



SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME 110

Giornate di Geologia & Storia
dicembre 2021/giugno 2022

di

AMIRANTE DIEGO, ARGENTIERI ALESSIO, ARGENTIERO ILENIA, BENINI ALESSANDRA, BERSANI PIO, CACCAVALE GIANFRANCO, CALCATERRA DOMENICO, CALLIGOLA MASSIMILIANO, CASTENETTO SERGIO, CECCHINI FLAVIO, CIANFLONE GIUSEPPE, CICCIO LUCA, CIOTOLI GIANCARLO, COLAPIETRO ANTONIO, CUTERI FRANCESCO, DAL PIAZ GIORGIO VITTORIO, DE CATERINI GIOVANNI, DE MARTINO CARIS, DE PASCALE MASSIMO, DECARO KATIA, DELMONACO GIUSEPPE, DI FILIPPO MICHELE, DI LAGHI ARMANDO, DI LORETO EUGENIO, DI NEZZA MARIA, DIPRIZIO GIUSEPPE, DOMINICI ROCCO, EBANISTA LAURA, FABRI ALESSANDRA, FEDELE ALESSANDRO, FIDELIBUS MARIA DOLORES, GIACOPINI LUCINA, GLISCI CARLO, GUARNERI ENRICO MARIA, LANZINI MAURIZIO, LICORDARI FRANCESCA, LUCARINI MAURO, MADONNA SERGIO, MAGGI VALTER, MAJRANI ALBERTO, MANNI MARCO, MANTERO DIEGO, MARCELLI MARINA, MARGOTTINI SIRO, MARTINO SALVATORE, MAZZOTTA FRANCESCO, MIELE PAOLO, MONTI GENNARO MARIA, MORETTI DANIELE, MORETTI PAOLO, MUSTO PIERLUIGI, NAPOLITANO, NISIO STEFANIA, OSSO GAETANO, PACCIARELLI MARCO, PARISI ALESSANDRO, PELLEGRINO ANNAMARIA, PISTOCCHI LORENZO, POCOBELLI GIORGIO, POMPILI ROBERTO, PUZZILLI LUCA MARIA, RAMONDINI MASSIMO, ROMAGNOLI GIUSEPPE, RUFFOLO LOREDANA, SCAVELLO ROSSELLA SCHIAVONEA, SIGISMONDI COSTANTINO, SOMMA RENATO, SPILOTRO GIUSEPPE, TRAVERSA FRANCESCO, TROCCIOLA ALFREDO, VESSELLA FEDERICO.

Editor

Stefania NISIO



La redazione raccomanda per la citazione di questo volume la seguente dizione:

NISIO S. (Eds) (2023) - *Giornate di Geologia & Storia*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, ISPRA, **110**: pp. 506

Direttore responsabile: MARIA SICLARI (*ad interim*)

DIPARTIMENTO PER IL SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - SERVIZIO PER LA GEOLOGIA STRUTTURALE
E MARINA, IL RILEVAMENTO E LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Dirigente: Maria LETTIERI

Allestimento Cartografico-Editoriale: Tullio SCHVARCZ

Copertina: Paolo MORETTI (GEO-DIR)

ISBN 9788893110976

ISSN 05360242 *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*

Stampa: in press

La geologia rende il sottosuolo trasparente: storie di canali navigabili

Geology makes the underground transparent: tales about navigable canals

ARGENTIERI A. (*) (**), DAL PIAZ G.V. (**), DE CATERINI G. (**) (***)

RIASSUNTO - Questo contributo rende omaggio a lungimiranti personaggi dalla diversa estrazione, nazionalità e storia che seppero rendere trasparente il sottosuolo di colline e territori. Con studi geologici, rilievi topografici e progetti arditi, essi guardarono oltre i limiti del proprio tempo e, superando - dapprima concettualmente e poi fisicamente - barriere culturali, linguistiche e geografiche, realizzarono grandi canali navigabili in Europa, Africa e America centrale. Le storie di uomini e canali seguono un filo conduttore che intreccia, tra il XIX e il XX secolo, il percorso tecnico-scientifico di ogni impresa con eventi politico-sociali dell'epoca e vicende personali. Alla base, il potere magico del sapere geologico che, con carte e sezioni verticali, ricostruisce l'assetto tridimensionale del sottosuolo: una realtà virtuale che ben prima dell'era digitale rese la trasparenza tangibile attraverso le grandi opere d'ingegneria.

PAROLE CHIAVE: canali navigabili, ingegneria civile, storia della geologia

ABSTRACT - This article is a tribute to several forward-looking personages of different culture, nationality and time, which made hills and lands transparent. By means of geological studies, topographical survey and daring projects,

their farsightedness contributed to go through the barricades (cultural, linguistic and geographical), first metaphorically and then physically, digging waterways in Europe, Africa and Central America.

Tales about men and canals follow a common thread intertwining, between 19th and 20th century, technical and scientific path of each achievement with political and social events and personal vicissitudes of the characters. Behind it all, the magical power of geology, which by means of maps and cross sections provides a mental 3D reconstruction of underground: a virtual reality, conceived long before the digital age, making transparency to be tangible through engineering works.

KEY WORDS: civil engineering, canals, history of geosciences, waterways

1. - INTRODUZIONE

La Geologia ha un potere magico: rende il sottosuolo trasparente. In primo luogo, la conoscen-

(*) Città metropolitana di Roma Capitale - Servizio 2 "Geologico, difesa del suolo- Risorse agroforestali- Rischi territoriali" - Dipartimento IV "Pianificazione strategica e governo del territorio", Viale Giorgio Ribotta 41-43, 00152 Roma e-mail: a.argentieri@cittametropolitanaroma.it; (**) Società Geologica Italiana- Sezione di Storia delle Geoscienze; (***)Engeo Praxis s.r.l.

za geologica- basata su rilievi topografici di dettaglio- lo consente metaforicamente, fornendo una ricostruzione tridimensionale di quello che sta sotto la superficie terrestre, tramite carte geologiche e sezioni verticali. Questo processo concettuale, che ha inventato la realtà virtuale molto prima dell'era digitale, permette di trasformare consapevolmente il territorio mediante grandi opere di ingegneria civile. E così, la trasparenza di montagne e colline diventa tangibile.

La storia delle grandi opere e del progresso della tecnica, basate sulla conoscenza del territorio, consente di rivolgere l'attenzione al tema del superamento delle barriere e dei limiti. È nella natura umana cercare di oltrepassare i confini, le barriere culturali, geografiche, sociologiche, linguistiche, affrontando avventure che, all'inizio, sembrano impossibili. La storia dell'uomo è pertanto marcata da un'interiore necessità di creare cose che non esistono e che nessuno ha pensato, realizzare idee folli e programmare le proprie azioni, non per adattarsi supinamente all'ambiente, ma per modificarlo in favore di migliori condizioni di vita.

Un tema emblematico è l'attraversamento delle Alpi, barriera per secoli quasi invalicabile del Vecchio Continente. È una lunga storia di grandi sfide, il cui prologo è rappresentato dalla spedizione cartaginese guidata nel 218 a.C. da Annibale Barca. Dopo le ascensioni pionieristiche delle vette e dei valichi alpini nel XVIII secolo, ebbe inizio un viaggio di 150 anni, attraverso progetti, studi geologici e scavi di gallerie montane. Le recenti ricorrenze dei trafori ferroviari e stradali delle Alpi (i 150 anni del Fréjus, 1871; i 140 anni del Gottardo, 1882; i 60 anni del Monte Bianco, 1962) hanno stimolato il ricordo di queste imprese scientifiche e tecniche (CIALDINI, 2011; DAL PIAZ & ARGENTIERI, 2019, 2021; DAL PIAZ *et alii*, 2021; DAL PIAZ & URBANI, 2021).

Altrettanto affascinante è la storia della costruzione dei canali navigabili in Africa, Europa e America nel XIX secolo, tema di questo articolo, con particolare attenzione al contesto storico. Il lavoro non ha la pretesa di trattare in modo esaustivo la realizzazione delle grandi vie d'acqua nel mondo, ma si concentra invece su alcune imprese tecnico-scientifiche in cui la storia della geologia e del progresso della tecnica si intrecciano con le grandi vicende politiche del tempo.

Ogni *case history* mostra chiaramente come agli inizi la progettazione e la realizzazione dei trafori e dei canali, basate solo su esperienze empiriche e non su studi specialistici, furono la causa di un numero incredibile di vittime del lavoro, di costi non previsti e di problemi tecnici che furono ri-

solti dopo decenni di lavori e approfondimenti. I luoghi dove sono state realizzate queste opere gigantesche sono sempre caratterizzati da situazioni geologiche, idrogeologiche e sismiche complesse, nonché da condizioni climatiche estreme (il grande freddo nelle regioni alpine e climi ostili nelle zone umide, aggravati da malattie tropicali come la malaria e la febbre gialla). Con la costruzione di queste grandi opere nacque nella seconda metà del XIX secolo la progettazione moderna, fondata su basi fisico-matematiche e sulla conoscenza scientifica dei fenomeni, tesa a valutare e prevedere ogni tipo di problema per la costruzione e la gestione dell'opera, a cominciare dalla salvaguardia della vita umana. Nei casi analizzati, la maggior parte dei problemi tecnici sorti per le grandi costruzioni era connessa a problemi di natura geologica, situazione che favorì la nascita della "geologia pratica" richiesta da Quintino Sella e lo sviluppo di nuove discipline tecniche legate alle Geoscienze.

La storia dei canali, così come quella dei trafori alpini, insegna quanto sia importante - ora come allora - che nelle grandi decisioni progettuali la figura dello statista filosofo sia associata ad un "oracolo scientifico" il cui parere indirizzi le scelte tenendo conto della fattibilità tecnica ed economica dell'opera, della sicurezza del territorio e di quella dei lavoratori e della popolazione.

Dopo secoli di crescente utilizzo del territorio, gli effetti collaterali degli interventi ad alto impatto sull'ambiente sono ormai scientificamente accertati a scala globale. Una nuova visione del rapporto con la natura si sta sviluppando oggi, come ben noto, tra le nuove generazioni, coscienti della prossimità al punto di non ritorno dell'influsso antropico sul Pianeta Terra. Anche in quest'ottica può avere importanza una rivisitazione storica della realizzazione di alcune grandi opere del passato.

2. - RIVOLUZIONE INDUSTRIALE, ROMANTICISMO, POSITIVISMO E GRANDI OPERA DI INGEGNERIA

All'epoca della rivoluzione industriale dominava nella cultura europea l'entusiasmo del Romanticismo letterario, unito al movimento filosofico e sociologico del positivismo, in un contesto nel quale si stava vivendo l'industrializzazione e la nascita del capitalismo. La ricchezza del mondo passava dall'agricoltura all'industria, all'impresa e quindi alla tecnologia. La coscienza "positivista", che vide in Auguste Comte il riferimento principale, si fondava sulla fiducia nelle forze del

progresso scientifico e tecnologico, sfociante in un vero e proprio culto della tecnica e delle macchine. La scienza divenne il modo di conoscere e spiegare la realtà, consentendo di dominarla e asservirla ai bisogni dell'uomo grazie alla tecnologia. Lo sviluppo economico doveva basarsi quindi sullo sfruttamento delle risorse naturali e i suoi simboli furono la locomotiva, la ferrovia e la nave a vapore.

In questo periodo la cultura scientifica si diffuse ampiamente come alternativa a quella classica tra le classi dirigenti, i ceti medi e anche nella *working class*, prima in Inghilterra, Francia e Germania e poi, nella seconda metà dell'Ottocento, anche in Italia. Il mondo reale si era misurato su base scientifica e sperimentale, ponendo una fiducia sconfinata nella tecnica e nel futuro, con la garanzia di autorevoli scienziati e medici. Una nuova figura professionale andò rapidamente affermandosi: l'ingegnere.

Con l'inizio dell'età delle macchine, dell'acciaio e delle ferrovie, crebbe l'esigenza di materie prime. Le prime scuole d'applicazione (di ingegneria) in Europa si svilupparono perciò dal mondo minerario, mentre nascevano le accademie e le società geografiche e geologiche, dedite all'esplorazione delle terre ignote, quando la Terra risultava divisa tra luoghi selvaggi da scoprire e tecnologiche metropoli industriali. Emblematico punto d'incontro tra questi mondi paralleli fu l'epopea dei balenieri, di cui fu cantore Herman Melville in "Moby Dick": le macchine delle fabbriche americane dell'Est industrializzato erano lubrificate con l'olio di capodoglio, prodotto nel Pacifico e riportato sulla East Coast dopo viaggi di anni che trovavano nell'isola di Nantucket la loro Itaca.

Nel XVIII secolo, in tutta Europa cominciavano a svilupparsi le scuole politecniche, negli stati tedeschi, in Sassonia in particolare, in Ungheria, nel Regno Unito, in Svezia, in Francia e in Italia, scuole che dovevano formare figure professionali atte a gestire la meccanizzazione dei processi, in prevalenza nel settore minerario e in quello degli scavi, in cui si cominciava ad affermare il ruolo pragmatico della tecnica. In questo clima culturale i grandi intellettuali del tempo, primo fra tutti Goethe, coltivavano con pari interesse le passioni letterarie e quelle scientifiche.

In questo clima rivoluzionario, proiettato verso un futuro da costruire su un concetto nuovo dell'economia, accanto alle élite di nobili e commercianti si andava imponendo la nuova classe imprenditoriale borghese, costituita da persone con cultura universitaria, cresciute nelle nuove metropoli dell'economia industriale, proiettate a

costruire un nuovo mondo alla velocità delle ferrovie. Era una classe sociale insofferente ai privilegi acquisiti per nascita, formata in un contesto di grande fermento culturale, seppure in un'Europa ancora costituita da Stati assoluti.

Il senso d'avventura, che avvolse la nascita delle scienze e tecnologie moderne, pervase febbrilmente lo spirito del tempo, portando molti giovani esponenti di tale ceto a combattere sulle barricate contro l'Ancien Regime, richiedendo diritti politici e costituzioni moderne.

In Italia molti di questi rivoluzionari, per la maggior parte massoni, carbonari e mazziniani, erano giovani "scapestrati" e studenti, ma una quota significativa di eroi risorgimentali era rappresentata da giuristi, letterati, professori universitari e scienziati, tra cui ingegneri e geologi. Leopoldo Pilla, professore di geologia, morì a Curtatone nel 1848, Bonapartisti erano Giovanni Cadolini (storico e ingegnere del genio napoletano) e Pietro Paleocapa (ingegnere idraulico, progettista ferroviario e progettista del canale di Suez), garibaldini Luigi Orlando, Carlo Pisacane e l'ungherese Istvan Türr, naturalizzato italiano (fig. 1).



Fig. 1 - Il busto di Istvan Türr alla passeggiata del Gianicolo (Roma).
- Bust of Istvan Türr at the Gianicolo (Rome).

3. - CULTURA GEOLOGICA E TECNICA ALL'EPOCA DELLA COSTRUZIONE DEI CANALI

La geologia moderna, nata nel mondo minerario e all'interno delle scuole politecniche, prende le mosse dalla studio della composizione delle rocce. Abraham Gottlob Werner (1749-1817) il precursore della classificazione dei minerali, delle rocce, dei giacimenti, si forma nell'Accademia Mineraria di Freiberg, in Sassonia. Déodat de Dolomieu (1750 - 1801), mineralista, geologo e vulcanologo che condusse una vita breve ma decisamente avventurosa, fu professore di Scienze Naturali a Parigi presso l'*École Centrale des arts et manufactures*, ispettore del Corps des mines e professore presso l'*École Nationale Supérieure des Mines de Paris*.

William "strata" Smith, fondatore della cartografia geologica, era un agrimensore e ingegnere idraulico che, ignorando Arduino, si era rivolto alla stratigrafia grazie alla esperienza maturata nella realizzazione di opere irrigue e di drenaggio e nella ricerca mineraria nel Regno Unito (WINCHESTER, 2001). Sir Charles Lyell (1797-1875), principale ispiratore della geologia moderna, sottolineò l'importanza del ruolo di tale disciplina nelle ricerche minerarie (LYELL, 1845).

Tra il '700 e l'800 si occuparono di argomenti affini alla geologia pratica numerosi scienziati, ingegneri e fisici attenti alle applicazioni tecniche della ricerca. Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), studioso dell'elettricità e del magnetismo presso l'*École royale du Génie de Mézières*, descrisse il dominio elastico degli stati tensionali ammissibili. L'ingegnere idraulico Henry Philibert Gaspard Darcy (1803 - 1858), formatosi all'*École Polytechnique* di Parigi, fece i primi studi sulla permeabilità dei terreni. Alexandre Collin (1808-1890), altro ingegnere idraulico francese e pioniere di geotecnica, fu il primo ad applicare un sistema di valutazione della stabilità dei versanti per gli scavi in argilla delle ferrovie francesi. William John Macquorn Rankine (1820- 1872), matematico, fisico e ingegnere scozzese, sviluppatore del motore a vapore, si occupò anch'egli della rete ferroviaria francese, scrisse il primo manuale di ingegneria meccanica e studiò i criteri di rottura e delle spinte dei terreni. Christian Otto Mohr (1835 - 1918), ingegnere civile tedesco della Scuola Politecnica di Hannover, aveva studiato le teorie della meccanica e la resistenza dei materiali e sviluppato la legge di Coulomb applicando la famosa soluzione grafica degli omonimi cerchi.

Nella seconda metà dell'800, infine, nell'Europa dominata dal positivismo scientifico si diffuse

anche la cultura e l'insegnamento universitario. In Italia nel 1861, anno dell'unificazione del Regno, si contavano circa 7000 laureati su una popolazione di 22 milioni di persone e un tasso di alfabetizzazione bassissimo (10 - 20 % nel sud e 30 - 40 % nel nord).

Per quanto riguarda i manuali a disposizione degli ingegneri e dei geologi applicati alle grandi opere (si veda in PENTA, 1947), il primo testo organico di geologia applicata è forse quello pubblicato dal geologo tedesco Konrad Keilhack nel 1896, ampliato e ristampato nel 1922, e tradotto in spagnolo nel 1927, solo un anno prima dell'uscita del voluminoso *Manuale di Geologia Tecnica* edito dall'Università di Pisa (CANAVARI, 1923). La prima rivista specializzata fu invece *Zeitschrift für praktische Geologie*, rivista tedesca fondata nel 1893; la seconda fu italiana, il *Giornale di Geologia Pratica*, pubblicato per la prima volta nel 1903 e seguito nel 1906 dalla prestigiosa rivista statunitense *Economic Geology*. Tuttavia, è nel 1907 che per il mondo universitario italiano nacque formalmente la geologia applicata, quando le applicazioni pratiche della geologia furono discusse dal professor Federico Sacco, docente al Politecnico di Torino, durante il suo discorso di insediamento da presidente della Società Geologica Italiana.

4. - OLTRE LE BARRIERE: STORIE DI ISTMI, CANALI E UOMINI

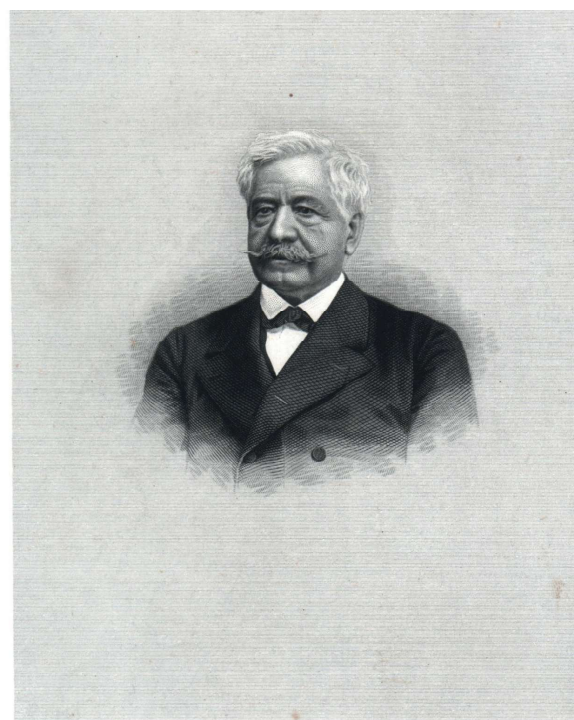
In questa narrazione si intreccia un *fil rouge* risorgimentale che annoda le vicende dei tre più famosi canali navigabili del mondo- Suez, Corinto e Panama- e di altre vie d'acqua con quelle degli uomini che li concepirono e li realizzarono. Molti di questi personaggi furono coinvolti nelle vicende politiche e insurrezionali della metà dell'Ottocento, ma ricoprirono un ruolo anche nelle iniziative imprenditoriali e tecniche della progettazione e costruzione delle opere. Nella storia dei canali entra in gioco il fermento culturale che germinò tra le barricate del Risorgimento italiano, e in particolare nella difesa dell'effimera Repubblica romana. La passeggiata del Gianicolo, teatro dell'omonima battaglia con la quale si consumò nel 1849 l'epilogo di questa vicenda, ne conserva la memoria con i busti marmorei degli eroi di guerra, alcuni dei quali meriterebbero analogo omaggio in un museo della scienza e della tecnica: è un gruppo di eroici personaggi di diversa nazionalità, cresciuti nell'avventura con il regolo calcolatore in una mano e la sciabola nell'altra. Anche se schierati talvolta su fronti opposti, scesi dalle barricate si trovarono affiancati idealmente

fisicamente in cantiere, scoprendo una nuova armonia e una gioia comune nel passare dall'azione cruenta dei conflitti all'azione creativa rivolta alla costruzione di ferrovie, strade, dighe e canali. Nell'ultima strofa dell'Inno alla gioia di Friedrich Schiller, ripresa da Beethoven come testo della parte corale per il quarto movimento della IX sinfonia, si carpisce quel sentimento latente che si stringe intorno al mito della macchina:

*Freude Freude heißt die Feder in der ewigen Natur
Freude Freude treibt die Räder in der großen Welt-
tenuhr
Blumen treibt sie aus dem Keime, Sonnen an das
Virmament
ein dringtsie in Tiefen, die des Sebers Robr nicht
kennt
Blumen treibt sie aus dem Keime, Sonnen an das
Virmament
ein dringtsie in Tiefen, die des Sebers Robr nicht
kennt¹*

Il personaggio più famoso è Ferdinand de Lesseps (fig. 2), diplomatico e imprenditore francese. Di nobile famiglia originaria dell'Aquitania, intraprese la carriera diplomatica sulle orme del padre, il conte Mathieu; visse in Egitto dal 1832 al 1837, divenendo console al Cairo e console generale ad Alessandria. Questo lungo soggiorno egiziano ispirerà il progetto del taglio dell'istmo di Suez, che si concretizzò oltre trent'anni dopo sulla base del progetto dell'ing. Negrelli. Per l'esperienza diplomatica maturata de Lesseps fu incaricato, come legato dell'allora Presidente della Repubblica francese Luigi Napoleone Bonaparte, di gestire la delicata questione della Repubblica romana. L'esito della vicenda fu condizionata dalla posizione ambigua della Francia che nel 1849, rotta la tregua pattuita da Mazzini con lo stesso Lesseps, all'insaputa di quest'ultimo diede il via all'offensiva delle truppe guidate dal generale Oudinot. Dopo la restaurazione dell'autorità pontificia Lesseps, sfiduciato e ferito nell'orgoglio, abbandonò di lì a poco la diplomazia e, sfruttando il suo eccezionale portafoglio di conoscenze, si lanciò nel sogno imprenditoriale positivista delle grandi opere. Organizzò imprese eccezionali tra le quali la proposta del tunnel della Manica e la costruzione del Canale di Suez e di quello di Panama.

Giuseppe Garibaldi, deputato e uomo di pace dopo l'Unità d'Italia, presentò un progetto di re-



Engraved for the Suez Canal by J. J. Cole, New York.

FERDINAND DE LESSEPS.
(PROJECTOR OF SUEZ CANAL)

Fig. 2 Ferdinand de Lesseps (1805-1894); fonte: [https://library.si.edu/-Ferdinand-de-Lesseps-\(1805-1894\)](https://library.si.edu/-Ferdinand-de-Lesseps-(1805-1894)); source: <https://library.si.edu/>

gimazione idraulica del Fiume Tevere dall'area urbana di Roma alla foce, dedicandosi in modo quasi ossessivo ma senza successo. Firmatari del progetto furono Luigi Amadei e Giuseppe Barilli (meglio noto con lo pseudonimo di Quirico Filopanti, professore di meccanica ed idraulica all'università di Bologna), già al fianco di Garibaldi nella difesa della Repubblica romana. Per una bizzarra coincidenza, alla battaglia del Gianicolo contro i Francesi prese parte anche un altro futuro ingegnere, Raffaele Canevari, autore del progetto antagonista per il tratto urbano del Tevere, appoggiato da Felice Giordano e poi prescelto nel 1872. C'era al Gianicolo anche il giovane patriota napoletano Carlo Pisacane che nel 1840, da ufficiale dell'esercito borbonico, era stato inviato a Gaeta come aiuto tecnico alla costruzione della ferrovia Napoli-Caserta, inaugurata nel 1843, una delle prime linee ferrate della penisola.

Infine va citata la presenza mancata sulle baricate romane di un personaggio, che fu vicino a

1 - «Gioia si chiama la forte molla/ che sta nella natura eterna./ Gioia, gioia aziona le ruote/ nel grande meccanismo del mondo./ Essa attrae fuori i fiori dalle gemme,/ gli astri dal firmamento,/ conduce le stelle nello spazio,/ che il cannocchiale dell'osservatore non vede.»

Garibaldi negli anni a seguire: il già menzionato Istvan Türr, patriota ungherese votato alle cause indipendentiste (fig. 1). Egli tentò invano di correre in sostegno alla difesa di Roma; alla guida della Legione ungherese si imbarcò da Savona su una nave da lui stesso acquistata, ma il blocco navale operato dalla marina francese su Civitavecchia lo costrinse ad abbandonare l'impresa. Come vedremo, Türr sarà protagonista dell'epopea dei canali, incrociando il suo percorso con quello del de Lesseps, prima a Costantinopoli nel 1856 (quando il francese era impegnato nell'impresa di Suez), e dopo nell'istmo di Panama e in quello di Corinto (PETE, 2019).

5. - IL MARMO DI CANDOGLIA E LA GRANDE VIA D'ACQUA PER LA VENERANDA FABBRICA DEL DUOMO DI MILANO

Il taglio dell'istmo di Suez è spesso ricordato come il più importante e antico canale artificiale del mondo, affermazione condivisibile se riferita ad altri famosi canali, ma il primato cronologico è certamente contestabile. Prima di avventurarsi tra il Mediterraneo orientale e il Mar Rosso è d'obbligo soffermarsi sulle vie d'acqua lombarde (fig. 3), già solcate da natanti in epoche più remote.

Nell'Italia medioevale, l'industriosa città-stato di Milano, aperta alla scienza e alle sue applicazioni, aveva iniziato a costruire canali già nel XII secolo, scavandone un primo per difendersi da Pavia, alleata del nemico Barbarossa. Seguì, nel 1269, lo scavo del Ticinello, un canale di 50 km derivato dal Ticino presso il paese di Tornavento, 24 Km a sud del Lago Maggiore, un'opera con finalità essenzialmente irrigue che raggiungeva Milano nella darsena di Porta Ticinese. Nominato Naviglio Grande, allargato, approfondito e reso navigabile, il canale divenne una via d'acqua importante dal 1387, quando Gian Galeazzo Visconti (1351-1402), signore di Milano, con atto del 24 ottobre aveva concesso in uso le cave di Candoglia alla Veneranda Fabbrica del Duomo di Milano per estrarre il marmo necessario per la nuova cattedrale, e ne aveva consentito il trasporto sul naviglio senza dazi e gabelle; per evitare malintesi, i barconi erano marcati AUF, "ad usum fabricae", origine del detto "a ufo".

I lavori per la costruzione del Duomo di Milano erano iniziati nel 1386 a cura del vescovo Antonio da Saluzzo, che prevedeva di usare il mattone rosso, tipico della città; Gian Galeazzo però, assunta la gestione della fabbrica, optò per il marmo, perché ne aveva il possesso e perché voleva

una cattedrale pari a quelle gotiche dell'Europa, adeguata al prestigio che ambiziosamente pretendeva per la sua Signoria. La cava di Candoglia, tuttora attiva (fig. 4), è situata sul ripido versante sinistro della Val d'Ossola, 400 m sopra il fiume Toce, immissario del Lago Maggiore. Non c'era una strada e i blocchi di marmo erano fatti scendere su una slitta (lizza) lungo un piano inclinato sino al fiume, dove erano caricati su zattere e barconi. Percorsi il Toce, il Lago Maggiore, il Ticino e il Naviglio Grande, il marmo arrivava a Milano, con una navigazione di circa 100 Km in totale. Il marmo di Candoglia deriva da calcari e calcari dolomitici di età ordoviciana, o più antica, con metamorfismo varisco di alto grado, e fornisce una pietra elastica e molto resistente, nelle varietà rosa, la più pregiata e riservata alla Fabbrica del Duomo, bianca e grigia. Il Duomo di Milano fu costruito in stile gotico sui ruderi delle chiese di Santa Maria Maggiore e di Santa Tecla: i lavori iniziarono con l'abside e le sue vetrate, proseguirono verso il transetto e le prime campate delle navate, lasciando sospeso il problema della volta (www.duomomilano.it). Alla fine del Quattrocen-



Fig. 3 - Mappa dell'idrovia Locarno-Milano (fonte: www.locarnomilano-venezia.ch).

- Map of the Locarno-Milano waterway (source: www.locarnomilano-venezia.ch)



Fig. 4 - Cava in galleria di marmo di Candoglia, Val d'Ossola.
- *Candoglia's marble tunnel quarry, Ossola Valley.*

to vi operarono i più grandi architetti ed artisti del tempo, tra cui Leonardo da Vinci; questi arrivò a Milano nel 1482, chiamato dal duca Ludovico II Sforza detto il Moro (1452-1508) che voleva circondarsi di “belli ingegni” e fare di Milano una capitale del Rinascimento. Leonardo aveva inviato al Duca una lettera in cui illustrava i suoi talenti, senza tema di confronti, e offriva i suoi servizi, non solo artistici, ma anche di architetto, ingegnere civile e militare e grande idraulico, capace di “*conducere aqua da uno loco ad un altro*”. L'impiego iniziò il 25 aprile 1483, quando Leonardo firmò un contratto per la realizzazione della “Vergine delle rocce” nella chiesa di San Francesco Grande (ora al Louvre). Consulente del Duca, si occupò dei navigli, in particolare delle chiuse e del collegamento navigabile tra il Naviglio Grande e la Martesana. Entrato nella cerchia di Ludovico il Moro, rimase a Milano sino al 1499, attratto da una città dinamica, aperta alla scienza e alle sue applicazioni, e vi tornò dal 1508 al 1513, al servizio di Luigi XII (1462-1515), re di Francia e Duca di Milano, partecipando alla realizzazione del tiburio del Duomo (1487-1489) e fornendo consulenze per la Certosa di Pavia.

Altri canali artificiali della Lombardia sono il già menzionato Naviglio Piccolo, o della Martesana (38 Km, 1460-1496), canale irriguo e navigabile che collega Milano al fiume Adda e al suo bacino, e il Naviglio Pavese che da Milano raggiunge il Ticino (33 Km con 12 chiuse, XVI secolo), pochi Km a monte della confluenza nel Po. Allo stato attuale, la rete fluviale e lacustre integrata dai Navigli milanesi potrebbe consentire una navigazione da Locarno a Milano e da Milano al Po e a Venezia, progetto in fase di studio per finalità

turistiche (www.lombardiabeniculturali.it).

6. - IL CANALE DI SUEZ

La necessità di unire Mar Mediterraneo e Mar Rosso sembra risalire all'Età del bronzo. Sono note testimonianze archeologiche di canalizzazioni effettuate dai sumeri, dai babilonesi e, con certezza, dagli egiziani. Il Nilo e il suo delta erano regolati da numerose opere idrauliche atte a regimare le acque e a mitigare il rischio idrogeologico durante le stagionali inondazioni del fiume sacro. Il Faraone Sesostri III (1878-762 a.C.) diede inizio alle prime opere di scavo, portate a termine da Dario I di Persia nel V sec a.C. (AUBERT, 2004).

All'imperatore Traiano si deve l'idea e la progettazione, nel II secolo d.C., dell'Amnis Traianus, opera di cui non si ha certezza documentata dell'effettiva realizzazione. E' tuttavia una notizia storica che in epoca araba ci fosse una via d'acqua chiamata “Canale dei principi della fede”, che non ebbe però vita facile e, dopo essere stato distrutto a più riprese, venne chiuso del tutto nel 755 dal califfo Al-Mansur (AUBERT, 2004).

Nei secoli successivi il ruolo degli italiani fu rilevante nella storia del canale. Nella prima parte del XVI secolo, dopo la scoperta del Nuovo Mondo e la diffusione della notizia del periplo dell'Africa da parte delle prime spedizioni portoghesi, fu la Serenissima Repubblica di Venezia, all'epoca egemone nei commerci con l'Oriente, a considerare l'ipotesi di un canale. Nel 1586 fu un “oriundo al contrario”, Uluç Ali, calabrese rapito dai turchi, convertito all'Islam e divenuto ammiraglio supremo della flotta ottomana, a tentare il ripristino dell'arcaico canale (BONO, 2006). Un primo studio fu eseguito dal matematico e idraulico veronese Anton Maria Lorgna (1735-1796), fondatore dell'Accademia delle Scienze detta dei XL (CURI, 2006), studio noto allo stesso ingegnere Luigi Negrelli che, come si dirà tra breve, fu progettista del primo canale moderno. Anche Napoleone Bonaparte aveva pensato di realizzare l'opera, ma fu presunto errore di calcolo ingegneristico, che nel 1803 riteneva il livello del mar Rosso superiore di circa 10 m a quello del Mediterraneo, a dissuadere dall'avvio dell'impresa. L'errore venne radicalmente confutato, nel 1820, dall'ingegnere bolognese Gaetano Ghedini che, per conto del sultano d'Egitto Mohammed Ali, interessato ai vantaggi economici e politici dell'opera, aveva promosso indagini per verificare la fattibilità del taglio dell'istmo (BONO, 2006).

Dopo la metà dell'Ottocento e con la nuova

rivoluzione industriale, la crescita e le aspirazioni della popolazione, il miglioramento delle condizioni di vita, lo sviluppo dell'economia, del commercio e delle relazioni sociali avevano richiesto e favorito il potenziamento della rete ferroviaria e delle linee di navigazione, rendendo impellente l'apertura di una via diretta tra il Mediterraneo, il Mar Rosso e il "Lontano Oriente" in alternativa al periplo dell'Africa, percorso dalla Valigia delle Indie e controllato dalle stazioni coloniali inglesi. È la storia di personaggi lungimiranti (di tecnici, imprenditori, faccendieri, e uomini politici), dell'impiego di gigantesche macchine che sostituivano migliaia di manovali per lo scavo di canali navigabili e dell'applicazione del motore a vapore al traffico marittimo grazie a piroscafi civili e militari sempre più grandi e sofisticati.

Come già accennato, il primo dei grandi canali transoceanici, quello di Suez, fu realizzato dal diplomatico francese Ferdinand de Lesseps (1805-1894) dopo la morte dell'ing. Luigi Ne-

grelli (1799-1858) che ne fu il vero e sfortunato progettista. A dispetto del nome decisamente italico, Negrelli (fig. 5) era un cittadino austriaco, nato a Fiera di Primiero, in Trentino, allora parte dell'impero austroungarico: aveva studiato a Padova e a Innsbruck ed era un fedele e apprezzato funzionario di Francesco Giuseppe; fu pioniere nella costruzione di strade, ponti e ferrovie in Austria, Cecoslovacchia, Italia e Svizzera. All'inizio degli anni quaranta, Negrelli aveva iniziato ad occuparsi dell'istmo di Suez, fondando nel 1846 la *Société d'Etudes du Canal de Suez*, sodalizio costituito da tre gruppi di tecnici - francese, inglese e italo-austriaco - con a capo rispettivamente gli ingegneri Paulin Talabot, Robert Stephenson e lo stesso Negrelli, incaricati di studiare il problema e proporre un progetto. I moti rivoluzionari del '48 impedirono la conclusione delle ricerche, ostacolate peraltro dalla politica di Palmerston, primo ministro inglese che, in alternativa, preferiva la ferrovia Alessandria-Cairo-Suez. I problemi erano numerosi: dal dubbio che Mediterraneo e Mar Rosso non fossero allo stesso livello al timore che le acque del canale fossero stagnanti e alle critiche sulle bocche di porto a Port-Said.

Alla metà degli anni cinquanta Sa'id Pascià (1822-1863), nuovo viceré d'Egitto, aveva istituito una commissione internazionale per esaminare i progetti esistenti e la scelta cadde su quello di Negrelli, unanimemente il migliore, l'unico che prevedesse il taglio dell'Istmo di Suez con un canale diretto, privo di chiuse agli imbocchi; fu anche adottato il progetto di Pietro Paleocapa per evitare l'insabbiamento del canale nei lunghi tratti di deserto.

Per l'esecuzione dei lavori venne istituita la *Compagnie universelle pour le percement de l'isthme de Suez et l'exploitation d'un canal entre les deux mers* e di cui Negrelli era destinato ad assumere la direzione, ma morì il 1° ottobre 1858, pochi giorni dopo l'insediamento. Appoggiato da Napoleone III, de Lesseps ebbe via libera per dirigere la Compagnia e raccogliere i finanziamenti per realizzare la grande impresa, il cui inizio è riferito in genere al 25 aprile 1859, con il primo colpo di badile effettuato da de Lesseps, in presenza della stampa. Il taglio dell'Istmo di Suez prevedeva lo scavo di 75 milioni di metri cubi di materiale sciolto, in prevalenza sabbioso, le cui scadenti caratteristiche geotecniche da un lato favorivano l'avanzamento, dall'altro determinavano l'instabilità delle sponde. I lavori comunque progredirono, superando imprevisti e difficoltà, quali la presenza di materiale litoide in alcuni tratti del fondale che impose il passaggio dal lavoro obbligatorio di 20.000 operai alla meccanizzazione dello scavo.



Fig. 5 - Il busto di Luigi Negrelli nella stazione ferroviaria di Trento.
- Luigi Negrelli's bust in Trento railway station.

La direzione dei lavori nel tratto roccioso fu svolta dall'ingegnere Edoardo Luigi Gioia, segretario generale della compagnia per il Canale di Suez (BONO, 2006). Oltre al canale, furono costruite a Port-Said due grandi dighe foranee, lunghe 1.600 e 2.500 m, con 25.000 blocchi artificiali, pesanti 20 tonnellate l'uno, deposti sul fondale a otto metri di profondità.

Sono fatti noti, su cui è superfluo soffermarsi, mentre può essere interessante ricordare che il taglio dell'istmo egiziano ebbe come cronista un altro 'barricadero': il valtellinese Luigi Torelli. Nato a Tirano, educato a Vienna, giurista di formazione all'Università di Pavia, nel 1848 Torelli fu tra i protagonisti delle Cinque Giornate di Milano e, al ritorno degli austriaci, riparò a Torino dove svolse una apprezzata carriera al servizio del Regno di Sardegna e poi d'Italia: ministro in vari governi, senatore e prefetto di Palermo e Venezia. Nominato membro dell'Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti presentò ai soci e pubblicò accurati resoconti, detti «Paralleli», sullo stato di avanzamento delle due grandi opere in via di realizzazione nella seconda metà dell'Ottocento: il Canale di Suez e il traforo del Fréjus, che velocizzava il percorso della Valigia delle Indie lungo la nuova ferrovia Parigi-Torino-Brindisi e il porto delle navi per Suez, opera strategica per il progresso europeo e italiano. Una vita sulle barricate quella di Torelli, dunque, materiali e intellettuali: «quando non occorre la carabina, adopero la penna» pare fosse solito dire (DAL PIAZ & URBANI, 2021).

Secondo i resoconti di Torelli, le cartelle cliniche archiviate nella Biblioteca di Alessandria documentavano che le malattie più comuni tra i lavoratori impiegati nello scavo del canale di Suez erano affezioni polmonari, diarrea estrema, epatite, vaiolo e tubercolosi. Nell'estate del 1865 scoppiò anche il colera ed era così mortale da rendere assai difficile per la Compagnia reclutare gli uomini necessari per trasferire le salme da seppellire nel deserto. Oltre a ciò, i lavoratori furono esposti a una sostanza liquida, di impiego ignoto, che conteneva fosforo e che produsse strane malattie, letali per migliaia di persone.

Il taglio del Canale di Suez era iniziato dopo il traforo del Frejus, ma grazie a condizioni di scavo molto più facili terminò due anni prima della galleria transalpina. L'inaugurazione del Canale di Suez avvenne a partire dal 16 novembre 1869, celebrata dalla "festa delle feste", descritta da Torelli alla seduta dell'Istituto Veneto del 26 febbraio 1871, festa a cui parteciparono l'imperatrice Eugenia de Montijo, moglie di Napoleone III, il kaiser Francesco Giuseppe, principi, nobili e notabili con i loro vascelli, la flotta egiziana e

numerosi vapori mercantili. Mancavano solo gli italiani.

L'inaugurazione del canale fu rallegrata dalle note di un inno scritto da Johann Strauss II (1825-1899) dal titolo *Ägyptischer Marsch* op. 335 (Marcia Egizia). Il giovane Strauss, contrariamente al padre che aveva composto la marcia di Radetzky vittorioso nella seconda guerra d'Indipendenza contro gli italiani, era un altro "barricadero" che aveva applaudito il '48 componendo la *Revolutions-Marsch* (Marcia della Rivoluzione), op. 54, *Burschen-Lieder* (Canti dei ragazzi) op. 55, *Studenten Marsch* (Marcia degli studenti). Questa presenza sarebbe stata sicuramente apprezzata dall'ingegner Pietro Paleocapa che, nel 1848, partecipò al governo provvisorio di Venezia, liberata dall'Impero austroungarico, e forse di meno dall'ingegner Negrelli che, dimenticando i trascorsi giovanili, era un fedelissimo della Corona imperiale asburgica (fig 6).

7. - I CANALI UNGHERESI

La pianura ungherese meridionale tra i fiumi Danubio e Tisza era nota tra il XVII e il XVIII secolo quale ambiente paludoso ostile, scarsamente popolato e difficilmente percorribile.

La prima opera idraulica e di bonifica è rappresentata dal canale Danubio- Tisza- Danubio



Fig. 6 - Dettaglio del Monumento in Piazza Dante a Trento, realizzato durante il ventennio fascista per celebrare una "italianizzazione" del suddito Negrelli quale realizzatore del canale di Suez.

- Detail of the monument in Dante Square (Trento), built in the fascist period, celebrating the "italianization" of the asburgic subject Negrelli as maker of the Suez canal.

(altrimenti noto come Canale di Ferenc) che collega i due fiumi suddetti. Fu l'Imperatore Francesco I d'Austria, da cui l'opera prende il nome, ad approvarne la realizzazione nel 1792, da poco incoronato all'età di 24 anni. Lungo 118 km, il canale fu inaugurato nel 1801, sfruttando il reticolo idrografico naturale nel tratto orientale e scavando un tracciato artificiale in quello occidentale. Nel 1855 fu realizzata la chiusa "Franz Josef" a Bezdan per contrastare il progressivo interrimento causato dal trasporto solido (LÓCZY *et alii*, 2014). Il canale a metà dell'Ottocento aveva già perso molta della sua funzionalità, sia per difetti di progettazione, sia per mancanza di manutenzione.

Fu un eclettico personaggio a dare nuovo impulso alle opere idrauliche in Ungheria nella seconda metà dell'Ottocento, il già citato István Türr (1825-1908), protagonista del Risorgimento italiano e di altre insurrezioni nell'Europa del XIX secolo (BIANCIARDI, 1960; PETE, 2019). Nato in Ungheria meridionale, nella città di Baja, appena diciassettenne Türr si arruolò come volontario nell'esercito Asburgico e fu destinato ai reparti di occupazione dislocati nel Lombardo - Veneto. Nel 1848, al deflagrare dei moti rivoluzionari in tutta Europa, egli era di stanza a Milano, da poco nominato sottotenente. Nel gennaio 1849, assegnato ad un avamposto sulla riva lombarda del fiume Ticino, disertò assieme a molti altri soldati magiari per aggregarsi all'esercito piemontese. Fu istituito un *Corpo speciale di truppe ungheresi*, comandato da Türr, ma il reparto ebbe vita breve, venendo smantellato dopo la vittoria austriaca nella battaglia di Novara e il conseguente armistizio tra il maresciallo Radetzky e il governo sabaudo. Nel 1849 Türr aveva intenzione di correre a Roma, per la difesa della Repubblica, ma non riuscì a raggiungerla; un suo busto in pietra fu egualmente collocato nel 1999 al Gianicolo, teatro della difesa di Roma, assieme a quelli di altri combattenti per l'indipendenza italiana (fig. 1). Negli anni successivi divenne uno degli ufficiali più fidati di Garibaldi, militando nei Cacciatori delle Alpi e partecipando nel 1860 alla spedizione dei Mille in Sicilia (fig. 7), assieme al connazionale Layos Tüköry, precocemente caduto nella presa di Palermo ed ivi sepolto nella chiesa di San Domenico (a lui è intitolato Corso Tüköry, una delle principali arterie del capoluogo siculo, la strada dove era ubicato, per un'altra sottile connessione tra storia e geologia, il Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università). In seguito Türr divenne generale di divisione dell'Esercito meridionale e infine del Regio Esercito Piemontese. A lui sono dedicate, con il nome italianizzato Stefano,



Fig. 7 - Gerolamo Induno (1860) *L'imbarco a Genova del generale Giuseppe Garibaldi* - olio su tela, Museo del Risorgimento, Milano. Sulla scialuppa assieme a Garibaldi sono ritratti Türr e Giuseppe Sirtori. (Copyright Comune di Milano - all rights reserved - Milano, Palazzo Moriggia | Museo del Risorgimento).

- Gerolamo Induno (1860) *L'imbarco a Genova del generale Giuseppe Garibaldi* - oil on canvas, Museo del Risorgimento, Milan. On the boat, Türr and Giuseppe Sirtori are portrayed with Garibaldi (Copyright Comune di Milano - all rights reserved - Milano, Palazzo Moriggia | Museo del Risorgimento).

strade in diverse città (Genova, Cagliari, Firenze, Padova, Palermo, Torino, Venezia).

Sullo scenario internazionale István Türr divenne celebre anche come promotore della costruzione di canali, a cui si applicò con passione dal 1867, cessati gli impegni militari e diplomatici. Pur non avendo competenze tecniche, egli era appassionato dei problemi idraulici, a cui dedicò scritti teorici e pratici. L'attenzione per le vie d'acqua artificiali fu probabilmente maturata negli anni quaranta durante le campagne militari in Italia settentrionale, cogliendone l'importanza strategica per la navigazione, l'irrigazione e la bonifica (PETE, 2019). Portando ad esempio canali francesi e italiani propugnò l'avvio di opere idrauliche in Ungheria, creando collegamenti tra i fiumi principali, ritenuti interventi prioritari per lo sviluppo economico e sociale, in parallelo alle reti viarie e ferroviarie.

Tra il 1868 e il 1869 Türr consultò esperti ingegneri, dapprima il francese Sayn, poi il piemontese Vittore Caramora e l'olandese John Lawson, per l'ampliamento del Canale Ferenc, il cui progetto prevedeva un nuovo tratto navigabile tra Baja e Bezdan (PETE, 2019). Egli si spese personalmente con scritti e conferenze per creare un movimento d'opinione favorevole in patria e a livello internazionale e, nel 1870, il Parlamento ungherese approvò una legge che dava via libera all'opera, in concessione all'imprenditoria privata. La società per azioni, istituita dallo stesso Türr, contava su una società inglese come principale azionista, mentre le imprese costruttrici erano italiane, con manovalanze locali (PETE, 2019). Nel 1872 fu

inaugurato il nuovo canale Franz Josef (68 km), l'anno successivo fu completata la ristrutturazione del Canale Ferenc, con definitiva messa in funzione del sistema nel 1875: canale Baja-Bezdan; canale Franz Josef; Chiusa Franz Josef; Chiusa Deak Ferenc; Chiusa Sebesfoki (fig. 8). Fu ancora Istvan Türr a curarsi della manutenzione dopo gli eventi calamitosi degli anni successivi, come ricorda una lapide posta presso la chiusa di Bezdan. Nel 1900 fu inaugurata la chiusa István Türr, opera all'avanguardia per l'epoca e alla cui realizzazione partecipò lui stesso (LÓCZY *et alii*, 2014). Negli ambiziosi progetti idraulici in patria egli si affidò per i problemi tecnici a Béla Gerster (Kassa 1850- Budapest 1923), ingegnere civile laureato alla *Technische Universität Wien*.

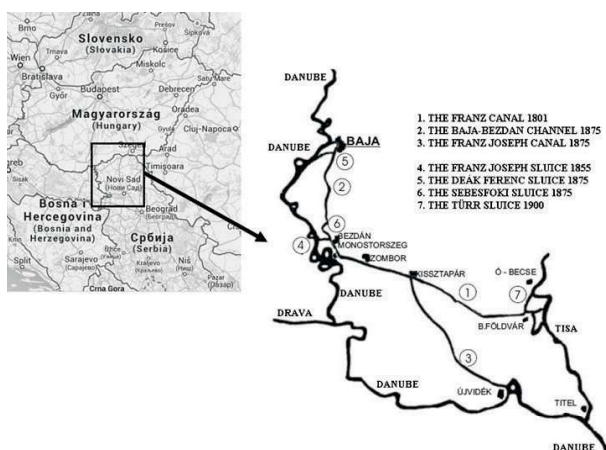


Fig. 8 - Mappa storica del Canale Ferenc in Ungheria (da LÓCZY *et alii*, 2014).
-Historical map of the Ferenc Canal in Hungary (after Lóczy *et alii*, 2014).

8. - IL CANALE DI CORINTO

Ad epoca più remota risalgono i prodromi della storia del canale di Corinto (fig. 9), costruito tra il 1881 e il 1893, parallelamente al traforo ferroviario del San Gottardo. I prodromi si collocano tra il VII e il VI secolo a.C., al tempo del Tiranno Periandro, noto per l'aforisma “μελέτη τὸ πᾶν», (“abbi cura del tutto”, che potrebbe rappresentare lo spirito della progettazione moderna). Periandro ebbe l'intuizione che, per potenziare il commercio, le rotte navali avrebbero dovuto tagliare l'istmo ed evitare di compiere il lungo periplo del Peloponneso. L'Oracolo di Delfi, all'uopo interpellato, rispose: “*Né costruire, né scavare l'istmo. Perché Zeus ha costruito le isole dove pensava fosse giusto*”. Periandro era consapevole dei limiti tecnici del tempo, ben rappresentati nel pensiero di Pla-

tone: “*per fare qualcosa (τέχνη) si deve presupporre di poterlo fare (δύναμις), ma questa possibilità si dà solo se si ha scienza (ἐπιστήμη) della cosa che si intende fare*” (GALIMBERTI, 1999). Invece di affrontare la difficile impresa del taglio dell'istmo, Periandro realizzò il Diolkos (Διόλκος), una rampa che collegava il Golfo di Corinto a quello Saronico, permettendo alle navi il passaggio via terra. I benefici e l'incremento dei commerci furono tali che, grazie agli introiti del pedaggio, venne abolito il pagamento delle tasse da parte dei cittadini di Corinto. Un primo tentativo di scavare un canale fu intrapreso dall'Imperatore Nerone nel 67 a.C.: lo scavo raggiunse oltre 3 km di lunghezza e 40 m di profondità, integrato da 26 pozzi esplorativi, ma l'impresa fu abbandonata l'anno successivo, dopo la morte di Nerone. A tentarne infruttuosamente una ripresa furono i Veneziani nel XVII secolo, desistendo però presto nell'intento.

La questione di collegare i due golfi tornò alla ribalta nel 1827, dopo l'indipendenza greca. Il primo presidente della Repubblica Giovanni Antonio Capodistria nel 1830 incaricò della progettazione del canale l'ingegnere e geologo francese Pierre Théodore Virlet d'Aoust (1800-1894), ma la mancanza di fondi fece fallire anche questa iniziativa. Fu l'inaugurazione del Canale di Suez nel 1869 a riaccendere l'interesse per il canale di Corinto nell'opinione pubblica e nella classe politica ellenica e, nello stesso anno, il parlamento greco promulgò una legge che ne consentiva la concessione ad imprese private.

Fu necessaria la comparsa sulla scena dell'intraprendente István Türr per dare la svolta definitiva alla vicenda. Egli aveva compiuto sopralluoghi assieme a de Lesseps già nel 1857, ma fu solo nel 1881 che egli presentò istanza di concessione

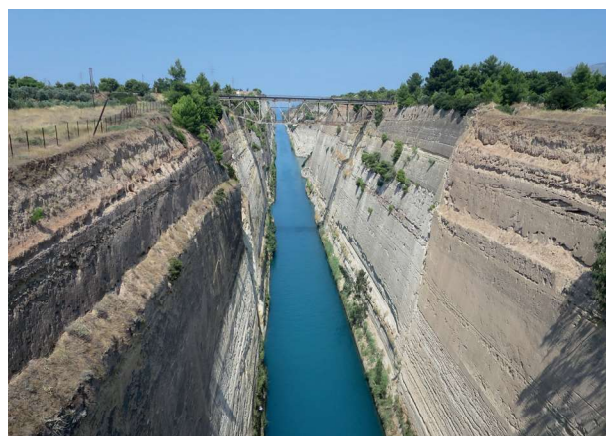


Fig. 9 - Vista del canale di Corinto dal ponte della Palea EO Athinon Korinthou.
- View of the Corinth canal from the bridge of the old national road Athinon-Korinthou.

per la costruzione e gestione del canale di Corinto. Anche in questo caso, come accaduto per i canali ungheresi, tale procedura di “*project financing ante litteram*” ebbe successo e nello stesso anno la concessione fu rilasciata per 99 anni a Türr, che costituì la *Société Internationale du Canal maritime de Corinthe*, sostenuta finanziariamente da una banca parigina (PETE, 2019).

Dopo aver consultato de Lesseps, Türr scelse come progettista il fidato connazionale Béla Gerster che, aveva già partecipato con entrambi alla spedizione esplorativa del 1876 per il Canale di Panama e curato i progetti dei canali ungheresi. Lo scavo del canale di Corinto ebbe inizio nel 1882, ma come a Panama vi furono molte “soprese geologiche” che crearono inconvenienti e rallentamenti dei lavori (PETE, 2019). Anche in questo caso la mancanza di una accurata definizione del modello geologico, peraltro in una zona dal complesso contesto geodinamico, compromise l’attuazione del progetto e portò al fallimento della società nel 1890, incapace di far fronte alla grande lievitazione dei costi. La tenacia di Türr lo portò a superare anche questa avversità: costituita una nuova società finanziata dal governo ellenico, i lavori furono affidati a imprese locali (fig. 10). Nell’estate del 1893 il canale fu terminato e inaugurato il 6 agosto dai sovrani (fig. 11). Una stele in granito (fig. 12) commemora il contributo dei due magiari Türr e Gerster nei pressi del ponte sul canale della vecchia strada per Atene.

La narrazione ci porta ad aprire, sulle sponde del canale di Corinto, una digressione proiettata in avanti nel tempo. Durante la Seconda Guerra Mondiale, quando la via d’acqua aveva un ruolo strategico per i collegamenti navali tra lo Ionio e l’Egeo, la storia e la geologia incrociano ancora i loro percorsi sull’istmo del Peloponneso. È la storia di Vittorio Vialli (1914-1983; fig. 13), un geologo e paleontologo trentino, nato a Cles (come Giorgio Dal Piaz), laureato in Scienze naturali a Pavia nel 1937 e, all’inizio del conflitto, curatore del Museo di Storia naturale di Milano. Arruolato come tenente di fanteria, Vialli fu dapprima destinato in Albania e poi in Grecia, di stanza a Isthmia, e grazie alle sue competenze fu incaricato di monitorare la stabilità delle sponde del canale, anche mediante rilievi fotografici (ARGENTIERI, 2020; VIALLI, 2020). Fenomeni franosi ad evoluzione rapida, quali crolli e ribaltamenti, possono rappresentare un fattore di pericolosità rilevante, in ragione di fattori predisponenti quali la ripidità dei tagli artificiali, le scadenti caratteristiche meccaniche dei litotipi e un significativo grado di fratturazione, peraltro in un’area sismicamente attiva. Dopo l’armistizio dell’8 Settem-

bre 1943, gli alleati tedeschi divennero nemici, facendo prigionieri i soldati italiani sui vari fronti di



Fig. 10 - Konstantinos Volanakis *Attraverso l’apertura dell’istmo di Corinto*. Olio su tela, Collezione Fondazione E. Koutlidis.
- Konstantinos Volanakis *Crossing the Isthmus of Corinth*. Oil on canvas, E. Koutlidis Foundation Collection.

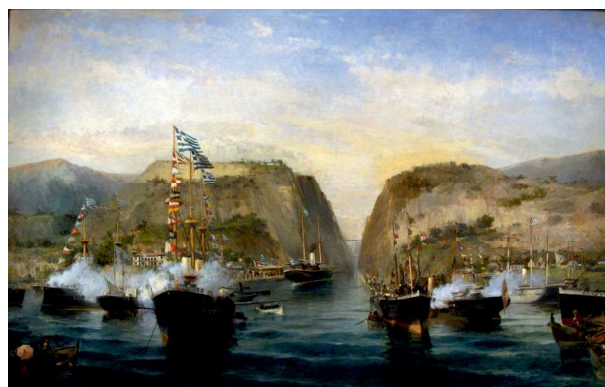


Fig. 11 - Konstantinos Volanakis (1893) *L’inaugurazione del canale di Corinto*. Olio su tela.
- Konstantinos Volanakis (1893) *The inauguration of the Corinth canal*. Oil on canvas, Alpha Bank Collection.

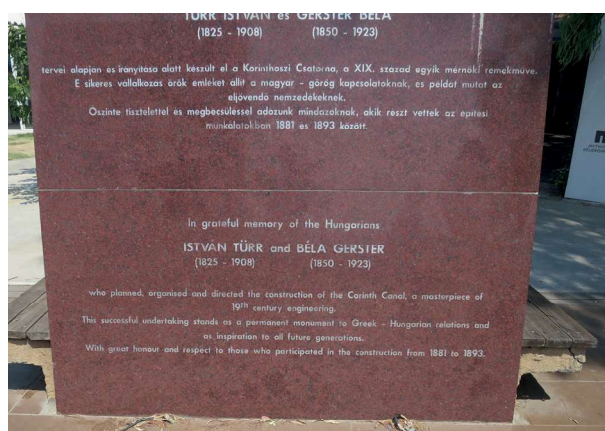


Fig. 12 - Dettaglio della stele commemorativa del canale di Corinto, presso il ponte della Palea EO Athinon Korinthou.
- Detail of the commemorative stele of the Corinth canal, located close to the old national road Athinon- Korinthou.

guerra. Vialli e i suoi commilitoni furono deportati in Polonia su un convoglio ferroviario di vagoni bestiame, con un viaggio terribile durato un mese attraverso l'Europa orientale. Con coraggio spregiudicato, egli conservò la sua macchina fotografica Zeiss Ikonta, celandola nelle mutande. Con questo strumento (in seguito altrettanto avventurosamente sostituito da una Voigtländer) fu possibile per Vialli immortalare in un servizio fotografico la storia della prigionia negli Stalag. Questa testimonianza, del tutto unica, ha registrato per immagini circa due anni di permanenza nei campi di Polonia e Bassa Sassonia dei soldati italiani che rifiutarono di aderire alla Repubblica Sociale e prendere parte attiva alla guerra civile. Le preziose pellicole, custodite a rischio della vita durante la prigionia, furono sviluppate dopo il suo rientro a casa

I circa 700.000 prigionieri (i cosiddetti IMI- *Italienische MilitärInternierte*), non vedendosi riconosciuto lo status di prigionieri di guerra, soffrirono privazioni e durissime condizioni di reclusione, fino alla liberazione da parte delle truppe alleate nella primavera del 1945. Nonostante tutto, Vialli sopravvisse alla drammatica esperienza e fece ritorno in patria nell'estate del 1945. Dopo una lunga degenza la sua carriera e la sua vita ripresero il loro corso; nel 1961 divenne professore di paleontologia all'Università di Bologna, assumen-

do anche la direzione del Museo geologico "Giovanni Capellini". Solo nel 1975, trent'anni dopo la fine della guerra, Vialli pubblicò con il supporto dei familiari un suo libro di memorie per immagini, recentemente riedito in una versione postuma (VIALLI, 2020). Tra la moltitudine di sorgenti che alimentarono questa battaglia silente, combattuta e vinta dall'esercito disarmato dei prigionieri contro i loro oppressori, trova così spazio in questa storia di vie d'acqua anche il ricordo dell'IMI n. 6168 Vittorio Vialli, la cui personale resistenza prese avvio sulle sponde del Canale di Corinto.

9. - IL CANALE DI PANAMA

La realizzazione del canale di Panama è una delle più grandi imprese tecniche del XX secolo. Chi realizzò quel progetto era consapevole che stava affrontando la costruzione della più grande diga, del più grande lago artificiale, delle chiuse più alte e dello scavo più profondo fino ad allora mai realizzati. La sua realizzazione è stata un esempio di determinazione nel superare ostacoli enormi di natura geologica, climatica, operativa, politica, gestionale, costato un drammatico numero di vite umane, circa 30.000 le vittime, soprattutto a causa delle malattie tropicali (McCULLOUGH, 1977). Il contributo degli italiani in questo progetto di superamento delle frontiere è stato determinante nella promozione, tracciamento, progettazione e realizzazione dell'opera sia nella prima fase gestita dai francesi, sia nel raddoppio del canale la cui inaugurazione è avvenuta nel 2016.

9.1. - LE ORIGINI E I PROGETTI EMBRIONALI

Cristoforo Colombo lambì le coste caraibiche dell'istmo di Panama nel 1502, durante il suo IV viaggio. Il primo a ventilare la necessità di un canale fu invece Vasco Núñez de Balboa nel 1513, il primo europeo che raggiunse a piedi quel "grande Mare" del quale le popolazioni indigene raccontavano la presenza. L'oceano Pacifico fu raggiunto in nave nel 1520 da Ferdinando Magellano compiendo migliaia di miglia fino a attraversare lo stretto all'estremo lembo del Sud America, che dallo stesso navigatore portoghese avrebbe poi preso il nome (GIOIA, 1879).

La Ciudad di Panama, dalla quale i Conquistadores partirono per occupare il Perù, fu fondata nel 1519. I collegamenti tra i due oceani avvenivano via terra attraverso il Camino de las Cruces, percorso molto arduo a causa della morfologia e del clima tropicale e malsano. Nel 1534 l'imperatore Carlo V ordinò di studiare la possibilità di



Fig. 13 - Vittorio Vialli (1914-1983) durante la prigionia.
- Vittorio Vialli (1914-1983) during the captivity.

costruire un canale. Fu sotto il regno di Filippo II, successore di Carlo V, che emerse il primo contributo italiano sulla questione; erano all'epoca già note le eccezionali opere idrauliche e di bonifica della Laguna Veneta e del Brenta operate nel XVI secolo da Cristoforo Sabbadino (BRUNI & MAZZANTI, 2018). L'ingegnere romagnolo Battista Antonelli (1543-1616) ricevette l'incarico di migliorare il sistema difensivo dell'istmo di Panama contro la pirateria; dopo aver esaminato le caratteristiche del territorio propose e realizzò un sistema di difesa, potenziando le vie di terra, ma affermò, sulla base dei rilievi geografici, che era impossibile realizzare un canale (GIOIA, 1879).

Nel 1838 il governo della República de la Nueva Granada (l'attuale Colombia), che comprendeva anche il territorio di Panama, volle promuovere il taglio dell'Istmo, senza avviare però azioni concrete. Presi i contatti con la Francia, che disponeva delle migliori eccellenze in campo ingegneristico dell'epoca, fu dato l'incarico di elaborare un progetto all'ingegnere capo del *Corps des mines* Felice Napoleon Garella (di origini lucchesi). Questi, tornato in Francia nel 1844, lo presentò pubblicamente, senza ottenere finanziamenti; il progetto individuava le linee guida per lo sviluppo dell'opera: prima della costruzione del canale si doveva realizzare una ferrovia tra le sponde degli oceani; il canale si sarebbe dovuto costruire con il sistema delle chiuse; l'impegno economico, date le difficoltà tecniche, era tale che a sostenere le spese non poteva essere solo una compagnia privata (GIOIA, 1879).

Una via d'acqua tra i Caraibi e il Pacifico rientrava nelle necessità strategiche degli Stati Uniti; la famosa corsa all'oro californiana iniziò nel 1849 e per raggiungere quei luoghi si doveva fare il periplo delle Americhe o attraversare il selvaggio West. Sull'idea di Garella, nell'agosto del 1850 iniziarono i lavori della Panama Railway, prima ferrovia tra due oceani, che compì il viaggio inaugurale nel 1855 (la First Transcontinental Railroad fu completata solo nel 1869, collegando Omaha in Nebraska con Sacramento in California).

9.2. - I PRIMI TENTATIVI CONCRETI (1875-1889)

La questione della realizzazione del canale tornò alla ribalta nel XIX secolo, un periodo di grande fermento politico coincidente con la seconda rivoluzione industriale basata sulle nuove fonti energetiche e sulle innovazioni tecnologiche connesse. Evento di svolta per la questione di Panama fu il *Congrès international de géographie* di Parigi del 1875, in cui si tenne un ampio dibattito scientifico e tecnico sulle possibilità di collega-

mento tra gli oceani, peraltro autorevolmente sostenuta anche da Alexander von Humboldt in un suo scritto del 1864 (PETE, 2019). Fu ancora una volta l'onnipresente Stefano Türr a dare impulso alla nuova impresa in centroamerica, sull'onda del successo del canale di Suez.

Venne costituita la *Société Civile internationale du Canal interocéanique de Darién*, che prese nome dalla regione al confine tra le attuali Panama e Colombia in cui, all'epoca, si pensava di poter realizzare l'opera. Ci si orientò, come per la maggior parte delle grandi opere dell'epoca, sulla ricerca dell'apporto di capitali privati; vani furono invece i tentativi di ottenere sostegni finanziari dagli stati sovrani, in primis Francia, Italia e Stati Uniti. La società fu promossa e presieduta dallo stesso Türr, che negli stessi anni si stava attivando, come detto nel paragrafo precedente, per la progettazione e la realizzazione del Canale di Corinto (PETE, 2019). Della compagnia faceva parte suo cognato, il sottotenente della marina francese Lucien Napoléon Bonaparte Wyse (1845-1909), il cui nonno Luciano Bonaparte era fratello minore dell'Imperatore Napoleone I. La sorella Adeline aveva sposato Stefano Türr nel 1861; testimone di nozze fu il generale Gaetano Sacchi, sodale di Garibaldi sin dalle battaglie d'indipendenza sudamericane.

Ottenuta nel 1876 la concessione statale dalla Colombia, della durata di 99 anni, fu organizzata dalla Società una spedizione internazionale finalizzata al rilievo topografico del settore di progetto, con a capo il summenzionato Bonaparte Wyse e Béla Gerster e composta da ufficiali di marina, geodeti, ingegneri, medici e geologi. L'impresa, di cui fece il resoconto il geodeta francese Armand Reclus, fu funestata da molte avversità ambientali e sanitarie; tre furono le vittime: Oliviero Bixio, nipote del garibaldino Nino e ufficiale d'ordinanza del Re d'Italia, l'anziano geologo inglese Brooks e l'ingegnere Guido Musso (RECLUS, 1881; WYSE, 1886). In esito agli estesi rilievi, che inclusero anche perforazioni geognostiche spinte sino a 20 m di profondità, Gerster redasse una relazione che, analizzando vari possibili tracciati, optava per un canale al livello del mare, ritenuto più idoneo rispetto ai sistemi a chiuse e dighe, troppo soggetti a rischio inondazione per le intense e concentrate precipitazioni, tipiche del contesto climatico locale. Per queste ragioni Fernand de Lesseps presentò nel novembre 1877 a Parigi all'Académie des Sciences il progetto del sottotenente Bonaparte Wyse, che contemplava anche un tunnel lungo circa 14 Km (PETE, 2019). Contemporaneamente parti una seconda spedizione guidata da Wyse e Reclus che, oltre alle ricognizioni, trattò anche

il perfezionamento del contratto di concessione con le autorità colombiane, alla cui firma provvide lo stesso Wyse nel marzo del 1878 a Bogotá (PETE, 2019).

Dopo tre anni di studio vennero presentate nel 1879 a Parigi, al *Congrès International d'études du Canal Interoceanique* della *Société de géographie commerciale*, quattordici possibili tracciati di canali in America centrale, tra i quali scegliere quello più idoneo e dare avvio alla raccolta dei fondi. Il resoconto dettagliato è riportato nel Bollettino della Società Geografica Italiana, nella quale è contenuto lo stralcio della cartografia e un'interessantissima sezione geologica la quale dimostrava quanto fossero avanzati e importanti gli aspetti geologici; nel resoconto è riportata un'analisi chimica delle rocce fornita da Felice Giordano (RECLUS, 1881). Il progetto prescelto, votato a maggioranza, fu quello di Bonaparte Wyse, tra Panama e Colón, che prevalse all'ultimo su quello del Nicaragua. Si prevedeva la realizzazione del canale a livello oceanico, e non a chiuse come proposto dal Garella (che comportava una serie di problemi tra i quali la gestione delle maree pacifiche fino a 7 m, le precipitazioni tropicali e la realizzazione di una trincea molto più profonda di dimensioni, impensabile per le tecnologie di scavo dei tempi). Fondamentali per la scelta furono il sostegno convinto di de Lesseps e l'autorevolezza di Türr, presente al convegno; subito dopo un sindacato costituito da de Lesseps acquisì per dieci milioni di franchi la concessione dalla società presieduta dall'eclettico ungherese, il quale utilizzò il notevole profitto per finanziare la parallela impresa Corinto di cui si è già parlato.

Appositamente costituita, la *Compagnie Universelle du Canal Interoceanique* diede avvio ai lavori, che incontrarono però difficoltà tecniche elevatissime, evidenziando l'inadeguatezza delle indagini propedeutiche alla progettazione, come testimoniato da numerosi fenomeni franosi durante l'attraversamento della cordillera. A questo si aggiungevano tempeste tropicali e devastanti epidemie (malaria, febbre gialla, febbre tifoide, vaiolo, polmonite, dissenteria, beriberi), intossicazioni alimentari, morsi di serpente e colpi di sole, che causarono una straordinaria mortalità tra gli addetti ai lavori: si contarono circa 22.000 vittime (<https://armyengineer.com/>). I ritardi e l'aumento dei costi richiesero la ricerca di nuovi fondi e la risoluzione di problemi finanziari, parzialmente ovviati tramite sottoscrizioni tra piccoli risparmiatori. Sulla base dei rapporti tecnici negativi il parlamento francese rifiutò ulteriori emissioni di denaro. Nel gennaio 1882 si iniziò la parte più delicata del progetto: la Gaillard Cut. Il 7 settem-

bre, nei pressi di Colón (McCULLOUGH, 1977), un fortissimo terremoto generò una frana colossale che causò problemi alla ferrovia, che era stata acquistata, e agli scavi in corso di esecuzione. Fu chiamato a dirigere i lavori un giovane e talentuoso ingegnere francese, Jules Isidou Dingier (McCULLOUGH, 1977; ROGERS, 2014), in procinto di diventare direttore del *Corps des ingénieurs des ponts et chaussées*. Dingier rimase al cantiere tra il 1883 e il 1885 e da un punto di vista geologico, sempre sulla base di prove empiriche, riscontrò che il profilo di scavo 1:10, troppo ripido, avrebbe causato un'eccessiva instabilità. Non aveva nessun supporto sperimentale, la geotecnica sarebbe nata circa 40 anni dopo, ma si rese conto con senso pratico che i terreni avevano caratteristiche molto scadenti. Ridusse l'angolo, aumentando però il volume totale dello scavo, e quindi i costi e i tempi di realizzazione dell'opera.

La totalmente inadeguata gestione dei lavori da parte della compagnia e le difficoltà tecniche causate dalle continue frane e dalle epidemie che decimavano i lavoratori continuavano a rendere difficoltoso l'avanzamento dei lavori. L'intera famiglia di Dingier (moglie, figlia, figlio e cognato), che lo aveva raggiunto nel 1883, morì di febbre gialla.

Di fronte ad alcuni problemi, come il taglio della Culebra (altezza 87 metri), de Lesseps fece appello al più grande ingegnere dell'epoca, Gustave Eiffel, che accettò di rivedere il progetto imponendo la riduzione dello scavo e la realizzazione delle chiuse. Per sbloccare i fondi pubblici iniziò un'azione di lobbying, con palesi fenomeni di corruzione di giornalisti e ministri per promuovere e ottenere una legge speciale che gli permettesse l'emissione di un prestito, cosa che accadde nel 1888 (ROGERS, 2014). In questa fase parteciparono allo studio geologico due importanti scienziati francesi dell'epoca: Marcel Alexandre Bertrand, docente presso l'*École Nationale Supérieure des Mines* e uno dei padri della tettonica moderna (DURAND DELGA, 2007) e Philippe Zurcher, ingegnere capo del *Corps des ingénieurs des ponts et chaussées*. I due produssero uno studio geologico dell'istmo (BERTRAND & ZURCHER, 1899).

L'impresa francese si arrestò con il celeberrimo scandalo di Panama, che causò il fallimento della società con il quale circa 85 mila piccoli risparmiatori persero tutti i loro averi.

9.3. - IL XX SECOLO: ARRIVANO GLI AMERICANI

Nel 1894 fu fondata la *Nouvelle Compagnie du Panama* che rilevò i diritti del canale, poi ceduti

agli Stati Uniti per 40 milioni di dollari. Il governo americano intraprese una serie di negoziati con quello colombiano per subentrare a pieno titolo alla compagnia francese, ratificati nel 1903 con un trattato che prevedeva la concessione di parte dell'istmo alla potenza nordamericana per cento anni in cambio di dieci milioni di dollari immediati, più altri duecentocinquantamila dollari ogni anno (BRUNI & MAZZANTI, 2018). Il governo americano procedette nei lavori seguendo le direttive che Garella aveva indicato 50 anni prima: i lavori dovevano essere gestiti da un'organizzazione solida e statale. L'incarico dei lavori fu assegnato dal presidente Theodore Roosevelt all'*Army Corps of Engineers officers* (ROGERS, 2014). Il primo direttore dei lavori fu John Findley Wallace, che prestò servizio prima presso l'*Army Corps of Engineers* e dopo come ingegnere nella costruzione delle ferrovie.

La prima operazione che fece il governo americano fu quello di affrontare la principale causa del fallimento dei francesi: le malattie endemiche tropicali che decimavano le maestranze. Fu dato l'incarico pertanto al generale William Crawford Gorgas (1854 -1920), un pioniere nella lotta alle malattie tropicali, il quale, già nel 1904, fece eseguire una rigorosa campagna di disinfezione dei vettori patogeni della febbre gialla e della malaria, a cominciare dal ridurre gli habitat paludosi a loro favorevoli tramite bonifiche idrauliche.

Nel 1905, improvvisamente, Wallace rassegnò le dimissioni mettendo in serio dubbio la conclusione dei lavori. Roosevelt diede allora incarico a John Frank Stevens (1853-1943), un ingegnere autodidatta ma con una esperienza eccezionale maturata nella costruzione delle ferrovie nel West. Egli prese atto che il problema principale del canale, da un punto di vista tecnico, era lo scavo e pertanto convinse il presidente americano a cambiare il progetto e realizzare un sistema a chiuse, invece che a livello, che avrebbe consentito di mantenere i fronti di scavo più bassi e meno acclivi. L'altra questione fu una vera e propria rivoluzione nella logistica. Riorganizzò infatti i sistemi di trasporto e stoccaggio dei materiali, ma soprattutto si preoccupò delle condizioni sanitarie e di lavoro delle maestranze, consentendo a Gorgas di completare velocemente il lavoro di bonifica.

Per quanto riguarda gli studi geologici, già dal 1895 fu dato incarico a Robert Thomas Hill (1858-1941), che riprese i lavori di Bertrand e Zurcher (HILL, 1896, 1898). Hill (fig. 14) era un vero pioniere della geologia americana. Si era laureato in geologia alla Cornell University a 31 anni, dopo una vita passata svolgendo lavori umi-

li e avventurosi, tra i quali il cow-boy. Si occupò nella sua carriera professionale della geologia del Texas, di idrogeologia e petrolio e fu il primo geologo ad esplorare l'isola de La Peleé in Martinica. Il suo studio fu continuato da Ernest Howe (1875-1932) dell'USGS, che fu nominato geologo della *Isthmian Canal Commission* (HOWE, 1908). I problemi di franamento dei fronti di scavo nel *Culebra cut* continuavano però ad essere quotidiani e sempre più gravi. La frana di Cucaracha si riattivò due volte, bloccando il canale con un movimento profondo di scivolamento, diventando, per l'epoca, una delle frane più studiate al mondo.

Stevens chiese il supporto di un geologo sul cantiere e l'U.S. Geological Survey inviò nel 1911 a Panama il canadese Donald F. MacDonald, ingegnere minerario specializzato in geologia che, come Hill, aveva fatto una lunga e formativa gavetta sul terreno, cominciando dal lavoro di minatore e laureandosi a 30 anni. Egli scoprì che le frane erano causate dalla presenza di orizzonti scistosi contenuti nell'andesite del massiccio di Gold Hill. Le enormi frane (1,5 milioni di m³) avvenivano in un materiale scivoloso chiamato Cucaracha Shale, composto da smectite con una capacità eccezionale di rigonfiamento anche perché associata alla presenza di gesso. Il lavoro di MacDonald si sviluppò negli anni anche dopo l'inaugurazione del Canale, a causa del perpetuarsi delle frane e a successive chiusure del transito navale (MACDONALD, 1913; 1915; 1919).

Da un punto di vista tecnico, per fare fronte all'instabilità degli scavi, Stevens scelse strategicamente di ridurre il dislivello realizzando il canale non a livello del mare, ma sfruttando un sistema



Fig. 14 - Robert Thomas Hill (1858 - 1941), il secondo da sinistra, dopo la prima esplorazione della porzione di Big Bend del Rio Grande, Contea di Valverde, Texas (Fonte: USGS Photo Library; <http://libraryphoto.cr.usgs.gov/>).

- Robert Thomas Hill (1858 - 1941), second from left, after the first exploration of the Big Bend portion of the Rio Grande, Valverde County, Texas (Source: USGS Photo Library; <http://libraryphoto.cr.usgs.gov/>).

di chiuse. Esegui pertanto sul versante caraibico una diga con la quale realizzò un grande bacino navigabile il cui livello lambiva la base della cordigliera; fece inoltre due modifiche sostanziali al progetto francese: la costruzione di un bacino artificiale che consentisse di arrivare alla cordigliera e la realizzazione delle chiuse per ridurre la profondità della trincea nel settore di Culebra. La diga progettata era di dimensioni senza precedenti: lunghezza della cresta 2.500 m, larghezza massima 701 m, altezza 32 m. Al suo centro c'era uno sfioratore di massa in cemento capace di far defluire le piene dell'imprevedibile fiume Chagres (ROGERS, 2018).

Il canale fu finalmente portato a compimento, grazie al cospicuo investimento degli Stati Uniti d'America, e il 15 agosto 1914 la prima nave compì l'attraversamento; l'inaugurazione ufficiale, rinviata a causa della prima guerra mondiale, ebbe luogo soltanto il 21 giugno 1920.

Il canale è stato potenziato nel 2016 per consentire il transito di navi di maggiori dimensioni con la realizzazione di un raddoppio del versante pacifico, curato da un consorzio a componente italiana, al fine di incrementare il traffico commerciale.

10. - CONCLUSIONI

La storia delle grandi opere di ingegneria offre l'opportunità di osservare l'evoluzione del pensiero tecnico, della società e della civiltà tra il XIX e il XX secolo. In coloro che eseguirono le esplorazioni, la progettazione e la realizzazione si può individuare quella stessa forza positiva e spregiudicata che in gioventù li portò a salire sulle barricate e a gettarsi nelle battaglie al seguito di condottieri carismatici come Garibaldi. Era palese la speranza granitica di creare un mondo nuovo, e per ottenerlo erano disposti a mettere in gioco la loro stessa vita. Senza paura si affrontavano i rischi delle battaglie così come quelli delle esplorazioni in luoghi ancora selvaggi o i rischi di impresa in opere ritenute possibili solo sulla base di testimonianze, tangibili o leggendarie, degli autori antichi.

Nonostante il progresso tecnologico avesse prodotto eccezionali strumenti e metodi per facilitare il lavoro, le scienze delle costruzioni e soprattutto le applicazioni delle scienze geologiche erano, all'epoca delle vicende narrate in questo articolo, ancora del tutto empiriche. I canali furono realizzati sulla base di conoscenze e tecniche maturate dall'esperienza, con le stesse competenze tecniche tradizionali, integrate

dall'uso del cemento armato. Da questo approccio sostanzialmente empirico sono nate le discipline scientifiche moderne come l'idrogeologia, la geotecnica e l'ingegneria sismica, giunte a maturazione decine di anni dopo; si consideri che la meccanica delle rocce, come disciplina, si strutturò solo a partire dai primi anni Sessanta del secolo passato.

La progettazione moderna è fondata sul principio della previsione dei fenomeni a partire da dati sperimentali e verificata per mezzo di modelli matematici. Un approccio molto complesso e articolato, con l'interazione tra molte discipline e che, contrariamente al passato, si basa meno sull'esperienza pratica e individuale. Per quanto i canali siano stati nel tempo oggetto di ammodernamenti e interventi, la loro progettazione e realizzazione sono ancora attuali e paragonabili a quelle effettuate con scienze e tecnologie all'avanguardia. Difetti di costruzione e fenomeni imprevedibili delle opere sono ineliminabili. Il radicale cambiamento che si è verificato nella realizzazione delle grandi opere in epoca moderna è la salvaguardia della vita e delle condizioni dei lavoratori. Il costo in vite umane richiesto per la costruzione dei canali è stato incredibile, sia per incidenti di cantiere sia per condizioni igienico-sanitarie. La storia dei grandi canali, così come quella delle gallerie, dimostra come il progresso della geologia applicata e della geologia in generale abbiano consentito, con l'aumento della consapevolezza scientifica e il miglioramento delle tecnologie di indagine, a rendere il sottosuolo trasparente per la realizzazione in sicurezza delle grandi opere di ingegneria.

Oggigiorno è crescente la richiesta delle competenze del geologo di base e applicato nei campi della ricerca sostenibile di risorse energetiche, minerarie e di fonti rinnovabili, della pianificazione territoriale e di supporto alla progettazione di grandi opere di ingegneria. Questo valenza della 'geologia pratica' di Quintino Sella trova le sue radici nell'opera dei pionieri del XIX e XX secolo, che seppero rendere progressivamente autonome tali discipline specialistiche. Questo articolo rende perciò omaggio a personaggi visionari, coraggiosi e votati all'avventura, talvolta spericolati, ma capaci di guardare oltre i limiti della propria epoca, e di varcare le Colonne d'Ercole, come moderni Ulisse, lanciandosi ciascuno nel proprio 'folle volo' della scienza e della tecnica applicate al territorio.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Milano Palazzo Moroggia- Museo del Risorgimento per la gentile concessione alla riproduzione del dipinto di Gerolamo Induno.

BIBLIOGRAFIA

- ARGENTIERI A. (2020) - *Vialli, Vittorio*. Dizionario Biografico degli Italiani, Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, vol. 99, Roma.
- AUBERT J.J. (2004) - *Aux origines du canal de Suez? le canal du Nil à la mer Rouge revisité*. In: Espaces intégrés et ressources naturelles dans l'Empire romain. Actes du colloque de l'Université de Laval - Québec (5-8 mars 2003) Besançon : Institut des Sciences et Techniques de l'Antiquité, 2004. pp. 219-252. (Collection «ISTA», 939).
- BERTRAND M., ZURCHER P. (1899) - *Étude Géologique sur l'isthme de Panama*. Annexe I, pp 85 - 120. Paris 1899 (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00910803/file/2007_08.pdf)
- BIANCARDI L. (1960) - *Da Quarto a Torino. Breve storia della spedizione dei Mille*, Milano, 168 pp.
- BONO S. (2006) - *Il canale di Suez e l'Italia*. Storia Mediterranea Ricerche storiche Anno III - Dicembre 2006, 411-422.
- BRUNI L., MAZZANTI R. (2018) - *Aspetti geografici dell'ampliamento del Canale di Panama*. Bollettino della Società Geografica Italiana serie 14, 1(1): 155-167. doi: 10.13128/bsgi.v1i1.97.
- CIALDINI P. (2011) - *Fréjus. Storia del primo traforo delle Alpi e degli uomini che lo realizzarono 1871-2011*. Ministero Infrastrutture e Trasporti, 79 pp.
- DAL PIAZ G.V. & ARGENTIERI A. (2019) - *Sessant'anni del Traforo del Monte Bianco, la storia di una impresa. Prologo: da Annibale alle grandi gallerie alpine*. Acque Sotterranee- Italian Journal of Groundwater, AS30-404, 75-81.
- DAL PIAZ G.V., ARGENTIERI A. (2021) - *150 years of plans, geological survey and drilling for the Fréjus to Mont Blanc tunnels across the Alpine chain: an historical review*. Italian Journal of Geosciences, Vol. 140, No. 2 (2021), 169-204 (<https://doi.org/10.3301/IJG.2020.29>).
- DAL PIAZ G.V., ARGENTIERI A., SELLA M. (2021) - *Il Traforo del Fréjus e l'abbattimento dell'ultimo diaframma, con resoconto di Felice Giordano a Quintino Sella e Costantino Perazzi*. GeologicaMente, n. 4: 78-80.
- DAL PIAZ G.V. (2021) - *Felice Giordano dalla Gran Becca al Kinabalu nell'arcipelago dei Pirati della Malesia*. Alpinismo Fiorentino, Annuario 2021, 2 fig.
- DAL PIAZ G.V. & URBANI C. (2021) - *Il Canale di Suez e il Traforo del Fréjus nei resoconti in parallelo di Luigi Torelli all'Istituto Veneto nella seconda metà dell'Ottocento*. La Polifora, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, n. 14, Agosto 2021, 8 pp.
- DURAND DELGA M. (2007) - *Marcel Bertrand (1847-1907), bonheur de la géologie française*. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, Comité français d'Histoire de la Géologie, 2007, 3ème série (tome 21), pp.221-349.
- GALIMBERTI U. (1999) - *Psiche e techne. L'uomo nell'età della tecnica*. Feltrinelli, Milano. ISBN 88-07-10257-9.
- GIOIA E. (1879) - *Il Taglio dell'istmo di Panama*. Conferenza tenuta dall'ing. Comm. E Gioia presso la società geografica nel giorno 15/06/1879. Boll. Soc. Geog. It. Fasc. VII
- HILL, R.T. (1896) - *The Panama Canal route*. The National Geographic Magazine 7(2):59-64.
- HILL, R.T. (1898) - *The geological history of the Isthmus of Panama and portions of Costa Rica*. Bulletin of the Museum of Comparative Zoölogy at Harvard College 28(5):149-285.
- HOWE E. (1908) - *The geology of the Isthmus of Panama*. American Journal of Science September 1908, s4-26 (153) 212-237; DOI: <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-26.153.212>.
- KAMPERIS E., SOTIROPOULOS S., ZOULOU A. (2007) - *Geology and Ancient Culture along the Corinth Canal*. AAPG and AAPG European Region Energy Conference and Exhibition 2007 (Athens, Greece), Guide to Fieldtrip No. 2, 20 pp.
- LÓCZY D. MÁTRAI I., FEHÉR G., VÁRADI Z. (2014) *Ecological Evaluation of the Baja-Bezdan Canal (Hungary-Serbia) for Reconstruction Planning*. Water Resources Management, February 2014 (DOI: 10.1007/s11269-014-0517-2).
- LYELL C. (1845) - *Travels in North America: With Geological Observations on the United States, Canada, and Nova Scotia*. 2 vol., London
- MACDONALD D.F. (1913) - *Geologic section of the Panama Canal Zone*. Geological Society of America Abstract with Program, Vol. 24, pp. 707-711.
- MACDONALD D. F. (1915) - *Some engineering problems of the Panama Canal in their relation to geology and topography*. U.S. Bureau of Mines Bull. 86, pp. 83, 29 pis., 9 figs.,
- MACDONALD D. F. (1919) - *The sedimentary formations of the Panama canal zone, with special reference to the stratigraphic relations of the fossiliferous beds*. Bulletin 103, United States National Museum
- McCULLOUGH D. (1977) - *The Path Between the Seas*. Simon and Schuster, New York.
- MORI M., CHIORINO M.A., DAL PIAZ G.V., PELIZZA S. & SELLA M. (2021) - *150 anni: il traforo ferroviario del Fréjus è la più antica galleria montana del mondo*. Gallerie, 138, 31-38, 6 fig.
- PENTA F. (1947) - *Lezioni di geologia applicata*. Edizioni Italiane, Roma.
- PETE L. (2019) - *István Türr. Il soldato ungherese d'Italia dalle battaglie del Risorgimento al sogno dell'Europa unita*. Avezzano, 362 pp.
- RECLUS A. (1881) - *L'Istmo di Panamá e di Darien. Esplorazioni fatte nel 1876, 1877, 1878 dal gen. L. N. Wjse, A. Reclus, Oliviero Bixio e Guido Mossa*. Fratelli Treves Editori, Milano, 275 pp.
- ROGERS J.D. (2014) - *The American Engineers that built the Panama Canal*. ASCE Global Engineering Conference 2014, pp. 112-349.
- ROGERS J., BARRELIER D., MANUEL H. (2018) - *Gatun Dam—megastructure of the Panama Canal*. Environmental and Engineering Geoscience (2018) 24 (1): 1-22.
- VIALLI V. (2020) - *Ho scelto la prigionia. La resistenza dei soldati italiani nel lager nazisti 1943-1945*. Edizione a cura di E. Macinai e L. Colacchioni, Bologna, 219 pp.
- WINCHESTER S. (2001)- *The Map That Changed the World: William Smith and the Birth of Modern Geology*. Harper Collins, 352 pp.
- WYSE L.N.B. (1886). *Le Canal de Panama. L'Isthme américain*. Paris, Hachette.
- WYSE L.N.B. & RECLUS A. (1879) - *Carte de L'Isthme de Panama / dressée d'après les documents de Garella, Totten, Wagner, les Cartes Hydrographiques Anglaises et Françaises et les derniers travaux de M. Mrs. Wjse et Reclus Lieutenants de Van. assistés de M. Mrs. les Ingrs. Sosa, Lacharme etc. echelle de 1:200.000*. Erhard Editeur, Paris.