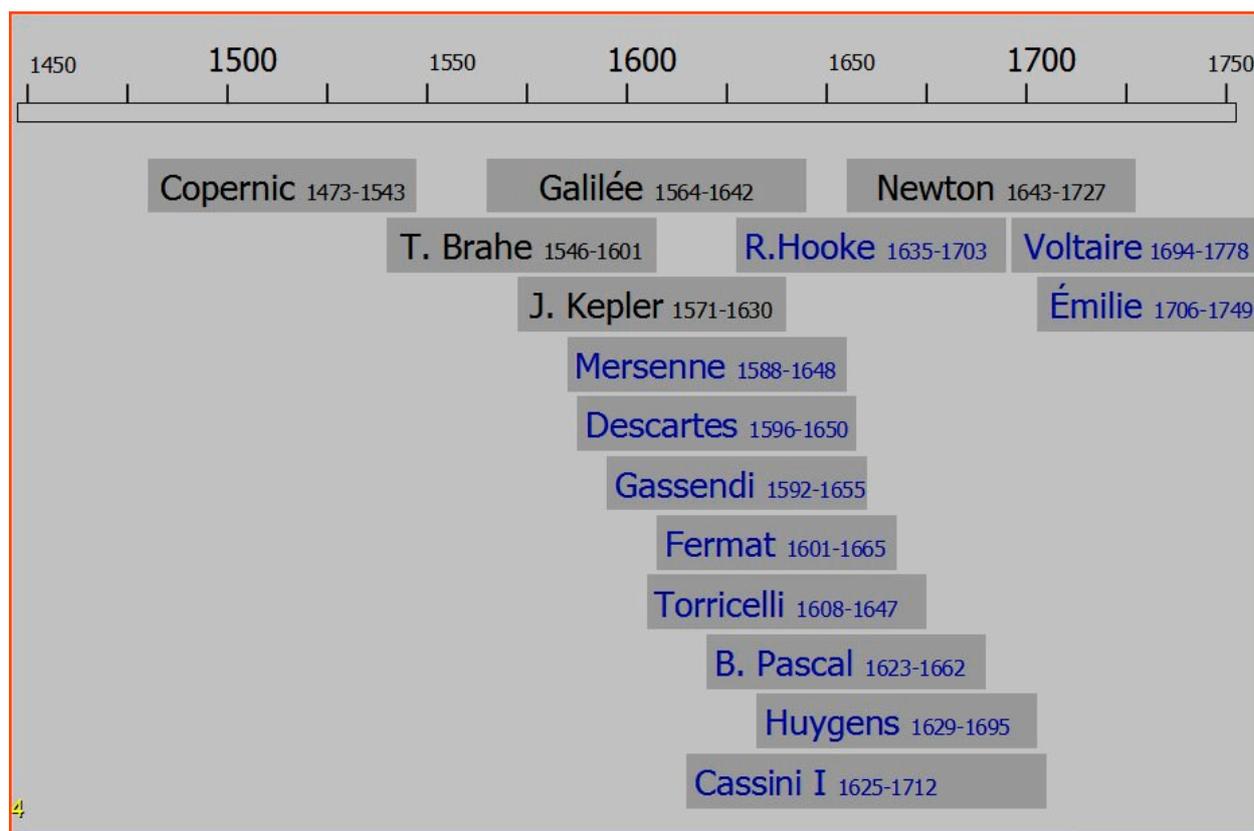


## La scienza del XVII secolo



**Copèrnico** Niccolò (**Nikolaj Kopernik**, latinizzato in *Copernicus*), astronomo polacco (Thorn, od. Torun, 1473 - Frombork, od. Frauenburg 1543).

Studiò a Cracovia, poi all'università di Bologna (dal 1496) seguendo i corsi di teologia e astronomia (effettuò anche qualche osservazione stellare con D. M. Novara). Nel 1501 venne nominato canonico di Frauenburg; ma si trattenne ancora in Italia, dove seguì i corsi di medicina e diritto a Padova, e si laureò in diritto canonico a Ferrara nel 1503. Dal 1504, stabilitosi definitivamente in Warmia (ted. Ermeland), nella Prussia Orientale, si dedicò soprattutto all'astronomia; svolgendo, nel contempo, altre attività, quali quella di consigliere (fino al 1512) di suo zio, il potente vescovo dell'Ermeland, di medico dei poveri (grazie ai suoi studi di medicina), e di traduttore di autori greci (tradusse, fra l'altro, in latino le epistole di Teofilatto Simocatta, del VIIsec. d.C.).

Nel 1514, il Concilio lateranense l'interpellò circa la progettata riforma del calendario: Copernico rifiutò di esprimere un parere in quanto non era sicuro dell'esattezza delle posizioni del Sole e della Luna, così come venivano considerate nel sistema tolemaico. Forse in conseguenza di ciò eseguì fino al 1529 numerose osservazioni in base alle quali calcolò nuove orbite per Sole e Luna: pubblicò le sue conclusioni in un opuscolo. Nel 1530 mise in circolazione un primo riassunto manoscritto delle sue ipotesi intitolato *Comentariolus*; tale manoscritto servì come base speculativa ai suoi discepoli e ammiratori. Sebbene la concezione dominante ai suoi tempi fosse il geocentrismo di Tolomeo,

che poneva la Terra immobile al centro dell'universo, già l'antichità classica (pitagorici, Aristarco di Samo) aveva ipotizzato la concezione eliocentrica, ed è probabile che di essa Copernico avesse già notizia in Italia. Fu però nel 1515 a Frauenburg che egli cominciò a delineare il sistema eliocentrico, che da lui prese il nome di copernicano. L'esposizione completa delle sue ipotesi è contenuta nel celebre trattato *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*, il quale vide la luce soltanto nel 1543 per l'insistenza degli amici e discepoli\* e fu dedicato dall'autore a papa Paolo III, con una falsa prefazione apocrifia di Andreas Osiander. (\* Georg J. Rethicus, giovane matematico tedesco, gli rende visita nel 1539 e pubblica a suo nome la *Narratio Prima*)

**Della Porta** (Giambattista), fisico e letterato italiano (Napoli 1535-1615). È autore di numerose scoperte e applicazioni sperimentali come quella della camera oscura (1593), già teorizzata precedentemente, e quella della lanterna magica; sembra che abbia precorso Galileo nell'ideare il cannocchiale. Comunque si deve senz'altro a lui la prima descrizione di un termometro molto rudimentale. Le sue opere principali sono: *De furtivis litterarum notis* (1563), trattato sulla scrittura cifrata, *Magiae naturalis libri IV* (1589), *De refractione* (1593), *De caelesti physiognomoniam* (1601), *De aeris transmutationibus* (1609), trattato di meteorologia.

Ma la fama del Della Porta si affida soprattutto alla sua opera letteraria. Scrisse tre tragedie, delle quali a noi è giunta

una sola, una tragicommedia e ventinove commedie, tutte in prosa, pubblicate fra il 1589 e il 1612.

**Viète** (François), matematico francese (Fontenay-le-Comte, Vandea, 1540 - Parigi 1603). Dapprima avvocato, consigliere al parlamento di Parigi nel 1573, fu nominato consigliere privato di Enrico III (1580), mansione che conservò anche sotto Enrico IV. Uno dei maggiori matematici del suo secolo, stabilì le regole per l'estrazione delle radici e diede alla trigonometria il suo assetto attuale (*Canon mathematicus*, 1579). Quantunque non gli si possa attribuire l'invenzione dell'algebra simbolica, ne fu indubbiamente uno dei maggiori precursori: il suo *Isagoge in artem analyticam* (1591) è in effetti il primo trattato di algebra letterale.

**Galilei** (Galileo), fisico, astronomo e filosofo italiano (Pisa 1564 - Arcetri 1642), figlio di Vincenzo. Avviato dal padre agli studi di medicina presso l'università di Pisa (1581), cominciò ben presto a interessarsi alla matematica e alla fisica.

Tornò a Firenze nel 1585 senza aver terminato gli studi di medicina, tuttavia già noto ai maggiori studiosi dell'epoca per i risultati che andava ottenendo nel campo fisico-matematico, quali la scoperta dell'isocronismo delle oscillazioni del pendolo (1583), la costruzione della bilancia idrostatica per determinare il peso specifico dei solidi (1586), alcuni teoremi sul baricentro (1586- 1587).

La fama di cui godeva gli consentì di ottenere nel 1589 una cattedra di matematica a Pisa, che tenne per tre anni, fino al 1592; in questi anni cominciò a studiare l'astronomia e si dedicò ai problemi fondamentali della meccanica, esponendo in alcuni manoscritti — raccolti sotto il titolo *De motu* — una teoria che superava la concezione del moto della tradizione aristotelica.

Nel 1592, morto il padre, e con l'appoggio del cardinale Francesco del Monte, ebbe dalla repubblica di Venezia una cattedra di matematica a Padova, che tenne fino al 1610, in un ambiente di grande vivacità e libertà di pensiero: a Venezia, dove si recò spesso, divenne amico anche di Paolo Sarpi.

Durante il soggiorno a Padova, continuò gli studi di meccanica e si occupò della caduta dei gravi: espose i suoi risultati nell'opera *Della scienza meccanica e delle utilità che si traggono dagli istrumenti di quella*, che fu diffusa manoscritta e pubblicata in traduzione francese dal Mersenne nel 1634, con il titolo *Les Mécaniques*. Si dedicò anche all'astronomia: alcune lettere, tra cui una a Keplero del 1597, testimoniano ch'egli aderiva alla teoria copernicana; in tre lezioni del 1604 sostenne anzi la validità di alcune prove di questa. Fin da allora fu carattere costante della sua opera la ricerca di applicazioni pratiche: in una piccola officina, presso la propria casa di Padova, costruì numerosi strumenti matematici (opuscolo *Le operazioni del compasso geometrico militare*, del 1606); inventò un termometro e costruì calamite.

Ma la realizzazione più importante fu quella del cannocchiale: lo strumento non è in realtà un'invenzione di Galileo, poiché l'uso di lenti era stato introdotto già nel medioevo e alla fine del Cinquecento vetrai italiani e artigiani dei Paesi Bassi avevano fabbricato apparecchi di questo tipo. Galileo fu tuttavia il primo che si occupò sistematicamente dello strumento, perfezionandolo e aumentandone il potere di ingrandimento e soprattutto utilizzandolo per osservazioni astronomiche, che convalidarono il sistema copernicano.

Scoprì i quattro satelliti maggiori di Giove (che denominò “pianeti medicei”), le montagne e i crateri della Luna, le macchie solari: nel 1610 diede notizia delle sue osservazioni nel *Sidereus nuncius*, pubblicato a Venezia. Nello stesso anno Cosimo de' Medici gli conferì la carica di “matematico primario dello studio di Pisa” senza obbligo di lezioni né di residenza: poté così trasferirsi a Firenze e dedicarsi completamente alla ricerca.

Benché studiosi insigni come Keplero approvassero le sue osservazioni astronomiche, queste trovavano anche molti avversari: lo scienziato sempre più intensamente cercò nell'esame del cielo nuove prove del sistema copernicano, della cui verità era certo, come appare da alcune lettere divenute celebri (a B. Castelli, suo discepolo, del 1613; a P. Dini, del 1615; a Cristina di Lorena, granduchessa di Toscana, del 1615). Nello stesso periodo pubblicò il *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono* (1612) [ove, contro la teoria aristotelica per la quale i corpi galleggiano per la presenza di un elemento aereo che tende verso l'alto, sviluppava la concezione di Archimede che riduce il fenomeno alla differenza di peso specifico tra il corpo immerso e l'acqua; inoltre dimostrava con misure sperimentali che l'aria pesa] e l'*Istoria e dimostrazione intorno alle macchie solari e loro accidenti* (1613), in polemica con il gesuita C. Scheiner, secondo cui le macchie nascevano da sciami di astri attorno al Sole, sicché restava salva la teoria aristotelica della perfezione dei corpi celesti: per Galileo era invece un fenomeno — simile alle nuvole — appartenente all'atmosfera del Sole e la rotazione delle macchie provava il moto di rotazione del Sole su se stesso.

La crescente ostilità degli ambienti religiosi contro la teoria copernicana portò il Sant'Uffizio, nel 1616, a condannare recisamente questa e a riaffermare l'imposizione del sistema tolemaico: le opere di Copernico furono messe all'Indice e Galileo venne convocato a Roma a giustificare le sue opinioni. Egli sosteneva che la teoria copernicana non era in contrasto con la Bibbia: questa si doveva ritenere infatti scritta in un linguaggio tale da riuscire comprensibile agli uomini del suo tempo, senza scopi di verità scientifica, che si potevano invece raggiungere solo con l'osservazione diretta della natura; la sua posizione fu respinta e Galileo fu diffidato dall'occuparsi ancora della teoria eliocentrica.

Lo scienziato non abbandonò però le osservazioni astronomiche: studiò il moto e le eclissi dei pianeti medicei, nell'intento di dedurne un metodo per determinare la longitudine durante le navigazioni.

Nel 1623 divenne papa il cardinale Barberini (Urbano VIII), che Galileo aveva già conosciuto come interlocutore aperto e illuminato in discussioni scientifiche e a cui dedicò *Il saggiatore*, scritto in polemica (dolosa) con O. Grassi del Col-

legio Romano, che aveva descritto il percorso di una cometa secondo l'interpretazione di T. Brahe.

L'opuscolo, il cui valore fondamentale consiste nell'affermazione vigorosa del metodo sperimentale, con il ricorso continuo all'osservazione diretta, e nell'enunciazione del carattere di certezza della conoscenza della natura, quando sia espressa in relazioni matematiche. Lo scienziato (che ancora si interessava a un gran numero di problemi: nel 1624 costruì il microscopio) sperò di nuovo di potere liberamente trattare questioni astronomiche. Dopo una lunga elaborazione, nel 1632 pubblicò il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, opera fondamentale nella storia del pensiero moderno, nella quale dimostra, sotto l'apparenza di neutralità, la fondatezza del sistema copernicano contro quello tolemaico.

Benché le autorità ecclesiastiche avessero autorizzato la pubblicazione dell'opera e, nella prefazione e nelle conclusioni, Galileo affermasse di accettare la verità religiosa secondo la Bibbia, la difesa del sistema copernicano era manifesta: per iniziativa dei gesuiti, grazie anche all'involuzione del papa Urbano VIII verso la più intransigente difesa delle tradizioni, lo scienziato fu nuovamente chiamato a Roma, processato, e giudicato colpevole (1633). Costretto ad abiurare, fu condannato alla prigione a vita: la pena fu subito mutata in quella dell'isolamento, che egli trascorse a Siena presso l'arcivescovo suo amico e poi nella villa di Arcetri, vicino a Firenze. Nel 1634 provò il grave dolore della morte della figlia Virginia (suor Maria Celeste); anche le sue condizioni fisiche peggiorarono e divenne quasi completamente cieco.

L'asprezza delle pene fu poi attenuata dalla concessione di tenere presso di sé qualche discepolo: negli ultimi anni ebbe vicino V. Viviani, che fu poi anche il suo primo biografo, ed E. Torricelli, il più noto dei suoi allievi. Si dedicò ancora alla scienza e nel 1638 pubblicò (a Leida) un'ultima opera fondamentale: i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* dove — ancora sotto forma di dialogo tra Salviati, Sagredo e Simplicio, gli interlocutori del *Dialogo sopra i due massimi sistemi* — sono raccolti organicamente tutti i risultati di meccanica che lo scienziato aveva ottenuto fin dal periodo pisano e padovano. Vi sono trattate la resistenza dei materiali e la dinamica; quanto alla prima, Galileo espone una teoria atomistica della materia, riduce a un problema di statica la resistenza del mezzo al moto di un corpo e, contro gli aristotelici, sostiene che il moto nel vuoto è possibile e anzi tutti i gravi vi cadrebbero con uguale velocità.

Trattando la dinamica adotta un metodo rigorosamente deduttivo: da premesse e ipotesi generali ricava matematicamente le proprietà dei moti e adduce poi prove sperimentali a verifica dei risultati; gli argomenti discussi esauriscono il moto uniforme e uniformemente accelerato (e gli esperimenti con il piano inclinato provano le leggi della caduta dei gravi) e il moto parabolico dei proiettili (nella cui trattazione interviene anche l'importante principio della composizione dei movimenti). Fino alla morte, avvenuta nel 1642, Galileo continuò i suoi studi: nel 1674 il Viviani pubblicò una continuazione dei *Discorsi* del 1638 e altri frammenti furono ritrovati e stampati nei secoli successivi.

Molti pensano che Galileo fondò la moderna scienza della natura come disciplina autonoma, indipendente dalla religione o dalla filosofia, che solo nell'indagine diretta degli eventi trova le sue verità.

**Keplero**, Johannes KEPLER, astronomo tedesco (Weil, Württemberg, 1571 - Ratisbona 1630). Dopo una dura infanzia a causa delle modeste condizioni economiche e della debole salute, studiò nel seminario di Adelberg (1584) e di Tubinga (1589), dove uno dei fervidi sostenitori del sistema copernicano, Mästlin, lo iniziò all'astronomia. Professore di matematica in un ginnasio protestante di Graz, ne fu allontanato nel 1600 a causa delle persecuzioni religiose; si rifugiò a Praga dove divenne allievo e assistente di Tycho Brahe, al quale succedette nel 1601 quale astronomo dell'imperatore Rodolfo II. Nel 1604 osservò una *supernova*, spesso indicata col suo nome. Divenuto astronomo dell'imperatore Mattia II, fu nominato professore di matematica a Linz (1611). Dopo aver rifiutato (1617) la cattedra offertagli dall'università di Bologna, a causa delle disagiate condizioni economiche, si mise al seguito del Wallenstein, il quale credeva nell'influsso degli astri, con l'incarico di compilare oroscopi. Venne sepolto nel cimitero di Ratisbona distrutto qualche anno più tardi durante l'assedio messo in atto dagli Svedesi (1633).

Utilizzando e completando egli stesso le numerose osservazioni del moto apparente del Sole eseguite da Tycho Brahe, cercò la forma della curva che poteva spiegare i dati di osservazione relativi al moto della Terra intorno al Sole. Provò dapprima con un cerchio in cui il Sole fosse leggermente spostato dal centro lungo la linea degli apsi, poi con un ovale e infine con un'ellisse col Sole in uno dei fuochi, giungendo così alla prima delle sue famose leggi. Tale scoperta si applicava anche agli altri pianeti, e i risultati così ottenuti vennero pubblicati nel 1609 nell'opera *Astronomia nova* insieme con la seconda legge. Proseguì quindi applicando tali leggi al moto dei satelliti di Giove; non riuscì invece a spiegare il più complicato moto della Luna, spiegazione che venne data nel 1638 da Horrocks. Nel 1619, nell'opera *Harmonices mundi*, espone infine la terza legge; le sue scoperte riguardo alla posizione del Sole rispetto ai pianeti e al moto di questi costituirono, mezzo secolo dopo, il punto di partenza di Newton per giungere alla scoperta della legge di gravitazione universale.

Nel campo dell'ottica adottò nei cannocchiali l'uso delle lenti convesse, studiò l'ottica fisiologica e in particolare il fenomeno dell'accomodazione e infine il fenomeno della rifrazione, senza però giungere alla formulazione della legge relativa. Calcolò inoltre delle tavole dei moti planetari, note col nome di *Tavole rudolfine* (1627), usando tra i primi i logaritmi neperiani. Infine, nell'*Admonitio ad astronomos* (1630), predisse per l'anno successivo il transito di Mercurio, la cui ombra si sarebbe proiettata come un punto scuro sulla superficie solare; la morte gli impedì di effettuare tale osservazione, che venne eseguita da Gassendi.

**Pascal** (Blaise), matematico, fisico, filosofo e scrittore francese (Clermont, od. Clermont-Ferrand, 1623 - Parigi 1662). Il padre, Etienne, rimasto vedovo fin dal 1626, si

prese cura personalmente dell'educazione del secondogenito Blaise e delle due figlie, Gilberte e Jacqueline. Nel 1631 si stabilì a Parigi e, frequentando assiduamente i circoli letterari e scientifici, fra cui quello dell'abate Mersenne, contribuì anche per questa via a stimolare la vocazione precoce del figlio.

Blaise compose appena undicenne un trattato di acustica, iniziò da solo l'anno successivo lo studio della geometria, e infine, ammesso anche lui alle riunioni del circolo del padre Mersenne, scrisse a sedici anni un *Saggio sulle coniche* (1640). Nel 1642, per aiutare il padre, che era stato incaricato nel 1639 di una difficile missione presso l'amministrazione fiscale della Normandia, progettò una "macchina aritmetica", capostipite delle macchine calcolatrici a ingranaggi, il modello definitivo della quale fu pronto peraltro solo nel 1652. In quegli stessi anni nella famiglia di Pascal circolarono gli scritti di Giansenio, del Saint-Cyran e di A. Arnauld.

Stabilitosi dal 1647 a Parigi insieme con la sorella Jacqueline, proseguì le ricerche scientifiche, nonostante le condizioni della sua salute, gravemente compromessa. Ebbe anche due incontri con Cartesio (settembre 1647), ma pare che i due grandi uomini non riuscissero a trovare un terreno di intesa, e fra i motivi di contrasto dovettero figurare le loro opposte concezioni del vuoto. Su questo argomento Pascal poco dopo pubblicò il resoconto delle prime esperienze da lui eseguite a Rouen nel 1646, le quali ripetevano in sostanza quella di Torricelli (*Nuove esperienze riguardanti il vuoto*, 1647). In questo stesso periodo scrisse inoltre la mirabile *Prefazione per un trattato sul vuoto*, che contiene il suo punto di vista sui metodi propri delle varie scienze. Il 19 settembre 1648, dietro sua indicazione, il cognato Périer eseguì sulla vetta del Puy-de-Dôme un'altra esperienza a verifica delle ipotesi di Torricelli. Scrivendo verso la fine del 1648 il *Racconto della grande esperienza* Pascal poteva così affermare che l'*horror vacui* attribuito dalla fisica tradizionale alla natura andava più semplicemente spiegato con la pressione atmosferica. Pascal ripeté poi lui stesso l'esperimento sulla torre del convento di Saint-Jacques a Parigi.

Dopo la morte del padre (1651) e dopo l'entrata di Jacqueline fra le suore di Port-Royal (1652), Pascal si impegnò ancora più febbrilmente nella ricerca scientifica. Contemporaneamente frequentava la compagnia di alcuni amici, spiriti liberi ed emancipati, se non proprio libertini.

Quando Arnauld si trovò sotto la minaccia di una condanna da parte della Sorbona, Pascal fu sollecitato a difenderlo e rivelò in tale occasione un insospettato vigore di polemista. Dal gennaio del 1656 al marzo del 1657 pubblicò le diciotto *Lettere provinciali* (v. PROVINCIALI [Le]), attaccando la Sorbona, i gesuiti e in particolare gli abusi e le storture dei casuisti. Se gli *Scritti sulla grazia* testimoniano il perdurare dell'interesse per le questioni teologiche e la costante ispirazione giansenistica, Pascal tornò in questo periodo con rinnovata passione anche agli studi scientifici. Nel 1654 partecipò ai lavori dell'Accademia matematica, entro la quale si continuava l'attività del circolo del padre Mersenne. Risolse il problema della *roulette*, vale a dire della cicloide, improvvisando e utilizzando metodi di calcolo che anticipano in certa misura il calcolo integrale.

L'*Apologia*, che avrebbe dovuto essere la sua opera capitale, restava così incompiuta. Gli amici raccolsero le sue note e, dopo aver apportato numerosi ritocchi al testo originale, le pubblicarono nel 1670, sotto il titolo di *Pensieri*.

**Mersenne** (abate Marin), filosofo e scienziato francese (La Saultière, presso Oizé, Maine, 1588 - Parigi 1648). Intimo amico di Cartesio, insegnò filosofia a Nevers (1614-1620) e si stabilì in seguito a Parigi presso il convento dell'Annunciata. Fu in contatto con i principali scienziati della sua epoca, tra i quali Pascal, Torricelli, Fermat; organizzò riunioni scientifiche regolari che diedero più tardi a Colbert l'idea di fondare l'Accademia delle scienze; tradusse la *Meccanica* di Galileo (1644) e le opere dei matematici greci (*Universae geometricae mixtaeque mathematicae synopsis*, 1644). Di notevole importanza è pure il suo contributo allo sviluppo delle scienze. Utilizzò per primo il pendolo per la misura dell'accelerazione di gravità (1644) ed ebbe l'idea di un igrometro e di un telescopio a specchio parabolico. I suoi lavori più originali vertono però sugli studi relativi all'acustica: *Armonia universale* (*Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la musique*, 1636). Scoprì le leggi dei tubi sonori e delle corde vibranti, determinò la relazione fra le frequenze della scala musicale e le altezze, studiò gli echi sonori e misurò la velocità del suono (1636).

**Desargues** (Gérard o Gaspard), matematico e ingegnere francese (Lione 1593-1662). Fu dapprima militare e prese parte all'assedio della Rochelle ove strinse amicizia con Cartesio. Si dedicò poi allo studio della geometria. A lui si deve la proposizione nota come *teorema di Desargues* e che egli definì *involuzione dei sei punti*. Questo teorema contiene come caso particolare il teorema di Pappo relativo ai segmenti staccati su una retta dai lati e dalle diagonali di un quadrilatero. L'opera intitolata *Brouillon projet des coniques*, ove egli aveva raccolto le sue ricerche e che aveva suscitato l'ammirazione di Pascal e Fermat, è andata perduta. Si deve pure a Desargues il seguente teorema: "Se due triangoli posti nello spazio o su un medesimo piano hanno i vertici corrispondenti posti su tre rette concorrenti in un punto, i lati corrispondenti si incontrano in tre punti allineati e viceversa". Il teorema servì a Poncelet per la sua teoria sulle figure omologiche. Pubblicò inoltre diverse opere sulla prospettiva, il taglio delle pietre preziose, la costruzione di meridiane, tutte perdute.

**Gassendi** (Pierre Gassend, detto), filosofo, astronomo, matematico e fisico francese (Digne, 1592 - Parigi 1655). Con l'aiuto di alcuni protettori poté studiare prima a Digne, poi ad Aix-en-Provence e ad Avignone. Nel 1617 fu ordinato sacerdote e ottenne nello stesso anno una cattedra all'università di Aix. Per quanto fosse prevosto della cattedrale di Digne fin dal 1626, soggiornò stabilmente in questa città solo dal 1648 al 1653. La sua residenza abituale fu Parigi, dove entrò in relazione con numerosi scienziati, fra quelli che si riunivano all'Hôtel des Monnaies (la zecca parigina). Insegnò matematica al Collegio di Francia dal 1645 al 1648. La sua prima opera (1624) elenca le incongruenze della fisica e della metafisica di Aristotele. In due

opere su Epicuro (1647 e 1659) fa proprie le posizioni dell'atomismo classico (al quale era giunto attraverso un'appassionata lettura di Lucrezio), correggendole quel tanto che consenta di armonizzarle con la dottrina del cristianesimo. Per Gassendi gli atomi non esistono da sempre, ma sono stati generati da Dio, che ha predisposto le leggi della loro aggregazione e disgregazione. Anche l'etica epicurea del "piacere stabile" e della limitazione dei bisogni viene abbastanza agevolmente portata a coincidere con l'ascetismo cristiano. Gassendi scrisse nel 1625 a Galileo per manifestargli la sua incondizionata ammirazione. Egli è anche autore delle famose *Obiezioni alle Meditazioni* di Cartesio, in cui la sua critica è prevalentemente rivolta contro il dubbio cartesiano e contro il carattere soggettivo del criterio di verità. L'influenza di Gassendi sui "libertini" e sugli "epicurei" (che oggi si indicherebbero meglio come liberi pensatori e seguaci di una morale laica) fu notevole e giunse fino ai grandi maestri dell'Illuminismo (per es. Diderot).

Nel campo degli studi di astronomia si devono a Gassendi numerose osservazioni sui satelliti di Giove; descrisse inoltre alcune eclissi e studiò in modo approfondito Mercurio. Come fisico, studiò le leggi dell'urto, si occupò della caduta dei gravi, spiegò l'altezza del suono e ne misurò la velocità di propagazione.

**Cartesio**, dal nome lat. **Cartesius** del filosofo e matematico francese René DESCARTES (La Haye 1596 - Stoccolma 1650). Nato da una famiglia di ricchi borghesi, venne educato dai gesuiti nel collegio di La Flèche (1604-1612). Rimasto a lungo incerto se intraprendere la carriera militare o darsi a una vita appartata di studio, nel 1617 si arruolò volontario nell'esercito di Maurizio di Nassau; nel 1619 passò al seguito dell'elettore di Baviera e nel 1621 seguì il conte di Bucquoy. Fu in Ungheria, in Germania, in Polonia, in Olanda, in Svizzera e in Italia, e di tanto in tanto tornò a Parigi o a Rennes, dove si trovava la sua famiglia. Nel 1628 prese parte all'assedio della Rochelle. Nel 1629 si stabilì in Olanda dove rimase vent'anni, abitando ad Amsterdam, Leida ed Egmond; questo lungo soggiorno olandese venne interrotto da un viaggio in Danimarca e da tre brevi ritorni in Francia. La regina Cristina di Svezia, piena di ammirazione per lui, lo invitò a Stoccolma nel settembre del 1649 perché le insegnasse la filosofia; qui Cartesio morì di polmonite l'11 febbraio 1650.

Opere principali: *Regulae ad directionem ingenii* (scritte nel 1628 ma pubblicate nel 1701); *Trattato del mondo* (1633), che però non pubblicò per intero per timore di un conflitto con le autorità religiose e che nel 1637 ridusse a tre saggi: *La diottrica*, *Le meteore* e *La geometria*, preceduti da una prefazione che fu il celebre *Discorso sul metodo*; *Meditazioni metafisiche* (1641), *Principia philosophiae* (1644), *Le passioni dell'anima* (1649).

Cartesio vide nel metodo matematico la via più rigorosa per giungere a verità indiscutibili e pertanto auspicò l'estensione del metodo matematico alla filosofia, secondo i criteri della "chiarezza e della distinzione". Ma, mentre il contemporaneo Galileo aveva senz'altro accettato il metodo matematico per lo studio della natura senza indagarne la fondatezza, Cartesio si propose di esaminare da filosofo la validità del-

l'esigenza geometrica e matematica. Da cui il "dubbio metodico" esteso a tutti i dati della conoscenza.

Dio, infatti, in quanto essere perfetto, buono e verace non può ingannare il pensante e la sua esistenza garantisce che tutto ciò che appare come chiaro ed evidente esiste realmente. In questo senso possiamo veramente applicare a tutti i campi del sapere il metodo geometrico-matematico. Il mondo esterno è per Cartesio riducibile all'estensione corporea, la *res extensa*, che coincide rigorosamente con lo spazio e che quindi esclude in modo assoluto l'ipotesi del vuoto. Pertanto la filosofia cartesiana sfocia in un dualismo tra pensiero (*res cogitans*) e materia (*res extensa*) che crea una serie di gravi difficoltà.

**Fermat** (Pierre de), matematico francese (Beaumont-de-Lomagne, Tarn e Garonna, 1601 - Castres 1665). Consigliere al parlamento di Tolosa, si occupò anche di letteratura e di matematica. Compì ricerche di notevole importanza ma pubblicò raramente le sue scoperte e trascurò di scriverne le dimostrazioni: per questa ragione molti dei suoi lavori andarono perduti. Alcune sue lettere del 1636 provano che egli sapeva rappresentare le curve mediante equazioni anteriormente alla geometria analitica di Cartesio. Gli si attribuiscono inoltre la prima idea del calcolo differenziale e l'invenzione, con Pascal, del calcolo delle probabilità. I suoi scritti principali furono pubblicati nel 1679 dal figlio Samuel sotto il titolo: *Varia Opera Mathematica*.

**Fermat** (principio di), principio generale dell'ottica geometrica che asserisce che un raggio luminoso congiungente due punti A e B qualsiasi segue, fra tutte le traiettorie possibili, quella corrispondente al cammino ottico minimo, cioè quella percorsa nel minor tempo possibile. In termini più precisi si dice che la traiettoria  $\Gamma$  del raggio luminoso in un mezzo di indice di rifrazione  $n$  (anche variabile) è quella che rende stazionario l'integrale  $n\Gamma ds$ ; in alcuni casi la curva che soddisfa questa condizione corrisponde al cammino ottico massimo. Da questo principio si possono ricavare le leggi della propagazione rettilinea, della riflessione e della rifrazione.

**Fermat** (teorema di), teorema della teoria dei numeri, il quale afferma che *se  $p$  è un numero primo e  $A$  è un intero primo con  $p$ ,  $AP^{-1} - 1$  è divisibile per  $p$ .*

**Fermat** (ultimo teorema di), teorema enunciato da Fermat, secondo il quale (che non ne fornì la dimostrazione): *Se  $n$  è un intero positivo superiore a due, l'equazione*

$$x^n + y^n = z^n$$

*non può essere soddisfatta da valori interi (diversi da zero) di  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .*

**Torricelli** (Evangelista), matematico e fisico italiano (Faenza, Ravenna, 1608 - Firenze 1647). Dopo avere seguito gli studi nella città nativa presso i gesuiti, nel 1627, per consiglio dello zio paterno Jacopo, monaco camaldolese, fu mandato a Roma alla scuola di Benedetto Castelli.

Nel 1641 compose il suo primo scritto scientifico, *De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum*, nel

quale dimostrò che un sistema materiale è in equilibrio quando il suo centro di gravità occupa la posizione più bassa possibile. Così egli si riallacciava agli argomenti esposti da Galileo nel terzo dialogo dei *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*, e il grande scienziato, per consiglio del Castelli, lo chiamò come coadiutore ad Arcetri. Ma la collaborazione durò solo pochi mesi, dall'ottobre 1641 alla morte di Galileo, avvenuta al principio dell'anno seguente. Torricelli fu allora nominato matematico e filosofo del granduca di Toscana. Nel campo della matematica, estendendo le idee del Cavalieri sugli indivisibili curvi si pose tra i fondatori del calcolo infinitesimale

Nell'*Opera geometrica* (1644, include anche il *De motu gravium*) Torricelli espose il suo metodo per la costruzione delle tangenti alle curve piane, e la determinazione di un punto (*punto di Torricelli*) per il quale risulti minima la somma delle distanze da tre punti dati. Ideatore ed esecutore come Galileo di strumenti, e in particolare strumenti ottici, interessato a problemi pratici di idrodinamica e di balistica; ha legato il suo nome nella fisica soprattutto allo strumento che da Mariotte venne poi denominato barometro. La celebre esperienza fu eseguita nel 1643 a Firenze, dopo che, nonostante l'intervento di Galileo, si era invano cercato di costruire una pompa aspirante per sollevare l'acqua a più di 32 piedi di altezza. Torricelli utilizzando un tubo pieno di mercurio (*tubo di Torricelli*) dimostrò l'esistenza della pressione atmosferica e provò che il valore di questa stabiliva i limiti entro cui poteva funzionare una pompa.

**Torricelli** (teorema di), teorema dell'idrodinamica relativo all'efflusso di un liquido attraverso un foro in una parete sottile.

**Cassini**, famiglia di astronomi e geodeti francesi di origine italiana: GIAN DOMENICO, detto *Cassini I* (Perinaldo, Imperia, 1625 - Parigi 1712), insegnò all'università di Bologna e costruì la grande meridiana in San Petronio. Chiamato in Francia da Colbert (1669), si naturalizzò francese e fu il primo direttore dell'osservatorio di Parigi, fondato da Luigi XIV (1672). Scoprì la rotazione di alcuni pianeti intorno al proprio asse e quattro satelliti di Saturno, oltre alla zona oscura dell'anello che da lui prese il nome; determinò la parallasse solare e contribuì alla misurazione dell'arco di meridiano passante per l'osservatorio di Parigi (meridiano di Francia); — suo figlio JACQUES, detto *Cassini II* (Parigi 1677 - Thury, Beauvaisis, Oise, 1756), gli succedette nella direzione dell'osservatorio e continuò le ricerche sulla forma e le dimensioni della Terra; — CÉSAR FRANÇOIS *Cassini de Thury* o *Cassini III* (Thury 1714 - Parigi 1784), figlio di Jacques, collaborò con La Caille nella verifica della “meridiana di Francia”, a Parigi, e si interessò principalmente di cartografia. Direttore dell'osservatorio di Parigi, per incarico regio iniziò i rilevamenti della carta di Francia (scala 1:86.400), completata da Capitaine nel 1789, che servì di modello alle carte ufficiali successive; — il figlio di César François, DOMINIQUE, conte di Cassini, detto *Cassini IV* (Parigi 1748 - Oise, 1845), diresse i lavori di completamento della carta di Francia.

**Cassini** (curva od ovale del). E così detto, dal nome di Gian Domenico *Cassini*, il luogo dei punti P tali che il prodotto

delle loro distanze da due punti fissi  $F_1, F_2$  è uguale a una data costante  $a$ .

**Huygens** (Christiaan), fisico, matematico e astronomo olandese (L'Aia 1629-1695). Studiò alle università di Leida e di Breda; si dedicò dapprima a studi su questioni matematiche e volse poi i suoi interessi verso problemi di fisica. Nel 1663 membro della Royal Society di Londra; nel 1665 fu chiamato in Francia da Colbert e divenne membro dell'Accademia delle scienze (1666): a Parigi, ove rimase fino al 1680, subì profondamente l'influenza dell'ambiente filosofico francese. Trascorse poi gli ultimi anni di vita in Olanda solo e malato.

Opere di fisica, nel campo della meccanica e dell'ottica. Per primo studiò i sistemi rigidi, estendendo (Galileo : meccanica di un punto in movimento. Teoria dei momenti di inerzia. Nell' *Horologium oscillatorium*, dedicata a Luigi XIV (1673), studia il problema del pendolo composto e stabilì il risultato (*teorema di Huygens del pendolo reversibile*) della reciprocità tra asse di oscillazione e asse di sospensione. Applicò la teoria del pendolo composto alla costruzione del bilanciere degli orologi, e propose l'uso di una molla a spirale per gli orologi portatili mentre già dal 1657 aveva inventato lo scappamento ad ancora per mantenere il movimento. Sempre attraverso la teoria del pendolo composto, calcolò il valore dell'accelerazione di gravità e ne studiò le variazioni dipendenti dalla latitudine. Formulò inoltre l'ipotesi della conservazione della “forza viva” (termine con cui si designava la quantità denominata ora *energia cinetica*) e applicò questo principio di conservazione alla risoluzione del problema dell'urto (1669). In ottica, fu il primo a formulare con precisione una teoria ondulatoria della luce: introdusse l'ipotesi che la luce consista in una perturbazione di carattere ondulatorio e che nella propagazione di questa ogni punto raggiunto dalla vibrazione generata da una sorgente si comporti a sua volta come sorgente secondaria di vibrazioni, facendo nascere una nuova *onda elementare*; l'involuppo di tutte le onde elementari costituisce la *superficie d'onda*, luogo dei punti che vengono raggiunti dalla perturbazione allo stesso istante. Attraverso il metodo delle onde elementari e della superficie d'onda (che venne poi precisato meglio da Fresnel ed è noto come *principio di Huygens-Fresnel*), Huygens dimostrò, nell'opera *Trattato sulla luce*, composta durante il suo soggiorno in Francia, ma pubblicata solo nel 1690 a Leida, che dall'ipotesi ondulatoria si ottenevano le leggi della riflessione e della rifrazione altrettanto correttamente che dall'ipotesi corpuscolare sostenuta da Cartesio e Newton; la polemica tra gli assertori dell'impostazione ondulatoria di Huygens e di quella corpuscolare newtoniana continuò ancora per i due secoli successivi e venne superata solo con il nuovo concetto di radiazione elettromagnetica e di fotone della fisica moderna, che compendia entrambe le teorie attribuendo alla luce natura ondulatoria e corpuscolare a un tempo.

Ebbe inoltre il merito di avviare Leibniz allo studio dell'analisi infinitesimale. Si dedicò anche a problemi di calcolo delle probabilità e compose nel 1656 il trattato *De ratiociniis in ludo alearum*.

Nella sua opera di astronomo ebbero grande importanza sia le ricerche teoriche sia l'attività pratica; si dedicò infatti a perfezionare la teoria cartesiana dei vortici secondo cui l'attrazione di gravità sarebbe dovuta a un "etere rotante" attorno alla Terra e agli altri corpi celesti, e in questo studio stabilì le leggi della forza centrifuga (1673). Inoltre dimostrò, contemporaneamente ad altri scienziati (Hooke, Halley, Wren), e indipendentemente da essi, che se le orbite dei pianeti fossero circolari il moto sarebbe dovuto a una forza inversamente proporzionale ai quadrati delle distanze dal Sole: benché fosse già noto dall'opera di Keplero che le orbite dei pianeti sono ellittiche, il risultato è notevole, poiché portava allo stesso tipo di forza che sarebbe poi stato introdotto dalla legge fondamentale di Newton sull'attrazione tra due masse. Le invenzioni che Huygens compì per perfezionare gli strumenti di osservazione astronomica fecero di Leida uno dei maggiori centri di ricerca astronomica alla fine del XVII sec.; egli inventò l'oculare negativo dei cannocchiali, e nuovi procedimenti nella lavorazione delle lenti. Scoprì l'anello di Saturno e il suo primo satellite, Titano (1655), la rotazione di Marte, le macchie scure di Giove, la nebulosa di Orione (1656).

Tutte le opere di Huygens furono raccolte da W. J. 's-Gravesande.

**Hooke** (Robert), astronomo e matematico inglese (Freshwater, isola di Wight, 1635 - Londra 1703). Membro della Royal Society (1663) e professore di geometria al Gresham College di Londra (1665), inventò e perfezionò numerosi strumenti e dispositivi sperimentali. Contestò a Newton la priorità della scoperta della gravitazione universale: intuì vagamente la possibilità di utilizzare il moto di un pendolo per determinare il valore dell'accelerazione di gravità. Applicò per primo le molle a spirale ai bilancieri degli orologi. Nel 1665 pubblicò *Micrographia*, in cui descrivendo il microscopio e le osservazioni con esso effettuate, in particolare sulla struttura del sughero, usò per la prima volta il termine "cellula". La sua fama è legata principalmente all'aver enunciato (1676) la legge di proporzionalità fra le deformazioni elastiche dei corpi e gli sforzi a cui questi sono sottoposti, nota come *legge di Hooke*, sulla quale si fonda la teoria classica dell'elasticità. Nel campo dell'astronomia compì numerose osservazioni sulle macchie solari, su Giove, sugli anelli di Saturno e su varie comete.

**Newton** (sir Isaac), fisico, matematico e astronomo inglese (Woolsthorpe, Lincolnshire, 1642 - Kensington, Middlesex, 1727). Figlio postumo di un proprietario terriero, studiò al Trinity College di Cambridge dove fu notato da I. Barrow. Nel 1665, durante la peste di Londra, l'università di Cambridge fu chiusa ed egli rientrò a Woolsthorpe, rimanendovi fino al 1667. A questo periodo risalgono le sue scoperte fondamentali sul calcolo infinitesimale, sulla natura della luce e sulla teoria della gravitazione universale. Nel 1669 succedette a Barrow nell'insegnamento della matematica ed espose nelle sue lezioni la teoria della composizione della luce bianca, completando la spiegazione del fenomeno dell'arcobaleno fornita da Cartesio. Nel 1671 costruì un telescopio a riflessione. Nominato membro della Royal Society nel 1672, tre anni dopo comunicò a tale accademia una te-

oria sul colore dei corpi, pervenendo anche a una spiegazione delle iridescenze prodotte mediante lamine sottili. I suoi studi sulla diffrazione (scoperta dal Grimaldi) non vennero pubblicati che nel 1704 (dopo 32 anni!), nella prima edizione del *Trattato di ottica*. Cedendo alle pressioni di Halley, si accinse, probabilmente intorno al 1683, a scrivere i *Principi matematici della filosofia naturale*, che vennero pubblicati nel 1687, nonostante le ristrettezze finanziarie della Royal Society, avendo lo stesso Halley garantito al tipografo la copertura delle spese di stampa. In tale opera Newton sviluppò la sua teoria della gravitazione universale che andava elaborando da parecchi anni.

Oltre a questa legge fondamentale, secondo cui la forza di attrazione tra due corpi è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, si trovano esposti nel trattato lo studio del moto dei fluidi, le leggi dell'urto, il calcolo della precessione degli equinozi, la teoria delle maree, ecc. Si può affermare senz'altro che questo scritto ha posto i fondamenti e ha fissato i procedimenti della scienza moderna. Nel 1687 Newton fu scelto dall'università di Cambridge quale difensore dei suoi diritti contro le intromissioni della monarchia (\*...esplicitare); le capacità di cui diede prova in tale occasione lo fecero eleggere dal medesimo ateneo come proprio rappresentante al parlamento. Nel 1695 lord Halifax, suo ex alunno e cancelliere dello scacchiere (e amante della bellissima nipote...), allo scopo di attuare un progetto di riforma radicale del sistema monetario lo nominò ispettore della zecca di Londra, di cui successivamente divenne direttore (1699). Sempre nel 1699, l'Accademia delle scienze di Parigi lo chiamò a occupare uno degli otto posti di membro straniero; nel 1703 fu eletto presidente della Royal Society, carica che mantenne fino alla morte.

A Newton si devono anche numerose scoperte matematiche fondamentali. Nel campo dell'analisi infinitesimale in un opuscolo del 1671 vengono definite le flussioni e le fluenti, la determinazione dei valori massimi e minimi e dei flessi delle funzioni di una variabile, la costruzione di tangenti alle curve piane, le quadrature e rettificazioni. Gli appunti riuniti sotto il titolo *Methodus differentialis* (1712) possono essere considerati vere e proprie memorie scientifiche. Nel trattato si notano, in particolare, metodi esposti contemporaneamente alla scoperta da parte di Leibniz del calcolo differenziale; anzi, tra i sostenitori dei due scienziati sorse un'accesa disputa circa la priorità dell'invenzione di tale nuovo metodo di calcolo. Newton detestava questo genere di controversie e ciò spiega l'esitazione che egli spesso mostrò prima di pubblicare i risultati originali delle sue ricerche.

Scrisse anche due opere di ricerche storiche e teologiche. Un attacco di male della pietra lo spense, lasciando costernata tutta l'Inghilterra, dove egli era venerato come una gloria nazionale. Ebbe funerali solenni e gli fu eretta nell'abbazia di Westminster una tomba sontuosa con la famosa iscrizione: *Sibi gratulentur mortales...* ("Si rallegrino i mortali che sia sorto un tale e tanto grande vanto del genere umano"). Newton infatti è uno dei più grandi scienziati di tutti i tempi e pochi altri come lui hanno lasciato un'impronta così profonda e rivoluzionaria in tanti campi della ricerca.

**Newton** (leggi di): leggi della meccanica classica (in particolare si indica spesso come legge di Newton l'equazione del moto nella forma vettoriale  $F=ma$ , dove  $F$  è la forza,  $m$  la massa e  $a$  l'accelerazione) e la *legge dell'attrazione universale* che rappresenta sotto molti aspetti il contributo più originale di Newton alla fisica del suo tempo.

La prima intuizione avuta da Newton sulla natura dell'attrazione terrestre (la cui esistenza era peraltro già conosciuta dagli antichi filosofi greci) scaturì dall'idea che la forza che agisce tra i corpi celesti, e in particolare la forza che trattiene la Luna in orbita attorno alla Terra, fosse dello stesso tipo di quella responsabile della caduta dei gravi sulla superficie terrestre. Il ragionamento fatto da Newton per verificare la fondatezza di quest'ipotesi si può ricostruire con un linguaggio moderno nella forma seguente:

la Luna descrive approssimativamente una circonferenza attorno alla Terra. Il moto descritto dalla Luna in un secondo si può pensare composto di due moti indipendenti: uno dovuto alla velocità tangenziale che in assenza della gravitazione tenderebbe ad allontanare la Luna lungo una tangente alla circonferenza; l'altro, descritto dal segmento  $h = AB$ , rappresenta l'effetto dell'attrazione terrestre ed è interpretabile come lo spazio percorso in un secondo dalla Luna nella sua caduta verso la Terra. In base alle leggi di Keplero si può dimostrare che  $h$  è inversamente proporzionale alla distanza  $R$  dal centro della Terra, cioè  $h=k/R^2$ . D'altra parte lo spazio percorso in un secondo da un corpo che cade sulla superficie terrestre con velocità iniziale nulla è  $1/2 g$  ( $g$  accelerazione di gravità). Se la forza che attrae la Luna è dello stesso tipo di quella responsabile della caduta dei gravi deve valere la relazione  $1/2 g=k/r^2$  dove  $r$  è il raggio della Terra. Confrontando le due relazioni ottenute si ha  $g/2h = R^2/r^2$ . Nonostante i valori poco precisi del raggio della Terra e della distanza Terra-Luna di cui Newton poteva disporre l'ottimo accordo della formula precedente con l'esperienza dimostrava in modo inequivocabile il carattere universale dell'attrazione gravitazionale.

**Newton** (formula di), espressione approssimata dell'integrale di una funzione in un intervallo finito ottenuta sostituendo alla funzione integranda  $f(x)$  un polinomio di grado  $n$  che assume lo stesso valore della funzione in  $n+1$  punti, che comprendono gli estremi dell'intervallo (tale formula è detta anche *formula di Newton-Cotes*). Il polinomio  $y=P_n(x)$  così costruito, detto *polinomio di Newton*, è utilizzato anche per interpolare una funzione arbitraria nota solo in alcuni punti. La relazione che lega i coefficienti di questo polinomio ai valori noti della funzione è nota come *formula di interpolazione di Newton*.

**Leibniz** (Gottfried Wilhelm von), filosofo e matematico tedesco (Lipsia 1646 - Hannover 1716). A quindici anni conosceva già a fondo le lingue classiche, aveva letto gli scrittori greci e latini e intrapreso lo studio della scolastica. Cominciò poi a leggere i moderni: Bacone, Cardano, Campanella, Keplero, Galileo, Cartesio e aderì al meccanicismo cartesiano. Nel 1663 divenne *magister philosophiae* a Lipsia. Nel 1666 si laureò in giurisprudenza presso l'università di Altdorf. Il trattato *De arte combinatoria*, pubblicato nello stesso anno. Nutrì l'ambizione di occuparsi della politica internazionale. Contemporaneamente, in cinque anni di attività fecondissima egli dette prova del suo ingegno multiforme.

Nei suoi sfortunati tentativi di alta politica Leibniz perseguì sempre due grandi obiettivi: quello dell'unificazione delle Chiese cristiane e quello dell'abolizione della guerra fra gli Stati europei. Proprio con lo scopo di deviare verso la conquista dell'Egitto le ambizioni espansionistiche di Luigi XIV egli si recò a Parigi nel 1672: il Re Sole non lo prese troppo sul serio e gli interventi del filosofo non sortirono un effetto apprezzabile. Leibniz restò comunque a Parigi quattro anni (con la sola interruzione di un breve viaggio a Londra nel 1673) e approfittò del lungo soggiorno per entrare in contatto con tutte le personalità più in vista, quali Malebranche e Huygens, e per approfondire gli studi di matematica. Al termine del soggiorno parigino (1676) fu così in grado di dare una prima sistemazione all'intuizione del calcolo infinitesimale.

Come matematico, pubblicò nel 1684 un *Nuovo metodo per la determinazione dei massimi e dei minimi*, che conteneva ormai le linee definitive della sua impostazione del calcolo infinitesimale. Sulla priorità della scoperta si accese un'aspra polemica fra Leibniz e Newton. Come geologo, fu il primo a rilevare che alcune rocce sono di natura endogena (derivate, per es., dal raffreddamento di materiali in fusione) e altre di natura esogena (derivate, per es., dalla precipitazione di materiali in soluzione). Negli opuscoli scritti fra il 1691 e il 1694 elaborò il nucleo centrale della sua metafisica, sostenendo contro Cartesio che l'essenza dei corpi è data dalla forza e non dall'estensione. Nel *Nuovo sistema della natura e della comunicazione delle sostanze* (1694) sviluppò la dottrina dell'armonia prestabilita.

Nei *Nuovi saggi sull'intelletto umano* (1704), prende posizione in favore dell'innatismo: la sola esperienza non basta a spiegare la conoscenza umana.

Il male è inerente alla stessa essenza della creatura, in quanto limitata e finita: è questo il "male metafisico", di cui il "male fisico" e il "male morale" sono derivazioni necessarie.

Nella *Monadologia* (1714) Leibniz costruisce per sommi capi un suo sistema metafisico e dà un quadro d'insieme della sua dottrina. La realtà è costituita da una molteplicità di sostanze immateriali (*monadi*), che sono centri di forza spirituale, ognuno dei quali include l'universo da un unico e irripetibile punto di vista. La gerarchia delle monadi è determinata dal grado della loro attività psichica; la monade suprema è Dio, e da essa tutte le altre derivano in un processo di creazione continua. Le monadi non hanno alcun rapporto fra loro e quella che può essere interpretata come influenza reciproca delle sostanze è solo la manifestazione apparente della preordinazione divina (*armonia prestabilita*). L'universo è un mondo morale, una città divina, dove il meglio emerge a poco a poco in forza delle leggi poste da Dio e dove le vie della natura si accordano sempre con quelle della Grazia. Lo stesso anno Leibniz tornò su quest'ultimo argomento nell'opuscolo *Principi della natura e della Grazia*.