

Studi matematici e regolazione delle acque

Alessandra Fiocca

Le origini pratiche dell'algebra e della geometria

Le origini pratiche della matematica sono affermate da diversi autori classici. Lo storico Erodoto, che viaggiò in Egitto verso il 460 a.C., asserisce che la geometria ebbe origine in quel paese allorché il re Sesostri divise tutte le terre in parti uguali tra i suoi sudditi. Simili considerazioni si ritrovano in Platone e Aristotele, Diodoro Siculo, Erone Alessandrino e Strabone.¹

Nella prefazione premessa all'opera che sancì la nascita dell'algebra, l'autore al-Khwarizmi (780-850 circa), enfatizza il suo scopo di scrivere un trattato per il popolo, utile negli affari di eredità e negli affari in genere, nelle cause legali e nei commerci, nelle operazioni di misurazione dei terreni e in quelle di scavo di canali.²

La rinascita delle arti è considerata il preludio alla rinascita della scienza nel mondo occidentale. Una matematica "di minor guisa" a lungo permane anche in periodi di decadenza, scrive Ettore Bortolotti:

Le Arti del navigare, del fabbricare, della fusione e della lavorazione dei metalli, ... non furono tralasciate, nemmeno nei tempi più tristi del nostro medioevo; ed all'esercizio di tali Arti occorre il possesso del computo aritmetico e dei primi rudimenti di geometria. Non mancarono perciò, in ogni tempo, scuole e maestri di Arti Liberali, e la diffusione della cultura seguiva dappresso il progredire delle condizioni sociali ed economiche degli uomini.³

Il *Liber abaci*, composto da Leonardo Pisano al ritorno dai viaggi nei paesi ove era più forte la cultura arabo-islamica e reso pubblico nel 1202, diffuse nel mondo latino il sistema di numerazione indo-arabo, determinando una rivoluzione nella matematica dell'Occidente cristiano. A Leonardo i magistrati di Pisa, sua città di origine, assegnarono, nel 1241, un salario annuo di 20 lire per la sua attività di consulente d'abaco per il Comune.⁴ L'obbligo di servire il comune come sovrintendente ai lavori murari, agronomici, alla revisione dei conti si trova verso la fine del XIV secolo assegnato al lettore di Aritmetica dell'Università di Bologna. Si trattava di una matematica a scopi pratici, che non escludeva tuttavia la trattazione di argomenti di maggior rilevanza teorica come quello della risoluzione delle equazioni algebriche.⁵

Agli sviluppi dell'algebra diedero un contributo fondamentale alcuni matematici italiani dell'ultimo Quattrocento e del secolo successivo, Scipione Del Ferro, Girolamo Cardano, Nicolò Tartaglia, Ludovico Ferrari e, ultimo solo in ordine di tempo, Rafael Bombelli,

¹ G. Loria, *Le scienze esatte nell'antica grecia*, Milano, Hoepli editore, 1914, p. 168.

² B.L. van der Waerden, *A History of Algebra from al-Khwarizmi to Emmy Noether*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 1985, p. 15.

³ E. Bortolotti, *La storia della matematica nella Università di Bologna*, Bologna, Zanichelli, 1947, pp. 5-6.

⁴ *Un ponte sul mediterraneo. Leonardo Pisano, la scienza araba e la rinascita della matematica in Occidente*, a cura di Enrico Giusti, Firenze, Edizioni Polistampa, 2002.

⁵ E. Bortolotti, *La storia della matematica*, cit. pp. 22 e sgg.

ingegnere idraulico di professione. Leibniz, che sull'opera di Bombelli formò la sua cultura algebrica,⁶ lo definisce “egregium certe artis analyticae magistrum”⁷ e apprezza particolarmente le ricerche sul cosiddetto caso irriducibile delle equazioni cubiche.⁸ Tra i meriti de *L'Algebra* di Bombelli vi è anche quello di aver contribuito alla diffusione di Diofanto, quando l'opera aritmetica del matematico alessandrino era ancora inedita.⁹

Bombelli fu impiegato nelle operazioni di bonifica della Val di Chiana, promosse da monsignore Alessandro Rufini vescovo di Melfi, cui è dedicata *L'Algebra*. Nella lettera di dedica Bombelli afferma di aver composto l'opera mentre era ospite nella villa della Rufina “all'ora che quasi era abbandonata l'impresa della essicazione della palude Chiana, per colpa di cui lo potea fare”. Probabilmente Bombelli partecipò anche alle opere di bonifica delle paludi di Foligno avviate all'epoca del pontefice Paolo III (Alessandro Farnese, pontefice dal 1534 al 1550), dato che ricorda anche questa impresa di bonifica promossa dal Rufini, realizzata ad opera di Pier Francesco Clementi da Corinaldo, che Bombelli chiama “mio Precettore”.¹⁰

Di Clementi da Corinaldo nulla era noto, fino ad ora, oltre a quanto riferito da Bombelli. Il rinvenimento di due lettere del Clementi indirizzate al Pontefice Gregorio XIII e di due relazioni, permette di gettare nuova luce su questo personaggio che è l'unico che Bombelli riconosca come suo maestro (una lettera è pubblicata in appendice al presente lavoro). Le lettere e le relazioni, tutte stese tra il 1579 e il 1580, riguardano il problema dell'interrimento dell'alveo del Po di Ferrara all'epoca del cardinale Filippo Guastavillani e della visita alle acque del ferrarese e della Romagna condotta da monsignore Tommaso San Felice vescovo della Cava.¹¹

Consultato nell'ambito della disputa scoppiata tra Ferrara e Bologna sul problema della sistemazione del corso del Reno, in relazione all'interrimento avvenuto nell'alveo del Po di Ferrara, Clementi svolge un'analisi delle cause dell'interrimento abbracciando totalmente le tesi ferraresi; in particolare attribuisce all'immissione del fiume Reno inalveato nell'alveo del Po, avvenuta nel 1522 in forza di un accordo stipulato tra il duca Alfonso I d'Este e i bolognesi, la principale causa dell'arenamento del ramo del Po di Ferrara. Anche la soluzione proposta per impedire la perdita totale della navigazione e rimediare ai danni è in sintonia con gli orientamenti espressi dalla città di Ferrara, ovvero disalveare il Reno dal Po di Ferrara introducendo le sue acque nella valle di Marrara alla quale veniva aperto libero scolo nel Po di Primaro all'altezza di Traghetto.

Come credenziali circa la sua abilità di bonificatore Clementi ricorda altre opere di bonifica portate a termine, a Foligno, nella Val di Chiana, e la regolamentazione del torrente Nera. Clementi cita l'opera, *De ponderoso et levi*, attribuita a Euclide, il più esteso compendio delle leggi di Aristotele sul moto, e in particolare il teorema in cui viene affermato che, per corpi

⁶ *Der Briefwechsel von Gottfried Wilhelm Leibniz mit Mathematikern*, herausgegeben von Carl Immanuel Gerhardt, Berlin, Mayer & Müller, 1899, p. 529.

⁷ Ivi, p. 559

⁸ Ivi, p. 552.

⁹ La prima edizione de *L'Algebra* Opera di Rafael Bombelli, comprendente tre libri, uscì a Bologna, per Giovanni Rossi, nel 1572. La prima edizione completa dell'*Algebra*, in cinque libri uscì nel 1966, editore Feltrinelli. I libri IV e V erano rimasti inediti alla morte dell'autore e furono rinvenuti da Ettore Bortolotti in un codice della Biblioteca dell'Archiginnasio di Bologna e pubblicati una prima volta nel 1929, da Zenichelli.

¹⁰ La partecipazione del Clementi alla bonifica delle paludi di Foligno è testimoniata anche da un documento del 1539, si veda a riguardo P. Buonora, *La Valle Umbra Genesi e trasformazione di un sistema idraulico (secoli XVI-XIX)*, Quaderni monografici di “Proposte e ricerche”, n. 17 (1994), p. 60, nota 20.

¹¹ Le due lettere del Clementi si trovano nella Biblioteca Universitaria di Bologna, ms. 3933, n.20. Una *Relazione dell'atterramento del Po di Ferrara* al Pontefice Gregorio XIII in data 16 marzo 1580 e una scrittura intitolata *Avvertimenti sopra lo stato del Po* sottoscritte da Monsignor San Felice e da Clementi da Corinaldo, si trovano nell'Archivio di Stato di Ferrara, Archivio storico comunale, Patrimoniale, b. 37/1 e b. 27/5.

dello stesso genere, grandezze e “potenze” (forze) sono in proporzione diretta tra loro, applicato ai due corpi d’acqua, quello del Po di Venezia e quello del Po di Ferrara, per confrontarne le rispettive “potenze” e quindi le rispettive capacità di mantenere pulito l’alveo.¹²

Un ambizioso progetto quattrocentesco: la chiusura del ramo del Po di Volano

Tra i primi interventi di bonifica promossi dal duca Borso d’Este nel ferrarese vi fu la trasformazione in campi e terre arative della tenuta di caccia di Casaglia, nel 1451.¹³ Probabilmente allo scopo di proseguire ed estendere la bonifica anche alle paludi limitrofe, in particolare a quelle a est dell’Argine Traversagno che difendeva la città dalle acque superiori del Polesine di Ferrara, anche detto Polesine di Casaglia, fu presa in esame la possibilità di utilizzare l’alveo del Po di Volano come canale collettore delle acque di scolo. A tal scopo si sarebbe dovuta realizzare la chiusura di questo alveo superiormente, e le acque del Po di Ferrara avrebbero potuto disporre del solo alveo del Primaro per raggiungere il mare.

Si trattava di un intervento idraulico impegnativo sotto il profilo tecnico e di estrema rilevanza per la città considerato che lungo il fiume avveniva il trasporto delle merci, principalmente quello della legna di Pomposa. La discussione sull’opportunità di chiudere il Volano occupò diverse sedute del consiglio cittadino, tra gennaio e settembre del 1459.¹⁴ Fu anche convocato un consiglio generale straordinario al quale furono invitati fino a trenta rappresentanti delle principali famiglie ferraresi e comunque aperto a tutti i cittadini interessati. Dai verbali delle sedute del consiglio si apprende che il principale promotore del progetto era il duca Borso. Allo scopo di valutarne la fattibilità, quello stesso anno, furono chiamati a Ferrara sette ingegneri provenienti dalle principali città italiane, due da Venezia, due da Firenze, uno da Mantova, due da Milano, tra cui "messer Aristotele", probabilmente il celebre Aristotele Fioravanti che lavorò come ingegnere idraulico per il duca di Milano dal 1459 al 1464.¹⁵ Gli ingegneri, dapprima singolarmente, quindi collegialmente, eseguirono una serie di misurazioni lungo l’alveo del fiume giungendo a concludere che l’opera era non solo realizzabile, ma anche utile alla città. Quanto alle principali difficoltà mosse al progetto, ovvero che sarebbe aumentato il pericolo di inondazioni e che gli argini dell’altro ramo del Po, quello di Primaro, avrebbero dovuto sopportare uno sforzo maggiore, avevano risposto valutando in 3 o 4 “digi” l’escrescenza dell’acqua rispetto al livello ordinario, e comunque solo per pochi mesi “ramus ille nunquam excrescet plus solito tribus vel quatuor digitis nec talis crescentia durabit nisi paucos menses q. redibit ad cursum solitum”. La perdita del collegamento fluviale della città con le località della costa e la considerazione che le valli non avrebbero comunque scolato

¹² Su questa operetta conservata in manoscritti arabi e latini e attribuita a Euclide si veda M. Clagett, *La scienza della meccanica nel medioevo*, Milano, Feltrinelli, 1981, in part. cfr. p. 460.

¹³ Sulle bonifiche estensi si veda F. Cazzola, *Le bonifiche cinquecentesche nella valle del Po: governare le acque, creare nuova terra*, in *Arte e Scienza delle acque nel Rinascimento*, a cura di A. Fiocca, D. Lamberini, C. Maffioli, Venezia, Marsilio, 2003, pp. 15-36.

¹⁴ Si vedano le sedute consiliari del 20 gennaio, 31 marzo, 2 agosto, 13 settembre, in A. Scalabrini, *Documenta descripta ex Libris Determinationum Communis Ferrariae*, Ferrara, Biblioteca Ariosteana, Ms. Cl. I, 444, cc. 33r e sgg.

¹⁵ Messer Antonius e messer Lonisus da Venezia, messer Antonius Manetta da Firenze, messer Aristotele e messer Agucius da Milano, messer Zampetrus da Mantova. Messer Aristotele da Milano tornò a Ferrara anche in seguito. Nel 1464 furono pagati 100 ducati d’oro “a Maestro Aristotele da Milano, el quale apresentò una fontana de ramo depinta co l’arme dela Sua Signoria, e apresso apresentò uno livello da livellare, qui a Fossa d’Albero”. Si veda A. Franceschini, *Artisti a Ferrara in età umanistica e rinascimentale. Testimonianze archivistiche*, parte I dal 1341 al 1471, Ferrara, Corbo editore, 1993, p. 627. Zampiero (Figino) ingegnere del Marchese di Mantova, nel 1456 fu ricompensato per essere andato “ale parte de Romagna com uno chavallo per lo Illustro nostro Signore per drizare lo fiume Lamone al porto de Gavarno”, cfr. *Ivi*, p. 851.

nell'alveo del Po, il cui fondo era più alto del livello dell'acqua nelle stesse valli, costituivano ulteriori elementi contro il progetto. La spaccatura in seno al Consiglio comportò tempi lunghi per giungere a una delibera che fu presa nella seduta del 13 settembre. Nonostante i pareri ancora contrastanti, allo scopo di assecondare la volontà ducale, il consiglio deliberò la chiusura dell'alveo del ramo del Po di Volano con la minor spesa possibile e il minor incomodo dei cittadini.

Come è noto la delibera non ebbe seguito, l'alveo del Volano non venne né allora, né successivamente chiuso alle acque del Po. Questo avvenimento è tuttavia di grande interesse per molteplici motivi. Oltre a testimoniare la centralità, già a metà del Quattrocento, del problema idraulico a Ferrara, la sua rilevanza e complessità tanto da indurre a convocare un congresso di massimi esperti in materia, l'episodio documenta una discussione "scientifica" in atto, operazioni di misura lungo l'alveo del fiume e una stima dell'aumento del livello dell'acqua nell'alveo del Primaro nell'ipotesi di chiusura dell'altro ramo.

La stima dell'aumento del livello dell'acqua in un fiume a seguito dell'introduzione nel suo alveo di ulteriore quantità d'acqua è uno dei principali problemi dell'idraulica cui si applicarono i matematici delle generazioni successive, Benedetto Castelli, Nicolò Cabeo, Domenico Guglielmini, Teodoro Bonati per citarne solo alcuni.

La regolazione delle acque tra arte e scienza

Nel 1580 Francesco Patrizi, lettore di filosofia platonica dell'Università di Ferrara si offriva di risolvere il problema idraulico più urgente per la città di Ferrara, quello della sistemazione del corso del Reno, che "in quarantaquattro anni nove Cardinali, quattro Commissarij, sedici Dottori, undici Cavalieri, et quaranta Ingegneri tutti intendenti dell'acque non hanno saputo fare".¹⁶

Nella lettera del 28 novembre indirizzata al duca Alfonso II d'Este,¹⁷ Francesco Patrizi rifiutava la critica che già era stata rivolta all'ingegnere Silvio Belli, di aver appreso da altri il suo sapere, e fa osservare che tutti gli uomini ciò che sanno "ò l'hanno imparato da altri ò l'hanno trovato da se stessi". Nel suo caso ammette "che io molte cose ho imparato da altri, et molte ho visto nelle scritture del negozio et molte in altre, et molte in molti libri d'auttori grandi", ma rivendica a sé il merito di aver "io primo et fin hora solo ho formato una universale ordinata et certa scienza dell'acque, tratta da suoi veri principij naturali et mathematici".

Il sapere in materia di regolamentazione delle acque è dunque, secondo Patrizi, una costruzione progressiva comprendente sia le conoscenze pratico-operative sviluppate sul campo, il cosiddetto *know-how* tecnologico, sia le conoscenze ricavate dalla lettura delle opere d'"auttori grandi", ovvero dei classici. A questi saperi aggiunge un altro genere di conoscenza, di cui si attribuisce la paternità, e che chiama "scienza dell'acque" che è universale, ordinata e riveste il carattere di certezza, in quanto fondata sulla cognizione dei principi, naturali e matematici. Nella lettera al duca sopraccitata Patrizi accenna ai "fondamenti di tutta la impresa mia", che consistono nel conoscere in quali condizioni "uno stesso fiume sia più adatto a approfondire l'alveo suo", e in cui vengono considerati successivamente la quantità d'acqua corrente nel fiume, il livello dell'acqua, la velocità dell'acqua, la caduta o pendenza, le misure geometriche

¹⁶ *Francesco Patrizi filosofo platonico nel crepuscolo del Rinascimento*, a cura di P. Castelli, Firenze, Olschki, 2002.

¹⁷ La lettera di Francesco Patrizi al duca è pubblicata in appendice all'articolo di A. Fiocca, *Francesco Patrizi e la questione del Reno nella seconda metà del Cinquecento: tre lettere inedite*, in *Francesco Patrizi filosofo platonico cit.*, pp. 253-285: 279-282.

dell'alveo del fiume e la sua forma, "dritto" o "torto", "quando è in un alveo solo è quando è in più".

La figura di Francesco Patrizi è emblematica della sua epoca, in cui da una parte si assiste al moltiplicarsi di edizioni a stampa delle opere delle scienze matematiche dell'antichità, da Euclide, ad Archimede, Tolomeo, Vitruvio, Erone, Frontino, spesso in traduzione italiana, dall'altra al sorgere di una letteratura tecnica specialistica in cui le conoscenze via via elaborate in un dato ambito vengono stese con ordine e con metodo. Seguendo l'esempio classico di Vitruvio, già nel Quattrocento erano stati scritti trattati di architettura da Alberti, Filarete, Francesco di Giorgio Martini seguiti poi nel secolo successivo da Palladio, Serio, Scamorzi. Vannucci Biringucci e Georgius Agricola sono divenuti famosi per due trattati di metallurgia, rispettivamente *De la pirotechnia libri X*, uscito alle stampe in italiano nel 1540 il più antico e dettagliato manuale sul tema, e *De re metallica libri XII*, pubblicata in latino nel 1556 in cui sono esposte in maniera sistematica tutte le operazioni di estrazione e lavorazione dei minerali. Nessuna opera analoga dedicata all'idraulica uscì alle stampe nel secolo XVI e neppure l'universale scienza dell'acque di Patrizi. È tuttavia significativo il fatto che uno dei primi trattati, rimasto inedito alla morte dell'autore, dedicato alla scienza et arte del ben regolare le acque fu scritto da un autore ferrarese di adozione, argentano di origine, Giambattista Aleotti, il ben noto architetto del teatro Farnese di Parma, della chiesa di San Carlo a Ferrara, e di moltissimi altri monumenti, chiese e palazzi della città, a dimostrazione dello strettissimo legame tra architettura civile e idraulica nel secolo XVI e della centralità dei problemi idraulici che già dal Quattrocento avevano reso Ferrara luogo di incontro e confronto di competenze in questo ambito specifico.¹⁸

L'opera aleottiana dal titolo *Della scienza et dell'arte del ben regolare le acque* rappresenta una summa del sapere in materia di regolazione delle acque alla fine del secolo XVI.¹⁹ Essa consta di aritmetica, geometria, filosofia naturale, geografia, corografia, meccanica e di molte cognizioni legali, avverte l'autore. Le opere degli autori classici, Euclide, Archimede, Apollonio, Erone, Ctesibio, Vitruvio, costituiscono il substrato della trattazione aleottiana, che tuttavia si avvale anche degli studi più recenti, come ad esempio quelli di Girolamo Cardano, e che comprende lo studio del movimento delle acque correnti, la costruzione di manufatti e opere idrauliche, di macchine per alzare l'acqua, le operazioni per rappresentare i paesi, misurare distanze inaccessibili, altezze e profondità, livellare i terreni e quindi l'uso degli strumenti di misura che videro nel secolo XVI uno sviluppo straordinario.²⁰

La sistemazione del corso del Reno e la misura delle acque correnti

Nell'appendice aggiunta al *Traité Théorique et expérimental d'Hydrodinamique*, l'abate Bossut sottolinea le circostanze che hanno determinato la centralità dello studio del movimento delle acque correnti nell'ambito delle speculazioni di molti scienziati italiani.²¹ La morfologia

¹⁸ Giambattista Aleotti ha goduto in anni recenti di una notevole attenzione. Due volumi hanno inteso riproporre la sua figura: *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, a cura di A. Fiocca, Firenze, Olschki, 1998; *Giovanni Battista Aleotti e l'architettura*, a cura di C. Cavicchi, F. Ceccarelli, R. Torlontano, Reggio Emilia, Diabasis, 2002.

¹⁹ *Della scienza et dell'arte del ben regolare le acque di Gio. Battista Aleotti detto l'Argenta architetto del Papa e del pubblico ne la città di Ferrara*, Modena, Panini, 2003.

²⁰ Si veda ad esempio la descrizione degli strumenti di Giorgio Vasari il giovane, *Raccolto fatto dal Cav:re Giorgio Vasari: di varii instrumenti per misurare con la vista*, Firenze, Giunti 1997, pubblicato a cura e con introduzione di Filippo Camerota.

²¹ C. Bossut, *Traité Théorique et expérimental d'Hydrodinamique*, nouv. ed., tome seconde, Paris, Chez Laran, l'an IV de la République (1795-96), pp. 428 e sgg.

della penisola italiana, attraversata in ogni direzione da una moltitudine di torrenti e fiumi che minacciano con le loro alluvioni le campagne circostanti, avrebbe determinato, secondo Bossut, lo sviluppo degli studi sulla natura dei terreni che formano il letto dei fiumi, sulla resistenza degli argini destinati a contenere le acque, sulla rispettiva posizione e sulle pendenze dei torrenti che si uniscono, sulla qualità dei materiali come le rocce, le sabbie che le acque trasportano, in una parola su tutte le circostanze fisiche e locali che possono determinare dei cambiamenti nei corsi d'acqua.

Le circostanze riferite da Bossut genericamente all'Italia, attengono in realtà in massima parte a una regione, quella del basso Po, in cui confluiscono i principali fiumi e torrenti dell'Italia settentrionale. In questo contesto, la città di Ferrara ha rivestito un ruolo centrale per la sua posizione strategica, oltre che geografica. Non è certamente un caso che la riflessione teorica che portò Benedetto Castelli, considerato il fondatore della scuola idraulica italiana, alla pubblicazione del primo libro *Della misura dell'acque correnti*,²² prese avvio, come ricorda più volte lo stesso Castelli, dalla visita idraulica per dirimere la controversia d'acqua tra ferraresi e bolognesi condotta da monsignore Ottavio Corsini nel 1625. In discussione vi era la sistemazione del corso del Reno le cui acque, disalveate dal Po di Ferrara per ordine di papa Clemente VIII del 1604, potevano liberamente spandersi nelle valli a sud di Ferrara, rappresentando una minaccia per le campagne bolognesi. La soluzione prospettata dai bolognesi fin dall'epoca del cardinale Luigi Capponi, 1621-22, era l'immissione del Reno nel Po grande scavando un nuovo canale per convogliare le acque del torrente bolognese nel Panaro che già aveva occupato il tratto più settentrionale dell'alveo dell'antico Po di Ferrara e si gettava nel Po grande a Stellata. La remora dei ferraresi verso questa soluzione erano i due piedi circa di innalzamento degli argini del Po grande giudicati necessari se il Reno vi fosse stato immesso.

Castelli, allievo di Galilei, conduce lo studio del movimento dell'acqua corrente seguendo un procedimento strettamente geometrico-deduttivo. Le sei proposizioni di cui si compone il libro sono precedute da tre supposizioni, o ipotesi di lavoro (tra cui il regime stazionario del fiume),²³ due definizioni,²⁴ cinque "pronunziati" o postulati²⁵ e una "domanda",²⁶ che equivale a una richiesta di esistenza. Lo strumento matematico utilizzato è la teoria euclidea delle proporzioni sviluppata da Euclide nel libro V degli Elementi e la teoria di Castelli costituisce un esempio, o un modello, dell'approccio matematico alla filosofia naturale di cui il maestro di Castelli fu, se non il primo, certo il più convinto assertore.²⁷ Le grandezze che entrano in gioco sono le quantità d'acqua scaricate dai fiumi in tempi assegnati, le sezioni dei fiumi considerate perpendicolari alla corrente, le velocità dell'acqua e le altezze, le larghezze degli alvei. Il principale risultato di Castelli è la cosiddetta legge di continuità, dedotta nella prima proposizione, sulla base del principio di conservazione dei volumi. Essa afferma che, nel caso

²² B. Castelli, *Della misura dell'acque correnti*, Roma, Stamperia Camerale, 1628.

²³ Le sponde del fiume sono supposte perpendicolari alla superficie dell'acqua e a quella del fondo, lo studio avviene quando il fiume è in regime stazionario.

²⁴ Sezione di un fiume e sezioni ugualmente veloci.

²⁵ Sezioni eguali, ed egualmente veloci scaricano eguale quantità d'acqua in tempi eguali; sezioni egualmente veloci che scaricano quantità d'acqua eguale in tempi eguali, sono eguali; sezioni eguali che scaricano eguale quantità d'acqua in tempi eguali sono egualmente veloci; quando le sezioni sono ineguali, ma egualmente veloci, la quantità d'acqua che passa per la prima sezione alla quantità che passa per la seconda, avrà la medesima proporzione che la prima sezione alla seconda sezione; se le sezioni saranno eguali, e d'ineguale velocità, la quantità dell'acqua che passa per la prima, a quella che passa per la seconda, avrà la medesima proporzione, che ha la velocità della prima sezione alla velocità della seconda sezione.

²⁶ Data una sezione di fiume, si domanda "che ce ne possiamo immaginare eguale alla detta di diversa larghezza, ed altezza, ed velocità".

²⁷ E. Giusti, *Ricerche galileiane: il trattato De Motu aequabili come modello della teoria delle proporzioni*, «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», vol. VI (1986) fasc. 2, pp. 89-108.

di flusso stazionario, le sezioni trasversali di uno stesso fiume scaricano uguali quantità d'acqua in tempi uguali, anche se le sezioni sono diverse.

Successivamente viene introdotto il concetto di portata di un fiume. Castelli non può esprimerlo come rapporto in quanto le grandezze che entrano in gioco, i volumi e i tempi, non sono omogenee, ma si avvale dello schema proprio della teoria delle proporzioni.²⁸ Nel corollario che segue la terza proposizione, afferma la proporzionalità inversa tra l'area di ogni sezione trasversale del fiume e la velocità dell'acqua che attraversa la sezione.²⁹ Queste proposizioni sono quindi applicate a diverse situazioni che appaiono strettamente collegate alle problematiche della visita alle acque nel 1625: 1. all'acqua di un fiume che entra nell'alveo di un altro fiume,³⁰ 2. allo stesso alveo di fiume in due stati diversi, di piena e ordinario,³¹ 3. a due piene eguali del medesimo torrente che entrano in un fiume in tempi diversi.³²

Lo studio di Castelli rappresenta realmente il primo tentativo di sottomettere l'idraulica dei fiumi alla geometria, tuttavia alcune questioni fondamentali, come la variazione della velocità in funzione della profondità del corpo d'acqua e la variazione della velocità in funzione della pendenza del fondo del canale e/o della superficie dell'acqua, su cui si confronteranno gli autori delle generazioni successive, non vengono affrontate, con il risultato che lo studio teorico risultava di scarsa utilità pratica.³³

Se da una parte Castelli poteva giudicare inattendibile la valutazione ferrarese circa i due piedi di aumento del livello dell'acqua nel Po in caso di immissione del Reno che non teneva conto delle velocità dei due corpi dell'acqua, dall'altra la sua stessa teoria era ancora insufficiente a dare risposta ai problemi dell'idraulica pratica. È quanto fa presente Giovanni Battista Baliani nella lettera del 20 febbraio 1627, invitando Castelli a considerare anche l'effetto della pendenza del canale sulla velocità dell'acqua.³⁴ L'acqua del Reno, infatti, osserva Baliani, rallenterebbe il suo corso passando dal suo alveo di forte pendenza, in quello del Po, che nei pressi di Ferrara corre quasi a livello. Conseguentemente l'aumento del livello dell'acqua sarebbe anche superiore ai due piedi previsti dai periti di Ferrara, proprio sulla base della teoria di Castelli.³⁵

Tra i primi scienziati che si confrontarono con la dottrina del moto delle acque di Castelli, vi fu Niccolò Cabeo, il più importante scienziato gesuita ferrarese della prima metà del XVII secolo. Dopo aver disputato con Castelli "ex patrio solo et patriae amore", si occupò di idraulica

²⁸ Castelli afferma che "Se saranno due sezioni di fiumi: la quantità dell'acqua, che passa per la prima, a quella che passa per la seconda, ha la proporzione composta delle proporzioni della prima sezione alla seconda, e della velocità per la prima, alla velocità per la seconda".

²⁹ Castelli non dice cosa debba intendersi per velocità dell'acqua in una data sezione trasversale. Il problema della variazione della velocità alle diverse profondità non viene sollevato in questo contesto e Castelli assegna un unico valore alla velocità in ogni sezione del fiume.

³⁰ Viene stabilita la proporzionalità inversa tra le altezze della stassa acqua corrente nei due alvei e i prodotti delle rispettive velocità e delle larghezze degli alvei (anche in questo caso, nello schema della teoria delle proporzioni, Castelli parla di proporzione composta).

³¹ Essendo costante una dimensione, la larghezza dell'alveo, le quantità d'acqua scaricate sono proporzionali ai prodotti delle rispettive altezze e velocità.

³² Le altezze dell'acqua del fiume sono inversamente proporzionali alle velocità acquistate dall'acqua.

³³ Il metodo proposto da Castelli per valutare la velocità dell'acqua (cfr. l'appendice XI del primo libro *Della misura dell'acque correnti*, cit.) consistente nel misurare "per quanto spazio sia trasportata dalla corrente una palla di legno o di altro corpo che galleggi, in un determinato tempo, come sarebbe, v.g., in 50 battute di polso", fu al centro delle critiche di Nicolò Cabeo di cui si dirà.

³⁴ B. Castelli, *Carteggio*, a cura di M. Bucciantini, Firenze, Olschki, 1988, pp. 95-97.

³⁵ "io quanto a me, sin ch'io non senta in contrario, stimo che dalla istessa sua dottrina si possa cavar benissimo che il Po si alzerebbe più di due piedi. E questo perché l'istessa acqua del Reno introdotta nel Po farebbe maggior sezione perché rallenterebbe il suo corso, essendo più veloce il corso del Reno che quello del Po, atteso che quello vien dai monti vicini et ha molto pendio, che è causa di dar maggior velocità all'acqua, dove che il Po in quelle parti corre a livello." Ivi, p. 95.

fluviale su un piano teorico nel grande commento alle *Meteore*.³⁶ Il punto cardine del suo pensiero è che il tema delle acque correnti deve essere sviluppato con considerazioni fisiche piuttosto che con modelli matematici, giudicati inadeguati a descrivere la molteplicità dei caratteri difformi del mondo fisico. Ed è proprio sul metodo proposto da Castelli per misurare la velocità dell'acqua corrente che si concentrano le critiche di Cabeo. Tale metodo, consistente nel misurare lo spazio percorso da un corpo galleggiante in un dato tempo, non fornisce una misura attendibile della velocità dell'acqua che, in una sezione trasversale del fiume, varia "secundum latitudinem" e "secundum profunditatem", e che in superficie è influenzata da fenomeni quali il vento. Esperimenti condotti con un'asta appesantita ad una estremità e resa galleggiante grazie a una vescica piena d'aria, variando la profondità di immersione dell'asta, conducono Cabeo a concludere che la velocità dell'acqua nell'alveo di un fiume lungo una linea verticale non è uniforme, ma diminuisce dalla superficie verso il fondo.

La relazione funzionale tra velocità e profondità del corpo d'acqua, e quindi conseguentemente quella tra portata e altezza del corpo d'acqua, è argomento del secondo libro *Della misura dell'acque correnti* uscito postumo, dopo la morte di Castelli, nel 1660.³⁷ Nella proposizione seconda viene enunciata la nota legge di proporzionalità diretta tra velocità e altezza:

“Se un fiume muovendosi con una tal velocità per un suo Regolatore haverà una data altezza viva, e poi per nuova acqua crescerà il doppio, crescerà ancora il doppio di velocità.”

che ha come corollario la proporzionalità diretta tra le quantità d'acqua scaricate da un fiume in due stati diversi e i quadrati delle altezze raggiunte dall'acqua.

Come è noto, Castelli non era completamente soddisfatto della dimostrazione della proposizione seconda, cosicché quando, dopo la morte dell'autore, il principe Leopoldo si incaricò di fare stampare l'opera, la dimostrazione fu omessa, con una nota al lettore che ebbe come principale risultato di dar vita a un intenso dibattito sulla proposizione II e quindi sulla variazione della velocità di un'acqua corrente in relazione all'altezza.³⁸

Alcuni scienziati sostennero la tesi di Castelli, tra cui Giovanni Battista Barattieri,³⁹ Gian Domenico Cassini,⁴⁰ e i gesuiti Giovan Battista Riccioli⁴¹ e Francesco Eschinardi,⁴² altri la giudicarono completamente errata. Tra questi ultimi Domenico Guglielmini che affrontò la difficile questione nelle proposizioni I e II del secondo libro dell'opera *Aquarum fluentium mensura nova metodo inquisita*,⁴³ stabilendo anche sperimentalmente una diversa legge, ovvero la proporzionalità tra velocità media e radice quadrata dell'altezza del corpo d'acqua.

³⁶ *Nicolai Cabei ferrariensis societatis Iesu In Quatuor libros meteorologicorum Aristotelis commentaria et quaestiones quatuor tomis comprehensa*, Romae, typis Haeredum Francisci Corbelletti, 1646.

³⁷ A Bologna, per gli HH. Del Dozza.

³⁸ Sul dibattito incentrato sulla proposizione seconda si veda M. Bucciantini, *Il trattato «della misura dell'acque correnti» di Benedetto Castelli. Una discussione «sulle acque» all'interno della scuola galileiana*, «Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze», vol. VIII, 1983, pp. 103-140.

³⁹ *Architettura d'acque*, Piacenza, nella stamperia ducale di G. Bazacchi, 1656-1663, II, pp. 65 e sgg.

⁴⁰ *Raccolta di varie scritture e notizie concernenti la remozione del Reno*, in *Raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acque*, 4° ed., Bologna, dalla tipografia di Jacopo Marsigli, IX, p. 106.

⁴¹ *Geographiae et hydrographiae reformatae libri duodecim*, Bononiae, ex typ. Haer. V. Bernatii, 1661, lib. VI, pp. 235-236.

⁴² *De impetu*, Romae, ex typ. A. Bernabò, 1684, pp. 205-210.

⁴³ *In Opera omnia*, Genevae, sumptibus Cramer, Perachon & socii, 1729, t. I, pp. 121-125.

L'applicazione della legge alla vessata questione del Reno è svolta da Riccioli che valuta l'aumento del livello dell'acqua nel Po, nell'ipotesi di immissione del Reno, pari a 7, 9, 11 once, rispettivamente nel caso che l'acqua del Reno nel suo letto percorra 3, 4, 5 miglia l'ora.⁴⁴

I Gesuiti e l'idraulica a Ferrara nel XVII secolo

Il Collegio dei Gesuiti di Ferrara fu, per oltre due secoli, dalla fondazione nel 1551 alla soppressione nel 1773, la principale istituzione culturale della città e del territorio ferrarese, accanto all'Università.

I più importanti scienziati che ebbe Ferrara nel Seicento appartennero tutti alla Compagnia di Gesù: Niccolò Cabeo, Giovanni Battista Riccioli, Daniello Bartoli. Per il Collegio di Ferrara passarono anche altri scienziati gesuiti, Paolo Casati, Francesco Lana Terzi. Fu così del tutto naturale che i problemi tecnico-scientifici collegati ai problemi di regolamentazione delle acque trovassero nel Collegio del Gesù un luogo idoneo per essere affrontati e discussi.

Nel 1598, in seguito alla devoluzione di Ferrara alla Santa Sede, Clemente VIII, venuto a prendere possesso della città, si occupò personalmente dei problemi della nuova legazione pontificia. Fra questi, il problema della progressiva perdita della navigazione lungo il ramo del Po che scendeva verso Ferrara, era certamente tra i più urgenti. Alcuni dei tecnici che il governo pontificio utilizzò per visite, progetti o interventi sulle acque del ferrarese furono gesuiti. I primi nomi che si incontrano sono quelli di Giovanni Rosa o De Rosis e Agostino Spornazzati. Dopo il 1625 ci fu la polemica di Niccolò Cabeo contro Castelli cui fecero seguito un certo numero di lavori di idraulica di padri della Compagnia, Giovanni Battista Riccioli, Paolo Casati, G. Ferroni, Francesco Lana Terzi.⁴⁵

Dopo la visita generale alle acque del 1598 ordinata da Clemente VIII, il congresso di Roma dell'estate del 1600, la successiva visita del cardinale Visconti nell'autunno dello stesso anno, una svolta si ebbe nel 1603 con l'incarico affidato al padre gesuita Agostino Spornazzati e all'ingegnere fiammingo, Everard Cosservat. Sulla base della relazione dei due ingegneri, il 12 agosto 1604 con il Breve *Exigit a nobis* il pontefice Clemente VIII decretò il disalveo del Reno dal Po di Ferrara. Scopo del provvedimento era l'escavazione generale degli antichi alvei meridionali del Po per procurare il ritorno delle acque, cosicché tutti i fiumi che sfociavano nei due rami del Po, di Ferrara e di Primaro, compreso il Reno, furono tolti e lasciati liberi di espandersi nelle valli. Il provvedimento avrebbe dovuto essere temporaneo per permettere le operazioni di scavo e la bonifica per colmata delle valli. Il Reno, invece, non tornò più nell'antico alveo e la sistemazione del suo corso fu al centro di una controversia matematico-idraulica e politica che durò oltre due secoli.

I tentativi dell'inizio del secolo di richiamare il fiume al suo antico corso fallirono. Fallì anche, col cavo Serra, il tentativo di sfruttare l'acqua del Panaro per mantenere in vita la navigazione lungo i due rami di Volano e Primaro. Nella seconda metà del XVII secolo si era in qualche modo ripristinata la navigabilità del Po di Volano immettendo in questo alveo l'acqua del canalino di Cento e costruendo alcuni sostegni a conca, nel 1671 a Fossalta e a Massafiscaglia, negli anni 1674-75 a Cona, Valpagliaro e Tieni, nel 1735 a Migliarino. Restava però il grave inconveniente della mancanza d'acqua necessaria per la navigazione. A questo problema cercò di dare una risposta il progetto dell'ingegnere Marco Ferlini del 1839 di cui si dirà, tuttavia

⁴⁴ Sulla valutazione ottenuta da Riccioli si veda A. Fiocca, *I gesuiti e il governo delle acque del basso PO nel secolo XVII*, in *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei gesuiti nell'età barocca*, a cura di M.T. Borgato, Firenze, Olschki, 2002, pp. 319-370.

⁴⁵ U. Baldini, *Esperti gesuiti nelle visite alle acque del ferrarese dopo la devoluzione (1599-1611)*, in *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, a cura di A. Fiocca, Firenze, Olschki, 1998, pp. 223-238.

esso fu risolto solo alla fine del secolo XIX, congiuntamente a quello della bonifica del comprensorio di Burana le cui acque, provenienti dai territori a nord-ovest di Ferrara, ma anche dal mantovano e dal modenese, portate sulla destra del Panaro per mezzo di una botte a sifone, furono condotte a scaricarsi nel Volano.⁴⁶

Il trasferimento a Ferrara di Francesco Lana Terzi, nel 1675, coincise con la decisione del magistrato dei Savi di Ferrara di affidare ai Gesuiti la formazione delle competenze in campo idraulico. In tale anno fu istituita una lettura di matematica, presso il Collegio del Gesù, per la formazione degli aspiranti alla carica di Notaio e di Giudice d'Argine, cioè dei tecnici preposti dalla comunità alla salvaguardia del territorio ferrarese dalle acque. La lingua ufficiale di questa lettura era l'italiano e l'insegnamento verteva sui primi sei libri degli Elementi di Euclide. Contemporaneamente si verificò un fatto unico per l'Università di Ferrara, l'affidamento della lettura di matematica dell'Università allo stesso Lana Terzi, che la tenne dal 1675 al 1678, e dopo di lui ad altri membri della Compagnia: Giovanni Magrini dal 1688 al 1697, Ippolito Palmieri dal 1698 al 1734, Ippolito Sivieri dal 1735 al 1759, Girolamo Prandini dal 1760 al 1770.⁴⁷

Il rapporto di fiducia tra la comunità di Ferrara e i Gesuiti entrò in crisi tra la fine del Seicento e i primi decenni del Settecento. Di questa frattura si hanno diversi riscontri.

Giovanni Magrini partecipò, in veste di ingegnere e matematico della città di Ferrara, alla visita dei cardinali Barberini e D'Adda, alla quale intervenne in rappresentanza dei bolognesi il matematico dell'Università di Bologna, Domenico Guglielmini. La visita si concluse con la delibera del 1693 di immettere il Reno nel Po grande costruendo un canale artificiale da Mirabello a Bondeno.⁴⁸ Era questa la soluzione inseguita per un secolo dai bolognesi, dalla visita del padre Benedetto Castelli del 1625, e la decisione di attuarla sanciva la disfatta della linea di difesa messa in atto dai ferraresi.

In seguito la decisione fu annullata da Benedetto XIII per la mobilitazione congiunta dei ferraresi, della Repubblica di Venezia, del duca di Modena e degli austriaci al governo di Mantova, tutti ugualmente preoccupati di un futuro innalzamento del letto del Po causato dalle acque torbide del Reno e della conseguente difficoltà di scolo delle acque. I bolognesi cominciarono allora a perseguire un'altra soluzione, lo scavo di un canale artificiale attraverso le valli, utilizzando anche dei tratti di canali preesistenti, per immettere il Reno nel Po di Primaro all'altezza di Traghetto, poco sopra Argenta. Sotto il pontificato di Benedetto XIV, di famiglia bolognese e come tale sensibile al problema per interessi famigliari nei territori invasi dalle acque, si cominciò ad attuare una parte di questo progetto. Sotto la direzione tecnica di Gabriele Manfredi e Pietro Chiesa fu avviata la costruzione del cavo, che prese il nome di cavo benedettino dal Pontefice, per ricevere le acque dell'Idice con la speranza di riunire successivamente nel medesimo canale anche le acque del Reno e del torrente bolognese Savena.

L'escavazione del benedettino attraverso terreni paludosi si dimostrò più difficile del previsto. L'Idice, la cui pendenza era significativa e aveva acque limacciose, colmò parzialmente il cavo nuovo, tuttavia, nonostante le proposte alternative di autorevoli scienziati, il progetto non si fermò. Il rappresentante ufficiale dei ferraresi in quegli anni era Romualdo Bertaglia, autore di una proposta per la sistemazione del Reno, la cosiddetta "linea Bertaglia", che correva più a sud rispetto al cavo benedettino e che aveva il vantaggio di attraversare terreni asciutti e, per i

⁴⁶ E. Cucchini, *La bonificazione di Burana e il naviglio Volano*, Ferrara, Taddei, 1899.

⁴⁷ A. Fiocca, L. Pepe, *La lettura di matematica nell'Università di Ferrara dal 1602 al 1771*, «Annali dell'Università di Ferrara», n.s., sez. VII, vol. XXXI, (1985), pp. 125-167.

⁴⁸ La decisione fu confermata nella successiva visita di Monsignore Riviera del 1716 che si svolse con la consulenza di Guido Grandi e Celestino Galiani e con la partecipazione per parte ferrarese dei periti Romualdo Valeriani e Romualdo Bertaglia, maestro quest'ultimo di Teodoro Bonati.

ferraresi, di essere più lontana dalla città. Il padre Ippolito Sivieri si espresse contro la linea Bertaglia. Oltre all'alto costo, la principale obiezione riguardava la possibilità di riunire e incanalare in un unico alveo tanti torrenti diversi "per direzione e qualità delle acque". Sivieri appoggiava invece l'orientamento del padre Ximenes consistente nel condurre le acque bolognesi nelle valli di Comacchio, "vorrebbe che si facessero sboccare tutte le acque attraverso le valli di Comacchio, tirando una linea da Argenta fino al mare, verso la foce di Primaro, attraverso queste paludi".⁴⁹

Che non difendessero col vigore necessario gli interessi della comunità ferrarese è un rimprovero che viene rivolto ai Gesuiti già all'epoca dell'insegnamento del padre Ippolito Prandini. In un documento anonimo e non datato dell'Archivio di Stato di Ferrara, steso prima del 1734, viene sostenuta l'urgenza di nominare un matematico al servizio del pubblico per l'insegnamento della disciplina e per sostenere "con la penna e con la voce" le ragioni della città nella controversia d'acque:

Col Beneficio dunque universale della Città, e dello Stato si farebbero le due spese di condurre al fine suddetto un eccellente Matematico, e di aprire una Pubblica Pia Scuola di Scrivere e di Aritmetica pratica che si estendesse ad ogni sorta della medesima; essendo questa un'Arte tanto necessaria, non solo per il particolare economico interesse, ma ancora per il pubblico mercantile Commercio esercitato in questo Paese per la maggior parte dai Forestieri per non esserci Ferraresi capaci d'intenderlo.

In opposizione alla proposta non poteva essere addotta la lettura già esistente del Padre Palmieri Gesuita con lo stipendio annuo di cento scudi, afferma l'anonimo scrittore, perché l'esperienza ha insegnato

a questo Pubblico il poco servizio, che ricava dai Regolari, i quali non si curano di fare Allievi per tema che uno di questi con l'amore de' Concittadini non potesse levar alla di loro Religione la cattedra quando ne fosse conosciuto ugualmente capace, E inoltre perché i Regolari con la subordinazione ai loro Superiori Maggiori, i quali, o avendo delle Convenienze più per la Città a noi contraria che per la Nostra, o almeno tenendosi indifferenti, ponno desiderare dai loro sudditi la medesima indifferenza, sono sempre stati restii di portare in faccia degli Avversarii le nostre ragioni con quel vigore, ch'era necessario;...⁵⁰

Un canale di formazione per coloro che intendevano intraprendere la carriera di pubblico perito esperto in materia di regolamentazione delle acque, alternativo alla lettura di matematica presso il Collegio dei Gesuiti, fu rappresentato per alcuni anni dall'Accademia del Disegno, aperta a Ferrara nel 1736, sul modello dell'Accademia Clementina di Bologna.⁵¹ L'Accademia

⁴⁹ La testimonianza proviene da Lalande. Nel resoconto del suo viaggio in Italia, Lalande parla delle inondazioni del Po, delle paludi di Bologna, di Ferrara e della Romagna, traccia una storia dei provvedimenti decisi nelle diverse epoche e mai attuati, fino all'ultimo rimedio voluto da Benedetto XIV, il cavo benedettino per ricevere le acque dell'Idice e in previsione anche quelle di Reno e Savena. Lalande incontrò personalmente il padre Ippolito Sivieri, da lui giudicato "il più abile ingegnere di Ferrara". Sivieri, riferisce Lalande, era persuaso che "diciotto torrenti e quarantacinque ruscelli, le cui direzioni e qualità delle acque sono molto differenti, non si potranno riunire e incanalare insieme in uno stesso alveo; assicura che se il Reno, che ha delle acque chiare con poca pendenza, e l'Idice, che ha delle acque torbide con una pendenza straordinaria di circa cinque piedi e mezzo su mille tese, non hanno potuto unirsi insieme nel cavo Benedettino, a maggior ragione non potranno tutti gli altri". Una traduzione italiana del brano dedicato da Lalande ai lavori fatti per lo scolo delle acque tra Bologna e Ferrara, contenuto nel resoconto del viaggio in Italia, si può trovare in V. Sani, *Ferrara Felice, ovvero della felicità dello Stato di Ferrara di Francesco Contarini*, Vecchiarelli Editore, 1995, pp. 46-50

⁵⁰ Il documento è inserito in appendice al saggio di L. Pepe, *La crisi dell'insegnamento scientifico dei gesuiti a Ferrara e l'inizio dell'attività didattica di Teodoro Bonati*, in «*In supreme dignitatis ...*» *Per la storia dell'Università di Ferrara 1391-1991*, Firenze, Olschki, 1995, pp. 61-74:72-74.

⁵¹ Una delibera del Maestrato dei Savi del 1739 stabiliva infatti la priorità nei concorsi per notaio d'argine a coloro che avessero frequentato con lode la suddetta Accademia dell'Architettura, "per aver anche grande attinenza alla Architettura delle Acque".

comprendeva, oltre a una scuola di figura, una scuola di architettura nel cui ambito operarono importanti architetti ferraresi, da Francesco Mazzarelli, ad Antonio Foschini, ad Angelo Santini, ma anche professionisti come geometri, cartografi, giudici d'argine, tra i quali Ambrogio Baruffaldi, Giovanni Battista Minzoni, Giovanni Battista Freguglia. Il limite della nuova istituzione fu nel non riuscire ad assicurare un regolare insegnamento, fino a quando, nel 1771, fu sottoposta all'autorità e al governo del Collegio dei Riformatori dello Studio ed entrò a far parte dell'Università.

La formazione dell'ingegnere idraulico nell'ambito dell'università riformata. La Scuola di Idrostatica di Teodoro Bonati

Una risposta concreta all'esigenza di stabilire un percorso di studi finalizzato alla formazione di figure professionali specializzate nella regolazione delle acque fu data dalla riorganizzazione dei corsi e dei contenuti disciplinari della lettura di matematica dell'Università che accompagnò la riforma dello Studio Generale del 1771.⁵²

Nell'ambito dei provvedimenti adottati in tale anno da Monsignor Giovanni Maria Riminaldi, nella sua veste di Presidente dell'Università, la cattedra di matematica fu assegnata a Gianfrancesco Malfatti, trentino, già da diversi anni residente a Ferrara, impiegato come bibliotecario presso la casa del Marchese Celestino Bevilacqua.⁵³ È questo un avvenimento rilevante in quanto Malfatti, a differenza dei precedenti lettori di matematica, era un professionista della disciplina, un ricercatore, il cui nome era già noto a livello nazionale per gli studi sulla teoria delle equazioni algebriche.

Malfatti divenne ben presto il consigliere di Riminaldi per quanto riguarda la riorganizzazione degli studi matematici. Sollecitato a suggerire i cambiamenti che potessero contribuire al "maggior profitto, e comodo della Gioventù", Malfatti rilevava una peculiarità negli interessi del giovane ferrarese che "nell'intraprendere una tal carriera, tende principalmente a incamminarsi per la Scienza delle Acque, e della direzione de' Fiumi" e distingue due figure professionali, quella del semplice perito che ha qualche cognizione teorica elementare, da quella del "Matematico Idrostatico" che "nell'applicazione della quale ad alcun caso meno obvio e più difficile della sua Professione, conoscerebbersi agevolmente il salto che nella Teorica egli ha fatto".⁵⁴

La proposta di Malfatti consisteva in un percorso di studio quadriennale comprendente due corsi biennali, ciascuno con un proprio "lettore". Un docente avrebbe insegnato algebra e meccanica, ovvero geometria piana e solida, i teoremi di Archimede, trigonometria, sezioni coniche, geometria analitica e calcolo differenziale e integrale, nonché i fondamenti della meccanica,⁵⁵ statica, teoria dei pendoli, dinamica, un secondo docente avrebbe insegnato idrostatica e idrodinamica, compresa la teoria del livello e le altre operazioni che costituivano la pratica quotidiana dei Giudici e dei Notai d'Argine. Era inoltre necessario, secondo Malfatti, esercitare i giovani allievi nelle operazioni pratiche e nell'uso degli strumenti geodetici,

⁵² A. Fiocca, L. Pepe, *L'insegnamento della matematica nell'Università di Ferrara dal 1771 al 1942*, in *Università e cultura a Ferrara e Bologna*, Firenze, Olschki, 1989, pp. 1-78.

⁵³ *Gianfrancesco Malfatti nella cultura del suo tempo. Atti del Convegno*, Ferrara 23-24 ottobre 1981, Bologna, Monograf, 1982, pp. 396

⁵⁴ Le Riflessioni del Prof. Gianfrancesco Malfatti sulla Scuola di Matematica sono pubblicate in Appendice all'*Introduzione del Magnifico Rettore dell'Università di Ferrara: Gianfrancesco Malfatti nell'Università di Ferrara*, in *Gianfrancesco Malfatti*, cit. pp. 5-13.

⁵⁵ La Meccanica era, secondo Malfatti, "importante e necessaria a chi vuol essere denominato con verità Matematico, e vuol quindi passare all'incerta scienza dell'Acque, a cui è ben, che si presenti munito di tutti que' presidj, che possono ajutarlo ad indagare con qualche speranza in mezzo a tante tenebre qualche lume".

insegnare loro a livellare e a prendere in pianta. A tal scopo proponeva escursioni in campagna nei giorni di vacanza dallo studio, sotto la guida di un Notaio o un Giudice d'Argine, che avrebbe dovuto insegnare anche aritmetica pratica impartendo lezioni nella propria abitazione. Proseguiva inoltre Malfatti suggerendo:

E siccome pochi sono i Teoremi generali della Scienza delle Acque, rimanendo il restante involto in una deplorabile incertezza ed oscurità a segno, che ciascuna Provincia è obbligata, all'occasione, di fare degli esami particolari sulla natura de' suoi Fiumi e Torrenti, per ricavare dalla esperienza e dalla osservazione le più probabili congetture, così, dopo aver trattato delle Acque correnti, e de' Fiumi in generale, dovrebbe più particolarmente estendersi a parlare dei Fiumi del Ferrarese, instruendo i Giovani colle Mappe sotto gli occhi della loro origine, corso, caduta, sbocco, qualità di acque che portano, tempo ordinario delle loro piene, e di tutto ciò, che riguarda la maniera di ben regolarli, munirli di buone arginature &c: ... illustrando ogni cosa con ragioni Fisiche e Matematiche, ed appoggiando tutto alle men dubbie Teorie.

Le proposte di Malfatti furono attuate nel giro di pochi anni. Nell'Università ferrarese riformata si realizzò un percorso di ampio respiro per la formazione di quelli che oggi potremmo chiamare ingegneri idraulici, che produsse una schiera di tecnici modernamente preparati. L'innovazione fu certamente favorita dalla contemporanea soppressione della Compagnia di Gesù che dal 1675 con Francesco Lana Terzi manteneva il controllo della cattedra di matematica dell'Università e della formazione dei pubblici periti, giudici e notai d'argine.

L'insegnamento di idrostatica fu impartito per oltre trent'anni, dal 1773 al 1804, da Teodoro Bonati, che fu il tecnico di riferimento della città di Ferrara per i problemi d'acque, fin dalla visita guidata dal cardinale Conti nel 1671 alle acque delle tre Province di Ferrara, Bologna e Romagna.⁵⁶ La terza cattedra di geometria pratica ebbe invece diversi docenti, Ambrogio Baruffaldi fino al 1776, Ermenegildo Poppi fino al 1780, Luigi Passega (1743-1811).

È significativo il giudizio dato da Lagrange sullo sviluppo degli studi di idraulica alla fine del Settecento. Commentando gli scritti in materia d'acque pubblicati a Parma (sette volumi 1766-68) in una lettera ad Anton Maria Lorgna (Berlino 20 dicembre 1777), Lagrange vi ravvisava "esperienze e ragionamenti ancora troppo vaghi per poter servire da fondamento ad una teoria geometrica e rigorosa" e paragonava la scienza dei fiumi alla medicina pratica che, nonostante i progressi dell'anatomia e della chimica e nonostante la sua grande rilevanza, non era progredita molta dai tempi di Ippocrate.⁵⁷

Alcuni ricercatori, tra cui Teodoro Bonati, cercavano così, più che nelle teorie generali, in una serie di regole empiriche le soluzioni dei problemi del moto delle acque ponendo particolare attenzione alla costruzione di modelli e al perfezionamento di strumenti di misura. Il tema della velocità dell'acqua in un fiume in relazione alla profondità è centrale nel carteggio di Bonati con Antonio Maria Lorgna (1735-1796) direttore del Collegio militare di Verona e fondatore della Società Italiana delle Scienze, i cui interessi scientifici comprendevano la matematica, la fisica, la chimica, la meteorologia, l'ingegneria civile e idraulica.⁵⁸ Particolarmente attaccato da Bonati è il metodo del pendolo per la misura della velocità dell'acqua corrente consistente nell'immergere nell'acqua una sfera collegata a un filo e misurare l'angolo di deviazione del filo rispetto alla verticale. Esperimenti di questo genere erano stati svolti da Lorgna, ma anche da altri ricercatori, tra cui Domenico Guglielmini. Tutti avevano verificato l'aumento della deviazione del filo con la profondità di immersione del peso deducendo come conseguenza l'aumento della velocità dell'acqua dalla superficie verso il fondo. A sua volta Bonati, sulla base di esperimenti concepiti con un personale metodo, era giunto alla tesi contraria, ovvero

⁵⁶ L. Pepe, *Una biografia di Teodoro Bonati*, in T. Bonati, *Carteggio scientifico*, a cura di M.T. Borgato, A. Fiocca, L. Pepe, Firenze, Olschki, 1992, pp. 1-34.

⁵⁷ *Oeuvres de Lagrange*, t. XIV, Paris, Gauthier-Villars, 1892, p. 260.

⁵⁸ T. Bonati, *Carteggio scientifico*, cit., pp. 47-101.

che le velocità dell'acqua dalla superficie al fondo o sono sensibilmente uguali, fino a una certa profondità, o decrescono, inizialmente molto poco, poi maggiormente verso il fondo.

Nel 1760 era uscito alle stampe, a Parigi, un trattato *Experience sur le cours des fleuves*⁵⁹ in cui l'autore, Genneté, aveva preteso di dimostrare, sulla base di alcuni esperimenti, che raddoppiando la quantità d'acqua corrente in un canale, l'altezza dell'acqua restava invariata, essendo compensata da un aumento della velocità. In quegli stessi anni il dibattito sulla sistemazione del corso del Reno era ancora nel vivo e le tesi di Genneté, peraltro vantaggiose al progetto bolognese di immissione del torrente bolognese nel Po, cominciarono a circolare in Italia. Paolo Frisi inserì nella sua opera *Del modo di regolare i fiumi e i torrenti* un resoconto delle esperienze di Genneté,⁶⁰ che furono anche pubblicate in traduzione italiana nel tomo VI della *Raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acque*, stampata a Parma, nel 1768. Per dimostrare l'erroneità di quella teoria, Teodoro Bonati ripeté gli esperimenti a Ferrara in settembre del 1762, a Roma nei primi mesi del 1763, alla presenza di alcuni autorevoli personaggi.⁶¹ Nel secondo volume delle «Memorie di matematica e fisica della Società italiana», del 1784, Teodoro Bonati pubblicò uno dei suoi studi più importanti, il *Saggio di una nuova teoria del movimento delle acque, nei fiumi e nuovo metodo per trovare colla esperienza la quantità d'acqua corrente per un fiume*, in cui prendendo le mosse dal lavoro di Castelli, dopo aver analizzato criticamente la teoria del moto delle acque di Domenico Guglielmini, espone le sue considerazioni circa la scala delle velocità dell'acqua attraverso una sezione trasversale del fiume e illustra gli esperimenti condotti a sostegno della teoria.

Nell'ambito della riforma della pubblica istruzione della Repubblica Italiana approvata nel settembre del 1802, in tutto il territorio della Repubblica furono mantenute le sole Università di Bologna e Pavia, venendo soppresses le Università di Ferrara e di Modena. La stessa legge istituì a Modena una Scuola Speciale di Veterinaria e a Ferrara una Scuola Speciale di Idrostatica che rappresentò il riconoscimento governativo di particolari esigenze e competenze esistenti in questa città. Teodoro Bonati fu nominato professore di Idraulica della Scuola Speciale, aperta ufficialmente nell'aprile del 1804, contestualmente alla chiusura dell'Università.

Bonati già piuttosto anziano fu affiancato nell'insegnamento da un suo ex allievo, Luigi Gozzi. L'insegnamento comprendeva argomenti teorici, i fondamenti di meccanica, l'idrostatica, lo studio dell'efflusso dell'acqua dai vasi, e argomenti attinenti alla pratica della regolamentazione delle acque, costruzione di manufatti idraulici. L'attività di laboratorio doveva essere importante stando all'inventario delle macchine esistenti nella Scuola per gli esperimenti in conferma delle teorie che si insegnano, che elenca oltre settanta apparecchi, tra strumenti, macchine e modelli, di cui 25 per la statica e la dinamica, 10 per l'idostatica, 40 per l'idraulica e l'idrodinamica.⁶²

La Scuola Speciale di Idrostatica funzionò regolarmente per tutto il periodo napoleonico, ma non riuscì mai a decollare e a ottenere un riconoscimento legale adeguato della sua frequenza. Un anno di studi presso la scuola era infatti riconosciuto equivalente a uno dei due, tre o

⁵⁹ La traduzione italiana delle esperienze di Genneté si trova nella *Raccolta d'autori italiani che trattano del moto delle acque*, Parma, tomo VI

⁶⁰ *Del modo di regolare i fiumi e i torrenti*. L'opera ebbe diverse edizioni e fu ripubblicata nel tomo VI della *Raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acque*, Bologna, tip. Jacopo Marsigli, 1823, cfr. cap. III pp. 208 e sgg.

⁶¹ *Sperienze del Sig. Teodoro Bonati ferrarese in confutazione delle sperienze del Sig. Genneté intorno al corso dei fiumi*, in *Raccolta d'autori italiani che trattano del moto dell'acque*, tomo sesto, Firenze, 1769, pp. 501-538.

⁶² L'inventario delle Macchine della Scuola Speciale d'Idraulica è pubblica in appendice a: A. Fiocca, *La formazione dei giudici e dei notai d'argine a Ferrara. Dai primi provvedimenti istituzionali alla scuola d'idraulica di Teodoro Bonati*, in *La rinascita del sapere. Libri e maestri dello studio ferrarese*, a cura di P. Castelli, Venezia, Marsilio, 1991, pp. 367-384.

quattro anni di pratica presso un ingegnere abilitato, necessari per l'esercizio delle professioni di Perito agrimensore, Architetto civile e Ingegnere civile. Essa assolse tuttavia il suo compito formativo e dalla scuola uscirono alcuni giovani di talento, come Carlo Sereni, professore di geometria descrittiva prima nella Scuola degli Ingegneri Pontifici di Ferrara, poi quando questa fu chiusa, in quella di Roma, e Giovanni Tosi, valente architetto e professore nell'Università di Ferrara.

le scuole per gli ingegneri e i progetti per la navigazione lungo il Volano

Erede della Scuola Speciale di Idrostatica di Bonati fu la Scuola per Ingegneri aperta a Ferrara nel 1817 nell'ambito della riorganizzazione del settore dei lavori pubblici da parte del restaurato governo pontificio. Per la formazione degli ingegneri del Corpo degli Ingegneri Pontifici, istituito da Pio VII nel 1817, furono aperte due scuole, una a Ferrara e l'altra a Roma. Si trattava di scuole di specializzazione di durata triennale, e vi erano ammessi studenti che avessero completato il corso di studi fisici e matematici presso una delle due Università primarie dello Stato di Roma o di Bologna.⁶³

La scuola di Ferrara restò aperta solo due anni, mentre quella di Roma venne presto assorbita dall'Università, mutando radicalmente la sua fisionomia ispirata al modello francese dell'Ecole des Ponts et Chaussées, ma mantenendo la sua funzione originaria.

Un ulteriore tentativo di rilanciare gli studi di ingegneria a Ferrara fu l'apertura di una Scuola Speciale di Idraulica presso la Pontificia Università di Ferrara nel 1840. Se da una parte questa rappresentò il riconoscimento governativo dell'esigenza della Provincia di Ferrara di formare in loco personale specializzato in materia idraulica, dall'altra la nuova istituzione non ebbe un adeguato riconoscimento della sua frequenza, come già era successo alla precedente Scuola di Bonati. La mancata equiparazione alla scuola di Roma ai fini della formazione dei futuri ingegneri del Corpo Pontificio, fu all'origine della drastica riduzione delle iscrizioni che passarono da una ventina nel primo ciclo a poche unità nei cicli successivi. I primi docenti della scuola furono due ingegneri del Corpo degli Ingegneri Pontifici, Marco Ferlini per l'architettura e Luigi Mazzarini per la geometria descrittiva e l'idrometria.

Ferlini è autore di un progetto organico di riassetto del Po di Volano ai fini della navigazione estesa alle barche da mare, promosso nel 1839 dall'Amministrazione provinciale di Ferrara e appoggiato dalla camera di commercio.⁶⁴ L'esigenza di rilanciare il traffico commerciale lungo quest'arteria fluviale si era imposta con maggior forza dopo che i governi austriaco e pontificio avevano introdotto nuovi vincoli alla navigazione lungo il Po grande per fronteggiare l'emergenza del contrabbando.⁶⁵ Con l'apertura del canale di navigazione si sarebbe collegata al Po gran parte della Provincia, attraversata da ovest a est, per circa settanta chilometri, dal Volano e questo fiume sarebbe ritornato, come in passato, una delle migliori arterie di navigazione interna, con vantaggi per la Provincia e per la valle padana nel suo complesso.

Il progetto Ferlini comprendeva cinque piani di intervento: 1. scavare l'alveo del Volano, dal mare Adriatico a Ferrara, per renderlo navigabile alle imbarcazioni marine, 2. mettere in comunicazione il Po grande col Volano scavando un nuovo canale attraverso il Barco, tracciato a levante della città, anch'esso idoneo alla navigazione delle stesse imbarcazioni, e costruendo

⁶³ A. Fiocca, L. Pepe, *L'Università e le scuole per gli Ingegneri a Ferrara*, «Annali dell'Università di Ferrara», n.s., sez. VII, vol. XXXII, (1986), pp. 125-166.

⁶⁴ M. Ferlini, *Progetto e Piani in prevenzione sul bonificamento della navigazione del Po di Volano nella Provincia di Ferrara*, Ferrara, 1840.

⁶⁵ G. Savioli-E. Spinelli, *Il progetto Ferlini per ripristinare la navigazione del Volano (1837-39)*, «Padania» a. IV, 1990, n. 8, pp. 118-132:123.

un sostegno a conca in prossimità dell'ingresso nel Po, a Pontelagoscuro, 3. aprire una derivazione d'acqua nei pressi dello sbocco del Panaro in Po, per alimentare il Volano che, grazie ai quattro sostegni esistenti, era bacinnizzato fino a Tieni, 4. aprire e mantenere in funzione la foce del Volano. Era anche prevista una navigazione lungo il Poatello, cioè all'estremità ovest della città, limitata alle barche fluviali, mantenendo un'altezza d'acqua sul fondo non inferiore a 1,2 metri. Volendo evitare lo scavo del canale di derivazione dell'acqua e i lavori lungo il Poatello, Ferlini riprendeva un precedente progetto dell'ingegnere Luigi Gozzi del 1826, e proponeva di derivare l'acqua dal Po con una chiavica a Pontelagoscuro.⁶⁶

Il progetto Ferlini non fu attuato, nonostante il generale consenso allora incontrato, tuttavia la realizzazione di un porto a Ferrara e, più in generale, il tema della navigazione interna riappaiono ciclicamente. Negli stessi anni in cui Ferlini elaborava il suo progetto, Carlo Cattaneo sollevava il tema del trasporto fluviale nelle province lombarde nelle pagine del *Politecnico*, presentando il prospetto della navigazione interna delle province lombarde da integrare con un nuovo canale tra la Martesana e l'Oglio, collegabile in seguito col Mincio e destinato a servire le aree industriali da Brescia a Lecco.⁶⁷ Alcuni anni più tardi, nel 1882, l'ingegnere Guglielmo Jervis, conservatore del Regio Museo Industriale d'Italia di Torino e membro della Società Geologica Italiana, nell'ambito di un progetto di regolazione delle piene dell'Adige e del Po, inteso anche a migliorare la navigazione tra la Lombardia e l'Adriatico, riprese l'idea di un canale di raccordo tra il Po grande e il Volano tracciato, come già nel progetto di Marco Ferlini, a levante della città.⁶⁸

Il progetto di massima di collegare i due fiumi con un canale a est di Ferrara fu definitivamente abbandonato nel 1902 quando, dopo essere stato riproposto dall'ingegnere del Genio Civile, Erminio Cucchini, fu bocciato dal Comune di Ferrara sulla base delle mutate realtà idraulica ed economica della città e per ragioni legate al suo futuro sviluppo.

Su incarico del Comune, nel 1910 l'ingegnere Giovanni Boicelli, capo dell'Ufficio Tecnico Provinciale, compilava un nuovo progetto di massima, sviluppato nei dettagli quattro anni dopo, e in una nuova versione nel 1917, in cui il tracciato del nuovo canale di collegamento del Volano al Po si sviluppava a ponente della città.⁶⁹ Il nuovo canale era progettato per consentire la navigazione alle barche con pescaggio a pieno carico di 1,80 metri e capaci di trasportare fino a 250 tonnellate, in seguito portate a 600 per armonizzarsi coi progetti per la linea navigabile Milano-Venezia.⁷⁰ Il canale si distaccava dal Po a Pontelagoscuro, 200 metri a monte del ponte in ferro interprovinciale sul Po, ed entrava nell'emissario di Burana presso Mizzana. L'alimentazione del canale e del Volano era assicurata dall'emissario di Burana e, in caso di necessità, dall'acqua del Po derivata per mezzo delle chiaviche Pilastresi. Una biconca all'incile del canale a Pontelagoscuro avrebbe permesso all'occorrenza di dividere il dislivello fra l'altezza normale dell'acqua nel canale e quella massima del Po consentita per l'esercizio

⁶⁶ Nel 1864 il Consiglio Provinciale rinnovava il suo interesse per il progetto di derivazione dell'acqua dal Po per alimentare il Volano, con obiettivi ridotti: assicurare la navigazione perenne alle barche che già vi navigavano, portare in città l'acqua potabile per gli usi domestici e alimentare la fossa del castello. Si veda I. Zatti, *Sulla derivazione di acqua dal Po di Lombardia per la navigazione del Po di Volano e per altri usi della provincia di Ferrara proposto dall'ingegnere primario provinciale e rapporto della 1ª sezione del consiglio provinciale*, Ferrara Tip. Bresciani, 1865.

⁶⁷ C. Cattaneo, *Prospetto della navigazione interna delle province lombarde con alcune notizie sulla loro irrigazione*, «Il Politecnico. Repertorio mensile di studi letterari, scientifici e tecnici», settembre-ottobre 1841, a. II, vol. IV, fasc. XXIII, p. 440.

⁶⁸ G. Savioli-E. Spinelli, *Il progetto Ferlini*, cit. p.121.

⁶⁹ *Il canale "G. Boicelli" e la navigazione interna in provincia di Ferrara*, Ferrara, Industrie Grafiche Italiane, 1921.

⁷⁰ Ministero dei Lavori Pubblici, *Commissione per lo studio delle questioni attinenti alla navigazione del Po per natanti di almeno 600 tonnellate, Relazione ed allegati*, Parma, Premiate Tip. Riunite Donati, 1924.

della navigazione, che poteva essere di oltre 4 metri, mediante la manovra delle tre coppie di portoni di ferro.

Il progetto ultimo fu approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici il 15 ottobre 1917. Con le varianti apportate successivamente dall'ingegnere Antonio Cristofori, superati alcuni momenti di difficoltà, il canale e la biconca a Pontelagoscuro furono ultimati e nel 1932 Ferrara veniva collegata nuovamente per via d'acqua al Po grande.⁷¹

Dopo l'Unità d'Italia. La prima livellazione sistematica del corso del Po da Moncalieri al mare

Dopo l'Unità d'Italia le vicende degli studi di ingegneria a Ferrara vanno considerati nel contesto della riorganizzazione degli studi tecnici superiori che fu uno dei grandi temi del dibattito sulle Università degli anni 1860-1880. Due diversi orientamenti si fecero strada: da una parte si spingeva affinché l'insegnamento tecnico superiore fosse concentrato nelle sole sedi di Milano e Torino, che sarebbero state potenziate per rispondere alle esigenze dello sviluppo industriale, dall'altra vi erano le rivendicazioni di sedi universitarie quali quelle di Padova, Bologna, Pisa, Napoli, Roma e Palermo per i loro precedenti storici nell'insegnamento tecnico superiore. Inizialmente prevalsero queste istanze particolaristiche e in questo indirizzo generale va visto il tentativo di istituire a Ferrara una Scuola tecnica per il Corpo del Genio Civile, statale a tutti gli effetti, secondo il decreto del governatore dell'Emilia Luigi Carlo Farini del 14 febbraio 1860. Difficoltà di varia natura ritardarono i tempi e quando la discussione sull'opportunità di aprire la scuola, nel frattempo convertita in Scuola di Applicazione per Ingegneri Idraulici, giunse alla Camera dei Deputati il 14 maggio 1873, ebbe esito negativo. Si trattava di una decisione ispirata a una politica generale nemica del localismo come dimostrano le difficoltà incontrate in quegli stessi anni da altre sedi universitarie come Pisa e Bologna. Per contro si andava sempre più affermando l'Istituto Tecnico Superiore di Milano, oggi Politecnico, inaugurato nel 1863.⁷²

L'unificazione sotto un unico stato dell'intero bacino del Po ha permesso, in questi stessi anni, la realizzazione di un'impresa senza precedenti, per ampiezza, sistematicità e completezza. Si tratta del primo rilievo del corso del Po da Moncalieri al mare deliberato dalla Commissione tecnico-scientifica per lo studio del bacino idraulico del Po istituita con R. Decreto del 16 febbraio 1873 che svolse i suoi lavori tra il 1873 e il 1880.

La necessità di uno studio globale del bacino del Po si era imposta con urgenza dopo gli ultimi fatti disastrosi accaduti nel 1872, un anno caratterizzato da frequenti piene del Po, rotte negli argini, tra cui quella particolarmente disastrosa di Guarda Ferrarese del 28 maggio 1872, e tracimazioni d'acqua che portarono allagamenti estesi nelle province di Ferrara, Modena e Mantova.⁷³

A presiedere la Commissione fu nominato Francesco Brioschi (1824-1897), direttore dell'Istituto Tecnico Superiore di Milano. Brioschi si era laureato in matematica all'Università di Pavia e in questa università aveva insegnato fino al 1863. Sostenitore della necessità della

⁷¹ L. Luppi-G. Ravalli, *Pontelagoscuro e l'Idrovia ferrarese*, in *Il Lago-scuro ponte per la città*, a cura di M. Peron e G. Savioli, Ferrara, edizioni Arstudio, 1987, 103-108; M. Peron, *La «Variante A. Cristofori» al progetto Boicelli*, *Ivi*, pp. 109-115.

⁷² A. Fiocca, L. Pepe, *L'Università e le scuole*, cit.

⁷³ Sulle piene del Po del 1872 hanno scritto in molti, tra questi: E. Lombardini, *Sulle piene e sulle inondazioni del Po nel 1872*, «Rendiconti Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere», serie II, vol. V (1872), pp. 1135-1139; P. Barilari, *Le inondazioni in Italia*, estratto da «Nuova Antologia», nov. 1872; A. Bottoni, *Appunti storici sulle rotte del basso Po dai tempi romani a tutto il 1839 e relazione di quelle di Guarda e di Revere nel 1872*, Ferrara, Tipografia Sociale, 1873. .

partecipazione dei tecnici nell'amministrazione pubblica, dopo la formazione del Regno d'Italia collaborò in varie forme coi primi governi unitari: fu segretario generale del Ministero della pubblica istruzione partecipando attivamente alla politica scolastica e collaborando all'elaborazione della legge Casati, diresse, oltre alla Commissione per lo studio del bacino idraulico del Po, anche un'analoga Commissione per lo studio del Tevere e l'inchiesta ferroviaria del 1878, prese parte all'elaborazione del nuovo catasto.

Il rilievo del bacino del Po fu realizzato tra il 1874 e il 1875 dagli Uffici del Genio Civile di Torino, Pavia, Milano, Cremona, Piacenza, Mantova, Parma, Reggio Emilia, Rovigo e Ferrara, sotto la direzione dell'ispettore del Genio Civile, Pacifico Barilari.

Il rilievo rappresentò un punto di svolta nello studio delle condizioni fisiche dei fiumi, precedentemente frammentario, non coordinato e condotto sui singoli fiumi da singoli studiosi, Lombardini per il Po, Brighenti per il Reno, Paleocapa per i fiumi veneti e fu il cardine su cui si sarebbero basati per molti anni a venire gli studi per la riorganizzazione idraulica del bacino del Po.

Il piano programmatico e i primi risultati furono esposti all'Accademia dei Lincei nel 1876 da Pacifico Barilari, vice presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ispettore del Genio Civile e principale estensore della cartografia prodotta dalla Commissione. I lavori della commissione vennero presentati in veste definitiva all'Esposizione nazionale di Milano del 1881. In tale occasione furono aggiunti i dati relativi alle portate del Po, i profili longitudinali delle sponde e delle arginature, i profili trasversali del fiume.⁷⁴

Pacifico Barilari (Pesaro 1813-1898) aveva prestato servizio come Ingegnere capo in Provincia di Ferrara, ed era stato commissario pontificio per la libera navigazione del Po prima dell'Unità d'Italia. Negli anni 1858-60 si era occupato del regime idraulico del Reno con due memorie a stampa in cui denunciava la situazione del torrente bolognese, e auspicava una dettagliata statistica, una storia minuta del Reno, che "sarebbe una guida più certa di tutte le teorie che la idraulica dei fiumi possiede, spesso inaffidabili."⁷⁵ Nel 1860 fu nominato ispettore del Genio civile a Torino e fu poi per molti anni presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici a Roma.⁷⁶ Fu socio dell'Accademia Nazionale dei Lincei dal 1873 e fu nominato dal governo ungherese membro della commissione istituita per studiare misure di difesa dalle acque della città di Szeghedino e per studi sul Danubio e sulla Tisza.⁷⁷

Obiettivo principale del rilievo del corso del Po era la realizzazione della giacitura planimetrica e altimetrica del fiume da Moncalieri al mare, estendendo la livellazione anche ai principali influenti e alle diramazioni alle foci. Le operazioni condotte dagli ingegneri del Genio civile coadiuvati da allievi delle scuole di applicazione si conclusero nel 1875. Il materiale pubblicato nel 1887 comprendeva:⁷⁸

1. corografia del fiume Po, bacino e influenti in scala 1:400.000 (3 carte)

⁷⁴ M. Canella, *La commissione tecnico-scientifica per il Po (1873) e l'opera di Francesco Brioschi*, «Padania», anno IV (1990), n. 8, pp. 133-147.

⁷⁵ *Sul Reno e sui provvedimenti da adottarsi. Memoria del cavaliere Pacifico Barilari*, Ferrara, Bresciani, 1858; *La piena del Reno bolognese del 27 dicembre 1859 e la rotta al froldo Passerino, lettera dell'ingegnere in capo di Ferrara P. Barilari al signor B. Dausse, ingegnere in capo di Ponti e Strade*, Ferrara, Bresciani, 1860.

⁷⁶ F.G. Tricomi, *Matematici italiani del primo secolo dello stato unitario*, «Memorie dell'Accademia delle Scienze di Torino», classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, serie IV, tomo I, 1962-1966, p. 14.

⁷⁷ *Sulle relazioni della commissione per gli studi sulla Tisza, sul Danubio, e sulle difese della città di Szeghedino*, «Memorie dell'Accademia dei Lincei», classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, serie III, vol. V 1880.

⁷⁸ Ministero dei Lavori Pubblici- Direzione generale delle opere idrauliche, *Livellazione del fiume Po da Moncalieri al mare eseguita negli anni 1874 e 1875 dagli Uffici del Genio Civile di Torino, Pavia, Milano, Cremona, Piacenza, Mantova, Parma, Reggio Emilia, Rovigo e Ferrara per deliberazione della Commissione tecnico-scientifica istituita con R. Decreto 16 febbraio 1873 sotto la direzione dell'Ispezzore del Genio Civile comm. P. Barilari e pubblicata per cura della Direzione generale delle opere idrauliche*, Firenze, Istituto Geografico Militare, 1887.

2. profilo di livellazione del fiume Po da Moncalieri al mare Adriatico per la foce di Tolle in scala 1:400 per le altezze e 1:400.000 per le distanze, comprendente i capisaldi, le sommità degli argini, il livello di massima piena del 1872, i piani di campagna e quelli delle golene il pelo d'acqua in stato di magra (3 carte)
3. 89 sezioni trasversali rilevate nel tronco dal principio delle arginature di seconda categoria al caposaldo di Bastida dei Dossi sopra Pavia al mare in scala 1:400 per le altezze e 1:4000 per le larghezze (16 carte).

Grazie al rilievo effettuato fu possibile per la prima volta uno studio organico dell'intero bacino del Po, su cui fondare una generale progettazione di interventi per l'utilizzo delle risorse idrauliche e la difesa fluviale. Il lavoro, inoltre, rappresentando il primo rilievo della soglia storica del Po, ha fornito la base scientifica per analizzare gli effetti che vengono prodotti sull'andamento del fiume dagli interventi artificiali, come arginature, disboscamenti, deviazioni di corso degli influenti, ecc. e per studiare in generale le trasformazioni del fiume.

Elia Lombardini, presidente onorario della Commissione per lo studio del bacino idraulico del Po del 1873, fu tra i primi e principali sostenitori dell'idea di avviare costanti osservazioni estese all'intera rete idrica, condotte da appositi apparati statali. I suoi auspici si concretarono nel secondo decennio del secolo XIX. Nel 1918 fu istituito il Servizio Idrografico Italiano per le osservazioni idrografiche in tutto il territorio del Regno presso il Ministero dei Lavori Pubblici, inglobando due Uffici regionali preesistenti, uno per le Province venete e di Mantova istituito nel 1908 alle dipendenze del R. Magistrato alle Acque, l'altro per il bacino del Po istituito nel 1913.⁷⁹ L'attività svolta nel primo decennio fu particolarmente apprezzata anche internazionalmente: nella terza Assemblea Generale della Unione Geodetica e Geofisica Internazionale (Praga, 1927), Jan Smetana dichiarò: «J'attire encore l'attention sur les nombreuses publications du Service hydrographique italien, qui peuvent servir de modèle. Il faut admirer l'essor extraordinairement rapide des recherches en Italie dans les dernières années, le travail intense, imposant et la direction scientifique des recherches ».⁸⁰

⁷⁹ *Il servizio idrografico italiano. Cenni sull'organizzazione e sull'attività*, Roma, Provveditorato Generale dello Stato, 1928.

⁸⁰ *Ivi*, p. 14.

APPENDICE

Lettera di Pier Francesco Clementi da Corinaldo al Pontefice Gregorio XIII, in copia con firma autografa, senza data ma del 1579.

Biblioteca Universitaria di Bologna, Ms. 3933, n. 20

Beatis.o Padre

Io Pier Francesco Clemente humile et divoto servo di V. B.ne vengo alli suoi S.mi piedi per renderli conto di quanto per ordine di S.S.tà s'è fatto assieme con Mons.r R.mo della Cava in Ferrara, per potersi certificare, secondo il desiderio de i SS.ri Bolognesi da una parte, et li SS.ri Ferraresi dall'altra se il ramo del Po che va a Ferrara sia arenato et sia anco per arenarsi più di maniera tale che si perda la navigatione; et si bene per alcuni avertimenti mandati a V. S.tà da Mons.r della Cava et da me di Giugno prossimo passato, si può raccogliere la conclusione chiara: nondimeno, per discorrere un poco più chiaramente sopra di tal materia dico a V. S.tà che per l'essatta cognitione di questi quesiti, arrivato in quelle parti, non ho mancato con quella maggior diligenza s'è potuto, con questa mia inferma e debole vecchiezza vedere il tutto minutamente; et in oltre ho giudicato che importi molto, per venire alla cognitione di questo fatto, considerare diversi stati di quel Fiume causati dalla diversità de tempi, quali ben intesi facil cosa sarà ritrarne sicure et vere conclusioni. Dico adunque che nel Po si possono considerare tre stati e tempi; il primo avanti che si dividesse in due rami appresso Figherolo; l'altro dopo questa divisione sino a questo tempo. Il terzo è lo stato presente.

Del primo si dice che avanti all'anno mille e cento novanta doi tutto il Po era raccolto nell'alveo che va hoggi a Ferrara tal che di ramo ch'è hoggi serviva all' hora a ricevere tutto il tronco conducendolo al suo fine, cioè al mare con tutta la sua acqua.

Il secondo stato di esso Po è dalla divisione nel anno 1192 sopra la punta di Figherolo che spiccandosi dal tronco et levandosi quel ramo che va a Venetia, o per arte, o per accidente, è andato acquistando forza di modo che non solo ha adeguato ma superato il ramo di Ferrara. Perché all'acquisto ch'andava facendo del maggior corpo d'acqua s'è aggiunto nel Po di Ferrara il Reno alviato, come ne consta dall'istrumento fatto sopra ciò nel anno 1522, ch'ha rubbato al'acqua del ramo di Ferrara la profondità riempiendolo et facendolo reimpire dal Po et da Panaro il letto suo, come nelli detti avertimenti fu referto a V. S.tà da Mons.r R.mo della Cava et da me; con che ha sforzate l'acque del tronco a camminare per il ramo di Venetia, dove non era tale impedimento; et ha fatto quel danno il Reno al Po di Ferrara dal 1522 sino al 1579 che è il spatio d'anni 57 che non havea fatto la rotta di Figherolo del 1192 sino al 1522 che sono anni 330 sendo stato il ramo di Ferrara sufficiente nel'anno 1509 alla navigatione delle quindeci Galere che tolse il S.or Duca Alphonso secondo⁸¹ alli Sig.ri Venetiani nella rotta della Polisinella, come describe il Giovio nella vita di detto S.or Duca Alphonso.⁸²

Il terzo stato presente di questi dui rami, per scandagli fatti con molta diligenza nel uno e nel altro ramo in quattro punti diversi nello stato mediocre et di escrescenza, si ritrova il corpo dell'acqua considerata et misurata la sua latitudine et profondità riquadrata et moltiplicata, come si ricerca, si trova essere nel ramo di Venetia piedi d'acqua riquadrati Nove mila ducento cinquanta quattro et di più si trovò nel muro della chiavica Nicolina che al tempo della maggiore escrescenza, può arrivare a piedi diciott' milia ducento sessanta quattro. All'incontro fu scandagliato e misurato parimente il corpo dell'acqua del Po di Ferrara, quale si trovò havere nel stato mediocre, nel tempo che si scandagliarno, piedi mille quattrocento otto e tre

⁸¹ In realtà si tratta di Alfonso I d'Este.

⁸² P. Giovio, *Liber de vita et rebus gestis Alfonsi Atestini Ferrariae principis a Paulo Giovio conscriptus*, Florentiae, excud. Laurentius Torrentinus, 1550.

quarti, tal che paragonando l'un ramo all'altro di tutta l'acqua che ha il tronco, il ramo di Venetia ha delle sette parti, sei in circa; et quello di Ferrara all'incontro resta con una o poco più, e ciascuno di questi rami vanno proportionando il loro alveo et letto nella profondità e larghezza conforme al valore e potenza delle sue acque con la forza et grandezza de lor corpi, tal che il ramo di Ferrara per dette cause nel suo alveo et letto s'è inalzato et ristretto. Hor da questi stati si raccoglie che il ramo di Ferrara sia arenato di maniera che chi volesse ritornarvi l'acqua che haveva prima che fosse fatta la divisione l'alveo del ramo di Ferrara, come già fatto incapace abbonderebbe di maniera che allagarebbe tutti quei paesi et anco la città di Ferrara andrebbe a molto pericolo di sommergersi.

Dal secondo stato di questo fiume si può anco concludere sicuramente che essendo il ramo di Venetia diventato tiranno, in breve tempo sia per sorbire tutta l'acqua et lasciare il ramo di Ferrara innavigabile et questo si può considerare che havendo riguardo a quello che ha fatto detto ramo di Venetia et massimamente dell'anno 1522 che fu posto il Reno nel Ramo di Ferrara ha occupato delle sette parti le sei dell'acqua che farà hora che trova la debolezza di detto Po di Ferrara; certo chi proportionasse la quantità del tempo et la quantità delle acque conosceria che poco tempo basteria ad estinguere totalm.te quel poco di vita che resta al ramo di Ferrara.

Resta a discorrere che quantità può capire nelli due rami, cioè quello di Venetia e di Ferrara, e chiascun da per se nel tempo della lor maggiore escrescenza: dico che il ramo di Venetia si trova esser capace di piedi diciotto mila ducento sessanta quattro, quale s'è trovato in questa forma, che nel giorno che si scandagliò l'acqua del detto ramo in quattro scandagli, come appare nella carta del libro de' scandagli, si trovò piedi nove milia ducento cinquanta quattro: et in oltre si trovò nel muro della chiavica Nicolina il segno della somma et maggior escrescenza, poter crescere et inalzarsi piedi undeci e mezzo sopra l'acqua che si trovò havere et poter crescere piedi nove milia e dieci quali giunti insieme fanno piedi diciotto milia ducento sessanta quattro; et il tutto appare nel libro de scandagli nella prima car.

Il ramo di Ferrara alli tre di Maggio prossimo passato si scandagliò dalli deputati ferraresi et bolognesi e trovorno haver piedi riquadrati mille quattro cento e otto e tre quarti, alli quali aggiungendosi l'acqua della somma escrescenza sua che si trovò in una tavoletta di marmo quale è posta nel muro della città appresso la porta del castello Tealto nella quale si trovò che poteva crescere et inalzarsi insino al mezzo della tavoletta dove che si trovò esser piedi sei e mezzo quali moltiplicati con la sua larghezza che sono piedi trecento e dieci, fanno piedi riquadrati due milia e quindici et questi aggiunti con li mille e quattro cento e otto ascendono a piedi riquadrati due⁸³ milia quattro cento venti tre e tre quarti p.i 3423 $\frac{3}{4}$.

Da questo dunque si può chiaramente concludere che essendo il ramo di Venetia poco meno di settoplo in proportionione et in superiorità al ramo di Ferrara è necessario che si conceda che la potenza di detto ramo sia superiore al ramo di Ferrara in proportionione sopra detta, affermandocosi Euclide nel suo trattato de levi et ponderoso nel 2.° theorema.⁸⁴

Ne segue in oltre che il detto ramo di Venetia manterrà sempre et per sempre il suo alveo netto per la sua molta potenza per havere assai minori impedimenti, come attesta il medemo Euclide nel detto luogo mentre dice eorumdem genere corporum, si ipsa inter se erunt multiplicia, erunt aque virtutes eorum multiples.

Che diremo dunque del ramo di Ferrara povero d'acqua, et in conseguenza poveriss.o di potenza, ricco d'impedimenti, meschino di valore, che non può levare dal suo alveo gl'impedimenti almeno accidentali come al sicuro levarebbe si non li fusse stata levata la potenza con la quale guardava et difendeva il suo luogo, avanti che fusse fatta la divisione delli

⁸³ In realtà tre, come poco dopo lo stesso Clementi afferma.

⁸⁴ Il testo di quest'operetta con traduzione inglese a fronte si può trovare in: E.A. Moody, M. Clagett, *The Medieval Science of Weights*, Medison, 1952, pp. 26-31.

dui rami alla punta di Figherolo et che vi fusse posto il Reno se non che a fatto si perderà la navigatione et ben presto in danno universale di tutta Italia non che delli circonvicini se la prudenza et valore di V. B.ne non vi provvede con quei rimedij che sono facilissimi et sicuris.i, non solo senza danno, ma con utilità evidentissima delli SS.ri Ferraresi et Bolognesi come a me dà l'animo di mostarre a V. B.ne confidato nella lunga esperienza che ho fatta in altre bonificationi operate mediante l'aiuto del Sig.or Iddio per ordine di diversi sommi Pontefici, a Foligno, alle Chiane, alla Nera et altrove con la candidezza dell'animo che conviene a questa mia etade et che si deve a V. B.ne che tiene il luogo in terra di quello che è Via, Verità et Vita.
Quam deus ad vota conservet

Io pier franco Clementi da Corinaldo humilissimo servo di V. B.ne a fermo quanto di sopra esser mio parere et giuditio