

*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. 11 – Il contributo della Fisica nel XVII século:  
pressione, gravità ed energia**

**Cremona 23 ottobre 2006**

## 11. Il contributo della Fisica nel XVII secolo: pressione, gravità ed energia

Le accelerazioni che può subire la ricerca sono spesso improvvisate quanto inattese, come ogni scoperta che ne è, ad ogni evento, il nuovo impulso; a volte un vero 'colpo d'ariete'! Non deve quindi stupire l'abisso esistente tra l'attuale livello di conoscenza della Fisica rispetto al XVII secolo, passato da 'soli' trecento anni.

In quel periodo furono molti i 'colpi d'ariete' dati al progresso di questa disciplina.

A loro volta, come sempre accade tra materie fortemente collegate, le scoperte dei fenomeni fisici, alcuni per tanto tempo soltanto osservati, aprirono anche all'Idraulica nuovi e ben più vasti orizzonti, fornendole gli strumenti per la comprensione di molti aspetti ancora oscuri.

Il presente capitolo si dedica a quel gruppo di scienziati che contribuì al progresso della Fisica, dando le corrette interpretazioni sia a fenomeni idraulici sia a realtà di più ampia portata ma, comunque, strumentali anche allo sviluppo della ricerca sul comportamento dei fluidi.

Nella prima metà del XVII secolo, si giunse alla certezza che l'universo fosse ben altra cosa rispetto alle teorie sostenute da millenni e che la Terra non ne fosse il centro. Da qui discese l'entusiasmante intuizione dell'esistenza di leggi che governavano ogni fenomeno osservato e che potevano essere alla portata della mente umana.

La scoperta, da parte di Evangelista Torricelli, della pressione atmosferica, dimostrò come fosse possibile, anche con strumenti semplici, indagare fenomeni di grandissima portata, come misurare il peso " . . . di una massa di aria alta cinque miglia . . . ", come scrisse lo scienziato romano all'amico Ricci nel 1644.

Copernico, Galileo e Keplero dimostrarono che gli astri si muovevano secondo leggi certe e stabili, che possono essere individuate, interpretate e verificate.

Era ormai chiara l'esistenza di un insieme di regole, scritte da 'qualcuno', Dio per molti, che si offrivano alla mente umana per essere scoperte, sia nelle infinite grandezza e lontananza del cosmo che nel piccolissimo ambito del visibile (come allora era definita la massima capacità di ingrandimento dei primi microscopi).

Non solo; anche gli strumenti utili alla ricerca si stavano perfezionando, grazie ai progressi dell'Ottica e ad una Meccanica di precisione in grado di produrre qualsiasi oggetto o dispositivo meccanico fosse necessario: telescopi, microscopi, bilance d'ogni tipo ed uso, eliche, misuratori di distanze, pendoli, . . . misuratori del tempo: orologi e cronometri, la cui precisione divenne fondamentale negli esperimenti scientifici.

Nel Settecento, un potente strumento teorico che diede il più forte impulso a tutte le scienze, non soltanto all'Idraulica, giunse dalla Matematica: il calcolo differenziale o infinitesimale, oppure, come allora chiamato, il 'Calcolo Sublime'. Tanto rivoluzionaria fu la sua scoperta che qui ne accenneremo soltanto, dedicandogli l'intero prossimo Capitolo.

Per quanto possa essere più rilevante per questa Storia dell'Idraulica, possiamo dire che il XVII secolo si caratterizzò nell'aver consegnato al mondo la corretta interpretazione di tre fondamentali fenomeni fisici: pressione, gravità ed energia.

Vedremo, qui, le tappe conclusive del processo che portò alla loro 'conquista'.

Ancora una volta è doveroso ricordare Marin Mersenne, il cui grande contributo è stato già citato nel Capitolo 8. Mersenne non si limitò a mettere in collegamento gli studiosi del suo tempo, ma fu anch'egli scienziato di valore: contribuì alla teoria dei numeri e si applicò anche a

diversi problemi di Idraulica, conducendo numerosi esperimenti di Idrostatica, di efflusso e di resistenza dei fluidi. Egli fu quindi autorevolmente interessato ai progressi della scuola galileiana nel campo dei fluidi ed in particolare alle scoperte di Torricelli, che visitò in un suo viaggio in Italia, tornando in Francia con un ponderoso bagaglio di novità di estremo interesse.

Mentre, a Pisa, la scuola di Galileo sfioriva, còmplice a prematura morte del Torricelli, i suoi migliori ési andarono ad accendere nuove luci in terra di Francia, grazie all'infaticabile padre Mersénne, la cui assidua attività di divulgazione e scambio di conoscenze divenne il principale contributo per i progressi compiuti da almeno due suoi contemporanei e conterranei: Descartes e Pascal.

Il più famoso degli scienziati vicini a Mersénne fu certamente René Descartes (La Haye - Tours 1596 – Stoccolma 1650). Studiò con Mersénne al convento gesuita di La Flèche, e poi - dopo aver combattuto nella guerra dei Trent'anni – ebbe l'ispirazione di fondare una filosofia in tutto rinnovata. Nel 1629 si rifugiò in Olanda, per sfuggire all'Inquisizione, e da lì intrecciò una fittissima corrispondenza con gli studiosi di tutta Europa, grazie alla mediazione di Mersénne.

Recatosi in Svezia dalla regina Cristina per insegnare filosofia, vi morì, nel 1650, per un attacco di polmonite. La sua salute era sempre stata fragile; passò molto tempo infermo, dedicandosi allo studio ed alla meditazione.

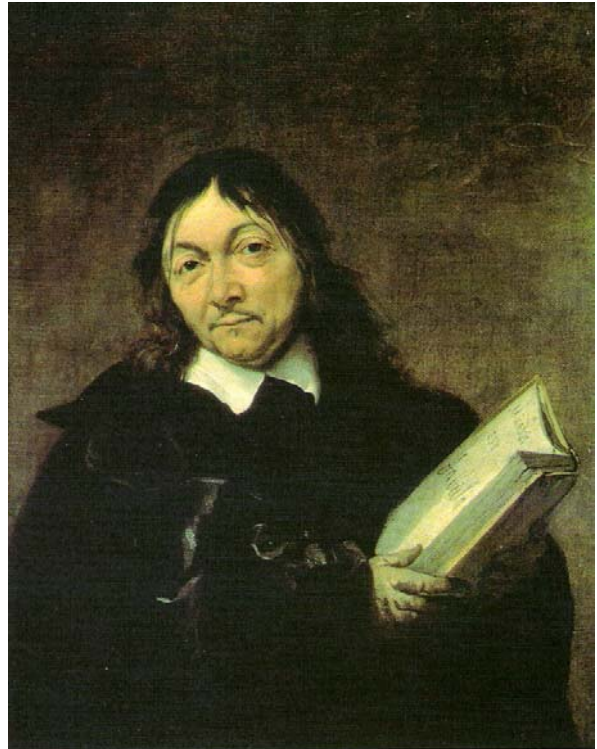
I contributi di Descartes furono moltéplici in numerose materie; ottenne il massimo ed universale riconoscimento in vita dalla teoria vorticoso dell'universo nella quale, riprendendo le ipòtesi di Copérnico, immaginò che tutto lo spazio fosse sempre occupato da una qualche forma di materia in continuo movimento secondo immensi e violenti vòrtici: la materia è ovunque e non può esservi spazio senza materia, quindi il vuoto non può esistere perché coincide con il nulla che, per definizione, è ciò che non esiste. In questo Descartes si trovava in sintonia con quella Scolastica della quale propugnava l'opposizione.

Soltanto dopo la sua morte emérse chiaramente il grande valore degli altri contributi delle sue scoperte: principale tra questi fu l'introduzione della moderna notazione algebrica e la fondazione della Geometria analitica.

René Descartes sostenne che ogni aspetto della realtà abbia dimensioni esprimibili con unità di misura universalmente vâlide; non solo la lunghezza, la profondità, e l'altezza, ma anche il movimento ed il tempo sono misurabili. Tutto è misurabile e quindi esprimibile attraverso leggi che determinano le dimensioni stesse di ogni fenòmeno.

A Descartes è attribuito l'onore dell'invenzione del sistema di riferimento detto, appunto, 'Coordinate Cartesiane' o 'Assi Cartesiani'. Vedremo, nel prossimo Capitolo, che la prima proposta del francese non è quella ovunque oggi utilizzata, elaboràta successivamente da De Fermat, partendo, comunque, dall'idea originaria di Descartes.

Se tutto è misurabile, allora tutto è esprimibile attraverso relazioni matematiche. Questa ipòtesi non potè, ovviamente, essere dimostrata, ma rivela l'inclinazione di Descartes – che fu



anche e soprattutto un grande filosofo – ad affrontare la conoscenza in tutta la sua vastità e non limitandosi a questioni isolate.

Così scrisse a Marin Mersenne:

*“ Al posto di spiegare un solo fenomeno, io sono deciso a spiegare tutti i fenomeni della natura. ”.*

A Descartes è attribuito anche il merito di aver per primo capito il ‘Principio d’inerzia’ ed il principio della ‘Conservazione del momento del moto di un sistema’, cioè la conservazione complessiva del moto di un sistema, formato da più oggetti in movimento, rispetto ad un unico punto di riferimento.

Sebbene vero sia che, nel 1629, egli scrisse a Mersenne quanto segue:

*“Io assumo che il movimento una volta impresso su un dato corpo è mantenuto permanente, se non è contrastato da altre cause; cioè, qualunque cosa ha cominciato a muoversi, . . . continuerà a muoversi all’infinito alla stessa velocità.”*

. . . per rendere compatibile questo corretto concetto, della conservazione del moto con la propria teoria dei vortici che, secondo la sua convinzione, permettono il moto degli astri, Descartes affermò che il momento dell’universo fosse invece fisso ed invariabile, sin dal tempo della creazione, per volontà di Dio. Prova ne è, per esempio, il seguente passaggio nella sua opera “Principia Philosophiae” del 1647:

*“Come causa prima di tutto mi sembra evidente che non vi possa essere altro che Dio, che attraverso la sua onnipotenza creò la materia con il moto e la quiete nelle sue parti, che poi conserva nell’universo, attraverso la Sua azione costante, tanto moto e quiete così come li pose nella prima creazione. Questo è tanto vero che il moto è solo un’espressione della materia che è mossa, cioè, per tutto ciò, una quantità che mai cresce né diminuisce, benchè ve ne sia a volte in misura maggiore o minore nelle diverse parti dello spazio; è per questa ragione che quando una parte di materia si muove due volte più rapidamente di un’altra e questa altra parte è grande due volte rispetto alla prima, noi abbiamo ragione di credere che vi sia più moto nel corpo piccolo che in quello più grande, e in ogni istante se un moto in qualche parte diminuisce in qualche altra parte un altro aumenta in proporzione.”*

Per Descartes, quindi, il *momento* di un corpo, o di un insieme di corpi, in movimento era esprimibile attraverso un valore dato dal prodotto della massa complessiva per la velocità; grandezza che si conservava fino a quando non fosse contrastata “*da altre cause*”.

Il prodotto ‘*massa x velocità*’ (cioè:  $m \cdot v$ ) divenne così, sino a Leibniz, quindi comprendendo anche Newton, l’espressione del cosiddetto ‘*Momento del moto di un sistema*’, con il significato di rappresentare la caratteristica dinamica del movimento. Fu lo scienziato tedesco, come vedremo, che approdò per primo alla nozione di energia di un sistema in movimento e della conseguente capacità di trasformare questa energia in lavoro, quantificandone il valore nella più corretta forma ‘*massa x velocità alla seconda potenza*’, cioè:

$$m \cdot v^2$$

. . . poi, in séguito, resa nella forma attuale:

$$E = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

. . . che oggi chiamiamo *Energia Cinética*, caratteristica di ogni moto; energia che si conserva sino a quando non intervengano forze esterne.

Descartes non poté proporre tali vaste ipotesi, che coinvolgevano Dio, l'universo e la scienza, senza incappare nelle critiche del clero. La sua costante sensibilità verso le opinioni della chiesa si mostrò nella propria difesa della pubblicazione del suo maggior lavoro, "*Trattato sul mondo*", avendo avuto notizia della forzata ritrattazione di Galileo.

Fu Marin Mersénne che incoraggiò Descartes e lo difese molto energicamente contro i suoi critici. Fu ancora l'inesauribile Abate francescano che per primo portò in Francia la notizia degli esperimenti italiani con il barometro, dei quali apprese direttamente da Evangelista Torricelli, a Firenze, dove si recò nel 1644 proprio per incontrarlo, dopo aver letto la lettera che lo scienziato romano aveva scritto, nello stesso anno, all'amico Ricci.

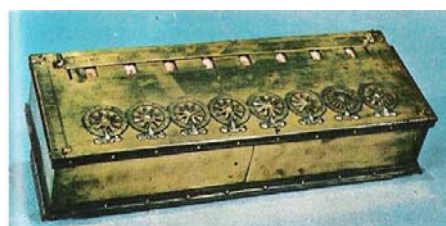
Ancora Mersénne si schierò con decisione a sostegno delle scoperte di Torricelli, contestate da Gilles P. Roberval (Île-de-France 1602 – Parigi 1675) - secondo il quale la risalita del mercurio, nell'esperimento ideato dallo scienziato italiano, non era da attribuirsi alla pressione atmosferica sul bacino sottostante bensì alla mutua attrazione di tutti i corpi.

Per giungere alla misura della densità dell'aria, a maggior conferma della scoperta di Torricelli, René Descartes suggerì a Marin Mersénne l'idea di condurre le misure barometriche a diverse altitudini, intuendo che, se la pressione fosse stata veramente espressione del peso della colonna d'aria sovrastante, a quote sensibilmente differenti – come avviene alla base ed alla cima di un monte – tale differenza sarebbe stata evidenziata dallo strumento di Torricelli. Questa verifica, tuttavia, non fu portata a compimento con successo né da Mersénne né da Descartes, bensì da un loro contemporaneo: Pascal.

Blaise Pascal (Clermont Ferrand 1632 – Parigi 1662) ricevette la sua prima educazione da suo padre Étienne, Consigliere di Stato e matematico di valore (studiò la concoida della circonferenza che oggi è chiamata '*Lumàca di Pascal*' o meglio: '*Lumàca di Etienne Pascal*'!).

Dopo la scomparsa del padre e della madre, fu allevato da due sorelle, cresciute nella stretta influenza religiosa dei Giansenisti. Pascal stesso alla fine divenne un convertito e l'ultima parte della sua breve vita fu caratterizzata da un ascetismo estremo; fu devoto così intensamente alla religione come nei suoi primi anni lo fu alla Scienza.

Prevalente, tra i suoi contributi matematici, fu l'inizio dello studio della possibilità di giungere al calcolo infinitesimale.



Come Mersénne, Pascal operò scoperte che aiutarono lo sviluppo della

teoria dei numeri; inoltre inventò la prima macchina calcolatrice, che chiamò "*Pascaline*": un calcolatore aritmetico, a funzionamento meccanico, del quale costruì cinque modelli, che brevettò, ottenendo l'esclusiva della costruzione di qualunque macchina di calcolo.



Il più diretto contributo in Idraulica che dobbiamo a Pascal fu il perfezionamento della teoria dell'Idrostatica, aiutato dalle informazioni che Mersenne portò in Francia sugli esperimenti di Torricelli sulla pressione atmosferica.

Nel lavoro intitolato *'Nouvellese expériences touchant le vide fait dans les tuyaux avec diverses liqueurs'*, che Pascal diffuse attraverso l'Europa nel 1647, egli descrisse numerosi esperimenti condotti con sifoni, siringhe, maticci, e tubazioni di diversi tipo, lunghezza e forma, riempiendoli con diversi liquidi come: mercurio, acqua, vino, olio, aria ed altri ancora.

Fu notevole il miglioramento rispetto agli esperimenti precedenti di Torricelli, dai quali lo scienziato francese era partito. Torricelli, ad esempio, aveva affermato, in una seconda lettera a Ricci, che una diminuzione della pressione esterna avrebbe dovuto ridurre l'altezza della colonna di mercurio nel tubo del suo primo barometro; altezza che poteva annullarsi se sul pelo libero del mercurio nel catino si fosse eliminata la pressione atmosferica, cioè si fosse prodotto il vuoto.

Utilizzando due colonne barometriche, una inserita nell'altra, Pascal dimostrò sperimentalmente questa affermazione; inoltre così ragionò: se il peso dell'atmosfera, che preme sul mercurio nel catino, è veramente la causa della risalita del mercurio nel tubo, allora l'altezza della colonna di mercurio dovrebbe mutare se varia l'aria sopra di essa.

In una lettera del 1647 Pascal quindi pregò il suo cognato, Pèrier, di condurre un esperimento simile a quello che Descartes suggerì a Mersenne: eseguire misure barometriche a differenti altitudini terrestri:

*"Per compiere l'esperimento del vuoto numerose volte al giorno, con lo stesso tubo e con lo stesso mercurio, qualche volta alla base e qualche volta alla sommità di una montagna alta almeno cinque o seicento braccia, allo scopo di accertare se l'altezza del mercurio raggiungerà un valore uguale o differente nelle due situazioni. Avviene che l'altezza del mercurio è minore in cima alla montagna e maggiore alla sua base; ne consegue la necessità che il peso e la pressione dell'aria sono la sola causa dell'altezza del mercurio e non l'inesistenza del vuoto; è evidente così che c'è più pressione d'aria alla base della montagna che alla sua sommità e nessuno può dire che la natura rifiuti maggiormente il vuoto ai piedi del monte che non alla sua cima. . . . Sono molto più incline ad attribuire tutti questi effetti al peso ed alla pressione dell'aria perché li considero soltanto casi particolari dell'universale principio dell'equilibrio dei fluidi, che è l'argomento principale del trattato che ho promesso."*

Questi esperimenti furono condotti scrupolosamente da Pèrier sul monte Puy de Dome, una montagna, alta 1220 metri sul mare, vicina alla città di Clermont Ferrand. Le aspettative di Pascal furono pienamente confermate.

Il trattato promesso, del quale scrive Pascal, contiene il completamento della sua teoria sull'Idrostatica e fu pubblicato soltanto nel 1663, un anno dopo la sua morte, sotto il titolo *"Trattato sull'equilibrio dei liquidi."* In esso Pascal espose le analisi di Simon Stevin del paradosso idrostatico (citato nel Capitolo 7), che egli afferma di aver dimostrato sperimentalmente, concludendo:

*"Tutti questi esempi mostrano che un sottile filo d'acqua può bilanciare un grande peso. Resta da dimostrare questa tale moltiplicazione della forza."*

Questo effetto venne dimostrato dallo scienziato francese attraverso l'esperimento noto come *'La botte di Pascal'*: una botte di legno, piena d'acqua, con innestato un piccolo tubo che si eleva su di essa per una notevole altezza. Facendo salire, in questo piccolo tubo, il livello dell'acqua, ad un certo punto la botte 'esplode', sotto la pressione che si esercita sulle sue pareti, nonostante il peso dell'acqua versata nel tubo sia assai modesto.



La dimostrazione del fenomeno fu motivo, per Blaise Pascal, di dedurre il principio della pressa idraulica, che egli chiamò “*La macchina per moltiplicare le forze*”:

*“E’ rimarchevole che questa nuova macchina mostri la stessa costante relazione che è caratteristica di tutte le macchine vecchie, come la leva, la ruota, l’asse, la vite senza fine ed altre, dove la forza cresce in proporzione alla distanza. Perché è ovvio che se da una di queste aperture, cento volte larga rispetto alle altre, un uomo pressa un piccolo pistone per una distanza di un pollice potrebbe muovere l’altro pistone per una distanza di un centesimo. E’ la continuità dell’acqua tra i pistoni che rende impossibile muovere l’uno senza muovere l’altro. E’ chiaro che se il pistone piccolo si muove di un pollice l’acqua si muove a pressare l’altro pistone e siccome l’apertura di questo è cento volte più grande esso si muoverà soltanto un centesimo di altezza. Così le distanze sono moltiplicate nello stesso modo delle forze. . . . Per meglio capire si può aggiungere che l’acqua è ugualmente compressa all’interno dei due pistoni; mentre uno di essi è cento volte più pesante dell’altro, ovvero è in contatto con una superficie cento volte più grande. Conseguentemente la pressione sui due è la stessa ed essi restano immobili; non c’è infatti alcuna ragione che uno prevalga sull’altro . . . .”*

Con questi commenti, Pascal, giunse ad un’altra prova “*. . . che rivolgerò solo ai geometri e che potrà essere ignorata dagli altri . . .*”, implicitamente derivata dal principio di Torricelli: “*un corpo mai muove il proprio peso se il suo centro di gravità non discende*”.

Pascal così mostrò che il comune centro di gravità dei due pistoni deve rimanere allo stesso livello relativamente alla loro reciproca posizione, e così essi restano in equilibrio. Il suo approccio ricorda i tentativi di Leonardo da Vinci, di Benedetto Castelli ed anche dello stesso Marin Mersénne, per provare lo stesso principio.

Fu però Pascal che alla fine ebbe successo, ed in questo stabilì l’assioma finale dell’Idrostatica: “*In un fluido in quiete la pressione è trasmessa equamente in tutte le direzioni*”.

Nòto come il ‘*Principio di Pascal*’, fu probabilmente la sua più grande scoperta (sebbene non fu subito accettata dai suoi contemporanei), che portò a compimento il lavoro, di Archimede, di Stevin e di Torricelli, nell’elaborare la statica dei liquidi e dei gas, determinando inoltre un collegamento essenziale tra la Dinamica dei corpi rigidi e la Dinamica dei fluidi.

Un terzo studioso che, nel XVII secolo, trasse gran profitto dalla diffusione della conoscenza e delle scoperte, ad opera di Mersénne, fu il tedesco Christiaan Huygens (L’Aia 1629 – 1695). Figlio del poeta e diplomatico olandese Costantijn, ricevette un’eccellente educazione in Matematica ed in Medicina a Leyden, da un allievo di Descartes che lo avvicinò, ancora in giovane età, agli scritti del filosofo e scienziato francese, con il quale ebbe anche contatti diretti.

Per tutta la vita Huygens subì l’influenza del pensiero di Descartes, mai liberandosi completamente della teoria semimetafisica dei moti vorticosi che muovono l’universo.

Nel periodo in cui molti scienziati francesi si stabilivano in Olanda per sfuggire alla persecuzione religiosa, condotta dal re Luigi XIV contro i protestanti



francesi (gli Ugonotti), che annoveravano numerose personalità culturali e scientifiche di prim'ordine, Huygens, nonostante fosse egli stesso protestante, trascorse gran parte della sua vita in Francia, dove si stabilì nel 1666, giocando un ruolo dominante nella nuova cattedra della *Accadémie Royale des Sciences*, della quale fu il primo Direttore, per poi abbandonarla, come abbiamo già visto nel Capitolo 8, a causa delle continue ingerenze dell'onnipotente re Sole.

Huygens, nei suoi studi sulla caduta dei corpi, concluse – come fece il suo amico Mariotte circa nello stesso periodo – che la resistenza dell'aria aumenta con il quadrato della velocità e non con una proporzionalità diretta (esponente pari a due e non pari ad uno).

Contribuì in modo rilevante al progresso in ottica; sviluppò una tecnologia per molare le lenti, costruendo un nuovo modello di oculare che aumentò la potenza del cannocchiale. Con questo, nel 1655, individuò gli anelli di Saturno ed il suo satellite Titan ed inoltre scoprì la nebulosa di Orione.

I suoi sviluppi matematici, considerati minori, furono molti e vari.

Nel campo della Meccanica, enunciò il *Principio della Forza Centrifuga* e la legge del moto oscillatorio, che usò non solo per un preciso segnale di regolazione degli orologi astronomici ma anche per determinare la forza di gravità nelle diverse parti della Terra. Due dei tredici teoremi sulla forza centrifuga, contenuti nel suo "*Horologium Oscillatorium*" (1673), sono esempi tipici delle sue formulazioni:

*“Se un corpo che si muove viaggia su una circonferenza con una velocità pari a quella che acquisirebbe cadendo da una altezza uguale ad un quarto del diametro, egli subisce una forza centrifuga pari al proprio peso; così esso tende la corda che lo trattiene come se fosse ad essa sospeso.*

*Se un pendolo che oscilla intorno ad un cono descrive straordinari piccoli circuiti; il tempo per descrivere uno di questi ha lo stesso valore del tempo di caduta da una altezza pari a due volte la lunghezza del pendolo come la circonferenza di un cerchio che ha lo stesso diametro; ed inoltre sarà uguale al tempo di due oscillazioni laterali dello stesso pendolo se esse saranno molto piccole.”*

Ad Huygens, a volte, è anche attribuito il *Principio di conservazione della forza viva* (oggi detto dell'Energia Cinética), tuttavia limitato alla proposizione (non molto differente da una precedente di Torricelli):

*“Un corpo o un sistema di corpi non può raggiungere un livello superiore a quello dal quale è partito, muovendosi sotto l'azione della sola gravità.”*

Sebbene in nessuna parte delle sue analisi si possa trovare una esplicita formulazione, i calcoli di Christiaan Huygens dimostrano che seppe percepire l'interrelazione tra il peso e la massa, oggi nota come *fattore g*: ogni corpo, dotato di massa, ha un peso pari al valore della massa stessa moltiplicato per il valore dell'accelerazione di gravità, indicata con la lettera *g*.

Huygens non si spinse più in là di questa intuizione, influenzato dalle teorie di Descartes, alle quali fu avvicinato negli studi giovanili, tant'è che non fu neppure in grado di accettare pienamente il concetto della gravitazione universale, già proposto da Hooke ed applicato da Newton.

La collaborazione con Robert Hooke portò all'invenzione del bilanciere a molla, già ricordato nel Capitolo 9, che consentì un importantissimo progresso della tecnica orologiaia e, quindi, nella misura del tempo.



John Wallis (Ashford 1616 – Oxford 1703), stretto amico di Huygens, iniziò alla carriera ecclesiastica nel 1640, fece parte di quella schiera di scienziati inglesi che ispirarono un nuovo corso del movimento scientifico, che culminò con la fondazione della *Royal Society*.

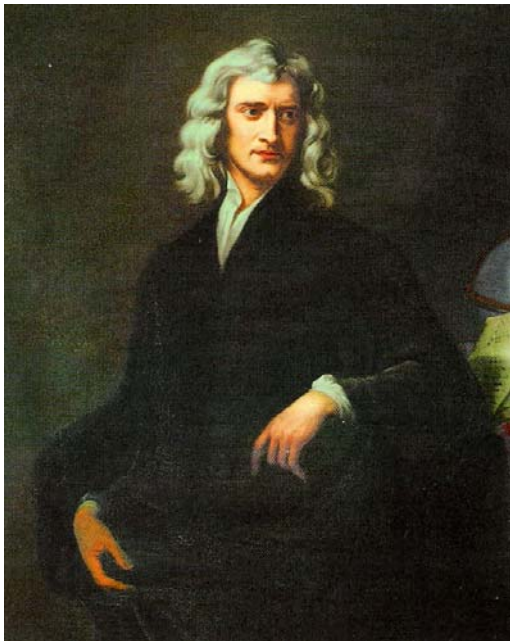
Dotato di grandi capacità matematiche, Wallis diede un sostanziale sviluppo alla ricerca nel campo dello sviluppo del calcolo differenziale, partendo dalle scoperte di Bonaventura Cavalieri (Milano 1598 – Bologna 1647), matematico gesuita, allievo ed amico di Benedetto Castelli e di Galileo Galilei, considerato il precursore di questo nuovo metodo di calcolo.

Wallis, inoltre, definì il più approssimato valore di  $\pi$ , impostò la teoria delle equazioni e per primo rappresentò graficamente i numeri immaginari.

Ma, in quel tempo, il primato in molte scienze, prima di tutto in Matematica ed in Fisica non può non essere riconosciuto a Isaac Newton.



Isaac Newton (Woolsthorpe 1642 – Kensington Londra 1728) fu il primo scienziato inglese a mettere in ombra i suoi contemporanei continentali. Nato a Woolsthorpe, nel Lincolnshire, studiò al Trinity College a Cambridge. Tra i trattati che giocarono una parte importante nella sua educazione vi fu quello di John Wallis "*Arithmetica Infinitorum*" e diversi scritti di Descartes.



È certo che nell'animo di Newton risuonasse la teoria metafisica dell'universo, proclamata da Descartes, avvertendone, in modo sempre più evidente, l'assoluta estraneità alla propria sensibilità matematica e poi alla realtà della Fisica.

Possiamo comunque affermare che sia Wallis che Descartes, sebbene in modo differente, influenzarono il cammino scientifico di Newton.

Orfano di madre e di padre, così affidato ai nonni, per interesse di uno zio fu ammesso, con mansioni di inserviente, al Trinity College di Cambridge nel 1661. Conciliando il lavoro e lo studio, ottenne il titolo accademico di Bachelor.

Tra il 1665 ed il 1667 si ritirò a Woolsthorpe per sfuggire ad una tremenda epidemia di peste. Questo periodo di forzato isolamento fu il più creativo della sua vita.

Il suo maggior risultato fu l'enunciazione della '*Legge della Gravitazione Universale*', per questo oggi detta anche '*Legge di Newton*'. La sua prima intuizione, semplice nella forma ma stravolgente nella sostanza, portava alla conclusione che la forza responsabile della caduta degli oggetti era la medesima che governava il moto dei pianeti, già prevista da Giovanni Keplero, quale energia attrattiva che si riduce con la distanza dal sole (è in questo tempo della sua vita che si racconta dell'episodio della mela che gli cadde in testa, facendogli nascere la fulminea intuizione).

Newton seppe calcolare tale forza; la piccola differenza che trovò, tra i proprî cálcoli e le osservazioni del moto dei pianéti, lo rese a tal punto insoddisfatto da portarlo ad attendere molti anni prima di dare alle stampe il suo studio. La mancanza della certezza assoluta frenava Newton nel rendere pubblici i proprî risultati; questo aspetto del suo carattere giuocò un ruolo importante nella disputa con Leibniz sull'attribuzione dell'invenzione del cálculo differenziale.

Fu proprio durante la permanenza a Woolsthorpe che Isaac Newton portò a compimento il lavoro di Cavalieri e di Wallis, dando veste defintiva alla propria scoperta del cálculo differenziale, che chiamò 'Metodo delle flussioni'; ma gli elementi di questo método, concepiti nel 1666 e discussi in numerose lettere ai suoi contemporanei dal 1669, furono finalmente dati alle stampe soltanto nel 1686 nell'òpera "*Philosophiae naturalis principia mathematica*".

In quell'anno Newton fu in qualche modo costretto alla pubblicazione del lavoro, anche se il suo perfezionismo lo avrebbe forse costretto ad attendere ancóra: due anni prima, sulla rivista *Acta Eruditorum*, Gottfried Wilhelm Leibniz (Lipsia 1646 – Hannover 1716) aveva dato alle stampe il proprio trattato di cálculo differenziale "*Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quae nec fractas nec irrationales quantitates moratur, et singulare pro illis calculi genus*", che stava avendo un crescente successo; l'inglese non poteva più aspettare!

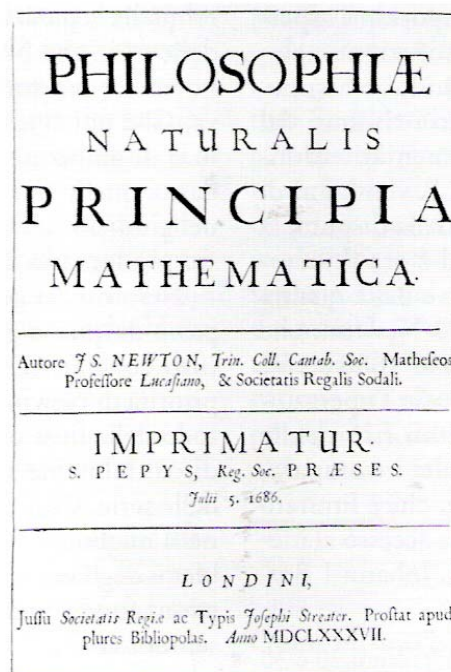
Sebbene i due métodos fossero simili ma comunque differenti, nessuno poté impedire che nascesse una lunghissima disputa sulla primazia della scoperta, che vide opposti, per molti decenni, i tedeschi, assieme ai 'continentali' e, sull'altra sponda (è proprio il caso di usare questo término!), gli scienziati inglesi.

Questo nuovo strumento matemático, la cui evoluzione vedremo con maggior dettaglio nel prossimo Capitolo, procedendo per intervalli infinitamente piccoli, consentiva, come tutt'oggi consente, di trattare con espressioni matemátiche qualunque tipo di curva che, a sua volta, può rappresentare la quasi totalità dei fenòmeni fisici, nonché la loro variazione, nel tempo e nello spazio, ed anche i relativi valori istantanéi, nel tempo e nello spazio: le òrbite dei pianéti, la traiettoria dei proiettili, le linee di flusso di un fluido in movimento, la velocità, l'accelerazione; in un término, unico e generale: 'il continuo'.

Isaac Newton, nel 1669, divenne professore lucasiano di Matemática a Cambridge, al posto del defunto suo insegnate ed amico Isaac Barrow, e nel 1672 fu eletto *Fellow* alla *Royal Society*, dove annunciò la teoria corpuscolare della luce nel 1675.

Tra gli associati della *Royal Society* a lui più vicini vi furono Edmund Halley, Robert Hooke (già incontrati nel Capitolo 9), e Chrisopher Wren (East Knoyle 1632 – Hampton Court 1723), notissimo matemático ed architetto (progettò la ricostruzione di 52 chiese di Londra dopo l'incendio del 1666), che lo spinse a scrivere le sue prime conclusioni sul moto planetario.

I risultati, nell'òpera "*Pincipia Mathematica Philosophiae Naturalis*", furono pubblicati nel 1686 a cura di Halley, che ne pagò personalmente le spese di stampa. Questo trattato, in origine intitolato '*De motu corporum*', contiene tutti i maggior contributi di Newton alla Meccànica, alla Matemática ed all'Astronomia e gli valse il riconoscimento quale scienziato più importante del suo tempo.



Nei tre libri che compongono il *'Pincipia Mathematica Philosophiae Naturalis'* vi è una lunga premessa che enuncia la definizione delle principali grandezze della Fisica (come, ad esempio: massa, quantità di moto, forza . . .) ed i concetti di spazio e di tempo assoluti, fondamentali per la definizione del moto, individuato dai tre Pincipi della Dinàmica, dai quali Newton dedusse la *'Legge della Gravitazione Universale'*:

*"Tutti i corpi si attraggono con una forza che è proporzionale alla loro massa ed inversamente proporzionale al quadrato della reciproca distanza."*

Con essa si potevano finalmente spiegare le leggi di Keplero, il moto dei pianeti, la precessione degli equinozi, le irregolarità del moto della Luna (già note da secoli), le maree, ecc. .

L'òpera *'Pincipia Mathematica Philosophiae Naturalis'* fu l'apogeo ma anche il suggello del termine del lavoro scientifico di Isaac Newton.

Nel 1689 fu eletto Deputato in Parlamento, quale rappresentante dell'Università; nel 1692 ebbe un forte esaurimento nervoso che lo costrinse a una vita solitaria per due anni. Nel 1695 si dimise dalla cattedra di Cambridge e si trasferì a Londra, come Ispettore e poi Governatore della Zecca, impegnandosi in una difficile riforma monetaria.

Nel 1700 fu eletto alla *Académie des Sciences* di Parigi.

La *Royal Society* lo scelse come Presidente nel 1703, un incarico che conservò sino alla fine della sua vita terrena; la Regina Anna lo nominò Cavaliere nel 1705.

Nel 1704 pubblicò l'ultima sua grande òpera *'Optics: or a Treatise on the Reflection, Refraction, Iflexions of Colours of Light'* nel quale dimostrò la composizione della luce nei sette colori fondamentali dell'arcobaleno ed espose la teoria corpuscolare del raggio luminoso.

I suoi ultimi anni furono dedicati alla misura del tempo ed alla teologia.

Come scienziato Newton provò avversione per le controversie, ma non fece concessioni false davanti alle critiche; di sé diceva:

*"Se ho visto più lontano è perché sono stato sulle spalle dei giganti."*

Mentre Descartes – ed Huygens in minor grado – avevano esaminato la Scienza dal punto di vista filosofico, l'approccio di Newton fu originalmente matematico; riteneva sufficiente esprimere la legge senza cercarne, ad ogni costo la causa:

*"Fin qui abbiamo spiegato i fenomeni dei cieli e del nostro mare attraverso la potenza della gravità . . . Ma fin qui non sono stato in grado di scoprire la causa di queste proprietà della gravità da questi fenomeni, e non ho composto alcuna ipotesi; perché qualunque cosa che non è dedotta dai fenomeni è chiamata ipotesi; e le ipotesi, sia metafisiche che fisiche, sia dalle proprietà nascoste o meccaniche, non hanno posto nella filosofia sperimentale. In questa filosofia proposizioni particolari sono dedotte dai fenomeni., oppure rese generali dalle osservazioni. . . ."*

Suo il motto: *"Hypotheses non fingo."*

Il maggior contributo di Newton in Meccànica è la scoperta delle tre leggi del moto, la prima delle quali fu esplicitamente espressa da Descartes; lo stesso Newton notò che tutte e tre erano già state usate da Wallis, da Huygens e da Wren, nella loro formulazione delle leggi dell'impatto.

Il suo contributo sostanziale è posto nella definizione di massa, di momento, di inerzia e di forza, nella combinazione di queste con il teorema di Huygens della forza centrifuga e con la

legge di Hooke ed Halley dell'attrazione gravitazionale inversamente proporzionale al quadrato della distanza; da qui egli giunse alla generale analisi di tutto il moto nel sistema solare.

Nel corso delle sue analisi Newton individuò un modo per misurare direttamente l'attrazione della massa, ma non ebbe a disposizione la tecnologia necessaria per dimostrarla; nonostante ciò, seppe definire l'accelerazione di gravità media della Terra, della Luna e del Sole.

La ricerca approfondita che Newton condusse sull'argomento della resistenza dei fluidi raggiunse la mèta – ed è corretto citarla – di confutare le ipotesi scolastiche e cartesiane che tutto lo spazio fosse pieno di materia, rendendo incompatibile il suo modello dell'universo.

La parte sperimentale della ricerca si sviluppò nell'analisi del graduale smorzamento del moto del péndolo. Newton utilizzò diversi materiali della massa oscillante e differenti fluidi nei quali essa si muoveva: aria, acqua e mercurio. Condusse anche osservazioni sulla libera caduta di sfere, di differente densità, attraverso l'aria e l'acqua; inoltre rivolse l'attenzione al moto dell'efflusso di acqua da un foro posto nella base di un contenitore.

I numerosi risultati furono, per quel periodo, straordinari ma per Newton assunsero l'importanza relativa al solo fine di elaborare la teoria generale della legge di gravità.

Da tali risultati, lo scienziato inglese seppe comunque giungere alla conclusione che la resistenza al moto che si manifesta tra un liquido ed un solido, tra loro in movimento relativo, dipende da una di queste quattro distinte cause, anche concomitanti: coesione del fluido, elasticità, capacità di lubrificazione ed inerzia, giudicando le prime due di scarsa importanza.

Della 'capacità di lubrificazione' ipotizzò che:

*“La resistenza manifestantesi dalla necessità di lubrificazione nelle parti di un fluido, è, mantenendo uguali le altre cause, proporzionale alla velocità con la quale le parti del fluido sono tra loro separate.”*

Ecco per la prima volta evidenziato il principio della viscosità di un fluido: in un fluido viscoso lo sforzo che tende ad opporsi al movimento è proporzionale alla velocità relativa fra zone adiacenti della massa fluida.

Newton poi procedette nel mostrare che un cilindro di lunghezza infinita, immerso in un fluido, ruotando attorno al proprio asse a velocità angolare costante, produce nel fluido che lo circonda una velocità che varia in modo inverso alla distanza radiale da esso; cioè: il fluido si mette in movimento rotatorio con una velocità angolare che in prossimità della parete del tubo assume lo stesso valore di rotazione della parete stessa e si riduce man mano che ci si allontana da essa; la teoria 'dei vortici' di Descartes appariva così incompatibile con questa esperienza.

Sulla quarta causa, l'inerzia, Newton correttamente considerò che:

*“Supponendo le stesse cose, io dico che la maggior parte dei sistemi sono caratterizzati da fenomeni di resistenza in ragione del quadrato della loro velocità e nella semplice proporzionalità con la densità del sistema.”*

Altrettanto correttamente enunciò il *Principio di reciprocità*, che forma la base della moderna ricerca nelle 'gallerie del vento' e nei modelli delle correnti fluide:

*“Poiché l'azione del mezzo è la stessa su ogni corpo . . . se un corpo si muove in un mezzo in quiete oppure se le particelle del mezzo si spostano con la stessa velocità attorno ad un*

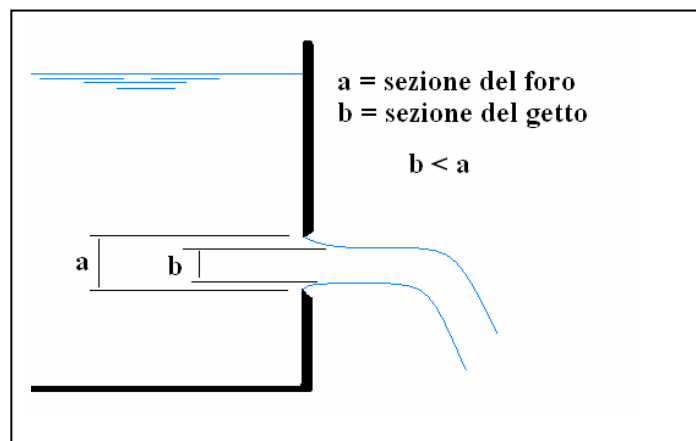
*corpo in quiete possiamo considerare il corpo come se fosse in quiete ed osservare con quale forza esso sia soggetto dal movimento del mezzo.*"

Egli assunse questa forza come uguale alla quantità di variazione del momento che viene prodotto quando un fluido viene deviato dalla sua direzione di moto a causa della sagoma di un corpo; in questo, a causa della approssimazione della sua analisi e perché i suoi esperimenti erano limitati alle sfere, egli concluse che nei fluidi in pressione ed anelastici la forza dipendeva soltanto dal massimo dell'area della sezione trasversale dell'ostacolo, ignorando, quindi, la forma del corpo:

*"Se un cilindro, una sfera ed uno sferoide di uguale larghezza vengono posti in successione in mezzo ad un canale cilindrico, cossicchè i loro assi coincidano con l'asse del canale, questi corpi ostacoleranno il passaggio dell'acqua nel canale secondo la stessa misura."*

Per giustificare queste errate conclusioni, Newton si rivolse al problema dell'efflusso da un orifizio alla base di un recipiente. Egli immaginò il liquido contenuto nel recipiente come diviso in due zone: una centrale, che chiamò 'cataratta', il cui diametro varia inversamente con la quarta potenza della distanza da una linea superiore di riferimento in accordo con la legge della caduta libera e la legge della continuità; l'altra zona attorno alla cataratta, che affermò poter essere sia liquida sia congelata, avendo contribuito nullo al moto della corrente.

Nell'elaborare questa teoria, che si rivelò in séguito errata, Newton, come scrisse nell'edizione del 1686 dei suoi "Principia Mathematica Philosophiae Naturalis" del 1686, si rese conto che, dopo essere uscito dall'orifizio, il getto d'acqua subiva una contrazione. La sezione effettiva di passaggio dell'acqua, cioè, non era quella del foro (**a**) ma era più piccola, pari all'area della *Sezione Contratta* (**b**), collocata dopo i margini del foro stesso. Ecco perché, concluse lo scienziato inglese, la portata ( $m^3/s$ ) calcolata quale prodotto della velocità di efflusso ( $m/s$ ) per l'area del foro ( $m^2$ ) era sempre maggiore di quella reale. Nell'edizione dei "Principia" del 1713, riferendo delle prove effettuate, Newton concluse che la contrazione era pari al valore  $0,707$  (pari a  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ), cioè **b** =  $0,707$  **a**.



L'introduzione, da parte di Newton, di un coefficiente di contrazione fu un importante passo in avanti; non lo fu invece la sua teoria della cataratta (. . . anche i geni più grandi sono esseri umani!).

Tuttavia egli raggiunse un apparente accordo tra la teoria e gli esperimenti per indicare che la zona attorno alla cataratta poteva essere veramente considerata come ininfluenza al moto dell'efflusso e dunque una simile zona stagnante doveva essere considerata presente attorno ad ogni corpo immerso. Da qui dedusse che la resistenza di un oggetto al moto in un fluido (o viceversa per il principio di reciprocità) dipendeva soltanto dal valore dell'area della sezione trasversale e non anche dalla forma e volume complessivo dell'oggetto stesso.

E' interessante notare, tuttavia, che Newton considerò la forma trascurabile soltanto nel caso dei corpi completamente immersi in fluidi anelastici, intuendo gli effetti prodotti in corpi galleggianti e nel caso di fluidi elastici.



*“I corpi che galleggiano su un fluido, quando procedono in linea retta, a causa del fluido che sale sulla loro parte anteriore e di abbassa sulla loro parte posteriore, specialmente se essi hanno una forma ottusa e così essi incontrano con poca più resistenza che se essi fossero acuti dall'inizio alla fine. E i corpi che si muovono in fluidi elastici, se essi sono di forma ottusa davanti e dietro, il liquido si concentra un poco sulle loro parti davanti lo stesso si rilassa sulle loro parti dietro e così incontrano anche un poco più di resistenza che essi fossero acuti dalla testa alla coda. Ma in questi lemmi e proposizioni noi non stiamo trattando di fluidi elastici o anelastici; non di corpi flottanti sulla superficie ma profondamente immersi in essa.”*

Nonostante queste escursioni nelle fasi della resistenza completamente estranee al moto dei pianeti, le sue generali conclusioni furono applicate al moto dei pianeti:

*“ . . . gli spazi del cielo - attraverso i quali i pianeti, le stelle e le comete si muovono continuamente in ogni direzione, con estrema libertà, e senza la sensibile piccola diminuzione del loro moto - devono essere assolutamente vuoti da ogni corporeo fluido, ad eccezione, forse, di qualche vapore estremamente raro ed i raggi di luce.”*

Tre altri risultati delle indagini di Newton sul moto dei fluidi, più attinenti a questa Storia dell'Idraulica, méritano una menzione.

La prima: *“Se l'acqua ascende e discende alternativamente in un condotto eretto . . . di un canale o di un tubo ed un pendolo fosse costruito con lunghezza tra il punto di sospensione ed il centro dell'oscillazione, uguale alla metà della lunghezza dell'acqua nel canale, io dico che l'acqua sale e scende nello stesso tempo delle oscillazioni del pendolo.”*

La seconda, relativa al fatto che la velocità della superficie delle onde varia con la radice quadrata della lunghezza dell'onda; a questo principio egli accostò l'importante osservazione che:

*“Queste cose sono vere nelle supposizione che le parti dell'acqua scendono e salgono in una linea retta; ma in verità che salga o scenda avviene piuttosto secondo un cerchio; e così io do il tempo definito da questa proposizione come solo approssimato.”*

La terza fu la formulazione della velocità del suono nell'aria.

Come già ricordato, contemporaneamente all'attività di Newton, agiva in Germania il filosofo e scienziato tedesco barone Gottfried Wilhelm Von Leibniz (Lipsia 1646 – Hannover 1716), che, in via autonoma dal Newton, sviluppò il calcolo infinitesimale durante il suo soggiorno, come diplomatico, a Parigi, tra il 1672 ed il 1676, dove poté frequentare gli ambienti culturali francesi ed anche accostarsi al lavoro di Huygens, che lo introdusse negli ambienti dell'Accadémie di Francia.

Come vedremo nel prossimo Capitolo, il calcolo scoperto dallo scienziato tedesco non procede per infinitesime differenze temporali, come quello di Newton.

Il método di Leibniz, alla fine, si rivelò quello vincente, dirimendo 'sul campo' le aspre contese che si svilupparono tra i due ed il relativi opposti schieramenti; così è che del tedesco resta maggior traccia nell'attuale simbologia, oggi utilizzata sia per il calcolo differenziale che per gli integrali, essenzialmente identica all'originale.

Leibniz ebbe certamente accesso alla corrispondenza di Newton a Huygens ed anche ne intrattenne personalmente con lo scienziato inglese nel 1677; nonostante ciò il tedesco accusò il



collega d'oltremàica di plagio, allorquando quegli pubblicò i suoi *'Principia Mathematica Philosophiae Naturalis'*, concepiti prima dall'inglese ma pubblicati successivamente all'òpera del tedesco.

Oggi sappiamo che non vi fu alcun plagio d'ambo le parti; ma, in quel tempo, la difesa di Newton da parte della scienza inglese contro gli attacchi di molti matematici europei produsse un contenzioso che si protrasse per decenni.

Sull'importanza della paternità di ogni scoperta, diventa caratterizzante leggere queste righe dello stesso Leibniz:

*“E' estremamente cosa utile avere conoscenza delle vere origini delle scoperte memorabili, specialmente quelle che non sono state trovate accidentalmente ma attraverso la forza del ragionamento. Non è così molta storia che in tal modo può essere attribuita ad ogni uomo ed alle sue proprie scoperte ed altre potevano essere incoraggiate per guadagnare come raccomandazioni come che l'arte di fare scoperte può essere estesa considerando ragguardevoli esempi di essa.”*



Di Leibniz è certo il mérito d'aver impostato una rigorosa versione del cálculo combinatorio, con notazioni che, in questo, permettevano di esprimere – secondo il tedesco – ogni cosa in una univoca e rigorosa simbologia.

Giunto a conoscenza della macchina calcolatrice 'Pascaline' di Pascal, Leibniz ne sviluppò un'altra di maggiore complessità.

Sfortunatamente il suo più importante contributo alla Meccànica, il *Principio dell'energia*, diede avvio ad un'altra controversia.

Nella rivista *“Acta Eruditorum”*, nel 1686, Leibniz evidenziò un difetto nel principio del momento, formulato da Descartes ed anche utilizzato da Newton, attraverso la seguente *“Dimostrazione del notevole errore fatto da Descartes e da altri in che essi affermano esserci una legge di natura che sempre la stessa quantità di moto è conservata da Dio; legge della quale essi fanno un uso improprio nelle applicazioni di meccanica”*.

In essa leggiamo:

*“Molti matematici credono . . . delle cinque potenze meccaniche, che velocità e massa siano mutualmente compensate e generalmente stimano la ragione della forza con la quantità di moto oppure attraverso il prodotto della massa del corpo per la sua velocità. Ma io posso mostrare come ci sia grande differenza tra queste due idee; assumo, per primo, che un corpo che cade da una certa altezza acquista una forza sufficiente per risalire alla stessa altezza data, giusta la direzione e se non interferiscono forze esterne . . . .*

*Secondariamente, se una certa forza è necessaria per far risalire un corpo A pesante una libbra all'altezza di quattro braccia altrettanto lo è per fare salire un corpo B pesante quattro libbre ad una altezza di un braccio . . . così segue che il corpo A lasciato cadere dall'altezza di*

quattro braccia acquista esattamente la stessa forza del corpo B lasciato cadere dall'altezza di un braccio.

Ora guardiamo la quantità di moto che pare essere di entrambi.

E' stato dimostrato, da Galileo, che la velocità acquisita dalla caduta del corpo A è doppia di quella acquisita dal corpo B . . . perciò, al termine della caduta di entrambi, la quantità di moto del corpo A è metà di quella del corpo B e tuttavia appena ora le forze di entrambi questi corpi sono state dichiarate essere uguali . . . Da questo appare in quale modo le forze dovrebbero essere valutate, cioè dalla quantità dell'effetto che sono in grado di produrre . . .”.

Leibniz introdusse così il concetto di *vis viva*, o forza viva (in contrapposizione alle forze ‘morte’ come pressione e peso) per indicare ciò che egli chiamò la *quantità di moto* ma che oggi è nota come energia cinética.

Come il *Momento del moto di un sistema* di Descartes e di Newton, la *vis viva* varia direttamente con la massa del corpo, tuttavia dal *Momento* differisce nell'essere proporzionale alla seconda potenza della velocità invece che alla prima. La *vis viva* di un corpo in movimento è quindi pari al prodotto della sua massa per il quadrato delle velocità e costituisce l'energia che il moto stesso conferisce al corpo. Oggi sappiamo che questa energia, detta Energia Cinética, è invece pari al prodotto della massa per il quadrato delle velocità diviso due; ciò non toglie importanza alla scoperta dello scienziato tedesco.

Il nuovo concetto di energia di ogni oggetto in movimento, fu da principio accettato soltanto da chi vedeva in Leibniz il genio indiscutibile ed ineguagliabile; ma, anche per la disputa aspra con Newton sulla paternità del calcolo sublime, non pochi erano coloro che avevano motivi, non soltanto dalla ragione mossi, per ostacolare le teorie del tedesco.

In questa contrastata scoperta, perché era in effetti una valeda conquista, riveste un posto di rilievo la figura della scienziata francese Gabrielle-Émilie Le Tonnelier de Breteuil, marchesa de Châtelet (Parigi 1706 – Lunéville 1749), spesso ricordata come nobildonna di profonda cultura, letterata, donna appassionata di letteratura e scienze.

Noi la vogliamo ricordare innanzitutto come scienziata, poiché lo fu veramente, ma anche per onorare la donna che seppe farsi largo tra una Comunità Scientifica in tutto ancora radicata nella convinzione che la Scienza, o, come allora si diceva, le *scienze esatte* fossero di esclusivo appannaggio maschile.

La discriminazione delle donne, negli studi scientifici, non si attenuava neppure di fronte all'alto rango nobiliare della marchesa de Châtelet, costretta, così si racconta, a travestirsi in abiti maschili per frequentare gli stimolanti circoli culturali della capitale.



L'incontro con Voltaire, nel 1633, fu determinante nel liberare da ogni vincolo sociale la sua passione scientifica (. . . ed anche sentimentale). Lasciata Parigi, si ritirò con il grande filosofo-scrittore, nella propria residenza a Carey, nella Lorena, dove allestì una grande biblioteca ed un

laboratorio. Quel luogo divenne ben presto il punto di riferimento per quegli scienziati francesi che avessero desiderato avvicinarsi ed approfondire la nuova Fisica newtoniana, della quale la marchesa de Châtelet era strenua sostenitrice.

Nel 1740, la scienziata francese pubblicò *Institutions de physique*, dove esaminò i termini della contesa sulla teoria leibniziana della *vis viva*, sostenendola con convinzione e proponendone limpide interpretazioni anche attraverso dati sperimentali, a volte da lei stessa prodotti.

Sua fu la prima traduzione in francese dell'opera di Newton *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, conclusa nel 1749, poco prima della prematura morte *post partum*, e pubblicata dieci anni dopo da Alexis-Claude Clairaut, che aveva collaborato alla stesura di alcune osservazioni matematiche ma che poi ne trasse ogni merito.

A Gabrielle-Émilie de Châtelet deve invece essere destinato il riconoscimento d'aver introdotto quest'opera rivoluzionaria nella Francia del XVIII secolo e, quindi, nel travolgente movimento culturale/intellettuale dell'*Illuminismo*. Tale fu la qualità della traduzione e dei commenti ad essa acclusi che questo lavoro, per due secoli, diventò la principale versione della Fisica di Newton circolante in Francia.

La qualità del testo certo è in parte dovuta all'assidua, quotidiana frequentazione di Voltaire, il cui legame con la marchesa fu non solo culturale . . . ecco un versetto che Voltaire le dedicò:

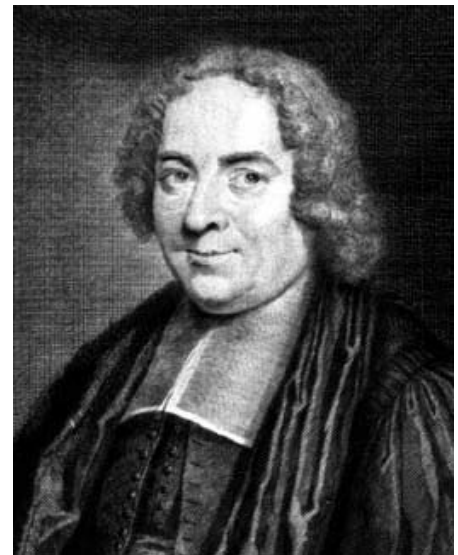
*Sans doute vous serez célèbre  
Par les grands calculs de l'algèbre  
Où votre esprit est absorbé  
J'oserais m'y livrer moi-même;  
Mais Hélas !  $A + B - D$   
N'est pas = à Je vous aime*

(Non v'è dubbio che celebre sarete / per i grandi calcoli dell'algebra / dai quali il vostro spirito è assorbito / agognerei anch'io in essi avventurarmi / ma, ahimé!,  $A + B - D$  non è uguale a 'Io vi amo'.)

. . . . torniamo alla non meno poetica, almeno per noi, Storia dell'Idraulica . . .

Buon ultimo, qui ricordiamo il fisico matematico francese, Pierre Varignon (Caen 1654 – Parigi 1722), docente di meccanica al Collegio reale e membro della *Académie royale des sciences*, oltre a dare un contributo significativo allo sviluppo del calcolo infinitesimale, concluse importanti successi in Fisica ed in Idraulica.

Mentre molti suoi contemporanei svelavano singoli aspetti del momento delle forze, fu Varignon che enunciò la teoria generale dei momenti e le leggi sulla composizione dei sistemi di forze, presentate, solo tre anni dopo la sua morte, nel 1725, nel suo trattato '*Nouvelle mécanique ou statique*'. La composizione dei Momenti Statici (cioè di un sistema di forze applicate ad un gruppo di corpi in punti a ciascuno non baricentrico), che consente di ridurre il problema allo studio di un unico momento risultante, è detto *Teoréma di Varignon*.



Nello stesso anno 1725 fu data alle stampe anche la sua unica opera che tratta del moto dei fluidi, '*Traité du mouvement ed de la mesure des eaux coulantes et jailissantes*.' , nella quale le

conclusioni raggiunte assumono ancor oggi una certa validità. In questo testo, anche Pierre Varignon si confrontò, come tanti accanto alla marchesa de Châtelet, nella disputa sulla diversa natura del *Momento* dei corpi in movimento (diremmo: Momento Dinamico) e della loro *Energia*.

Il *Momento* di masse in movimento fu utilizzato da Varignon nel tentativo di analizzare, sotto questo punto di vista, il *Problema dell'efflusso* esposto da Evangelista Torricelli. Assumendo che il *Momento* del liquido scaturente dall'orifizio fosse prodotto dal peso della colonna di liquido posta direttamente sopra la stessa apertura, il francese giunse a calcolare una velocità dell'efflusso ben maggiore al fattore 'radice quadrata di  $h$ ', compiendo un errore comparabile a quello di Newton nella prima edizione dei "*Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*", pur provenendo da cause assolutamente differenti. Nulla osservò Varignon, a differenza di Newton, sul fenomeno della contrazione del getto nell'efflusso.

Seguendo la storia, ci 'spostiamo' ora in Svizzera, a Basilea, dove operarono due matematici che non possono essere mai dimenticati, in questo testo come in tantissimi altri.

Basilea, nel 1460, divenne città universitaria e ben presto anche centro di una evoluta attività di stampa che attirò tanti scrittori e ricercatori del Rinascimento come lo scrittore ed umanista Erasmo da Rotterdam (Rotterdam ca 1466 – Basilea 1536) ed il medico e filosofo Paracelso, al secolo Philipp Theophrast von Hohenheim (Einsiedel 1493 – Salisburgo 1541).

Città libera in una Confederazione Svizzera indipendente, dai connotati già simili agli attuali, Basilea, posta sul confine di Francia e Germania, fu tra le mete 'preferite' per gli Ugonotti fuggiti alla reazione cattolica della Francia e della Spagna, che, così, si privarono, a favore delle nazioni di accoglienza, di molti esponenti delle categorie emergenti, forze vive e vivaci tra le quali il credo calvinista aveva ottenuto vasti consensi.

Quante volte la Storia dell'umanità ha registrato, e tutt'ora registra, migrazioni 'della disperazione e del dolore', spesso provocate dall'uso aberrante della fede religiosa!

Nella città svizzera, tra questi emigranti, perseguitati nella loro patria, c'era anche il capostipite di una famiglia il cui nome riecheggerà, con suono altissimo, nella Matematica e nell'Idraulica: i Bernoulli. Di questo eccezionale fenomeno di 'genialità familiare' vedremo alcuni aspetti nei prossimi Capitoli.

Tra Galileo Galilei e la famiglia Bernoulli (accomunando tutti i membri di questa straordinaria genia di ottimi scienziati e studiosi) si ebbero tali e tanti progressi nella Fisica e nella Matematica da segnare di fatto una nuova era, della quali ancor oggi sentiamo i benefici effetti.

Tra il Seicento ed il Settecento, in poche decine di anni, alcuni fenomeni, particolarmente significativi anche per il comportamento dei fluidi, furono adeguatamente indagati ed interpretati: la pressione, la gravità, l'energia. Essi disegnarono un nuovo sfondo nel quale orientare la ricerca in Idraulica, secondo prospettive più efficaci nel risolvere i problemi sino ad allora apparsi insuperabili.

I secoli che precedettero questo sbalorditivo periodo furono comunque essenziali, perché la cultura dell'umanità procede nutrendosi ad ogni passo, piccolo o grande che sia, portato da coloro che si impegnano ad indagare ciò che ancora non è noto. Questo cammino non si interrompe mai, ma procede a velocità differenti, a volte anche soltanto apparentemente diverse.

All'inizio del Seicento l'Idraulica si presentava ancora come un'arte prevalentemente empirica; alla fine di questo secolo ad essa, come a tante altre discipline, furono messi a disposizione numerose nuove scoperte e potenti strumenti; tra questi ultimi, certamente, il più importante fu il '*Calcolo Sublime*'.

\* \* \*