L'evoluzione del pensiero scientifico dalle origini al '700

Estratto dal libro: Carlo Succi: “Un matematico bresciano: Ramiro Rampinelli, monaco olivetano” - Centro Storico Olivetano Badia di Rodengo, Pag. 73-95

Al fine di illustrare lo sviluppo della personalità scientifica del Rampinelli verranno nel seguito presentati alcuni ampi stralci delle lettere che egli scambiò con l'amico Giordano Riccati negli anni tra il 1733 e il 1758. Ma perché il lettore possa meglio valutare il significato del travaglio scientifico con cui il Rampinelli ha voluto cimentarsi, riteniamo opportuno presentare, senza alcuna pretesa di completezza, qualche considerazione sulle modalità di sviluppo della matematica e della fisica dalle origini sino ai suoi tempi.

La matematica, la più antica delle scienze intese in senso moderno, quale pura espressione della mente umana ha condizionato la formazione e lo sviluppo di tutto il sapere acquisito sino ad oggi. La sua nascita può essere fatta coincidere con la scoperta-invenzione dei numeri, che, determinata all'inizio da esigenze puramente pratiche, si è sviluppata successivamente rendendosi autonoma sotto lo stimolo di quel misterioso e potente principio attivo che nell'uomo prende il nome di intelletto.

Come tutti abbiamo appreso dalle prime esperienze scolastiche, i numeri sono simboli di quantità (numeri cardinali) e di ordine (numeri ordinali). La loro importanza essenziale sta nel fatto che consentono di registrare e comunicare in assoluto molta parte dell'esperienza percepita, ed a cristallizzare univocamente tanto il difficile concetto di quantità quanto quello di precedenza o successione. Essi permettono tutto ciò perché sono sostanzialmente simboli vuoti, saturabili in innumerevoli maniere diverse.

I cardinali servono per "contare" e, nella loro accezione più elevata, per esprimere il risultato di quell'operazione fondamentale, caratteristica di tutta la scienza moderna, che è la misurazione. Il risultato di ogni misurazione è infatti espresso mediante due simboli, uno numerico che,rispettate delle convenzioni ormai universalmente concordate, quantifica il contenuto dell'operazione, ed uno letterale che qualifica la natura dell'entità quantificata.

Se il campo in cui si eseguono le misurazioni è quello puramente spaziale, si costruisce quella parte della matematica antica che ha preso il nome di geometria quantitativa. In essa, individuati gli elementi spaziali fondamentali (segmenti, angoli, superfici, volumi ecc.) si esegue la loro misura secondo una procedura detta di confronto diretto.

Nell'ambito geometrico una scoperta, determinante per il nascere della fisica moderna, è stato il riconoscimento che le metodologie sviluppate dalla geometria per lo studio quantitativo delle entità spaziali, potevano essere generalizzate ed impiegate con pochissime modifiche per la descrizione ed il trattamento di tutte le innumerevoli entità quantificabili riconoscibili nel mondo della natura.

Ma i numeri possono essere trattati e manovrati anche come puri simboli vuoti, dando origine a quella parte della matematica che tratta del calcolo numerico. Già le ben note quattro operazioni elementari consentono di promuovere nel campo dei numeri una vasta attività e di evidenziarne alcune semplici ma notevoli proprietà. Un esempio: tutta la sequenza dei numeri interi viene generata semplicemente iterando l'aggiunta di un'unità al numero precedente; tale sequenza contiene alternativamente un numero pari ed uno dispari; orbene la somma dei primi successivi numeri dispari dà sempre per risultato un numero particolare detto "quadrato perfetto" (numero che si ottiene moltiplicando per se stesso qualunque numero) e precisamente il quadrato della media aritmetica dei numeri dispari sommati.

Mentre le operazioni di somma e moltiplicazione tra numeri interi generano numeri interi, l'operazione divisione costruisce una varietà di numeri completamente nuova: i ben noti numeri decimali o frazionari, tra i quali si possono distinguere quelli con un numero finito di decimali e quelli, detti periodici, con un numero infinito di decimali, che si ripetono singolarmente od a gruppi.

Tutti i numeri generati dall'operazione di divisione costituiscono, con gli interi, una famiglia con un'infinità di componenti, assai intricata, detta famiglia dei numeri razionali (dalla parola latina "ratio", che nel linguaggio scientifico rinascimentale aveva il significato specifico di "rapporto”).

I primi documenti che accertano storicamente l'uso dei simboli numerici, tanto per interessi pratici quanto per operazioni puramente speculative, risalgono al 2000 a.C. ed appartengono alla civiltà babilonese; tuttavia come scienza moderna la matematica si è formata assai più tardi per merito degli antichi Greci. Le sue origini infatti si fanno risalire al V secolo a.C., e la sua nascita è considerata un evento scaturito dai crescenti rapporti commerciali e culturali di quel popolo con l'oriente.

Acquisite le scoperte dei Babilonesi nel campo della matematica i Greci le sottoposero alla loro acuta critica filosofica intuendo ben presto che l'apparato numerico, in apparenza tanto semplice, se usato maldestramente portava a risultati quantitativi sconcertanti, cosa che in seguito avallò la credenza che nei numeri potessero celarsi "arcani misteri".

Nascevano così le prime confutazioni sull'uso indiscriminato della quantificazione numerica, con il risultato di stimolare l'approfondimento della questione e trovarne delle vie d'uscita.
Sono celebri i sofismi di Zenone d'Elea vissuto tra il 495 ed il 435 a.C. Tutti ricorderanno quello relativo alla freccia di Achille che non potrebbe mai raggiungere il bersaglio: appena scattata infatti, qualunque fosse la posizione raggiunta tra arco e bersaglio dalla freccia, le rimarrebbe sempre da percorrere metà della distanza rimanente, e poi ancora metà, e così di seguito sino ad un numero di volte infinito: e non potrebbe quindi

arrivare mai sul bersaglio! La confutazione matematica di questo sofisma, richiedeva che si sapesse dimostrare (come è stato poi fatto circa duemila anni più tardi) che la somma degli infiniti termini del tipo: un mezzo, un quarto, un ottavo... generata dal sofisma non dà affatto un risultato infinito, bensì esattamente uno.

Ma la sensibilità e la concretezza dei Greci era così turbata dal concetto di infinità contenuto in quella somma e dal divenire infinitamente piccolo dei suoi termini, da spingerli a scoraggiare una vera ed approfondita ricerca sull'argomento: per contro, proprio per eliminare le difficoltà inerenti agli irraggiungibili concetti di infinitamente numeroso ed infinitamente piccolo, essi posero in fisica le prime basi dell'atomismo, anche se la loro concezione era di carattere esclusivamente filosofico.

Un'altra importante questione sconcertava ancora questi antichi pensatori nel loro meditare sui problemi del campo numerico. Essa è stata sollevata dal ben noto maestro Pitagora. Di lui si dice spesso che è il vero fondatore della geometria, perché è colui che ha introdotto nella geometria il processo dimostrativo, ossia quel procedimento mentale rigorosamente logico, mediante il quale, fissate alcune premesse (od ipotesi o postulati) iniziali, si raggiungono una o più conseguenze coerenti con le premesse.

La questione cui si vuole accennare qui è in qualche modo collegata al "teorema" di Pitagora generalmente conosciuto nella forma ridotta appresa nei primi anni di scuola: l'area del quadrato costruito sull'ipotenusa di un triangolo rettangolo è uguale alla somma delle aree dei quadrati costruiti sui cateti. Invero sarebbe opportuno ricordare che il teorema è valido per qualunque complesso di figure simili costruite sull'ipotenusa e sui cateti; ad es. per dei semicerchi che abbiano questi elementi rispettivamente come diametri (la verifica della validità del teorema in questo caso si ottiene immediatamente moltiplicando semplicemente i termini della relazione del teorema originale per $\pi/8$).

Si supponga ora che il triangolo rettangolo considerato abbia i due cateti uguali; esso sarà allora rappresentato dalla metà di un quadrato, cosa che suggeriva fortemente il problema di correlare in quel triangolo la misura della lunghezza dell'ipotenusa, e cioè la diagonale del quadrato, con la misura della lunghezza di ciascun cateto. Il problema numerico che nasce consiste nel trovare due numeri tali che il quadrato dell'uno sia "esattamente" uguale al doppio del quadrato dell'altro. Ma proprio qui Pitagora ha scoperto che si incontra una difficoltà insormontabile: tra gli infiniti numeri "razionali" esistenti questo numero non c'è!

Bisognava ricercarlo in un nuovo campo numerico!

Nel linguaggio moderno esso, e tutti gli infiniti altri numeri analoghi non ottenibili mediante rapporto, son detti irrazionali. Già le questioni qui ricordate pertinenti ai numeri che diventano piccolissimi (infinitesimi) od infinitamente grandi (infiniti)od infinitamente numerosi (densi) o non ottenibili mediante le quattro operazioni elementari son sufficienti per far comprendere quanto dovessero apparire misteriose e complicate le questioni pertinenti al campo numerico. Da qui una giustificazione dello scarso interesse riservato dai Greci alla teoria dei numeri; ma alla ragione ricordata se ne deve aggiungere un'altra di carattere strettamente pratico inerente alla natura poco felice dei simboli che essi impiegavano per rappresentare i numeri. Questi infatti, consistendo in lettere dell'alfabeto, risultavano farraginosi nella scrittura ed anche poco adatti alla esecuzione delle semplici operazioni aritmetiche.

Per contro la geometria, così efficace nel collegare la nitidezza delle figure agli sviluppi del pensiero astratto, esercitava su di essi un fascino particolare, soprattutto perché l'acquisizione di verità recondite sembrava divenire semplice e convincentemente naturale.

Non è possibile in questa sede addentrarsi anche per poco in un esame della geometria greca, che per la sua armonia non è inferiore alle altre ben note realizzazioni raggiunte da quel meraviglioso popolo nel campo della filosofia, delle lettere e dell'arte, ma neppure è possibile non ricordare alcune delle sue più significative conquiste od intuizioni.

Ai problemi sollevati da Zenone, risponderà più tardi, con perspicacia eccezionale, Eudosso (408-355 a.C.) proponendone una soluzione concettuale che, se fosse stata accettata ed opportunamente sviluppata, avrebbe anticipato di molto lo sviluppo dei moderni algoritmi del calcolo infinitesimale. Grosso modo la posizione di Eudosso era la seguente: è evidente che l'operazione di spezzare una linea in tratti sempre più piccoli, sempre più piccoli... eseguita senza limite alcuno, finirà inesorabilmente per provocare lo scontro con il concetto di infinito. Per evitare questa difficoltà (puramente concettuale) basterà però accettare e riconoscere che non è necessario supporre "l'esistenza" effettiva di quantità infinitamente piccole, ma solo "supporre" che sia sempre possibile ottenere grandezze piccole tanto quanto si vuole o quanto serve, per mezzo del processo di divisione. Da questa semplice intuizione di Eudosso, non recepita dai contemporanei, deriveranno, quasi duemila anni più tardi, le rigorose considerazioni dalle quali si formerà l'analisi infinitesimale.

Continuatore dell'opera di Eudosso, è in un certo senso Euclide (?-300 a.C.) i cui Elementi, dimenticati per oltre un millennio, saranno poi assunti nei secoli a fondamento di ogni cognizione di geometria. Da ricordare infine Apollonio Pergeo (262-200 a.C.) altro geometra purissimo che con la sua teoria delle coniche (le curve ottenibili per proiezione di un cerchio) oltre a preparare il terreno per le grandi scoperte di Keplero e di Newton, ha costruito una vera e propria opera d'arte.

L'ultimo grande contributo apportato dai Greci alla matematica, non è praticamente più un'opera di geometria, perché ormai il loro pensiero è fortemente influenzato dalle tradizioni matematiche dei Babilonesi e degli Alessandrini con i quali hanno acceso intensi traffici; si tratta dell"'Aritmetica" di Diofanto (200 d.C.) in cui son già presenti i rudimenti dell'algebra e nella quale vengono affrontati e risolti con un simbolismo nuovo e sintetico, problemi numerici riferibili ad equazioni di primo e secondo grado.

Ma ormai la Grecia, frazionata all'interno da lotte intestine, assorbita nell'orbita della potenza romana, e trascinata successivamente nella rovinosa caduta di questa non apporterà praticamente più alcun vero contributo allo sviluppo culturale dell'umanità. Fortunatamente specie per quanto concerne la matematica, l'importanza di quanto i Greci avevano costruito è stata riconosciuta dal mondo orientale ed in particolare dagli Arabi che l'ebbero in grandissima considerazione tra il 500 d.C. ed i primissimi secoli seguenti il millennio. Ad essa apportarono decisivi contributi integrandola con le competenze matematiche del grande mondo orientale. Estendendosi dalle Indie all'Egitto, a differenza del mondo culturale greco, i popoli orientali non avevano affatto disdegnato di occuparsi della matematica pratica, quella cioè che, strettamente connessa alle necessità ed agli scopi commerciali e tecnici, non aveva tralasciato di trattare i "volgari" problemi legati al "far di conto".

Così gli Arabi nel periodo della loro grande espansione verso occidente, riconoscendo ed apprezzando i contenuti di tutta la classicità greca avviarono un'estesa opera di traduzione in arabo dei testi scientifici greci, e quando per il mondo occidentale rifiori finalmente il periodo umanistico, il patrimonio culturale greco poté essere ritradotto in latino e recuperato.

Tutto ciò, peraltro, comportando l'assimilazione di tutte le conoscenze scientifiche del mondo orientale, determinò anche l'acquisizione del sistema dei simboli numerici arabi. E quest'ultimo, integrato dall'importantissimo simbolo "zero", permise una efficacissima diffusione del calcolo numerico e contemporaneamente il nascere di quello ulteriormente astrattizzato dell'algebra letterale.

La matematica europea prende l'avvio solo all'inizio del 1300 dopo che il pisano Leonardo Fibonacci si sobbarcò la fatica di sintetizzare per gli europei, nel suo libro "Liber Abbaci", l'abaco "al modo degli indi" e di coniugare felicemente, nella sua "Practica geometria" il rigore dei nuovi mezzi di calcolo appresi dagli Arabi.

Nel 1300 compaiono anche i primi trattati di trigonometria e l'importante "Traetatus de latitudinibus Formarum" di Nicola d'Oresme, nel quale per la prima volta vengono impiegate espressioni algebriche per rappresentare grandezze fisiche. Si tratta infatti di trovare con un originale metodo di rappresentazione geometrica l'espressione delle relazioni che legano il cammino percorso da un mobile in un determinato tempo, quando il moto è uniforme ed uniformemente accelerato. L'importanza del metodo di Oresme verrà riconosciuta solo molto più tardi, quando ormai il Galilei avrà scoperto un suo fondamentale principio metodologico che determinerà l'intero sviluppo della fisica come scienza sperimentale.

In occidente lo stimolo maggiore alla riprese degli studi matematici sarà una conseguenza della invenzione della stampa che oltre a favorire la diffusione delle opere antiche accelerò grandemente il processo di comunicazione delle nuove conquiste dei ricercatori e l'acquisizione dei nuovi modi di far matematica. Al riguardo è interessante sottolineare che il primo libro di matematica stampato in Italia è stato un trattatello di autori ignoti intitolato: "Aritmetica di Treviso" e tutto dedicato alle applicazioni pratiche del calcolo numerico. E sarà proprio dai nuovi interessi per il calcolo e per talune sue applicazioni alla geometria, che prenderanno vigore i nuovi studi per la matematica. Questi poi, nella seconda metà del XVI secolo, saranno prevalentemente rivolti all'algebra, e troveranno in Raffaele Bombelli ed in Francois Viéte gli elaboratori di un simbolismo formale quasi perfetto e premonitore di quello moderno.

Gli studi di geometria in questo periodo si affrancheranno notevolmente nella forma e nei contenuti da quelli classici dei Greci, dando inizio al ramo della geometria proiettiva di cui Apollonio, come s'è ricordato, è da considerarsi il precursore. D'altro canto la versatilità del nuovo formalismo algebrico, ormai universalmente acquisito, favorirà tra l'altro la soluzione di molti dei quesiti numerici abbandonati dai Greci ed in particolare quelli relativi al trattamento delle serie numeriche e delle grandezze tendenti all'infinitamente piccolo o all'infinitamente grande.

Nella prima metà del 1500 l'algebra ha già raggiunto un elevatissimo sviluppo che darà come frutto principale la soluzione delle equazioni di terzo e quarto grado, cosa che rappresenta il superamento di un'altra barriera ritenuta invalicabile dagli antichi Greci.

Viene qui a proposito di ricordare un fatto, avvenuto a quell'epoca, di notevole interesse per il mondo scientifico di Brescia. In breve, e semplificando molto: le formule risolutive delle equazioni di terzo grado sono generalmente note come formule di Gerolamo Cardano. Ma in realtà esse furono trovate dal bolognese Scipione del Ferro nel 1515 ed il bresciano Nicolò Fontana, noto al mondo scientifico come Tartaglia (dal soprannome Tartaja che gli era stato affibbiato dagli amici) le riscoprì nel 1535 e le generalizzò a seguito di una gara matematica con un certo Antonio Fiore discepolo di Scipione del Ferro.

Il Tartaglia successivamente partecipò in via riservata i suoi risultati al Cardano, che, non mantenendo la riservatezza promessa, li pubblicò a nome proprio e del discepolo Luigi Ferrari in un libro dal titolo: "Ars Magna". Per questi motivi tra il Tartaglia ed il Ferrari si accese un'aspra contesa sul diritto di priorità della scoperta, che diede luogo ad una serie di discussioni tempestose e pubbliche passate alla storia come "cartelli di matematica disfida", in cui i contendenti si affrontavano cimentandosi nei più svariati e difficili problemi matematici attuali in quell'epoca.

Nella seconda metà del XVI secolo la matematica aveva raggiunto un notevole sviluppo e sotto l'impulso dei ricercatori di tutta Europa, la maggior parte dei problemi che avevano angustiato gli antichi Greci era ormai risolta: i tempi erano maturi perché della matematica pura ci si servisse per ampliare il campo delle conoscenze scientifiche. Nasceva così e si formava timidamente una vera nuova scienza: la fisica.

Le radici della fisica sono antiche: il termine fisica deriva dall'espressione greca "tà fusikà" che significava "le cose della natura", in antitesi all'espressione "tà metà tà fusikà" che significava "le cose che stanno al di là della natura" e cioè le cose dello spirito: il pensiero, i sentimenti ecc. Ma l'unico fisico vero di cui possono gloriarsi i Greci è Archimede che a buon diritto, può essere anche considerato un precursore solitario della vera fisica quantitativa. Infatti la fisica greca non era in realtà uno "studio della natura" ma una "meditazione sulla natura" molto profonda, ma di carattere essenzialmente filosofico. L'intuizione più importante che i Greci hanno raggiunto in questo campo è legata al ben noto concetto di atomo, considerato il grano ultimo della materia, e perciò indivisibile. A tale concezione i Greci erano giunti come conseguenza della loro istintiva ritrosia contro tutto ciò che si richiamava all'infinito od all'infinitesimo, concetti questi esplicitamente contagiati dai noti sofismi degli eleati. Ma anche come semplice speculazione ideale la teoria atomica antica, che voleva la formazione della materia e tutta l'evoluzione naturale quale conseguenza del movimento degli atomi in un vuoto assoluto, costituiva già un enorme passo in avanti rispetto alle opinioni allora correnti. Essa infatti conteneva implicitamente in sé l'idea assolutamente nuova della "prevedibilità" e "descrivibilità" dell'evoluzione del mondo fisico. Concetto questo, assolutamente estraneo alla mentalità comune che ancora concepiva e giustificava il fulmine con l'ira di Giove, o le bufere con il capriccio di una Giunone irritata ed adulatrice dell'amico Eolo, signore dei venti e delle tempeste.

Giustificata l'origine del mondo con il movimento, appare certo piuttosto strano che i Greci non siano pervenuti ad una concezione veramente fisica del movimento in sé: per essi il movimento era e rimase sempre ed esclusivamente un fatto legato al cambiamento di posizione e correlato solo indirettamente al tempo. Così il moderno concetto di velocità che associa in un fondamentale legame lo spazio ed il tempo, per i Greci rimase intrinsecamente legato all'idea di "snellezza" o “speditezza" espressa dalla loro parola "tàchos". Il "pié veloce Achille" delle nostre reminiscenze classiche, non era colui che "rendeva massimo" il rapporto tra la lunghezza di una gara podistica ed il tempo impiegato a percorrerla, bensì colui che partendo insieme agli altri arrivava primo alla meta.

Così, benché buoni conoscitori tramite la geometria euclidea, delle proprietà spaziali, non vi associarono mai il tempo, che rimase solo un problema filosofico e poetico. Significativa ad esempio l'allegorica con cui si riferivano al tempo "Chronos". Chronos aveva natura divina ed era il più forte dei Titani. Nel timore di essere detronizzato dalla propria progenie divorava sistematicamente tutti i suoi figli. Ma la moglie Rea, dato alla luce un ultimo figlio di nome Zeus, per vincere la malvagità del marito gli dà, avvolta in pannolini, una pietra e Chronos nel suo assillo rodente l'ingoierà senza scoprire l'inganno. Zeus divenuto adulto detronizzerà così il padre costringendolo a ridare la vita a tutti i suoi figli. L'allegoria vuol ovviamente significare l'ansia che ha sempre pervaso l'umanità per il destino mortale che la permea, e, contemporaneamente evocare l'intima convinzione di una possibilità di sopravvivenza alla morte.

Ma ancor più dell'allegoria sarà la filosofia greca a raggiungere sul tempo una delle più elevate intuizioni, ben superiore al semplice sogno di una possibile liberazione dalla sua tirannia. E' ben noto che per Platone la scoperta di una verità, e per lui verità indiscutibili erano ad esempio quelle geometriche, è solo l'attuazione di un ricordo, il ricupero cioè di qualcosa la cui presenza nello spirito umano si è attenuata, ma che è sempre esistita, perché lo spirito umano possedeva, prima della vita cosciente, una esistenza "fuori dal tempo". L'ipotesi della possibilità di esistenze "fuori del tempo" sarà filosoficamente ripresa con maggior vigore dal grande Kant, ma, cosa che può addirittura apparire incredibile, non si può dire che sia del tutto estranea alle riflessioni della fisica moderna.

A parte questi scarni ma avvincenti riferimenti filosofici, il tempo compare nelle considerazioni scientifiche molto più modestamente nel 1137 in un opuscolo dal titolo: "Il libro della quantificazione del sapere" scritto da un arabo dal nome Al Khazini. In tale opuscolo lo spazio percorso da un mobile appare coniugato per la prima volta con il tempo impiegato a percorrerlo, per esprimere rapporto tra distanza e tempo.

Entrato sommessamente nel mondo scientifico il tempo si imporrà, anche se lentamente e faticosamente, all'attenzione degli studiosi e diverrà ben presto il parametro indispensabile per la descrizione quantitativa di ogni aspetto dell'evoluzione del mondo naturale. La grande rivoluzione scientifica che farà assurgere la fisica ai più alti livelli della considerazione umana ha i suoi modesti sviluppi iniziali nella seconda metà del 1500. Ma solo nella prima metà del 1600 incomincerà a raccogliere i frutti dei contributi di due artefici eccezionali: Galileo Galilei e René Descartes (il cui nome italianizzato diverrà Cartesio).

Galilei si avvale certamente dei contributi apportati allo studio della meccanica dai suoi predecessori, tra i quali vanno ricordati il grande Archimede... il Tartaglia, il veneziano Giambattista Benedetti ed il canonico polacco Nicolò Copernico, ma li sopravanza di molto sviluppando, secondo un suo stile personale, spregiudicato ed al tempo stesso strettamente rigoroso, un metodo completamente nuovo per studiare i fatti naturali.

Per lui la natura è un libro scritto con caratteri matematici da interpretare, la cui lettura si esegue sperimentando. E sperimentare significa isolare il fatto naturale che interessa, riprodurlo con adeguata attrezzatura e descriverlo con relazioni matematiche, quelle che ancor oggi (molto impropriamente) son dette leggi fisiche.

Per descrivere matematicamente un fatto naturale si devono organizzare delle operazioni di misura, quelle stesse che hanno costituito il punto di partenza della formalizzazione dell'antica "geo-metria" (letteralmente, geometria significa misurazione del terreno). Ed è proprio questo nuovo atteggiamento di fronte ai fatti della natura la posizione rivoluzionaria del Galilei, che modifica l'antica ricerca del "perché" avvenga un dato fenomeno, nel "come" si svolga.

E' per questo che egli ha eseguito misure, ha tentato di eseguirne nei più svariati campi della fisica: dal moto di caduta libera e rallentata dei gravi, a quello di un corpo lanciato come proiettile; ha costruito uno strumento per il rilevamento delle variazioni di temperatura, ha misurato la velocità del suono e tentato la misura della velocità della luce; ha costruito cannocchiali e li ha puntati verso lo spazio celeste per capirne i segreti seguendo le più rivoluzionarie idee del suo tempo.

Le sue scoperte più importanti spaziano dall'isocronismo del pendolo ai cosiddetti principi di composizione dei moti e della indipendenza degli effetti delle forze simultaneamente applicate ad un corpo. Egli ha compreso esattamente la fondamentale importanza delle forze di attrito, quali "impedimenti al moto" giungendo così ad intuire l'inerzia dei corpi materiali. Al tempo stesso ha scoperto che quiete e “movimento con velocità costante" rappresentano lo stesso stato fisico, anche se in apparenza hanno caratteristiche tanto dissimili. Per passare dalla quiete ad un moto con velocità costante è indispensabile l'intervento di una forza, ma una volta avvenuta la transizione nessuna forza è più necessaria per conservare la velocità raggiunta (posto ovviamente che siano nulli gli impedimenti al moto). E questa posizione concettuale, che esautora completamente le idee di Aristotele circa il movimento dei corpi, si tradurrà, nella sintesi newtoniana, nel primo dei principi posti a base di tutta la meccanica, e prenderà il nome di principio d'inerzia.

Analizzando l'opera del Galilei si suole affermare che egli ha introdotto l'esperimento nelle ricerche sulla natura, ma questa affermazione, anche se suffragata dai notevoli e numerosi risultati da lui acquisiti, non illustra a sufficienza i suoi contributi scientifici: Galileo ha "creato" il metodo scientifico e con il suo modo di operare ne ha indicato intrinsecamente le linee di sviluppo.

Ponendo come punto di partenza per la sperimentazione, la misurazione, egli ha scoperto che le procedure istituite dalla geometria per lo studio delle proprietà delle figure, potevano essere generalizzate ed impiegate per quantificare, con opportuni parametri, tutti i fenomeni fisici riproducibili per mezzo di apparati acconci allo scopo.

L'operazione iniziale di parametrizzazione del sistema fisico, che nella vecchia geometria corrisponde alla costruzione ed alla quantificazione di una figura, ha il suo seguito nella ricerca di correlazioni tra i parametri che descrivono lo stato del sistema o tra le variazioni dei parametri stessi durante il manifestarsi del fenomeno. Così, con gli esperimenti eseguiti rallentando la caduta dei gravi con piani inclinati, il Galilei scoprirà che in presenza di "impedimenti al moto" molto ridotti, la velocità finale con cui il corpo giunge alla fine della sua corsa dipende dal dislivello da cui è disceso ma non dalla inclinazione del piano, e perciò neppure dalla sua lunghezza.

Egli non ha ancora sufficiente dimestichezza con il calcolo letterale per costruire la relazione quantitativa che lega quella velocità finale all'altezza di caduta. Quella relazione sarà ritrovata da Huyghens, ma Galilei riflettendo sul significato di quella sua scoperta potrà formulare e precisare il concetto di accelerazione. Cosa ancora più importante, potrà riconoscere che l'azione della forza peso tra due quote è assolutamente indipendente dalla forma del percorso seguito dal grave nella discesa, anticipando il contenuto del principio di azione delle forze che, formalizzato da Newton, costituirà il punto di partenza della vera assiomatizzazione della meccanica fisica.

Non è qui la sede per addentrarsi più profondamente in questioni tecniche; basterà ricordare che i procedimenti concettuali impiegati dal Galilei per ampliare al massimo le deduzioni conseguibili con un determinato esperimento, sono affini a quelle che si svolgono in geometria per dedurre, partendo dai parametri e dalle relazioni iniziali impiegate per quantificare una figura, altri parametri ed altre relazioni più recondite. Quanto succintamente esposto sinora dovrebbe essere sufficiente per riconoscere i grandi meriti del Galilei e considerarlo il vero scopritore del metodo scientifico di ricerca; dopo di lui le più importanti scoperte sono state appannaggio di chi ha seguito fedelmente la traccia da lui aperta.

Il secondo grande genio che ha illustrato la cultura umana nella prima metà del '600 è René Descartes, filosofo sommo ed al tempo stesso insigne matematico. Ai non specialisti, il nome di Cartesio evoca le coordinate cartesiane apprese sui banchi di scuola; ma queste non furono scoperte od inventate da lui. L'uso di coordinate, e cioè di riferimenti geometrici usati per individuare o ricostruire posizioni è molto antico e si perde quasi nella notte dei tempi. Gli architetti egiziani, ad esempio, per riprodurre in scala od ingrandirei loro disegni li ricostruivano servendosi di reticoli quadrati. Nelle prime osservazioni astronomiche per individuare la posizione delle stelle sulla sfera celeste ci si serviva di una coppia di coordinate goniometriche chiamate rispettivamente ascensione retta e declinazione; le coordinate geografiche in uso ancor oggi per individuare la posizione di un punto sulla superficie terrestre sono addirittura attribuite all'astronomo greco Ipparco, vissuto intorno al 150 a.C.

Come filosofo Cartesio fu ossessionato da un problema: "la ricerca del metodo" e forse per questo egli, affrontando lo studio della geometria, è riuscito a rinnovarla dalle radici istituendo quel nuovo metodo che serve per trattare simultaneamente figure geometriche e numeri, e che si compendia nella moderna "geometria analitica".

Nella geometria antica i punti costituenti una figura geometrica venivano individuati con l'enunciazione delle proprietà intrinseche della figura stessa: ad es. una circonferenza veniva descritta come l'insieme dei punti di un piano equidistanti da un punto fisso, chiamato centro.

In un sistema di coordinate, costituito ad es. da due rette ortogonali tra loro (dette asse delle ascisse ed asse delle ordinate) il centro della circonferenza, localizzato in un punto qualsiasi del piano, è rappresentato da una coppia ordinata di numeri (le coordinate); ed altrettanto avviene per tutti i punti della circonferenza. La scoperta cartesiana consiste essenzialmente nel fatto che si può sempre trovare una equazione algebrica che esprime il legame geometrico esistente tra il centro ed ogni altro punto della circonferenza; e ciò qualunque sia la posizione di quest'ultima rispetto al sistema degli assi coordinati. Il metodo è così generale che ricorrendo ad un sistema di tre assi coordinati si possono rappresentare curve e superfici a sviluppo non piano.

Ma l'aspetto più significativo della scoperta cartesiana consiste nel fatto che invertendo la procedura, ad ogni equazione algebrica a due o tre variabili, si può far corrispondere in un sistema qualsiasi di coordinate, anche non rettilinee, curve o superfici.

Naturalmente Cartesio, cui in questa scoperta deve essere associato anche P. Fermat, non ha sviluppato tutta la sua geometria; anzi l'ha presentata senza preoccuparsi di darle forma organica, ben convinto di aver avviato nel campo matematico una vera rivoluzione. Al proposito egli scriverà a conclusione della sua "Géométrie": "Spero che i nostri nipoti mi saranno grati, non soltanto per le cose che ho presentato e qui spiegato, ma anche per quelle che ho volontariamente omesso, per lasciar loro il piacere di scoprirle".

Cartesio è stato grande anche come filosofo e come fisico; di lui è ben nota l'interpretazione della gravità come vortice in un impercettibile mezzo etereo. Ma malgrado la nebulosità e fantasiosità delle sue idee in fatto di fisica cosmica, collegandosi alle ipotesi atomiche degli antichi Greci, che prevedevano l'agitazione perpetua degli atomi, ha compiuto un grande passo nella giusta direzione per rappresentare quantitativamente il movimento.

Suo infatti è il concetto di "quantità di moto" di un corpo come prodotto della "quantità di materia" per la velocità istantanea del corpo; e sua anche la vaga intuizione più filosofica che fisica, ma importante, che la quantità di moto fosse una grandezza che nell'evoluzione del mondo, dovesse mantenersi costante.

L'opera matematica di Cartesio non poteva certo mancare di suscitare un generale entusiasmo tra i matematici che si diedero subito ad esprimere, dopo quella della retta e del cerchio, le equazioni delle curve geometriche già considerate dai Greci come le coniche di Apollonio, le concoidi... Con grande entusiasmo essi studiavano e tracciavano curve corrispondenti ad equazioni di ogni ordine e grado, le cui strutture algebriche facessero prevedere, nella corrispondente rappresentazione cartesiana, forme notevoli di interesse anche estetico: ad es. il folium Cartesii, la lemniscata di Bernoulli... o le meno note curve a forma di petali di rosa dette "rodonee del Grandi" ecc. E tutta questa ricchezza di equazioni e di curve spalancava improvvisamente un campo nuovo di ricerche matematiche che, alla luce della geometrizzazione galileiana della fisica, coinvolgevano profondamente, rivoluzionandola, anche quest'ultima scienza.

La scoperta del nuovo modo cartesiano di fare geometria, pur diffondendosi all'inizio molto lentamente, divenne determinante per lo sviluppo di due nuove procedure di calcolo: quella integrale e quella differenziale, e l'impiego del metodo delle coordinate nello studio delle equazioni algebriche trasformava quest'ultime in curve caratterizzate da ondulazioni, incroci, cappi, culmini, avvallamenti, ecc.

Diveniva così oltremodo interessante imparare a riconoscere aprioristicamente le caratteristiche di quelle curve dalla struttura delle equazioni algebriche, ed in secondo luogo, stabilire le modalità di calcolo per determinare la lunghezza di particolari tratti di curva, l'area dei cappi o di specifiche regioni delimitabili tra la curva e gli assi coordinati, i minimi degli avvallamenti o la sommità dei culmini, ecc.

I problemi che così si offrivano ai ricercatori erano principalmente di due tipi: un problema detto delle "quadrature" rivolto alla determinazione di lunghezze ed aree (superfici e volumi nel caso dei problemi a tre variabili); ed un problema detto delle "tangenti" che consisteva nel determinare in ogni punto delle curve prese in esame, la direzione delle rette tangenti alle curve stesse.

Il problema delle quadrature, che per particolari figure semplici era già stato affrontato dai Greci, si ripresentava ora nella sua massima generalità e con la sistematica necessità di eseguire somme nelle quali il numero degli addendi diventava infinito. Tuttavia la maturazione del pensiero matematico avvenuta nei due secoli immediatamente precedenti, aveva reso i matematici abbastanza esperti nel trattamento delle serie, simboli di somme con un numero infinito di particolari addendi. L'esperienza aveva fornito loro, se non un sufficiente rigore, una certa dimestichezza con i concetti di infinito e di infinitesimo, che avevano trovato già un banco di prova nella cosiddetta geometria degli indivisibili sviluppata da Cavalieri, Roberval, Pascal ed altri. Con essa era già possibile determinare l'area di figure piane (ed anche solide) a contorni curvilinei, considerandola come l'insieme dei segmenti appartenenti alla figura (gli indivisibili) e paralleli ad una direzione data.

Erano i primi passi del calcolo integrale, che richiamandosi allo spirito di Eudosso, riduceva il calcolo di lunghezze ed aree (ed analogamente di volumi) all'esecuzione di particolarissime somme (dette integrali) nelle quali il numero degli addendi veniva fatto diventare "infinitamente" grande mentre ogni addendo diventava "infinitamente" piccolo.

Il problema delle tangenti, al contrario di quello delle quadrature, aveva carattere di novità assoluta e serviva per determinare la pendenza (in senso topografico) della curva in ogni suo punto. Per eseguire questa operazione era necessario calcolare il valore assunto dal rapporto tra due quantità che diventavano "simultaneamente" infinitamente piccole. Si può così dire che come il problema delle quadrature ha generato il calcolo integrale, così il problema delle tangenti ha condotto al calcolo detto differenziale la cui operazione fondamentale ha assunto il nome moderno di "derivazione" o "derivata".

Il nuovo calcolo, per la sua novità e per l'efficacia operativa che intrinsecamente possedeva suscitò un grande interesse tra i matematici, ed ancor prima di raggiungere la struttura di un sistema rigorosamente organico e coerente, legò i suoi sviluppi alla meccanica ed alla fisica.

Ai fondamenti del calcolo infinitesimale, ed in particolare all'operazione di derivazione, verso la fine del'600 lavorarono con risultati eccezionali Newton e Leibniz; il primo applicandolo alla fisica ed usandolo specificatamente per dimostrare che dalla sua nota legge delle gravitazione universale derivavano naturalmente le scoperte sperimentali di Keplero sul moto dei pianeti; ed il secondo mettendo a punto un efficacissimo simbolismo differenziale ancor oggi largamente usato dai matematici e preferito a quello di Newton anche dai fisici, per la sua efficacia espressiva. Ma malgrado i contributi di questi grandissimi uomini, alcuni punti essenziali per lo sviluppo delle operazioni di passaggio al limite richieste dal calcolo infinitesimale, rimasero oscuri cosicché l'impiego del calcolo, e specialmente quello differenziale, rimase appannaggio di pochi privilegiati dotati di intuizione eccezionale, ma oscuro e misterioso per la maggioranza.

Sviluppando le idee del Galilei con l'ausilio del calcolo, Newton ha raggiunto in fisica risultati così profondi che ancor oggi molti non ne afferrano il pieno significato, ed ha estratto dalla meccanica fisica gli elementi indispensabili per porre le basi della meccanica razionale. Prese le mosse dalla scoperta galileiana che "il moto rettilineo uniforme in assenza di forze è una forma di movimento stabile e permanente", ne ha invertito il punto di vista, giungendo alla conclusione che: “nell'universo, qualunque corpo in moto con movimento non rettilineo uniforme sta subendo l'azione promossa su di esso da qualche corpo circostante".

La nota relazione quantitativa che descrive questa situazione costituisce il contenuto del secondo principio della dinamica, e gli esperimenti eseguiti dal Galilei con il piano inclinato ne consentono una verifica in un caso particolare ma notevole.
La relazione di Newton fornisce questa importantissimo informazione: un osservatore può determinare la forza globale che "tutti" i corpi dell'universo applicano istante per istante ad un corpo, semplicemente rilevando istante per istante la rapidità di variazione della quantità di moto di quel corpo.

Il terzo ed ultimo principio della dinamica precisa come ed in quali condizioni insorgono le forze; Newton è giunto alla formulazione di questo terzo principio dopo mature riflessioni ed accurati esperimenti con la macchina d'urto progettata dal celebre architetto Wren per la partecipazione ad un concorso scientifico bandito dalla Royal Society di Londra. Noto come principio di azione e reazione, questo principio introduce in fisica il concetto di "interazione" ed al tempo stesso permette di circoscrivere con chiarezza l'ambito di validità delle idee intuitive di Cartesio sulla conservazione della quantità di moto.

Ma le idee newtoniane non sono state recepite facilmente né dai suoi contemporanei, né dai posteri immediati, e molte sono le ragioni. La prima la comunica lui stesso: "per evitare d'essere infastidito da piccoli praticoni delle matematiche ho di proposito scritto i "Principia" (la sua opera fondamentale) in maniera astrusa". Infatti il contenuto dei Principia, benché egli l'avesse raggiunto con i metodi del calcolo infinitesimale ("un metodo generale che si applica senza dover ricorrere ad operazioni complicate non solo per tracciare tangenti a curve qualsiasi, geometriche o meccaniche, ma anche per risolvere tipi più astrusi di problemi concernenti le curvature, le aree, le lunghezze...") è stato poi esposto con i metodi della geometria antica, con il risultato di rendere difficile la lettura anche per matematici ben esercitati.

Una seconda difficoltà per la diffusione dell'opera newtoniana era dovuta al fatto che, come si è ricordato, a quell'epoca il calcolo infinitesimale difettava di quei procedimenti logico-concettuali rigorosi su cui si dovevano basare, per essere universalmente accettati, i procedimenti di passaggio al limite verso l'infinito e verso l'infinitesimo.

E' infatti sintomatica al riguardo, la critica del vescovo anglicano Berkeley, filosofo acuto e studioso delle materie scientifiche, contemporaneo di Newton; egli osservava: "per trovare fiussioni (il termine con cui Newton indicava le operazioni di derivazione) o per calcolare rapporti tra differenziali, i matematici, prima apportano incrementi alle grandezze "fluenti" (variabili) e poi li eliminano facendoli tendere a zero. Così, ottenendo solo una compensazione di errori, si può giungere, se non proprio alla Scienza (!) per lo meno ad una parziale verità". Ed il Berkeley godeva molto credito perché già aveva creato altre perplessità intorno ai lavori di Newton. Val la spesa forse di ricordare la sua critica all'idea di moto assoluto accettata da Newton come idea naturale ed ovvia. Per dimostrare l'esistenza del moto assoluto quest'ultimo proponeva il seguente esperimento: si abbia un secchio pieno d'acqua appeso ad una fune; si torca la fune avvolgendola su se stessa e poi la si lasci libera. Il secchio si pone allora in rotazione, e l'acqua per inerzia resta ferma: si ha un moto relativo tra secchio ed acqua. Quando però l'acqua verrà per attrito trascinata in movimento, la sua superficie libera assumerà una forma concava: e ciò doveva essere la riprova che il suo movimento è divenuto assoluto.

Il Berkeley gli ha replicato essenzialmente così: anche in questo caso il movimento dell'acqua è relativo, perché le stelle del firmamento sono rimaste ferme e l'avvallamento della superficie dell'acqua non è sufficiente per asserire l'assolutezza del movimento. L'avvallamento osservato si verificherebbe anche se, lasciato fermo il secchio, gli si facesse ruotare intorno tutto l'universo! Non è ovviamente possibile eseguire l'esperimento del Berkeley, ma sappiamo che Einstein ha dato ragione a lui e torto a Newton.

Un altro grande ostacolo alla diffusione delle idee newtoniane è derivato dalla lunga ed aspra contesa sorta tra lui ed il filosofo tedesco Leibniz sulla priorità dei contributi apportati da entrambi, ma indipendentemente, allo sviluppo del calcolo infinitesimale.

Si attribuisce spesso a Newton e Leibniz il merito della invenzione del calcolo; in realtà essi hanno fornito al calcolo il contributo determinante che lo ha liberato di una parte delle secche improduttive in cui, dopo un primo avvio entusiasmante, si era arenato. Essi infatti sono stati i primi a riconoscere con chiarezza l'intima connessione esistente tra i procedimenti concettuali che stanno alla base delle operazioni di derivazione ed integrazione, ed a dimostrare rigorosamente che l'uno è l'inverso dell'altro, come, in un certo senso, l'operazione di sottrazione è l'inversa dell'addizione e la divisione è l'operazione inversa della moltiplicazione.

Nello sviluppo delle loro idee Newton e Leibniz per esprimere le operazioni del calcolo hanno organizzato due simbolismi diversi; quello di Leibniz è risultato molto più efficace di quello di Newton e si è affermato in seguito universalmente, divenendo, come s'è detto, quello ancora oggi normalmente impiegato da matematici e fisici. Ma a seguito di quella infelicissima disputa i matematici inglesi giunsero addirittura a rifiutare l'uso del simbolismo leibniziano, così che isolati dal modo scientifico occidentale, per buona parte del secolo XVIII non riuscirono a tener dietro ai rapidi progressi raggiunti dai matematici e dai fisici continentali. Purtroppo la contesa tra Newton e Leibniz estendendosi anche alla fisica, finì col creare una notevole confusione attorno all'importante concetto di forza, considerato il terzo componente fondamentale della cornice spazio-temporale di tutti i fenomeni naturali.

Leibniz, che non aveva molta considerazione delle idee di Cartesio, per attaccare indirettamente Newton sul tema delle forze aveva pubblicato in latino un articolo con un lungo titolo polemico: "Breve dimostrazione di un memorabile errore di Cartesio ed altri, con il quale pretendono che la quantità di moto sia sempre conservata da Dio: per la qual cosa errano grossolanamente anche in meccanica". Ma qui l'abbaglio è di Leibniz il quale pretendeva, travisando completamente il pensiero di Newton, che la forza con cui un corpo in caduta urta la terra, dovesse esprimersi per mezzo del prodotto della massa del corpo per il quadrato della velocità posseduta al momento dell'urto. Egli poi chiamò la forza da lui così espressa "forza viva" e,senza nascondere un certo sarcasmo, indicò con il termine "forza morta" quella definita da Newton.

Fu così che, alla felice creazione della meccanica fisica avviata dal Galilei ed alla grande scoperta della forza di gravitazione universale fatta da Newton, scoperta che di colpo risolveva tutti i dubbi circa la natura ed il funzionamento del sistema solare, si riuscì a generare un'involuzione che durò quasi tutta la prima metà del XVIII secolo, sconcertando profondamente i matematici che si dedicavano alla meccanica.

Essi infatti oltre che studiare e familiarizzarsi rapidamente con le nuove procedure di calcolo, grezze, incomplete e senza basi rigorose, dovettero districarsi faticosamente in un groviglio di concetti fisici mal definiti e spesso completamente errati. A ciò si deve aggiungere la lentezza con cui le organizzazioni ufficiali del sapere, le Università, fortemente legate e condizionate dalle idee della classicità, delle quali si consideravano consegnatarie e conservatrici, si adattavano al nascere del nuovo modo di acquisire il sapere, cui spesso riservavano diffidenza, quando non opposizione.

Nella prima metà del 1700 raramente i cultori della nuova scienza furono o divennero docenti universitari; lo stesso Newton lo fu per due decenni, ma appena gli fu possibile abbandonò l'università per un attività più prestigiosa (e meglio retribuita), come la direzione della zecca inglese.

In quel periodo pertanto la matematica e la fisica trovarono i cultori più appassionati e generosi in circoli privati o presso famiglie nobiliari e benestanti, cosicché l'attività di questi ricercatori poté dare origine ad appassionate collaborazioni ed a rapporti personali (come quelle che si instaurarono tra il nostro Rampinelli, i conti Riccati, il conte Poleni ed altri) che spesso si concretarono in carteggi epistolari non di rado più interessanti di molte opere diffuse a mezzo di pubblicazioni a stampa.