

Isaac Newton

Isaac Newton fu un uomo spigoloso ed intransigente, la cui capacità intellettuale fu tuttavia una delle maggiori di quelle che mai si furono applicate ai problemi della filosofia naturale. Se Galileo ebbe il grande merito di introdurre il metodo nel pensiero scientifico moderno e si trovò al centro di una tragica controversia con il potere ecclesiastico, Newton visse la sua maturità in una liberalissima Inghilterra anglicana, ove nelle taverne si discuteva di politica senza tema di repressione ed il potere dello Stato pontificio era ovviamente molto minore che in Toscana. Lo scienziato applicò la sua stupefacente e innata abilità in molti campi ed a lui è dovuto uno strumento concettuale potentissimi: il calcolo infinitesimale.

La vita di Newton (1642-1727) si svolse in un'Inghilterra in pieno fermento intellettuale e politico, in particolare nell'anno di nascita dello scienziato erano in corso aspre battaglie tra il re Carlo I Stuart ed i parlamentari puritani guidati da Oliver Cromwell che si conclusero nel 1648 con la vittoria di questi ultimi e l'inizio della dittatura di Cromwell, in cui si ebbero epurazioni dei cattolici irlandesi e scozzesi e nacquero molte sette di ispirazione calvinista. Alla morte di Cromwell tuttavia venne riportata sul trono la dinastia degli Stuart che regnò dal 1660 al 1688 con Carlo II e Giacomo II. Dal 1689 in poi il potere parlamentare si rafforzò e l'Inghilterra entrò in un periodo di prosperità economica e di libertà culturale.

Isaac Newton nacque a Woolsthorpe, nel Lincolnshire il 25 dicembre 1642, da una famiglia di proprietari terrieri e non conobbe mai il padre morto combattendo per il re Carlo I. Giovanotto timido e riservato ebbe un rapporto travagliato con la madre la quale alternava periodi di completo abbandono del figlio con altri di attenzioni continue; il giovane Isaac sviluppò pertanto un carattere difficile e nella sua vita fu tormentato da numerosi periodi di profonda depressione e di gravi complessi di inferiorità che lo rendevano estremamente sospettoso con chiunque gli stesse intorno. In particolare la madre si risposò con un uomo molto più anziano di lei e se andò a vivere senza il piccolo quando questi aveva un paio d'anni, lasciandolo alle cure della nonna. Il bambino aveva sviluppato un forte attaccamento alla religione, anche grazie alla figura dello zio pastore anglicano e la fede risultò essere un punto fermo di grande importanza per tutta la vita del tormentato studioso, il quale si immerse, specie negli ultimi anni di vita in analisi "scientifiche" dei testi sacri per cercarvi le verità nascoste. Il giovane compì molto in fretta gli studi secondari e giunse nel 1661 presso il Trinity College che già allora godeva di una grande reputazione in tutta l'Inghilterra.

Il giovane dovette tuttavia abbandonare Cambridge per la famosa pestilenza del 1665 e rifugiarsi in campagna si trovò libero di meditare sulle questioni naturali e diede alla luce in questo periodo gran parte delle sue scoperte più brillanti. Newton entrò ben presto nel corpo docente dell'università di Cambridge ed ebbe una carriera a dir poco fulminante e nel 1672 il fisico neppure trentenne venne nominato membro della Royal Society di Londra dal re Carlo II e questa era un'onorificenza grandissima anche se poi egli rassegnò ben presto le sue dimissioni proponendosi di non pubblicare più le sue ricerche. Prima di rassegnare le dimissioni fece però in tempo a pubblicare l'opera immortale *Philosophiæ naturalis principia mathematica*.

Intanto divenne un importante professore universitario a Cambridge ed in questi anni egli sviluppò e mise in forma sistematica i fondamentali risultati che aveva conseguito nella giovinezza, dai 23 ai 25 anni, ma non pubblicò nulla. Giunto a 50 anni, nel 1689 egli divenne dapprima deputato, poi nel 1696 divenne ispettore e successivamente direttore generale della Zecca e si trasferì in veste di alto funzionario a Londra, ove diventò sir e divenne sempre più ricco e coperto di onori. Morì il 20 marzo 1727 ed il suo funerale, a cui assistette anche Voltaire, si svolse in pompa magna ed Isaac Newton fu inumato nella cattedrale di Westminster accanto alle dei grandi d'Inghilterra.

LA MECCANICA

Regulae philosophandi

Gli interessi scientifici del giovane Newton si rivolsero dapprima all'ottica ed in particolare alla parte sperimentale per la quale aveva particolare disposizione inventiva ed abilità tecnica. Dall'ottica passò gradatamente allo studio della meccanica, mentre con gli anni si affievoliva il suo gusto per la sperimentazione

e parallelamente ingigantiva la sua passione per i problemi teorici. Galileo ed Huygens avevano sviluppato la meccanica dei corpi alla superficie della Terra; l'opera di Newton se ne differenzia per la generalizzazione del principio d'inerzia e del concetto di forza, per il ruolo fondamentale attribuito alla massa nei processi meccanici, per l'estensione della validità delle leggi meccaniche a tutto l'universo.

Quest'ultima estensione, che ridà al mondo l'unità e la continuità già spezzate dalla meccanica aristotelica, è giustificata da Newton con alcune *regulae philosophandi*: 1) Non ammettere altre cause dei fenomeni oltre che quelle che bastano per spiegarli; 2) riferire sempre alla stessa causa gli effetti analoghi, per esempio la luce del fuoco di cucina e la luce del Sole devono operare allo stesso modo; 3) estendere a tutti i corpi quelle qualità che noi riscontriamo, senza aumento o diminuzione, su ogni corpo sul quale possiamo sperimentare, è questo il processo newtoniano d'induzione, che consente per esempio di concludere sull'impenetrabilità e l'estensione di tutti i corpi, sebbene se ne possa fare esperimento soltanto su alcuni; 4) ritenere valida ogni proposizione ottenuta dall'esperienza per induzione, finché non si scoprano altri fenomeni che la limitino o la contraddicano. Una quinta regola, essenzialmente filosofica e rimasta manoscritta, estende la quarta: essa contrappone all'innatismo cartesiano l'empirismo del filosofo suo amico John Locke, è così formulata: "E' da ritenersi **ipotesi** tutto ciò che non deriva dalle cose stesse o attraverso i sensi esterni o attraverso la sensazione dei pensieri. Certamente io sento che penso, il che non potrebbe avvenire se contemporaneamente non sentissi che sono. Ma io non sento che alcuna idea sia innata"

La terza regola consente a Newton di formulare la legge di gravitazione universale: se tutti i corpi gravitano verso la Terra e il mare gravita verso la Luna e i pianeti gravitano verso il Sole, noi possiamo concludere che tutti i corpi gravitano l'uno verso l'altro. Nell'enunciare la legge Newton non intende assegnare la causa della gravitazione. "Io non ho potuto dedurre dai fenomeni la ragione della proprietà della gravitazione e non invento ipotesi (*hypotheses non fingo*). Infatti tutto ciò che non si deduce dai fenomeni si deve chiamare ipotesi, e le ipotesi, sia metafisiche che fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche, non trovano posto nella filosofia sperimentale perché in questa filosofia le proposizioni si deducono dai fenomeni e si generalizzano per induzione. Queste affermazioni assumono un valore polemico verso i cartesiani. Newton contrappone alla "fisica delle ipotesi" di Cartesio, la "fisica dei principi". L'avversione dello scienziato verso la fisica cartesiana andò aumentando col tempo, radicandosi progressivamente in Newton la convinzione che le ipotesi cartesiane erano finzioni, senza alcuna giustificazione sperimentale, alle quali bisognava sostituire i più certi "principi". Ma in realtà i principi sono generalizzazioni essenzialmente arbitrarie dei fatti d'esperienza che non si possono nettamente separare dalle ipotesi. Nessuna meraviglia quindi che anche Newton, nonostante la professione di fede, ricorrerà per la sua costruzione ad enti astratti. Nel suo complesso però la sua opera è forse il più compiuto modello che abbia mai avuto la fisica di armonica fusione di fatti sperimentali e considerazioni teoriche. Ricordiamo il famoso epitaffio di Alexander Pope a Newton: "La natura e le leggi della natura giacevano celate nella notte. Dio disse: sia Newton e tutto fu luce"

La sperimentazione ottica di Newton fu geniale ed estesa, la sperimentazione meccanica, molto limitata e rivolta alla verifica di fatti noti. In meccanica il genio di Newton soprattutto rifulse nel coordinamento del lavoro degli altri e nella generalizzazione di leggi già conosciute in casi particolari.

LA MASSA

Le prime pagine dei *Principia* contengono i concetti fondamentali, l'assiomatica della meccanica classica. Il concetto di massa, introdotto nella prima definizione, non è un concetto originale di Newton. Esso è maturato lentamente attraverso intere generazioni. Se ne trova traccia nei *Problemi meccanici*, opera spuria attribuita ad **Aristotele**, quando si dice che ogni corpo pesante oppone resistenza non solo quando è spinto in su, ma anche quando è mosso in qualunque direzione. Egli dunque sa che qualche cosa, collegata col peso dei corpi, influisce sul loro moto in qualunque direzione.

Con la scoperta delle **polarità magnetiche** e delle azioni reciproche tra magneti, il **Medioevo** suggerì ai riformatori dell'astronomia di assimilare la gravità ad un'azione magnetica. Già Copernico riteneva il peso una "tendenza naturale" di tutte le parti del mondo "d'unirsi sotto forma sferica". Keplero attribuisce ai corpi celesti una *prensatio o vis prensandi* (*prensio= attiro*), esplicitamente paragonata all'attrazione magnetica. Egli distingue la quantità di materia (chiamata "peso") e la *prensatio*. "Per peso è da considerare quella naturale e

materiale riluttanza ossia inerzia, ad abbandonare il proprio luogo, una volta occupato, che strappa il pianeta dal Sole in modo da non seguire quella forza attrattiva", In sostanza per Keplero la massa (non distinta dal peso) è in sostanza definita come la sua inerzia o la misura della sua inerzia. In seguito si cominciò a distinguere tra peso e massa, la fisica prenewtoniana aveva intuito, sia pure talora confusamente e limitatamente a casi particolari, che è **insita nei corpi "qualche cosa"** (chiamata ora inerzia, ora quantità di materia, ora gravità, ora corpo) **proporzionale al peso e che a che fare col moto.**

Merito grande di Newton è di aver saputo dare organicità all'abbondante materiale raccolto dai predecessori, riconducendo tutti i casi particolari sotto un unico concetto generale: il concetto di massa. I *Principia* si aprono proprio con la definizione di massa che suona: "**La quantità di materia è la misura della medesima ottenuta congiuntamente dalla sua densità e dal suo volume**". Questa definizione newtoniana di massa fece scorrere fiumi di inchiostro. La prima cosa che si nota è il circolo vizioso della definizione: si definisce la quantità di materia mediante la densità mentre la densità non si saprebbe definire altrimenti che come la quantità di materia per unità di volume. In realtà Newton non cadde in questo circolo vizioso perché in seguito parla di densità senza darne la definizione, come se la densità fosse per lui un concetto primitivo, più intuitivo del concetto di massa. La definizione newtoniana di quantità di materia è certamente difettosa, e tuttavia questa manchevolezza non impedì di essere posta alla base del più grande, del più organico e coerente trattato di meccanica che sia stato mai scritto.

LA FORZA

Già Keplero aveva il concetto di forza come causa di moto. Ma misurava la forza dalla velocità. In Galileo la forza era equivalente al peso ma, superando molto Keplero, egli misurava la forza dall'accelerazione impressa. Forse Newton non ebbe subito questa chiara intuizione, perché la quarta definizione dei *Principia* dice: "**La forza impressa è l'azione esercitata nel corpo per mutare il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.** Questa forza consiste in un'azione sola e non rimane nel corpo dopo l'azione. Infatti il corpo persevera in ogni suo nuovo stato per la sola forza d'inerzia. La forza poi ha diverse origini, come da urto, da pressione, da forza centripeta". Nell'ottava definizione si dice che la quantità motrice della forza si misura dalla velocità prodotta in un tempo dato, cioè secondo la nostra terminologia, dall'accelerazione. **E' dunque questa quantità motrice che noi chiamiamo forza applicata e nel caso della caduta dei gravi la identifichiamo col peso. Forza e massa sono per lui concetti indipendenti**, e tali rimarranno fino al 1845, quando Jean- Marie- Constant Duhamel nel suo *Cours de mécanique* introdurrà il metodo divenuto tradizionale, che definisce la massa come il rapporto tra la forza applicata al corpo e l'accelerazione da esso assunta.

TEMPO E SPAZIO

Dopo le prime otto definizioni vengono postulati il **tempo assoluto** e lo **spazio assoluto**, enti metafisici sui quali, secondo Newton, si costruì tutta la fisica fino al XIX secolo. "Il **tempo assoluto** vero e matematico in sé e per sua natura, senza relazione e nulla di estraneo, fluisce uniformemente e con un altro nome si chiama durata. Il **tempo relativo**, apparente e volgare è la misura sensibile ed esterna di una parte qualunque della durata, eguale o ineguale, che volgarmente si usa al posto del tempo vero: come l'ora, il giorno, il mese, l'anno. Lo **spazio assoluto**, per sua natura senza relazione a nulla di estraneo, rimane sempre simile ed immobile. Lo **spazio relativo** è la misura o la dimensione mobile di questo spazio assoluto, la quale cade sotto i nostri sensi per la sua relazione con i corpi, e dal volgo è confusa con lo spazio immobile.... E' possibile che nessun moto sia uniforme, col quale si possa misurare esattamente il tempo. Tutti i moti possono essere accelerati o ritardati, ma il flusso del tempo assoluto non può essere mutato. Tutte le cose dell'universo si collocano nel tempo, quanto all'ordine di successione, nello spazio quanto all'ordine della collocazione. E' questo che determina la loro essenza; ed è assurdo che i luoghi primari si possano muovere. Essi sono dunque luoghi assoluti, e le traslazioni da tali luoghi sono assolute. Il moto vero non si può generare, né mutare se non per mezzo delle forze applicate allo stesso corpo; mentre il moto relativo può essere generato e mutato senza che mutino le forze applicate a questo corpo". Per Newton

dunque la forza è un ente primitivo , irriducibile allo spazio e al tempo. Relativi sono i moti rettilinei uniformi, mentre è convinto che esistano moti assoluti. Certo è che mentre Newton dice di voler fondare la sua filosofia sull'osservazione e l'esperimento, pone poi a base della sua costruzione uno spazio ed un tempo assoluti, enti astratti, completamente sottratti alla nostra percezione sensibile.

LE LEGGI DEL MOTO

Alle definizioni seguono le tre leggi del moto: d'inerzia, di proporzionalità tra forza ed accelerazione, di azione e reazione. Newton riconosce che le tre leggi non gli appartengono, anche per la terza legge, che gli storici comunemente gli attribuiscono per intero, nonostante la sua esplicita ammissione, lo scienziato indica i suoi predecessori (Wren e Mariotte) ai quali avrebbe dovuto aggiungere Cartesio e Leonardo da Vinci. E tuttavia egli dette alle leggi formulazioni precise e generali , ancora resistenti all'usura dei secoli, e ne fece il fondamento assiomatico della nuova meccanica. I *Principia* continuano trattazioni sul moto centripeto, sul moto dei fluidi, sull'acustica, sulla confutazione dei vortici cartesiani, sul sistema del mondo.

Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme , eccetto che sia costretto a quello stato da forze impresse

E' il principio di inerzia. Newton attribuì la nascita di questo principio a **Galilei**: che invece, a detta degli storici, lo avrebbe enunciato in forme parziali e anche devianti affermando la perpetuità del moto circolare attorno alla Terra "*Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto circolare uniforme finchè intervenga una forza a modificare tale stato*". Galilei non aveva leggi matematiche affidabili in astronomia, là dove c'era la più grande tradizione scientifica; d'altra parte nella teoria più recente, quella del moto , egli aveva accumulato solo le leggi del moto di corpi che di corpi soggetti alla gravità (piano inclinato, pendolo, ecc) il che è molto poco per generalizzare ad altre situazioni o per abbozzare una teoria sistematica. Nonostante ciò egli si è sforzato di giungere ad affermazioni generali, di principio. Certo è che Galilei si avvicina molto al concetto d'inerzia; egli dice che se un proiettile di cannone in moto non fosse deviato dalla gravità andrebbe in moto rettilineo infinito...".....lungo un piano orizzontale il moto è uniforme perché non subisce né accelerazione , né ritardo.....e ogni velocità, una volta impressa ad un corpo in moto, sarà strettamente mantenuta fino a che le cause esterne dell'accelerazione o del ritardo siano rimosse, una condizione che è data (sperimentalmente) solo sul piano orizzontale....." Ma egli aggiunge che tutto questo è valido solo sulla superficie terrestre, nell'astronomia egli è contrario a pensare ad un moto rettilineo infinito, perché altrimenti ci sarebbe disordine nell'universo.

Cartesio ammette il principio d'inerzia, sia come conservazione della velocità iniziale, sia come conservazione della direzione rettilinea del moto (se non intervengono cause perturbatrici) generalizzando dal moto terrestre ad ogni altro moto dello spazio. **Il principio cartesiano venne scritto su *Le Monde* e pubblicato nel 1644.** Per lui era l'espressione dell'intervento iniziale di Dio sul mondo, tale da mantenere delle quantità conservate in eterno. Per Newton invece il principio è l'espressione della mancanza di forze.

La concezione ora delineata della natura, rientra in un grande indirizzo filosofico-scientifico:l'indirizzo meccanicistico. Per quanto riguarda il meccanicismo di Cartesio, basti per ora sottolineare che esso costituiva l'altra faccia del suo spiritualismo.

Volendo ora scendere a considerazioni più propriamente scientifiche, diciamo che la fisica cartesiana si basava essenzialmente su due principi: 1) inesistenza del vuoto; 2) la costanza della quantità di moto.

Nella **fisica cartesiana** tutti i fenomeni si spiegano per mezzo del movimento. Questo sarebbe caratterizzato dalla "**quantità di moto**", ossia dal prodotto della massa del corpo in movimento per la sua velocità (mv). Per Cartesio i corpi però possono urtarsi, e cioè entrare in contatto uno con l'altro, **modificando ciascuno il proprio stato di moto**; tale modificazione consisterà nel fatto che **uno dei due cede all'altro, in tutto o in parte, la quantità di moto di cui era precedentemente provvisto**. Esiste tuttavia qualcosa che permane immutato in questa variazione: è la **somma delle quantità di moto dei due corpi che si sono urtati**, cioè la quantità di moto risultante del loro sistema. Partendo da questo risultato, che secondo il punto di

vista odierno è esatto, quando e solo quando venga applicato a un sistema di masse unicamente soggette alla forza che esercitano una sull'altra, il nostro autore giunge ad affermare che in tutte le innumerevoli trasformazioni dell'universo, la sua quantità di moto complessiva resta costante.

Partendo da tale principio Cartesio formulò la sua famosa **teoria dei vortici**. Come una pagliuzza che galleggi sull'acqua è attirata da un vortice formatosi nella corrente, così una pietra è attirata dalla Terra da un vortice. Analogamente i pianeti (inclusa la Terra) roteano, con i vortici che li circondano, in un vortice più grande attorno al Sole.

Newton dimostrerà matematicamente che la teoria dei vortici non regge. Essa rappresentò tuttavia una tappa fondamentale nella storia del pensiero scientifico: un'ipotesi ardita, che tentava di unificare in una sola macchina tutti i processi dell'universo. Come tale esercitò un grande fascino su tutti gli spiriti dell'epoca, finché non fu sostituita dalla ben più solida teoria della gravitazione universale.

Infine c'è da aggiungere che **Newton** introdusse sin dal primo principio il **concetto di forza**, concetto che Leibniz, Lagrange e tanti altri non esitarono a definire "metafisico", e che **Galilei** non volle mai utilizzare, anche se talvolta discusse delle cause dei fenomeni. Si potrebbe affermare la legge d'inerzia ristretta di Galilei, relativa ai corpi pesanti sulla superficie terrestre, era in un certo senso, tutto quello che era necessario o giustificabile nella fisica fino al tempo in cui Newton scoprì la legge della gravitazione universale. Ogni speculazione da parte di Galileo sul comportamento dei corpi nello spazio interstellare, al suo tempo sarebbe stata essenzialmente metafisica.

1. *Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa, ed avviene lungo la linea retta seconda la quale la forza è stata impressa*

$$F = k a$$

Non c'è ancora il concetto di massa ma compare la variazione della velocità, cioè l'accelerazione

2. *Ad ogni azione corrisponde una reazione eguale e contraria: ossia le azioni di due corpi sono sempre uguali tra loro e dirette verso parti opposte*

Newton **non dimostra che le tre leggi sono vere** ma le presenta al lettore come se fossero assiomi riconoscendo che Galileo conosceva le prime due leggi che usò per ricavare la legge della caduta dei gravi e la legge dei moti parabolici del proiettile.

L'ACCOGLIENZA RICEVUTA DAI *Principia*

Comparsi i *Principia*, profondo e difficile trattato, l'ambiente scientifico ebbe subito la sensazione di trovarsi di fronte ad una grande opera, **tanto difficile che anche i matematici di professione riuscivano a leggere con grande pena**. Alcuni concetti fondamentali, in primo luogo quello di attrazione incontravano forti ostilità. **Leibniz** e i **cartesiani** criticarono il concetto di attrazione considerandola un ritorno alle qualità occulte degli scolastici. La **gravitazione rimase, in effetti, fino ad Einstein un dogma della scienza, uno dei tanti fenomeni incomprensibili**, come diceva Mach. Lo stesso Newton trovava assurda un'azione a distanza, senza la mediazione di un agente, ma egli si rifiutò sempre di prendere pubblicamente posizione sulla natura della forza di gravità. Secondo una nota di David Gregory, Newton aveva indicato come Dio come mediatore dell'azione a distanza, ipotesi completamente teologica. **Buona parte degli scienziati inglesi divennero ben presto ferventi newtoniani, sul continente europeo invece la polemica antinewtoniana fu viva e s'intrecciò con la grande contesa** tra Newton e Leibniz circa la priorità della scoperta di **calcolo infinitesimale**. Huygens riconobbe con esemplare lealtà i grandi meriti di Newton, dal quale tuttavia lo dividevano non poche divergenze di vedute. In definitiva per oltre un cinquantennio dopo la pubblicazione dei

Principia, le scuole del continente europeo continuarono ad insegnare la fisica cartesiana che oltre ad essere di più facile intuizione, richiedeva minor mezzi matematici. La visione newtoniana del mondo s'impose per la sua fecondità operativa, che affascinò gli illuministi, i veri banditori del newtonianismo. Nella seconda metà del Settecento divenne di moda ritenere gli scienziati progressisti se newtoniani e, conservatori se cartesiani.

L'OTTICA

L'ETERE

Da una lettera scritta a Robert Boyle nel 1678. Al centro del documento sta il **concetto di etere** : " lo suppongo - scrive Newton - che vi sia diffusa ovunque una sostanza eterea, capace di contrarsi e di dilatarsi, fortemente elastica e del tutto simile all'aria da ogni punto di vista, pur essendo molto più sottile di essa" L'etere è presente anche all'interno dei corpi e nei pori di questi è meno denso che nello spazio vuoto. Alla variazione di densità Newton attribuisce il compito di operare come causa dei fenomeni tra loro molto diversi. Sembra che i **fenomeni considerati dall'ottica e dalla chimica siano in ultima istanza prodotti dal comportamento di corpuscoli in quell'etere**. Concludendo la lettera, Newton entra anche nel merito della gravitazione, descrivendo la causa della gravità sostenendo che l'etere sia sempre più sottile scendendo dalla cima dell'aria sino al centro della Terra, la variazione di densità dell'etere dovrebbe spiegare il comportamento di un corpo sospeso a una certa altezza o collocato sulla superficie della Terra. Comunque, termina Newton, si tratta di pure ipotesi, quasi fantasie non suffragate dai fatti

IL TELESCOPIO

Tra il 1665 e il 1666 Newton attraversò un periodo di notevolissima produttività scientifica caratterizzato da tre linee di ricerca. Durante il 1665 vi fu un prevalente interesse per la matematica, nei primi mesi dell'anno successivo egli elaborò un primo schema di calcolo delle flussioni e pose le basi per una spiegazione della teoria dei colori. Nello stesso tempo Newton iniziò a riflettere sulla possibilità di unificare la fisica di Galileo e le leggi di Keplero sui moti planetari attraverso una legge di gravitazione.

Riportiamo una parte delle sue riflessioni sulla luce e sull'origine dei colori.

Il presupposto da cui Newton parte è sbagliato, secondo lui, nel campo della strumentazione ottica, la dispersione era proporzionale alla rifrangenza non avendo capito che il potere dispersivo dipendeva dalla qualità dei vetri. Secondo Newton, essendo la luce consistente di raggi differentemente rifrangibili, in una lente a un punto-oggetto non corrisponde un punto-immagine, c'è un fuoco leggermente differente per ogni colore dell'iride e quindi vani sarebbero stati gli sforzi di migliorare la lavorazione delle lenti per aumentare la prestazione del cannocchiale, concludendo che era impossibile ridurre o controllare l'aberrazione cromatica delle lenti ed eliminare le colorazioni che disturbavano l'osservazione telescopica. Egli fu pertanto stimolato a studiare la possibilità di usare strumenti basati su **riflettori a specchio o telescopi**, come preferiva dire.

LUCE E COLORI

Per quanto riguarda la natura della luce ed i colori, Newton, come prima cosa, condanna le precedenti teorie, ed in particolare taccia i peripatetici di superficialità, ritenendo i loro discorsi assurdi e ridicoli. Essi infatti giudicavano la luce una qualità o una forma dell'essere luminoso senza occuparsi minimamente delle sue cause o in che modo subisca dei mutamenti per produrre i vari colori. Aristotele dice: "Colore è l'estremità visibile di un corpo determinato". Ma questa è la definizione della superficie colorata piuttosto che del colore, dice Newton. Quella infatti può essere definita estremità visibile in un corpo determinato, il colore invece spesso si vede anche là dove non esiste tale estremità, per esempio nel prisma, nel vetro e nei liquidi trasparenti.

Tra le ricerche fondamentali di Cartesio, c'è anche la scoperta delle leggi della rifrazione della luce. Con queste e con le leggi della riflessione egli riuscì, poi, a dare una spiegazione scientifica esatta del fenomeno dell'arcobaleno, eliminando la vecchia teoria dei vapori.

Cartesio opera una **netta distinzione fra sensazioni e gli oggetti che la provocano**: la durezza, il calore, i sapori, la luce e i colori sono qualità soggettive, la luce non è una sostanza e i colori non sono delle caratteristiche delle particelle in movimento. Secondo Descartes la sensazione del colore si origina dalla **diversa rotazione conferita alle particelle di luce dal fenomeno della rifrazione, per cui l'occhio subisce una pressione diversificata: una maggiore rotazione delle provoca la sensazione del rosso, mentre la sensazione del blu è data da una pressione minore.**

In effetti Cartesio elaborò tre modelli contraddittori della luce: 1) la luce è composta da particelle in movimento, come palle da tennis; 2) la luce è una specie di fluido che passa attraverso i pori di un mezzo; 3) la luce è costituita da onde che esercitano pressione su un mezzo elastico che pervade tutto. Quest'ultimo è chiaramente ispirato alla presunta analogia tra la propagazione della luce e quella del suono nei mezzi fluidi; purtroppo l'assunzione di questa analogia durò a lungo e sviò diversi scienziati.

Più in generale i colori sono dovuti al diverso modo con cui i corpi ricevono la luce e la riflettono agli occhi di chi la vede. Tutte le percezioni sono dovute a "corpuscoli" che colpiscono i sensi che a loro volta inviano informazioni all'epifisi.

Per quello che riguarda le teorie degli altri filosofi, si è sostenuto che i colori sono dovuti al mescolarsi di luce e di ombra in varie proporzioni, oppure alle varie proporzioni, oppure alle varie posizioni assunte dal bulbo oculare o alle varie pressioni che si esercitano su di esso, oppure ancora dal diverso modo con cui può vibrare la sostanza eterea interposta tra noi e l'oggetto. Tutte queste teorie sono accomunate da un unico errore di fondo: partono tutte dal principio che le modificazioni della luce, che generano i vari colori, non sono connaturate ad essa, ma sono dovute a fenomeni di rifrazione e di riflessione. Tra i raggi luminosi non esisterebbe alcuna differenza, prima che essi siano incidenti su un corpo colorato: si può solo pensare che, a seconda della predisposizione di tale corpo, vengano riflessi o rifratti in un modo o nell'altro e, a seconda del tipo di modificazione che subiscono, assumano per l'osservatore una colorazione o un'altra. Newton invece precisa subito che per lui le cose stanno esattamente al contrario, cioè i colori sono connaturati alla luce stessa e non nascono né dalla riflessione né dalla rifrazione né da qualità dei corpi o quant'altro, e non subiscono in alcun modo l'influenza di fattori esterni.

E per spiegare dice che a raggi che hanno diverso potere di rifrazione corrispondono colori diversi: ai raggi che hanno il più alto potere di rifrazione corrisponde il color porpora ovvero il viola, a quelli che hanno il minor potere di rifrazione corrisponde il rosso, a quelli intermedi il colore verde e tra il porpora e il verde sta l'azzurro, il giallo tra il verde e il rosso. Quindi a seconda del crescere del loro potere di rifrazione i raggi generano nell'ordine i seguenti colori: rosso, giallo, verde, azzurro, violetto, con tutti i gradi intermedi. Ogni raggio conserva sempre e soltanto quell'unico colore che è suo per natura purché non si mescoli a raggi di altro tipo. Infatti i colori che sembrano creati dalla rifrazione in realtà sono dovuti semplicemente a mescolanza di raggi di tipo diverso o a separazione dei singoli tipi di raggi dagli altri con i quali sono mescolati.

Dice poi che il bianco e il **nero** sono costituiti dalla mescolanza di tutti gli altri tipi di raggi e allo stesso modo tutti gli altri colori che non sono primari derivano dalla varia mescolanza di raggi di tipo diverso.

I colori di tutti i corpi sono generati da una certa predisposizione per cui sono adatti a riflettere alcuni raggi e ad assorbirne altri. Così un corpo rosso è tale perché riflette soprattutto i raggi tendenti al rosso.

LA TEORIA CORPUSCOLARE DELLA LUCE

Nei primi anni della sua carriera scientifica **Newton** sembrava incline verso una teoria ondulatoria della luce. Nella risposta del 1672 alle critiche di Hooke egli dice: "Le più ampie vibrazioni dell'etere danno una sensazione di colore rosso, le minime e più corte di un violetto cupo, e le intermedie di un colore intermedio". Le vibrazioni dell'etere provocate dall'urto delle particelle luminifere contro le superfici rifrangenti e riflettenti,

arrivano all'occhio e producono la sensazione del colore. La luce ha sempre costituzione granulare , ma le pulsazioni dell'etere hanno il ruolo fondamentale nella percezione visiva.

Ma le successive meditazioni, invece di avvicinarlo alla concezione vibratoria, lo allontanarono sempre di più , sino a farlo diventare **uno dei più deciso oppositori della teoria ondulatoria**. La ragione fondamentale è secondo lui l'incompatibilità tra la propagazione rettilinea e per onde. Si suole rimproverare a Newton di non aver capito che i fenomeni già visti di diffrazione erano testimonianza dell'inflessione della luce. Egli arriva ad affermare che i raggi di luce sono piccolissimi corpuscoli lanciati da corpi luminosi e con questa ipotesi si spiega la propagazione rettilinea della luce, la riflessione, la rifrazione, la riflessione totale. A spiegare la diversa rifrangibilità, basta supporre i corpuscoli di differente grandezza: i più grandi sono più difficilmente deviati dal loro cammino rettilineo e quando colpiscono il fondo dell'occhio danno la sensazione di rosso.

Per spiegare gli altri fenomeni della luce la teoria newtoniana della luce diventa complessa e macchinosa, talvolta oscura e contraddittoria, corpuscolare ed ondulatoria insieme: se mai fosse vero che nella meccanica Newton non finse ipotesi, nell'ottica si è rifatto molto bene. Ma forse oscurità e pentimento tradiscono una grande intuizione: la duplice natura della luce.

Lo stato di disagio di Newton si ripeterà nel 1923, in **Louis De Broglie**, al quale apparivano in insufficienti tanto la teoria fotonica quanto la teoria elettromagnetica della luce- versioni del XX secolo rispettivamente della teoria corpuscolare e della teoria ondulatoria- onde però egli sperò di riunire in una teoria sintetica, la **meccanica ondulatoria**, sia l'aspetto corpuscolare che quello ondulatorio.

MICROCOSMO E COSMOGONIA

Non a molti è noto che Newton s'era dedicato fin dalla prima giovinezza agli **studi e agli esperimenti chimici**, che continuò praticamente per tutta la vita. Nel catalogo della sua libreria sono citati un centinaio di libri di chimica e di alchimia, e ci sono pervenuti almeno un migliaio di pagine di suoi manoscritti d'argomento chimico, ancora purtroppo solo in minima parte pubblicati o soltanto esplorati.

Il grande interesse e il molto tempo speso per la sperimentazione chimica lo portarono a porsi problemi teorici fondamentali: come si possono spiegare la compattezza dei solidi, la loro coesione ed adesione, le soluzioni, le reazioni chimiche? Molti fenomeni suggeriscono la costituzione granulare della materia, con particelle "solide, dure ed impenetrabili" che " giammai si consumano o si rompono". Queste particelle possono essere tenute insieme da forze d'attrazione mutua, analoghe alla forza gravitazionale e non ancora poste sperimentalmente in evidenza, perché non si estendono a distanze sensibili: è introdotto così in chimica il concetto d'affinità. Si discute da tempo sui rapporti tra queste indagini newtoniane e la tradizione di studi legata all'alchimia. E' certo che Newton prese in esame testi alchemici e studiò van Helmont e George Starkey. Almeno una decima parte dei libri della sua biblioteca era costituita da libri di alchimia, e si sa che egli fece esperimenti e stese appunti relativi a problemi caratteristici della cultura alchemica. Non fu immune, insomma, da influenze culturali le cui origini vanno trovate nella **tradizione ermetica**, nei sogni di chi privilegiava il desiderio di mutare gli elementi rispetto al fascino di spiegare i fenomeni osservabili. Non si può tuttavia sottovalutare un altro tipo di influenza che si esercitò sulla formazione intellettuale di Newton: l'influenza della chimica di Boyle che condizionò gli interessi alchemici newtoniani, nel senso che Newton, pur ritenendo, non a torto, che la tradizione alchemica potesse insegnare qualcosa di serio, affrontò quella tradizione con programmi di ricerca che non si limitavano a proseguire lungo le vie misticheggianti già tracciate nel passato e volutamente descritte con linguaggi allusivi e fuorvianti, ma che tendevano a ricostruire in forme controllabili le eventuali conoscenze che chi aveva percorso quelle vie poteva avere acquisite. Non esiste insomma un salto brusco tra gli argomenti newtoniani sull'alchimia e la rigorosa geometrizzazione della meccanica che sta al cuore dei Principia. Esiste invece una rete complessa di rapporti che una lettura dell'*Ottica* può almeno in parte contribuire ad illuminare

Si tratta di un nuovo tipo di forza che Newton chiama costantemente "attrazione" per distinguerlo dalla forza di gravità.

Come in algebra le quantità negative cominciano quando finiscono le positive, così in meccanica la forza repulsiva deve apparire quando l'attrazione viene a cessare. Che esista tale virtù repulsiva appare dalla

riflessione, dalla diffrazione, dall'emissione della luce. L'inerzia è un principio passivo, che non produce alcun movimento nel mondo, la gravità, l'attrazione, la repulsione sono invece i principi attivi, senza i quali non esisterebbe né corruzione né generazione, né vita, né i pianeti.

A questo punto Newton s'abbandona al suo **romanzo cosmologico, impregnato di grande misticismo**. In principio Dio formò la materia con particelle dalle proprietà descritte, assicurando così la costanza della natura sino alla fine dei tempi. Le particelle **obbediscono alle leggi passive del movimento ma anche soggiacciono a certi principi attivi, quali il principio di gravità ed il principio di coesione**. Mediante i principi attivi l'Essere intelligente mise in ordine le particelle e formò le cose, ed è impossibile che un destino cieco abbia potuto comporre con tanto ordine le cose inanimate e i corpi degli animali.

IL CALCOLO INFINITESIMALE

È un ramo della matematica che ha per oggetto lo studio delle proprietà e delle funzioni di una o più variabili. Il calcolo infinitesimale si basa sul concetto di **limite** di funzione e di infinitesimo, inteso come valore estremamente piccolo assunto dalla funzione nei punti prossimi a una in cui essa si annulla.

Per convenzione si usa suddividere il calcolo infinitesimale in **calcolo differenziale** che approfondisce il comportamento delle funzioni nell'operazione di derivazione, e in **calcolo integrale**, che studia le proprietà delle funzioni nell'operazione di integrazione.

Chiamato anche analisi infinitesimale, o semplicemente analisi, il calcolo infinitesimale è essenziale per la formalizzazione matematica dei fenomeni naturali e viene utilizzato come strumento di lavoro in tutte le discipline di scienze fisiche.

Le radici del calcolo infinitesimale sono da ricercare nella geometria dell'antica Grecia. Democrito calcolò il volume della piramide e del cono, probabilmente considerati costituiti da un numero infinito di sezioni di spessore infinitamente sottile. Eudosso ed Archimede usarono il "metodo di esaustione" per determinare l'area del cerchio, approssimandola a quella di poligono in esso inscritti, dal numero di lati via via maggiore. I problemi che sorsero nella comprensione dei numeri irrazionali e del paradosso di Zenone impedirono tuttavia uno sviluppo sistematico della teoria. La situazione del celeberrimo paradosso di Achille e della tartaruga di Zenone è più o meno questa: Achille è dieci volte più veloce della tartaruga, ma parte dieci metri prima di questa; quando Achille supererà la tartaruga? Il fatto è che quando Achille avrà percorso dieci metri, la tartaruga ne avrà percorso uno; quando Achille avrà recuperato quel metro, la tartaruga sarà andata avanti di un centimetro e così via.... Il fatto è che la tartaruga rimane sempre davanti ad Achille. Ovviamente c'è qualcosa che non quadra in tutto il ragionamento, dato che non dubitiamo che prima o poi la tartaruga venga effettivamente superata dal Più Veloce; ma? Il pensiero greco non fu in grado di comprenderlo.

All'inizio del XVII secolo Bonaventura Cavalieri ed Evangelista Torricelli svilupparono ed ampliarono l'uso degli infinitesimi, mentre Cartesio e Pierre de Fermat studiarono le aree sottese da curve assegnate e le tangenti ad esse, effettuando procedimenti equivalenti a quelli di integrazione e di differenziazione- finché Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz intrapresero la dimostrazione del Teorema fondamentale del calcolo, da cui si deduce che le operazioni di differenziazione e di integrazione sono una l'inverso dell'altra. Newton giunse alla formulazione del calcolo infinitesimale nell'ambito degli studi sulla teoria della gravitazione, probabilmente prima di Leibniz. A differenza di questi, tuttavia, non pubblicò immediatamente i suoi risultati, e sulla paternità della teoria si scatenarono aspre critiche. La contesa si trascinò per anni ed ebbe fine soltanto nel 1714 con la morte di Leibniz e la sostanziale vittoria di Newton. La notazione di Leibniz conobbe in ogni caso un'ampia fortuna, soprattutto nell'Europa continentale, ed è tuttora largamente usata.

L'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande compaiono più spesso di quanto si immagini sotto mentite spoglie per poi presentare tutta la loro difficoltà a chi tenti di investigare con maggiore accuratezza sui fenomeni che ci capitano attorno. Prendiamo per esempio il concetto di velocità: essa viene convenzionalmente definita come uno spazio diviso per il tempo impiegato a percorrerlo; se ci pensiamo un attimo, ci accorgiamo che quello che otteniamo è in realtà una media di quello che è il nostro concetto intuitivo di velocità, intesa come un qualcosa caratterizzante il moto di un punto materiale in ciascun istante. Per migliorare la nostra conoscenza del "come" la nostra automobile abbia percorso ad esempio 100 km,

possiamo pensare di dividere tale intervallo di spazio in due, e fare delle misurazioni temporali, in modo di avere due dati di velocità media, che ci danno maggiore informazione. Se non ci bastano due numeri, possiamo dividere ulteriormente gli intervalli per ottenere 4 velocità medie, 8 velocità medie e così via...L'operazione che effettuiamo è quella di valutare una velocità media su intervalli sempre più piccoli, fino a farne sparire l'ampiezza ed avere un dato puntuale, ossia una funzione che descrive in ogni punto la velocità di questa volta istantanea dell'autovettura. Nasce così in epoca moderna il concetto di **limite**. Dividiamo due quantità sempre più piccole, più piccole di qualsiasi cosa si possa pensare, chi ci dice che il risultato non possa essere nullo, infinito o addirittura non venga fuori nulla?

La grande enorme, fondamentale scoperta di Newton è stata che oggetti come questi si possono trattare in maniera abbastanza semplice con un insieme di regole che egli riuscì a scovare... In particolare , questo tipo di problema era riconducibile al problema di trovare la **tangente alla curva assegnata**.

Tali metodi furono da lui scovati in proprio nel periodo di 18 mesi in cui dovette rifugiarsi in campagna per sfuggire alla pestilenza del 1665 da lui chiamato "metodo delle flussioni", anche in termini moderni vanno sotto il nome di **calcolo differenziale** e la **velocità istantanea viene detta derivata della legge oraria dello spazio rispetto al tempo**. Ma egli affrontò anche il secondo grande problema del calcolo differenziale; quello che abbiamo fatto prima è stato quello di passare dallo spazio alla velocità prendendo il limite di un rapporto, possiamo ora pensare di fare l'operazione inversa e ricavar invece lo spazio conoscendo l'evoluzione temporale della velocità istantanea; questo è un problema molto più difficile, che va sotto il nome di calcolo integrale che è strettamente collegato a quello di **ricavare l'area sottesa da una curva assegnata**.

