

*Dai principi dell'idrostatica
alle leggi dell'idrodinamica.
Un percorso tra matematica e storia*

Maria Giulia Lugaresi (Università di Ferrara)



**Dipartimento
di Matematica
e Informatica**

Mathesis Ferrara

24 novembre 2021





INDICE

- Dall'idrostatica alla fononomia.
- L'idrodinamica nel Settecento.
- Matematici al servizio dell'idraulica tra Seicento e Settecento. Le *Visite alle acque* sul fiume Reno

***È più facile studiare il moto di corpi celesti
infinitamente lontani che quello del ruscello
che scorre ai nostri piedi.***

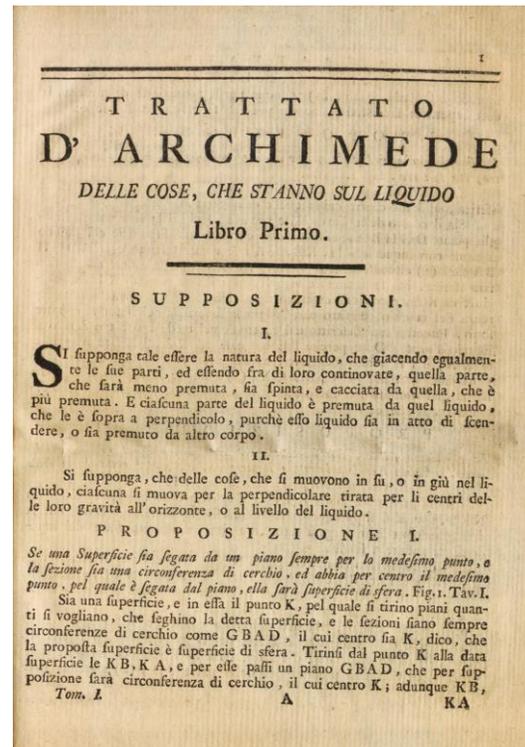
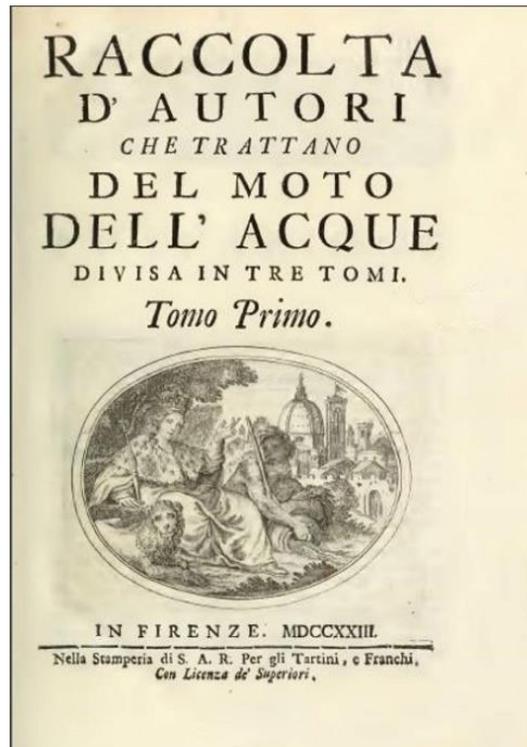
Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche
intorno a due nuove scienze*, 1638.

L'opera idrostatica di Archimede (287- 212 a.C.)

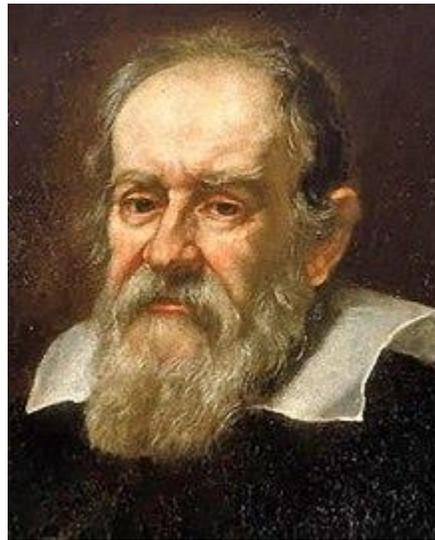
Sui galleggianti contiene i principi fondamentali dell'idrostatica e il principio di **Archimede**.

Edizione opere di Archimede:

- 1544 (greco);
- 1558 (latino, Commandino). Nel 1565 si aggiunge la restaurazione della traduzione dei *Galleggianti* di Moerbeke.
- 1723 (italiano)



La scuola galileiana



(1564-1642)



(1577-1643)

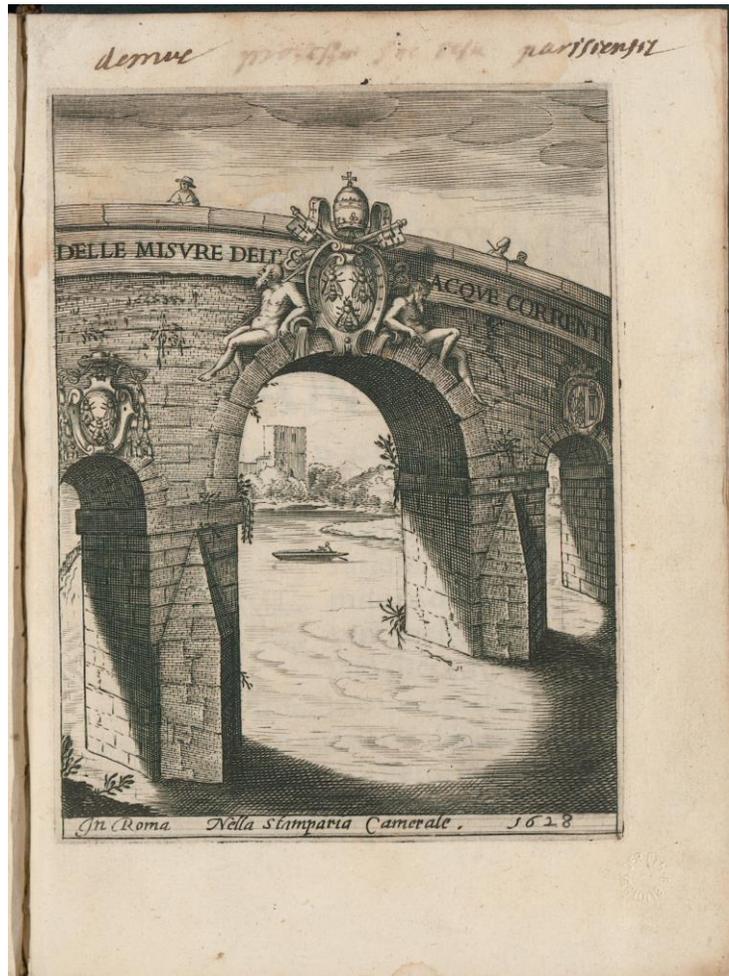


(1608-1647)



(1622-1703)

Benedetto Castelli, *Della misura dell'acque correnti*



L'opera è composta di due parti, la prima dedicata a Urbano VIII, la seconda a Taddeo Barberini.

Legge di conservazione della portata

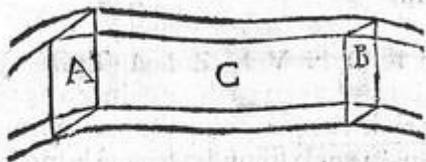
62

DELLA MISURA

PROPOSIZIONE I.

Le sezioni del medesimo Fiume scaricano vguale quantità d'acqua in tempi eguali, ancorché le sezioni medesime siano disuguali.

Siano due sezioni A, e B, nel Fiume C, corrente da A, verso B, dico che scaricaranno vguale quantità



d'acqua in tempi vguali; imperochè, se maggiore quantità d'acqua passasse per A, di quello che passa per B, ne seguirebbe, che l'acqua nello spazio intermedio del Fiume C, crescerebbe continuamente, il che è manifestamente falso; mà se più quantità di acqua vlcisse per la sezione B, di quello che entra per la sezione A, l'acqua nello spazio intermedio C, andrebbe continuamente scemando, e si abbasserebbe sempre, il che pure è falso; adunque la quantità dell'acqua che passa per la sezione B, è eguale alla quantità dell'acqua, che passa per la sezione A, e però le sezioni del medesimo fiume scaricano, &c. Che si doueva dimostrare,

PRO-

Le sezioni del medesimo fiume scaricano uguale quantità d'acqua in tempi eguali, ancorché le sezioni medesime siano disuguali.

Vi si trova espressa la **legge di continuità**:
in caso di flusso stazionario, la portata del canale (Q) è costante lungo la sua lunghezza, quindi la velocità media dell'acqua (v) è inversamente proporzionale all'area (A) della sezione bagnata del canale.

$$Q = A \cdot v$$

L'idrodinamica nel Settecento

Hermann Jacob, *Phoronomia, sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum libri duo*, 1716.

Bernoulli Daniel, *Hydrodynamica*, Argentorati, Deckeri, 1738.

Bernoulli Johann, *Hydraulica*, in *Opera omnia*, Lausannae et Genevae, Bousquet, 1742, t. IV, pp. 391-493.

D'Alembert Jean Le Rond

- *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides* (1744),
- *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides* (1752).

Euler Leonhard

- *Principes généraux de l'état d'équilibre d'un fluide*, Mém. Acad. Berlin (1757)
- *Principes généraux du mouvement des fluides*, Mém. Acad. Berlin (1757)
- *Continuation des recherches sur la théorie du mouvement des fluides*, Mém. Acad. Berlin (1757)
- *Recherches sur le mouvement des rivières* (1767)

1716. Jacob Hermann pubblica *Phoronomia, sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum libri duo*, opera che raccoglie i risultati di meccanica dei fluidi raggiunti fino a quel momento, includendo le acque correnti in fiumi e canali.

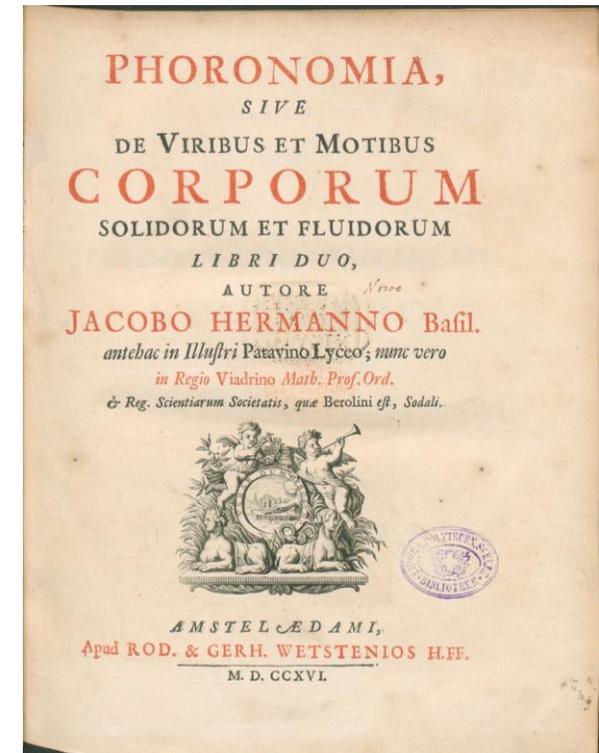
Libro II, Sezione II, *De motibus aquarum*, pp. 213-234

- Cap. IX. *De motibus liquorum per minora foramina erumpentium*
- Cap. X. *De cursu fluminum*

Sed, quia eximia hæc inventa in variis Diariis aliisque libris dispersa & ex diversis sæpe principiis elicita sunt, gratum me iis facturum, qui hisce rebus delectantur, existimavi, si omnia juxta genuinum ordinem in unum collecta, ex paucis iisque simplicibus principiis deducta & aucta publicæ luci fisterem. Verum hunc vix ingressus campum illicò perspexi, propositum istud me nunquam feliciter ad exitum deducturum, nisi omnia altius repeterem, pluraque ex Mechanica corporum solidorum mutuarer, ad id ut tyrones opusculum citra offensionem percurrere possent, nec ad ejus intelligentiam auxilia aliunde conquirere necessum haberent. Cum verò in rebus hisce subsidiariis explicandis materia in tantum excreverit, ut non contemnendam opusculi partem constitueret,

* *

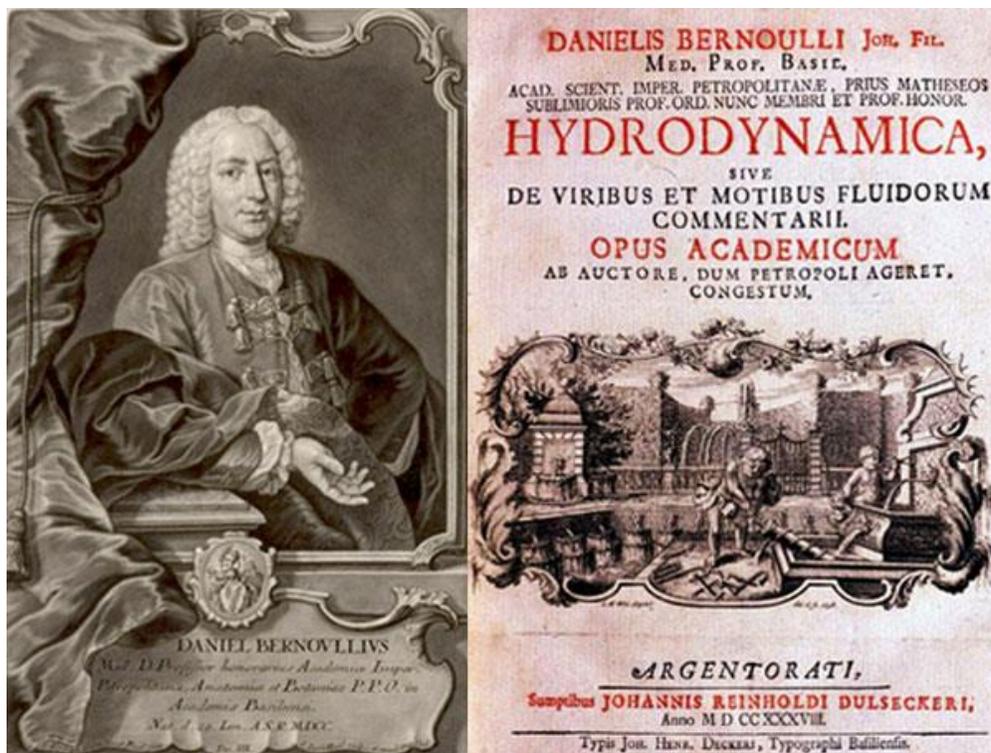
natus



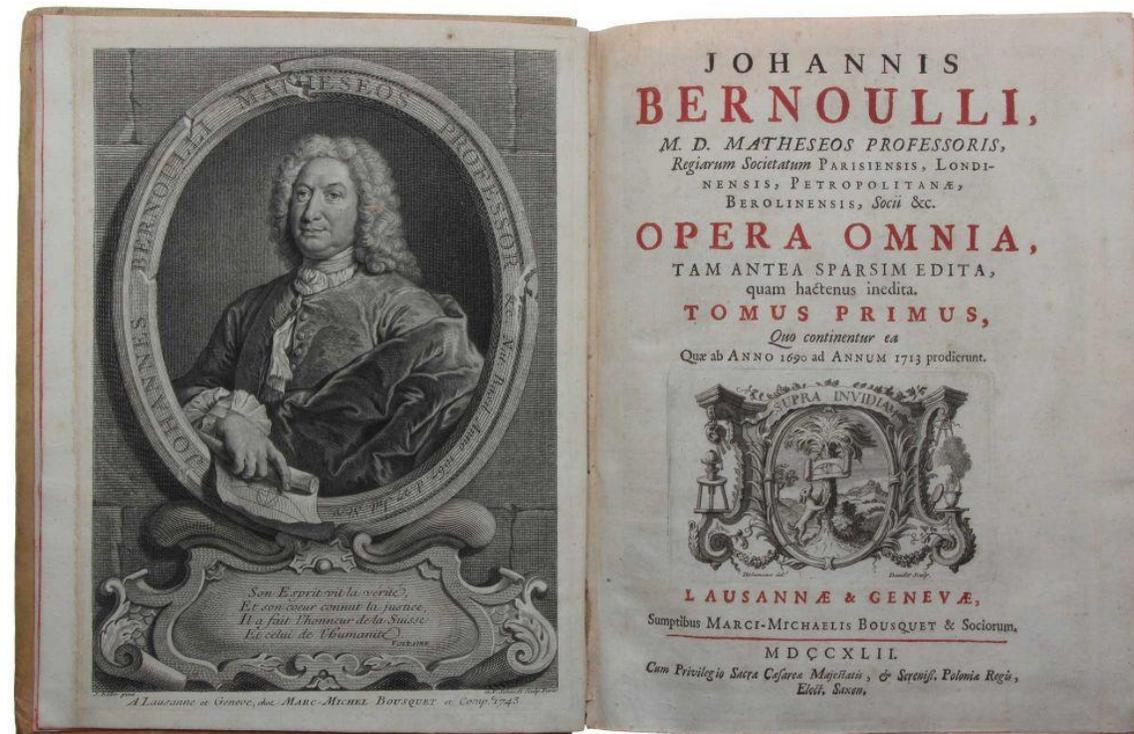
P R Æ F A T I O.

natus demum est præsens tractatus, quem generaliori titulo *Phoronomiæ*, seu *De Viribus & Motibus Corporum solidorum & fluidorum*, insigniendum & in duos libros dividendum duxi, quorum prior vires & motus corporum solidorum, fluidorum vero alter, evolveret.

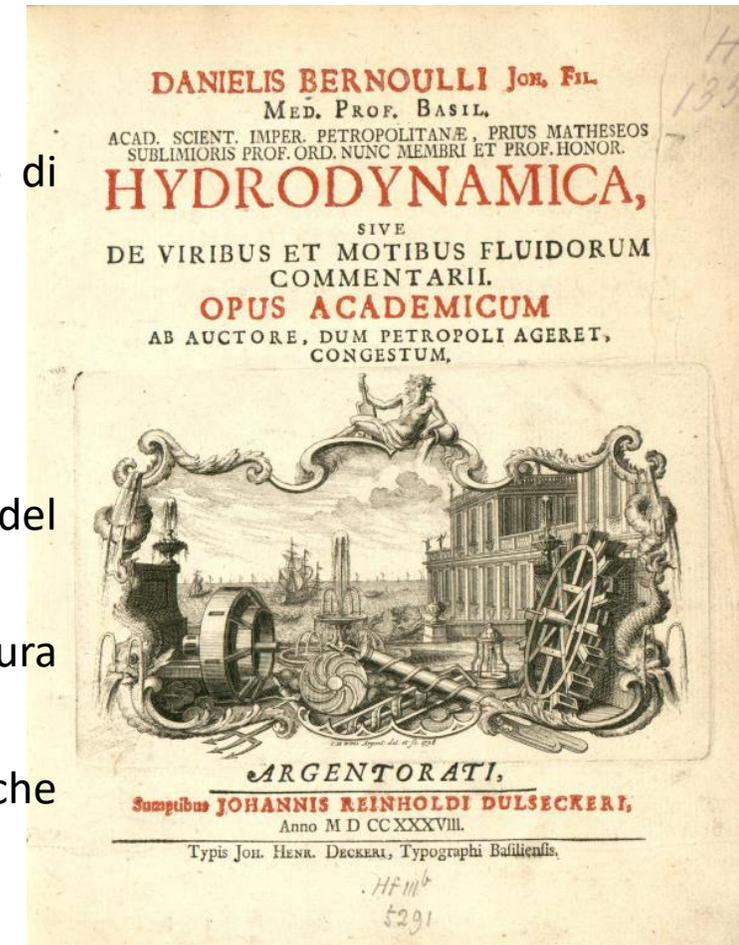
Johann Bernoulli (1667-1748), fu professore a Parigi (marchese Guillaume De L'Hopital), Groningen e Basilea.

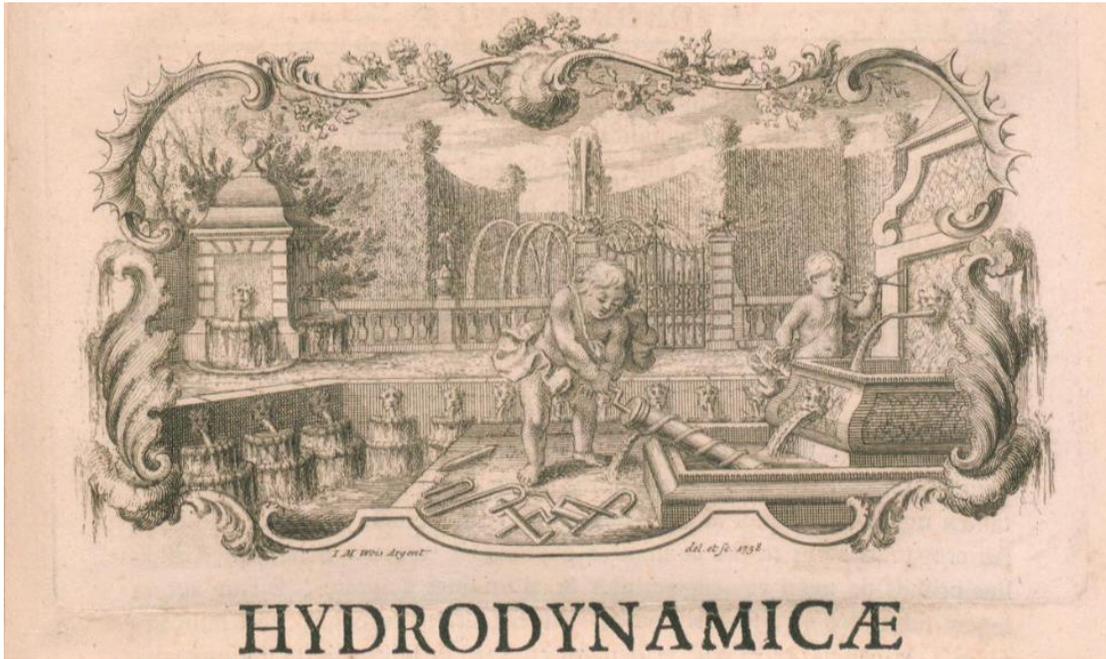


Daniel Bernoulli (1700-1782), figlio di Johann, fu professore a Venezia, San Pietroburgo e Basilea.



1. Introduzione contenente alcune annotazioni storiche e critiche
2. Fluidi in quiete e loro equilibrio
3. Velocità dei fluidi uscenti da vasi di qualunque forma attraverso qualunque tipo di apertura
4. Vari tempi necessari nell'efflusso dell'acqua
5. Moto dell'acqua da vasi costantemente pieni
6. Moto di fluidi in condotti o vasi e loro oscillazioni
7. Moto dell'acqua attraverso un vaso sommerso con esempi che mostrano l'utilità del principio di conservazione delle forze vive
8. Moto di fluidi omogenei ed eterogenei attraverso vasi irregolari di struttura discontinua
9. Moto di fluidi espulsi non dal loro peso, ma da una forza esterna. Macchine idrauliche e più alto livello di perfezione che si può dare loro
- 10. Comportamento e moto di fluidi elastici, in particolare dell'aria**
11. Fluidi in un vortice e fluidi contenuti in vasi movimento
- 12. Nuova statica dei fluidi in movimento, chiamata "idraulico - statica"**
- 13. Reazione dei fluidi uscenti da vasi e loro forza, dopo che sono usciti, esercitata contro piani da loro limitati**





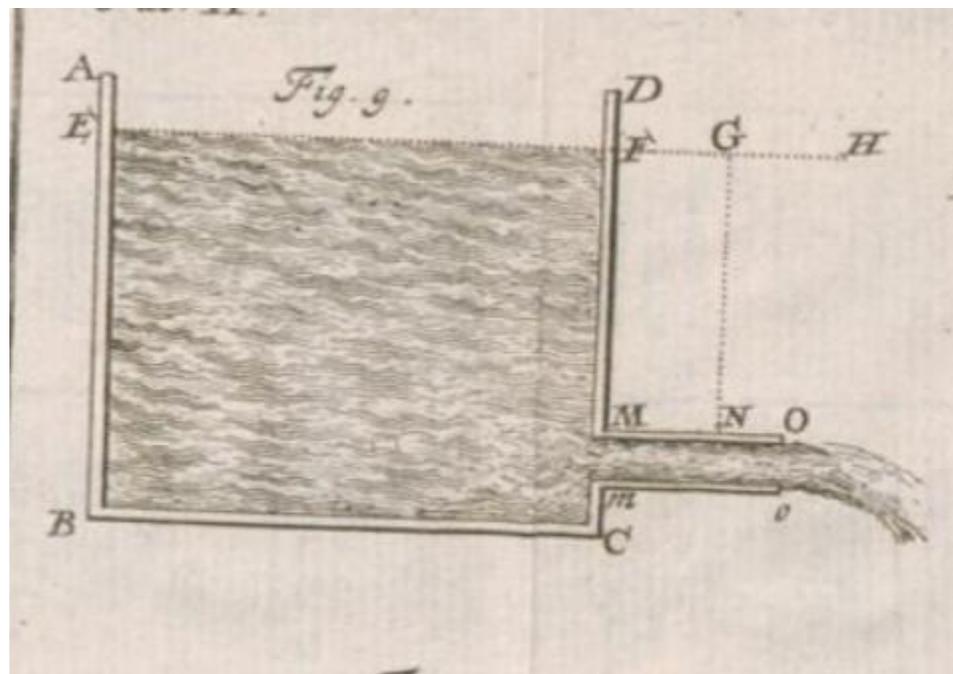
L'opera di D. Bernoulli è fondamentale nella storia della meccanica dei fluidi in quanto si basa sul principio di conservazione dell'energia (o delle forze vive).

E ora è arrivato il momento di rendere ragione dei principi ai quali ho fatto cenno. Il principale è la conservazione delle forze vive, ovvero, come mi piace dire, uguaglianza fra la discesa attuale e la salita potenziale: farò uso di quest'ultima espressione, perché ha lo stesso significato della precedente usata da alcuni studiosi che si limitano al solo nome vis viva. [...]. Da quanto ha dimostrato Galileo, che un corpo, sia che scenda per la verticale, sia su un piano comunque inclinato, acquista la medesima velocità, a condizione che il dislivello sia lo stesso [...]

*lo stesso Huygens utilizzò questa stessa proposizione, ma su ipotesi più generali nell'elaborare le leggi del moto dei corpi elastici sottoposti ad urto, e anche nella determinazione del centro di oscillazione del pendolo composto; ed enunciò tale assioma con le parole: Se un numero qualsiasi di corpi cominciano a muoversi in qualunque modo, sotto l'azione del loro peso, tornano di nuovo alla quiete, il centro di gravità deve ritornare alla primitiva altezza, dove con la parole in qualunque modo si intende sia se si urtano mentre cadono, sia se premono l'uno contro l'altro, o in qualunque altro modo agiscano i corpi reciprocamente. Da questo assioma segue immediatamente il principio di conservazione delle forze vive, col quale si assume che: se un numero qualsivoglia di corpi soggetti al loro peso, cominciano a muoversi in qualunque modo, le velocità dei singoli saranno ovunque tali che la somma dei prodotti dei quadrati delle velocità per la massa sia proporzionale all'altezza verticale, di cui si è abbassato il centro di gravità, moltiplicata per la massa complessiva. **Mirabile quale sia l'utilità di questa ipotesi in Meccanica, alla quale qualcun altro, compreso mio padre, aveva prestato attenzione, ma io sono stato il primo ad applicarla al moto dei fluidi.** [...] Sulla base delle parole di Huygens e di mio padre, ho voluto dare a questa ipotesi il nome di uguaglianza fra la discesa attuale e l'ascesa potenziale, che altri chiamano conservazione delle forze vive, in quanto tuttora ad alcuni, soprattutto in Inghilterra, non so con quanto successo, non piace. D. Bernoulli, Hydrodynamica, sectio I.*

§. 16. Nolui his nimis insistere, quod non proxime pertinent ad Hydrodynamicam: Nihil etiam addo de fluidis elasticis, quia horum theoriam seorsim tradere constitui; attamen quod ad pressiones fluidorum elastico- rum attinet, poterunt illæ ex natura fluidorum simpliciter gravium supra ex- posita facile deduci & demonstrari, fingendo fluidum elasticitate esse desti- tutum, cylindrumque fluidi similis altitudinis infinitæ vel quasi infinitæ su- perimcumbere; hæc autem quomodo intelligenda sint suo loco dicemus: Nunc quidem pergo ad id, quod in rebus aquariis potissimum quæri solet, quanta nempe debeat esse firmitas canalium, ut pressioni aquæ resistere pos- sint, ubi præsertim considerantur canales, qui aquas ad fontes vehunt, de quibus ego quoque pauca monebo.

§. 17. Probe distinguendæ sunt pressiones aquarum in canalibus stag-



nantium à pressibus fluentium, quamvis id nemo adhuc animadverterit, quod sciam; hinc est, quod regulæ à variis exhibitæ valeant tantum pro aquis stagnantibus, tametsi verbis utantur, quæ perinde eas pertinere ad aquas fluentes persuadere possint. Ut vero discrimen utriusque Theoriæ ap- pareat in ipso limine, exemplum quoddam afferam, cujus demonstratio ex 9. inferioribus patebit. Sit loco castelli vas amplissimum ABCD (Fig. 9.) aqua repletum usque in EF, & in parte inferiori tubulo cylindrico horizontali M O m o instructum, per quem aquæ sine impedimento transfluere posse intel- ligantur; ducatur verticalis NG terminata ab horizontali EH. His ita præ- paratis, dico si orificium O o totum digito obstruatur, punctum N præmi extrorsum secundum totam altitudinem NG; si dimidium orificium obtu- retur, hanc pressionem quarta sui parte diminui, & si denique remoto digito aquæ liberrime effluent, omnem pressionem evanescere, sic ut to- tum cum parte aut etiam cum nihilo confundi ab Authoribus soleat. Sed demonstrabo posse pressionem vel negativam fieri, atque ita in suctionem mutari. Quoniam vero id agere non possum priusquam integram theoriam de aquis fluentibus præmiserim, nunc aquas considerabo saltem stagnantes, veluti si orificium O o totum fuerit obstructum.

Nº. CLXXXVI.

JOHANNIS
BERNOULLI
HYDRAULICA

Nunc primum detecta ac demonstrata directe ex
fundamentis pure mechanicis.

ANNO 1732.

Kkk 2



DISSERTATIO HYDRAULICA

*De Motu Aquarum per vasa aut per canales quam-
cunque figuram habentes fluentium.*

P R Æ F A T I O.



HYDROSTATICA, quæ agit de
aquis stagnantibus in vasis inferius
clausis, habet suas leges demonstratas,
atque principia ex ratione deducta;
unde effectus & phænomena clare &
dilucide explicantur: ita ut circa hanc
Scientiam vix amplius quid desiderari
possit. Aliter se res habet in *Hydrau-
lica*, ubi non tantum de gravitatione
aquarum earumque pressionibus agitur,
sed præterea motus, qui inde nascitur, si aquæ per datam aper-
turam possunt effluere, aut si ex uno tubo in alium diversæ am-
plitudinis transire coguntur, atque alii effectus admirandi, qui
eum motum comitantur, demonstrative determinari debent.
Hæc certe Scientia, vulgo *Hydraulica* dicta, admodum est ardua,
neque

1716. Primi studi di idraulica di J. Bernoulli. Pubblica l'estratto di una lettera a Jacob Hermann: *Demonstratio Principii Hydraulici de aequalitate velocitatis quacum aqua per foramina vasorum erumpere incipit, cum ea quam aquae gutta acquirere posset motu naturaliter accelerato cadendo ex altitudine aequali illi quam aqua habet in vasi supra foramen.*

In una lettera a Euler (7 marzo **1739**), J. Bernoulli annuncia l'invio della prima parte di un'opera sull'idrodinamica, e si impegna a portare a termine la seconda in breve tempo. Il testo verrà pubblicato prima nel IX volume dei *Commentari dell'Accademia di San Pietroburgo* e poi nell'*Opera Omnia* di Johann: *Dissertatio Hydraulica de Motu Aquarum per vasa aut per canales quamcumque figuram habentes fluentium* (**1742**).

Johann, pur riconoscendo il valore dell'opera del figlio Daniel, dà un giudizio severo sui principi fisici, sui quali è fondato, cioè sul teorema di conservazione delle forze vive:

*Nell'opera Hydrodynamica, che mio Figlio ha pubblicato qualche tempo fa, la materia è trattata con felici esiti, ma su un fondamento indiretto, cioè dichiaratamente sulla conservazione delle forze vive, che è legittimo e che io stesso ho dimostrato, e tuttavia non ancora accettato da tutti i Filosofi. Per primo io enunciai questa ipotesi nella Dinamica dei solidi [dopo che Huygens ha utilizzato un simile principio per la determinazione del centro di oscillazione] ma allo stesso modo manifestai costantemente l'intenzione di eliminare quell'ipotesi dalla soluzione alla quale si può arrivare mediante gli ordinari principi della dinamica ammessi da tutti i Geometri; poiché solo l'adesione ad essi conduce a soluzioni veramente sicure, e da sola è sufficiente a vincere l'ostinazione degli avversari. Il metodo diretto, basato solamente sui principi della Dinamica, nell'indagine della natura del moto delle acque eromponenti da un foro praticato sul fondo di un vaso, oppure fluenti attraverso canali di ampiezza variabile, finora non ha prodotto nulla. J. Bernoulli, *Hydraulica*, Praefatio.*

DISSERTATIONIS HYDRAULICÆ

PARS PRIMA,

Agens de motu aquarum per vasa & canales cylindricos, qui ex pluribus tubis cylindricis sibi invicem adaptatis sunt conflat.

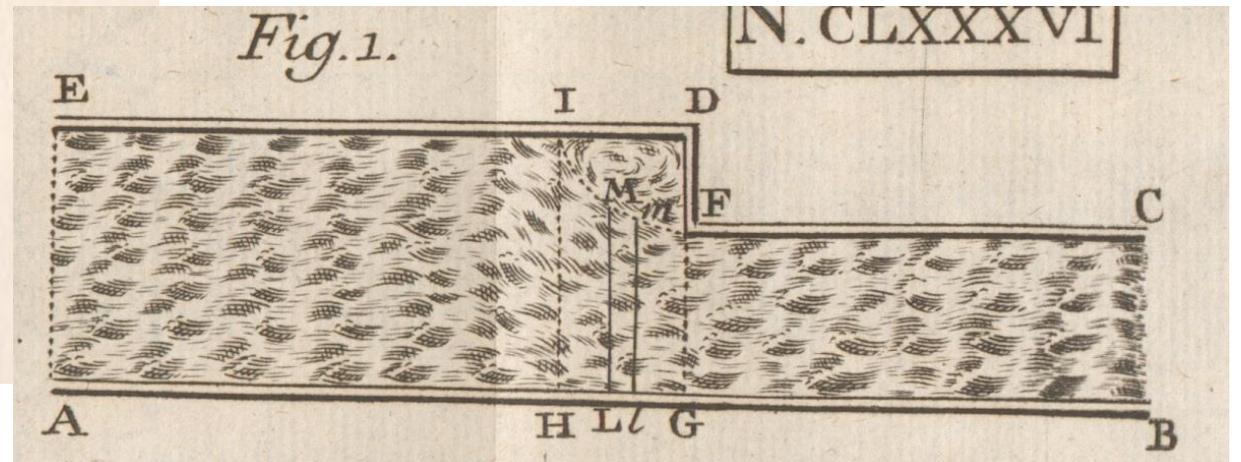
I.



Etur primo canalis, (Fig. 1) ABCFDE, compositus ex duobus tubis cylindricis, diversæ amplitudinis AGDE & GBCF, quorum ille fundam GD apertum habeat foramine GF, per quod communicet cum tubo angustiori BF. Sit vero totus canalis BE plenus liquore homogeneo, per se nullius gravitatis, sed urgeatur a parte orificii AE,

T A B.
LXXXIX.
Nº.
CLXXXVI
Fig. 1.

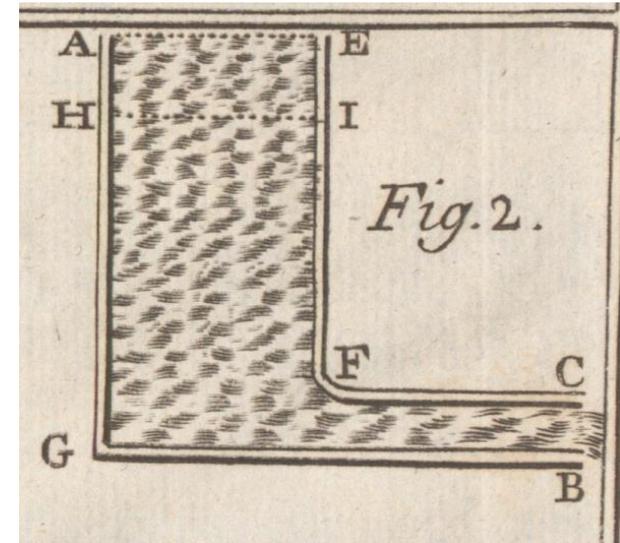
data vi motrice $= p$, quæ, æqualiter premendo, expandatur per totam superficiem liquoris AE; quæritur lex accelerationis, qua liquor per canalem profluet? Suppono autem canalem semper manere plenum liquore, quod fit concipiendo suppeditari jugiter aliunde novam materiam liquoris, eadem quovis momento velocitate in tubum GE subingredientis, ad resarciendum id quod per alterum orificium GF egreditur in tubum GC, atque ex hoc ipso per lumen BC in auras dilabitur.



T H E O R E M A.

Sit, (Fig. 2) vas cylindricum AGFE verticaliter erectum, TAB. LXXXIX. N^o. CLXXXVI.
 instructumque ad fundum tubo cylindrico horizontali FB utrinque
 aperto: Sit item, tam vas quam tubus, aqua jugiter plenus, ut
 nimirum tantum aqua, eadem velocitate quam habet aqua in vase, Fig. 2.
 Joan. Bernoulli Opera omnia, Tom. IV. M m m con.

continuo suppedietur per AE, quantum effluit per lumen BC.
 Dico velocitatem aqua effluentis [si illa nascatur ex quiete] conver-
 gere citissime, ad eam qua acquiriitur a gravi libere cadente per alti-
 tudinem $= \frac{hh}{hh-mm} a$.
 Cujus veritas patet ex Coroll. 3 præced.



Sia AGFE un vaso cilindrico verticale e collegato sul fondo ad un tubo cilindrico orizzontale FB aperto. Siano tanto il vaso quanto il tubo, continuamente pieni d'acqua, tanto l'acqua (che ha la stessa velocità dell'acqua nel vaso) che viene fornita continuamente attraverso AE quanto quella che scorre attraverso la luce BC. Dico che la velocità dell'acqua effluente (se nasce dalla quiete) converge rapidamente a quella che è acquistata da un grave che cade liberamente per l'altezza $= \frac{hh}{hh-mm} a$

Le memorie di Euler sulla meccanica dei fluidi

Euler mostra come derivare le equazioni generali del moto applicando la seconda legge di Newton ad ogni elemento di fluido e considerando la pressione dovuta al fluido circostante. **Ricava le equazioni generali del moto per un fluido incompressibile in termini di pressione interna P e delle coordinate cartesiane della velocità v .**

Nella prima memoria

- ***Principes généraux de l'état d'équilibre d'un fluide (1757)***

Fornisce le equazioni generali dell'idrostatica, il concetto di pressione e le sue applicazioni, per fluidi, sia incompressibili che comprimibili.

Nella seconda memoria

- ***Principes généraux du mouvement des fluides (1757)***

ottiene le equazioni generali dell'idrodinamica per fluidi comprimibili.

Nella terza memoria

- ***Continuation des recherches sur la théorie du mouvement des fluides (1757)***

prosegue le riflessioni contenute nella precedente, discutendo la teoria dei fluidi nei tubi.

Le equazioni di Eulero si applicano nel caso di un fluido perfetto (non viscoso), comprimibile o incompressibile. Combinate insieme alle equazioni dell'idrodinamica dei fluidi perfetti, permettono di caratterizzare il moto di un fluido.

Noi siamo ancora lontani dalla conoscenza completa del moto dei fluidi e quello che ho spiegato non ne contiene che un debole inizio. Tuttavia tutto quello che la teoria dei fluidi racchiude è contenuto nelle mie due equazioni, in modo che non sono i principi della Meccanica che ci mancano per la continuazione di queste ricerche, ma unicamente l'analisi che non è ancora abbastanza coltivata per questo disegno; e tuttavia si vedono chiaramente quali scoperte ci restano ancora da fare in questa scienza, prima che noi possiamo arrivare a una Teoria più perfetta del moto dei fluidi.

Eulero, *Recherches sur le mouvement des rivières* (1767)



RECHERCHES
SUR
LE MOUVEMENT DES RIVIERES.
PAR M. EULER.

§. 1.
C'est peu de chose que ce que les Auteurs ont écrit jusqu'ici sur le mouvement des rivières; & tout ce qu'ils en ont dit, n'est fondé que sur des hypothèses arbitraires, & souvent même tout à fait fausses. Car, quoiqu'on ait déjà assez bien réussi à appliquer les principes de mécanique au mouvement des eaux; on s'est pourtant borné à ne considérer que les cas, où l'eau coule par des tuyaux d'une figure qui n'est pas irrégulière; & dans cette considération on a même supposé, que toutes les particules de l'eau, qui se trouvent dans la même section faire perpendiculairement au tuyau, se meuvent d'un mouvement égal; de sorte que les vitesses de l'eau en chaque section du canal soient réciproquement proportionnelles aux amplitudes. Et c'est cette règle, qui sert de base à toutes les recherches qui ont été faites jusqu'ici sur le mouvement des eaux. Les profondes spéculations de Mrs. Bernoulli & d'Alembert, auxquels on est redevable de tout ce qui a été découvert jusqu'ici dans cette science, sont toutes établies sur cette hypothèse: & il faut avouer que, dans tous les cas, où ils ont appliqué leur théorie, cette hypothèse se trouve fort bien d'accord avec la vérité.

§. 2. Mais, lorsque le mouvement de l'eau est tel, que ses vitesses ne se règlent pas uniquement sur l'amplitude du canal, par lequel
N 3

Equazioni di Navier-Stokes per un fluido

Le equazioni di Eulero trascurano la viscosità; la definitiva e più generale formulazione delle equazioni dell'idrodinamica è data dalle equazioni di Navier-Stokes, che descrivono il comportamento di un fluido e rappresentano la formalizzazione matematica di tre principi fisici: il principio di conservazione della massa, il principio di conservazione della quantità di moto e il principio di conservazione dell'energia.

Nel 1821 Navier ricavò le equazioni generali dell'equilibrio e del moto per un corpo elastico, ottenendo nuove equazioni dell'idrodinamica per un fluido viscoso, le cosiddette equazioni di Navier-Stokes.

La **velocità di un fluido reale** non è costante in tutti i punti di una sezione normale all'asse del tubo, ma è **massima al centro** e decresce avvicinandosi alle pareti.

La **viscosità** (o attrito interno) di un fluido **caratterizza** con il proprio valore **la maggiore o minore facilità di scorrimento** del fluido stesso.

Claude Louis Marie Henri Navier
(1785-1836)



MATEMATICA E SCIENZA DELLE ACQUE IN ITALIA NEL SETTECENTO

La situazione reale. L'idraulica tra teoria e pratica

Per quello riguarda le acque, poco vi ha di sicuro, e vi vuole piuttosto un buon senso, e giudizio.

(R. G. Boscovich)

I contributi teorici alla risoluzione dei problemi di idraulica pratica sono pochi e di scarsa efficacia poiché non si adattano alle diverse condizioni geografiche e morfologiche del territorio ma presuppongono condizioni ideali, quali l'assenza di resistenze e di moti vorticosi.

La teoria è di poco aiuto per spiegare questi fenomeni poiché mancano dati e ipotesi fisiche sicure, di conseguenza ci si affida all'esperienza.

La scienza delle acque nelle istituzioni governative italiane tra XVII e XVIII secolo

Granducato di Toscana
Matematico regio e consulente idraulico

Repubblica di Venezia
Magistratura alle acque
Provveditori all'Adige

Stato Pontificio
Sacra Congregazione delle Acque
(a livello centrale)
Commissioni idrauliche cittadine
Sovrintendente alle acque



*L'Uffizio di **Giudice d'Argine** ha nella sua denominatione l'espressione delle sue incumbenze, essendo egli **destinato a giudicare i bisogni de gli Argini, e successivamente a ripararvi** [...] sotto la sua carica sta la cura de condotti, canali, fosse, strade, ponti, chiaviche, ponti canali, botti sotterranee, porti di mare, sbocchi di fiumi e di condotti pubblici, direzione dei fiumi, regolamento delle acque del paese, per lo che **gli conviene essere molto bene instrutto e pratico delle Matematiche in universale, e particolarmente dell'Aritmetica, e Geometria.** [...] Per quello riguarda l'Aritmetica, dovrebbero saper sommare, sottrarre, moltiplicare, e partir di numeri sani, & intieri, e di numeri rotti, & intieri unitamente, e separatamente, schisare, cavare le radici quadrate, e cube, & essere molto pratici della regola Aurea, o del tre. Nella Geometria dovrebbero essere bene esercitati, & avere studiati, & intesi almeno li primi sei libri degl'Elementi d'Euclide, essendo incredibile, quanto lume apportino alla cognitione, e pratica delle cose di loro professione, in tutte le quali, & in ciascuna d'esse sempre o esplicita, o implicitamente molti per ordinario concorrono, ma non basterà già, che habbino imparato, e che siano riusciti buoni Aritmetici, e Geometri, ma sarà di mestieri, che le coltivino, e pratichino, o almeno non ne abbandonino affatto l'esercitio, altrimenti se ne scordaranno in breve; dovrebbero ancora sapere misurare le superfitie, & i corpi solidi, pigliare in pianta i Paesi, e ridurne in carta i disegni in misura, livellare i siti, e formarne i profili in carta [...] In sintesi, **i perfetti Giudici d'argini dovrebbero essere non solo buoni pratici, ma anche teorici, per saper rendere ragione del loro operare.***

P. Lambersagni, *L'idea del perfetto giudice d'argine* (1692)

Domenico Guglielmini (1655-1710) tra Bologna e Padova

1678. Laurea in medicina. L'anno successivo gli viene concessa la lettura onoraria di matematica all'università di Bologna.

1679. Lettura onoraria di matematica all'università di Bologna

1681. L'Assunteria di Confini ed Acque lo nomina "teorico matematico".

1686. Sovrintendente alle acque della città di Bologna.

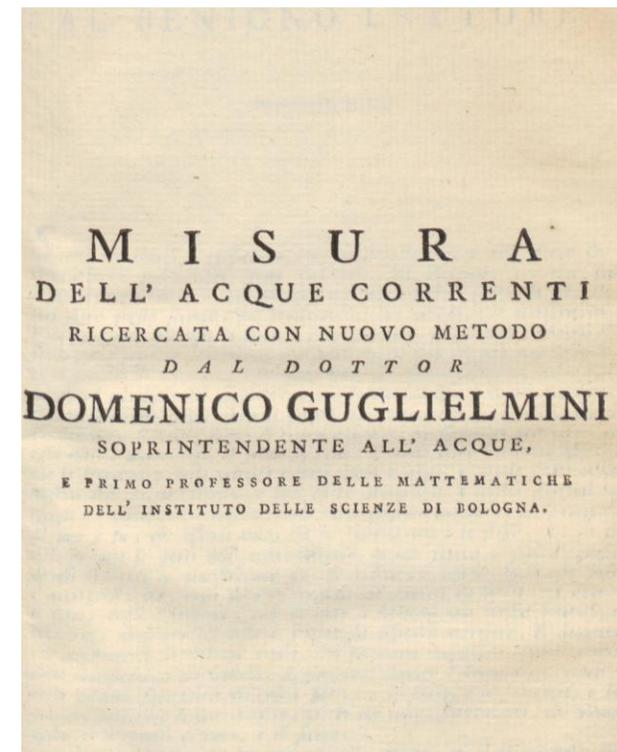
1689. Lettore di matematica nello Studio bolognese.

1694. Istituita una apposita **cattedra di idrometria** per l'insegnamento della materia delle acque nell'università (*Ad mathematicam hydrometricam*), affidata a Guglielmini. Si tratta di una materia prevalentemente pratica, insegnata nella facoltà delle arti.



1690-91. *Aquarum fluentium mensura* (6 libri, trad. ital. 1723). Oltre alla descrizione di esperimenti di efflusso, vengono sviluppati ragionamenti e intuizioni, cercando di riordinare la materia del moto delle acque secondo il metodo geometrico.

Quindi è che incominciai a fare delle esperienze ne' vasi, ne' condotti, e ne' canali, ec. per assicurarmi, se le velocità crescessero in ragione dell' altezze, ovvero in ragione delle radici delle medesime; e ne' vasi per vero dire trovai, aver luogo quest' ultima proporzione; quantunque da ambedue le sopraddette molto differente io trovassi la ragione delle velocità nelle sezioni de' canali; lo che mi persuase a credere sicuramente, che la velocità spessissime volte da ogni altra cagione dipende, che dall' altezza dell' acqua nelle sezioni.



Contiene «meditazioni» fatte nel corso di molti anni sulla misura delle acque correnti e «ridotte al rigor Geometrico».

Libri I-III. Tratta «con somma semplicità la misura dell'Acque correnti» per poter dedurre «le leggi più sicure della Natura».

Libri IV-VI. Considera «in varj casi le diverse proprietà de' canali, e de' fiumi».

Gugliemini, Misura delle acque correnti, libro II

PROPOSIZIONE I.

Se da un vaso pieno di acqua si cavi dell' acqua da luci , o forami simili , ed eguali , ma posti inegualmente sotto la superficie dell' acqua , le quantità dell' acqua cavata saranno fra loro in sudduplicata proporzione dell' altezza dell' acqua , che fa forza d' escire ; purchè però perseveri sempre sopra i lumi eguale altezza d' acqua .

<i>Altezza dell' acqua sopra il centro della cannella , e del lume in once del piede Bolognese .</i>	<i>Quantità dell' acqua , che esce in tutte a 15. le vibrazioni in once della libbra Bolognese .</i>	<i>Proporzione dell' acque nella prima osservaz. fondamentale , sudduplicata dell' altezza , in once della libb. Bologn.</i>
--	--	--

48	123	123
45	118	119
42	116	115
39	110	111
36	106	106
33	103	102
30	97	97 $\frac{1}{2}$
27	91	92

Proporzione dell' acque cavate nella seconda osservazione fondamentale .

24	93	93
21	87	87

DI DOMENICO GUGLIELMINI.

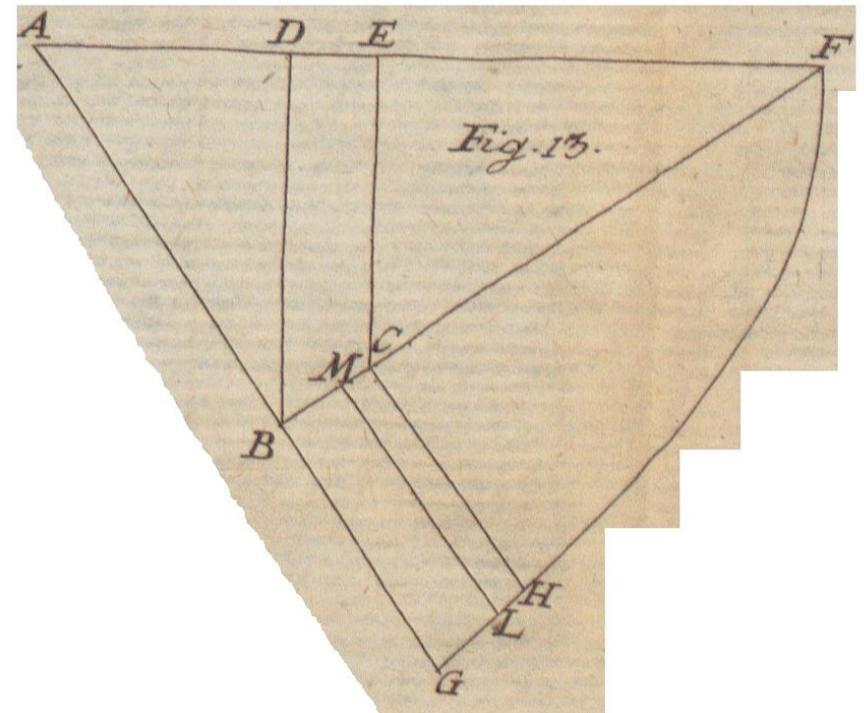
18	81	80 $\frac{1}{2}$
15	74	74
12	66	66
9	56	57
6	47	46 $\frac{1}{2}$
3	34	33

P R O P O S I Z I O N E V.

Assegnare una parabola nella quale si possa pigliare la misura delle velocità nella perpendicolare di qualche sezione. Fig. 13. Tav. VII.

Sia il canale inclinato $A B G$, il principio del quale sia A , la sezione B , e la sua altezza $B C$, bisogna assegnare una parabola, nella quale si possa pigliare la misura di tutte le velocità, esistenti nella linea $B C$. Dal punto A si tiri l'orizzontale $A F$, e si prolunghi $B C$ finchè non convenga con $A F$, in F , e d'intorno all'asse $B F$ si descriva la semiparabola $F H G$: dico, che questa farà la ricercata parabola. Si tirino perpendicolari le $B D$, $C E$, ad $A F$, e le femiordinate $B G$, $C H$, ec. e perchè la velocità in B , alla velocità in C , è in sudduplicata proporzione di $B D$, a $C E$, (*Prop. 1. e 2. di questo.*) ed è $B D$, a $C E$ per la similitudine de' triangoli, come $F B$ ad $F C$, farà la velocità in B alla velocità in C , in sudduplicata proporzione di quella, che ha $F B$ a $F C$; ma la medesima proporzione sudduplicata ha $B G$ a $C H$, adunque le velocità B , e C , faranno fra loro, come $B G$ a $C H$; adunque se $B G$ s'intenderà essere la velocità del punto B , farà $C H$ la velocità del punto C , e $L M$ del punto M , e così degli altri. Laonde la parabola $F B G$ farà la misura di tutte le velocità della perpendicolare $B C$. Il che, ec.

Corollario. Da queste cose è chiaro, lo spazio parabolico $C B G H$ essere il complesso di tutte le velocità della perpendicolare $B C$.

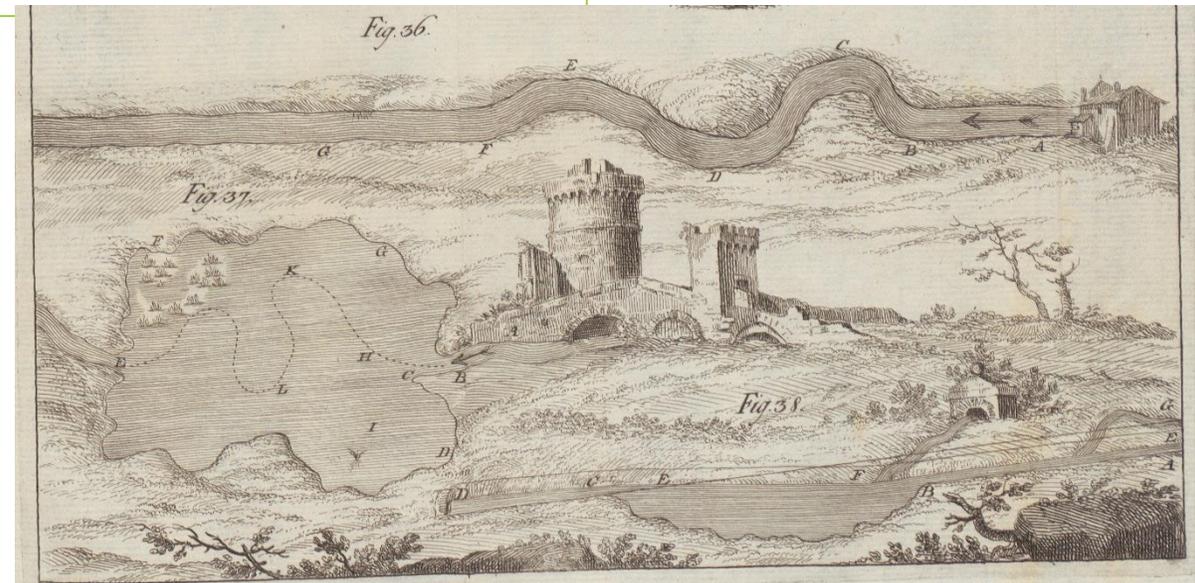
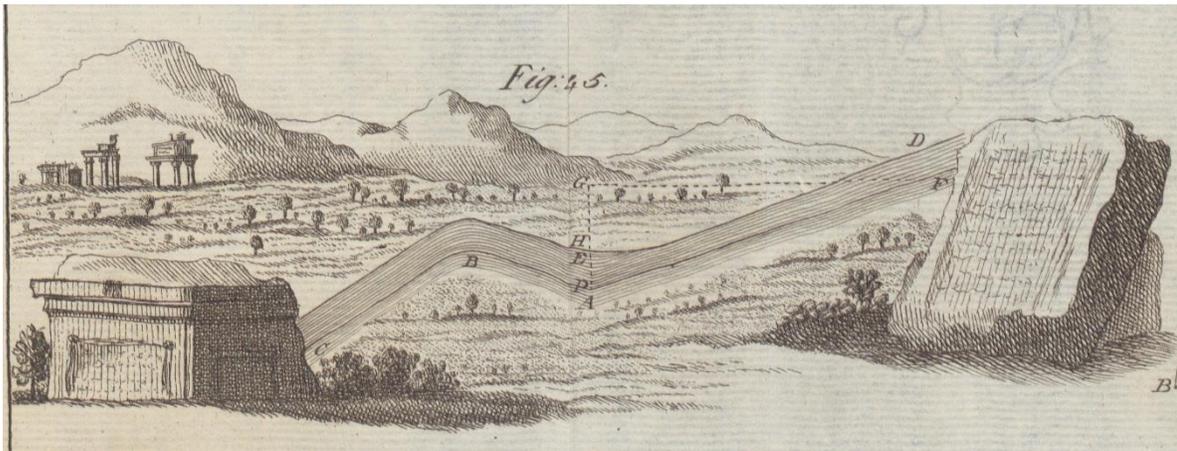
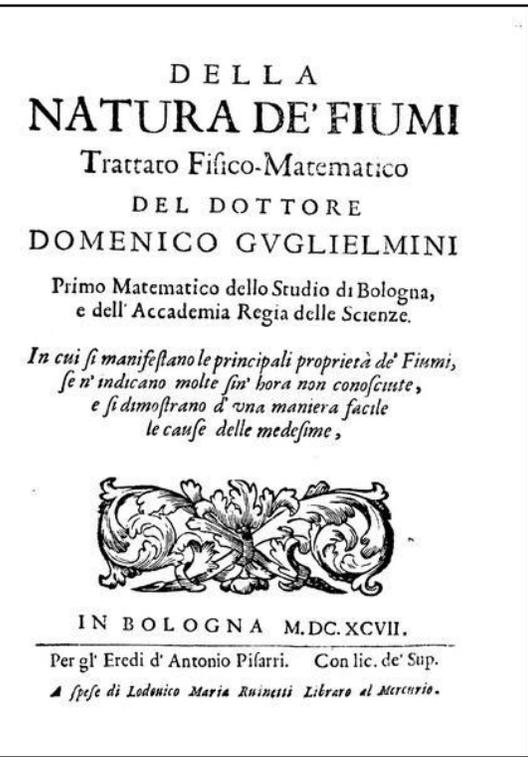


1697. *Della natura dei fiumi*, opera più vicina ai problemi concreti dell'idraulica.

In essa Guglielmini spiega le caratteristiche generali dei fiumi.

l'Architettura dell'Acque ha caminato sin'ora con piede poco sicuro, a cagione del non avere mai trovato, chi le dia l'appoggio delle scienze necessarie; dal che ancora è proceduto, che la medesima è stata ripiena di falsi supposti, e d'Equivoci ...

*gran parte delle **Proposizioni** non solo sono fondate sulle ragioni, che ho addotte in prova di esse; ma in oltre sono le medesime **confermate dall'Osservazione, e dall'Esperienza**; poiché con questi mezzi son'io arrivato a conoscerne la verità nelle occasioni, che sin'ora ho avute frequenti, di osservare, considerare, e speculare ad un tempo, sopra gl'effetti de' Fiumi; di far prendere le misure delle cadute di essi &c.*



1697. *Della natura dei fiumi*. Il ruolo del «perito d'acque»

“Mi sono astenuto da entrare in ricerche talmente profonde, che per venirne a capo fosse indispensabile l'uso della più sublime geometria, e tanto più, che nella professione di quest'arte ho osservato non essere, che assai rari i casi, ne' quali faccia d'uopo ricorrervi, e molto meno quelli, ne' quali siano necessarj i calcoli algebrici, che non sarebbero stati intesi da molti, capaci per altro d'intendere perfettamente quest'opera. [...] Richiede [la scienza delle acque] senza dubbio ogni regola di prudenza, che il carico dell'esecuzione si commetta più, che ad altri a chi per lungo uso ha potuto osservare, ed apprendere quali facilità, o quali difficoltà si sogliono incontrare su i fatti, e come profittando di quelle si possano sfuggire queste con risparmio di danaro, e di tempo, e con vantaggio dello stesso lavoro. [...] ne' libri teorici poco, o nulla d'ordinario si trova scritto né intorno a materiali, né intorno alle manifatture de' lavori [...] sarebbe desiderabile, che alcuno esperto ingegnere desse al pubblico un trattato compito, e metodico sopra tali particolarità [...] concordo che in simili affari siccome a nulla serve una pratica troppo cieca, così resti inutile una teorica troppo astratta e che la perfezione debba consistere in un giudizioso accoppiamento dell'una coll'altra”.

DELLA
NATURA DE' FIUMI
Trattato Fifico-Matematico
DEL DOTTORE
DOMENICO GVGLIELMINI

Primo Matematico dello Studio di Bologna,
e dell' Accademia Regia delle Scienze.

*In cui si manifestano le principali proprietà de' Fiumi,
se n' indicano molte sin' hora non conosciute,
e si dimostrano d' una maniera facile
le cause delle medesime,*



IN BOLOGNA M.DC.XCVII.

Per gl' Eredi d' Antonio Pifarri. Con lic. de' Sup.

▲ spefe di Lodovico Maria Ruinetti Libraio al Mercurio.

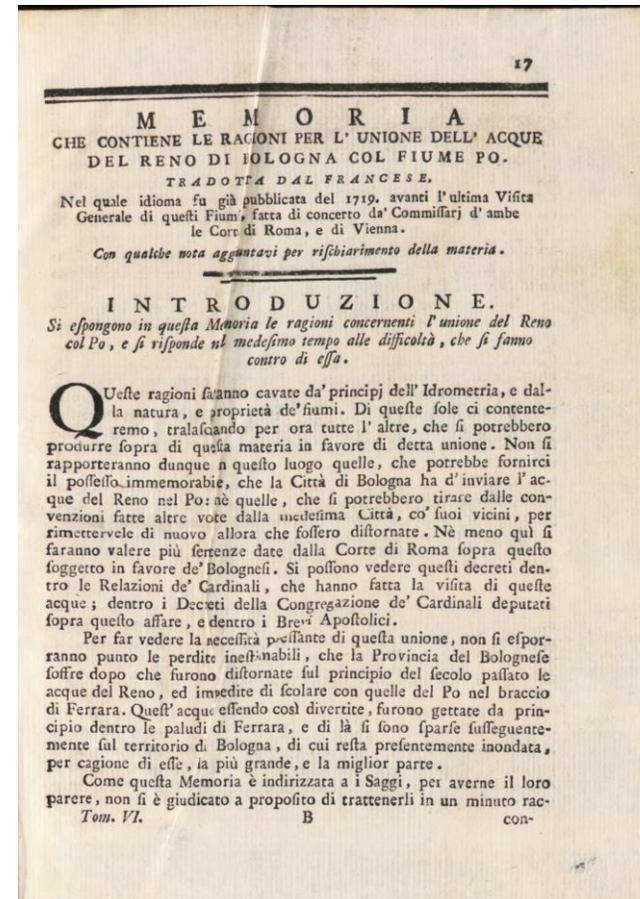
1698. Guglielmini viene chiamato a **Padova**, come lettore all'università e come consulente presso il Magistrato alle acque.

Eustachio Manfredi (Bologna, 1674 - ivi, 1739)

1699. Subentrò a Domenico Guglielmini come lettore di matematica all'Università di Bologna.

1705. Sovrintendente alle acque delle Bolognese.

In questa veste Manfredi si interessò al problema della regolazione del Reno, argomento sul quale pubblicò una serie di scritture, poi inserite nelle varie edizioni della raccolta sul moto delle acque.



La cattedra di matematica all'Università di Padova tra XVII e XVIII secolo

Stefano degli Angeli (1623-1697), allievo di B. Cavalieri, titolare della cattedra dal 1662 al 1697.

Domenico Guglielmini tenne la cattedra dal 1698 al 1702.

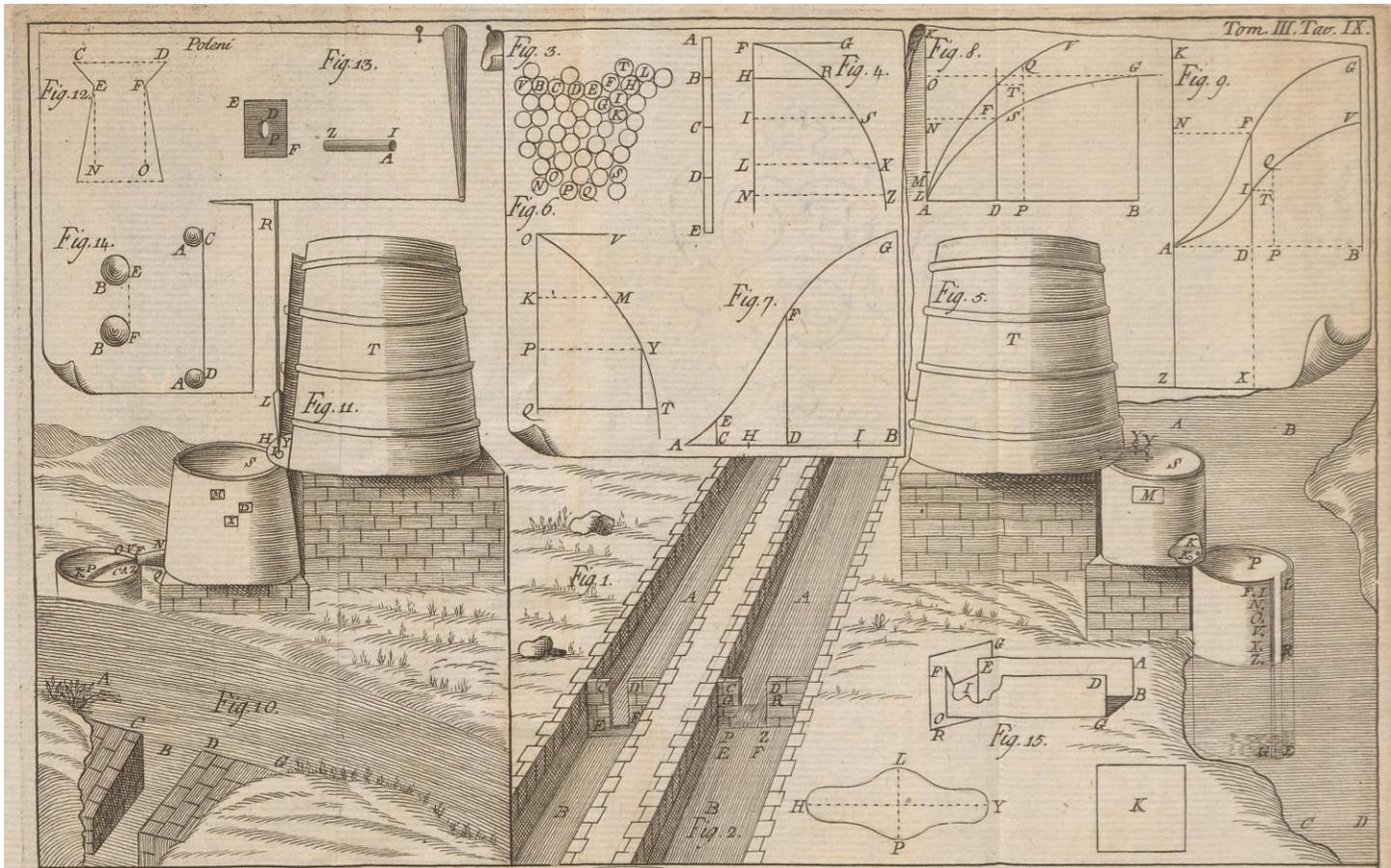
Jacob Hermann (1678-1733) fu lettore di matematica dal 1707 al 1713.

Nicolaus II Bernoulli (1687-1759), nipote di Jacob e Johann Bernoulli, fu titolare della cattedra dal 1716 al 1719.

Giovanni Poleni (1683-1761) insegnò matematica dal 1719 al 1761.

Giovanni Poleni all'Università di Padova

Fu coinvolto in questioni di idraulica pratica, in particolare in merito al problema del controllo del fiume Adige. Interessato a questioni fisiche, propose uno sviluppo originale dello studio del flusso nella laguna veneta (*De motu aquae mixto*, 1716). Effettuò numerosi esperimenti in scala ridotta, fornendo accurate misure dell'efflusso (*De castellis*, 1718).



Bernardino Zendrini (1679-1747), consulente del Magistrato alle acque

1701. Laurea in filosofia e medicina all'Università di Padova.

Interessi per la matematica e le sue applicazioni, in particolare per problemi idraulici.

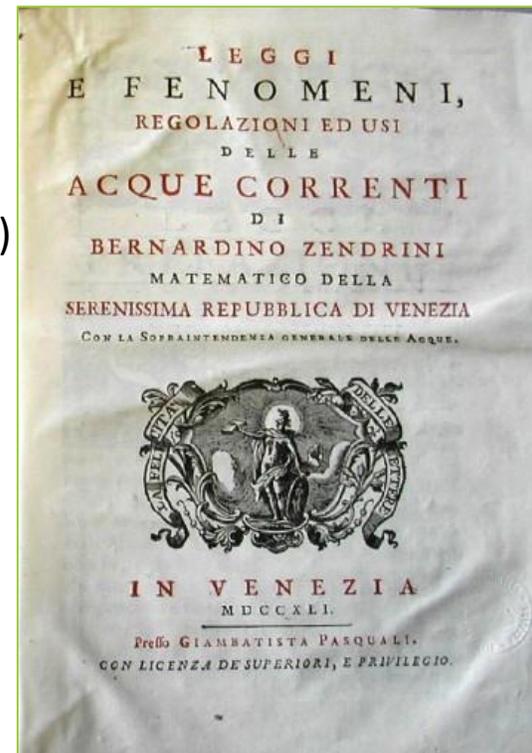
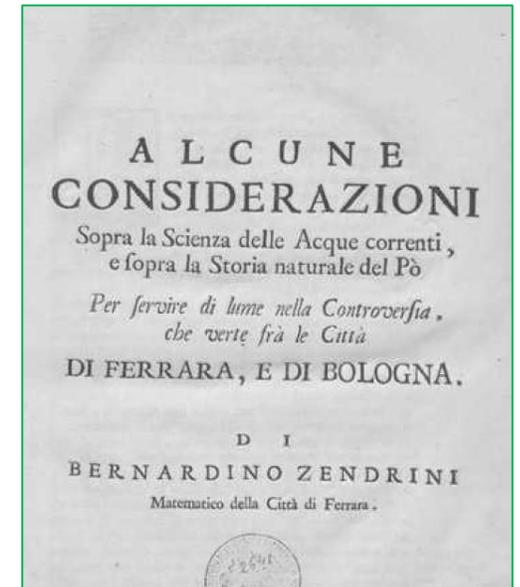
1717. Difende la posizione dei Ferraresi contro l'immissione del Reno in Po voluta dai Bolognesi.

1720. *Sovrintendente alle acque dei fiumi, delle lagune e dei porti dello Stato Veneto.*

1731. Autore con E. Manfredi del progetto di deviazione dei fiumi Ronco e Montone dalla città di Ravenna.

I maggiori contributi riguardarono la laguna di Venezia: *Memorie storiche sullo stato antico e moderno della Laguna di Venezia* (1811)

1747. *Leggi e fenomeni, regolazioni ed usi delle acque correnti.*



Matematici al servizio delle acque nel Granducato di Toscana

Guido Grandi (1671-1742)

1707. Matematico del granduca di Toscana Cosimo III, incarico mantenuto fino alla morte.

1714. Cattedra di matematica all'Università di Pisa.

Consulente per questioni di regolazione di acque (1716; 1719-1721; 1729).

[...] stese anche un trattato Geometrico del Movimento delle acque, col quale accrebbe di nuovi lumi l'Idrostatica, sciogliendo ardui Problemi [...]. Conoscea, che a trattar precisamente la materia, si richiedevano troppe esperienze, impossibili a praticarsi da un privato, senza l'assistenza di qualche mano sovrana, principalmente per fissare la legge delle velocità, sul qual punto si contentò di stare all'ipotesi dell'esser queste in ragione sudduplicata dell'altezze, dalle quali scendono le acque, come alla più probabile in Teorica: e stando su questo supposto, lavorò una Tavola parabolica delle velocità, e delle quantità d'acqua corrispondenti a qualunque altezza, con ridur le sue Teorie anche alle supposizioni abbracciate dagli altri, come era suo costume di fare.

Ortes, *Vita del padre Guido Grandi*, pp. 108-109.



Matematici al servizio delle acque nel Granducato di Toscana Tommaso Perelli (1704-1783)

1731. Laurea in medicina e filosofia all'Università di Pisa.

1739-1779. Lettore di astronomia a Pisa e direttore della nuova Specola.

Dal 1740 consulente idraulico per conto del Granducato di Toscana.

1761-1762. Consulente idraulico del Cardinale Pietro Paolo Conti durante la visita alle acque del Bolognese.

I nostri Autori italiani con l'applicazione delle Matematiche al regolamento dell'acque hanno i primi insegnati utilissimi metodi per la direzione delle medesime. Questi metodi formano una scienza, mercé di cui diverse provincie non solo in Toscana, ma in altre parti ancora dell'Italia hanno risentito vantaggi considerabili e per la salubrità dell'aria, e per la fertilità delle campagne. Una scienza cotanto apprezzabile fu posseduta in eminente grado dal Dottor Perelli, e per questa parte seppe distinguersi in diverse occasioni, nelle quali fu consultato. Nel 1740 fu la prima volta, che Egli facesse mostra della sua abilità in questa scienza con eseguire la visita di tutta la campagna Pisana, che mercè i proposti lavori atti a disseccare una palude, che ne ingombrava una non piccola parte risentì con sommo profitto per il miglioramento dell'aria, e per la cultura, e feracità di molto spazio di terra fino a quel tempo inutile, e inabitato. [...]

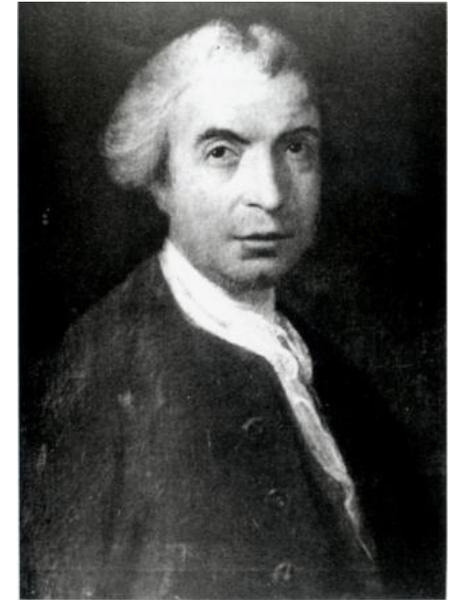
Ruggiero Giuseppe Boscovich (1711-1787)

1741-1760. Professore di matematica al Collegio Romano.

1764-1773. Professore all'Università di Pavia e alle Scuole Palatine di Milano.

1773-1782. Direttore dell'Ottica Navale a Parigi.

1744-1781. Consulente idraulico per lo Stato Pontificio e le principali corti italiane.



Porti fluviali

- ✓ Ancona (1744)
- ✓ Fiumicino (1751)
- ✓ Magnavacca (1752)
- ✓ Viareggio (1756)
- ✓ Rimini (1764)
- ✓ Savona (1771)

Bonifica di zone paludose

- ✓ Paludi Pontine (1764)
- ✓ Lago di Bientina (1756, 1781)

Regolazione di fiumi e torrenti

- ✓ Tevere (1752)
- ✓ Panaro (1758)
- ✓ Po (1764)
- ✓ Caina e Nestore (1766)
- ✓ Adige (1773)

**Sopralluoghi di
Boscovich relativi ai
porti fluviali**

Il porto di Savona

**La Repubblica di
Lucca e il porto di
Viareggio**

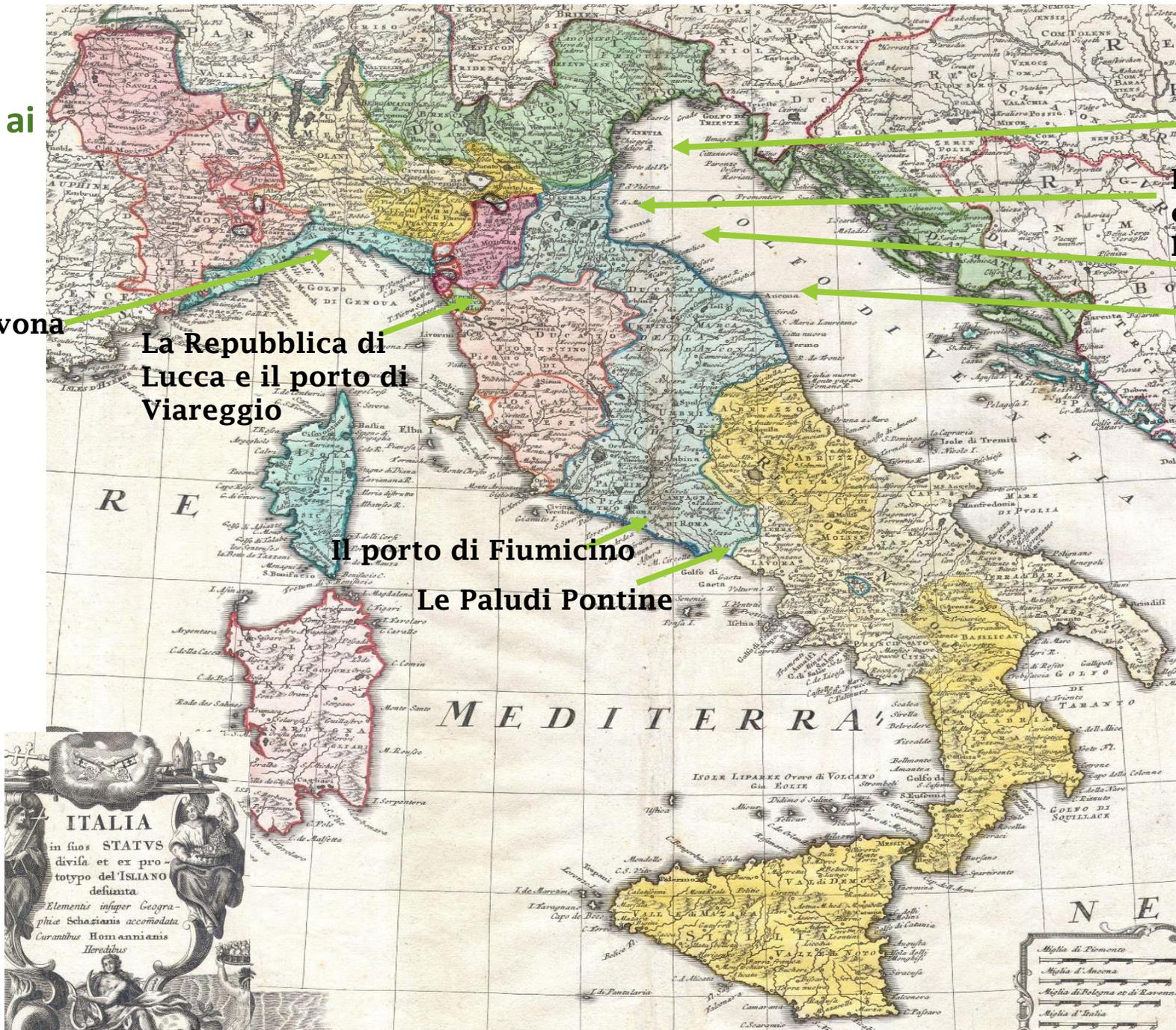
Il porto di Fiumicino

Le Paludi Pontine

La foce dell'Adige

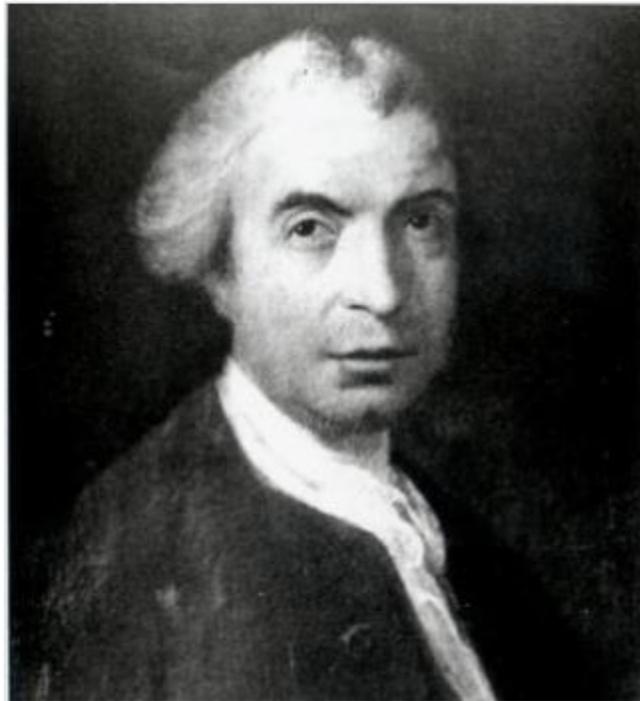
**Le valli di Comacchio
e il porto di
Magnavacca
Il porto di Rimini**

**Il porto di
Ancona**



Edizione Nazionale Boscovich

Edizione Nazionale delle Opere e della Corrispondenza



Ruggiero Giuseppe Boscovich (Dubrovnik 1711 - Milano 1787) è tra gli scienziati più rappresentativi del Settecento Europeo. Nato da padre croato e madre italiana, dopo i primi anni di scuola presso il locale collegio gesuitico (Ragusinum), fu inviato quattordicenne a proseguire gli studi a Roma nel Collegio Romano della Compagnia di Gesù. Professore di matematica presso lo stesso Collegio Romano dal 1740-41 al 1763-64, poi all'Università di Pavia, infine a Parigi come Direttore dell'Ottica Navale, i suoi contemporanei ne riconobbero soprattutto le opere matematiche, astronomiche e di filosofia naturale. Tuttavia, i suoi contributi spaziaronο in aree molteplici e variegate, dalla geodesia all'ottica teorica e pratica, dalla meteorologia all'idrologia e all'idraulica, dalla statica delle

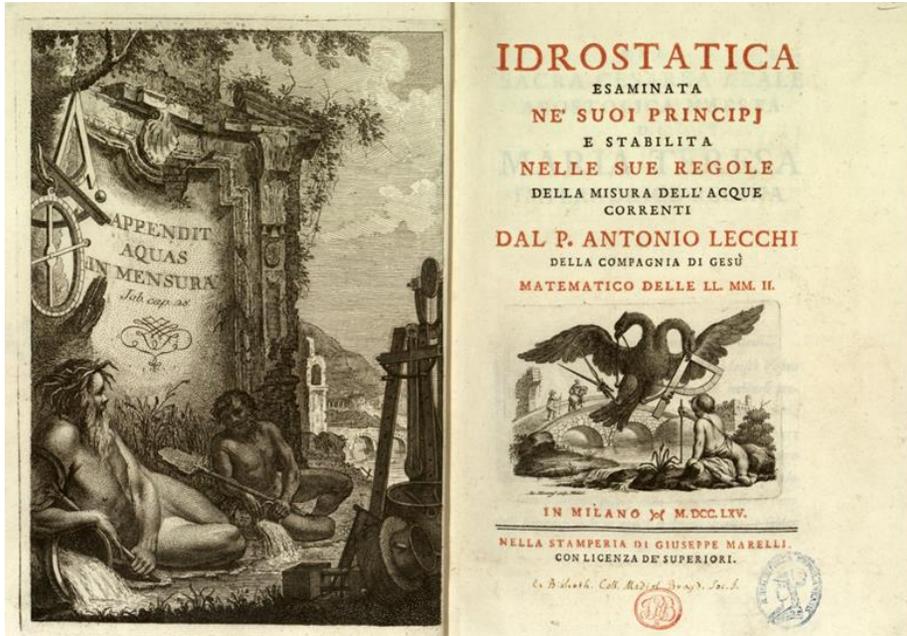
<http://www.brera.inaf.it/edizionenazionaleboscovich/index.php>

- ▶ Home
- ▶ Presentazione
- ▶ Il Progetto
 - ▶ Piano editoriale delle opere a stampa
 - ▶ Piano editoriale della corrispondenza
- ▶ Commissione scientifica
- Biblioteca digitale*
 - ▶ Opere a stampa
 - ▶ Corrispondenza
 - ▶ Licenza di utilizzo
- La vita*
 - ▶ Breve biografia
 - ▶ Cronologia
 - ▶ Bibliografia
- ▶ Crediti
- ▶ Contatti

Alcuni riferimenti teorici di Boscovich in materia d'acque

*La materia delle acque è ben intrigata, e molto poco diggerita. Su questo argomento ha scritto assai bene nella sua opera di 3 anni sono il P. **Lecchi**, in cui esamina la teoria tanto dell'acqua che esce da' fori, quanto di quella, che corre per gli alvei: non so se sia arrivata costà: è intitolata **Idrostatica** esaminata. In **Turino** uscì l'anno scorso un'opera del **Michelotti** piena di esperimenti, e avrebbe il maggior comodo del mondo per farne di eccellenti, e liquidar varj punti; ma è troppo debole nelle teorie.*

Boscovich a Lorgna, Pavia, 7 giugno 1768



Giovanni Antonio Lecchi (1702-1776)

1738-1773. Professore di matematica e idraulica (dal 1760) al Collegio di Brera.

Dal 1757. Consulente idraulico

1759. Nominato «matematico ed idraulico regio» dall'imperatrice Maria Teresa d'Austria



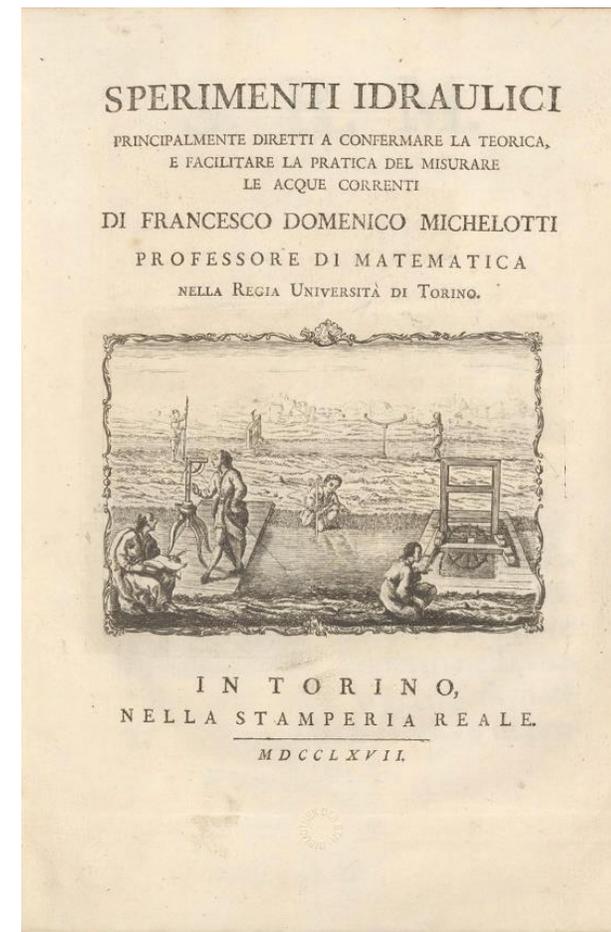
Francesco Domenico Michelotti
(1710 - 1787)

1738. *Ingegnere topografo* alla corte di Carlo Emanuele III.

1739. *Professore sostituto di matematica* alla Scuola di Artiglieria di Torino.

Dal **1754**. Professore di matematica all'**Università di Torino**.

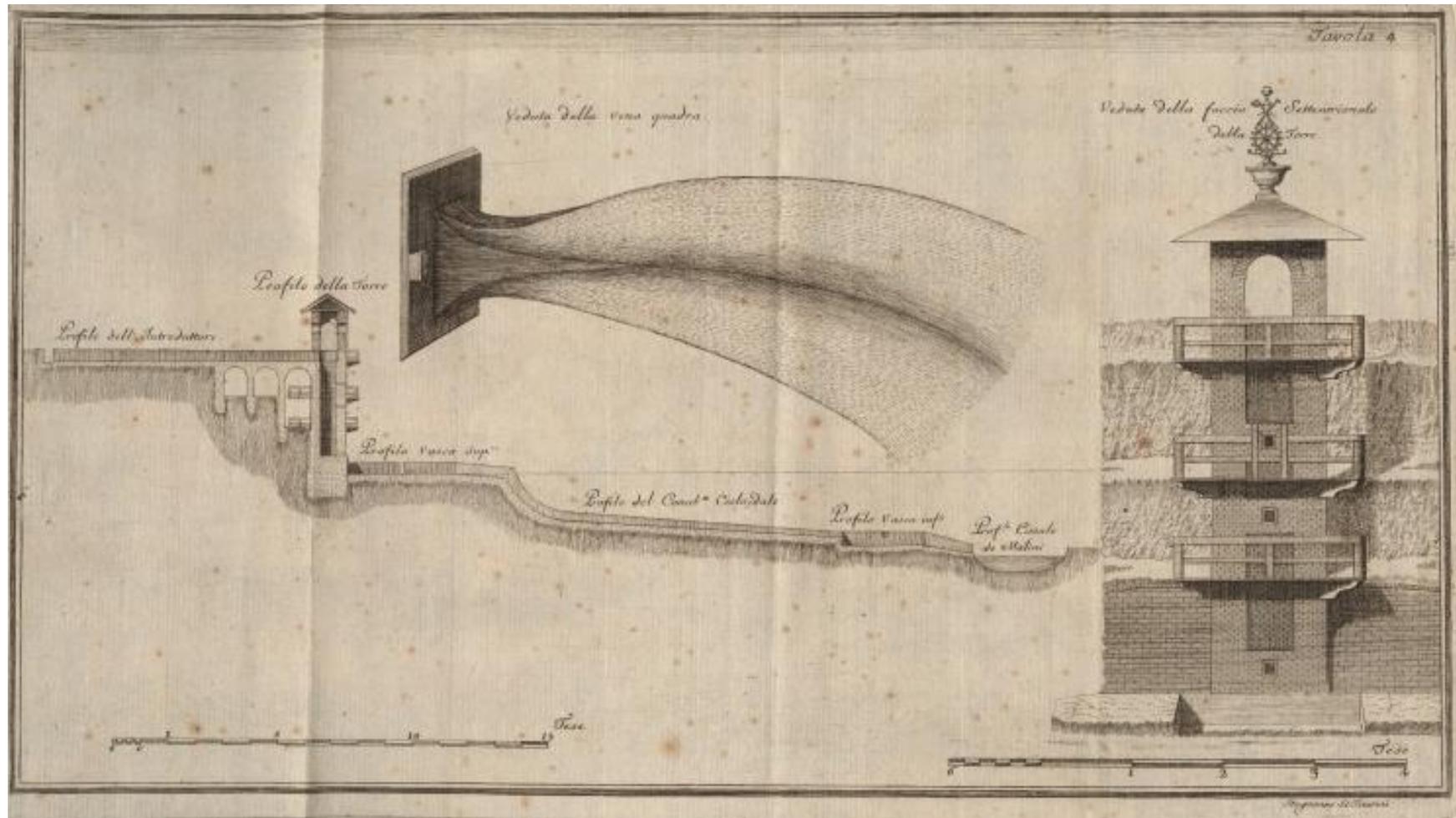
1763. Incaricato da Carlo Emanuele III della direzione delle ricerche e degli esperimenti nello **Stabilimento per le sperienze idrauliche della Parella** a Torino.



Sperimenti idraulici principalmente diretti a confermare la teorica, e facilitare la pratica del misurare le acque correnti (2 voll. 1767-71).

Il signor Michelotti, già mio maestro, sin da' suoi anni più giovanili impiegato nell'architettura militare, e poi professore delle scuole d'artiglieria, si fece conoscere quasi al principio de' suoi studi da' dotti personaggi dell'instituto di Bologna con due dissertazioni [...]; ed il re Carlo Emanuele sapendo quanta fosse l'abilità di lui nelle matematiche sì pure, che miste, e in particolare nell'architettura e civile, e idraulica, lo nominò professore di matematica nella regia università.

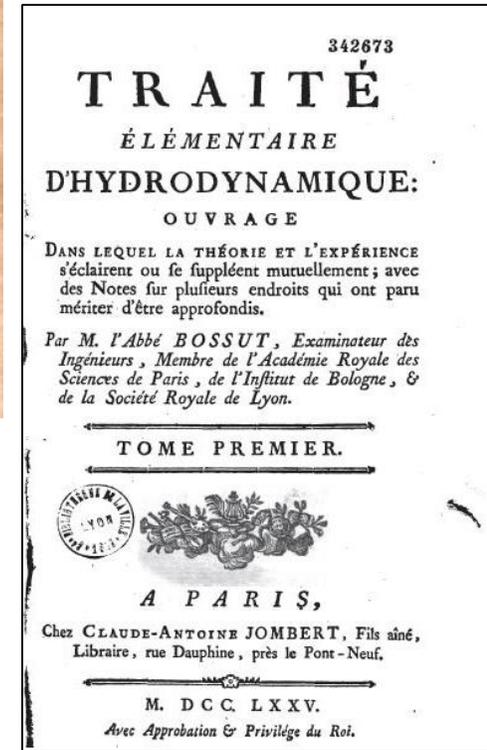
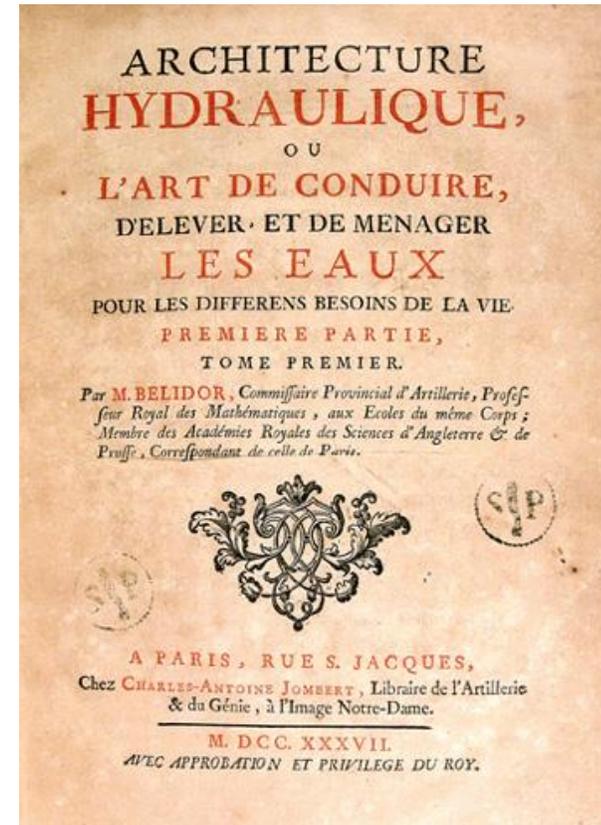
Il laboratorio per gli esperimenti idraulici di Torino



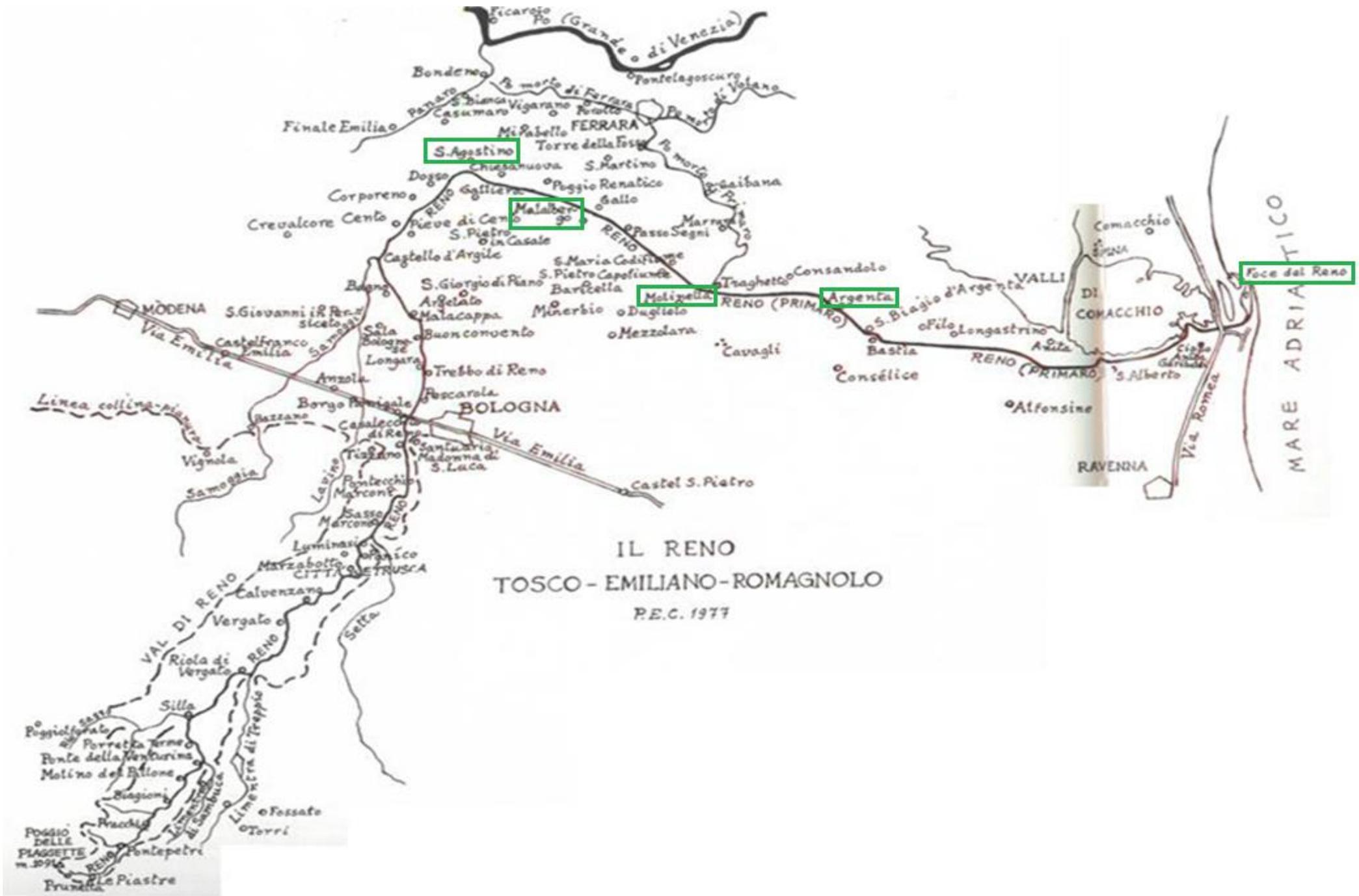
F. D. Michelotti, *Sperimenti idraulici*, vol. 1, tavola 4

[...] farà bene a darsi totalmente a quello, che riguarda le acque, e il mestiere degli ingegneri. [...] In ordine agli elementi i comuni ella li sa a maraviglia: per quello riguarda le acque, poco vi ha di sicuro, e vi vuole piuttosto un buon senso, e giudizio; ma su ciò niuno può indirizzarla meglio dello stesso Ximenes, e può profittar assai ajutandolo a metter all'ordine, e stampare le Memorie, che ha fatte in varie occasioni, delle quali mi disse di averne per due tomi. Può ajutarla molto ***l'Architettura Idraulica di Belidor***, che è opera classica, benché vi sieno degli sbagli, e può farsi venire di qua, se non ve ne sono costi degli esemplari, ***l'Idrodinamica, o Idrostatica di Bossut***, che viene celebrata assai. L'opera di Lecchi le darà pure de' buoni lumi.

Boscovich a Puccinelli, Parigi, 8 gennaio 1774



MATEMATICI AL SERVIZIO DELL'IDRAULICA
TRA SEICENTO E SETTECENTO
LE VISITE ALLE ACQUE SUL FIUME RENO



IL RENO
TOSCO - EMILIANO - ROMAGNOLO
P.E.C. 1977

Il problema del Reno nello sviluppo degli studi di idraulica

- Il problema secolare rappresentato dalla regolamentazione del corso del Reno accompagna la storia dell'idraulica dalle sue origini come disciplina scientifica.
- Pressoché tutti i matematici del Seicento e Settecento che si occuparono di questa scienza presero parte al dibattito sulla sistemazione del torrente bolognese, applicando i propri modelli teorici allo scopo di prevedere le possibili conseguenze dei progetti idraulici in discussione.
- È possibile ripercorrere la storia dell'idraulica attraverso la storia del Reno.

Il problema del Reno nello sviluppo degli studi di idraulica

Storia del Reno - 4 epoche:

- I. Prima del 1522. Il Reno non era ancora arginato lungo tutto il suo corso
- II. 1522-1604. Il Reno venne arginato lungo il suo corso e immesso nel Po di Ferrara nei pressi di Porotto.
- III. 1604-1767. Chiusura della bocca del Reno nel Po di Ferrara e introduzione delle acque del torrente nella valle Sammartina
- IV. Dopo il 1767. Progetto di un canale artificiale tra Sant'Agostino e Passo Segni che, insieme al cavo Benedettino, costituisce l'attuale corso del Reno fino a Traghetto.

Il problema del Reno nello sviluppo degli studi di idraulica

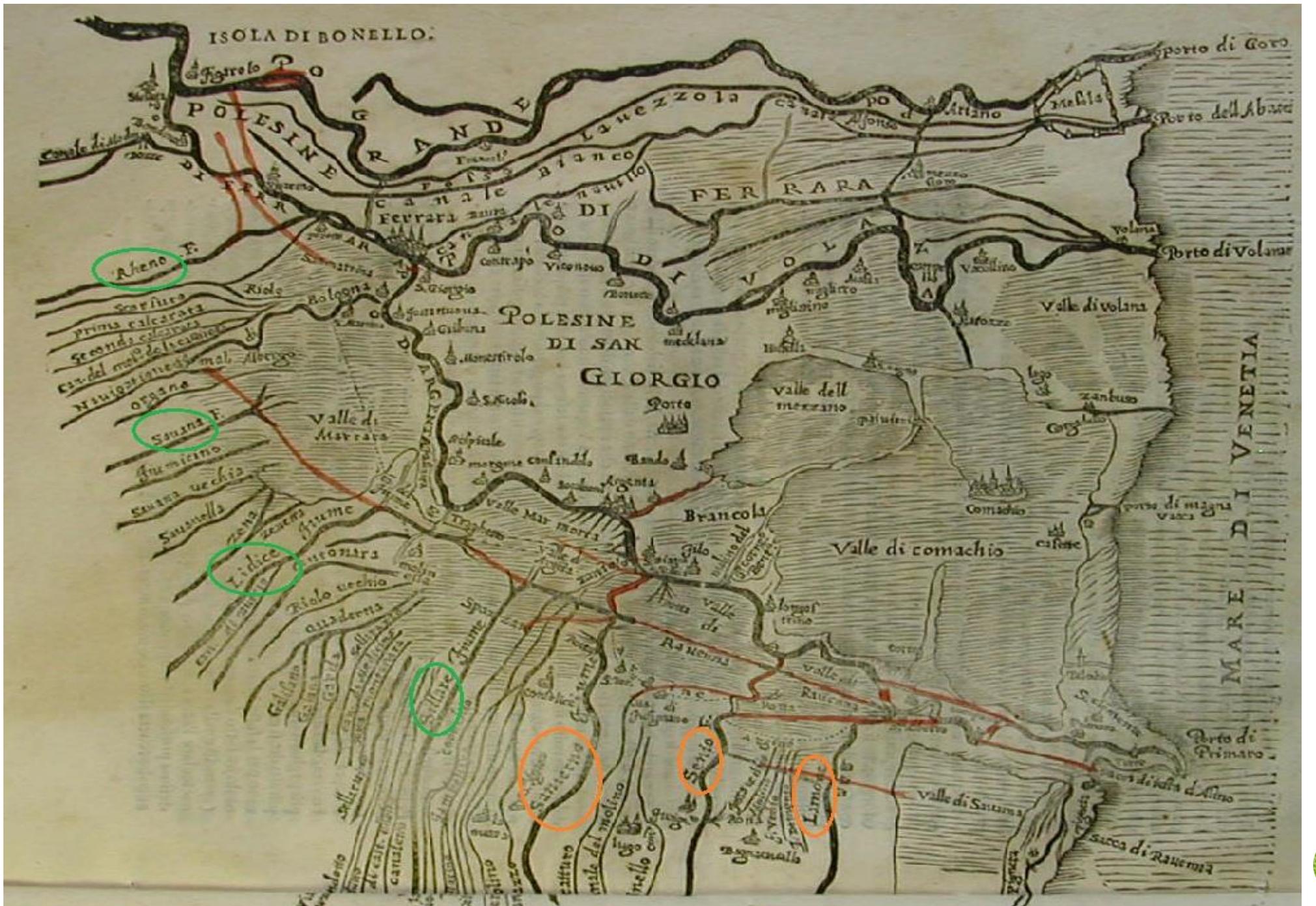
1522-1604.

Compositio inter illustrem Ducem Ferrariae, et Dominos Bononienses pro immittendo Flumen Reni in Padum (1522). Il duca Alfonso I d'Este permise "che i Bolognesi a proprie spese, e sotto varie condizioni, chiusa la recente rotta del Reno, rimettessero questo nel primiero suo alveo sotto a Cento, e dal punto dove l'alveo terminava si prolungasse per la palude sino alla Rotta di Madonna Silvia, la quale ... stava appresso alla odierna Chiesa di Porotto".

Seguirono frequenti inondazioni ed il rapido interrimento del Po di Ferrara - Tentativi (inadeguati) per ripristinare la navigazione lungo i rami ferraresi (Volano e Primaro).



Iniziarono le visite alle acque delle province di Ferrara e Bologna



1601
G. B Aleotti

Il problema del Reno nello sviluppo degli studi di idraulica

1598. Devoluzione del ducato di Ferrara allo Stato della Chiesa.

Exigit a nobis (1604). Chiusura della bocca del Reno nel Po di Ferrara e introduzione delle acque del torrente nella valle Sammartina, a sud di Ferrara.



XVII - XVIII secolo.

Notevole impulso degli studi di idraulica da parte dei matematici dello Studio bolognese.

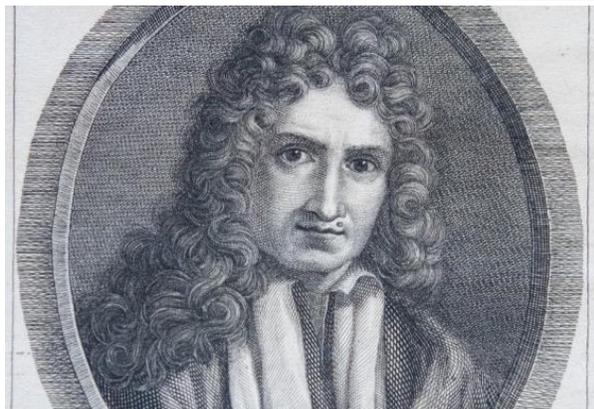
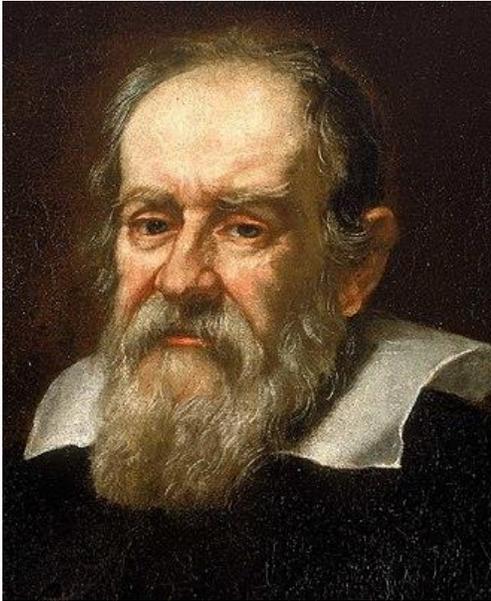
Il problema della regolazione del Reno

Molti furono i matematici e i periti che si interessarono di idraulica e che presero parte al dibattito sulla sistemazione del corso del Reno nel tratto compreso tra le province di Bologna, Ferrara e Ravenna.

Nasce la figura del «**consulente in materia d'acque**».

I dibattiti sulla regolazione del Reno tra Seicento e Settecento furono assai numerosi e, seppur non risolutivi dal punto di vista strutturale, ebbero il merito di far progredire gli studi in materia di scienza delle acque.

Matematici al servizio della scienza idraulica



Le Visite alle acque durante il Seicento

Dal 1604 il Reno deviato dal Po di Ferrara veniva fatto spandere nella valle Sammartina per bonificarla.

1606, 1610. Visite del card. Gaetani

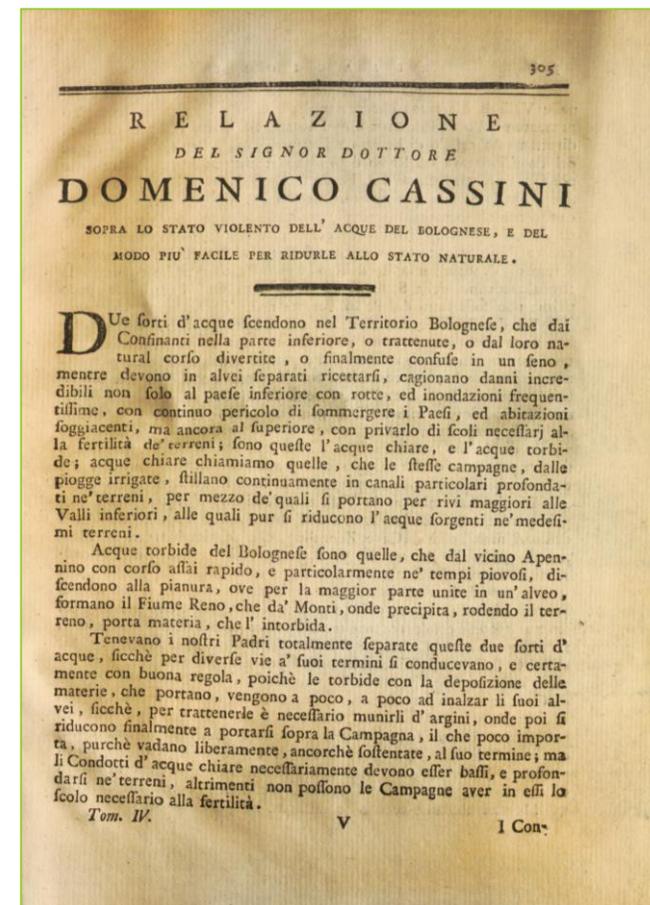
1613-1614. Visita del card. Rivarola

1621. Visita del card. Capponi

1625. Visita di Monsignor Corsini, con la supervisione del matematico **Benedetto Castelli**. La visita interessò i principali fiumi e torrenti della pianura tra Bologna e Ferrara (Reno, Po di Ferrara, Po di Volano, Po di Primaro) e le valli. Furono eseguite le livellazioni di sei “linee” proposte per la diversione del Reno. Venne scelta la linea Capponi, che proponeva di unire il Reno col Panaro presso Bondeno e di scaricarli nel Po grande attraverso il Po di Ferrara.

Le Visite alle acque durante il Seicento

1658-61. Visita di Monsignor Borromeo. Furono effettuate livellazioni alla presenza del matematico **Gian Domenico Cassini**. *Relazione dello stato violento dell'acque del Bolognese e del modo più facile per ridurle allo stato naturale.* Cassini favorevole all'immissione del Reno in Po, riprende e corregge il progetto dei cardinali Capponi e Corsini.



Le Visite alle acque durante il Seicento

1692-93. Visita dei Cardinali D'Adda e Barberini, nominati da Innocenzo XII soprintendenti generali delle bonificazioni nelle tre provincie di Bologna, Ferrara e Romagna.

Domenico Guglielmini intervenne alla visita per conto della delegazione bolognese, redigendo una serie di *Scritture intorno all'affare del Reno*.

Il tecnico che rappresentava la città di Ferrara fu Giovanni Magnini.

Visita dei luoghi: novembre 1692

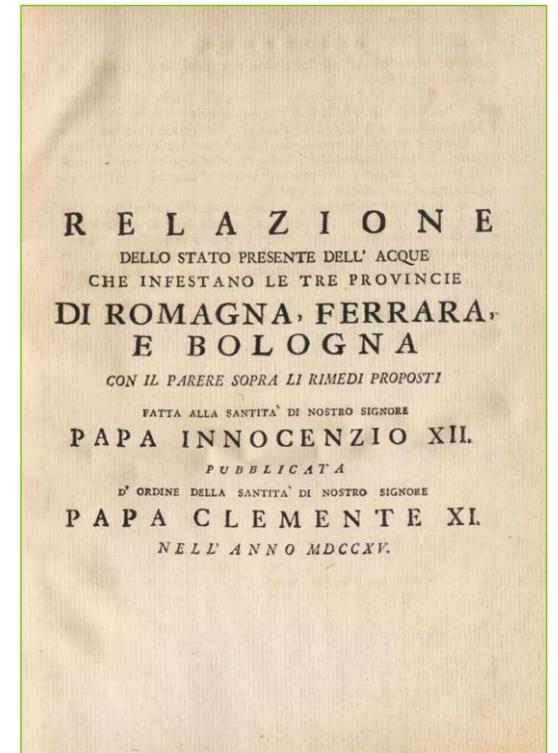
Durata dei lavori: gennaio - luglio 1693

Livellazioni dei periti: luglio - novembre 1693

Incontro tra le delegazioni: luglio -settembre 1693

Esame di 5 progetti:

- introduzione del Reno nel Po Grande (Guglielmini)
- linea grande proposta da Spernazzati: introduzione del Reno in Trebbo, parallelamente alla via Emilia intersecando Savena, Idice, Centonara, Quaderna e Sillaro facendoli sfociare in Adriatico alla foce del Savio.
- introduzione del Reno nel Po di Primaro
- introduzione del Reno nel Po di Volano
- linea di valle in valle (progetto Aleotti)





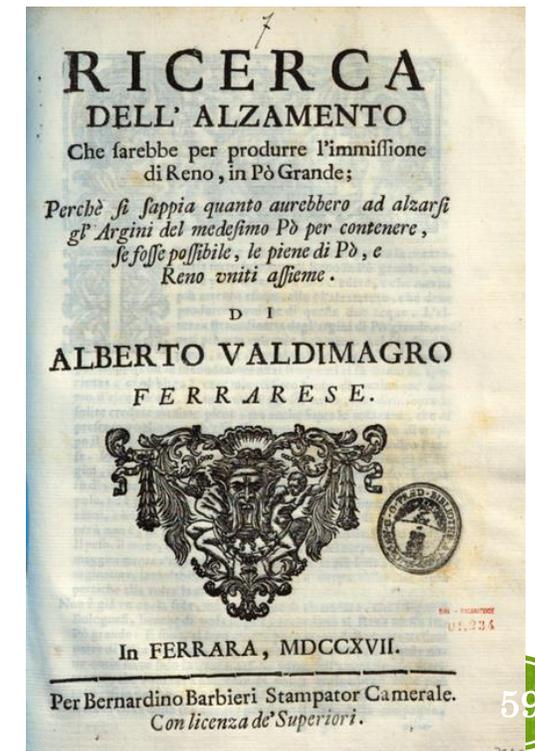
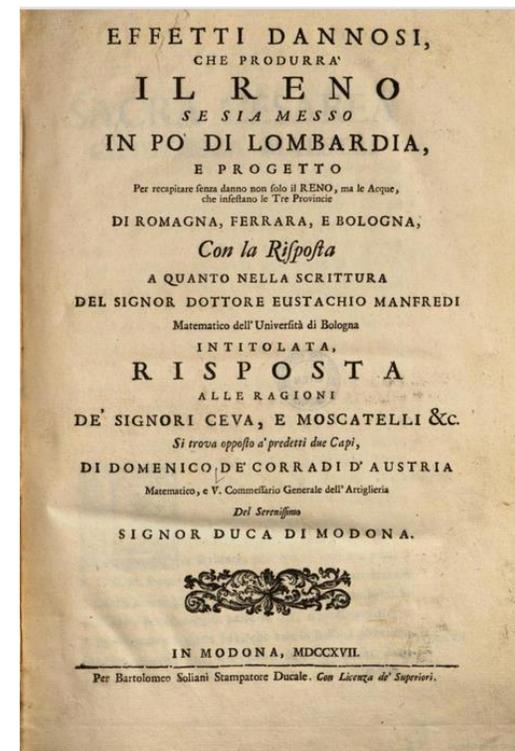
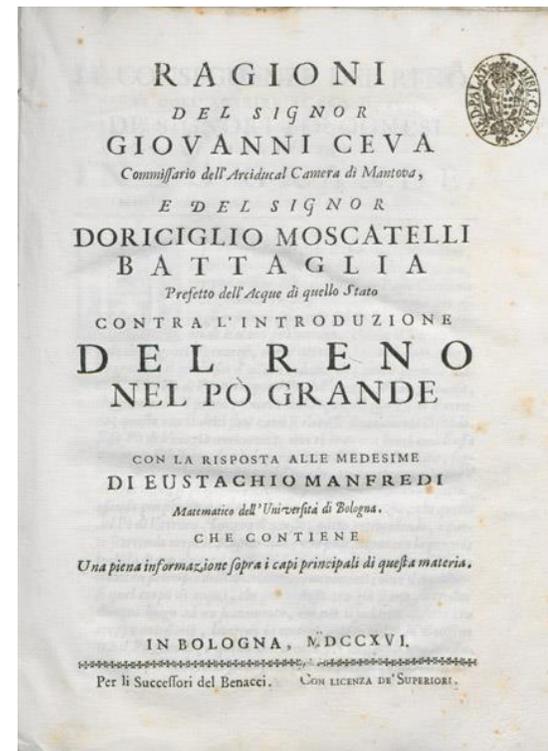
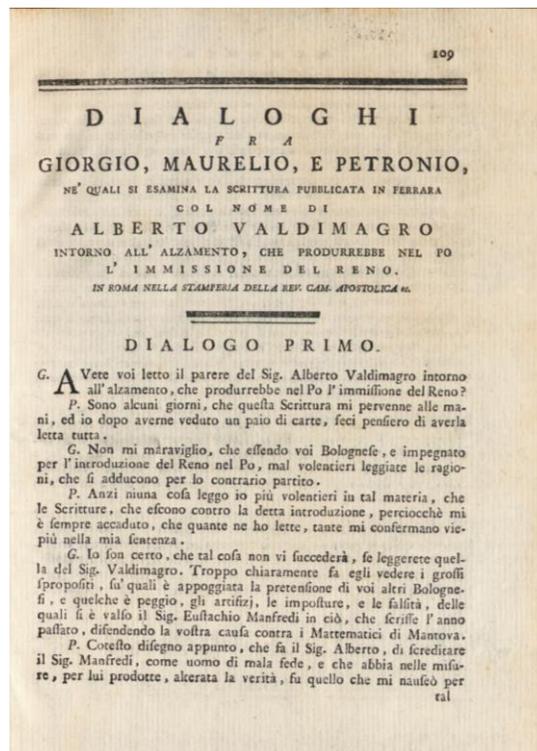
Disegno Topografico, ed Idrografico del Reno, sue
 Valli, Siti, e Stati addiacenti fatto l'Anno 1715
 In Spiegazione della Relazione data dagli Emi
 Cardinali D'Adda e Barberini l'Anno 1694.



1715

Le Visite alle acque durante il Settecento

1716-17. Visita di Monsignor Riviera, con la supervisione dei matematici **Guido Grandi** e **Celestino Galiani**. Fu confermata la validità del progetto di Guglielmini. Alla decisione si opposero l'impero asburgico (Giovanni Ceva), il ducato di Modena (Domenico Corradi d'Austria) e la città di Ferrara (Romualdo Valeriani e Romualdo Bertaglia).



Le Visite alle acque durante il Settecento

1719-20. Visita di Monsignor Rinuccini, articolata in due parti: 1. monitorato il corso superiore del Po, da Pavia alla confluenza col Ticino; 2. esaminato il corso inferiore ed il delta, partendo da Pontelagoscuro. I tecnici che sovrintesero alla visita per conto dei vari governi furono **Guido Grandi** e **Celestino Galiani** (matematici pontifici), **Eustachio e Gabriele Manfredi** e Francesco Zanotti (Bologna), **Domenico Corradi** (Modena), **Giovanni Ceva e Doricilio Moscatelli Battaglia** (Mantova), **Jacopo Marinoni** (Vienna), **Bernardino Zendrini** (Modena).

Visita generale del Po (1719)

*Essendo per l'Introduzione del Fiume Reno nel Po grande molto tempo in qua insorte diverse Controversie fra i Bolognesi, Ferraresi ed altri Dominj Confinanti, ed importando al Pubblico, e specialmente a Paesi, de quali Sua Maestà Cesarea ne è Padrone, e possiede, che dall'Introduzione del Reno nel Po in ogni eccesso, segua di maniera, che non solo li detti Cesarei Paesi restino liberi da ogni pericolo, che nell'escrecenza dell'acque, con qualche Rotta potesse accadere, ma che nemmeno alli Principati Confinanti sia con ciò inferito alcun pregiudizio, o danno, ed avendo la Città di Bologna mandato a questa Corte un'Espresso Deputato, che produsse una Mappa, con cui dimostra il modo più breve, e sicuro, per fare la detta Introduzione nel Reno, pressando istantemente, che **sia ordinata una Cesarea Commessione per l'ocular Visita da farsi sul luogo, e che a questa siano Deputati Soggetti tali, che non solo abbiano cognizione della Matematica, e dell'Arte dell'Acque, ma che nemmeno siano parziali ne all'una, ne all'altra delle Parti, con fare le necessarie, ed esatte annotazioni di ciò, che scopriranno nei Siti, per poter poscia sopra tutto trasmettere alla Corte una ben fondata Relazione.***

4 settembre 1719

Le Visite alle acque durante il Settecento

Breve del 1725. Dichiarato non più proponibile il progetto Reno - Po grande, si cercarono nuove soluzioni.

1725-26. Congressi di Faenza, presieduti dal Cardinal Piazza. I Bolognesi proposero un rimedio parziale consistente nel *“prendere nelle vicinanze del Ponte di Lagoscuro una parte delle acque perenni del Po grande per un alveo che lungo il Polesine di Ferrara andasse addirittura fino al mare, e far poscia sboccare in quest'alveo il Reno, conducendolo tra la città di Ferrara, et il Po, affinché dalle acque perenni di questo le torbide del Reno venissero portate al mare”*.



**PIANTA
DEL PAESE SOGGETTO**

Allo sregolato corso dell' Acque del Reno al Mare, estratta fedelmente nell' anno 1725 in Faenza dall' Originale prodotto per parte della Città di Bologna in occasione dell' Examina della Linea proposta per la diversione del Reno dal Signor Domenico Corradi D' Austria Matematico del Serenissimo di Modena negli Atti del Notajo Bartoli Cancelliere Episcopale, dalla quale Pianta si ricava un Progetto di condurre il Reno unito agli altri Torrenti sulla destra del Po di Primaro al Mare.



1732

Scala di pertiche a. 5000 Miglia cinque di Bologna.

li. 2. Agosto 1725.

Il Cavo Benedettino

1740. La politica dello stato Pontificio in merito alla regolazione del Reno e degli altri torrenti appenninici si orientò verso il partito filo-bolognese.

1742. Fu approvata la proposta di immettere le acque dell'Idice in Primaro vicino a Traghetti e lo scavo di un canale artificiale che doveva servire come emissario delle acque del Reno chiarificate nelle valli convogliandole nel Primaro a Traghetti: il **Cavo Benedettino**.

Il progetto fu elaborato dal matematico bolognese **Gabriele Manfredi (1681-1761)**.

1720. Cattedra di analisi presso lo studio bolognese.

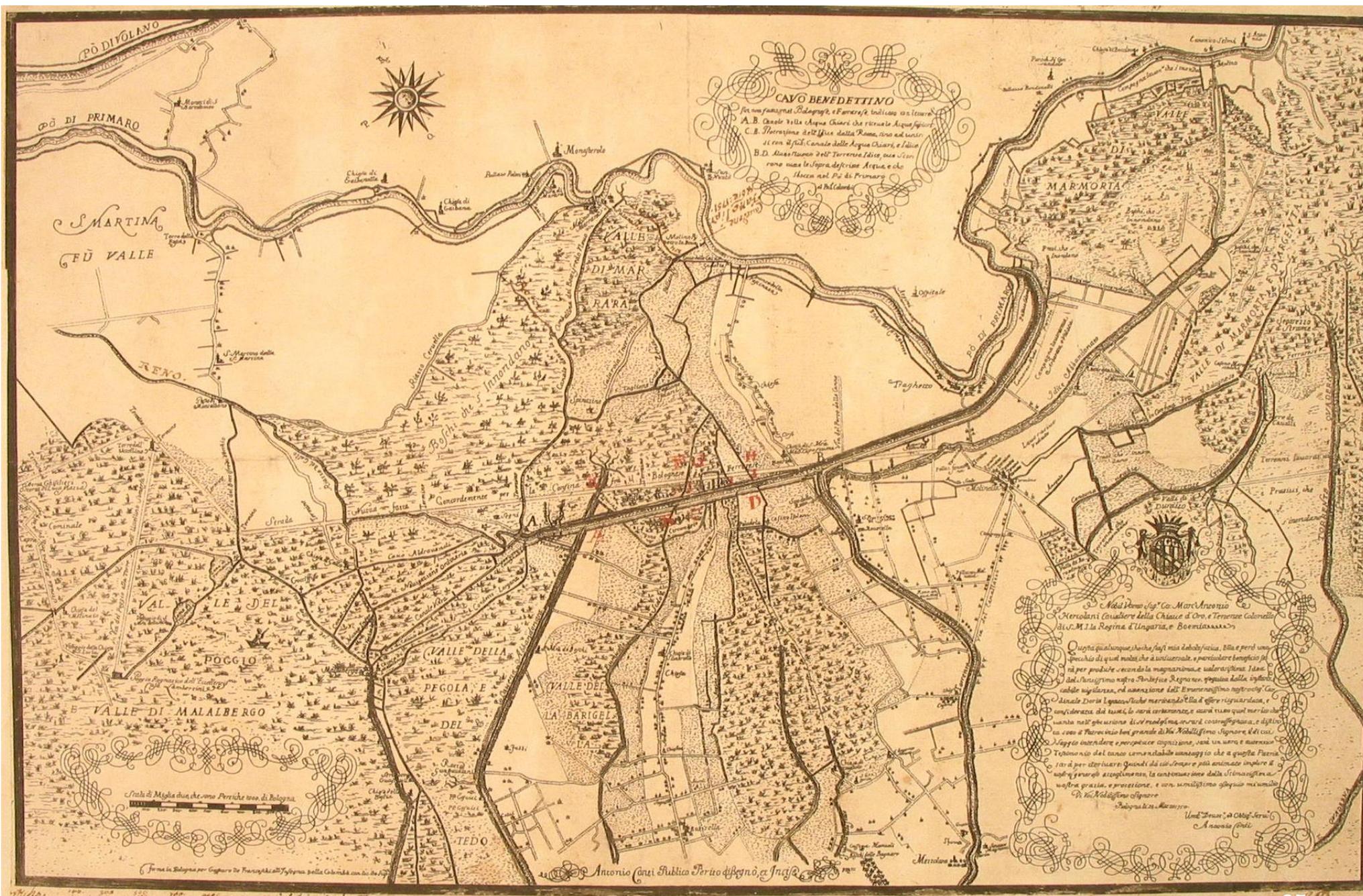
1716-42. Segretario dell'Assunteria delle Acque

Dal 1742. Sovrintendente alle acque del Bolognese.



1745. Avviati i lavori di realizzazione del cavo Benedettino. Il cavo raccoglieva le acque delle paludi tra Passo Segni e Traghetto.

Presentato come **rimedio provvisorio**, il cavo sarebbe diventato il nuovo corso del Reno.



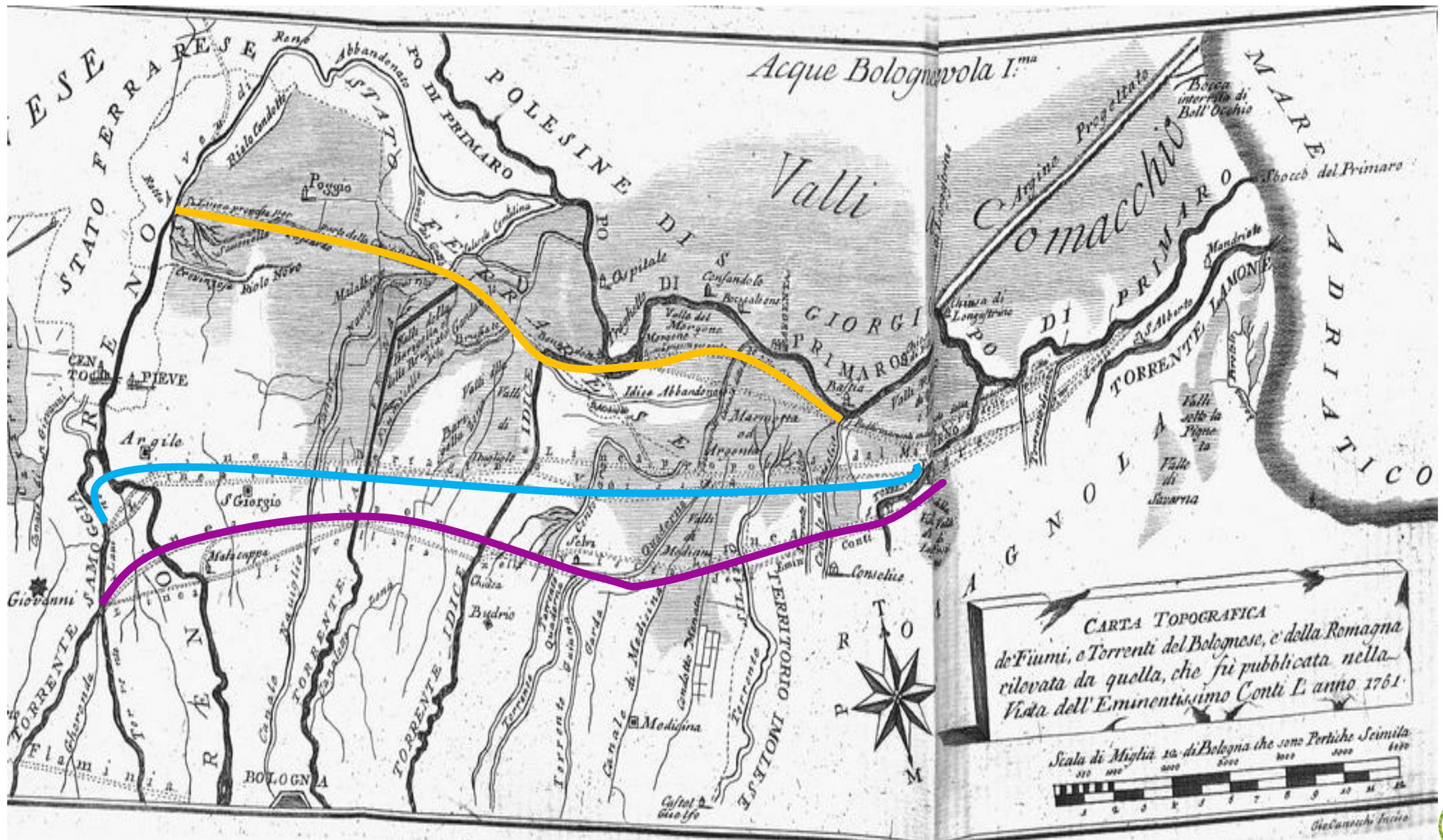
Il problema del Reno nello sviluppo degli studi di idraulica

Alla fine degli anni '50 del XVIII secolo furono avanzati diversi progetti per la regolazione delle acque delle tre province.

- linea Manfredi
- linea Bertaglia
- linea superiore (Fantoni-Santini)

1761-62. Visita del Cardinale Conti, coadiuvato da **Tommaso Perelli** quale “Mattematico neutrale per direttore delle operazioni e consultore del governo”.

Intervennero nella visita i matematici rappresentanti delle tre province, Jacopo Marescotti e Pietro Chiesa per Bologna, Romualdo Bertaglia e Teodoro Bonati per Ferrara, Giuseppe Guarini per Ravenna, Ambrogio Baruffaldi per la Reverenda Camera Apostolica.



La consulenza di Perelli durante la Visita Conti

1761-62. Visita Conti. Nel corso di oltre un anno *“tutte queste vaste pianure furono esaminate quasi palmo, a palmo per più di 40 miglia, cioè dal punto, ove sbocca in mare il Po di Primaro fino al Reno; fu livellato il terreno non solo nelle direzioni, per le quali si proponevano de’ nuovi alvei, ma in moltissime altre trasversali”*.

Esaminata la natura dei fiumi e dei torrenti ai quali si voleva dare recapito, se ne calcolò la pendenza richiesta, la larghezza dell’alveo, si studiarono la qualità delle materie trasportate, l’altezza e la durata delle piene. I dati furono poi raccolti negli atti della visita.

Rimane dunque provato, che volendo ottenere la bonificazione generale dei terreni inondati delle tre Provincie è indispensabile l’unire le acque del Reno con quelle degli altri torrenti, e ristrette in un sol alveo portarle al mare per una linea alla destra del Primaro.

Le tappe della Visita Conti



R E L A Z I O N E
ALL' EMINENTISS. E REVERENDISS. SIG. CARDINALE
PIETRO PAOLO CONTI
SOPRA IL REGOLAMENTO DELL' ACQUE DELLE TRE PROVINCE
DI BOLOGNA, FERRARA, E ROMAGNA.

EMINENTISS., E REVERENDISS. SIGNORE.

I Danni i quali a causa del corso fregolato de' fiumi, e particolarmente del Reno si soffrono, o si temono come imminenti dalle tre Provincie di Bologna, Ferrara, e Romagna sono oramai dopo lo spazio di un seculo, e mezzo ridotti a segno, che non può differirsi più lungamente il rimedio, volendo provvedere alla salvezza delle tre Provincie accennate, che è quanto dire della più fertile, amena, doviziosa, e popolata parte dello stato della Chiesa. Nella lunga, e diligentissima Visita intrapresa, e terminata da V. E. di ordine di N. Sig. con tanto zelo, affiduità, e sofferenza ha l'E. V., oltre all' assicurarsi con gli occhi proprj delle calamità delle tre Provincie, e della necessità del riparo, rilevate tutte quelle circostanze di fatto, che possono servire a determinarne la scelta, e dalle scritture presentate dalle parti interessate intese le ragioni, colle quali ciascuna ha procurato d' appoggiare quel progetto, il quale, il desiderio di bonificare i proprj terreni, la rimozione de' pericoli veri, o immaginati, e la supposta facilità, e sicurezza dell' esecuzione, le ha fatto credere il più adattato. Dovendo io però in sequela dell' onore compartitomi dall' E. V. con preceggermi ad assisterla in qualità di Mattematico nella visita accennata, esporre il mio debole sentimento, anderò prima esaminando i progetti esibiti dalle parti con farvi sopra le riflessioni opportune, e quindi passerò al mio, il quale m' ingegnerò di dimostrare conforme a i principj generalmente ricevuti d' Idrometria, e alle regole comuni della prudenza: nel che fare mi dichiaro, che venendo obbligato dalla necessità ad impugnare gli altrui Pareri, intendo sempre di farlo senza minima diminuzione della stima giusta-

Tom. VI. O 3 men-

P A R E R E
D I D U E
M A T E M A T I C I
S O P R A
D I V E R S I P R O G E T T I

*Intorno al regolamento delle Acque delle tre Provincie
di BOLOGNA, FERRARA, e ROMAGNA.*

P R E S E N T A T O

All' Eminentissimo, e Reverendissimo Signor

CARDINAL CONTI
VISITATORE APOSTOLICO.



IN ROMA MDCCLXIV.
PER IL BERNABO, E LAZZARINI.

CON LICENZA DE SUPERIORI.

RISPOSTA AL PARERE
DE' MOLTO REVERENDI PADRI
SEUR E JACQUIER
S O P R A
I D I V E R S I P R O G E T T I
PER IL REGOLAMENTO DELLE ACQUE
DELLE TRE PROVINCE
DI BOLOGNA FERRARA E ROMAGNA.



IN FIRENZE . MDCCLXV.
APPRESSO ANDREA BONDUCCI
CON LICENZA DE SUPERIORI.

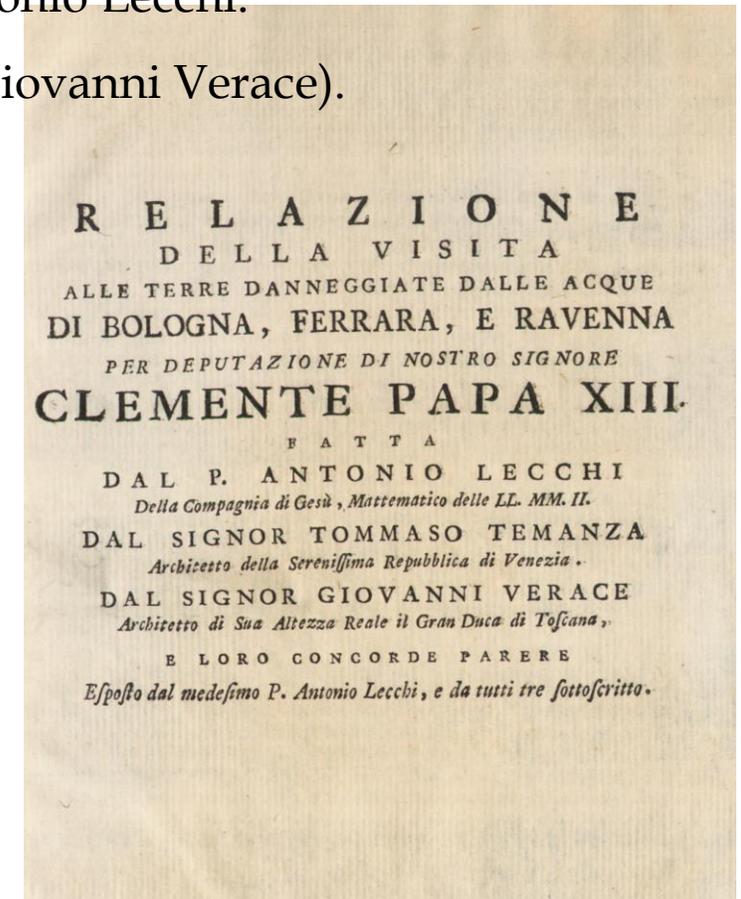
Il problema del Reno negli anni sessanta del Settecento

1765. Nominata una commissione presieduta dal matematico Giovanni Antonio Lecchi.

1767. Visita dei tre periti (Giovanni Antonio Lecchi, Tommaso Temanza e Giovanni Verace).

Il progetto di Lecchi conteneva due elementi fondamentali:

1. Divisione fra un sistema di acque alte (fiumi arginati) ed uno di acque basse (acque piovane e vallive raccolte dai canali di scolo), in modo che le acque dei fiumi non fossero più comunicanti con quelle delle valli;
2. Progetto per le acque basse di un lungo canale a destra del Po di Primaro e parallelo a quest'ultimo, che avrebbe funto da collettore per gli scoli di acque basse portandoli a sfociare in Adriatico.

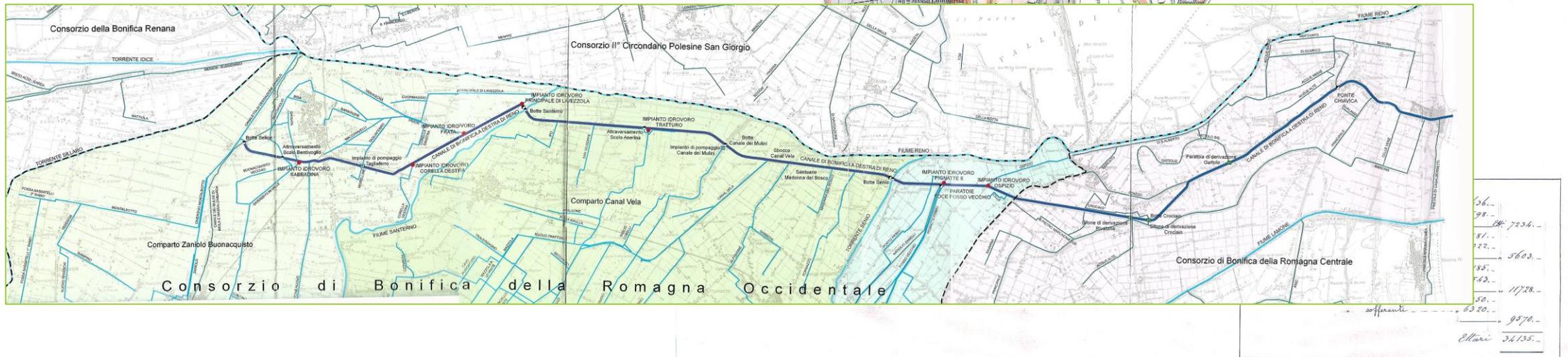
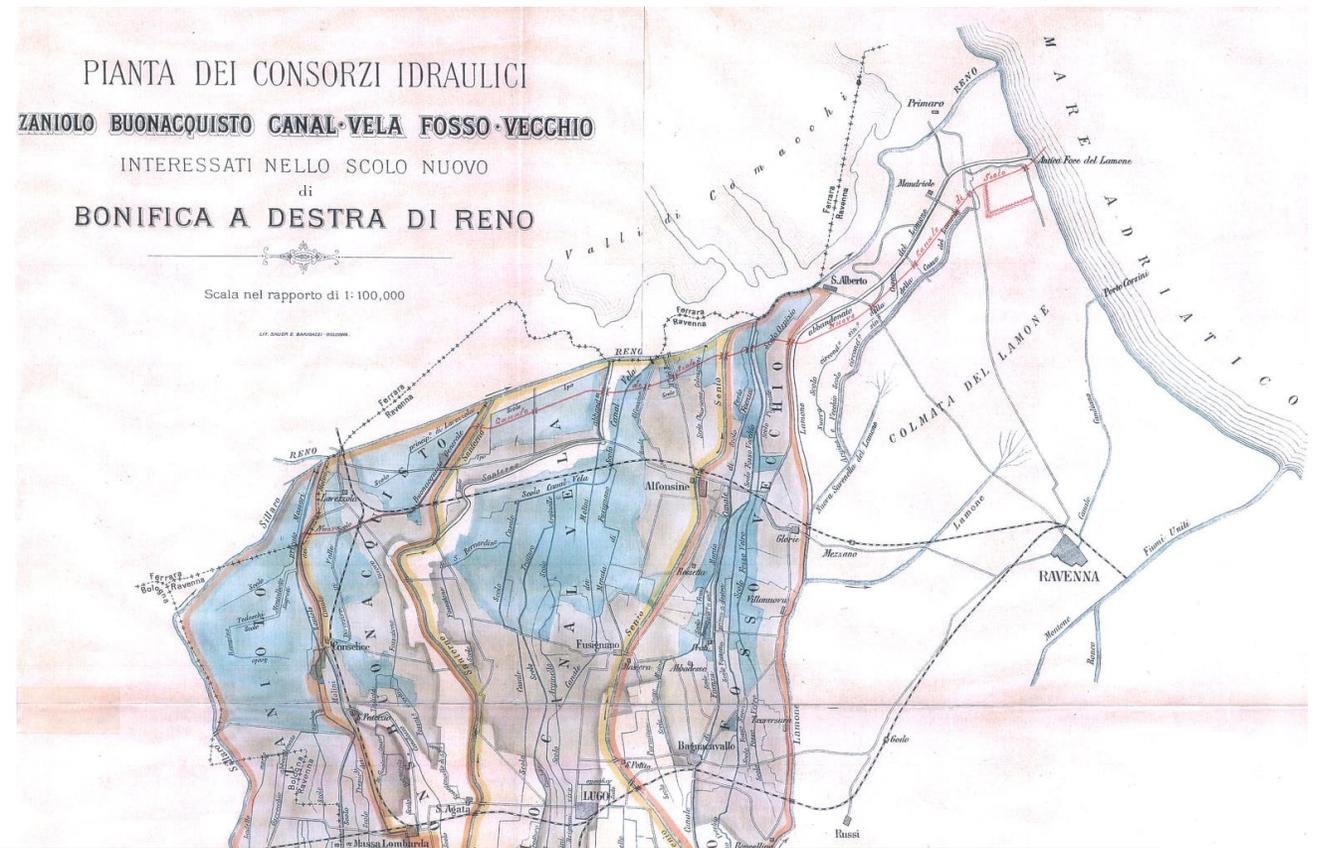


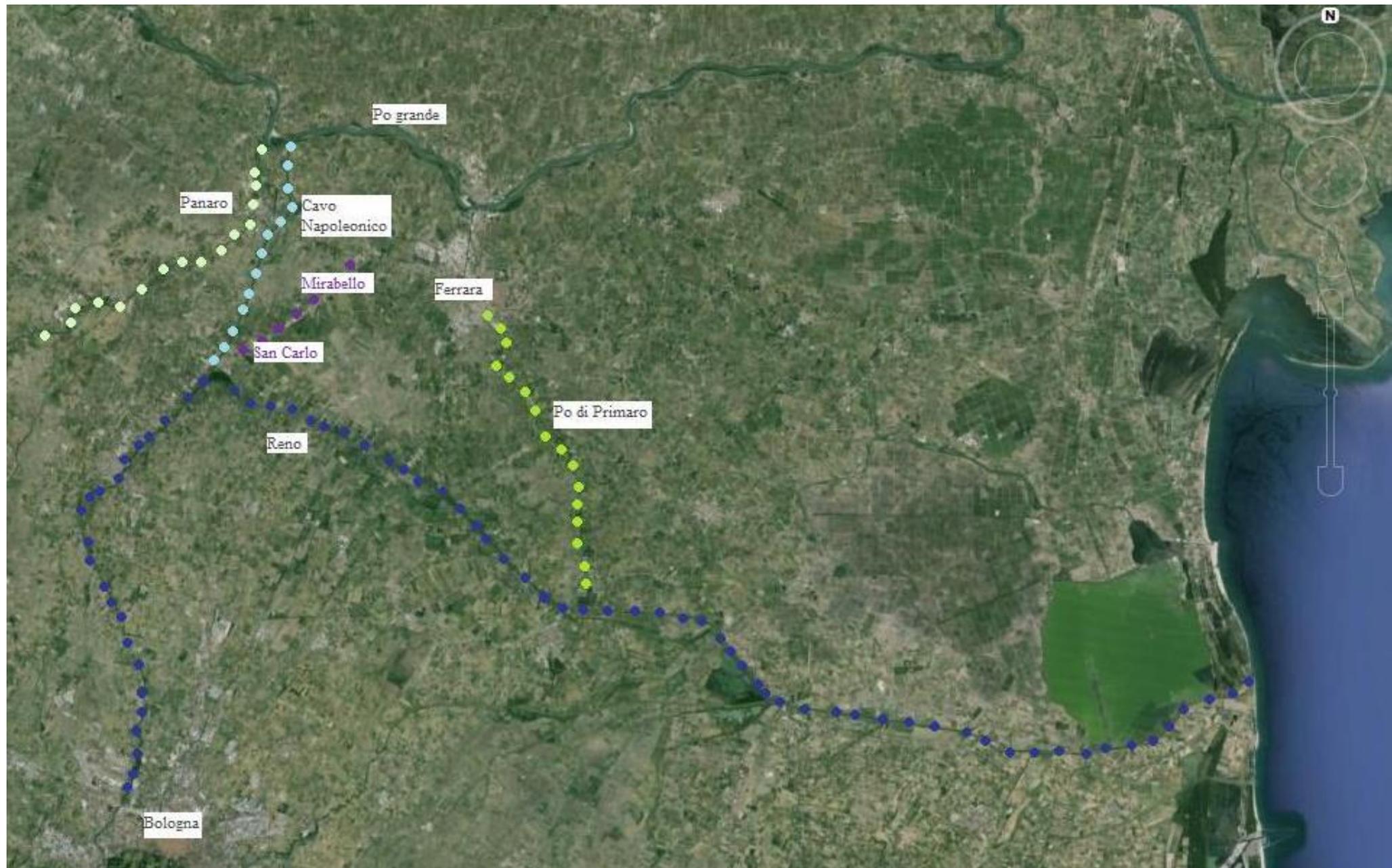
Il Canale in destra Reno

rimedio reale, ed unico d'abilitare un comune recipiente, che potesse convogliare il Reno e gli altri torrenti e scoli minori

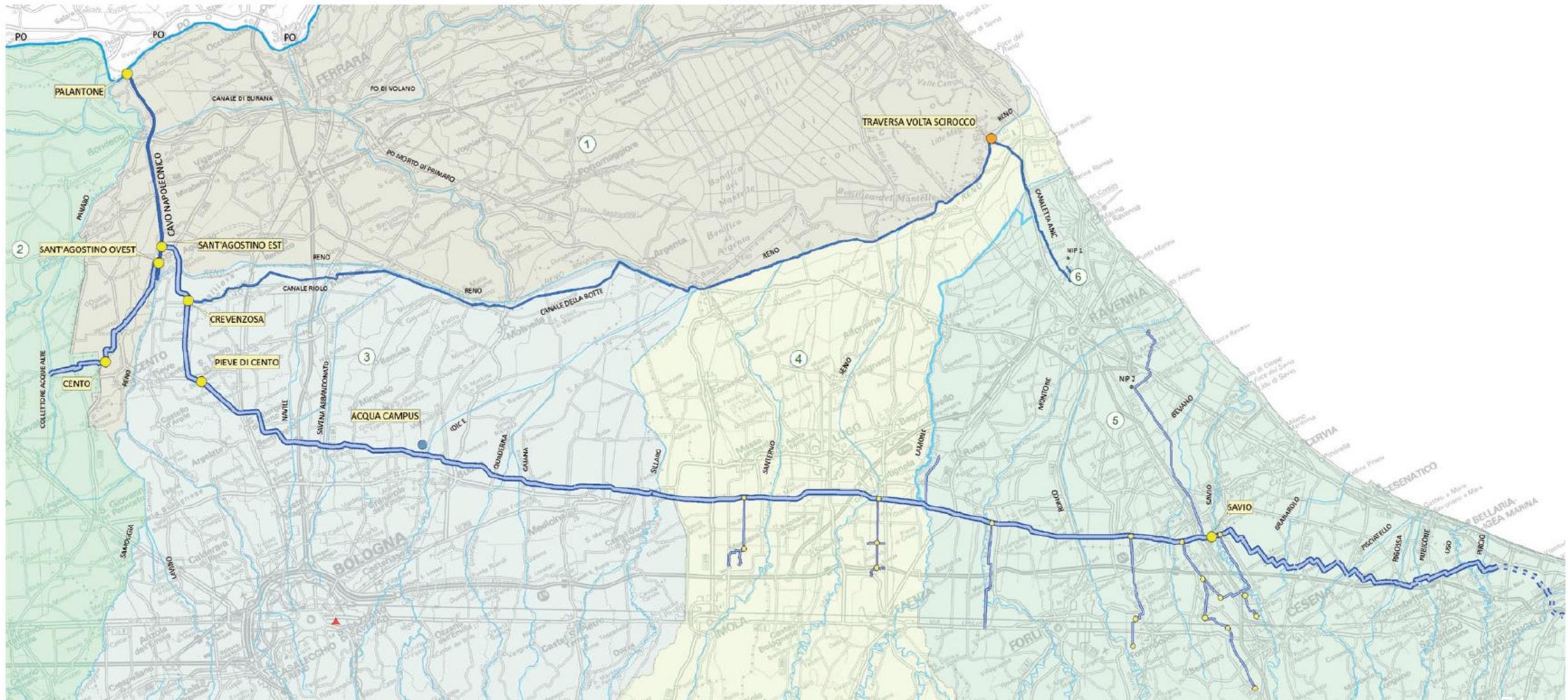
PIANTA DEI CONSORZI IDRAULICI
 ZANIOLO BUONACQUISTO CANAL VELA FOSSO VECCHIO
 INTERESSATI NELLO SCOLO NUOVO
 di
 BONIFICA A DESTRA DI RENO

Scala nel rapporto di 1:100,000





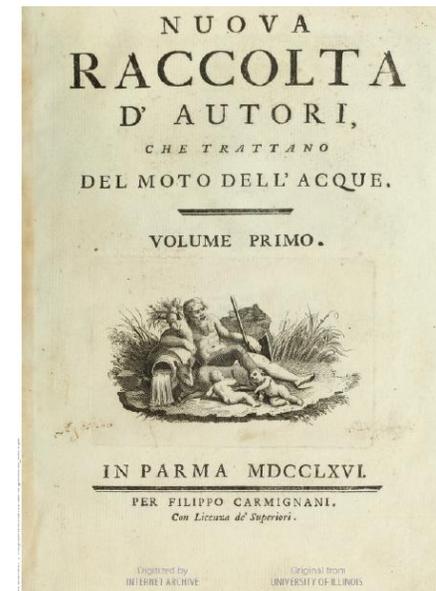
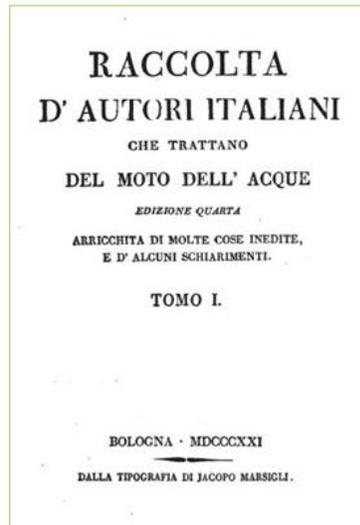
Il Canale Emiliano Romagnolo



La questione del Reno nelle Raccolte sul moto delle acque

Altro esempio a mio proposito illustre, e famoso si è quello della diversione del Reno di Bologna dall'antico usato suo corso, e posto nella valle della S. Martina col fine, e pretesto di colmarla, e bonificarla, per iscavare in questo mentre il Po di Ferrara, e poi riporlo nel primiero suo letto. Il che riescì opera vana, e di sommo, immenso, irreparabil danno alla città di Bologna, ed al suo ampio, e fertil territorio, e diede occasione per un secolo a grandi spese, e liti, e controversie fra essa città, e quella di Ferrara: la qual lite dopo tante contrarietà, e litigi restò poco anzi terminata, e composta dalla giustizia, e clemenza del Sommo Pontefice Clemente XI e dalla Congregazione a ciò da lui eretta, e deputata. Questa controversia ha dato occasione a bellissime scritture, e ricerche sopra la nostra materia dell'acque; alcune delle quali si vedranno nella presente raccolta per documento, ed insegnamento utilissimo in somiglianti avvenimenti. E sono in essa stati adoperati i primi Mattematici dell'età nostra; le ragioni de' quali dimostrano la differenza, che è infra essi, e li volgari ingegneri, e fra la scienza, e l'ignoranza.

Raccolta d'autori che trattano del moto dell'acque, Prefazione, 1723.





*tra 'l Po e 'l monte e la marina e 'l Reno,
Dante, Purgatorio, Canto XIV, v. 92*