



Dipartimento
di Matematica
e Informatica



Liceo Matematico

Matematica al servizio dell'idraulica

Maria Giulia Lugaresi (Università di Ferrara)

Convegno «Matematica e Storia» nel Liceo Matematico

Ferrara, 10 dicembre 2020

Principi comuni del Liceo Matematico

Il progetto del Liceo Matematico risponde all'esigenza di progettare una scuola secondaria di secondo grado per una formazione scientifica qualificata.

L'idea generale della nuova struttura è di **dare più spazio alla matematica e alle scienze**, non per introdurre un numero maggiore di nozioni, ma **per riflettere su fondamenti e idee, allargare gli orizzonti culturali**, e in modo particolare **sottolineare collegamenti con altre discipline**, anche umanistiche. Si evidenzia dunque un **approccio fortemente interdisciplinare** dell'iniziativa, in cui la matematica è intesa come collante culturale tra le diverse discipline.

Attività dedicate ad **approfondire e a consolidare i contenuti dei programmi di matematica e a sperimentare attività interdisciplinari**.

Il Liceo Matematico si caratterizza per una forte collaborazione tra docenti universitari e docenti di scuola, in ambo i casi non solo di matematica.

Matematica. Linee generali e competenze

*Al termine del percorso del liceo scientifico lo studente conoscerà i **concetti e i metodi elementari della matematica, sia interni alla disciplina in sé considerata, sia rilevanti per la descrizione e la previsione di fenomeni**, in particolare del mondo fisico. Egli saprà inquadrare le varie teorie matematiche studiate nel contesto storico entro cui si sono sviluppate e ne comprenderà il significato concettuale. Lo studente avrà acquisito una **visione storico-critica dei rapporti tra le tematiche principali del pensiero matematico e il contesto filosofico, scientifico e tecnologico.***

[...]

*Importante tema di studio sarà il concetto di equazione differenziale, cosa si intenda con le sue soluzioni e le loro principali proprietà, nonché alcuni esempi importanti e significativi di equazioni differenziali, con particolare riguardo per l'equazione della dinamica di Newton. Si tratterà soprattutto di **comprendere il ruolo del calcolo infinitesimale in quanto strumento concettuale fondamentale nella descrizione e nella modellizzazione di fenomeni fisici o di altra natura.***

Indicazioni Nazionali (Liceo Scientifico).

Fisica. Linee generali e competenze

*Lo studente avrà acquisito le seguenti competenze: osservare e identificare fenomeni; formulare ipotesi esplicative utilizzando modelli, analogie e leggi; **formalizzare un problema di fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione**; fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale*

*Lo studio della meccanica riguarderà **problemi relativi all'equilibrio** dei corpi e **dei fluidi**; i moti saranno affrontati innanzitutto dal punto di vista cinematico giungendo alla dinamica con una prima esposizione delle leggi di Newton, con particolare attenzione alla seconda legge (1° biennio).*

*L'approfondimento del **principio di conservazione dell'energia meccanica, applicato anche al moto dei fluidi** (2° biennio).*

Indicazioni Nazionali (Liceo Scientifico).

Indice

- ▶ Dall'idrostatica alla foronomia
- ▶ Matematica e scienza delle acque nel Settecento
- ▶ L'idrodinamica nel Settecento, da Bernoulli ad Eulero
- ▶ Le Visite alle acque e la partecipazione dei matematici

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

Galileo Galilei

Idrostatica, Archimede

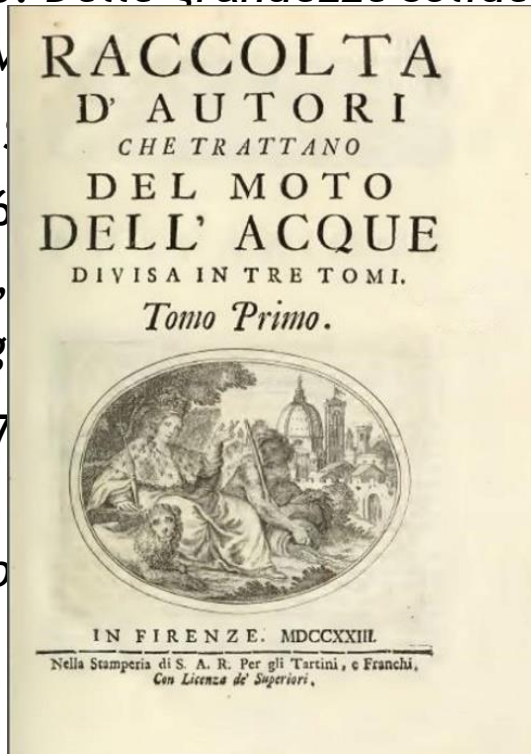
Prop. 3. *Le grandezze solide, che avendo egual mole hanno egual gravità del liquido, poste nel liquido talmente s'immergono, che niente resta fuori della superficie del liquido, ma non però vanno a fondo.*

Prop. 4. *Delle grandezze solide, qualunque è più leggeri del liquido, nel liquido posta non tutta si immerge, ma una parte di essa sovrasterà alla superficie del liquido.*

Prop. 5. *Delle grandezze solide la più leggeri del liquido, posta nel liquido, fino a tanto v*

Prop. 6. *spinta, è più g*

Prop. 7. *finché liquido*



mole di liquido, quanto la parte sommersa, abbia la

grandezza.

grandezze più leggeri del liquido, dentro al liquido

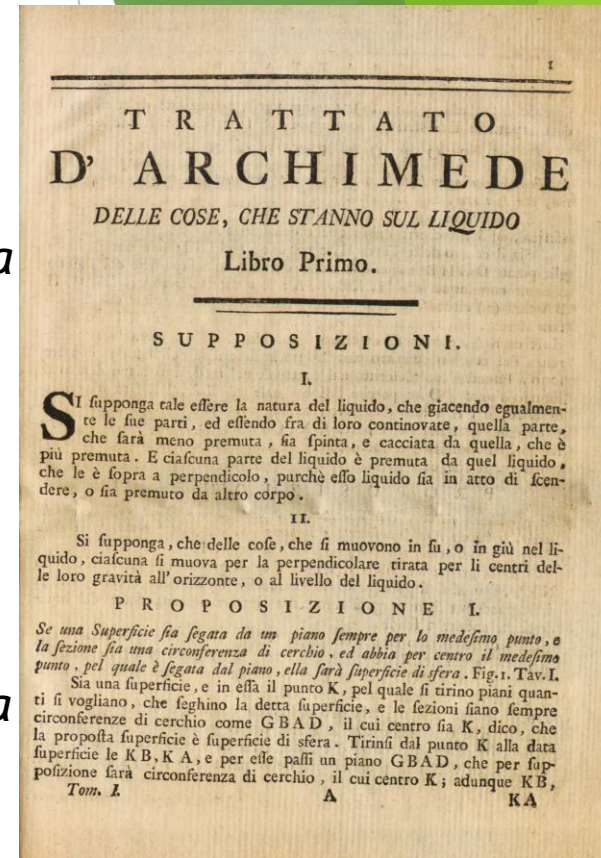
forza, quanto un liquido di mole eguale alla grandezza

zza.

più gravi del liquido, nel liquido poste, anderanno in giù

nel liquido saranno tanto più legger, quanto è la gravità del

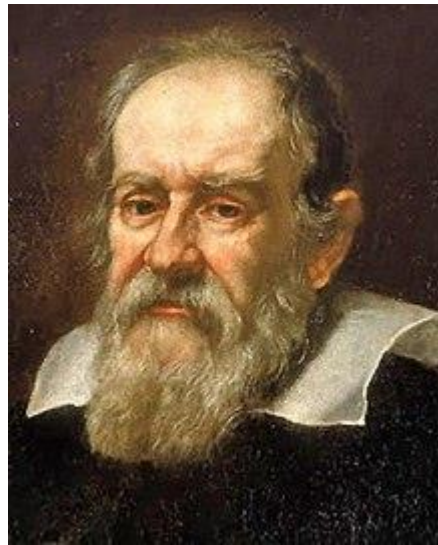
alla grandezza.



La scuola galileiana



(1577-1643)



(1564-1642)



(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

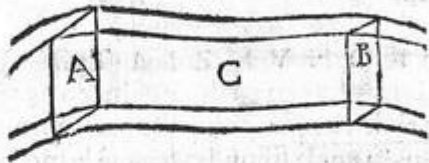
62

DELLA MISURA

PROPOSIZIONE I.

Le sezioni del medesimo Fiume scaricano vguale quantità d'acqua in tempi eguali, ancorche 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; imperoche, 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 abbassarebbe 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-

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

$$Q = A \cdot v$$

Torricelli, legge di efflusso da un foro

All'interno della scuola galileiana si devono a **Torricelli** i risultati più significativi nella scienza del moto delle acque. I suoi contributi alla scienza del moto sono contenuti nell'opera *De motu* (1641), successivamente inclusa nell'*Opera geometrica* (Firenze, 1644). Mediante un esperimento, incluso nella sezione *De motu aquarum*, viene spiegata la **legge dell'efflusso da un foro**, legge che secondo Torricelli si può applicare anche a fiumi e canali. Grazie all'analogia con la caduta libera, Torricelli trova un modello utile per spiegare la relazione tra velocità, pressione e profondità.

Tra le leggi che regolano l'efflusso dell'acqua rivestono particolare interesse la determinazione della quantità di liquido (portata) che esce in un tempo assegnato e della velocità di uscita del liquido.

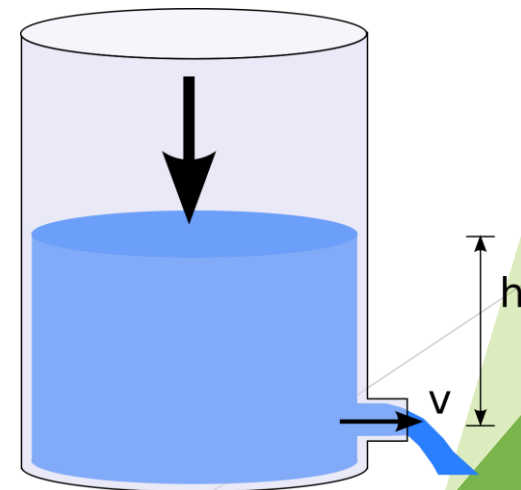
Ipotesi:

- Il recipiente da cui esce l'acqua è mantenuto a livello costante
- L'acqua si espande in modo uniforme sulla superficie libera.

Poiché inizialmente il foro è chiuso e il liquido stagnante, nel momento in cui si aprirà il foro l'acqua inizierà a fluire con moto vario, che tenderà velocemente a convergere verso un moto permanente.

Si vuole determinare la velocità dell'efflusso a partire dall'istante in cui il moto si è reso permanente.

Se si indica con P il peso dell'acqua fluita nel tempo dt , e con h l'altezza verticale, ossia la distanza tra il pelo libero del fluido e il centro del foro, il lavoro totale della gravità è dato da Ph .



Se si considera il foro sufficientemente piccolo rispetto alla sezione, anche u risulterà piccola rispetto a v , quindi diventa

$$P \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{g} v^2$$

da cui si ricava che

$$v = \sqrt{2gh}$$

cioè la velocità di un fluido che esce da un foro (di sezione trascurabile rispetto alle dimensioni del recipiente) è pari alla radice quadrata del doppio prodotto tra l'accelerazione di gravità g e la distanza h .
(Legge di Torricelli, stabilita per la prima volta nel 1643).

Domenico Guglielmini a Bologna

1678. Titolare della lettura di matematica all'università di Bologna.

1686. Sovrintendente alle acque della città di Bologna.

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), in cui 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.

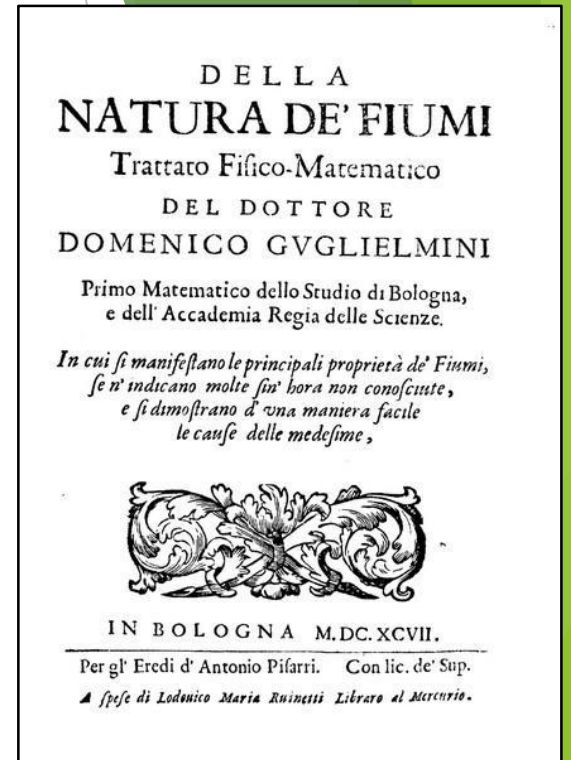
Contiene «meditazioni» fatte da Guglielmini nel corso di molti anni sulla misura delle acque correnti e «ridotte al rigor Geometrico».

Libri I-III. veniva trattata «con somma semplicità la misura dell'Acque correnti» in modo da poter dedurre da essi «le leggi piu sicure della Natura».

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

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

In essa Guglielmini spiega le caratteristiche generali dei 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 .

Altezza dell' acqua sopra il centro della cannella , e del lume in once del piede Bolognese .

Quantità dell' acqua , che esce in tutte a 15. le vibrazioni in once della libbra Bolognese .

Proporzione dell' acque nella prima osservaz. fondamentale , sudduplicata dell' altezza , in once della libb. Bologn.

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 osservaz. fondamentale .

24	93	93
21	87	87

DI DOMENICO GUGLIELMINI.

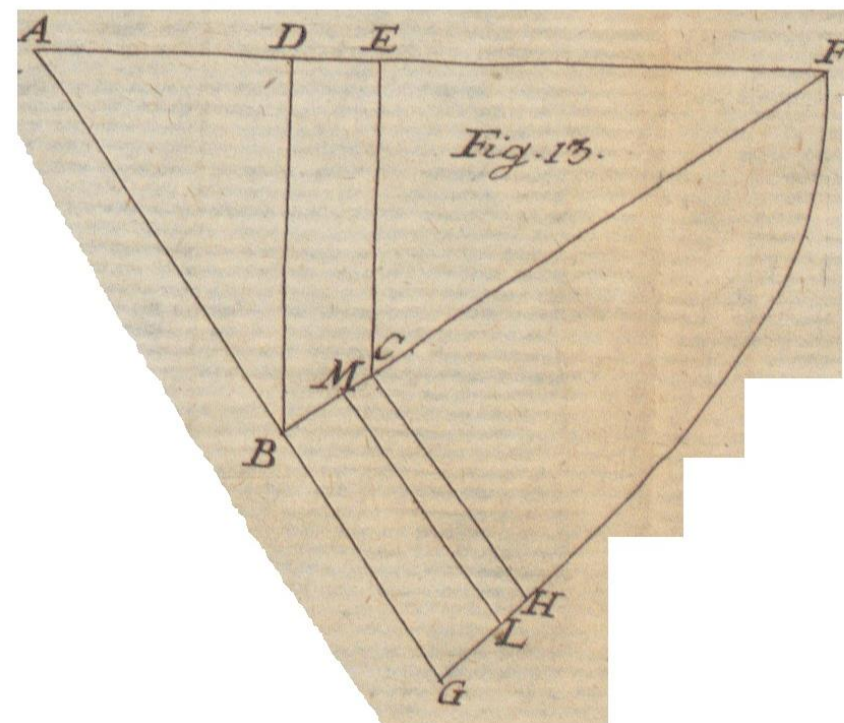
18	81	80 $\frac{1}{2}$
15	74	74
12	66	66
9	56	57
6	47	46 $\frac{1}{2}$
3	34	33

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 $B C$.



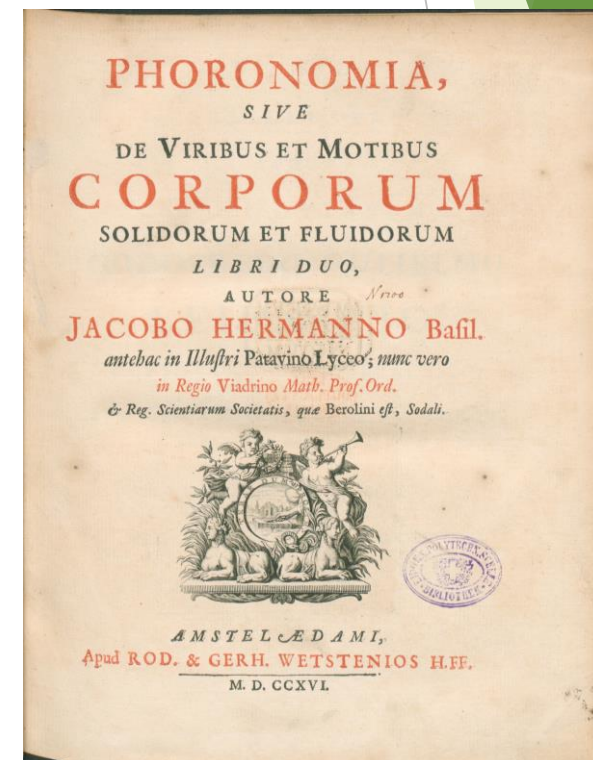
Matematica e scienza delle acque nel Settecento

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the right side of the slide, creating a modern, layered effect. The text is centered on the left side of the slide.

La scienza delle acque all'inizio del Settecento è una nuova sezione delle scienze matematiche, i cui principi e argomenti derivano dalla fisica e il cui metodo di ricerca si basa su osservazioni ed esperimenti.

Nel 1698 Guglielmini viene chiamato a **Padova**, sia come lettore all'università, sia come consulente presso il Magistrato delle acque.

1716. 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.

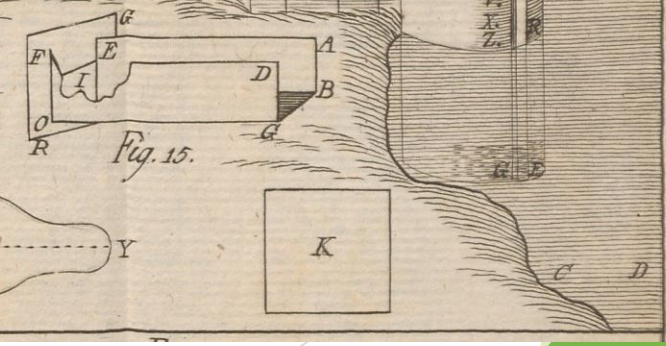
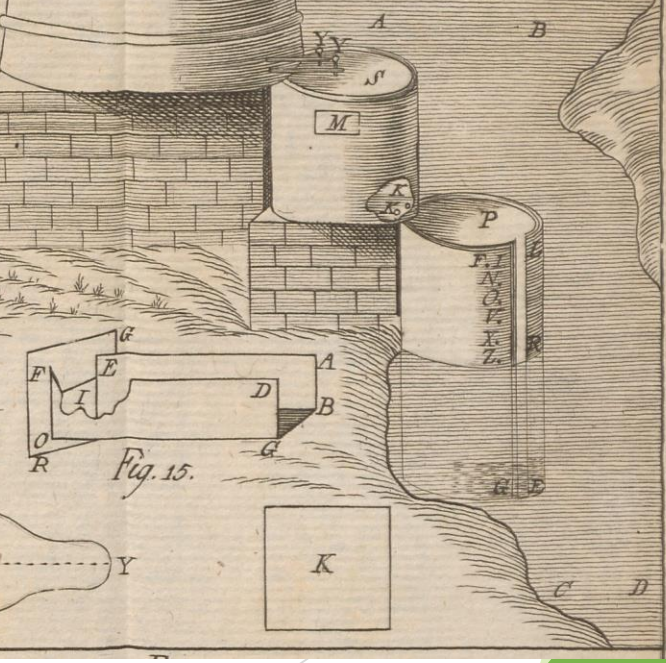
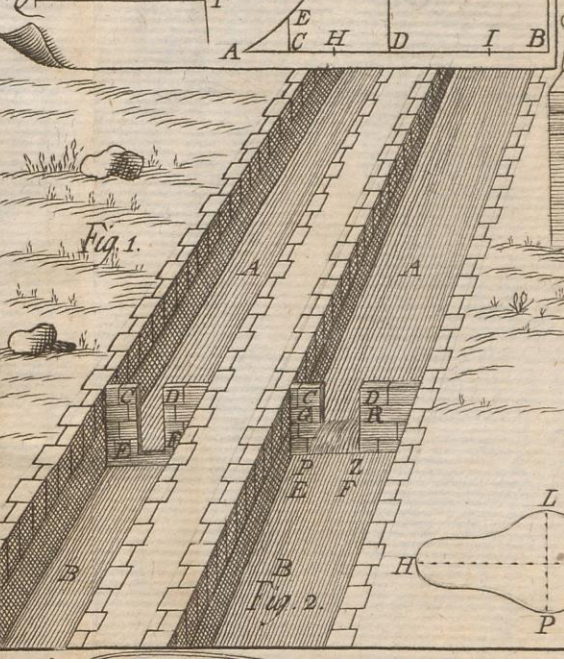
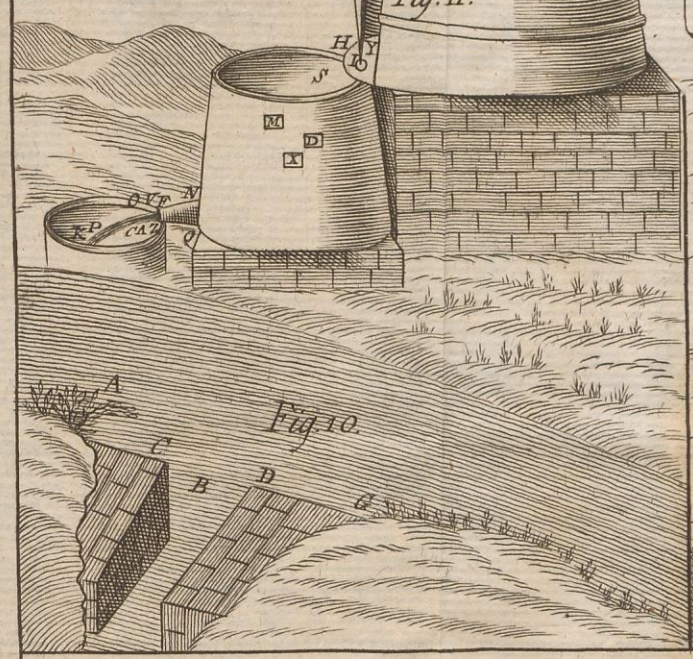
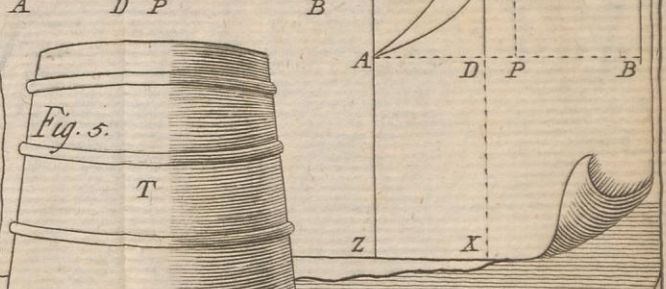
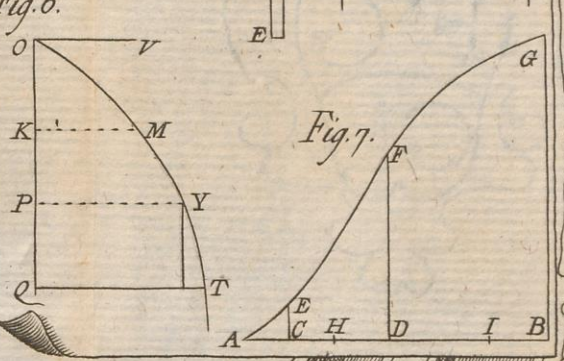
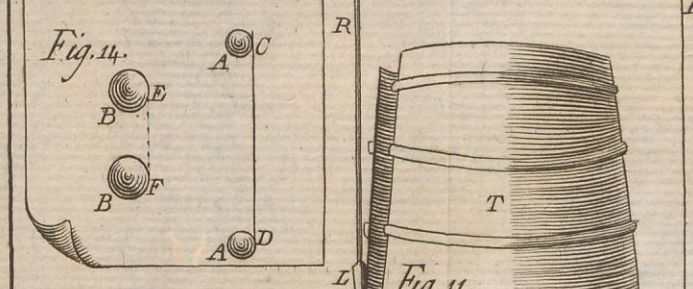
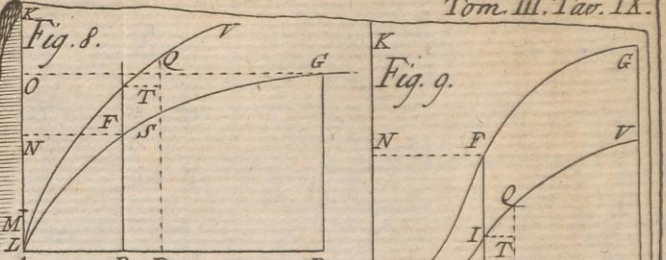
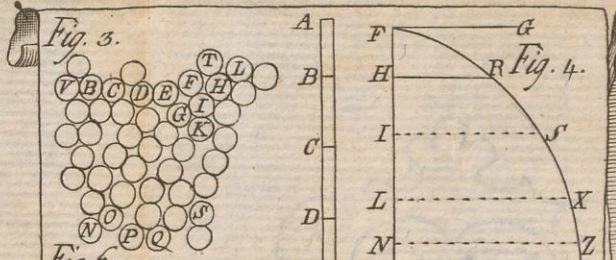
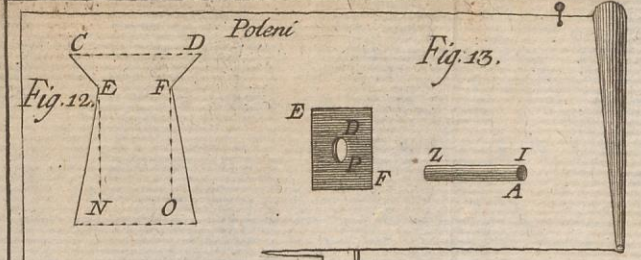


Giovanni Poleni all'Università di Padova

Poleni fu coinvolto in questioni di idraulica pratica, in particolare in merito al problema del controllo del fiume Adige. Interessato a questioni fisiche, propone uno sviluppo originale dello studio del flusso nella laguna veneta. Effettua numerosi esperimenti in scala ridotta, fornendo accurate misure dell'efflusso.

1716. *De motu aquae mixto*. Nell'opera sono contenuti i tentativi di dimostrazione della legge di Torricelli da parte di Varignon (1695) ed Hermann (1716).

1718. *De castellis*.



Fondamenti della meccanica dei fluidi

Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica* (1738)

Johann Bernoulli, *Hydraulica*, in *Opera omnia* (1742)

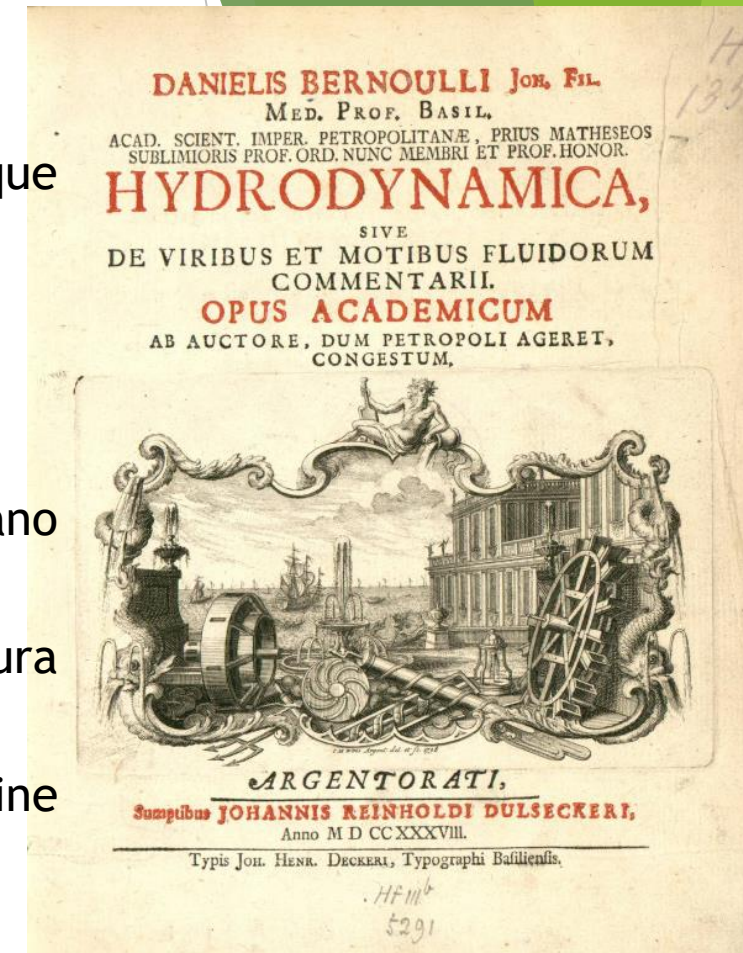
Jean Le Rond d'Alembert

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

Leonhard Euler

- *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)

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



1738

Teorema di Bernoulli

Bernoulli ricava l'equazione per un fluido perfetto (non viscoso, ossia con viscosità trascurabile, e incomprimibile) in moto stazionario (indipendente dal tempo) e irrotazionale.

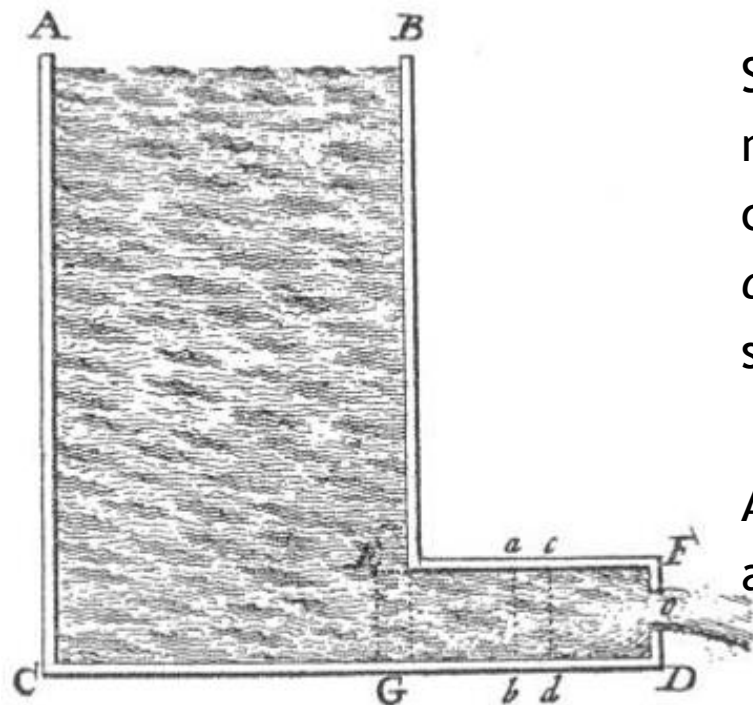
$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{costante}$$

Dove z è l'altezza, p la pressione, ρ la densità, v la velocità, g l'accelerazione di gravità. Moltiplicando ciascun termine per ρg si ottiene che

$$z\rho g + p + \frac{v^2\rho}{2} = \text{costante}$$

Ossia il trinomio dato dalla somma dell'energia potenziale, dell'energia di pressione e dell'energia cinetica si mantiene costante.

Pressione esercitata da un fluido in movimento sulle pareti del recipiente. Per un fluido in movimento D. Bernoulli definisce la pressione “idraulico-statica” su una parete nel modo seguente:



Si suppone la sezione S del recipiente verticale ABCG molto maggiore della sezione s del tubo attaccato EFDG, che a sua volta è molto maggiore della sezione e del foro o . Quindi la velocità u di uscita dell'acqua attraverso o sarà

$$u = \sqrt{2gh}$$

A causa della conservazione del flusso, la velocità dentro al tubo è data da:

$$v = \frac{e}{S} u$$

Bernoulli immagina che il tubo sia improvvisamente spezzato in ab e rende la pressione sulla parete (P) proporzionale all'accelerazione dell'acqua in quell'istante, ottenendo

$$P = gh - \frac{1}{2} v^2$$

Le memorie di Eulero sulla meccanica dei fluidi

- *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. L'equilibrio di un elemento infinitesimo soggetto alla pressione e alla densità di forza f di origine esterna richiede $f - \nabla P = 0$.

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

Nella seconda memoria Eulero ottiene le equazioni generali dell'idrodinamica per fluidi comprimibili

$$\nabla \cdot \rho v + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

per la condizione di continuità e l'equazione di Eulero

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = \frac{1}{\rho}(f - \nabla P)$$

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

Prosegue le riflessioni contenute nella precedente, discutendo la teoria dei fluidi nei tubi; tratta per la prima volta i fluidi comprimibili.

Equazioni di Eulero per un fluido ideale

Se si trascurano gli effetti della viscosità, le sole forze di superficie agenti sono quelle di pressione

$$\rho \left(\mathbf{f} - \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) = \nabla p$$

Tale equazione vettoriale si traduce in tre equazioni scalari che associate all'equazione di continuità

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$$

forniscono le equazioni dell'idrodinamica di Eulero.

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

Se si integrano tali equazioni lungo una linea di flusso, nel caso di un fluido incomprimibile ($\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$) e stazionario (indipendente dal tempo) si ricava l'equazione di Bernoulli, che esprime la relazione tra pressione e velocità.

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 faite 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:

$$\rho \left(\mathbf{f} - \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) + \mu \Delta \mathbf{v} = \nabla p - (\lambda + \mu) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v})$$

Dove λ , μ sono coefficienti di viscosità

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.

Le Visite alle acque

Il ruolo dei matematici come consulenti in materia d'acque

Il problema della regolazione del Reno

Il problema della regolazione del corso del Reno nel tratto di pianura compreso tra le province di Bologna, Ferrara e Ravenna attraversa la storia dell'idraulica dalla sua nascita come disciplina scientifica. Molti furono i matematici e i periti che si interessarono di idraulica e che presero parte al dibattito sulla sua sistemazione.

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.

Le Visite alle acque durante il Seicento

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.

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.*

1692-93. Visita dei Cardinali D'Adda e Barberini. **Domenico Guglielmini** intervenne alla visita per conto della delegazione bolognese, redigendo una serie di *Scritture intorno all'affare del Reno.*



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).

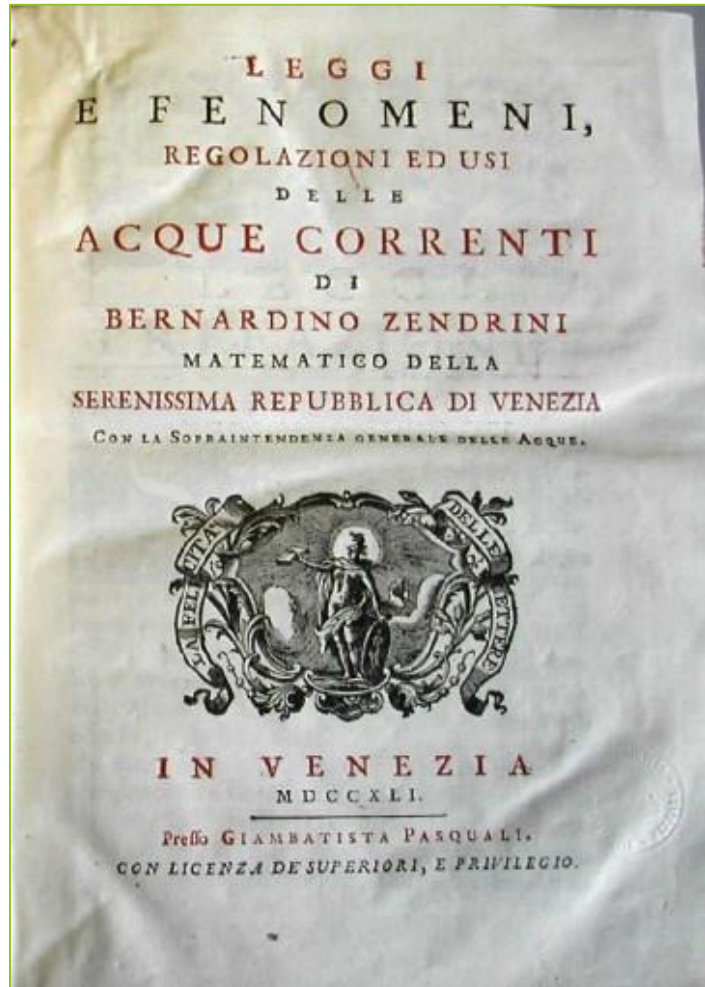
1719-20. Visita di Monsignor Rinuccini, articolata in due parti: 1. monitorato il corso superiore del Po, da Pavia alla confluenza col Ticino; 2. esaminato il corso inferiore ed il delta, partendo da Pontelagoscuro. I tecnici che sovrintesero alla visita per conto dei vari governi furono **Guido Grandi** 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

Bernardino Zendrini, *Leggi e fenomeni, regolazioni ed usi delle acque correnti*
(1741)



100

CAPITOLO QUINTO,
PARTE SECONDA.

*Delle velocità delle acque correnti, esaminate con
la palla a pendolo.*

I.

ESSENDO stato indicato dal Castelli prima, e poi dal Guglielmini alla Proposizione IX. *Aquarum fluentium mensura*, che per indagare le velocità ne' fiumi potesse esser utile mezzo un pendolo, purchè la palla di questo fosse di natura di maggior specifica gravità dell'acqua, in cui si ha da immergere, non però, che tanto l'eccedesse nella detta specifica gravità, che riuscisse troppo resistente a gli urti dell'acqua, consistendo tutta l'osservazione nel notare a quanti gradi la palla resti deviata dal perpendicolo, cosa che facilmente si ottiene mediante un femicircolo, o quadrante, o altro strumento equivalente diviso in gradi. Lo stesso modo pure d'indagare la velocità viene insegnato dall'Ermanno nella *Foronomia*, ove tratta delle acque correnti; che però si è procurato di ridurre all'atto l'idea, facendosi lo sperimento in varj luoghi del Pò, e di altri fiumi e con varie lunghezze di pendolo, e con varie immersioni di questo, ed abbenchè non si abbia ancora ottenuto quella precisione, che si desiderarebbe onde fissarsi le deviazioni ad una certa legge, nientedimeno la ricerca è gita tanto innanzi da potersene per ora contentare in una sì difficile materia. Ciò che per lo più mi è accaduto di osservare in tal proposito si è, che eguali crescimenti d'immersione danno nelle stesse lunghezze di pendolo eguali aumenti degli archi di deviazione, o ch'è lo stesso, crescendo le immersioni aritmeticamente, crescono pure aritmeticamente gli archi, ma però con differenze fra le immersioni, e gli archi affatto inconstanti, e diverse. Con un pendolo di lunghezza di piedi 6 di Ferrara, si è trovato, che immergendolo successivamente un piede per volta, gli archi andavano crescendo fino ad avere 9 gradi di differenza, qualche volta 7, 5 ed alcuna fiata anche con soli 3 in 4 gradi di differenza, e si è osservato, che il massimo angolo

Le Visite alle acque durante il Settecento

1725-26. Congressi di Faenza, presieduti dal Cardinal Piazza. Dichiarato non più proponibile il progetto Reno - Po grande, si cercarono nuove soluzioni.

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”*.

Le Visite alle acque durante il Settecento

1740. Approvata la proposta di immettere le acque dell'Idice in Primaro vicino a Traghetti. Fu progettato, ad opera del **matematico bolognese Gabriele Manfredi**, lo scavo di un nuovo alveo per l'Idice e di un canale artificiale che doveva servire come emissario delle acque del Reno chiarificate nelle valli convogliandole nel Primaro a Traghetti.

1745. Avviati i lavori di realizzazione del «cavo Benedettino», che raccoglieva le acque delle paludi tra Passo Segni e Traghetti. Presentato come “rimedio provvisoriale”, il cavo sarebbe diventato il nuovo corso del Reno.



Distretto della Mappa rilevata, e concordata nella visita dell' Emin.^{mo} Conti 1761, ed applicata al Progetto de' tre Periti.

A.D. Inalveazione del Reno dalla Rotta Panfilj fino al Cavo Benedettino.

DI. Inalveazione del Reno unito con Savena, e Idice nel Cav. Benedettino fino al Morgone.

K. Cateratta alla foce della Beccara.

B.C.F.H.M.K. Solo nuovo che termina alla Beccara.

H. Botte sotto all' Idice.

F. Botte sotto alla Savena.

C. Botte sotto al Canal Naviglio.

10.11. Argine della Ripa del Primaro dal Morgone fino alla Foce della Beccara a difesa delle espansioni a destra.

17.18.20. Argine a destra della Beccara dal suo sbocco fino all' Argine sinistro della Quaderna.

18.19. Unione del Torrente Centonara con la Quaderna.

15.16. Argine che framezza le Valli di Dugliolo, e della Barigalla.

7.8.9. Arginazione della ripa destra del Primaro, che resta morto dal nuovo Cavadone di Lettera I. fino al Cavadone Vecchio di Marrara.

1.2.3.4.5. Solo delle Acque a sinistra del Reno.



Matematici e scienza delle acque nella seconda metà del Settecento

R. G. Boscovich (1711-1787)

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

Intensa attività di consulente idraulico negli anni 1751-1782: regolazione di fiumi (Tevere, Po, Adige) e torrenti; porti fluviali (Fiumicino, Savona, Rimini, Magnavacca); bonifica di zone paludose (Paludi Pontine, Lago di Bientina)

G. A. Lecchi (1702-1776), professore di matematica e idraulica al Collegio di Brera, fu nominato «matematico ed idraulico regio» dall'imperatrice M. Teresa d'Austria. Nel 1765 pubblicò *l'Idrostatica esaminata ne' suoi principj e stabilita nelle sue regole della misura dell'acque correnti*.

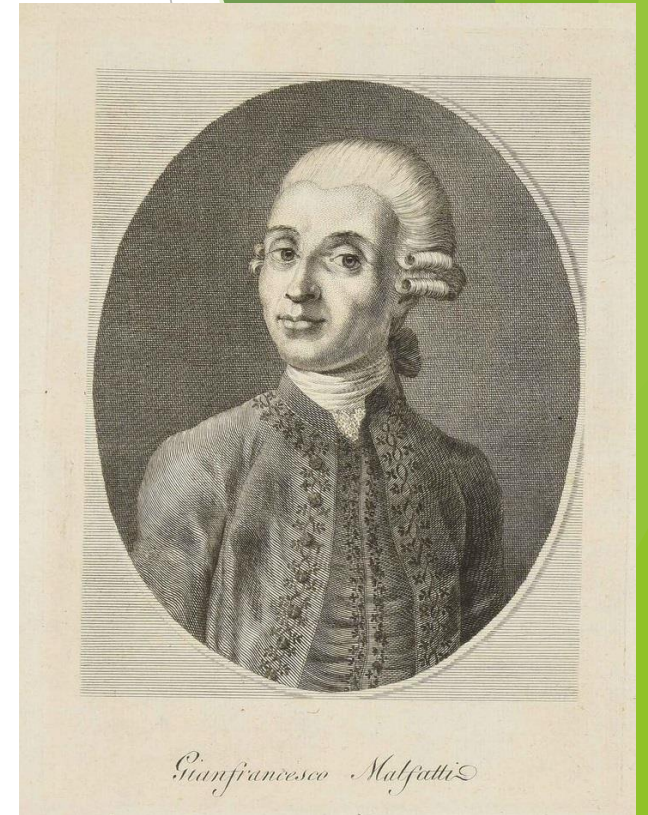
Matematici e scienza delle acque nella seconda metà del Settecento

F. D. Michelotti (1710-1787), professore di matematica all'università di Torino, nel 1763 fu incaricato da Carlo Emanuele III della direzione delle ricerche e degli esperimenti nello Stabilimento per le sperienze idrauliche della Parella di Torino. Nel 1767-71 pubblicò gli *Sperimenti idraulici principalmente diretti a confermare la teorica, e facilitare la pratica del misurare le acque correnti*.

Teodoro Bonati (1724-1820), fu il più importante idrostatico ferrarese del XVIII secolo. Impegnato come consulente di idraulica in varie visite alle acque per conto della città di Ferrara, dal 1772 fu nominato professore di idrostatica presso l'università di Ferrara.

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

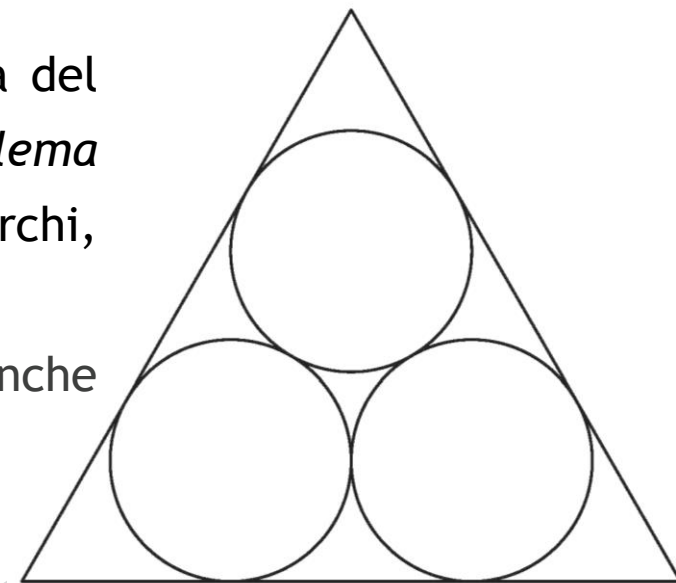
Gianfrancesco Malfatti (Riforma dell'Università di Ferrara, 1771)



Gianfrancesco Malfatti (1731-1807)

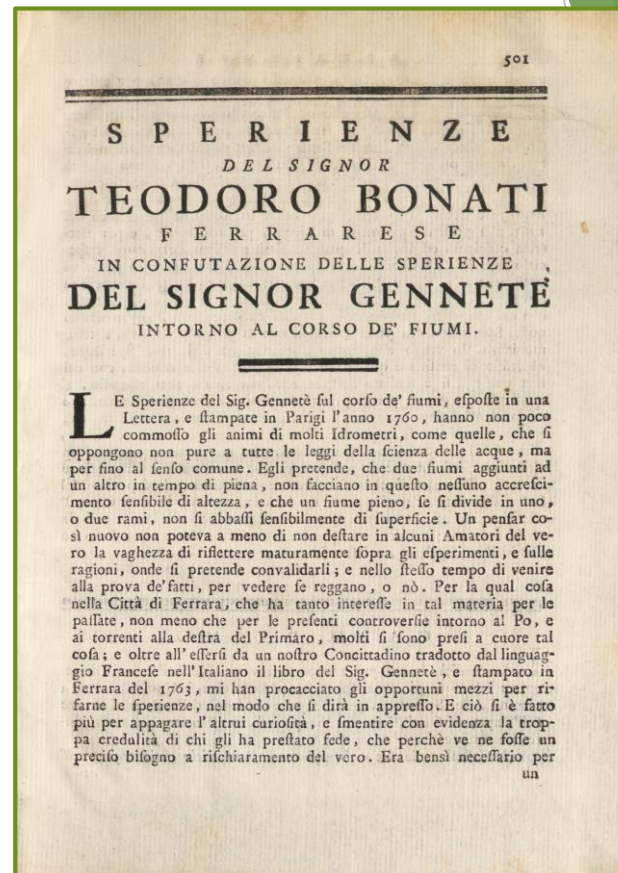
La sua produzione scientifica riguarda molteplici ambiti della matematica: dall'algebra (risoluzione delle equazioni algebriche e approssimazione delle radici, la questione dell'esistenza dei logaritmi dei numeri negativi) al calcolo delle probabilità, dalla geometria (le curve del Cassini e la proprietà di isocronismo) all'analisi (le serie ricorrenti, anche collegate al gioco del lotto).

Problema di Malfatti: fu posto dallo stesso Malfatti in una memoria del 1803 come problema di massimo: *Memoria sopra un problema stereotomico*. Si tratta di inscrivere, in un triangolo dato, tre cerchi, ciascuno dei quali sia tangente agli altri due e a due lati del triangolo, e tali da racchiudere la massima area. Tale problema è anche detto *marble problem* (problema del marmo)





(1724 - 1820)



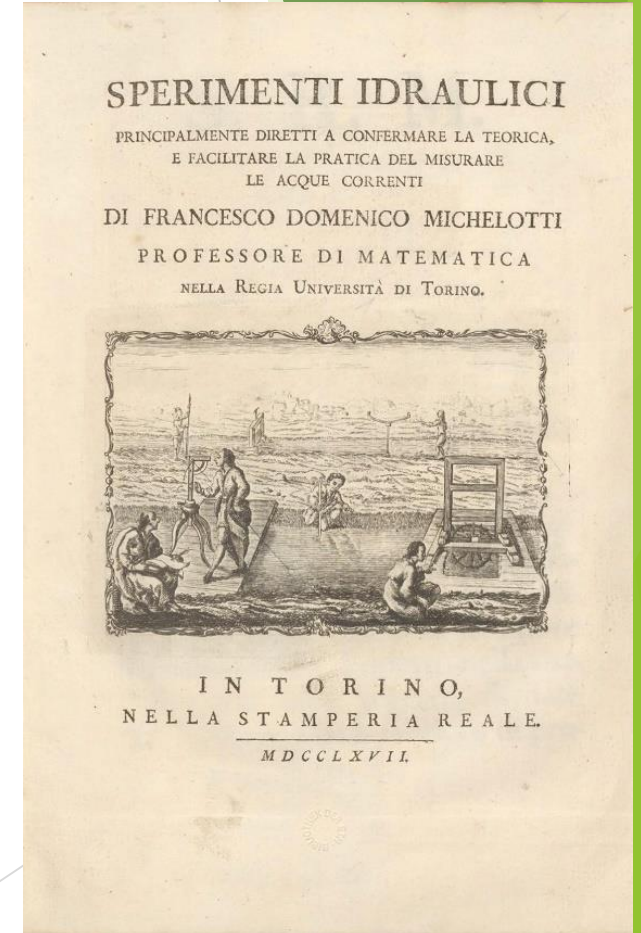
1766

Saggio di una Nuova Teoria del movimento delle acque pei Fiumi, e Nuovo metodo per trovare colla sperienza la quantità dell'acqua corrente per un fiume (1784)

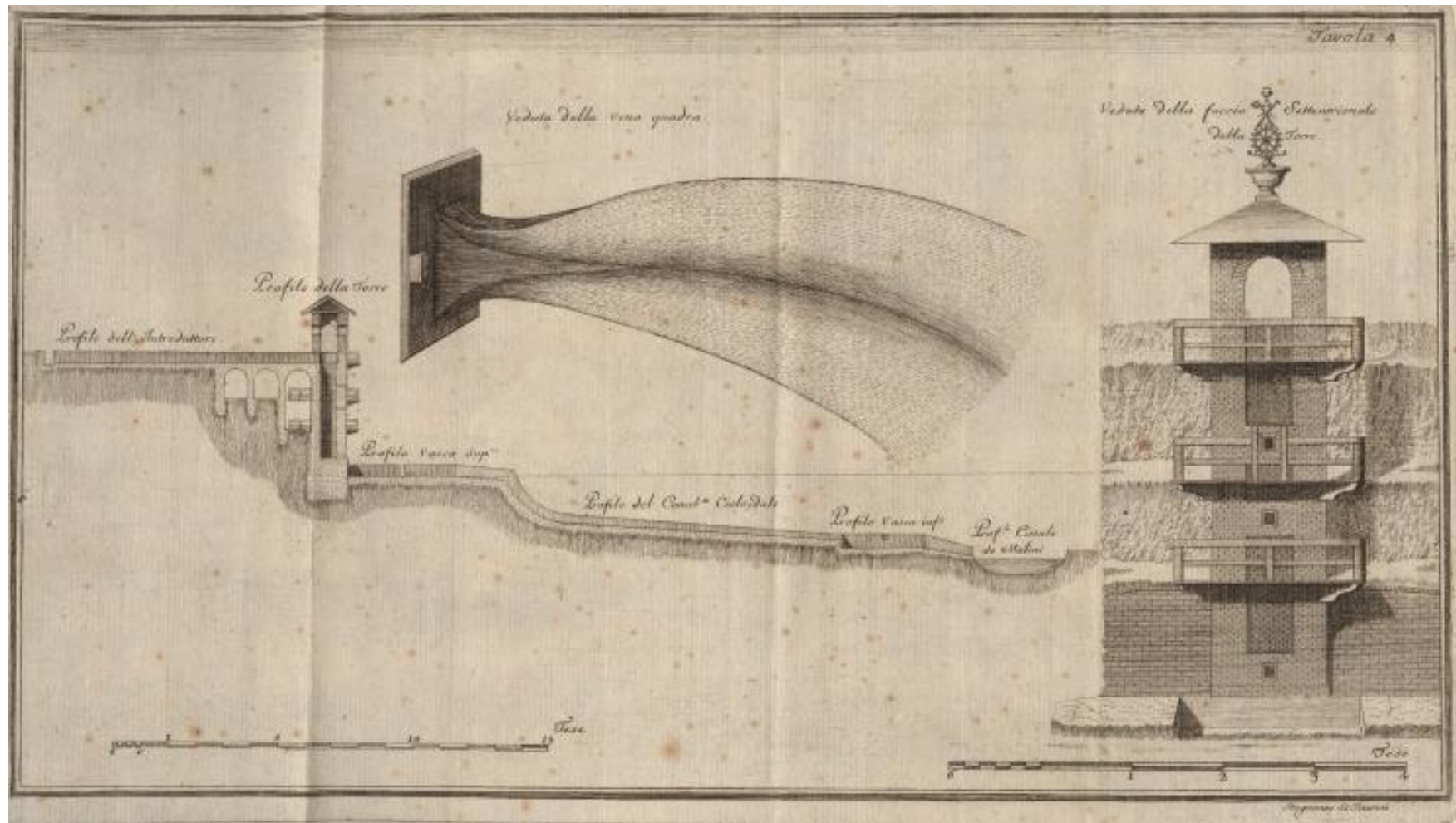
Delle Aste Ritrometriche e di un nuovo Pendolo per trovare la Scala delle Velocità di un'Acqua corrente (1799)

Il laboratorio per gli esperimenti idraulici di Torino

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



Il laboratorio per gli esperimenti idraulici di Torino

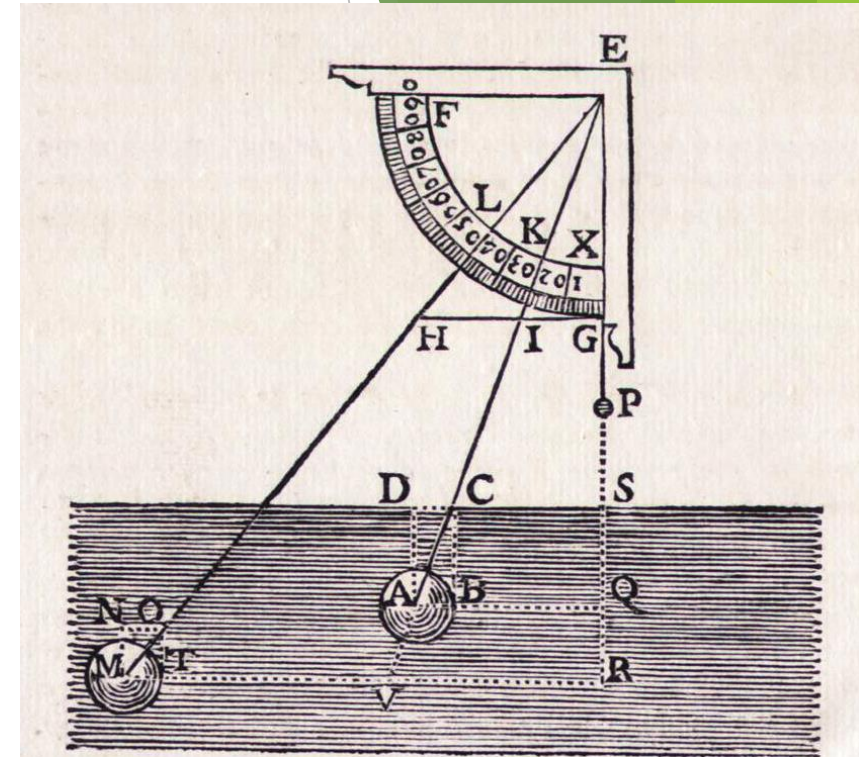
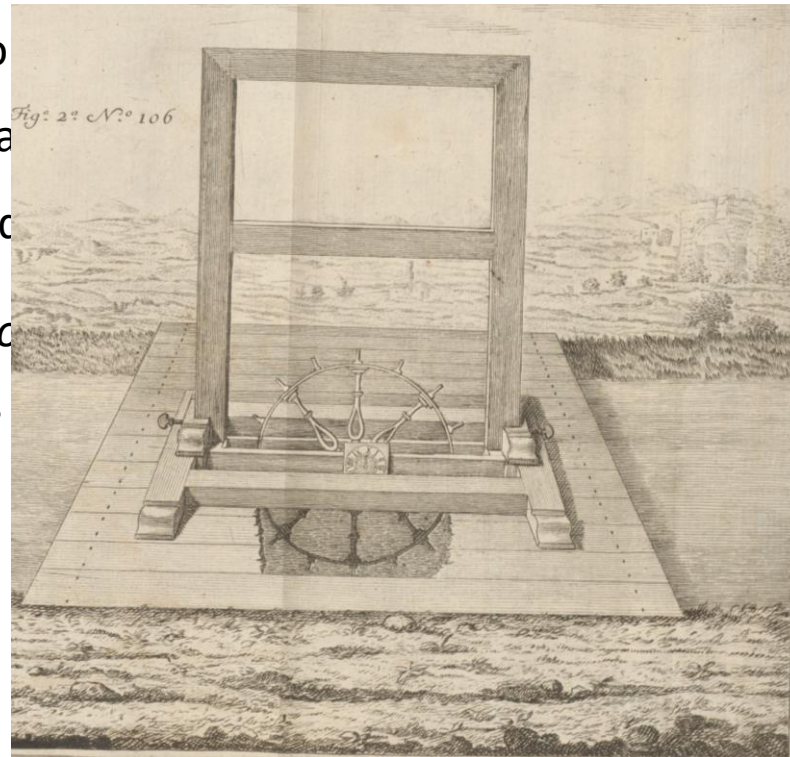


F. D. Michelotti, *Sperimenti idraulici*, vol. 1, tavola 4

Strumenti per la misura della velocità a diverse profondità

Tachimetri idraulici fissi.

- palla a pendolo con quadrante (D. Guglielmini, *Aquarum fluentium mensura*, 1690-91)
- ruota con palmette di Michelotti (F. D. Michelotti, *Sperimenti idraulici*, 1767-71). Il dispositivo, contando la ruota in un dato tempo, forniva la velocità. Quando esso colpiva la palmetta c...
- ventola idraulica (L. Ximenes, *Nucleo de' canali e ne' fiumi per verificare le acque correnti*, 1780)



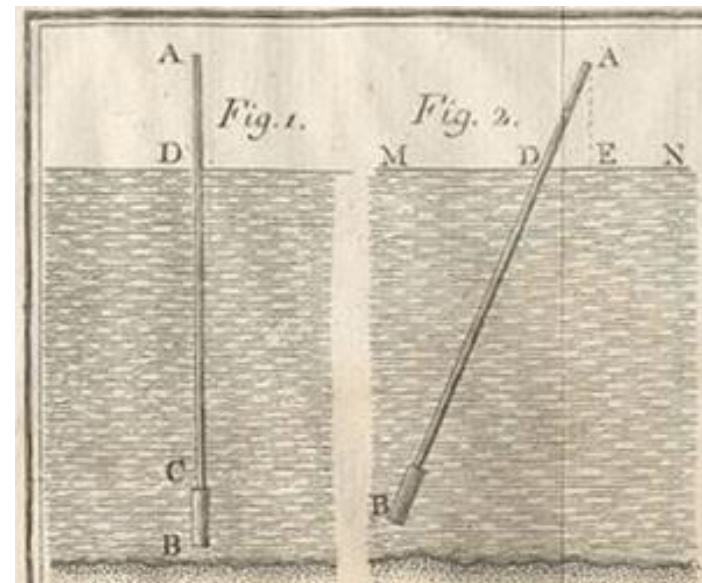
Tachimetri galleggianti per la misura della velocità media

propone un' asta di legno, lunga quanto si vuole, con un peso attaccatovi in fondo per tenerla diritta, ed una corona di zucche, o vesciche B, C, legatevi dal capo A; sicchè immersa nel fiume, galleggiar possa la sola parte B A C, ed il resto rimanere sommerso. Il Grandi dubi-



- asta idrometrica (N. Cabeo, 1646).
- asta ritrometrica (T. Bonati, 1784).

SE ad un' Asta AC (fig. 1.) di legno più leggiero dell' acqua si aggiunga una tal porzione CB di metallo, che mettendo tutta l' asta in una acqua stagnante essa galleggi con una porzione AD di un piede o più, fuori dell' acqua ed a piombo, si avrà una delle *Aste ritrometriche* da me proposte nel 1784. in questa Raccolta per iscoprire le velocità sotto la superficie dell' acqua nei fiumi. Mostrai, che se la stess' asta AB (fig. 2.) messa in un' acqua corrente da M verso N verrà portata colla porzione AD inclinata all' avanti, la velocità maggiore starà alla superficie; e che si avrà il contrario se la parte AD penderà all' indietro.



BOLLETTINO DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE

Anno XL · Numero 1 · Giugno 2020



PISA · ROMA
FABRIZIO SERRA EDITORE
MMXX

© Copyright by Fabrizio Serra editore, Pisa · Roma.

© Copyright by Fabrizio Serra editore, Pisa · Roma.

IL CARTEGGIO GIANFRANCESCO MALFATTI - GIORDANO RICCATI MARIA GIULIA LUGARESÌ

ABSTRACT - Gianfrancesco Malfatti (1731-1807), one of Vincenzo Riccati's brightest students during his teaching years in Bologna, following his master's death began a significant scientific correspondence with Vincenzo's younger brother Giordano (1709-1790), an eclectic scholar and author of a treatise on acoustics. The correspondence, which is published here in full, is kept in the Public Library Vincenzo Joppi of Udine, and

cover a wide time span from October 1777 to May 1789, a few months before Giordano's death. It consists of 125 letters, 61 by Malfatti and 64 by Riccati, the letters being copies made by Riccati himself. The topics discussed range from different areas of mathematics: logarithms of negative numbers, calculus of variations, probability and combinatorics, mathematical physics, in particular mechanics and acoustics.

KEYWORDS - Gianfrancesco Malfatti, Giordano Riccati, scientific correspondence, logarithms of negative numbers, calculus of variations, problems of probability, mechanics and acoustics.

GIANFRANCESCO MALFATTI (1731-1807) è stato uno dei matematici italiani più rilevanti nella seconda metà del XVIII secolo. Nato ad Ala, in provincia di Trento, iniziò i propri studi presso la città di Trento, successivamente nel Collegio dei Gesuiti di Verona e infine a Bologna, dove frequentò le lezioni di Francesco Maria Zanotti, Laura Bassi e Vincenzo Riccati. Fu quest'ultimo il suo vero maestro, colui che lo avvicinò allo studio delle scienze matematiche. Vincenzo Riccati (1707-1775), quarto figlio del conte Jacopo Riccati, esponente di spicco dell'ordine dei

Maria Giulia Lugaresi, conseguita la laurea specialistica in matematica, è attualmente iscritta al terzo anno del dottorato di ricerca in matematica e informatica presso l'Università degli Studi di Ferrara. L'attività di ricerca riguarda lo sviluppo della scienza idraulica in Italia nel XVIII secolo con particolare riferimento al ruolo svolto dai matematici in tale disciplina. La tesi di dottorato ha per oggetto la questione del Reno tra idrodinamica e idraulica pratica in Italia a metà del Settecento e l'esame delle *Raccolte di autori che trattano del moto delle acque*. Socio della Società Italiana di Storia delle Matematiche, ha pubblicato i seguenti contributi su volumi e periodici: *R. G. Boscovich (1711-1787). Le prime ricerche sul moto delle acque* (2011); *Oltre i confini della Serenissima: il carteggio scientifico tra Giordano Riccati e Gian Francesco Malfatti* (2012); *I matematici e le nuove linee per il Reno (1692-1772)* (2011-2012). Sono in corso di pubblicazione i seguenti lavori: *Boscovich in Pavia and his relationship with Giovanni Antonio Lecchi*; *Applied mathematics in Boscovich's papers*. Ha collaborato al progetto *Mathematica Italiana*, promosso dalla Scuola Normale Superiore di Pisa, redigendo le biografie di Giordano e Vincenzo Riccati.

EDIZIONE NAZIONALE DELLE OPERE E DELLA
CORRISPONDENZA DI RUGGIERO GIUSEPPE BOSCOVICH
Via Brera 28 20121 Milano
Tel. (+39) 02.72320306/326 - Fax (+39) 02.72001600
Web: <http://www.edizionenazionaleboscovich.it>
E-mail: enboscovich@brera.inaf.it

Requisiti minimi di sistema:
• Microsoft Windows 98 o superiore
• Computer multimediale con MHz 450 Pentium o un processore superiore
• 128 MB di RAM
• Unità CD-ROM 32x

Per visualizzare il contenuto del CD-Rom occorre disporre del software gratuito Adobe Reader.
Per scaricarlo: <http://www.adobe.com/products/acrobat/readmain.html>

Realizzazione: ALEXMA - Cinisello Balsamo
Anno Pubblicazione: 2013
ISBN 978-88-96700-17-4 (Vol XII)

REPERIBILI TUTTI I DIRITTI.
SALVO SPECIFICHE AUTORIZZAZIONI SONO VIETATE LA DUPLICAZIONE, IL PRESTITO E LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE
DEL MATERIALE CONTENUTO. CHI NON È IN GRADO DI VEDERE, VIETATA LA VENDITA.
EDIZIONE NAZIONALE DELLE OPERE E DELLA CORRISPONDENZA DI RUGGIERO GIUSEPPE BOSCOVICH COD. OBBLIGATO FISC.

COMPACT
disc

Opere Scientifiche
Istituzionali
Volume XII

EDIZIONE NAZIONALE
DELLE OPERE E DELLA CORRISPONDENZA
DI RUGGIERO GIUSEPPE BOSCOVICH

a cura di
Maria Giulia
Lugaresi

BOLLETTINO DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE

Anno XXXV · Numero 2 · Dicembre 2015



LE RACCOLTE ITALIANE SUL MOTO DELLE ACQUE

MARIA GIULIA LUGARESÌ

ABSTRACT: This work deals with the examination of five collections on the motion of water that were printed in Italy between 1723 and 1845. There were two Florentine editions, one published in three volumes in 1723 and the other published in nine volumes between 1765 and 1774. Another edition was edited by the Jesuit Jacopo Belgrado in Parma in seven volumes between 1766 and 1768. Bologna produced two editions, both of which were edited by Francesco Cardinali in the first half of 19th century. The first one was printed between 1821 and 1826 in ten volumes, while the second one was printed between 1823 and 1845 in seven volumes. Both Florentine editions were printed in the grand-ducal print shop,

whose director and reviser from 1713 to 1723 was Tommaso Buonaventuri. Together with the mathematician Guido Grandi, Buonaventuri was the main creator of the first edition of the collection. In this work, the five collections on the motion of water have been examined and compared. They contain both theoretical and practical contributions to the science of waters. Many authors appear in different editions, such as important exponents of the Gallean school as Benedetto Castelli, Vincenzo Viviani, Famiano Micheli. The works of other important mathematicians are in these collections, like Guido Grandi, Domenico Guglielmini, Eustachio Manfredi.

La tradizione degli studi di idraulica in Italia, iniziata con l'opera di Leonardo da Vinci e proseguita nel Seicento da Galileo e dai suoi allievi, è ancora viva nel Settecento. La scienza delle acque all'inizio del secolo rappresenta una nuova sezione delle scienze matematiche, i cui principi e argomenti derivano dalla fisica e il cui metodo di ricerca si basa su osservazioni ed esperimenti.¹

Maria Giulia Lugaresi, Università di Ferrara, Dipartimento di matematica e informatica, Via Machiavelli 35, 44121 Ferrara; marigiulia.lugaresi@unife.it

¹ Per i contributi forniti dai matematici alla scienza delle acque in età rinascimentale si vedano i lavori di Alessandra Fioacca: Fioacca 1998; Fioacca, Lamberti, Maffioli 2001. Sui progressi dell'idraulica nel Seicento si vedano gli studi di Cesare Maffioli: Maffioli 1994.

«Bollettino di storia delle scienze matematiche» · Vol. XXIV · 2015 · Fasc. 2

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL
HRVATSKA AKADEMIJA ZNANOSTI I UMJETNOSTI
INAF - OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI BRERA
PONTIFICIA UNIVERSITÀ GREGORIANA

EDIZIONE NAZIONALE DELLE OPERE E DELLA CORRISPONDENZA DI RUGGIERO GIUSEPPE BOSCOVICH

Volume XII
Opere Scientifiche
Idraulica

OPERE VARIE DI IDRAULICA

a cura di Maria Giulia Lugaresi
presentazione di Luigi Pepe

2013

Commissione Scientifica Nazionale
Istituita con D.M. 27 Aprile 2006 e successive integrazioni

Bibliografia

Borgato M.T., Fiocca A., Pepe L. (a cura di), *Teodoro Bonati. Carteggio scientifico: Lorgna, Canterzani, Frisi, Saladini, Calandrelli, Venturi*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 1992.

Fiocca A. (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 1998.

Darrigol O., *Worlds of flow A history of hydrodynamics from Bernoullis to Prandtl*, Oxford, University Press, 2005.

Lugaresi M.G. (a cura di), *R. G. Boscovich. Opere di idraulica*, Edizione Nazionale delle Opere e della Corrispondenza di R. G. Boscovich, 2013.

http://www.brera.inaf.it/edizionenazionaleboscovich/opere-stampa/ENB_Opere_v12.pdf

Lugaresi M.G., *Idrodinamica e idraulica. Le Raccolte sul moto delle acque. La questione del Reno*, Tesi di Dottorato, Ferrara 2014.

Lugaresi M.G., *Le raccolte italiane sul moto delle acque*, «Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche», 35 (2015), n. 2, pp. 201-304.

Maffioli C., *Out of Galileo The Science of Waters 1628 - 1718*, Rotterdam, Erasmus Publishing, 1994.