

Cesare S. Maffioli

GLI ALBORI DELLA FISICA MODERNA E L'IDRAULICA DEL TARDO RINASCIMENTO

a) INTRODUZIONE

Lo sviluppo simbiotico di arti e scienze fisico-matematiche è uno dei messaggi chiave del Rinascimento. Dalla metà del Cinquecento, per altro, tale sviluppo assunse nuovi contorni e si indirizzò lungo tracciati inusueti. L'artefice della simbiosi rinascimentale tra arti e scienze, l'artista-ingegnere quattrocentesco, venne gradualmente sostituito da figure professionali dalle competenze più ristrette e specialistiche. Editori-curatori-traduttori-commentatori-docenti dei principali testi della matematica greca e della tecnica romano-ellenistica stavano contribuendo, dal canto loro, a diffondere le conoscenze e ad affinare le sensibilità matematiche dei tecnici e dei loro committenti. Tra gli artisti saranno soprattutto gli architetti a mantenere uno stretto contatto con le matematiche. Sia nell'Italia settentrionale che in Francia, essi si dissociarono dal modello toscano dell'artista-architetto che trovava nell'arte del disegno, alla stessa stregua del pittore e dello scultore, il fondamento della propria professione. Rifacendosi al classico modello vitruviano, i nuovi professionisti dell'arte delle costruzioni vedevano nelle matematiche e nelle arti liberali una via per emergere quali figure indipendenti, un modo per emanciparsi sia dalle botteghe artigiane sia da quei maestri-artigiani a cui l'etimologia del termine l'architettura e la formazione pratica sul campo sembravano ancorarli.¹

Tra i tecnici e gli esperti chiamati ad intervenire in affari d'acque il modello della specializzazione delle competenze seguì direttrici che, sebbene legate ai trend prevalenti tra gli architetti e gli ingegneri, mantennero e svilupparono caratteri propri. Nella seconda metà del Cinquecento il ritorno alla terra, sostenuto dalla pressione demografica e dallo spostamento degli investimenti verso l'agricoltura, aveva determinato nella padana orientale e nelle valli venete dell'Adige una vera e propria corsa alle bonifiche.²

Strettamente associati alle opere di bonifica, se non ad essa preliminari, erano gli interventi di regolazione e controllo dei fiumi, materia delicata che spesso comportava accese discussioni e accurate perizie tecniche per cercare di

¹ Catherine Wilkinson, "The New Professionalism in the Renaissance", in Spiro Kostof (edited by), *The Architect: Chapters in the History of the Profession*, New York, Oxford University Press, 1977, pp. 124-160, in part. pp. 134, 140-142; Pamela O. Long, "The contribution of architectural writers to a 'scientific' outlook in the fifteenth and sixteenth centuries", *The Journal of Medieval and Renaissance Studies*, XV (1985), pp. 265-298, in part. p. 267. Si noti che per Vitruvio il 'disegno' era una tra le tante competenze o doti che doveva possedere l'architetto e non, come ad esempio per il Vasari, l'elemento costitutivo della figura dell'artista. Nel suo commento a Vitruvio, d'altra parte, Daniele Barbaro arrivò a far dipendere il disegno e la stessa 'peritia dei lineamenti' dalla geometria (*I Dieci Libri dell'Architettura di M. Vitruvio tradotti et commentati da Monsignor Barbaro ...*, Venegia, Per F. Marcolini, 1556, p. 10). L'etimologia di architettura è sempre discussa dal Barbaro nel commento al Proemio del Libro I: "Architettura è nome Greco di due voci composto delle quali, la prima significa principale, & capo: la seconda fabro ò artefice, & chi volesse bene volgarmente esprimere la forza del detto nome, direbbe capo maestra" (*Ibid.*, p. 7).

² Franco Cazzola, "Le bonifiche nella Valle Padana: un profilo", *Rivista di storia dell'agricoltura*, XXVII (1987), 2, pp. 37-66, in part. pp. 43-60.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

addivenire ad un accordo tra le parti (le controversie sulle diversioni dei fiumi non riguardavano solo comunità locali o interessi particolari, e divennero oggetto delle attenzioni di principi, città e stati). Niente di più naturale che in questo contesto si sviluppassero le professioni dell'architetto e dell'ingegnere idraulico. Meno scontata è, viceversa, la partecipazione dei matematici alle controversie sulle acque.³ Quella di matematico era nel tardo Rinascimento una professione ancora meno ben definita di quella di architetto e di ingegnere. I nostri personaggi in molti casi erano docenti di matematica (di scuole pubbliche o private di livello medio-universitario, sia laiche che religiose), ma a volte negli affari d'acque intervenivano matematici e filosofi di corte che fungevano da consiglieri dei principi, mentre in altri casi ancora si trattava di semplici cultori delle matematiche che operavano all'interno delle professioni tecniche.⁴ Comunque sia, questa l'invasione è localizzata e concentrata di geometri-filosofi nell'arte delle acque trova pochi riscontri, e per qualità della partecipazione e per le ricadute in campo scientifico, in altre arti tardo-rinascimentali ad alto contenuto matematico (cf. *infra*, § 2).

Le barriere tra matematica e filosofia naturale, così saldamente edificate dalla tradizione aristotelica, così sottilmente mantenute e rafforzate dai dibattiti scolastici sulla certezza delle matematiche e sulla loro contemporanea inadeguatezza epistemologica ad afferrare le strutture del reale, nel tardo Rinascimento si stavano lentamente ma inesorabilmente sgretolando. Le matematiche ed i metodi quantitativi avevano sì giocato un ruolo nella fisica dell'antichità classica e del Medioevo, ma si era pur sempre trattato di un ruolo subalterno, strumentale e propedeutico. Sarà solo con l'avvento della fisica moderna, di cui nell'epoca tardo-rinascimentale si distinguevano gli albori, che le matematiche faranno il loro effettivo e reale ingresso nello studio della natura e delle sue meraviglie. In parte non trascurabile, come lo storico americano Richard S. Westfall ha ricordato in uno dei suoi ultimi interventi, ciò si dovette alla diffusione e alla domanda di tecnologie (o meglio, arti) ad alto contenuto matematico.⁵ I matematici non si limitarono, in effetti, ad offrire consulenze in

³ Uno dei primi casi di intervento dei matematici in affari d'acque, e certamente il più significativo per durata, numero e fama dei personaggi coinvolti, e ricaduta del dibattito sul versante scientifico, fu la controversia che riguardò il fiume Reno. I primordi tardo-rinascimentali sono studiati in Cesare S. Maffioli, "La controversia tra Ferrara e Bologna sulle acque del Reno. L'ingresso dei matematici (1578-1625)", in Alessandra Fiocca (a cura di), *Giambattista Aleotti (1546-1625) e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki, (in corso di pubblicazione), pp. 237-265.

⁴ Solo a partire dalla metà del Seicento, quando l'idraulica aveva ormai assunto forma di scienza fisico-matematica, verrà riconosciuta ai 'professionisti' della matematica una precisa funzione nella gestione delle acque, tanto da istituire per essi apposite cariche e uffici. Su questi aspetti si veda Cesare S. Maffioli, *Out of Galileo: The Science of Waters 1628-1718*, Rotterdam, Erasmus Publishing, 1994, *passim*.

⁵ "During the sixteenth and seventeenth centuries, - così si legge all'inizio di "The Background of the Mathematization of Nature", comunicazione presentata da Westfall ad un convegno di studi newtoniani tenutosi a Cambridge, MA, nell'autunno 1995 - quantification, quantitative precision, mathematics in

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

campo tecnico. Rovesciando i termini del discorso, essi trasformarono interi rami di competenza della tecnica in oggetti della filosofia naturale, incorporandoli all'interno delle scienze matematiche. Questo e non altro è, per la storia della scienza, il senso profondo delle incursioni di Tartaglia e Galileo nel campo della balistica, e di Castelli e Cabeo nel campo dell'idraulica dei fiumi. La differenza tra i due casi è comunque significativa. Tartaglia e Galileo rimasero degli inesperti nell'arte delle armi da fuoco e non polemizzarono contro gli artiglieri ma, semmai, contro i filosofi,⁶ mentre Castelli e Cabeo acquisirono via via una buona competenza nell'arte delle acque a causa delle numerose beghe professionali in cui saranno coinvolti, e costruirono la loro scienza in aperta polemica con l'idraulica rinascimentale.

Per accostare il nostro tema, e per coglierne appieno aspetti e sfaccettature diverse, abbiamo 'saggiato' tre linee di approccio tra loro complementari. La prima si fonda su un approccio di tipo statistico-descrittivo, utilizzando materiali bio-bibliografici e studi d'ambiente. E' la linea che Pietro Riccardi, nella Parte II della *Biblioteca Matematica Italiana*, e Richard S. Westfall hanno seguito ad oltre un secolo di distanza uno dall'altro, e che riproporremo, con qualche integrazione e correzione, nei §§ 2-3. Il secondo approccio è di tipo disciplinare-comparativo, ed è basato sullo studio delle dinamiche disciplinari in aree geografiche culturalmente omogenee. Ciò che interessa il nostro tema sono le interrelazioni tra diffusione delle matematiche, fisica terrestre ed arte idraulica, con particolare riferimento a quel coacervo di problemi e sviluppi che era dato incontrare nel tardo rinascimento padano. Alcuni aspetti verranno discussi nei §§ 3-4. Una terza possibilità è infine rappresentata dallo studio della dinamica delle professioni. Ci limiteremo in questa sede, cf. *infra*, § 5, ad un breve cenno su status professionale e rivalità tra architetti ed ingegneri da un lato, e filosofi e matematici impiegati in qualità di consulenti idraulici dall'altro.

multifarious forms entered science in a way that had never happened before. What I seek to do in this paper is to illuminate some of the background of the mathematization of nature". L'intervento di Westfall si conclude con le seguenti parole: "The seventeenth century is known as the most creative period in mathematics since the age of classical Greece. This may have been partly due to the fact that European society at the time made a greater demand for mathematical expertise than any previous society ever had" (le citazioni sono tratte dal dattiloscritto inviatomi dall'autore nel febbraio 1996).

⁶ Questo è vero per Galileo, Tartaglia non prese mai apertamente posizione contro la filosofia aristotelica. Chi lo fece fu, comunque, il suo allievo Giovanni Battista Benedetti in un opuscolo pubblicato nel 1554, intitolato con baldanza giovanile *Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotilem et omnes philosophos*, in cui raccoglieva dal Tartaglia l'idea fondamentale che la velocità di un corpo in un mezzo fluido è proporzionale alla differenza fra le gravità in specie del corpo e del mezzo (cf. *infra*, § 4).

Tabella 1
Scienziati in affari d'acque in Italia

1 Rafael Bombelli	(1526-1572)
2 Francesco Patrizi	(1529-1597)
3 Giovanni Battista Benedetti	(1530-1590)
4 Giambattista della Porta	(1535-1615)
5 Egnazio Danti	(1536-1586)
6 Ostilio Ricci	(1540-1603)
7 Guidobaldo del Monte	(1545-1607)
8 Fausto Veranzio	(1551-1617)
9 Galileo Galilei	(1564-1642)
10 Robert Dudley	(1573-1649)
11 Benedetto Castelli	(1577-1643)
12 Giovan Battista Baliani	(1582-1666)
13 Niccolò Cabeo	(1586-1660)

14 Famiano Michelini	(1604-1665)
15 Giovanni Alfonso Borelli	(1608-1679)
16 Evangelista Torricelli	(1608-1647)
17 Vincenzo Viviani	(1622-1703)
18 Paolo del Buono	(1625-1659)
19 Gian Domenico Cassini	(1625-1712)
20 Geminiano Montanari	(1633-1687)
21 Giovanni Ceva	(1647-1734)
22 Vincenzo Maria Coronelli	(1650-1718)
23 Luigi Ferdinando Marsili	(1658-1730)
24 Guido Grandi	(1671-1742)
25 Eustachio Manfredi	(1674-1739)
26 Jacopo Riccati	(1676-1754)

In tabella sono dati i nomi di 27 scienziati, inclusi nel *Dictionary of Scientific Biography* e nati nel periodo 1471-1680, che secondo il database di Westfall si occuparono di idraulica in Italia (cf. § 2). I nomi si susseguono in ordine progressivo secondo l'anno di nascita dato dal DSB. La linea tratteggiata separa il gruppo dei primi 14, nati nel periodo 1525-1599 e che presumibilmente saranno attivi nel campo dell'idraulica tra 1550 e 1625 (fonte: Richard S. Westfall, *A catalog of the scientific community of the 16th and 17th centuries*, database versione 1994).

b) FILOSOFI-GEOMETRI IN AFFARI D'ACQUE: UNA STATISTICA

Tra fine anni '80 e primi anni '90 Richard S. Westfall raccolse e analizzò, con l'aiuto di alcuni collaboratori, una gran quantità di materiali bio-bibliografici

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

relativi a 630 scienziati, nati nel periodo 1471-1680, le cui biografie sono incluse nel *Dictionary of Scientific Biography (DSB)* edito a cura di Charles C. Gillispie. Scopo del lavoro era quello di catalogare l'attività dei protagonisti della rivoluzione scientifica secondo una duplice prospettiva, sociale e disciplinare. Nel database di Westfall - da lui a volte chiamato *A catalog of the scientific community of the 16th and 17th centuries* - ogni scienziato nato tra 1471 e 1680, la cui biografia compare nel *DSB* (eccetto una ventina di casi esplicitamente giustificati), è classificato con riferimento a parametri e a categorie socio-professionali (professione del padre e stato economico della famiglia, educazione ricevuta, grado accademico conseguito, aree politico-geografiche in cui esplicò la propria attività, fede religiosa, professione esercitata e altre fonti di reddito, 'patronage', appartenenza accademica) e disciplinari (discipline scientifiche a cui contribuì ed a cui si interessò, distinte in primarie e secondarie, ed attività tecnologica in senso lato).⁷

Studiando i personaggi presenti in quest'ultima categoria ('Technological connections') Westfall notò che, dei 630 scienziati da lui considerati, 50 (7,9%) si occuparono di ingegneria militare, 54 (8,6%) di ingegneria idraulica, 47 (7,5%) di navigazione e 90 (14,3%) di cartografia.⁸ Pur trattandosi di cifre significative, superiori a quanto ci si sarebbe potuto aspettare sulla base dei resoconti standard di storia della scienza disponibili all'inizio degli anni '90, globalmente non sembrerebbe l'idraulica ma la cartografia a fare la parte del leone. Tuttavia ben 26 (48%) dei 54 scienziati che si occuparono di idraulica lo fecero in un'unica grande area di produzione scientifica, e cioè negli stati del centro-nord Italia (cf. Tabella 1), mentre di cartografia (termine utilizzato da Westfall in senso lato, comprendente non solo la produzione cartografica in senso stretto ma anche l'arte dei rilievi topografici ed altimetrici) si occuparono matematici e geografi in tutti i paesi europei. Ancor più significativa è la qualità della partecipazione: mentre di idrostatica e di idraulica si occuparono effettivamente quasi tutti i più importanti filosofi-geometri italiani del Rinascimento e dell'età barocca,⁹ ciò non avvenne in ugual misura per la cartografia, né in Italia né in altre grandi aree di produzione scientifica. Se poi si utilizzasse una periodizzazione più fine, fissando l'attenzione

⁷ Le considerazioni ed informazioni qui riportate si fondano in larga misura sull'analisi di una copia del database di Westfall, generosamente inviata dall'autore nel marzo 1994.

⁸ Richard S. Westfall, "Science and technology during the Scientific Revolution: an empirical approach", in J.V. Field and Frank A.J.L. James (edited by), *Renaissance and Revolution. Humanists, scholars, craftsmen and natural philosophers in early modern Europe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, pp. 63-72, in part. pp. 63-66.

⁹ Nella lista di *Tab. 1* vi sono, per giunta, varie omissioni che dipendono sia dalle categorie utilizzate da Westfall (come nel caso di Niccolò Tartaglia, di cui sono ricordate le ricerche in campo tecnologico nei settori della meccanica, della cartografia/topografia e della strumentazione, ma non la *Travagliata inventione*) sia dal criterio adottato per selezionare il campione dei 630 scienziati. Così dalla lista sono assenti i nomi di due tra i massimi idraulici italiani, il bolognese Domenico Guglielmini e il veneziano Giovanni Poleni. Guglielmini non è incluso perché la sua biografia non compare nel *Dictionary of Scientific Biography*, Poleni perché nato nel 1683 cade fuori dal periodo 1471-1680.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

sugli scienziati del *DSB* nati nel periodo 1525-1599 e cioè su coloro che esplicarono la loro attività nel tardo Rinascimento, ci si accorgerebbe che dei 23 scienziati che si occuparono di idraulica in questo periodo ben 14 (56%) lo fecero in uno o l'altro degli stati italiani. Per le altre grandi aree di produzione scientifica le relative cifre sono molto più ridotte: 2 per la Germania, 1 per la Francia, 3 per i Paesi Bassi, 3 per Inghilterra e Scozia. Si potrebbe infine osservare che nel suo catalogo Westfall ha utilizzato la categoria 'Technological connections/Hydraulic engineering' in modo molto ampio tanto da includere una serie di personaggi che, per quanto mi risulta, non diressero mai alcun lavoro di bonifica e non agirono mai in qualità di consulenti di importanti lavori di regolazione e controllo delle acque. Utilizzando criteri più stretti di quelli seguiti da Westfall, e cioè considerando solo gli scienziati del *DSB* che furono effettivamente coinvolti in progetti di controllo dei fiumi, canalizzazione e bonifica, il contributo degli stati del centro-nord Italia al movimento dell'idraulica scientifica del tardo Rinascimento diverrebbe addirittura schiacciante (10 scienziati su un totale di 13, ovvero il 77%).¹⁰

Queste lacune e questi limiti non inficiano comunque la validità del metodo usato da Westfall e, nel nostro caso specifico, nulla tolgono all'interesse di una statistica da cui appare che nel tardo Rinascimento una parte significativa dei protagonisti della rivoluzione scientifica si fosse occupata di idraulica, e che l'Italia fosse la terra di elezione di questo movimento.

c) DIFFUSIONE DELLE MATEMATICHE E LETTERATURA TECNICA

Il bresciano Niccolò Tartaglia (1499-1557), il primo matematico rinascimentale ad acquistare fama europea, dedicò grande attenzione al problema della classificazione delle matematiche. Sul retro del frontespizio della sua traduzione italiana degli *Elementi*, la prima edizione a stampa di Euclide in lingua volgare, si leggono le seguenti parole:

“Quale, & quante siano le scientie, ovvero discipline Mathematiche. (...), secondo il volgo sono molte, cioè, Arithmetica, Geometria, Musica, Astronomia, Astrologia, Cosmographia, Geographia, Corographia, Prospettiva, Specularia, La scientia de pesi, la Architettura, & molte altre. Ma alcuni Sapienti prendono solamente le quatro prime, (...): & tutte le altre dicono esser subalternate, cioè, dependente dalle dette quatro: Alcuni altri moderni (...) vogliono che le dette Mathematiche siano cinque, però che alle dette quatro aggiungono la Prospettiva. Nientedimeno il Reverendiss. Pietro de Aliaco Cardinale, nella prima questione sopra Giovanni di Sacrobusto, conclude la Musica, & la Astronomia, & similmente

¹⁰ Per maggiori dettagli su questi aspetti, si veda Cesare S. Maffioli, "Hydraulics in the late Renaissance 1550-1625. Mathematicians' involvement in hydraulic engineering and the <<mathematical architects>>", in corso di pubblicazione negli Atti della Sezione 7.6 (Technology and engineering in the classical period) del XX Congresso Internazionale di Storia della Scienza, tenutosi a Liegi nel luglio 1997.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

la Prospettiva non essere pure mathematice (come è il vero) ma medie fra le mathematice & la scientia naturale; per il che seguita, che solamente la Arithmetica, & la Geometria siano pure mathematice, & tutte le altre esser medie, ovvero dependente & miste dalle mathematiche discipline, & dalla natural Philosophia: eccettuando la Astrologia giudiciaria, la qual egli conclude esser pura naturale, in quanto alla sua essentia"¹¹.

Non è però tanto la suddivisione delle matematiche ad interessarci in questa sede, quanto la doppia dipendenza/appartenenza attribuita alle matematiche miste e l'ammissione che, "secondo il volgo", l'architettura faceva parte delle discipline matematiche. Lo spunto derivava da Vitruvio e dall'enorme fortuna della sua opera in epoca rinascimentale: il *De Architectura* conobbe circa 50 edizioni, traduzioni e commenti prima del 1600. Alcuni anni dopo, il patrizio veneziano Daniele Barbaro nel suo commento al Proemio del Libro I di Vitruvio ribadì e precisò la natura delle relazioni tra architettura e matematica. L'architettura era la regina delle arti ed era essa stessa arte matematica per eccellenza:

"... di qui nasce che alcune Arti hanno più della Scienza, & altre meno. Ma à conoscere l'Arti più degne questa è la via; che quelle, nelle quali fa bisogno l'arte del numerare, la Geometria, & l'altre Mathematiche, tutte hanno del grande, il rimanente senza le dette arti, (come dice Platone) è vile, & abietto come cosa nata da semplice imaginatione, fallace coniettura, & dal vero abbandonata isperienza. Et qui apparirà, la dignità della Architettura, la quale giudica, & approva l'opere, che dall'altre Arti si fanno"¹²

Di questa rivendicazione della dignità ed eccellenza dell'architettura si giovarono anche i tecnici che intervenivano negli affari d'acque. Nel Libro Ottavo del *De Architectura* Vitruvio aveva trattato dell'arte delle acque (ricerca delle fonti, natura e condotta delle acque). A buon diritto, dunque, il perito e architetto ferrarese Giovan Battista Aleotti poteva scrivere attorno al 1600 che tale arte faceva parte dell'architettura e poteva utilizzare, interscambiandoli, i termini 'architetti idraulici' ed 'architetti matematici' per indicare i nuovi professionisti nel campo delle acque.¹³

¹¹ Euclide Megarense Philosopho: solo introduttore delle scienze mathematiche: diligentemente reassetato, et alla integrità ridotto per il degno professore di tal Scienze Nicolo Tartalea, ... e per commune commodo & utilità di latino in volgar tradotto, Vinegia, Per V. Roffinelli, 1543.

¹² *I Dieci Libri dell'Architettura di M. Vitruvio ...*, op. cit. in nota 1, p. 7.

¹³ Il termine 'architetti matematici' si trova nel Proemio del Libro I dell'*Hidrologia* dell'Aleotti, all'interno di un passo in cui il perito e architetto ferrarese parafrasava l'opera vitruviana (nella traduzione del Barbaro). Basta confrontare i due testi per rendersene conto. Vitruvio: "Ma quelli à i quali la natura benigna tanto di acutezza d'ingegno, & di memoria, & di solertia

Cesare S. Maffioli *Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento*

Sempre nel Rinascimento cominciò per altro ad affermarsi l'idea che lo studio del moto delle acque costituisse parte integrante della filosofia naturale, e che tale studio non potesse quindi essere ridotto ad un'arte, per quanto nobile essa fosse. Uno tra i primi ad esporre questo concetto e ad accennare alle ragioni matematiche dei moti delle acque sarà l'antagonista di Tartaglia nel campo dell'algebra, il medico milanese Gerolamo Cardano (1501-1576). Nello scorrere le grandi opere enciclopediche del Cardano, il *De subtilitate* del 1550 e il *De rerum varietate* del 1557, si resta non solo colpiti dalla commistione e varietà degli argomenti ma, in eguale se non in maggiore misura, da come essi fossero trattati in modo innovativo pur restando all'interno di un impianto ancora sostanzialmente aristotelico. Nel leggere ad esempio nel *De rerum varietate* la suddivisione del *Liber I, De Universo & partibus eius sensibilibus*, e i titoli dei capitoli, 1. *Universum, Cometae, Ventorum ratis*, 2. *Elementa*, 3. *Terrae genera & natura*, 4. *De locis & regionibus*, ecc., sembrerebbe di trovarsi di fronte ad uno dei tanti commenti della fisica di Aristotele. Ma non appena lo storico dell'idraulica scorre il successivo cap. 6, *Aquae natura & genera, ac motus*, è posto a confronto con linguaggi e tradizioni ben diversi, risalenti a Frontino e ai giureconsulti romani, così come a Leon Battista Alberti e agli architetti rinascimentali. Un'altra fonte a cui attinse Cardano, fonte che non viene menzionata ma di per sé di grande interesse, è rappresentata dai metodi di divisione e distribuzione delle acque che venivano praticati nella pianura lombarda. Anche qualche pagina di Leonardo in materia d'idraulica potrebbe averlo influenzato.¹⁴ L'ispirazione del compendio è matematica, stabilire la ragione dei moti delle acque, a cui Cardano contribuì utilizzando sia il linguaggio tecnico-artistico (terminologia e disegni) sia quello matematico-filosofico (ricerca delle cause dei fenomeni e delle relazioni fra le grandezze).¹⁵

concederà, che possino insieme del tutto conoscere la Geometria, l'Astrologia, la Musica, & l'altre scienze, certamente usciranno fuori de termini dell'Architetto, & si faranno Mathematici, ... " (*Ibid.*, p. 17). Aleotti: 'Quelli adunque, a' i quali, fù la natura tanto benigna, che aiutati dall'acutezza, et vivacità dello spirito loro, havranno appreso (sobriamente almeno) queste scienze, et quest'arti, passeranno veramente i limiti, et i termini ordinarij di quelli huomini, che dal volgo sono detti Ingegneri; et Architetti Matematici per eccellenza dovranno esser chiamati (Biblioteca Estense di Modena, Codice Estense It. 551, Alpha 0.3.1., c. 9v). Nella copia autografa dell'*Hidrologia* conservata presso la Biblioteca Ariostea di Ferrara il passo successivo, cancellato a tratti di penna, esemplificava la "differenza che si deve fare tra gli architetti hidraulici, dagli ordinarij" (Ms. cl. I, 749, c. 6r).

¹⁴ Apparentemente Cardano vide i disegni anatomici di Leonardo e forse si recò a villa Melzi a Vaprio d'Adda per studiarli (Nancy G. Siraisi, *The Clock and the Mirror: Girolamo Cardano and Renaissance Medicine*, Princeton, Princeton University Press, 1997, pp. 99 e 271).

¹⁵ *Hieronymi Cardani ... Operum Tomus Tertius; quo continentur Physica*, Lugduni, Sumtibus I.A. Huguetan & M.A. Ravaud, 1663, pp. 17-23. Non ho consultato l'editio princeps e le altre edizioni cinquecentesche del *De rerum varietate*, non posso quindi pronunciarmi sulla qualità delle figure e delle tavole ivi contenute. Ciò che mi preme sottolineare è un altro aspetto, e cioè che Cardano nel trattare del moto delle acque abbia comunque fatto ricorso a disegni

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

Nel tardo Rinascimento si assistette ad una compenetrazione di aspetti tecnici, filosofici e matematici, che giocò a favore delle matematiche e della loro diffusione. Ad imitazione di Platone che nella Repubblica e in altri dialoghi aveva dato grande importanza all'educazione matematica, nelle corti rinascimentali e nelle dimore patrizie si diffuse un genuino interesse per gli studi matematici. Ma gli Elementi di Euclide, e ancor di più le opere di Archimede e di Tolomeo, erano libri difficili da penetrare. Da qui la tendenza ad una semplificazione dei principi, la ricerca di formulazioni alternative, la produzione di tavole sinottiche e di compendi, la costruzione di strumenti matematici di semplice uso, in modo da favorire una più facile comprensione e utilizzazione delle matematiche. Su questo terreno si cimentarono in diversi, tra cui tre dei personaggi che attorno al 1570-1580 furono coinvolti nell'affare del Reno, e cioè Silvio Belli († ca. 1579), Egnazio Danti e Francesco Patrizi.¹⁶ Benchè i tre operassero in vesti professionali ben distinte, proto e tecnico delle acque a Venezia e a Ferrara il primo, frate domenicano e professore di matematica nello Studio di Bologna il secondo, filosofo di corte e professore di filosofia platonica nello Studio di Ferrara il terzo, le loro biografie e le loro opere rivelano diversi tratti in comune. Uno di essi sarà appunto il desiderio di semplificare e divulgare le scienze matematiche in forma accessibile ad un pubblico più vasto: la teoria delle proporzioni nel caso del Belli, l'astronomia e le altre scienze matematiche nel caso del Danti, la geometria nel caso del Patrizi. Nelle dediche e nelle prefazioni di queste loro opere, essi fecero riferimento al topos della "via regia", cioè di una via piana, larga, e facilmente percorribile anche dal mitico re-guerriero privo del tempo necessario per immergersi nelle profondità delle matematiche, via che i nostri tre autori rinascimentali cercavano di rendere più accessibile se non addirittura di scoprire.¹⁷

Anche sul terreno della letteratura tecnica si assistette ad un grande fermento. E' sufficiente mettere a confronto la cultura ancora prevalentemente orale dei tecnici delle acque tra Quattro e Cinquecento con le numerose opere a stampa del tardo Rinascimento per avvertire una netta differenza di attitudini e

e figure come d'uso nei libri tecnici e matematici.

¹⁶ Per questo aspetto della loro attività si veda C.S. Maffioli, "La controversia tra Ferrara e Bologna ..", cit. in nota 3.

¹⁷ Nel caso del Patrizi il tema della via regia è addirittura ripreso nel titolo della sua opera geometrica: Della nuova geometria di Franc. Patrizi Libri XV. Ne' quali con mirabile ordine, e con dimostrazioni à maraviglia più facili, e pù forti delle usate si vede che le Matematiche per via regia, e pù piana che da gli antichi fatto non si è, si possono trattare, Ferrara, Per V. Baldini, 1587. La ricerca della via regia e la critica di Euclide è motivo ispiratore anche di Silvio Belli, Della proportione, et proportionalita communi passioni del quanto. Libri tre. Utili, & necessarij alla vera, & facile intelligentia della arithmetica, della geometria, & di tutte le scientie & arti, In Venetia, alla Elefanta, 1573 (si vedano la dedica ad Alessandro Farnese e le pp. 1-6 della prefazione). Danti, viceversa, riteneva che non vi fosse altra via regia al di là di quella indicata da Euclide negli Elementi: Le scienze matematiche ridotte in tavole dal Rev. P. Maestro Egnatio Danti publico professore di esse nello Studio di Bologna, Bologna, Appresso la Compagnia della Stampa, 1577 (si veda la "Prefazione dell'Eccellenza delle Matematiche", pp. n.n.).

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

competenze. Nel 1506 Fra Giovanni Giocondo da Verona (1435-1515), in una serie di scritture sulla diversione del fiume Brenta, ebbe ad esempio a polemizzare contro il costume degli ingegneri del Magistrato alle Acque della Repubblica Veneta che si limitavano ad esprimere oralmente opinioni e pareri:

“Avvisando V.a S.a che questo me pare molto forte e novo in questa inclita Città, né assueto a me di vedere de cose importante appresso li altri Signori, che d'una tanta facenda, quanta è questa Brenta, questo Eccell.mo Dominio se reposi sulle spalle de' Ingegneri senza expresse et autentiche scritture loro di tutte le opinioni loro, over ragione delle cose che propongono over suggeriscono, perché non essendo tutti li Signori periti di cose meccaniche, ingeniose et artifiziose e aspettante ad Architettura o Geometria, et in esse avendose ad esponere cum gran divario, giusto saria che ne avessero contezza di scritturei.¹⁸

Verso la metà del Cinquecento le polemiche di natura tecnica sulla regolazione della laguna di Venezia e dei fiumi che confluivano nello specchio lagunare venivano invece, più o meno sistematicamente, affidate e preservate su supporto cartaceo. Ne sono testimonianza i *Discorsi sopra la laguna* di Cristoforo Sabbadino e le *Scritture sopra la laguna* di Alvise Cornaro e del Sabbadino pubblicate da Roberto Cessi nel 1930 e nel 1941. Le successive *Relazioni dei periti*, pubblicate dal Cessi e da N. Spada nel 1952 quale vol. III degli *Antichi scrittori d'idraulica veneta*, mostrano comunque come già prima dell'intervento di Fra Giocondo stesse cominciando a prendere piede il costume di valersi della documentazione scritta (disegni, registrazione di livellazioni e di altre misurazioni sul campo, relazioni, progetti e pareri) nel caso di affari controversi quali quello della regolazione del Brenta.

Sarà tuttavia solo a partire dal 1560 che negli stati italiani cominciarono sistematicamente ad apparire opere a stampa, in genere trattatelli ed opuscoli su temi di interesse limitato e circoscritto, che testimoniano come anche i protagonisti del movimento idraulico fossero portati a comunicare le loro idee ed i loro ritrovati ad un pubblico più vasto. Come per le scritture manoscritte conservate dagli uffici tecnici preposti alla regolazione delle acque, saranno soprattutto le calamità, le polemiche ed i dispareri ad alimentare questa produzione a stampa. Varie comunque anche le proposte dei bonificatori, i libri di macchine ed i trattatelli sull'irrigazione. Basandoci sul lavoro pionieristico di Pietro Riccardi, che nella Parte II della *Biblioteca Matematica Italiana* ha classificato per aree disciplinari oltre 8000 opere a stampa dal XV agli inizi del XIX secolo, in *Tabella 2* sono dati anno e luogo di edizione e nome degli autori di 52 opere attinenti all'idraulica pratica pubblicate tra 1560 e 1624. I due decenni più prolifici furono quelli a cavallo dei due secoli: nel decennio 1590-99 vennero pubblicate 19 opere, e nel decennio successivo 17. La città che vide apparire il maggior numero di opere attinenti all'idraulica pratica fu Roma (17), seguita a distanza da Verona (7), Venezia (6), Milano (5), Padova (3), Ferrara (3) e da altre

¹⁸ R. Brenzoni, *Fra Giovanni Giocondo Veronese: Verona 1435 - Roma 1515*, Firenze, Olschki, 1960, pp. 129-149, in part. pp. 141-142.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

città del centro-nord Italia. Quanto alle aree disciplinari, la grande maggioranza (25 su 52, cioè il 48%) È relativa a discorsi e pareri su inondazioni e ripari dei fiumi.¹⁹

Delle altre 27 opere a stampa, a parte 2 di incerta classificazione, 9 sono relative a progetti di irrigazione ed a canalizzazioni (17%), 8 a bonifiche di aree paludose e alla connessa sistemazione di fiumi e lagune (15%), ed altre 8 riguardano infine progetti, descrizioni e studi di macchine idrauliche (15%).

Tabella 2
Opere a stampa attinenti all'idraulica pratica 1560-1624

1560	Alvise Cornaro	1599	Milano Guido Magenta
1560	Roma M. Antonio	1599	Milano Guido Magenta
Triviso		1599	Ferrara Giuseppe Vivoli
1563	Venezia Marino Silvestri	1600	Cesena Cesare Mengoli
1567	Parma Giuseppe Ceredi	1600	Roma Domenico Mora
1573	Roma Luca Peto	1601	Ferrara Gio. Battista Aleotti
1577	Roma Paolo Clarante	1601	Roma Paolo Lombardi
1578	Padova Bonaventura Angeli	1601	Roma Milizia (?)
1587	Firenze Antonio Lupicini	1602	Roma Gio. Maria Piccioni
1588	Parigi Agostino Ramelli	1602	Verona Teodoro Sorte
1589	Ferrara Gio. Battista Aleotti	1602	Milano Gio. Battista Settala
1591	Padova Giacomo Zapati	1603	Milano Gio. Battista Settala
1593	Verona Cristoforo Sorte	1607	Urbino Breccioli (?)
1593	Venezia Antonio Glisenti	1607	Venezia Gio. Giorg. Faudieri
1594	Verona Benedetto Venier	1607	Milano Onorio Lunghi
1594	Verona Teodoro da Monte	1608	Roma Onofrio Castelli
1595	Verona Teodoro da Monte	1608	Roma Gio. Paolo Ferreri
1595	Venezia Fausto Veranzio	1609	Mantova Gabriele Bertazzolo
1597	Venezia Bonaiuto Lorini	1609	Roma Cesare Domenichi
1598	Roma Camillo Agrippa	1609	Roma Nicolò Galli
1598	Verona Teodoro da Monte	1610	Roma Nicolò Galli
1598	Verona Benedetto Venier	1615	Venezia Guidob. Del Monte
1598	Bologna Giuseppe Vivoli	~1615	s.l. Maggi d'Anghiari
1599	Roma Paolo Beni	1616	Roma Cesare Gualtieri
1599	Roma Giac. Castiglioni	1617-8	Francof. Di Strada Rosberg
1599	Roma Giovanni Fontana	1624	Bologna Ottavio Salaroli

¹⁹ Particolarmente l'inondazione di Roma del 1598. Delle 52 opere registrate in *Tabella 2*, 17 riguardano inondazioni e progetti relativi al Tevere ed ai suoi affluenti.

Cesare S. Maffioli *Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento*

In tabella sono dati anno e luogo di edizione e nome degli autori di 52 opere a stampa, pubblicate nel periodo 1560-1624, che sono state classificate da Pietro Riccardi, all'interno della Sezione IX - Idraulica, tra le seguenti tre categorie: i) Strumenti e macchine idrauliche. Giochi d'acqua; ii) Regolazione delle acque; iii) Scritti sopra diversi fiumi in particolare. In tabella non sono state incluse le edizioni ed i commenti di autori quali Frontino e Bartolo, le ristampe, e alcuni opuscoli attinenti più alla storia naturale che all'idraulica (fonte: P. Riccardi, *Biblioteca Matematica Italiana dalla origine della stampa ai primi anni del secolo XIX, Parte II: Classificazione per materie delle opere indicate nella Parte I*, Bologna, Forni Editore, 1985)

4. NUOVI TERRITORI E NUOVI SVILUPPI

Nel 1543 Tartaglia aveva pubblicato, oltre alla traduzione italiana di Euclide, anche una collezione di opere archimedee tra cui una traduzione latina del Libro I dei *Galleggianti*, il *De insidentibus aquae*. Il matematico bresciano non si limitò a diffondere la conoscenza di quest'opera di Archimede, cercò di applicare in modo creativo le nozioni idrostatiche archimedee. Alcuni anni più tardi, egli fece domanda al Senato veneziano per ottenere un privilegio per

“una nuova, et utile inventione cioè un modo generalissimo, indubitato, et sicuro, da ricuperare, non solamente ogni affondata nave carica, ma ogni altra molto maggior gravità, et sì da ogni altissimo fondo, come da uno basso; damente che lo industriavi se gli possa sottoporre, overo afferar quella con tale, et tanto numero di corde, che siano atte a sostentarla”.

Il privilegio venne concesso il 9 febbraio 1551, con l'obbligo di “manifestar essa inventione in termini di mesi sei prossimi, altramente la presente gratia sia di niun valore”.²⁰ Il matematico bresciano si mise al lavoro e pubblicò poco tempo dopo *la Regola generale da sulevare (...) ogni affondata Nave: (...) intitolata la Travagliata Inventione*. Nel dedicare la sua “operina” al doge di Venezia, Francesco Donà, Tartaglia ricordò come una diecina di anni addietro due navi fossero affondate con il loro carico, una vicino al porto di Malamocco su di un fondale di 5 passi di profondità e l'altra in neppure 4 passi d'acqua, “talmente che tutta la sua prova, & poppa, & gran parte delle più basse sponde erano di sopra la superficie di l'acqua”. Malgrado tutti gli sforzi messi in campo, non era stato possibile recuperare le due navi, e si era dovuto demolire la seconda per “beneficio del porto”.²¹

²⁰ Archivio di Stato di Venezia, Senato Mar, Registro 31, parte del 09.02.1551 (stile comune), ff. 91v-92r.

²¹ Dal resoconto del Tartaglia sembrerebbe che entrambi i naufragi fossero avvenuti attorno al 1541, e non il primo nel 1541 ed il secondo nel 1551 come afferma Alex Keller nel suo pur pregevole ed accurato studio sul contesto e la genesi della *Travagliata Inventione* (“Archimedean hydrostatic theorems and salvage operations in 16th-century Venice”, *Technology and Culture*, XII [1971], pp. 602-617, in part. pp. 607-610).

Cesare S. Maffioli *Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento*

Il metodo del Tartaglia per recuperare i relitti affondati su bassi fondali si basava sul principio archimedeo per cui è "impossibile che l'acqua riceva, ovvero inghiottisca totalmente dentro di se alcun material corpo che sia piu leggero di essa acqua (in quanto alla specie)". Ai fianchi del relitto venivano fatti parzialmente affondare due capienti vascelli opportunamente zavorrati con acqua, vascelli che venivano tra loro collegati con vari ordini di travi in modo da renderli solidali e da formare una sorta di ponte di manovra su cui operava la squadra di salvataggio. Il relitto veniva imbragato e legato saldamente alle travi con corde, e poi sollevato pompando fuori dai vascelli l'acqua di zavorra.

Dal resoconto sinora fornito la *Travagliata inventione* sembrerebbe ridursi ad uno dei molti ingegnosi tentativi di applicare nozioni e principi scientifici - nel caso l'idrostatica archimedeica - a scopi di pubblica utilità. Tuttavia nella 'Dichiaratione prima', nel discutere della "causa propinqua del affondar", Tartaglia accennò di sfuggita che i corpi aventi gravità in specie più grande dell'acqua

"non solamente intrano totalmente in quella, ma vanno discendendo continuamente per fin al fondo, & tanto più velocemente vanno discendendo quanto che sonno più gravi dell'acqua".²²

L'orizzonte tecnologico è qui superato, idrostatica archimedeica e dinamica medievale si fondono e ne escono nuove idee, subito raccolte da altri matematici. Mi riferisco in particolare al veneziano Giovanni Battista Benedetti che, attorno al 1546-1548, era stato guidato da Tartaglia nello studio dei primi quattro libri degli Elementi di Euclide.²³ La chiave di volta di un opuscolo del Benedetti pubblicato a Venezia nel 1554, la *Demonstratio proportionum motuum localium contra Aristotilem et omnes philosophos*, sarà in effetti proprio il concetto che la velocità di un corpo in caduta in un mezzo fluido è proporzionale alla differenza fra le gravità in specie del corpo e del mezzo.²⁴ Benché ciò costituisca un semplice indizio, e non provi che l'ispirazione del Benedetti provenisse dalla *Travagliata Inventione*, sarebbe indubbiamente alquanto strano se il giovane studente veneziano non avesse colto questo intreccio di statica e dinamica nell'opera del maestro.²⁵

²² *Regola generale da sulevare con ragione e misura non solamente ogni affondata Nave: ma una Torre Solida di Mettallo Trovata da Nicolo Tartaglia, delle discipline Mathematiche amatore intitolata la Travagliata Inventione*, s.l., s.d. (ma Venezia, 1551), pp. n.n.

²³ E' inoltre probabile che le prime ricerche matematiche del Benedetti traessero origine da alcuni problemi posti nei cartelli di imatematica disfidai del Ferrari e nelle risposte del Tartaglia (Clara Silvia Roero, "Giovanni Battista Benedetti and the Scientific Environment of Turin in the 16th Century", *Centaurus*, XXXIX [1997], pp. 37-66, in part. pp. 40 e 54-55).

²⁴ Carlo Maccagni, *Le speculazioni giovanili <<de motu>> di Giovanni Battista Benedetti*, Pisa, Domus Galilaeana, 1967, p. XXXIII.

²⁵ Questo possibile influsso esercitato da Tartaglia sul giovane Benedetti è stato piuttosto trascurato dagli storici. Marshall Clagett ne ha comunque discusso in *Archimedes in the Middle Ages, Part III: 1450-1565*, Philadelphia, The

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

Tartaglia non era nuovo ad imprese del genere, cioè ad interpretare e trasformare in chiave scientifica problemi e questioni di interesse pratico. Nella dedica ad Enrico VIII d'Inghilterra dei *Quesiti et Inventioni diverse* (1546), egli aveva scritto le seguenti memorabili parole:

“Le Dimande, Quesiti, over Interrogationi ... fatte da Savi, & Prudenti Domandatori, fanno molte volte considerare allo interrogato molte cose, & anchora conoscerne molte altre, le quale senza esserne addimandato giamai harebbe conosciute, ne considerate. Questo dico per me, qual mai feci professione, over dilettaì de tirare di alcuna sorte, Artegliaria, Archibuso, Bombarda, ne schioppo (ne manco tirar intendo) & un sol quesito fattomi da un perito bombardero, l'anno 1531 in Verona, mi fece à quel tempo considerare, & investigare speculativamente l'ordine, & proportione di tiri propinqui, & lontani, secondo le varie ellevationi de tale machine tormentarie, alle qual cose giamai haveria posto cura, se tal Bombardero, con tal suo quesito non mi havesse in tal materia sveggiato. Ma piu sentendo io l'anno 1537 con quanto gran preparamente si moveva Soliman Imperator de Turchi, per infestare la nostra Christiana Religione, composi con gran celerità sopra à tal materia una operina, & quella publicai”.

Ma mentre nel caso dell'idrostatica archimedeica l'intervento del Tartaglia fu di tipo divulgativo e applicativo, promuovendola al più tramite ricerche sperimentali sulle gravità in specie di diversi materiali, della balistica scientifica egli fu il padre fondatore. Il matematico bresciano era ben consapevole di ciò, tanto da intitolare *Scientia nova* la sua “operina” del 1537. Nell'epistola dedicatoria, indirizzata a Francesco Maria Feltrense della Rovere e datata Venezia 20 dicembre 1537, egli aveva già ricordato l'episodio del bombardiere per sottolineare sia l'ispirazione pratica del suo trattato sia il principale risultato ivi contenuto, e cioè il raggiungimento della massima gittata sotto un'inclinazione di 45°. Rimane il fatto che, come un secolo dopo per i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* di Galileo, l'operazione consisteva essenzialmente in una estensione del territorio delle matematiche, e non in una precettistica ad uso dei bombardieri.

Anche il trattatello che nel 1628 segnò l'atto di nascita dell'idraulica in quanto scienza matematica, il *Della misura dell'acque correnti* di Benedetto Castelli, rappresentò una risposta ad una serie di problemi di natura pratica. La sua fondamentale ragion d'essere va però collocata altrove. Come nel caso della *Scientia nova* l'operazione del Castelli consisteva anzitutto nell'estendere ad un nuovo territorio il campo d'applicazione della scienza matematica del moto, ma la consapevolezza filosofica del lettore della Sapienza romana era ben altra:

American Philosophical Society, 1978, pp. 569-578. Oltre al problema delle relazioni Tartaglia-Benedetti, sempre aperto e soggetto a revisioni e critiche è l'altro, ad esso solo in parte legato, delle fonti dell'approccio dinamico-idrostatico degli scritti giovanili *De motu* di Galileo.

“Quale, e quanta sia la grandezza della considerazione del moto nelle cose naturali è così manifesto, che il Principe de' Peripatetici pronuntiò quella nelle sue Scolae hora mai trita sentenza: *Ignorato motu, ignoratur natura*. Quindi è, che tanto si sono affaticati i veri Filosofi nella contemplazione dei moti celesti, (...). Viene compreso sotto la medesima scienza del moto tutto quello, che si scrive da Meccanici (...). Appartiene alla cognizione del moto tutto quello, che è stato scritto delle alterazioni non solo de' Corpi, ma delle nostre menti stesse, (...). E perche alli anni passati io hebbi occasione per ordine di N.S. Papa Urbano Ottavo di applicare il pensiero al movimento dell'acque de' Fiumi (materia difficile, importantissima, e poco maneggiata da altri) havendo intorno a quella scoperti alcuni particolari non bene avvertiti, nè considerati finihora, mà di gran momento alle cose pubbliche, e private, ho giudicato ben fatto di publicarli, (...). E per procedere col dovuto ordine nelle scienze prenderò alcune supposizioni, e notizie assai chiare, dalle quali andarò poi deducendo le Conclusioni principali”²⁶

5. RIVALITA' PROFESSIONALI

Nel corso della nostra rassegna abbiamo incontrato di sfuggita diverse figure che, tra 1550 e 1625, si occuparono a vario titolo di idraulica pratica:

- a) periti, protti, architetti, genericamente denominati ingegneri, quali Cristoforo Sabbadino (Venezia), Silvio Belli (Venezia e Ferrara) e Giovan Battista Aleotti (Ferrara);
- b) bonificatori e imprenditori quali Alvise Cornaro (Venezia);
- c) professori di filosofia e filosofi di corte quali Francesco Patrizi (Ferrara);
- d) religiosi (domenicani e benedettini) e professori di matematica di pubblici Studi quali Egnazio Danti (Bologna) e Benedetto Castelli (Toscana e Stati della Chiesa);
- e) professori di matematica e filosofia in collegi gesuitici quali Niccolò Cabeo (Ferrara, Modena e Mantova).

I contrasti e i motivi di dissidio tra queste figure professionali derivavano

²⁶ Benedetto Castelli, *Della Misura dell'Acque Correnti*, Roma, Nella Stamparia Camerale, 1628, pp. 1-3. Per una giustificazione del giudizio qui riportato sull'opera del Castelli si veda C.S. Maffioli, *Out of Galileo*, op. cit. in nota 4. Per quanto riguarda il confronto Tartaglia-Castelli, si deve comunque sottolineare come nel 1537 la scienza matematica del moto fosse ancora in embrione e che furono proprio opere come la *Scientia nova* che contribuirono a promuoverla. Nel 1628, invece, un discepolo di Galileo quale Castelli poteva accedere a molti dei risultati (a quell'epoca ancora inediti) della scienza galileiana del moto. Ciò che distingue le ricerche del monaco benedettino da quelle del maestro è che Castelli elaborò in forma matematica un elemento fondamentale e specifico per il moto dei fluidi, e cioè la legge di continuità, legge che travalicava l'orizzonte della cinematica del punto galileiana.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

anzitutto dalla diversa appartenenza. Sarà in qualità di proto del Magistrato alle Acque che il Sabbadino difese le ragioni 'marittime' dell'inclita città lagunare, mentre il Cornaro dal suo osservatorio padovano guardava alla terraferma e alle bonifiche e vagheggiava la creazione della nuova magistratura veneziana dei Beni Inculti. Oppure sarà in veste di architetto ed ingegnere del Municipio che l'Aleotti, a Ferrara, difese la sua terra dalle acque del Reno bolognese e si schierò contro i chimerici progetti dei tecnici pontifici per ridare alla città la perdita navigazione. O ancora sarà in qualità di pubblico professore dello Studio che Egnazio Danti, su incarico di Gregorio XIII Boncompagni, formulò a Bologna il progetto di condurre il Reno nel Po Grande, progetto che venne successivamente osteggiato da parte ferrarese e da parte veneziana per oltre due secoli.

Accanto alle diversità degli interessi in gioco, riguardanti la sfera economica e commerciale, o dipendenti dalla geografia del territorio, o determinati dalla logica della contrapposizione politica tra gli stati italiani, diversità che necessariamente si riflettevano negli atteggiamenti dei tecnici e dei consulenti di parte, cominciarono ad emergere anche rivalità di natura professionale. I matematici e i filosofi incaricati di occuparsi di affari d'acque, fossero essi lettori universitari o funzionari di corte o eruditi di chiara fama, si trovavano di fronte una struttura professionale di tecnici ed uffici delle acque che li osteggiava e non mancava di sottolineare la loro scarsa esperienza in materia. Di converso gli intellettuali, per giustificare il loro intervento e ampliare il loro spazio di manovra, puntavano il dito sulle falle teoriche e professionali e sulla ignoranza dei tecnici, sottolineando come in affari di tanta importanza non ci si potesse accontentare di semplici opinioni che conducevano a costosi esperimenti di dubbio esito. Ci volevano certe ragioni, e in questo modo cercavano di far rientrare il discorso nell'ambito della scienza.²⁷

Per illustrare con la viva voce dei protagonisti l'asprezza del contrasto che contrapponeva i geometri-filosofi ed i tecnici prenderemo spunto da alcuni episodi dell'attività idraulica di Benedetto Castelli, i suoi interventi sulle questioni della laguna di Venezia e della sistemazione delle acque ferraresi, per arrivare ad un largamente dimenticato e dissacrante giudizio di Niccolò Cabeo sulle competenze degli architetti e degli ingegneri che intervenivano in affari d'acque.

Nel giugno 1641 Castelli lesse in "pieno Collegio" a Venezia le sue *Considerazioni* sulla laguna, incontrando la netta opposizione dei tecnici veneziani.²⁸ In un *Discorso* inviato successivamente al senatore Giovanni Basadonna, il benedettino inquadrò il contrasto nella più ampia cornice delle ostilità di cui era stato bersaglio da parte degli ingegneri idraulici:

²⁷ Questo fu ad esempio il senso generale, al di là degli specifici motivi di dissidio, della polemica contro il "mancamento de Inzegneri" quali Alessio Aleardi, condotta nel 1506 da Fra Giocondo a Venezia (R. Brenzoni, *Fra Giovanni Giocondo ...*, op. cit. in nota 18, pp. 135-136, 142 e 150).

²⁸ Benedetto Castelli, *Carteggio*, a cura di Massimo Bucciattini, Firenze, Olschki, 1988, lettera 120, p. 225. La critica dei protti veneziani era pienamente giustificata perché Castelli considerava, del tutto astrattamente, la laguna alla stregua di un fiume. Il benedettino avrebbe voluto ribaltare l'intera linea elaborata dal Magistrato alle Acque, il cui caposaldo stava nella diversione dei fiumi che si gettavano in laguna. Su questi aspetti si veda C.S. Maffioli, *Out of Galileo*, op. cit. in nota 4, pp. 59-65.

“E’ ben vero, che come quegli, che era necessitato dalla ragione di proporre spesso pensieri, e fare risoluzioni totalmente contrarie all’opinioni degli Ingegneri, e Periti, ho incontrato sempre grandissime difficoltà, e sempre maggior fatica mi è stata l’accomodare gli animi, ed i cervelli delli uomini, che il porre in freno le gran forze de’ fiumi, e de’ precipitosi torrenti, e rasciugare varie paludi. (...). Tra queste armi, che così fieramente mi assalivano, l’una era potentissima colla quale si procurava da quelli, che da me dissentivano, di escludermi totalmente da i negozi (...) questa era, che (...) mi mancava la pratica, parte principale, e senza della quale assolutamente non si può fare cosa nessuna di buono, (...), ed in cotal guisa si cercava di screditarli, ed escludermi fuori da’ maneggi”²⁹

Castelli morì a Roma nel 1643, ma le polemiche che la sua opera aveva innescato continuarono ad essere fonte di discussione. In una visita del 1625 alle acque ferraresi e bolognesi, il matematico galileiano aveva approvato il progetto di indirizzare il Reno verso il Po Grande. Nel suo libro del 1628 egli aveva inoltre apertamente criticato i periti e ingegneri idraulici ferraresi. Passano trent’anni, siamo nel 1657 a Roma, e di nuovo si tratta del Reno tra bolognesi e ferraresi e di nuovo i giudizi e le critiche del Castelli sono al centro della disputa. I bolognesi per mano di Gian Domenico Cassini li avevano riproposti, e i ferraresi risposero per le rime:

“Pare ben strano, - così si leggeva in una scrittura ferrarese citata dal Cassini - che il P. Castelli voglia tassare di haver commesso errore tutti quei Periti, non sapendosi come possa haver maggior peritia d’essi, ch’erano stati in pratica, e sul fatto, e li più pratici di quel tempo, e come tali scelti da S.E. [il card. Caetano, ndr], e dalle parti; solo con il fondamento di haver questo stampato un libretto in Roma, perche volendosi disputare di questa materia, non mancano libri, che discordano dalle opinioni di detto Padre”.

I ferraresi si riferivano all’opera di un loro concittadino, il padre gesuita Niccolò Cabeo, che aveva inserito nel suo commento alle *Meteore* di Aristotele, pubblicato a Roma nel 1646, la discussione di una serie di questioni, condotta a volte in modo originale e penetrante anche se in vivace polemica con la fisica galileiana. Le nove questioni al testo 60 del Tomo I, intitolate “De mensuratione aquarum decurrentium”, costituivano in effetti un vero e proprio trattato di idraulica fluviale, in netta ed aperta concorrenza con il libro del Castelli del 1628. Quest’ultimo ruotava attorno alla legge di continuità, e il Cabeo criticò la formulazione datane dal Castelli perché priva di una vera base sperimentale, particolarmente per quanto riguardava la misurazione della velocità della

²⁹ Benedetto Castelli, “Discorso sopra la Laguna di Venezia”, in *Raccolta d’Autori Italiani che trattano del Moto dell’Acque*, vol. III, Bologna, J. Marsigli, 1823, pp. 199-204, in part. pp. 199-200.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

corrente. La polemica nei confronti del matematico galileiano era comunque accompagnata, come non mancò di sottolineare Cassini, da attestati di stima e da riconoscimenti sulla novità del tema e sulla validità complessiva del *Della misura dell'acque correnti*. Nella sua risposta ai ferraresi il Cassini non si fermò qui, ma estrasse dall'opera originale del Cabeo una serie di "Attestazioni ... dell'Incapacità de' Periti particolarmente della misura dell'Acque correnti".³⁰ Si tratta di giudizi molto duri, nell'opera a stampa spesso evidenziati a margine a mo' di titolo di paragrafi e puntigliosamente richiamati nell'indice, che non lasciano dubbi in merito alle difficoltà che anche il professore gesuita doveva aver incontrato nelle sue relazioni con i tecnici. Ecco ad esempio cosa il Cabeo ebbe a scrivere in merito all'ignoranza degli architetti:

"*Architectorum ignorantia* [nel margine]

"... ; quia enim hanc rem solum pertractant mechanici, qui quamvis architecti, & italice speciosissimo nomine, vocentur, *Ingegneri*, nulla re minus utuntur, quantum videre potui, quam ingenio, & sunt in scientijs rudes penitus, & inexperti, & qui bonas artes, ne à limine quidem salutarunt, & toti sunt in delineandis, & pingendis graphicè rebus, quibus oculos capiunt principum virorum"³¹

Come si nota non è solo l'ignoranza ad essere stigmatizzata, ma anche l'ausilio grafico e cartografico usato dai tecnici. La diversità di status professionale tra teorici e pratici delle acque passava anche attraverso una divisione di mansioni, competenze, strumenti e linguaggi, che nel primo Seicento cominciò a cristallizzarsi malgrado gli sforzi di 'architetti matematici' tardo-rinascimentali quali Giovan Battista Aleotti che cercavano di far rivivere l'ideale enciclopedico dell'architetto vitruviano.³²

6. CONCLUSIONE

Gli storici ritengono che la seconda metà del Cinquecento abbia costituito, in special modo per la padana orientale e per la terraferma veneziana, una sorta di età d'oro delle bonifiche. Alla lotta contro la palude e agli interventi di trasformazione fondiaria si dedicarono imprenditori e appaltatori, banchieri e

³⁰ [Gian Domenico Cassini], "Giudicio del Padre Cabeo In proposito delle ragioni de Bolognesi riprovato nelle ultime repliche de Sig.ri Ferraresi date sotto li 5 7bre 1657", Biblioteca Apostolica Vaticana, Barb. Lat. 4379, cc. 186-196, in part. cc. 188v-190r.

³¹ Niccolò Cabeo, "De mensuratione aquarum decurrentium", *In Quatuor Libros Meteororum Aristotelis Commentaria, et Quaestiones*, Tomus I, Romae, Typis Haer. F. Corbelletti, 1646, pp. 332-363, in part. p. 353.

³² Per questi aspetti si veda C.S. Maffioli, "Hydraulics in the late Renaissance..." , cit. in nota 10; Idem, "L'idraulica di Giovan Battista Aleotti. Appunti preliminari", in *Giovan Battista Aleotti (1546-1636), Seminario di Studi, III sessione, Istituto di Studi Rinascimentali, Ferrara 26 maggio 1995*, a cura di Massimo Rossi, Bologna, 1995, pp. 166-180.

Cesare S. Maffioli Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento

uomini d'arme, famiglie patrizie, principi, duchi, cardinali e papi. Essi divennero, in altre parole, affari di stato. L'attività idraulica non si ridusse alla costruzione di canali di scolo dei comprensori di bonifica. L'irrigazione delle terre aride, le opere di contenimento e controllo delle alluvioni, la regolazione e la diversione dei fiumi, lo scavo di canali navigabili, l'approvvigionamento idrico delle città, costituirono parti integranti di questo movimento.

Non altrettanta attenzione è stata tuttavia dedicata al versante 'scientifico' del movimento idraulico del tardo Rinascimento italiano. L'opera del Castelli è stata considerata più come l'intervento specialistico di un geniale seguace di Galileo che come la punta dell'iceberg di un vasto movimento scientifico radicato nel sociale; i contrasti e le polemiche sul campo del matematico galileiano sono stati visti più come problemi di incomprensione linguistica e di approccio (astratto vs. concreto) che come espressioni di rivalità professionale e di diversa appartenenza; la carriera del monaco benedettino è stata descritta più come esemplificazione delle sorti del movimento galileiano che come autonoma ricerca di status professionale. Analoghe osservazioni potrebbero farsi per altri protagonisti del movimento scientifico e per altri aspetti ed attività che influenzarono lo sviluppo delle scienze fisico-matematiche del Cinque-Seicento. Non vorremmo però essere fraintesi. Le due ottiche non sono alternative ma complementari, ed è dalla loro sovrapposizione che potremo sperare di ottenere una visione più fine sia degli albori della fisica moderna che dell'idraulica del tardo Rinascimento.