

Gaetano Cannelli

Il Metodo scientifico per la **conoscenza** delle **leggi** della **Natura**

Interrogativi esistenziali dell'*Homo sapiens*



4. Newton padre della Fisica Classica

Isaac Newton nasce, secondo il calendario gregoriano, il 4 gennaio 1643 ad un anno dalla morte di Galilei, avvenuta l'8 gennaio 1642. Per il calendario giuliano, allora ancora in uso in Inghilterra, era il 25 dicembre 1642. Sembra quasi che la sorte abbia voluto che ci fosse tra i due un passaggio di testimone nella Scienza.

Newton acquisisce da Galilei il metodo avente carattere *induttivo-deduttivo* che si distacca nettamente dal metodo intuitivo cartesiano, ed è completamente svincolato da ogni concezione teologico-metafisica, come già aveva concepito Galilei. E quando dice di sé stesso¹ “... noi siamo come nani sulle spalle di giganti, cosicché possiamo vedere più e più lontano di loro, non per l'acutezza della vista o per l'altezza del nostro corpo, ma perché siamo portati in alto dalla statura dei giganti.” non può che riferirsi soprattutto a Galilei.

Newton², uno dei massimi scienziati di tutti i tempi, è stato matematico, fisico, astronomo, alchimista, filosofo, epistemologo, teologo: rappresenta l'antesignano di una nuova era della Scienza caratterizzata da una struttura *ipotetico-deduttiva* e dalla transizione dai sistemi geocentrici a quello eliocentrico, che si conclude nel 1687 con la pubblicazione dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

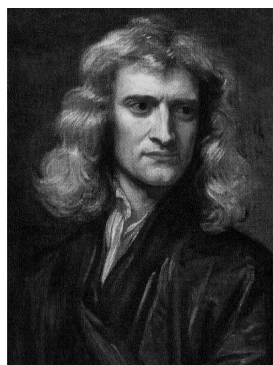


Fig.4.1 – Ritratto di Newton all'età di 42 anni.

¹ Newton cita l'aforisma che Giovanni di Salisbury (1120 –1180), scrittore e vescovo inglese, discepolo di *Bernardo di Chartres* (? –1130), al quale attribuisce l'aforisma.

² Maurizio Mamiani, *Introduzione a Newton*, Laterza, Bari 2002; Niccolò Guicciardini, *Newton*, Carocci, Roma 2011; Piergiorgio Odifreddi, *Sulle spalle di un gigante, Isaac Newton*, Longanesi, Milano 2014.

4.1 La vita

Esiste una vasta letteratura sulla biografia di Newton; di recente l'interessante libro di Frova e Marenzana³ mette in luce, oltre che le sue ben note scoperte scientifiche, gli aspetti caratteriali del geniale scienziato narrando le aspre polemiche tra lui e i suoi contemporanei illustri uomini di Scienza. Qui mi limito ad una descrizione sommaria della sua vita enfatizzando alcuni episodi che possono spiegare certi suoi comportamenti.

Il luogo di nascita di Newton è Woolsthorpe un piccolo villaggio della Contea del Lincolnshire, suo padre era un agricoltore morto alcuni mesi prima della sua nascita. Sua madre Hanna Ayscough si risposò con un ricco pastore anglicano abbandonando la casa quando Isaac aveva tre anni e affidandolo ai nonni materni. Queste circostanze incidono negativamente sul carattere di Isaac che risente della mancanza dell'affetto della madre dalla quale si sente abbandonato. Così arriva ad odiare la madre e il patrigno per avergliela portata via sino ad immaginare di bruciarli entrambi nella loro casa. Queste vicissitudini che hanno determinato la sua infelice fanciullezza possono spiegare il suo carattere che sarà per tutta la vita introverso, diffidente del prossimo e paranoico.

Isaac bambino segue i suoi studi elementari nella scuola del villaggio. Quando la madre Hanna, rimasta nuovamente vedova, torna a Woolsthorpe con tre figli del secondo marito e con una cospicua eredità terriera, ritrova il figlio adolescente quasi dimenticato e lo manda per seguire gli studi medi alla King's School nella vicina Grantham, a pensione presso il farmacista Mr. Clark lontano parente dei Newton. Qui Isaac trova una biblioteca ricca di libri di scienza che lo appassionano alla matematica, alla fisica e all'alchimia che praticherà in maniera riservata per molti anni della sua vita. In questo periodo sente per la prima e unica volta un sentimento d'amore per la graziosa figliastra di Mr. Clark che con il suo sorriso e il dolce sguardo gli sembra ricambi il suo sentimento. Ma Newton timoroso di non essere accettato non rivelerà mai il suo sentimento e quando dopo alcuni anni lei andrà sposa ad altro uomo si rinnova per lui il dolore dell'abbandono di una persona cara. Per tutta la vita non sentirà più alcun sentimento d'amore per qualsiasi donna e il suo amore sarà unicamente rivolto alla Scienza per la quale si impone di rimanere casto per tutta la vita.

La madre vorrebbe che il figlio per il suo futuro si dedicasse all'amministrazione della terra. Non era certo questa l'aspirazione del giovane Newton. Per fortuna il Rettore della Scuola di Grantham, che si era accorto delle eccezionali doti nella matematica dell'allievo, riesce a convincere la madre a lasciare il figlio libero di seguire le sue attitudini. Così intraprende nel 1661 i suoi studi universitari presso l'Università di Cambridge nel prestigioso Trinity College dove, per la bassa retta pagata dalla madre, si deve adattare a servire gli studenti di famiglie altolocate. Sua madre, sebbene dopo il secondo matrimonio fosse una ricca proprietaria terriera, non era disposta a pagargli una retta adeguata al suo stato sociale.

³ A. Frova, M. Marenzana, *Newton & Co. Geni bastardi*, Carocci, Roma 2015.

A Cambridge i corsi erano quelli tradizionali di tutte le università europee dell'epoca; le discipline insegnate erano l'etica, la logica, la retorica, la cosmologia e la fisica di Aristotele. Newton però abbandona Aristotele per dedicarsi allo studio di autori portatori di una nuova Filosofia della Natura: Galilei, Cartesio specie per la matematica, Copernico, Keplero, Francis Bacon, Robert Boyle, John Wallis. Nel 1664 viene istituito a Cambridge l'insegnamento della Matematica tenuto da Isaac Barrow, teologo, astronomo e matematico, il quale rimane allibito nel constatare la genialità del suo allievo Newton che risolve con eleganza e rapidità ardui problemi di matematica, alcuni dei quali erano rimasti insoluti.

Nel 1665 a causa di una terribile epidemia di peste che si stava diffondendo in Inghilterra, l'Università di Cambridge chiude e Newton per sfuggire al contagio si rifugia, per due anni, nella sua casa natale a Woolsthorpe. Il biennio 1665-1666 è un periodo nel quale la genialità di Newton esplode determinando una rivoluzione epocale della Scienza. Il completo isolamento nel suo villaggio natio gli è propizio per concentrarsi nello sviluppo di alcuni argomenti innovativi di matematica, tra questi il teorema binomiale che consente di elevare a una qualsiasi potenza un binomio e l'invenzione del calcolo infinitesimale che gli serve prevalentemente per risolvere problemi di Fisica. Nel 1669 redige il manoscritto *De analysi per aequationes numero terminorum infinitas* e quello più ampio nel 1670-1671 *De methodis serierum et fluxionum* nei quali sono sviluppate le idee del calcolo infinitesimale. Queste opere rimarranno riservate, il secondo manoscritto sarà pubblicato solo nel 1711; se fosse stato pubblicato nel periodo della sua elaborazione avrebbe resa meno aspra la disputa con Leibniz per la paternità dell'invenzione.

Sempre nel biennio 1665-1666 esegue nella sua consueta riservatezza gli esperimenti di ottica, elabora la sua teoria corpuscolare della luce e inizia a meditare sulla gravitazione.

Tra il 1665 e il 1667 Newton consegue il Bachelor of Arts (la nostra laurea di primo livello), diviene fellow del Trinity College con la dispensa di prendere gli ordini religiosi minori (un obbligo allora per ogni membro del Trinity College) e successivamente consegue il Master of Arts (laurea magistrale). Nel 1669 il suo maestro Barrow, nominato consigliere del Re e cappellano reale, lascia la cattedra lucasiana di matematica raccomandando il suo discepolo che gli succede a soli 27 anni nel 1669. Nel periodo 1670 al 1672 studia la rifrazione della luce, dimostra mediante gli esperimenti che la luce bianca è composta dai colori dell'iride; queste sue scoperte sono argomento delle sue lezioni di Ottica.

Nel 1672 diviene membro della Royal Society, ma non partecipa alle sedute, presenta i suoi esperimenti sulla luce mediante comunicazioni scritte e interpretati secondo il suo modello corpuscolare suscitando interesse e aspre critiche da parte dall'astronomo olandese Christiaan Huygens e Robert Hooke, sostenitori della teoria ondulatoria della luce.

Nell'anno 1687 esce la prima edizione dei *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (seguiranno altre due edizioni nel 1713 e nel 1726); è l'opera princi-

pale di Newton, unanimemente ritenuta una delle massime espressioni del pensiero scientifico. L'opera viene pubblicata per l'interesse dell'astronomo Halley, ammiratore di Newton, il quale se ne assume le spese di pubblicazione.

Nel 1704 viene pubblicata la prima edizione di "*Opticks: or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light*". Questa è la seconda opera per importanza dopo i *Principia*, in essa vengono descritti gli esperimenti e il suo modello corpuscolare per l'interpretazione dei fenomeni luminosi.

Newton, anche se proveniente da una modesta famiglia di agricoltori, ottiene i massimi riconoscimenti dalla società inglese. Amministra saggiamente i suoi emolumenti diventando uomo ricchissimo ma generoso nei confronti dei suoi parenti e degli amici che si trovano nel bisogno. Nel 1689 è nominato membro del Parlamento come rappresentante dell'Università di Cambridge, di nuovo eletto al Parlamento nel 1701, ma ha uno scarso interesse per l'attività politica.

L'anno 1693 è un *annus horribilis* che lo vede in preda ad un forte esaurimento nervoso che lo stava portando alla pazzia dovuto a tante diverse cause, tra queste anche le aspre dispute con i suoi colleghi scienziati e filosofi: con Leibniz per la priorità dell'invenzione del calcolo infinitesimale, con Hooke che lo accusa di plagio per la legge matematica della gravitazione, con l'astronomo reale John Flamsteed che, dopo avergli fornito dei dati preziosi per la scrittura dei *Principia*, si rifiuta di fornirgli ulteriori informazioni che gli erano necessarie.

L'occasione dei soggiorni a Londra gli fa capire che la vita nella capitale sarebbe per lui meno stressante che a Cambridge. Così, quando nel 1700 è nominato direttore della Zecca Reale, si trasferisce nella capitale e nel 1701 lascia la cattedra a Cambridge. Per lui l'incarico alla Zecca non è una *sinecura* puramente onoraria, ma vi spende il massimo impegno come era nel suo carattere: promuove la riforma della moneta nel 1717 stabilendo un cambio fisso tra la sterlina e l'oncia d'oro anticipando il principio economico del *gold standard* adottato poi da altri Stati; si impegna nella lotta ai falsari e in particolare, per contrastare quelli che limavano i bordi delle monete per ricavarne oro, inventa la zigrinatura dei bordi delle monete che se erano abrase non potevano più essere messe in circolazione. Nella lotta spietata ai falsari, per i quali fa applicare sistematicamente la pena dell'impiccagione, rivela un aspetto crudele del suo carattere. Un noto falsario gli rivolge per lettera una supplica chiedendo di essere risparmiato ma Newton irremovibile lo manda alla forca senza pietà e misericordia.

Nel 1703 viene nominato Presidente della Royal Society, carica che mantiene sino alla morte; nel 1705 la regina Anna lo nomina Sir, primo scienziato a ricevere tale onorificenza.

Muore a Londra, il 20 marzo 1727 all'età di 84 anni, viene sepolto nell'Abbazia di Westminster con un funerale degno di un re. Alexander Pope (1688-1744), uno dei maggiori poeti inglesi contemporaneo di Newton, gli dedica l'epicedio raffigurandolo come il Dio della Genesi «*La natura e le leggi della natura giacevano nascoste nella notte; Dio disse: Che Newton sia, e luce fu.*»

4.2 Tempo e spazio nella concezione di Newton. Il secchio di Newton

Nell'appendice "*General Scholium*" alla II edizione 1713, della *Philosophiae naturalis principia mathematica* Newton espone i concetti di spazio e di tempo che secondo lui non sarebbe necessario definire essendo "*notissimi a tutti*" ma, poiché sussistono "*vari pregiudizi*", distingue queste entità in assolute e relative.

"Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente ...; quello relativo, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l'ora, il giorno, il mese, l'anno".

Cioè il *tempo relativo* viene percepito attraverso la misura della durata di fenomeni naturali: per la misurazione dell'anno, del mese, del giorno ricorriamo all'osservazione dei periodi dei moti planetari; per l'ora disponiamo degli orologi, sistemi con i quali si misura il tempo contando i periodi dei meccanismi oscillatori di cui sono dotati.

Newton esegue nel 1689 il noto esperimento con un secchio pieno di acqua appeso ad una corda arrotolata; il comportamento dell'acqua gli suggerisce la concezione dello *Spazio Assoluto*. Vediamo in che cosa consiste l'esperimento.

- i) Quando la corda si lascia srotolare il secchio ruota, ma l'acqua è ferma inizialmente rispetto al secchio e la sua superficie libera è piana.
- ii) Poi il moto si trasmette all'acqua, che ruota con il secchio, e la sua superficie libera diviene concava (è quella di un paraboloide).
- iii) Quando la corda finisce di srotolarsi/arrotolarsi, il secchio si ferma, l'acqua continua a ruotare e la superficie è ancora concava.

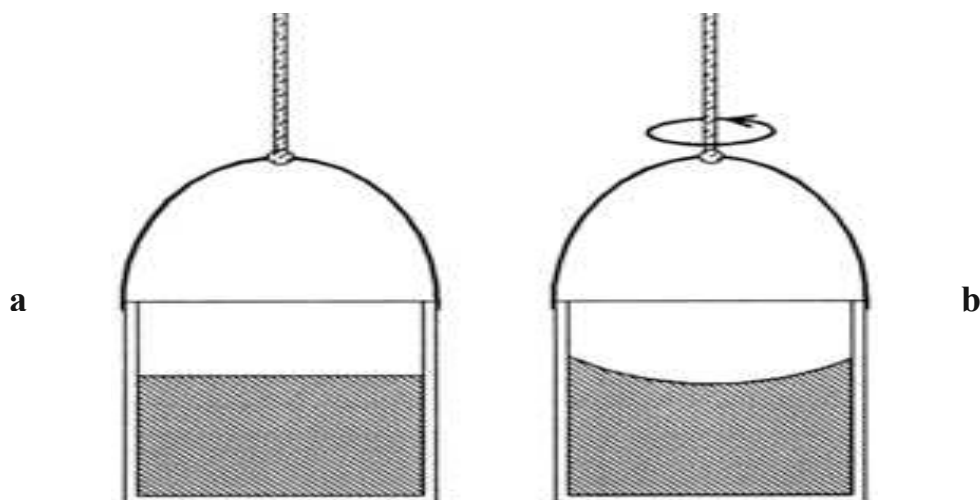


Fig. 4.2 – (a) La superficie dell'acqua nel secchio è inizialmente piana anche quando il secchio inizia a ruotare. (b) Quando il secchio imprime all'acqua un moto rotatorio, la sua superficie diviene concava e tale resta anche quando il secchio si arresta.

L'acqua mostra un'accelerazione intrinseca, come denota la concavità della superficie, non correlata a particolari riferimenti esterni, essa accelera sia che il secchio sia in quiete sia che sia in moto. Il secchio non è un riferimento per stabilire rispetto a che cosa accelera l'acqua, per Newton ciò non era concepibile dunque la configurazione concava della superficie libera era dovuta all'accelerazione rispetto allo *Spazio Assoluto*.

Newton fa una distinzione tra *spazio assoluto* e *spazio relativo*: “*Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile; lo spazio relativo è una dimensione mobile o misura dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ...*”.

Ma poiché non è possibile percepire fisicamente lo *spazio assoluto* proprio perché esso, essendo indifferenziato, non presenta dei riferimenti per misurare le distanze e stabilire se un corpo sia in quiete o in moto, esso è il *sensorio di Dio* occupato da una *sostanza spirituale*, oltre che dalla materia. È possibile invece percepire lo *spazio relativo* dalle distanze rispetto a qualche corpo che assumiamo come immobile, ma questo non ci permette di stabilire né il *moto assoluto*, né la *quiete vera* definita come la permanenza del corpo nella stessa posizione di quello spazio immobile. Newton ritiene che il sistema *Sole-stelle fisse* sia un sistema isolato, quindi in quiete e lo assimila a quello dello *spazio assoluto*.

Le concezioni di *spazio e tempo assoluti* erano fortemente criticate specialmente da Huygens e Leibniz; in definitiva Newton, condivide queste critiche rendendosi conto che *tempo e spazio assoluti* sono concetti metafisici, cioè *noumeni* che non sono riconducibili a grandezze fisiche misurabili, così per la trattazione della sua Fisica fa riferimento a *tempo e spazio relativi* come facciamo oggi nella Scienza.

4.3 La struttura concettuale della Meccanica di Newton: i tre Principi e la Legge della Gravitazione Universale

Il trattato in tre libri *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* pubblicato nel 1687 è unanimemente considerato una delle più importanti opere del pensiero, con quest'opera nasce la Fisica Classica. Newton enuncia le leggi della dinamica e la legge di gravitazione universale portando a compimento la comprensione della meccanica dell'Universo alla quale avevano contribuito insigni precursori come Copernico, Keplero e Galilei.

Caratteristica dell'opera, come il titolo denuncia, è il ruolo fondamentale della matematica per la descrizione dei fenomeni naturali che rende l'opera di difficile comprensione alla gran parte dei contemporanei⁴. La struttura concettuale dei

⁴ Isaac Newton, *Principi matematici della filosofia naturale*, a cura di Franco Giudice, Einaudi, Torino 2018.

Principia si ispira alla struttura *assiomatico-deduttiva* degli *Elementi* di Euclide e dei trattati della Scienza Ellenistica che, a partire da assiomi/postulati, arrivano a stabilire verità (teoremi) non immediatamente evidenti.

Diversamente, la struttura newtoniana è *ipotetico-deduttiva*, fondata su *Principi* che hanno lo stesso ruolo degli assiomi/postulati delle matematiche, ma sono astrazioni concettuali derivate mediante induzione da osservazioni empiriche avvenute nel corso dei secoli (ad esempio il *Principio* d'inerzia) da parte di numerosi scienziati. Dai *Principi* e dall'assunzione di ipotesi, di modelli, mediante logica deduttiva usando il linguaggio matematico, si possono descrivere i fenomeni naturali e persino prevederne dei nuovi. Ma mentre alle matematiche si richiede solo il rispetto degli assiomi/postulati, alle Scienze è richiesta una descrizione della Natura che non sia in contrasto con l'esperimento. Se questo avviene, i *Principi*, le assunzioni vanno rivisti o cambiati. Dice Simon Singh, fisico delle particelle, autore del bestseller *L'ultimo teorema di Fermat*⁵: i teoremi matematici sono basati su un procedimento logico e restano veri sino alla fine dei tempi mentre le leggi fisiche si fondano su osservazioni e su assunzioni provvisorie che tendono a raggiungere verità che sono sempre provvisorie.

Va precisato che ipotesi per Newton non sono i *Principi* dedotti per induzione dall'osservazione dei fenomeni, esse sono congetture sino a che non vengono corroborate da prove sperimentali, esse possono rivelarsi utili nella ricerca come ad esempio il suo modello particellare della natura della luce.

I *Principia* iniziano con otto *Definizioni* delle grandezze fisiche e *Assiomi* (*Principi*). Di seguito mi limito a esporre solo le definizioni essenziali per introdurre i principi della meccanica, esse sono:

- *Massa* è intesa come la quantità di materia di un corpo come composta di particelle elementari. Newton dice: “*In seguito indicherò questa quantità indifferente con i nomi di corpo, o massa. Tale quantità diviene nota attraverso il peso di ciascun corpo...*”, cioè la massa si ottiene dal confronto dei pesi (si presume tramite una bilancia). Anche oggi, tra i diversi metodi, misuriamo le masse tramite la bilancia mettendole a confronto con una massa campione assunta come unità di misura.
- *Quantità di moto* “è la misura del medesimo ricavata dal prodotto della velocità per la quantità di materia.”
- *Inerzia* “forza insita della materia è la sua disposizione a resistere; per cui ciascun corpo, per quanto sta in esso, persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.”
- *Forza* “è un'azione esercitata sul corpo al fine di mutare il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.”

⁵ Simon Singh, *L'ultimo teorema di Fermat*, BUR SAGGI, Rizzoli, Milano 2000.

A queste definizioni seguono l'enunciazione degli *Assiomi* o *Leggi del moto*, di seguito denominati *Principi*. Questi sono validi nello *spazio assoluto* identificato da Newton con il sistema avente l'origine nel centro del sistema *Sole-stelle fisse* che noi definiamo *referimento inerziale*: detto in maniera più esatta e rigorosa questo riferimento è rappresentato da una terna di assi ortogonali con l'origine nel centro del sistema solare e con gli assi aventi orientazione invariante rispetto alle stelle fisse. Tutti i riferimenti in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto a questo sistema sono inerziali (vedi nota). Nessuno prima di Newton aveva esposto questi *Principi* in modo così chiaro e rigoroso, in questa esposizione essi sono tradotti in un linguaggio fisico moderno, un poco diverso da come sono stati introdotti da Newton.

Newton assume il *Principio di relatività* che invero è esposto come il *V Corollario* tra sei corollari enunciati:

V Corollario: I moti relativi dei corpi inclusi in un dato spazio sono identici sia che quello spazio giaccia in quiete, sia che il medesimo si muova in linea retta senza moto circolare.

In questo corollario si afferma che tutti gli esperimenti eseguiti da un osservatore su una nave si svolgono allo stesso modo sia che la nave sia ferma sia che si muova con moto rettilineo uniforme; l'osservatore non può distinguere il riferimento (*spazio*) della nave ferma da quello della nave in movimento. È chiaro il riferimento all'esperimento mentale del *gran navilio* di Galilei.

Ecco i tre noti *Principi*:

Primo principio della dinamica (Detto anche principio di inerzia):

Un corpo non sottoposto ad alcuna forza permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

Il principio d'inerzia, espresso con grande chiarezza, è valido sia per corpi che si muovono sulla Terra (eliminati gli attriti) che per i corpi che si muovono nello spazio cosmico. Aristotele riteneva che per mantenere in moto un corpo occorresse sottoporlo ad una azione [forza] continua, non aveva percepito l'effetto dell'attrito. Galilei attraverso Erone riscopre il principio di inerzia utilizzando un piano levigato privo d'attrito, ma osservando che i moti circolari planetari sono moti eterni senza inizio e senza fine cade nell'equivoco di considerarli come un aspetto di questo principio.

Nota Ogni riferimento in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto a un *referimento inerziale* è anch'esso un riferimento inerziale. Un sistema di riferimento solidale con la superficie terrestre con buona approssimazione è un riferimento inerziale poiché in esso valgono i Principi della Meccanica. Rispetto ad esso il sistema di riferimento solidale con un treno che corre con velocità costante su un binario rettilineo è un riferimento inerziale. Se il treno decelera, una sferetta inizialmente in quiete su un piano levigato comincia a muoversi in avanti, il filo a piombo assume una configurazione obliqua nel senso del moto, altri effetti si manifestano senza che siano intervenute forze reali; il sistema solidale con il treno non è più inerziale, questi effetti sono causati dalle *forze apparenti* che sorgono nei *sistemi non inerziali*.

Secondo principio della dinamica

La forza [risultante di più forze] agente su un corpo imprime ad esso un'accelerazione che ha la direzione e il verso della forza ed è ad essa proporzionale attraverso la costante che è la massa del corpo: $\vec{F} = m \vec{a}$.

Per la prima volta viene introdotto il concetto di forza a fondamento della dinamica, concetto che mancava ancora alla meccanica galileiana.

Per Newton le forze impresses sui corpi generano i moti veri da distinguere da moti relativi che dipendono dal sistema di riferimento adottato.

Terzo principio della dinamica (Principio di azione-reazione):

Due corpi interagenti esplicano tra loro due forze, azione e reazione, aventi la stessa intensità, la stessa direzione, ma versi opposti.

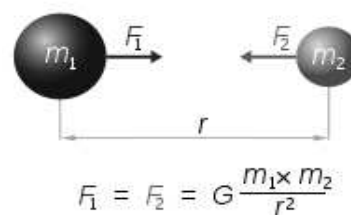
Newton spiega questo *Principio* così: “Se tu premi una pietra con un dito, pure il dito viene premuto dalla pietra.” Prima di Newton nessun altro aveva enunciato questo *Principio*. L'interazione tra due corpi può esplicarsi sia con azioni a contatto sia senza un mezzo con azioni a distanza come avviene nel caso della gravitazione: la Terra attrae un corpo ma è attratta a sua volta con la stessa forza dal corpo.

I tre *Principi* della Meccanica sino all'avvento della Meccanica Quantistica e della Teoria della Relatività non vengono modificati ma continuano a valere per i fenomeni meccanici a livello macroscopico e a velocità molto minori della velocità della luce.

Accanto ai tre *Principi*, Newton assume la *Legge della gravitazione universale*:

"Due corpi di massa m_1 e m_2 si attraggono con una forza di intensità proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza r tra i loro centri."

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



G è una costante denominata *costante di gravitazione universale*. Questa forza agisce a distanza nel vuoto, anche in assenza di un mezzo.

Newton descrive la dinamica dei corpi avvalendosi del calcolo infinitesimale che aveva inventato senza renderlo noto. Nei *Principia* le dimostrazioni e gli sviluppi sul *calcolo* non compaiono. Nella legge della gravitazione se i corpi sono molto distanti rispetto alle loro dimensioni è ragionevole assimilarli a punti materiali, ma quando due corpi sferici hanno dimensioni estese paragonabili alla loro distanza, la forza

attrattiva ha ancora la stessa forma matematica? Newton mediante il *calcolo (teorema del guscio sferico)* dimostra che anche quando due corpi sferici omogenei hanno dimensioni paragonabili alla loro distanza la legge di gravitazione con cui si attraggono è ancora la stessa ed è come se le loro masse fossero concentrate nei loro centri.

Per descrivere le orbite dei corpi celesti che possono essere ellittiche, paraboliche, iperboliche si avvale anche dello studio del trattato *Le coniche* di Apollonio.

L'assunzione della *Legge della gravitazione universale* suscita subito critiche da parte di molti filosofi della Natura, questo aspetto della legge verrà discusso nel prossimo paragrafo 4.6.

4.4 L'interpretazione dei fenomeni naturali

La Meccanica di Newton con la *struttura ipotetico-deduttiva* segna la nascita della Scienza Moderna. In seguito la Meccanica dopo il grande sviluppo del calcolo differenziale legato all'opera d'illustri matematici (Lagrange, Laplace, Poincaré, solo per citarne alcuni) si svilupperà sino a diventare una delle massime espressioni della Fisica moderna.

Il metodo di ricerca elaborato da Newton è caratterizzato da due elementi fondamentali: i) il primato degli esperimenti; ii) la formulazione matematica quale strumento privilegiato per la loro elaborazione. Nella proposizione dei modelli per la interpretazione dei fenomeni vanno esclusi quelli che non si possono ricondurre ai fatti reali e dall'altra parte la Matematica non può consistere in sterili formulazioni che non si possano applicare alla descrizione quantitativa dei fenomeni.

Nell'ambito della struttura concettuale newtoniana un grande numero di fenomeni descritti da leggi empiriche, senza alcuna apparente connessione tra loro sono ricondotti a tre *Principi* e alla *Legge della gravitazione universale*. Mai prima di allora un vasto insieme di fenomeni complessi avevano trovato un'unificazione e una razionale interpretazione.

Vediamo i fenomeni della Natura che la teoria fisica di Newton ha reso comprensibili e alcune delle applicazioni nell'astrodinamica e nell'ingegneria.

La dinamica dei corpi celesti, le leggi di Keplero

Cartesio, Bacone e Galilei non presero in nessuna considerazione le leggi *fenomenologiche* di Keplero che ai loro occhi dovevano apparire piuttosto *strane*. Galilei che apprezzava Keplero per la sua adesione al copernicanesimo giudicava le sue idee “*piuttosto a diminuzione della dottrina del Copernico che a stabilimento*”. Newton le mette sotto una nuova luce: le tre leggi di Keplero si spiegano come conseguenza del moto di un corpo che si muove nel vuoto soggetto ad una forza centrale la cui intensità varia con l'inverso del quadrato della distanza dal centro della forza.

Ogni pianeta tende ad assumere per inerzia un moto rettilineo uniforme; esso in dipendenza dalla velocità iniziale, può cadere sul Sole se la velocità è inferiore ad

un certo valore oppure se è elevata può descrivere una traiettoria ellittica/circolare, parabolica o addirittura iperbolica sfuggendo all'attrazione solare. Così le strane e trascurate leggi di Keplero si illuminano di un chiaro significato fisico ed esse si pongono all'attenzione della comunità scientifica solo dopo la loro interpretazione fisica esposta nei *Principia*.

Unificazione delle leggi del moto dei gravi con quello dei corpi celesti

Le leggi della meccanica di Newton non restano confinate nella descrizione dei moti planetari, ma consentono in generale di prevedere istante per istante la posizione e la velocità di un corpo quando siano note le condizioni iniziali del moto e la forza cui è sottoposto che può essere di natura qualsiasi.

Newton con una geniale intuizione comprende che la forza che fa cadere il grave verso il centro della Terra è della stessa natura di quella che tiene la Luna vincolata nell'orbita attorno alla Terra. La Luna è dotata al momento della sua formazione di una velocità così elevata cosicché cade continuamente senza mai toccare il suolo terrestre, cioè rimane in orbita.

Con la *legge della gravitazione universale* Newton perviene ad una delle più grandi generalizzazioni nella Storia della Fisica, un'unica legge rende comprensibili un vasto insieme di fenomeni. Cade il dogma della perfezione dei moti celesti ispirato dalle concezioni teologiche, contrapposti a quelli imperfetti sulla Terra.

Galilei aveva dimostrato (paragrafo 3.3) con il puro ragionamento, ricorrendo ad esperimenti mentali, che tutti i corpi dovevano cadere con la stessa velocità/accelerazione, aveva inoltre trovato la legge di proporzionalità diretta tra gli spazi percorsi e quadrati dei tempi di percorrenza. Newton assumendo che le stesse leggi valgano nei cieli e sulla Terra, dimostra matematicamente che tutti i gravi sulla superficie terrestre cadono con la stessa accelerazione a : basta semplicemente combinare l'equazione del *II Principio* con la *Legge della gravitazione*: $a = F/m = G (m M)/(m r^2) = G M/r^2$, dove G è la costante di gravitazione universale; M ed r massa e raggio della Terra sono costanti.

Il moto delle comete

Per Newton le comete sono corpi celesti che si muovono nello spazio cosmico, descrivendo orbite ellittiche, paraboliche o iperboliche dove il Sole occupa uno dei fuochi. Indipendentemente dalle loro dimensioni e dalla materia di cui sono fatte (ghiaccio e polvere attorno ad un nucleo roccioso) seguono le stesse leggi kepleriane dei pianeti. Se le orbite sono ellittiche le comete appaiono con periodi più o meno lunghi in dipendenza della loro ellitticità; se le orbite sono paraboliche o iperboliche, possono essere osservate una sola volta perché dopo la loro apparizione lasciano per sempre il sistema Solare.

Poiché una cometa che ritorna non può essere riconosciuta dalla sua forma e dimensione, dato che nei ripetuti passaggi attorno al Sole gli strati di ghiaccio si dissolvono, Newton per la sua identificazione ricorre allo studio delle caratteristiche



Gaetano Cannelli

Il Metodo scientifico per la conoscenza delle leggi della Natura

Interrogativi esistenziali dell'*Homo sapiens*

Gli *Elementi* di Euclide hanno influenzato lo sviluppo del pensiero filosofico e scientifico occidentale: Hobbes, Cartesio, Locke, Spinoza nei loro sistemi filosofici prendono a modello la geometria di Euclide avente una struttura assiomatico-deduttiva fondata su cinque *Postulati*, dalla quale possono essere derivate tutte le proprietà delle figure geometriche.

La Scienza Moderna, con *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* di Newton, presenta una struttura concettuale ipotetico-deduttiva fondata su tre *Principi* che hanno lo stesso ruolo degli assiomi/postulati della geometria: un grande numero di fenomeni (celesti e terrestri) hanno trovato un'unificazione e una razionale interpretazione.

Le scoperte del '900 sono interpretabili nell'ambito di rivoluzionarie teorie: la Teoria della Relatività, la Meccanica Quantistica e la Genetica. La struttura della macromolecola del DNA segna una seconda rivoluzione scientifica: un aggregato olistico ordinato di atomi, l'*Homo sapiens*, si manifesta come la sorgente del pensiero creativo in tutte le sue sublimi manifestazioni. La nostra conoscenza della Natura va dallo spazio immenso all'infinitamente piccolo ma è rimasto un interrogativo esistenziale: non sappiamo spiegare il perché della *sofferenza* del vivere e dell'esistenza del *male*.



€ 26,00

