della diga.

— la seconda, compresa tra le quote 147 e 175 sul mare con volume di circa 90 miliardi di mc. Questa è la zona di normale utilizzazione mediante il gioco annuale di invaso e svaso. Tenuto conto dei possibili scarti nei rilevamenti idrologici e topografici nonché delle perdite per evaporazione ed infiltrazioni, la disponibilità media annua viene stimata in circa 74 miliardi di mc. In virtù dell'accordo con il Sudan, di questo quantitativo spettano all'Egitto 55,5 miliardi di mc ed al Sudan 18,5 miliardi. La disponibilità di 74 miliardi di mc supera di circa il 40% le attuali necessità per irrigazione dell'Egitto e del Sudan sommate assieme. Questo margine consente di estendere il terreno coltivabile egiziano di oltre 5000 kmq, di migliorare i metodi di irrigazione in una superficie all'incirca equivalente ed ancora di triplicare la superficie di terreno oggi coltivata nel Sudan;

— la terza, compresa tra le quote 175 e 182 sul mare, con capacità di circa 37 miliardi di mc, deve servire essenzialmente per la regolazione pluriennale. Si ritiene che questa capacità addizionale possa contenere anche i deflussi corrispondenti alle piene più disastrose che possono verificarsi nel Nilo.

Circa il tipo di struttura prescelto per la diga, si osserva che la natura geologica dei terreni si presentava in linea di massima favorevole con rocce del tipo del granito o dello gneiss sulla riva destra e con analoghe rocce primarie, seppure inframmezzate da arenaria nubiana, sulla riva sinistra. Tuttavia, per molte ragioni, si ritenne opportuna l'adozione di una

diga del tipo detto « in terra », in realta costituita di vari materiali opportunamente scelti, dosati e disposti, che vanno dalla fine sabbia di duna a grosso pietrame di cava.

La scelta fu dettata innanzitutto dal fatto che, nonostante tutta la regione nella zona di imposta della diga sia costituita da formazioni rocciose primarie, il letto del fiume poggia su di un solco con

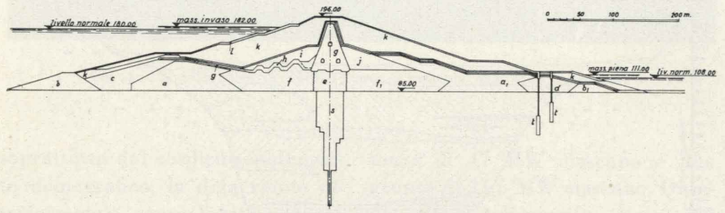

Fig. 3 - Sezione schematica della diga.

profondità sino a 210 m, colmato di materiali alluvionali di varia natura (fig. 2). Inoltre era possibile trovare, a pochi chilometri dal luogo prescelto per la diga, tutti i materiali occorrenti per una razionale costruzione in terra. In terzo luogo, l'ubicazione prescelta si trova, come già accennato, qualche chilometro a monte della vecchia diga di Assuan, quindi entro l'invaso creato dalla diga stessa, per cui nella zona di costruzione vi è normalmente un'altezza d'acqua di circa 35 m. Non potendosi pensare ad uno svuotamento per un lungo periodo dell'esistente serbatoio ed essendo troppo costosa la costruzione di opere provvisorie tali da mettere all'asciutto tutta la zona di costruzione, l'adozione di un tipo di diga in materiali sciolti ha permesso di effettuare le prime parti di lavoro sott'acqua affondando pietrame di cava ed altri materiali sino a portare la costruzione della diga ad una determinata quota, procedendo in secondo tempo alla deviazione del corso del fiume, una volta ultimata la costruzione del canale derivatore in galleria.

La quota minima di fondazione della diga sul letto naturale del fiume è a 85 m sul mare; l'altezza massima sulle fondazioni è di 111 m, quindi la quota del coronamento trovasi a 196 m sul mare; la quota di massimo invaso, come già accennato, è a 182 m sul mare; la lunghezza del coronamento è di 3600 m; lo spessore della diga, alla quota del letto naturale del fiume, è di 980 m, lo spessore al coronamento di 40 m; il volume complessivo di materiali componenti il corpo della diga è di oltre 42 milioni di mc.

Nella figura 3 è schematicamente rappresentata la sezione principale della diga con indicazione dei vari tipi di materiale impiegato e della loro disposizione. Le due zone a e a_1 sono quelle costruite per prime in modo da formare due ture, una di valle ed una di monte, atte a liberare dalle acque il tratto del letto del fiume fra esse compreso, una volta ultimato il canale di derivazione che ha inizio a monte della tura a e sfocia a valle della tura a_1. Le ture sono costituite con pietrame di cava privato di tutto il materiale con dimensioni al di sotto dei 15 cm e con successiva saturazione degli interstizi mediante sabbia di duna. Questo materiale venne affondato facendolo cadere da mezzi natanti in quantità complessiva di circa 3,5 milioni di tonnellate. Le due ture sono state successivamente inglobate in corpo della diga.

Le due unghie di estremità, a monte ed a valle (b, b_1), sono anch'esse costituite con pietrame di cava. La zona c è formata con sabbia di duna la quale contribuisce anche a colmare, per gravità, i vuoti che avessero a verificarsi nella zona a. La tura di valle è affiancata verso valle dalla zona d costituita di sabbia grossa. Le zone f e f_1 ai due lati del nucleo centrale sono formate con sabbia di duna resa compatta per mezzo di pesanti vibratori.

Il nucleo centrale impermeabile è ripartito in tre zone. La più alta (g) ha sezione pressoché trapezia con larghezza in sommità di 10 m ed alla base di 60 m; la sua altezza è di 70 m: essa è costituita con limo del Nilo ricavato dall'isola di Bahalif. La quota sino a cui si estende verso il basso questa zona è quella di minimo svaso del serbatoio in condizioni normali. Inferiormente la zona e, compresa tra la quota del letto naturale del fiume e quella di minimo svaso, è costituita di sabbia grossa. Al di sotto ha inizio il diaframma verticale (s), che si incunea nel terreno naturale, sino alla roccia impermeabile con profondità massima di 210 m sotto il letto del fiume. Esso è formato, a seconda delle caratteristiche del terreno che deve attraversare, con miscele di limo del Nilo e cemento, oppure con analoghe miscele con aggiunta di silicati ed altri composti chimici.

Il nucleo centrale ha una sorta di lunga propaggine verso monte costituita da un diaframma orizzontale (h), in limo argilloso plastico, che si estende sino alla tura di monte. Esso ha spessore di circa 3 m e profilo a zig zag per consentirgli di seguire eventuali assestamenti del corpo della diga.

Sopra il diaframma h si trova una zona (i) di sabbia di duna costipata. Un'analoga zona (j) di sabbia grossa, pure costipata, trovasi a valle del nucleo. Tutta la parte alta della diga (k), a valle ed a monte del nucleo, è costituita da pietrame di cava che forma un ricoprimento continuo di tutta la struttura con spessore variabile da 40 a 80 m. La superficie esterna della diga è poi ancora protetta da un rivestimento in pietrame (l).

Il materiale occorrente per la costruzione della diga proviene da località nelle immediate vicinanze della diga stessa: del materiale roccioso circa metà proviene direttamente dagli scavi per le gallerie di derivazione e dalla centrale, il rimanente da due cave di granito sulla riva destra del fiume e da una terza cava sulla riva sinistra. Il materiale sabbioso, argilloso, limo, ecc., proviene da località in un raggio di pochi chilometri dalla diga. In complesso, vengono impiegati circa 27 milioni di mc di materiale roccioso, circa 7,5 milioni di mc di sabbia di duna, 5 milioni di mc di sabbia grossa, 2 milioni di mc di materiali sedimentati dal Nilo e 300.000 mc di argilla proveniente da Assuan.

<footer>330 ATTI E RASSEGNA TECNICA DELLA SOCIETÀ INGEGNERI E ARCHITETTI IN TORINO - NUOVA SERIE - A. 20 - N. 9 - SETTEMBRE 1966</footer>

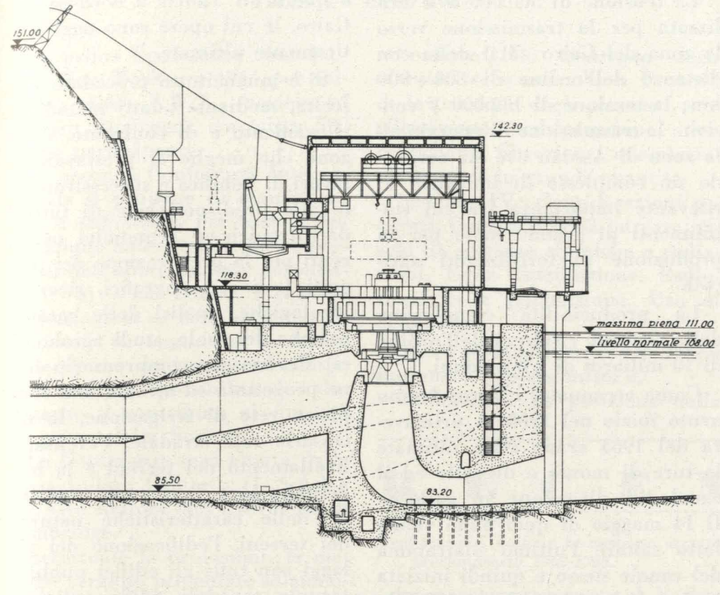

Fig. 4 - Sezione della centrale ed opere connesse in corrispondenza di uno dei dodici gruppi generatori.

Sulla riva destra del fiume si trovano le opere di derivazione e di produzione dell'energia elettrica. Il canale di derivazione, ricavato in roccia granitica, assolve alla triplice funzione di: deviare le acque del fiume durante i lavori di costruzione della diga; scaricare le acque dal serbatoio per le esigenze di irrigazione e per lo smaltimento delle portate ad invaso completo; derivare le acque per la produzione dell'energia elettrica nell'apposita centrale.

In complesso le opere di derivazione in riva destra possono smaltire una portata massima di 11.000 mc/sec. Esse sono integrate da uno scarico di superficie in riva sinistra con portata di 2300 mc/sec, destinato ad entrare in funzione in condizioni di piena eccezionale, quando cioè occorra smaltire una portata superiore a quella delle opere in destra.

Questa soluzione, che incorpora le opere per la derivazione idroelettrica con quelle di scarico dal serbatoio, consente una sensibile economia in confronto ad un precedente progetto che prevedeva la centrale sulla sponda sinistra e, indipendenti da queste, le opere di scarico per l'intera portata sulla sponda destra. La soluzione che viene attuata è stata resa possibile dalla favorevole natura della roccia in riva destra.

Il canale di derivazione ha origine circa 200 m a monte del piede della diga. Esso inizia con larghezza di 250 m, si restringe poi a 50 m e si riallarga a 230 m quando giunge alle opere di presa. Da queste hanno inizio sei gallerie a sezione circolare, con diametro di 15 m, ognuna delle quali, giunta a 50 m circa dalla centrale, si divide in due rami. Ciascuno di questi dodici condotti è ulteriormente diviso, per mezzo di un setto orizzontale, in una zona superiore che adduce ad una delle dodici turbine ed in una zona inferiore che funge da scaricatore. Quando il serbatoio è al massimo livello, la portata smaltita dai dodici condotti scaricatori è di circa 6000 mc/sec, mentre quella smaltita dalle dodici turbine a pieno carico è di circa 5000 mc/sec, per cui

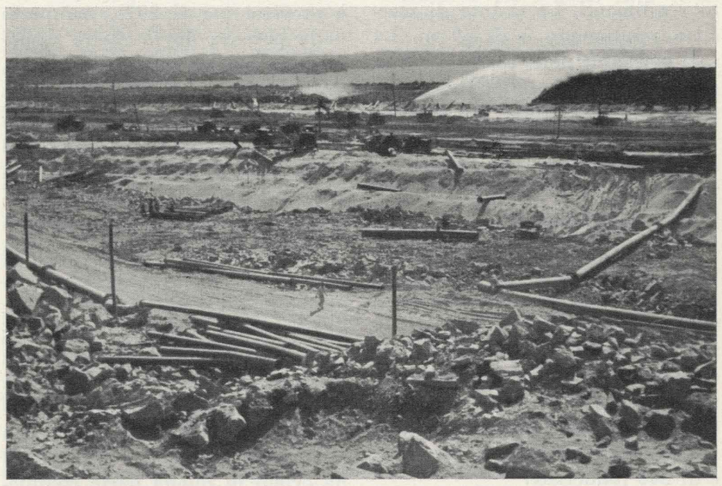

Fig. 5 - I lavori per la formazione del corpo della diga nel gennaio 1966.

<footer>ATTI E RASSEGNA TECNICA DELLA SOCIETÀ INGEGNERI E ARCHITETTI IN TORINO - NUOVA SERIE - A. 20 - N. 9 - SETTEMBRE 1966 331</footer>

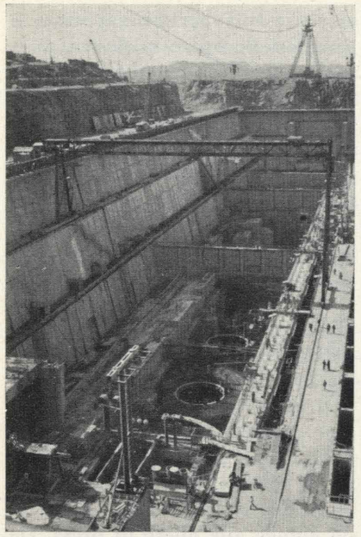

Fig. 6 - I lavori per la costruzione della centrale nel gennaio 1966.

tutta la portata di piena normale (11.000 mc/sec) può venire scaricata da queste opere senza far ricorso allo scarico di superficie in riva sinistra.

I dodici gruppi generatori in centrale hanno potenza di 175 mila kW ciascuno, con un totale quindi di 2.100.000 kW. La caduta utilizzabile varia, a seconda del livello in serbatoio, da 77 a 36 m, ma l'esercizio verrà praticamente limitato a cadute comprese tra 71 e 54 m, limiti entro cui le turbine Francis adottate possono dare buoni rendimenti. La caduta di massimo rendimento è di 59 m. La sala macchine della centrale è lunga 276 m e larga 46 m. Due gru a ponte hanno portata massima di 450 tonnellate ciascuna. Tutto il macchinario è di costruzione sovietica. In fig. 4 è riportata una sezione della centrale.

I gruppi hanno velocità di rotazione di 100 giri al minuto. La girante delle turbine ha un diametro di 6,3 m e pesa 150 tonnellate, mentre l'intera macchina pesa circa 750 tonnellate. I generatori, che producono alla tensione di 15.750 V, pesano 1600 tonnellate ciascuno, mentre il peso del solo rotore è di 800 tonnellate.

A monte della centrale vengono installati dodici trasformatori elevatori con potenza di 137,5 MVA ciascuno per portare la tensione a 500.000 V ed altri dodici con potenza di 93 MVA ciascuno per elevare la tensione a 132.000 V.

La tensione di 500.000 V è utilizzata per la trasmissione verso la zona del Cairo ed il delta con distanze dell'ordine di 800÷900 km; la tensione di 132.000 V consente la trasmissione di energia alla zona di Assuan ove sta sorgendo un complesso di industrie di rilevante importanza fra cui stabilimenti di grande mole per la produzione di fertilizzanti agricoli.

La producibilità complessiva della centrale risulterà dell'ordine di 10 miliardi di kWh annui.

Come accennato, i lavori hanno avuto inizio nel 1960. A primavera del 1964 erano state ultimate le ture di monte e di valle ed il canale di diversione in galleria. Il 14 maggio di quell'anno venne fatto saltare l'ultimo diaframma del canale stesso e quindi iniziata la fase di lavori nel letto del Nilo asciutto.

Al gennaio 1966 la costruzione del corpo della diga e delle strutture in cemento armato dell'opera di presa e della centrale aveva conseguito l'avanzamento che risulta nella fig. 5 e 6.

L'ultimazione dell'opera con tutta la potenza installata in centrale è prevista per il 1971, ma parte della potenza dovrà essere disponibile a partire dal 1968-69.

Correlativamente con la costruzione della nuova diga di Assuan e con le accennate maggiori possibilità di irrigazione che ne conseguono viene attuato un vasto programma di trasformazione di aree sinora deserte in terreni coltivabili ed abitabili.

Questo programma, che interessa per ora una superficie complessiva di circa 60.000 ettari, è stato per intero affidato dal Governo egiziano ad un'organizzazione italiana la quale ha iniziato questa sua attività in Egitto nel 1960-61 ed ha ormai in buona parte completato l'esecuzione dei lavori.

La superficie complessiva sopra indicata è ripartita in otto comprensori in varie zone del Paese, dal delta sino alla Nubia, con superfici comprese tra 6000 e 37.000 ettari. Il comprensorio più esteso è quello di Tahrir a nord-est del Cairo, le cui opere sono oggi praticamente ultimate.

Si è innanzitutto proceduto alla scelta, mediante adatti metodi di rilevamento e di confronto, delle zone che meglio si prestavano a lavori di bonifica e successivamente alla predisposizione di tutti i dati tecnici ed economici occorrenti per la preparazione dei progetti (rilievi topografici, ricerche idrologiche, analisi delle caratteristiche del suolo, studi agronomici). Per ciascun comprensorio venne progettata ed attuata una complessa rete di irrigazione, la necessaria rete stradale, l'eventuale livellamento dei terreni e la loro delimitazione, l'eventuale correzione delle caratteristiche naturali dei terreni, l'edificazione dei villaggi con tutti gli edifici pubblici (scuole, ospedali, edifici religiosi) e gli impianti inerenti ai servizi (energia elettrica, acqua potabile, ecc.) occorrenti per la vita della nuova comunità.

L'attività di costruzione era affiancata da un programma di addestramento della mano d'opera locale sia per la realizzazione del complesso di lavori, sia per l'esercizio degli impianti di irrigazione e dei servizi pubblici, sia ancora per la razionale conduzione dei terreni acquisiti all'utilizzazione agricola.

Nel complesso i lavori hanno comportato fra l'altro, la costruzione di 900 km di canali principali di irrigazione e di drenaggio, 1800 km di canali secondari, 80 stazioni di sollevamento con circa 25.000 kW installati, 250 pozzi per estrazione di acque sotterranee con uno sviluppo complessivo di 18.000 m, 300 km di strade principali e 3000 km di strade secondarie, stazioni di trasformazione per 60.000 kVA, 37 villaggi con 12.000 abitazioni rurali.

Guido Bonicelli

NOTIZIARIO

Conferenza delle donne ingegneri e scienziati a Cambridge promossa dalla Women's Engineering Society

Torino 1-9 luglio 1967

La prima Conferenza ebbe luogo a New York nel 1964 per iniziativa della S.W.E., Society of Women Engineers, con circa 500 donne partecipanti.

La seconda Conferenza Internazionale si propone di esaminare: a) « *A sufficienza per tutti - Applicazione della tecnologia ai problemi dell'alimentazione nel mondo* »; b) « *La donna ingegnere professionista* », con lo scopo di prendere in esame la posizione della donna ingegnere nel campo di lavoro e le possibilità di valorizzarne il contributo ai fini del progresso della Società.

La Conferenza sarà aperta dalla D.ssa Lillian Gilbreth (U.S.A.) e dal Vice Rettore dell'Università di Cambridge.

Eccettuate le prolusioni, le memorie saranno presentate solamente sotto forma di sommario, al fine di riservare maggior tempo alle discussioni.

Eccone il programma:

TEMA TECNICO: « *A sufficienza per tutti* - Applicazione della tecnologia ai problemi dell'alimentazione nel mondo ».

Prolusione: Rassegna della situazione dell'alimentazione svolta da un esperto.

Sessione I: *Aumentare la disponibilità di alimenti*. Meccanica del suolo, disboscamento, fertilizzanti, insetticidi, irrigazione, controllo delle condizioni atmosferiche. Itticoltura. Coltivazioni marine. Nuovi tipi di alimenti, alimenti sintetici.

Sessione II: *Diminuire il costo degli alimenti*. Aumentare l'energia per la produzione alimentare; disponibilità e distribuzione dell'energia elettrica; forniture di nafta e petrolio. Mezzi meccanici per agevolare la produzione e ridurre la manodopera necessaria. Macchinari per il disboscamento ed i lavori agricoli, impianti sott'acqua, navi specializzate. Schemi speciali di produzione a basso costo.

Sessione III: *Consegna degli alimenti al consumatore*. Processi di lavorazione degli alimenti, sterilizzazione, refrigerazione, deidratazione, filtrazione, miscelazione, cottura in grandi quantità.

Sessione IV: *Considerazioni generali*. Controllo della purezza, rischi da sostanze chimiche e radiazioni. Equa distribuzione. Esplosione della popolazione. Uso di elaboratori.

TEMA SOCIOLOGICO: « *La donna ingegnere professionista* ».

Prolusione: La posizione della donna nell'ingegneria esaminata da un'autorità.

Sessione I: L'atteggiamento sociale ed educativo nei riguardi delle donne nella professione dell'ingegneria.

Sessione II: Azioni che possono essere giovevoli nei paesi dove le donne non sono incoraggiate a svolgere la professione dell'ingegnere.

PROGRAMMA SOCIALE. Durante la settimana in cui si svolgerà la Conferenza, vi sarà una Mostra fotografica e saranno effettuate molte visite di carattere tecnico e culturale nei dintorni di Cambridge e per la settimana successiva sono organizzati tre viaggi con diversi itinerari a scelta: in Inghilterra e nel Galles, in Scozia ed in Irlanda.

Per ulteriori informazioni scrivere alla Segreteria A.I.D.I.A., Corso Vinzaglio 24, Torino.

RECENSIONI

Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1962-1966.

In un volume presentato al V Congresso della FIP (Parigi 1966) sono raccolte a cura dell'A.I.T.E.C. - Associazione Italiana Tecnico-Economica del Cemento - e per essa dell'Ing. Gaetano Bologna, le più significative opere in cemento armato precompresso eseguite in Italia dal 1962 al 1966.

L'Ing. Giuseppe Rinaldi illustra le caratteristiche costruttive di *Ponti e Viadotti*, nei quali si può rilevare una precisa e sempre maggiore tendenza dei progettisti italiani verso l'adozione di strutture semplici, prevalentemente a travata ed a piastra alleggerita, le quali, congiuntamente all'adozione di appoggi intermedi, hanno consentito di raggiungere notevoli vantaggi con strutture leggere o snelle, di conseguente sensibile minor costo.

Nel campo degli *edifici ed opere varie* l'Ing. Ugo Carputi constata come nel caso delle grandi coperture il dato tecnologico e la forma, la tecnica e l'espressione si avvantaggiano dell'incontro tra i nuovi materiali e le nuove tecniche costruttive, tra il progresso tecnologico e l'inventiva del progettista, per dare i risultati più interessanti.

La moderna Scienza delle Costruzioni ha consentito di determinare univocamente i tipi di sollecitazioni che implicitamente determinano, con il loro andamento, le forme strutturali più rispondenti alla distribuzione degli sforzi.

Le venticinque opere descritte in particolare comprendono strutture di vario tipo: coperture di forma diversa, coperture sospese strutture in foglio e così via nelle quali la prefabbricazione serve per ottenere una normalizzazione degli elementi. Normalizzazione che ha permesso di realizzare molte strutture di dimensioni eccezionali in tempi brevissimi.

Agli *elementi in cemento armato precompresso, prefabbricati in stabilimento* si riferisce il rapporto dell'Ing. Silvano Zorzi. Egli osserva che la tecnica della prefabbricazione si esplica attualmente in Italia su vastissima scala e per la quasi totalità dei casi, con un impiego di armatura pretesa aderente, come dimostrano i seguenti dati:

— consumo totale acciaio per precompressione circa 26.000 t/anno, di cui:
— per cavi (strutture in opera o prefabbricate a piè d'opera) circa 11.000 t/anno;
— in fili, trecce e trefoli pretesi per elementi prefabbricati in officina, circa 15.000 t/anno.

È significativo inoltre che tali consumi di acciaio speciale per precompressione risultino tuttora in rapida ascesa, malgrado la flessione dei consumi degli altri materiali da costruzione.

Meno appariscenti delle grandi opere d'arte in c.a.p., le strutture prefabbricate in stabilimento in c.a.p. a fili aderenti hanno avuto grande sviluppo in questi ultimi anni. Gli stabilimenti di produzione si sono moltiplicati e sono quasi tutti dotati di impianti per la produzione di vapore; sfruttando i vantaggi della maturazione forzata i manufatti sostano in media sulle piste non più di una giornata.

Le qualità dei prodotti forniti dalle varie ditte sono di elevato livello: per i calcestruzzi si hanno resistenze a rottura superiori in media a 500 kg/cmq; il cemento è del tipo « 730 » ad alta resistenza, con dosaggi di 350-450 kg. per mc

di impasto; il rapporto acqua-cemento è mantenuto relativamente basso (intorno a 0,40); le tensioni indotte all'atto della precompressione superano spesso i 200 kg/cmq; ed appunto per raggiungere in breve tempo questi tassi iniziali di compressione, occorre non solo che i getti siano di ottima fattura, ma anche che si faccia ricorso alla stagionatura forzata.

L'acciaio preteso impiegato è di vari tipi (tondini, lisci, piatti con risalti, trefoli e trecce); il carico di rottura è compreso fra 16.000 e 19.000 kg/cmq ed i limiti elastici sono alti.

Lo svilupparsi di una efficiente rete stradale ed autostradale ha dato ulteriore impulso alla prefabbricazione, estendendo la possibilità di mercato degli stabilimenti ad alcune centinaia di km, per pezzi prefabbricati di 20 e più tonnellate.

Tra gli elementi di maggiore diffusione sono da citare i seguenti:

— travi per ponti prodotte in numerosi tipi, di lunghezze fino a 25 metri ed oltre adatte a ponti di prima o seconda categoria; impiegate generalmente come travi semplicemente appoggiate, meno frequentemente come travi tipo Gerber;
— solette e traversi, usando fondelli in c.a. od in c.a.p. a fili aderenti appoggiati ai bordi delle travi;
— travi del tipo di quelle per ponti per coperture di grande luce degli edifici industriali e come piani di scorrimento per carri ponte;
— pannelli prefabbricati in laterizio o a struttura mista con travetti in c.a.p.;
— pali di fondazione;
— canalette per irrigazione, tubazioni in pressione, ecc.

Combinando in vario modo gli elementi strutturali suddetti, oppure ideandone altri appositi, alcune ditte sono in grado oggi di offrire sul mercato italiano capannoni per stabilimenti industriali interamente prefabbricati di vario aspetto ed impegno architettonico, con lucernari a cavallo delle voltine o con illuminazione a shed.

A. E. A.

RUBRICA DEI BREVETTI

a cura di FILIPPO JACOBACCI

Brevetti recentemente pubblicati in Italia nel campo delle costruzioni

I - COSTRUZIONI PERMANENTI

A - *Costruzione di strade, di strade ferrate e di ponti.*

No. 643.985 - 6.12.1960 - *Franz Plasser Bahnbaumaschinen a Vienna* (Inventori designati: Plasser Franz, Theurer Josef): « Procedimento per la costipazione della massicciata di un binario in posizione sollevata corretta e macchina per l'attuazione di detto procedimento ».

No. 644.073 - 31.1.1961 - *Franz Plasser Bahnbaumaschinen a Vienna* (Inventori designati: Plasser Franz, Theurer Josef): « Macchina per correggere la posizione del binario ».

No. 644.042 - 23.1.1961 - *Marzucchi Florio a Piombino* (*Livorno*): « Ganascia per rotaie atta ad eliminare gli urti al passaggio dei convogli ».

No. 643.653 - 1.2.1961 - *Alfred Hagelstein Maschinenfabrik a Lubeck Travemunde* (*Germania*): « Perfezionamenti nei rulli vibratori a due masse eccentriche per la costipazione di materiali nella costruzione di strade ed altro ».

No. 643.580 - 16.12.1960 - *Bors Heinz a Bechtersweiler Lindau* (*Germania*): « Procedimento e dispositivo per mescolare e distribuire materiali di miscele da costruzioni nella fabbricazione di pavimentazioni di piste per veicoli ».

No. 643.814 - 10.1.1961 - *Wilhelm Vestner Aufzugbau a Monaco* (*Germania*): « Rampa oscillante in particolare per collegamenti stradali per autoveicoli ».

No. 644.096 - 27.1.1961 - *Zannini Franco e Dorigo Antonio a Padova*: « Dispositivo operante frontale a coclee contrapposte per sgombraneve e condotto di scarico della neve riscaldato con i gas di scappamento ».

B - *Opere idrauliche e fondazioni.*

No. 643.889 - 26.1.1961 - *Manfredini Antonio a Ferrara*: « Diaframma a tenuta idraulica formato da palancole di cemento armato prefabbricate infisse nel terreno con lembi sovrapposti ».

No. 643.828 - 21.1.1961 - *Casilli Vittorio e Fusconi Mario a Napoli*: « Macchina edile mobile su strada od in cantiere bilanciata razionalmente in ogni assunta posizione specialmente indicata per organi di sollevamento trivellazioni sondaggi battipalo e simili operazioni ».

No. 644.126 - 1.2.1961 - *Development Industrial Patents Trust Reg. D.I.P. a Vaduz*: « Escavatore a braccio telescopico ».

No. 644.087 - 27.1.1961 - *Larcher Pio a Cavareno* (*Trento*): « Impianto mobile di scavo con benna sospesa e guidata ».

No. 644.025 - 28.1.1961 - *Lauster Erhard a Stuttgart Badcannstatt* (*Germania*): « Macchina scavatrice su veicolo a motore ».

No. 643.904 - 27.1.1961 - *Liebhnerr Hans a Biberach Riss* (*Germania*) (Inventore designato: Ulmann Karl): « Cucchiaio da draga utilizzabile come cucchiaio agente in altezza e in profondità ».

C - *Adduzione di acqua e smaltimento delle acque luride.*

No. 643.871 - 27.1.1961 - *Testori Giuseppe a Gozzano* (*Novara*): « Dispositivo per chiusura ed apertura automatiche dei condotti d'uscita in un gruppo per bagno ».

No. 643.686 - 16.2.1962 - *Autowash Cistern Company Proprietary Limited a Germiston, Transvaal* (*Unione del Sud Africa*): « Dispositivo per vaschette di cacciata d'acqua per latrine ».

No. 643.809 - 10.1.1961 - *Radaelli R. S.p.A. a Milano*: « Dispositivo silenziatore per valvola a galleggiante di cassette di scarico per gabinetti ed orinatoio ».

D - *Fabbricati.*

No. 644.089 - 30.1.1961 - *Scaramelli Eliseo a Modena*: « Fabbricazione di solai portanti ad elementi in laterizio armato da costruirsi parte a pie' d'opera e parte in opera per l'edilizia ».

No. 643.611 - 18.1.1961 - *Turin Elio a Certosa di Pavia* (*Pavia*): « Parete scorrevole ed estensibile sospesa particolarmente per costruzioni edili ».

No. 643.968 - 28.11.1960 - *Bisch Jacques a Strasbourg* (*Francia*): « Pressa perfezionata per tegole atta ad eseguire meccanicamente la sbavatura delle tegole dopo il loro stampaggio per pressatura ».

No. 644.053 - 30.1.1961 - *Comercial e Industrial Quimica de Barcelona S.A. a Barcellona* (*Spagna*): « Lastra impermeabile per costruzione e processo di fabbricazione di questa ».

No. 643.518 - 18.1.1961 - *Storni Pierino a Canobbio* (*Svizzera*): « Botola per soffitto con coperchio a cerniera e con scala abbassabile per scorrimento su di esso all'apertura provvista di mezzi atti a facilitarne il ritorno alla chiusura del coperchio ».

No. 643.821 - 14.1.1961 - *Albanese Cosimo a Roma*: « Guida per cinghia degli avvolgibili ».

No. 643.836 - 3.1.1961 - *Fabris Domenico a Udine*: « Rimessa per autovetture a sezione circolare con piattaforma girevole applicata su montacarichi e collocata al centro della stessa ».

No. 643.658 - 2.2.1961 - *Firullo Rosario a Verona*: « Serramento a bilico orizzontale e anta ribaltabile scorrevole ».

No. 643.700 - 20.1.1961 - *Gretsch Unitas G.m.b.H. a Stoccarda, Feuerbach* (*Germania*): « Finestra scorrevole e ribaltabile ».

No. 643.748 - 13.1.1961 - *Mancini Romolo a Ponte Messa di Pennabilli* (*Pesaro*): « Dispositivo da applicare al corrente inferiore del telaio fisso delle finestre atto ad impedire gli spifferi e la penetrazione di acqua piovana ».

No. 644.071 - 30.1.1961 - *Marignani Luigi a Frosinone*: « Dispositivo di alimentazione automatica per macchine stuccatrici di piastrelle per pavimenti ».

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT** Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO