

Stefano Giovanni Loffi

Piccola
Storia dell'Idraulica

libera traduzione, ridotta ma integrata, di

“History of Hydraulics” di Hunter Rose e Simon Ince
dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell' IOWA – U.S.A.,
édita, nel 1954, come supplemento, su *“LA HOUILLE BLANCHE”* .

Cap. 7 - La nascita del método sperimentale

Cremona – 23 giugno 2006

Cap. 7 - La nascita del método sperimentale

Tra i periodi nei quali è stata suddivisa la storia dell'umanità, uno dei più ricchi di progressi e di tesori è considerato il Rinascimento, in questo certo aiutato dall'immeritato scarso apprezzamento spesso attribuito al precedente Medio Evo, che del Rinascimento, al contrario, è stato l'indispensabile culla.

Dividere in periodi la storia della civiltà costituisce uno schematismo inevitabile ma che può trarre in inganno, perché tende a diffondere l'idea che ogni epoca sia di fatto esperienza indipendente nell'evoluzione. Ciascun periodo storico, invece, è frutto del passato e premessa dell'immediato futuro: il Rinascimento costituisce, infatti, il prosieguo naturale e conseguente del Medio Evo.

Tra il XIV ed il XVI secolo si registrano numerose conquiste di tutta la cultura, raggiungendo spesso livelli superlativi, in alcuni casi neppure più raggiunti in seguito; si pensi, a tal proposito, all'architettura, alla scultura, alla pittura, all'arte letteraria; stupisce, inoltre, l'accelerazione che subirono alcuni campi, con veri e propri sorprendenti balzi in avanti.

L'umanità tutta conobbe, durante il Rinascimento, grandi 'rivoluzioni' culturali, accompagnate da scoperte scientifiche, tecnologiche, economiche, sociali, geografiche, che risolsero innumerevoli problemi, sino a quel tempo non decifrati oppure completamente nuovi che aprirono, questi ultimi a loro volta, altrettanti scenari ed opportunità.

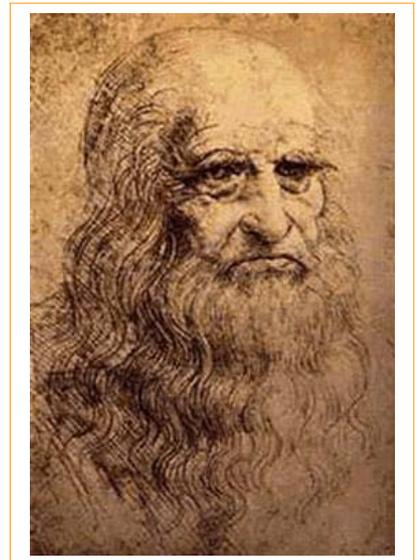
Il pensiero scientifico si orientò definitivamente verso i metodi matematico-sperimentali, abbandonando le certezze metafisiche della Scolastica.

Tra le scienze, l'Idraulica, che da sempre aveva mosso i propri passi dall'osservazione e dallo studio delle esperienze, trovò grande impulso nella ricerca man mano che si consolidava il metodo sperimentale e, con esso, trovavano nuovi sviluppi la Meccanica e la Matematica, discipline strettamente legate alla Fisica; per questo motivo diventa essenziale seguire gli sviluppi di queste scienze di riferimento.

Molti eventi impressero notevoli accelerazioni nello sviluppo delle scienze: l'invenzione della stampa, nell'anno 1445, che permise una più rapida diffusione del progresso umano accumulato nelle conoscenze; la caduta di Costantinopoli, nel 1453, con il conseguente flusso di insegnanti e studenti cristiani verso Occidente; la scoperta del continente americano, nel 1492, che tra l'altro scatenò una stupita coscienza dell'esistenza di un vastissimo mondo ignoto, che apriva un nuovo orizzonte tutto da scoprire.

Queste novità non impedirono difficoltà ed ostacoli: il controllo sulla cultura da parte della chiesa romana cedette assai lentamente il proprio potere ed i primi che cercarono di introdurre teorie nuove in terra italiana, quindi a contatto diretto con la massima autorità spirituale che si ficcava d'esserlo anche nelle scienze, si mossero tra mille pericoli, a volte pagando duramente la libertà del loro intelletto.

I tempi erano però maturi: l'assalto delle menti si dimostrò, alla fine, l'unica vera offensiva che gli esseri umani hanno saputo creare incontenibile ed irreversibile.



La più famosa e conosciuta figura del Rinascimento, superiore a tutte le altre per i livelli di eccellenza che seppe raggiungere in numerosi campi, fu senz'altro Leonardo da Vinci (Vinci 1452 – Amboise 1519). Figlio di Ser Piero, notajo fiorentino, e di Caterina, non soltanto lasciò la sua traccia indelebile nella ricerca italiana, nella pittura e nella scultura, ma mostrò uguale genio nella musica, nella filosofia naturale, nell'anatomia, nella botànica, nell'architettura, nella geologia e nell'astronomia. Da alcuni è ritenuto come colui che capì i principî della scienza sperimentale meglio di quanto fecero, successivamente, Galileo Galilei, Francis Bacon, Isaac Newton.

Dopo sette anni in povertà, come studente d'arte a Firenze nella bottega del Verrocchio, Leonardo superò velocemente il suo maestro e cominciò, come artista indipendente iscritto nel 1472 alla corporazione fiorentina di S. Luca, ad acquisire commissioni in proprio. Nel 1482 fu inviato a Milano da Lorenzo de' Medici presso gli Sforza, dove rimase per vent'anni. Si occupò di arte e di architettura, quantunque mai abbandonò l'abitudine di osservare e ricordare i fenomeni della natura in ogni aspetto. Scrisse di Matematica e di Meccànica; disegnò molti lavori di ingegneria per il territorio lombardo. Nel 1499, con la conquista di Milano da parte dell'esercito francese di re Luigi XII, Leonardo si trasferì a Venezia per poi rientrare a Firenze.

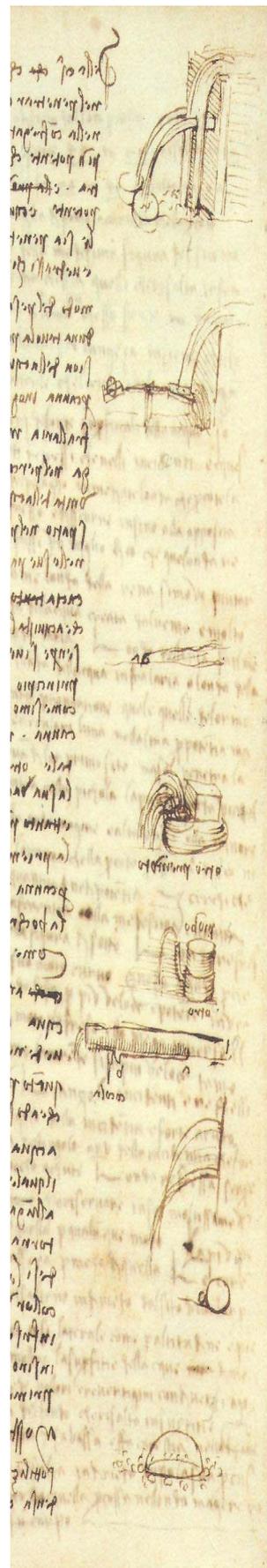
Moltiplici furono i lavori di Leonardo. Ricordiamo che tra il 1502 ed il 1503 fu il capo ingegnere presso Cesare Borgia, progettando e supervisionando lavori di canali e porti in una larga parte dell'Italia centrale. Milano lo richiamò, nella persona del governatore francese Carlo d'Amboise nel 1506. Qui progettò e seguì i lavori per la sistemazione del naviglio Martesana - dove ancor oggi sono funzionanti le porte delle conche di navigazione dette, appunto, 'vinciane' - e da questo elaborò il progetto per collegare, via acqua, il lago di Como a Milano, sfruttando l'alto corso del fiume Adda.

Alcuni anni prima della sua morte egli si stabilì ad Amboise, in Francia, invitato dal re Francesco I; là egli disegnò un castello ed un canale che connetteva la Loira con la Saone; cercò, nell'ultimo periodo, di riordinare la vastissima mole di note e documenti (circa cinquemila pagine) scaturiti dalla sua mente vulcanica.

Purtroppo le sue note cominciarono, dopo la sua morte, a disperdersi e molte delle geniali intuizioni e scoperte restarono confinate in queste carte, anche a causa della ritrosia di Leonardo di condividere il proprio pensiero con gli altri; in questo egli sembra essere ancora chiuso in un recinto culturale di medioevale memoria.

Tanto è stato scritto di Leonardo, ma il suo genio fu tale che vi sia ancor oggi qualcosa da scrivere. Qui, ovviamente, ci limitiamo a ricordarlo nelle sue idee collegabili all'Idraulica.

Pierre Duhem (Parigi 1861-Cabrespine, Ande 1916), in un esteso studio '*Études sur Léonard de Vinci*', ha tracciato l'origine di molte osservazioni di Leonardo, nel campo della Meccanica, dimostrando l'influenza dei grandi scienziati del passato: Archimède, Euclide, Vitruvio, Eròne, sino al più recente Albert di Sassonia. Lo stesso Leonardo parla con familiarità degli studiosi antichi e contemporanei.



Pierre Duhem inoltre dimostra che scienziati successivi a Leonardo ebbero accesso alle sue note; alcuni dei suoi schizzi su dispositivi meccanici apparirono più tardi sotto diverso nome; sue osservazioni senz'altro raggiunsero e suscitavano interesse presso Cartesio, Pascal e Huygens.

In nessun modo, anche se poco 'divulgativo', il lavoro di Leonardo da Vinci può essere considerato come un fenomeno isolato nel Rinascimento, senza influenze del passato e senza influenza sul futuro; fatto è che l'eccellenza della sua mente fu troppo elevata per i suoi diretti successori, tant'è che ciò che di lui fu assimilato è poca cosa rispetto a ciò che avrebbe potuto significare lo sviluppo di ogni sua idea.

Tanto è vasta la giusta ammirazione di Leonardo che a volte se ne perdono alcuni aspetti: a lui, infatti, non è riconosciuto d'aver per primo applicato, in tutte le sue indagini, il metodo sperimentale, così come lo descrive:

“ . . . Io tratterò di tali argomenti, ma prima farò molti esperimenti e poi dimostrerò perché i corpi sono forzati ad agire in questo modo. Questo è il método che uno deve perseguire nell'investigare i fenomeni della natura. E' vero che la natura inizia a ragionare e termina dall'esperienza; ma tuttavia noi dobbiamo portare il modo opposto: come ho detto dobbiamo iniziare con l'esperimento e cercare attraverso esso di scoprire le ragioni. . . . ”

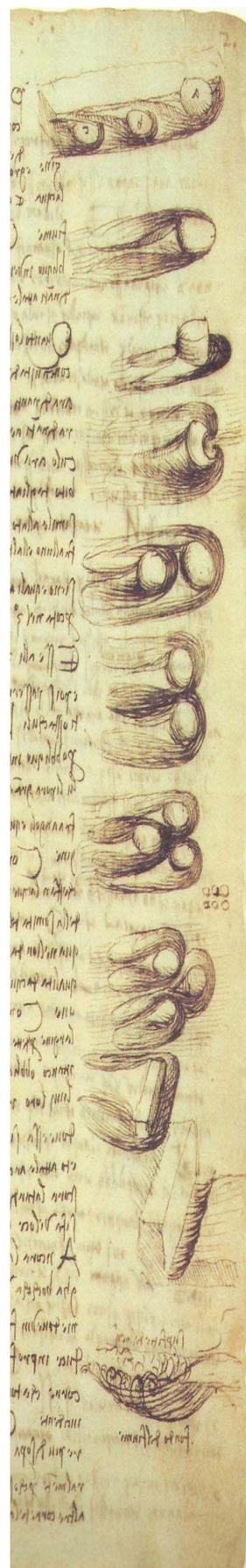
Nel campo della Meccanica, Leonardo anticipò Galileo Galilei – che giunse un secolo dopo - nel riconoscere che un corpo che scorre liberamente su un piano inclinato può raggiungere la stessa velocità alla stessa quota, senza tener conto dell'angolo di inclinazione; da qui non riuscì a dedurre la legge della caduta libera a causa degli errori nel calcolo della distanza percorsa in un dato tempo, cosa che poi riuscì a Galileo.

Di interesse per la storia dell'Idraulica sono i suoi scritti racchiusi nell'opera *“Del moto e misura dell'acqua”*, un trattato in nove parti che tratta dei seguenti argomenti: la superficie dell'acqua, il movimento dell'acqua, le onde dell'acqua, le scie, l'acqua in caduta, la distruttiva forza dell'acqua, la navigazione dei corpi, efflussi da fori ed aperture, correnti nelle tubazioni, mulini ed altre macchine idrauliche.

Queste osservazioni, spesso male interpretate, sono oggi da considerare novità troppo elevate per la scienza del tempo, anticipando principi ed interpretazioni che giunsero assai dopo. Resta celebre la sua premessa:

“Ricòrdati che quando parli di correnti d'acqua devi portare prima l'esperienza e dopo la ragione.”

Nello studio dei moti nei fluidi, egli per primo descrisse: la distribuzione della velocità in un vortice; i profili dei getti liberi; la formazione delle scie dei moti relativi (prodotte, ad esempio, da un ostacolo fisso in una corrente o da un corpo galleggiante che si muove con velocità diversa da quella della corrente stessa); la propagazione, la riflessione e l'interferenza delle onde; il salto idraulico.



Leonardo da Vinci per primo propose: l'ottimizzazione aerodinamica dei corpi, il paracadute, l'anemometro, la pompa centrifuga, l'osservazione della distribuzione della velocità nei liquidi, utilizzando parèti in vetro e particelle lasciate in sospensione nella corrente.

Dobbiamo accreditare a Leonardo - che, come già Erone di Alessandria, non ottenne séguito alcuno - la corretta osservazione e la formulazione del principio di continuità dell' Idraulica, secondo il quale, partendo dall'assunta incomprimibilità dei fluidi, i differenti flussi in ingresso ed in uscita da un sistema a cielo libero sono accompagnati da una proporzionale variazione di livello.

In un serbatoio, per esempio, se entra più acqua rispetto a quella che esce, nello stesso tempo, allora il livello del serbatoio si alzerà . . . in un sistema chiuso, cioè in una tubazione, la variazione della quantità di acqua che fluisce in un dato tempo (la *portata*) si manifesta nella proporzionale variazione della velocità.

Così osserva Leonardo nell'analizzare il principio di funzionamento della siringa:

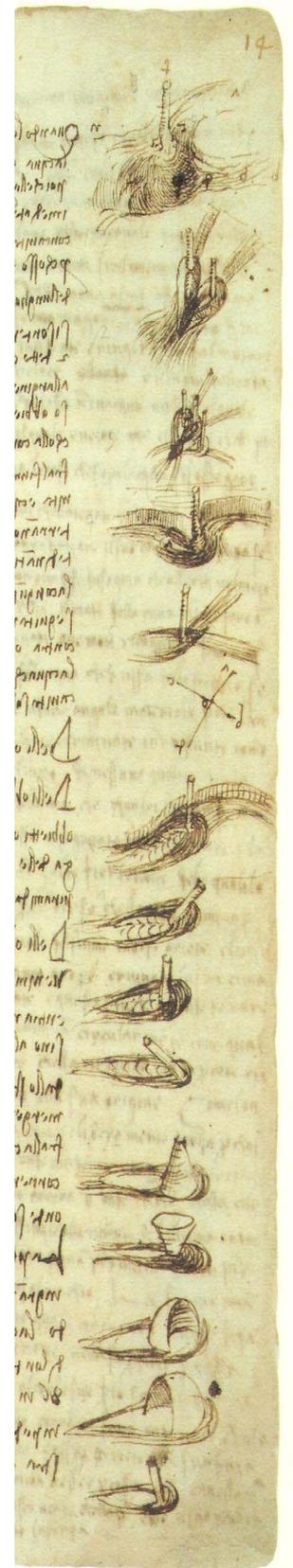
“ . . . le sezioni dell'ugello, attraverso il quale l'acqua furiesce, sono cento volte più piccole della sezione principale dello stantuffo; l'acqua fluirà nell'ugello cento volte più veloce del movimento del pistone. Immaginiamo che un secondo pistone, cento volte più piccolo del primo, si opponga al flusso dell'acqua; certo avverrà che la forza che si applica al secondo pistone sia circa uguale alla centesima parte di quella che spinge il pistone largo; e se la forza supera le cento parti, il piccolo pistone avanza e quello grande recede. . . “

Questa affermazione contiene non solo il principio di continuità dell'Idraulica, ma anche quello della trasmissione della forza attraverso la compressione di un fluido, oggi noto con il nome di 'Principio di Pascal', enunciato da Blaise Pascal, come vedremo, circa un secolo e mezzo dopo.

Discutendo della continuità nei fluidi, Leonardo si rese conto della differenza tra velocità della corrente e velocità della propagazione delle perturbazioni, come ad esempio le onde:

“ . . . La velocità della propagazione delle onde spesso supera considerevolmente la velocità della corrente perché l'acqua generalmente non può cambiare posizione; proprio come il grano in un campo, che resta fissato al terreno ed assume sotto l'impulso del vento la forma di onde che corrono attraverso la campagna. . . . “

Leonardo cercò di estendere il principio di continuità all'acqua contenuta in due tubazioni verticali interconnesse di diametro differente, la più grande delle quali (chiamata *pompa*) contiene un leggero pistone. A quale altezza, egli chiese, l'acqua salirà nell'altro tubo quando un peso (che chiama *contrappeso*) è posto sul pistone?



Sostituendo al posto del contrappeso una equivalente altezza d'acqua egli arrivò alla seguente affermazione:

“ . . . L'acqua che è salita per causa di ogni grado di movimento dell'altra acqua è minore di quella che si muove nello stesso modo come è più lungo. Moltiplico l'acqua che discende per la sua lunghezza di diminuzione e divido il prodotto per il peso al quale tu vuoi far salire l'acqua; il risultato come la lunghezza dell'acqua di caduta è contenuto nel peso di salita, tante volte più sottile è l'acqua che sale.

Il peso dell'acqua che ogni tubazione solleva sopra il livello del serbatoio lo stesso motivo al peso dell'altra acqua (equivalente al contrappeso) che guidalo come la sezione del tubo porta a quello della pompa . . . ”

Ora questa conclusione non è soltanto corretta, ma contiene un principio dell'idrostatica non evinto né da Archimède né da Eròne o dagli Àrabi o dagli Scolastici.

Non solo: Leonardo applicò questa osservazione all'equilibrio dei liquidi di densità differenti in contenitori comunicanti.

Nel problema dell'efflusso, cioè dell'uscita di un fluido da un recipiente attraverso fori nella sua parete posti a differenti altezze, Leonardo cadde in errore credendo che l'efflusso fosse proporzionale al carico idraulico in modo diretto, cioè che la portata in uscita dipendesse dal valore dell'altezza con la quale l'acqua sovrasta il foro. In realtà vedremo, più avanti, che questa proporzionalità è pari alla radice quadrata della stessa altezza.

L'errore fu ripetuto da Leonardo nelle sue osservazioni sulle correnti a pelo libero e sulle piene dei fiumi:

“Se uno stramazzo porta una data quantità di acqua di due pollici di strato [cioè di spessore] e noi aggiungiamo un altro pollice allora il pollice più basso raddoppia la sua portata, la sua velocità ed il suo carico. Questo è provato dalla prima dimostrazione che le velocità sono proporzionali alla distanza dalla superficie dell'acqua.”

Le sue osservazioni sulla distribuzione delle velocità nelle correnti dei corsi d'acqua sono più accurate.

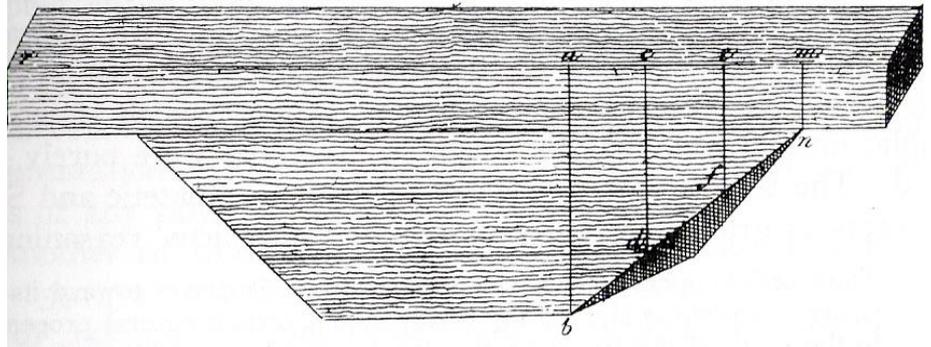
“Nei fiumi rettilinei è più rapida l'acqua più lontana dalle sponde a causa della resistenza. L'acqua ha una velocità maggiore in superficie che sul fondo. Questo avviene perché l'acqua alla superficie lambisce l'aria che è di poca resistenza, perché più leggera dell'acqua e l'acqua sul fondo tocca la terra che è molto più resistente perché più pesante dell'acqua ed immobile. Da questo discende che la parte che è più distante dal fondo ha minore resistenza che quella sotto.”

Nell'Idraulica fluviale le considerazioni di Leonardo sono quantomai originali ed esaurienti della profonda conoscenza raggiunta in



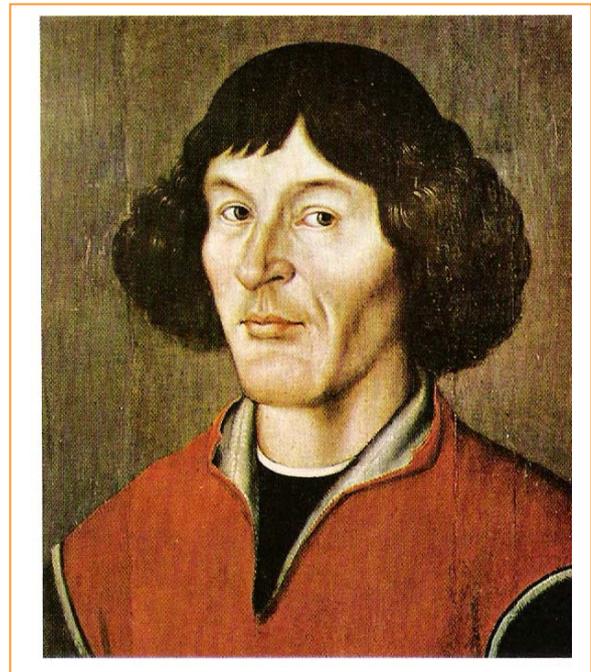
questi fenomeni:

“Un fiume in ogni parte del suo percorso nello stesso tempo dà passaggio ad una eguale quantità di acqua, nonostante la larghezza, la profondità, la corrente, la irregolarità, la tortuosità. Ogni movimento dell’acqua di una eguale superficie in larghezza correrà più rapida e meno in profondità . . . e il suo moto sarà di questa qualità: io dico [con riferimento al disegno accanto, ndr] che in m-n l’acqua ha più rapido movimento che in a-b, e come molte volte più che m-n entra in a-b; esso entra quattro volte il moto sarà quindi quattro volte come rapido in m-n che in a-b; tre volte rapido come in c-d e due volte come in e-f. Un fiume di profondità uniforme avrà una più rapida corrente nella sezione più ristretta che in quella più larga, all’estensione che la maggior larghezza supera la minore.”



Sebbene, in questo passo, l’interpretazione di Leonardo della distribuzione delle velocità in una sezione della corrente non sia corretta, ci sarebbe comunque motivo per sostenere che il ‘Principio di continuità’, prima legge dell’Idrodinamica, potrebbe ben essere chiamato *Principio di Leonardo*, o forse, con la numerazione d’ordine, sarebbe stato il ‘Primo o il secondo o . . . il terzo . . . Principio di Leonardo’. Purtroppo, come già detto, la sua mente complessa e versatile, rivolta a mille interessi ed a mille scienze, non gli consentiva d’essere anche un buon maestro, né crediamo che questo fosse per lui uno sforzo interessante. Così altri, dopo di lui e spesso senza di lui, scoprirono molto di ciò che lui aveva già scoperto; lasciò così un po’ di spazio e di gloria anche ai pòsteri!

In un altro luogo, un contemporaneo di Leonardo, un poco più giovane, meno versatile ma più ‘socievole’, ebbe una maggiore influenza sul susseguente corso della scienza: Niccolò Copérnico (Thorn 1473 – Frauenburg 1543), nato nella Prussia polacca e istruito, in numerose materie, in altrettanti luoghi: nella Matematica e nelle scienze a Cracòvia; nella legge canonica e nella Astronomia a Bologna; nella Medicina a Padova. Copérnico, che fu anche praticante médico ad Heidelberg e canonico nella cattedrale di Frauenburg, durante i suoi studi in Italia elaborò la nuova teoria astronomiche che poneva il Sole e non la Terra al centro dell’universo. Confortato, nel privato, da molti studiosi italiani che già criticavano le tolemàiche teorie geocentriche, tanto care alla Scolastica, Copérnico ripartì dalle affermazioni eliocentriche di Pitàgora.



Nonostante la rozzezza dei suoi strumenti, Copérnico dimostrò che l'ipòtesi che fossero i pianéti, e con questi la Terra, a ruotare intorno al sole, secondo percorsi circolari, era quella che meglio e più semplicemente si adattava alle osservazioni.

Copérnico seppe superare l'ostacolo ed il pericolo(!) della chiesa, trovando il modo di ottenere l'approvazione papale e l'autorizzazione a pubblicare le sue scoperte. La stampa del principale lavoro apparve appena prima della sua morte; tipico dei tempi fu il fatto che un amico intimo, il predicatore A. Osiander, ebbe ad inserire una anònima prefazione che affermava, per evitare la pubblica disapprovazione, che le teorie presentate erano puramente ipotetiche. A tale affermazione si oppose fieramente Giordano Bruno, che fu il primo a trattare l'òpera di Niccolò Copérnico per sostenere una nuova visione filosofica del mondo.

Per quasi due sécoli il nome di Copérnico divenne la bandiera di coloro che lottavano contro l'autorità religiosa che premeva ed opprimeva la sete di libertà della scienza.

Gli Scolastici francesi di questo periodo tentarono di rinnovare la propria dottrina, in particolare con Francisco Soto, detto Domingo, (Segovia 1494 - Salamanca 1560), monaco domenicano spagnolo che studiò a Parigi. Autorevole figura nella chiesa romana, partecipò al Concilio di Trento, Scoto tentò una originale interpretazione del pensiero di Tommaso d'Aquino, cercando di conciliare le teorie aristoteliche con il nascente nuovo pensiero scientifico. Ne discesero alcune aperture come, ad esempio, l'analisi del problema della caduta libera dei gravi, che fu riconosciuto essere dovuto all'accelerazione uniforme:

“Il moto uniformemente variato, con rispetto al tempo, è quello nel quale la deformazione è la seguente: se qualcuno divide secondo il tempo, in ogni parte, il moto nel punto di mezzo eccede il moto più debole nella quantità che esso eccede dal più forte . . . Questo tipo di moto è quello che è caratteristico dei corpi mossi sotto il moto naturale e dei proiettili.”

Si deve sottolineare che questa affermazione fu stesa prima degli esperimenti di Galileo; tuttavia fu considerata non come la scoperta del filosofo/scienziato spagnolo bensì come una conoscenza già esistente.

Dagli studi di Pierre Duhem emerge che alcuni studiosi italiani successivi a Leonardo non solo ne riprendono le osservazioni ma hanno concorso nel portarle all'attenzione di quelli che, più tardi, formularono i principi dei quali egli era solo imperfettamente cosapevole.

Uno di questi fu Girolamo Cardàno (Pavia 1501 – Roma 1576), matematico e medico di Pavia, la cui intelligenza ne superò grandemente l'ética. Egli è infatti noto per aver plagiato liberamente i lavori di molti; Leonardo ne fu una vittima frequente. Una parte certo originale dei suoi scritti, tuttavia, non ebbe Leonardo come origine, ma Aristòtele. Dagli insegnamenti della scuola dei Peripatetici accettò, anche se in forma genérica, che l'aria, come l'acqua e la terra, avesse un peso, e che il moto naturale di ogni sostanza attraverso un'altra fosse governato unicamente dalle loro relative densità.

Girolamo Cardàno cercò di determinare la densità dell'aria, ponendola in relazione alla densità dell'acqua, attraverso la misura del tempo di caduta di palle di vetro nei due mezzi; ne discese l'indicazione di 1 a 50, errata ma significativa per dimostrare che il metodo sperimentale senza un controllo analitico non era sufficiente per produrre risultati di qualche valore.

Giambattista Benedetti (Venezia 1530 – Torino 1590), matematico e fisico, si interessò sia al principio della caduta libera dei gravi che dell'equilibrio dei liquidi in vasi comunicanti. La sua opera *'Diversarum speculationum mathematicarum et phisicarum liber'*, pubblicata nel 1580, lo mostra quale precursore delle scoperte di Galileo Galilei. In un volume di differenti scritti scientifici, dato alle stampe nel 1585, Benedetti discusse una *“pompa che preme e solleva l'acqua”*,

strettamente somigliante a quella che Leonardo cercò di analizzare. Benedetti raggiunse esattamente la stessa conclusione di Leonardo, relativamente alla relazione tra le aree delle sezioni trasversali, considerate applicate al pistone, e l'altezza della colonna di liquido.

Un terzo studioso 'di transizione', dopo Leonardo, fu Bernardino Baldi (Urbino 1553 – 1617), che ricevette una educazione classica a Padova e divenne noto per la sua abilità linguistica ed i suoi numerosi scritti. Egli incluse traduzioni e commenti sui lavori di Aristotele, Euclide, Erone, e Vitruvio. I suoi commentari di Meccanica, Idrostatica ed Idraulica frequentemente contenevano, quasi parola per parola, estratti delle note di Leonardo, evitando accuratamente di far menzione di questa provenienza.

Un matematico danese, dedito anche alla Fisica ed all'Ingegneria, che contribuì allo sviluppo dell'Idraulica senza essere influenzato dalle considerazioni di Leonardo da Vinci, fu Simon Stevin, chiamato anche Simone di Bruges, (Bruges 1548 – Aia 1620).

Inizialmente occupato in attività commerciali nella città di Anversa, Stevin si rivolse agli studi scientifici all'età di trentacinque anni, iscrivendosi all'università di Lovanio. Da ingegnere progettò e curò la realizzazione di grandi opere idrauliche di controllo e smaltimento delle acque, dalle quali ottenne grande fama al punto che fu nominato direttore del 'Dipartimento per le strade ed i canali', poi Intendente per l'esercito dei Paesi Bassi ed infine Commissario Generale d'Olanda.



Per primo, Stevin concepì piani di difesa di quei territori che prevedevano l'allagamento delle terre basse attraverso sbarramenti mobili nei canali di drenaggio. Professore di Matematica a Leida, sviluppò la scomposizione delle forze: ogni forza può essere rappresentata con un segmento di retta che può essere scomposto in due altri segmenti, tra loro perpendicolari, dei quali la forza originale è l'ipotenusa ed anche la risultante.

Stevin diffuse l'uso delle frazioni decimali e predisse l'avvento del sistema decimale anche nella moneta, nei pesi e nelle misure.

A lui si deve l'enunciazione del principio fondamentale dell'Idrostatica, contenuto nella sua opera, pubblicata in fiammingo nel 1586, dal titolo "*De Beginself des Waterwichts*", che lo portò alla massima reputazione, perché conteneva la prima corretta analisi della forza esercitata da un liquido su una superficie piana, oggi detta '*Legge di Stevin*', che riportiamo nell'enunciato usuale:

"In qualsiasi fluido a cielo libero, la pressione in un punto dipende solo dalla sua distanza dalla superiore superficie libera e la differenza di pressione tra due punti è data dal peso della colonna d'acqua, con superficie unitaria, di altezza pari alla differenza delle quote dei due stessi punti considerati."

Partendo da questa legge, Stevin propose il primo tentativo di spiegazione del cosiddetto '*Paradosso idrostatico*', secondo il quale: se due recipienti di forma diversa ma di ugual base contengono lo stesso liquido che raggiunge in essi la stessa altezza, la forza agente sul fondo è per entrambi uguale.

La fama del lavoro di Stevin giunse sino in Italia, in tempo per essere menzionata in una prefazione di Bernardino Baldi, ma l'ostacolo delle assai differenti lingue sembra aver precluso la rapida diffusione di queste scoperte sino a quando furono tradotte in latino nel 1608.

Le proposizioni di Stevin erano strettamente simili a quelle di Archimède, ma il método seguito per dimostrare le condizioni dello stato di equilibrio era basato sull'impossibilità del contrario. Per esempio, dimostrando la verità dell'affermazione "ogni corpo in acqua mantiene sempre una stessa posizione", Stevin propose l'impossibile affermazione opposta, concludendo che "... questa acqua doveva essere in perpetuo movimento ... il che è assurdo".

Il suo primato nell'Idrostatica non era privo di errori.

Stevin non comprese infatti che la pressione idrostatica di un fluido agisce su un punto del liquido in modo uguale in qualunque direzione; la conseguenza è che l'olandese non procede nelle analisi per fenomeni diversi (principio di Archimède, paradosso idrostatico, pressione contro una parete) come aspetti di uno stesso comportamento.

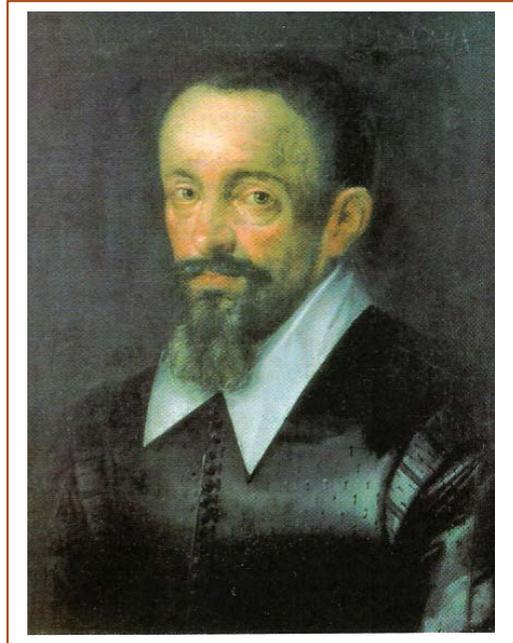
Tre altri scienziati, lavorando certo indipendentemente in tre differenti paesi, saranno considerati quali protagonisti della conclusione del periodo del Rinascimento per quanto interessa la storia dell'Idraulica.

Il primo di questi – e certo il minore – fu Francis Bacon (Londra 1561 – 1626), barone di Verulamio e visconte di Sant'Albano. Considerato più filosofo e statista piuttosto che scienziato, egli evidenziò gli errori della Scolastica ed avocò al suo posto lo studio della verità attraverso le analisi scientifiche dell'osservazione dei fatti. Sostenne con decisione la finalità pratica della scienza e l'importanza dei dati sperimentali "non tanto perché danno frutto ma perché danno luce". Le sue opere portarono ai primi movimenti culturali prodròmicici alla nascita della Royal Society (1660), Accadèmia, presentata nel prossimo Capitolo, che giocò un decisivo ruolo nella successiva diffusione della conoscenza. A Francis Bacon è attribuito il primo esperimento che dimostra la compressibilità dell'acqua.

Giovanni Kepléro (Weil, Wüttemberg 1571 – Ratisbona 1630), tedesco contemporaneo di Francis Bacon, di umili origini e di salute cagionevole, fu avviato agli studi ecclesiastici nel seminario di Tubinga, dove venne iniziato all'Astronomia copernicana dal matematico M. Mästlin.

Nel 1594 abbandonò il seminario ed accettò un incarico di insegnamento al ginnasio di Graz. Nel 1596 diede alla stampa la sua prima opera "Prodròmus dissertationum continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium", che gli consentì di entrare in contatto con alcuni astronomi, tra cui Galileo Galilei. In questo documento cercò di stabilire una corrispondenza tra le orbite dei pianeti e le proprietà geometriche dei cinque solidi: cubo, tetraedro, dodecaedro, ottaedro e icosaedro.

Allontanato dalla scuola di Graz, perché protestante, nel 1600 Kepléro accolse l'invito di Tyco Brahe di stabilirsi al castello di Benatek vicino a Praga. Qui, assieme a Brahe, cercò di correggere gli errori risultanti dalla teoria copernicana delle orbite circolari dei pianeti e, dopo la morte di Brahe, Kepléro fu nominato suo successore come matematico imperiale da Rodolfo II d'Asburgo.



La situazione fu straordinariamente fortuita e fortunata, perché Brahe era stato un eccellente meccanico e Kepléro cominciò ad essere un qualificato analista dei dati misurati. Egli proseguì partendo dalle nozioni, dalle osservazioni e dai documenti di Brahe, in particolare sul moto del pianeta Marte; scoprì che le difficoltà relative alle irregolarità della sua orbita svanivano utilizzando per la traiettoria la figura dell'ellisse; da questo egli riuscì ad enunciare le prime due leggi sul moto dei pianeti del sistema solare, che pubblicò, nel 1609, nell'opera "*Astronomia nova seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex obsevationibus G. V. Tyconis Brahe.*":

1. *Le orbite dei pianeti sono di forma ellittica ed il sole ne occupa uno dei due fuochi;*
2. *Nello stesso tempo ogni pianeta copre settori dell'ellisse di ugual area.*

Nel 1610 confermò la straordinaria scoperta di Galileo dell'esistenza dei satelliti del pianeta Giove; nel 1611, celebrando il cannocchiale di Galileo, ne propose una versione con lente ad oculare convesso; nel 1619 pubblicò l'opera "*Harmonices mundi libri V*" e nel 1621 riassunse in modo organico e coordinato, le ricerche di Copérnico e di Galileo. In "*Harmonices mundi libri V*", Kepléro enunciò la sua terza legge:

3. *I quadrati dei tempi impiegati dai pianeti per completare le rispettive orbite sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle orbite stesse.*

Nel 1627 Kepléro poté pubblicare le *Tabulae Rudolphianae*, alle quali aveva lavorato dalla morte di Brahe, che furono usate per oltre un secolo in quanto consentivano di calcolare con notevole precisione la posizione dei pianeti.

Galileo Galilei (Pisa 1564 – Arcetri 1642) fu contemporaneo di Bacon e di Kepléro e – per quanto concerne questa storia – il più importante dei tre.

Nacque a Pisa da Vincenzo, matematico e musicista, e da Giulia Ammannati, di illustre ma decaduta nobile famiglia.

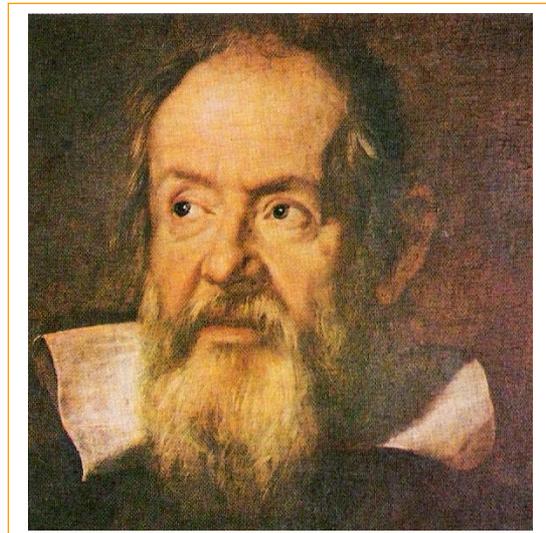
A Firenze ebbe la sua prima educazione di carattere umanistico-letterario. Nel 1581 si iscrisse alla facoltà di Medicina dell'università di Pisa. Le ristrettezze economiche e la scarsa propensione verso la Medicina lo costrinsero ad abbandonare l'università senza conseguire il diploma, ma senza impedirgli di continuare, da autodidatta, gli studi in Fisica ed in Matematica.

Già nel 1586 ideò un originale modello di bilancia idrostatica per la determinazione del peso specifico delle sostanze. Nel 1587 enunciò alcuni teoremi relativi al baricentro dei corpi, pubblicati soltanto nel 1638.

Nel 1589 ottenne l'insegnamento di Matematica all'università di Pisa. Qui, avendo già esplorato le leggi del pendolo (per le quali si dice che ebbe la sua prima intuizione osservando le oscillazioni di un lampadario pendente dal volto del duomo di Pisa, nel 1583), si applicò nello studio della caduta dei gravi e sulla teoria dell'impeto.

Tra il 1592 ed il 1610 Galileo fu professore di Matematica all'università di Padova, dove trovò "*un ambiente vivo e stimolante*", alla quale il governo della Serenissima Repubblica di Venezia assicurava ampia libertà di pensiero.

Si occupò di costruzioni militari, di Topografia, di Fisica; nel 1604 abbozzò, in una lettera



a Paolo Sarpi, la prima sua interpretazione della legge di caduta libera dei gravi.

Dopo aver insegnato Astronomia secondo le teorie tolemàiche, nel 1597 indirizzò due lettere, una delle quali a Kepléro, dove dichiarò d'essere giunto all'adesione alle teorie di Copérnico; sostenne anche di avere elementi in grado di dimostrare la validità di questa interpretazione, senza però farne cenno, probabilmente perché temeva reazioni a proprio danno da parte delle autorità scientifiche e, soprattutto, ecclesiastiche, potenti anche nella libera Venezia.

Fu nel 1604 che, per la prima volta, Galileo dichiarò pubblicamente la validità delle teorie eliocentriche, in occasione di tre lezioni dove spiegò la sua interpretazione della comparsa di una nuova stella, scontrandosi, come sempre aveva temuto, con gli ambienti scientifici più conservatori. Quando venne a sapere dell'invenzione del cannocchiale, ad opera di due occhialai olandesi, si applicò a questo nuovo congegno costruendone un modello in grado di raggiungere 32 ingrandimenti. Con questo, nel 1610, iniziò sistematiche osservazioni astronomiche con le quali scoprì le catene montuose della Luna, i quattro satelliti di Giove, la via Lattea, le fasi di Venere. Nel frattempo costruì egli stesso quasi cento telescopi per poter, con la loro vendita, racimolare qualche guadagno; uno di essi venne usato dallo stesso Kepléro.

Nel marzo del 1610 pubblicò il trattato "*Sidereus nuncius*", con il quale, annunciando le proprie scoperte, demoliva la teoria aristotelica geocentrica.

Cosimo II de'Médici, in onore del quale Galileo aveva chiamato i satelliti di Giove '*Medicéi*', lo volle a Firenze nominandolo '*Primario matematico e filosofo*'.

A dispetto della recente approvazione papale delle scoperte di Copérnico, nel 1616 il Papa vietò a Galileo Galilei di procedere nell'insegnamento della sua teoria ed egli promise di obbedire, ma sette anni di silenzio a Firenze furono tutto ciò che riuscì a sopportare e gradualmente tornò ad insegnare e scrivere nonostante l'accusa di eresia.

Nel 1632 la pubblicazione fiorentina del suo "*Dialoghi sopra i due massimi sistemi del mondo*" fu acclamata in tutta Europa. In esso Galileo mise a confronto diretto le due teorie, aristotelica e copernicana, dimostrando la validità di quest'ultima; il suo trattato divenne un vero e proprio manifesto di conferma aperta del lavoro di Copérnico.

L'opera ben presto scatenò la reazione della chiesa di Roma, che ne vietò la diffusione e la lettura.

La Santa Inquisizione convocò lo scienziato a Roma, dove giunse nel febbraio del 1633, subendo l'accusa di essersi reso "*veementemente sospetto d'heresia, cioè d'aver tenuto e creduto dottrina falsa e contraria alle sacre e Divine Scritture, ch'l Sole sia il centro della Terra e che non si muova da oriente ad occidente, e che la terra si muova e non sia centro del mondo*".

Fu così costretto a ritrattare pubblicamente le sue scoperte. Condannato al carcere a vita ottenne la conversione prima nell'isolamento assoluto, presso il vescovo Piccolomini, e poi nella sua villa ad Arcetri dove morì nel 1642.

Soltanto nel 1638 la sua ultima e riassuntiva opera "*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*" fu pubblicata in Olanda, a Leida, ed ebbe enorme successo in tutta Europa, trattando però non tanto di Astronomia, che resta documentata nel precedente lavoro, bensì di resistenza dei materiali e di Dinamica.

Nel 1640 pubblicò un ultimo lavoro sulla luce lunare "*Sopra il candore della luna*", che ebbe anch'esso molto seguito e fu in particolare oggetto di attenzione da parte dell'abate, e suo allievo prediletto, Benedetto Castelli in occasione dei suoi studi sulla variazione della luce cinerea, dei quali diremo più avanti.

Le scoperte di Galileo Galilei più rilevanti per questa Storia dell'Idraulica sono nel campo della Meccanica, più specificatamente nella Cinematica, per aver risolto, qualitativamente, il moto dei corpi soggetti ad un'accelerazione uniforme, cioè in caduta libera o che scorrono su un

piano inclinato: in tutti e due i casi l'accelerazione costante alla quale sono sottoposti è l'accelerazione di gravità; caso in cui Galileo parla, per questo, di *movimento naturale*.

Così leggiamo nel “*Dialoghi sopra i due massimi sistemi del mondo*”:

“*Le distanze coperte nel movimento naturale sono proporzionali al quadrato del tempo della caduta.*”

Oggi noi sappiamo che la relazione che lega lo spazio percorso ed il tempo, nel caso di moto uniformemente accelerato, è:

$$S = \frac{1}{2} a t^2$$

Lo spazio ‘S’, cioè, è proporzionale al quadrato del tempo ‘t’ secondo il fattore di proporzionalità $\frac{a}{2}$, dove ‘a’ è l’accelerazione uniforme che, in questo caso, sarebbe più corretto indicare con ‘g’, simbolo universale dell’accelerazione di gravità.

Galileo Galilei, però, nulla dice su questo fattore di proporzionalità costituito dalla metà del valore dell’accelerazione; nonostante questa mancanza, poté affermare d’aver dimostrato che la velocità di caduta di corpi, seppure di diverso peso, era uguale se non si considerava l’influenza del mezzo nel quale essi si muovono.

Nell’aria, cioè, una piuma e una sfera di metallo, cadendo dalla stessa altezza, raggiungono il suolo in tempi diversi soltanto a causa della resistenza dell’aria; nel vuoto questa differenza scompare.

Dalle osservazioni sul moto in caduta libera e lungo piani inclinati, Galileo, esaminando il moto di un proiettile, scrive nel suo libro, già ricordato, “*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*”:

“... *Un proiettile, animato dal movimento composto di movimento uniforme orizzontale e naturalmente accelerato verso il basso, descriverà [nel suo percorso, ndr] una parabola.*”

L’aspetto sorprendente del lavoro di Galileo è che nonostante il suo stretto contatto con Keplero, in materia di accelerazione di gravità e di moto planetario - che Isaac Newton fu più tardi capace di esplicitare con completezza - non vi è traccia di un altrettanto mutuo scambio di idee su tutte le altre e ben più definitive scoperte di entrambi, come se, su questi argomenti, si ignorassero vicendevolmente.

Nonostante il lavoro “*Discorso intorno alle cose che stanno in su l’acqua o che in quella si muovono.*”, contenente alcune considerazioni di Idrostatica, accanto ad una prevalenza di considerazioni volte alla riabilitazione degli studi di Archimede e quindi che colgono l’occasione di un altro scossone alla ‘fortezza scolastica/aristotelica’, i contributi di Galileo all’Idraulica furono indiretti, perché compiuti nel campo della Fisica e della Meccanica, strumenti necessari al discernimento, ma non elementi propri della scienza dei fluidi.

Attraverso i suoi esperimenti con i corpi in caduta e con il pendolo, egli dimostrò non soltanto che questi due moti erano ostacolati dall’attrito dell’aria ma anche che tale resistenza cresceva sia con la velocità del corpo che con la densità del fluido attraversato.

Galileo Galilei sembra aver considerato simili il fenomeno della corrente in un fiume o in un canale e la corsa di un corpo lungo un piano inclinato. L’analogia con quanto osservava nel caso del piano inclinato gli fece così concludere che la velocità della corrente non dipendesse anche

dalla lunghezza del percorso; da qui trasse la conseguenza, errata, che non portasse alcun l'effetto il raddrizzare il corso dei fiumi.

Nel “*Dialoghi sopra i due massimi sistemi del mondo*”, Galileo diede una pertinente revisione dell'aristotelico rifiuto del vuoto. Descrivendo per la prima volta un fenomeno evidente nell'osservazione del funzionamento delle pompe aspiranti; usando le sue parole, ecco la sua sorpresa suscitata dal fatto che una pompa aspirante non potesse sollevare acqua neppure per “. . . una altezza di un capello sopra i diciotto cùbiti [circa otto metri, ndr] . . .”. ; tuttavia poi accettò questa situazione così ragionando:

“ non è questa cosa che è attratta nella pompa una colonna d' acqua attaccata all'estremità superiore e strappata più e più volte sino al punto finale che è raggiunto quando si rompe, come una corda, in acconto del suo eccessivo peso? . . . questa fissata elevazione di 18 cùbiti è vera per ogni quantità di acqua, qualsiasi essere la pompa grande o piccola e anche stretta o larga. Noi possiamo senz'altro dire che sul peso che l'acqua contiene in un tubo di 18 cubiti, non importa quale sia il diametro, noi otterremo il valore della resistenza del vuoto in un cilindro di ogni solido materiale avente una bocca di questo diametro.”

La conclusione di Galileo, quasi nascosta, fu evidentemente che la ‘ripugnanza aristotelica’ della Natura per il vuoto aveva ormai un limite certo e definibile.

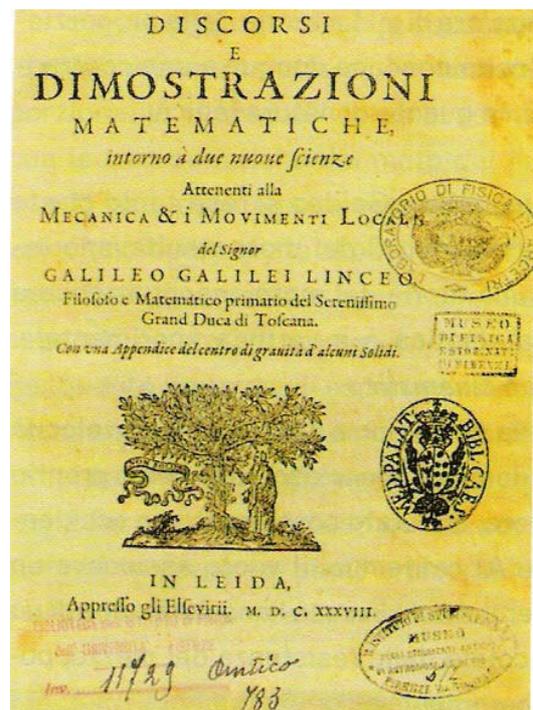
Un grande mérito da riconoscere a Galileo, che va anche al di là di ogni sua scoperta e che raramente è sottolineato in modo adeguato, è quello di avere adattato il linguaggio a seconda dell'obiettivo che egli si prefiggeva. In latino, infatti, sono composti i documenti che Galileo riteneva di assoluto valore scientifico, destinati ad essere comunicati al mondo scientifico ufficiale.

L'italiano venne da Galileo considerato non solo “*bastevole a trattare e spiegar e' concetti di tutte le facultadi*” ma anche valido strumento di diffusione della conoscenza delle nuove conquiste scientifiche e della nuova concezione del mondo.

Galileo poté così rivolgersi ad un pubblico ben più ampio, conducendo una personale ‘battaglia culturale’ a vantaggio di strati della popolazione sino a quel momento sostanzialmente tenuti all'oscuro da ogni progresso del sapere, ponendosi così, forse per la prima volta, il problema dell'accessibilità del pensiero scientifico.

Il periodo compreso tra la giovinezza di Leonardo e la morte di Galileo, circa due sécoli, vide il passaggio definitivo della Meccànica dalla Metafisica alla Fisica e, più in generale, l'affermarsi del método sperimentale.

Poiché i necessari strumenti analitici non erano ancora disponibili tale importante progresso rimase ampiamente di natura empirica; ma il recupero della fiducia nel potere della ragione e la coscienza della necessità delle osservazioni sperimentali furono indubbiamente il salutare viatico per gli sviluppi post-rinascimentali.



L'Idraulica stessa, dipendente dalla Fisica e dalla Meccànica, ma bisognosa della interpretazione della sua 'continuità' attraverso un adeguato e sofisticato linguaggio matematico, segnò giocoforza il passo.

Ciononostante, Leonardo, Copérnico, Benedetti, Stevin, Kepléro, Galileo Galilei, compirono passi di grandissima importanza, non solo per l'Idraulica.

Vedremo, nel prossimo Capitolo, la nascita di un nuovo modo di 'fare scienza', attraverso processi di diffusione e di confronto delle idee, delle informazioni e delle esperienze, che consentirono di superare sistematicamente l'isolamento di cui spesso, sino ad ora, avevano sofferto molti scienziati e, con essi, il progresso dell'umanità.

* * *