

I padri fondatori

[Fonti: Roberto Renzetti – www.fisicamente.net;

E. Segré, "Personaggi e scoperte della fisica classica", Mondadori]



G. Galilei (1564-1642)



C. Huygens (1629-1695)



I. Newton (1642-1727)

Galileo Galilei (1564 - 1642)

Il contesto storico: l'età barocca

- 1) La natura è ricca di fatti i quali si conformano rigorosamente a **leggi esatte ed inequivocabili** (i fatti del "cielo" li ritroviamo pure sulla "Terra").
- 2) La nostra ragione può cogliere l'intima verità degli eventi naturali.
- 3) Poiché questa **verità è scritta con leggi matematiche**, tanto il calcolo come la geometria costituiscono un modello ideale per la nostra ragione (ed anche la filosofia deve imitare tali modelli se vuole uscire dalle secche delle generalità e dell'incertezza).
- 4) Con sforzi giganteschi **ci si affranca dal misticismo**, dall'animismo, dalla magia, dalla superstizione, dall'astrologia, dall'irrazionale, ... che avevano pervaso fortemente tutto il secolo del Rinascimento. A questa riconquista della ragione aiuteranno proprio le ormai **completate traduzioni dei classici greci riscoperti**.
- 5) Le tendenze irrazionali saranno naturalmente ancora presenti ed occorrerà affrancarsi da esse con lotte che saranno durissime e che vedranno sempre il potere schierato contro ogni progresso civile e morale. Questo secolo (il '600) prepara il secolo dell'Illuminismo che si compirà con la Rivoluzione Francese che apre alla società contemporanea.

Cronologia fondamentale

1564: nasce a Pisa da un mercante e teorico della musica Vincenzo Galilei e da Giulia Ammannati.

1574: si trasferisce a Firenze dove studia privatamente umanità, logica, disegno, prospettiva e musica.

1581: si iscrive agli studi di Medicina all'Università di Pisa.

1583: mentre era in chiesa, scopre la legge dell'isocronismo del pendolo per piccole oscillazioni.



1584: inizia gli studi di matematica (Euclide, Apollonio, Tolomeo, Pappo e, soprattutto, Archimede) a Pisa, ma solo l'anno successivo abbandona senza aver conseguito alcun titolo accademico (gli esperimenti di caduta dei gravi dalla Torre non hanno riscontro).

1585: sotto l'influsso di Archimede, inventa una bilancia idrostatica per la determinazione del peso specifico (*La bilancetta*).

1587: scrive i *Theoremata circa centrum gravitatis solidorum* ed inizia ad essere conosciuto.

1588: dà lezioni sull'*Inferno* di Dante (raccolte in un libretto).

1589: diventa lettore di matematiche a Pisa (insegna astronomia tolemaica e geometria euclidea) con una misera paga.

1590 scrive: *De motu e Contro il portar la toga* (è un'operetta satirica in cui si prende in giro l'uso di dare lezioni presso l'Università indossando una toga), *Considerazioni sul Tasso* (si noti che la passione umanistica non abbandonerà mai Galileo).

1591: morte del padre; deve mantenere due sorelle ed un fratello; per ragioni economiche nel 1592 accetta la cattedra di matematica presso lo Studio di Padova.

1593: scrive *Architettura militare, Trattato di fortificazione, Meccaniche*. In quest'ultima opera vi è un brano che è interessante leggere:

"È impossibile con poca forza alzare grandissimi pesi, ingannando, in un certo modo, con le machine ... la natura; istinto della quale, anzi fermissima costituzione, è che nessuna resistenza possa essere superata da forza, che di quella non sia più potente".

1597: pubblica la *Cosmografia*, trattato di cosmologia aristotelico – tolemaica; ad agosto scrive una lettera a Kepler ed una al suo ex collega Jacopo Mazzoni manifestando per la prima volta la sua adesione alle teorie copernicane. Egli dice che già da tempo pensa a tali teorie ma non ha argomenti per sostenerle (si era in piena Controriforma: 30 anni prima San Tommaso era stato fatto Dottore della Chiesa; Giordano Bruno da 6 anni era nel carcere dell'Inquisizione).

1598: costruisce il suo compasso geometrico - militare (una specie di regolo calcolatore). In questa epoca frequenta alcuni amici veneziani: Sagredo, Sarpi, Contarini, Morosini, ...ed inizia una relazione con la veneziana Marina Gamba dalla quale avrà tre figli, Virginia, Livia e Vincenzo.

1604: la comparsa in cielo di una nuova stella (una '*nova*') lo inizia ad interessare a questioni astronomiche; gira sempre intorno al copernicanesimo ma le sue lezioni riguardano sempre la cosmologia aristotelico - tolemaica.

1609: **costruisce un cannocchiale "perspicillum"** (lo strumento era noto certamente in Olanda e probabilmente ne ebbe uno in regalo; egli lo smontò e lo modificò rendendolo **atto ad osservazioni celesti**). Nel frattempo migliora la sua posizione economica perché è confermato professore di matematica a vita con un buon aumento di salario.

1610: "**Nuncius Sidereus**" ('il messaggero delle stelle', che in qualche modo richiama Mercurio), raccolta di tutte le osservazioni fatte nel cielo con il suo cannocchiale,

- **le macchie sulla Luna** sono ombre proiettate dai monti (dei quali calcola l'altezza);
- **le quattro 'lune' di Giove**, fatto che mostra che non solo la Terra può essere centro di moti circolari;
- la **via lattea è costituita da un'infinità di stelle** (la cosa era già stata sostenuta da Democrito);
- scopre l'**anello di Saturno** (data la bassa risoluzione del suo cannocchiale, non vede chiaramente l'anello, ma il pianeta gli appare 'tricorporeo');
- scopre **le fasi di Venere** che mostrano che Venere 'potrebbe' ruotare intorno al Sole ed inoltre stabilisce che i pianeti sono per loro natura oscuri risultando ricevere luce dal Sole.

Si convince alla teoria copernicana.

1611: scopre **le macchie solari** (il fuoco che viene corrotto da macchie è inammissibile nella fisica aristotelica); il lavoro sarà pubblicato nel 1613 ed in esso si sostiene che si tratta proprio di macchie sull'astro e non come aveva sostenuto lo Scheiner, gesuita del Collegio Romano, di piccoli pianeti che lo eclissano. Galileo inizia a cambiare il contenuto delle sue lezioni.

Acquista una grandissima fama che, in breve tempo, lo fa conoscere in tutta Europa.

1610: è chiamato a Firenze da Cosimo II de' Medici come primario di matematica e filosofia, con alto stipendio e senza obblighi di insegnamento.

1612: pubblica *Intorno alle cose che stanno in su l'acqua*; nello stesso anno iniziano le campagne anticopernicane: il domenicano Nicolò Lorini, predicando in San Marco a Firenze, dichiara eretica la teoria di Copernico.

1615: lettera a Cristina di Lorena, in cui prende spunto da Sant'Agostino nella sua opera *De genesi ad litteram*,

alcune proposizioni delle Scritture "si come dettante lo Spirito Santo, furono in tal guisa profferite da gli scrittori sacri per accomodarsi alla capacità del volgo assai rozzo ed indisciplinato. ... Stante, dunque, ciò, mi pare che nelle dispute di problemi naturali non si dovrebbe cominciare dalle autorità di luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie ...".

1615: arrivano al Sant'Uffizio due denunce, dei domenicani Nicolò Lorini e Tommaso Caccini. Galileo si reca a Roma per spiegare le sue idee alle alte gerarchie della Chiesa. È ricevuto in modo quasi trionfale, soprattutto dai gesuiti del Collegio Romano. In tale occasione conosce e diviene 'amico' del Cardinale Barberini.

1615: crede di aver trovato **nelle maree una prova della rotazione** della Terra intorno al Sole.

1616: si reca a Roma proprio quando l'ipotesi copernicana viene dichiarata eretica ("*stultam et absurdam in philosophia, et formaliter haereticam*") e le opere di Copernico vengono sequestrate (papa Paolo V). Galileo viene convocato dall'Inquisitore Cardinale Bellarmino per un colloquio informale e viene "**ammonito dall'insegnare e difendere la teoria copernicana**" (si noti bene: non gli venne fatto "precetto"). All'ammonizione Galileo promette obbedienza ed ottiene da Bellarmino un "certificato di buona condotta".

1618: appaiono in cielo ben tre comete; il gesuita Grassi sostiene, correttamente, che si trattava di corpi celesti, in netto contrasto con Aristotele. Galileo, comportandosi da persona irragionevole ed offesa, sostiene la teoria aristotelica (le comete sono esalazioni provenienti dalla terra che, raggiunto il cielo della Luna, vengono da esso messe in rapida rotazione fino al loro incendiarsi) polemizzando con Grassi e quindi creandosi nemici proprio tra i gesuiti.

1623: il Cardinale Maffeo Barberini viene eletto Papa con il nome di Urbano VIII.

1623: scrive **"Il Saggiatore"**, in cui riprende la sua errata teoria delle comete aggiungendo però che quanto da lui sostenuto sono solo ipotesi che devono essere verificate dall'esperienza.

"La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto".

La matematica è, per Galileo, una ottima guida logica ed un formidabile strumento. Sono comunque le "sensate esperienze e certe dimostrazioni" alla base di tutto. Nell'opera vi è uno studio importante di acustica, di calore, di adesione,

L'opera avrà una buona accoglienza a Roma, eccettuato l'ambiente dei gesuiti che la intesero come grave affronto.

1624: nuovo viaggio a Roma dove è accolto da Urbano VIII "con infinite amorevolezze"; sei lunghi colloqui e Galileo sembra capire che il Papa non è poi così contrario alla teoria copernicana soprattutto perché è solo un'ipotesi che è impossibile mostrare vera.

1629-1630: termina la scrittura del **"Dialogo sopra i due Massimi sistemi del mondo: il tolemaico ed il copernicano"**, iniziata dal 1621 (data della morte di Bellarmino); si reca a Roma per ottenere l'imprimatur. La cosa verrà affidata a Padre Niccolò Riccardi (chiamato Padre Mostro per il suo aspetto) che apporterà all'opera varie correzioni che Galileo riterrà marginali. Nel 1632 fu dato il definitivo imprimatur.



DIALOGO

DI
GALILEO GALILEI LINCEO

MATEMATICO SOPRAORDINARIO

DELLO STUDIO DI PISA.

E Filosofo, e Matematico primario del

SERENISSIMO

GR.DVCA DI TOSCANA.

Doue ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.

CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Il Dialogo

Grande opera di divulgazione scientifica, che getta le basi della nuova fisica mediante la distruzione del vecchio impianto aristotelico, ed anche una **grande opera letteraria**.

Essa è impostata come un dialogo, appunto, tra tre interlocutori: **Salviati** che è il maestro che fa da portatore del nuovo; **Sagredo** che è persona colta che è però libero pensatore in grado di cambiare il giudizio; **Simplicio** che è un dogmatico aristotelico.

Vi sono obiezioni, spiegazioni, accettazione di alcune, rifiuto di altre, ... e così si va avanti con Salviati che continua ad introdurre gli elementi della nuova fisica a sostegno della cosmologia copernicana.

Galileo sa bene che, dalla Terra, gli è impossibile mostrare che è quest'ultima a girare intorno al Sole. Egli aggira la difficoltà muovendosi su due direttrici di fondo: da una parte il **"principio d'inerzia"** e dall'altra il **"principio di relatività"**.

Obiezioni aristotelico-tolematiche:

se la Terra ruotasse ad esempio su se stessa dovremmo assistere a strani fenomeni

- di oggetti scagliati dalla superficie terrestre a seguito del suo moto;
- di nubi che si muovono sempre in verso contrario a quello del moto della Terra;
- di sassi che lasciati cadere da una torre sperimenterebbero una evidente deviazione dalla verticale;
- di uccelli che lasciato l'albero per prendere un verme si vedrebbero sparire l'albero in un moto velocissimo;
- di gittate di cannoni maggiori verso Occidente che verso Oriente.

Galileo (principio di inerzia):

"Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sottocoverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando allo amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a pie giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; che (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, ne da alcuno di quelli potrete comprendere se la nave cammina o pure sta ferma; voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima ne, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso la poppa che verso la prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto: e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso poppa, che se voi fuste situati per l'opposito; le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella lor acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso;

...

... e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i loro voli indifferentemente verso tutte le parti, ne mai accadrà che si riduchino verso la parte che riguarda la poppa, quasi che fossero stracche in tener dietro al veloce verso della nave, dalla quale per lungo tempo trattenendosi per aria, saranno state separate; ..."
e se abbruciando alcuna lagrima d'incenso si farà un poco di fumo, vedrassi ascender in alto ed a guisa di nugoletta trattenervisi, e indifferentemente muoversi non più verso questo che quella parte. E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che per ciò dissi io che si stesse sotto coverta; ché quando si stesse al di sopra e nell'aria aperta e non seguace del corso della nave, differenze più e men notabili si vedrebbero in alcuni de' gli effetti nominati; e non è dubbio che il fumo resterebbe indietro, quanto l'aria stessa; le mosche parimente e le farfalle, impedita dall'aria, non potrebbero seguir il moto della nave, quando da essa per spazio assai notevole si separassero; ma trattenendovisi vicine, perché la nave stessa, come di fabbrica anfrattuosa, porta seco parte dell'aria sua prossima, senza intoppo o fatica seguirebbon la nave, e per simil cagione veggiamo tal volta, nel correr la posta, le mosche importune e i tafani seguir i cavalli, volandogli ora in questa ed ora in quella parte del corpo; ma nelle goccioline cadenti pochissima sarebbe la differenza, e ne i salti e ne i proietti gravi del tutto impercettibile".

Altra questione è ciò che noi vediamo dalla Terra: non vi è dubbio che, visto da qui, è il Sole che sembra muoversi, ma se l'osservazione la facessimo dal Sole vedremmo la Terra girare intorno ad esso: quando due navi si incrociano camminando parallele in versi opposti, non si sa mai con certezza quale delle due è in moto o se lo sono tutte e due.

Dare "prove" di uno dei moti della Terra era impossibile a chiunque con la tecnologia dell'epoca (ci vorranno 200 anni per avere queste prove).

Ma con il sistema copernicano reso plausibile dai principi d'inerzia e relatività nasce la necessità della **nuova fisica**.

Sulla caduta dei gravi:

- lo spazio percorso da un oggetto in caduta è proporzionale al quadrato del tempo
- è indipendente dalla sua massa (contrariamente a quanto ammetteva Aristotele: un oggetto di massa grande impiegava meno tempo a cadere di uno di massa più piccola)

Gedanken experiment di Galileo: se in assenza di attrito una pietra più pesante impiega meno tempo per raggiungere il suolo di una più leggera, cosa succede se esse vengono unite? Cadranno più velocemente, perché il nuovo corpo è più pesante o più lentamente perché il corpo più leggero rallenta quello più pesante?

Per studiare la caduta dei gravi Galileo "rallenta" il moto di caduta attraverso l'introduzione di **piani (poco) inclinati** su cui era realizzata una sottile scanalatura lungo cui si facevano rotolare delle sferette di varia massa. Ad ogni data distanza un campanellino urtato dalla sferetta in caduta dava il tempo.

"Metodo" di Galileo: l'esperienza è ideata come appropriata domanda posta al termine di un processo deduttivo, il quale prende le mosse da determinate ipotesi di significato più generale.

Svariate altre questioni di cinematica e meccanica sono poste ed alla fine la fisica aristotelica ne esce distrutta mentre si aprono enormi brecce ad una fisica appena abbozzata ma tutta da costruire.

Anche qui insiste con le maree come prova del moto della Terra.

Reazione furibonda di Urbano VIII:

- supposti patti non rispettati da Galileo: i due sistemi non erano presentati con la stessa dignità; quello aristotelico era difeso da una persona ottusa come Simplicio; per di più, sulla bocca di questo personaggio Galileo aveva messo molte delle obiezioni che al sistema copernicano aveva fatto lo stesso Papa negli incontri precedenti

- il marchio della stamperia fiorentina del Dialogo aveva tre delfini che si chiudevano a cerchio (i tre nipoti (delfini) del Papa?) La cosa si acquistò subito quando si vide che svariati altri libri usciti da questa stamperia avevano lo stesso simbolo.

- il Dialogo è "più esecrando e pernicioso alla Santa Chiesa che le scritture di Lutero e Calvino".

Il processo

1632: a Galileo (69-enne) viene imposto di presentarsi a Roma, davanti al Tribunale del Sant'Uffizio. Vari amici lo consigliano di non andare reclamando ragioni di salute e la peste che continuava a mietere vittime. Ma Galileo ha fiducia, è in buona fede, è 'amico' del Papa, ha buoni argomenti con i quali spiegherà ...

Giunto a Roma viene immediatamente messo sotto accusa per il suo essere **recidivo** nel difendere le teorie copernicane. Ma nel 1616 Galileo aveva avuto da Bellarmino solo una **ammonizione** e non un precetto; inoltre aveva ricevuto il certificato di **buona condotta**..

Gli inquisitori insistono e Galileo chiede di vedere il Precetto che, in quanto tale, deve risultare agli atti. Qui fu costruito uno dei falsi più ignobili della Chiesa. **Il libro dei Precetti** e di ogni atto giudiziario in genere, a seguito della carta che era molto assorbente e quindi faceva trasparire tracce di inchiostro sul retro della pagina medesima, questo libro **era scritto solo nelle pagine dispari**, mentre le pari erano lasciate bianche. **Solo il Precetto a Galileo è scritto alla data giusta sulla pagina pari!** Ma vi è di più, all'atto del Precetto, l'accusato doveva apporre la sua firma sotto l'atto: **la firma di Galileo in questo atto non compare**.

Tutti gli storici concordano in quanto detto: il Tribunale del Sant'Uffizio costruì un falso per poter condannare Galileo nel processo che ora gli faceva. Con questo Precetto che vietava di difendere "*quovis modo*" la teoria copernicana.

1633: Galileo viene condannato al carcere ed è costretto all'abiura.

Gli ultimi anni della vita

La condanna al carcere viene presto trasformata in **domicilio coatto nella casa di Galileo in Arcetri** vicino Firenze, sotto strettissima sorveglianza. Con la complicità di qualche amico e di sua figlia Suor Virginia riesce a fare uscire dei manoscritti per la successiva pubblicazione presso gli Elzevirii di Leiden (Olanda).

Ne verrà fuori la più grande opera di Galileo, **"Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze"** (1638), la più copernicana tra le sue opere. Fu fatta passare perché non capita dalle autorità (Galileo si difese sostenendo che era stata pubblicata a sua insaputa).



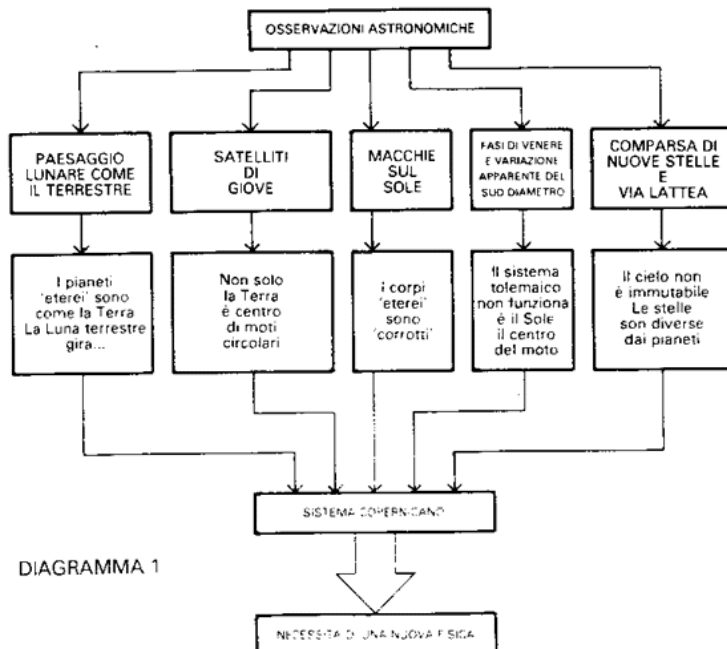
Argomenti:

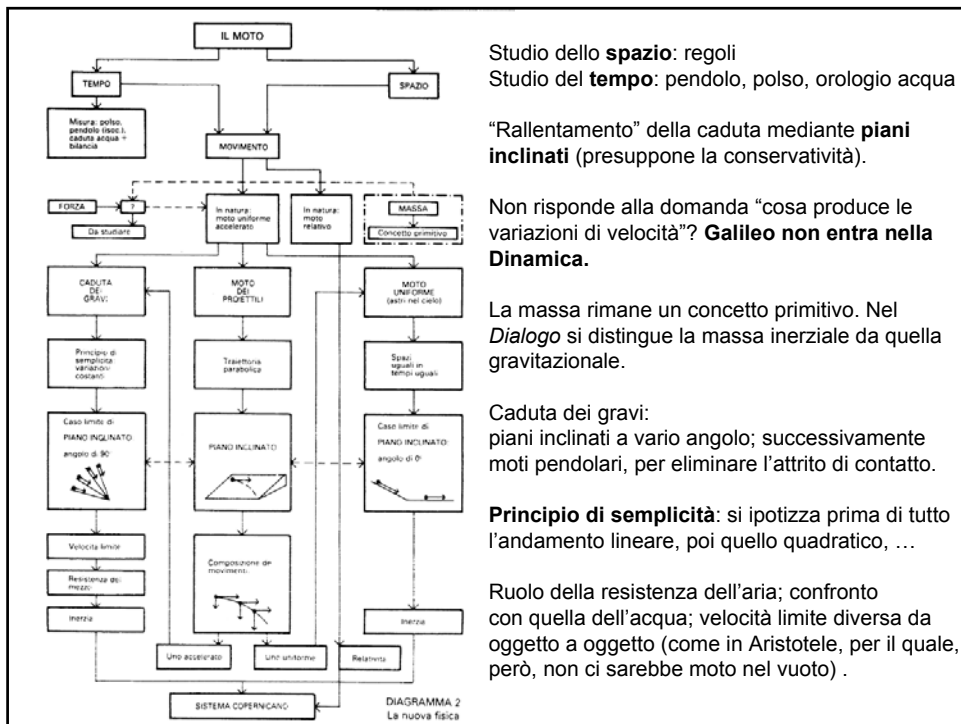
- modo di misurare la velocità della luce (fuori dalla portata dell'epoca ma con la fondamentale intuizione di luce con velocità finita e misurabile);
- questioni di acustica;
- moto del pendolo; moto dei proiettili; moto dei gravi;
- resistenza dei materiali;
- fondamenti e sviluppi della dinamica sulla Terra;
- gravi su piani inclinati;
- questioni matematiche;
- paradossi dell'infinito (una parte è uguale al tutto);
- questioni di ottica; questioni di idrostatica; questioni di termologia.

Galileo, oramai vecchio e cieco, è assistito amorevolmente dalla sua figlia Livia (Suor Arcangela; la diletta Virginia era scomparsa 8 anni prima).

Muore ad Arcetri nel 1642; il suo corpo giace a S. Croce a Firenze.

Quadri riassuntivi





Moto uniforme:

Le esperienze con il piano inclinato portano Galileo a un'enunciazione chiara, definitiva e moderna del principio d'inerzia.

Nei *Discorsi* il riferimento alla gravità sparisce:

Moto dei proiettili:

La traiettoria parabolica dei proiettili è una traiettoria uguale a quella che segue una sfera che sia lasciata cadere obliquamente su un particolare piano inclinato.
Composizione di un moto (orizzontale) uniforme e un moto (verticale) accelerato.

Note conclusive

Con Galileo si ha il **recupero del metodo scientifico** sviluppato in epoca ellenistica e successivamente quasi dimenticato, grazie al suo attento studio di alcune opere scientifiche, in particolare quelle di Archimede.

Metodo galileiano:

sensata esperienza, ovvero l'esperimento, che può essere compiuto praticamente o solo astrattamente ("esperienze mentali"), ma che deve in ogni caso seguire a una attenta formulazione teorica, ovvero a ipotesi che siano in grado di guidare l'esperienza in modo che essa non fornisca risultati arbitrari;

necessaria dimostrazione, ovvero una analisi matematica e rigorosa dei risultati dell'esperienza, che sia in grado di trarre da questa ogni conseguenza in modo necessario e non opinabile, e che va ulteriormente verificata, con ulteriori esperienze (ovvero il c.d. *cimento*, che è l'esperimento concreto con cui va sempre verificato l'esito di ogni formulazione teorica).

Einstein su Galileo:

"Si è spesso dichiarato che Galileo divenne il padre della scienza moderna sostituendo il metodo speculativo o deduttivo con il metodo empirico o sperimentale. Credo invece che questa interpretazione non sia in grado di reggere a un esame accurato. Non esiste alcun metodo sperimentale in mancanza di concetti e sistemi speculativi, e non esiste alcuna forma speculativa di pensiero i cui concetti non rivelino, ad esami accurati, il materiale empirico da cui emergono. Il fatto di porre in contrasto netto fra loro l'apparecchio empirico e quello deduttivo è fuorviante ed era del tutto estraneo allo stesso Galileo." in E. Segré, op. cit.

Discepoli di Galileo:

B. Castelli, **B. Cavalieri** (a cui Galileo chiede di studiare gli indivisibili), **V. Viviani** (esperimento per misurare la velocità del suono usando fulmini e tuoni; studi sulla rotazione del pendolo) ed **E. Torricelli** (inventore del famoso barometro).

Da qui avrebbe potuto avere inizio una grande scuola, se non fosse stato per la condanna da parte della Chiesa e per il bando indiscriminato di tutti i libri.

Nel 1657 un gruppo di nove persone fondò l'**Accademia del Cimento** a Firenze, che pubblicò un libro con gli esperimenti fatti dai membri dell'Accademia. Ma essa non sopravvisse a lungo: dopo 10 anni dalla nascita fu sciolta in concomitanza del fatto che il suo protettore, il principe Leopoldo di Toscana, divenne cardinale. Sembra che lo scioglimento dell'Accademia sia stata una condizione per la sua nomina.

Christiaan Huygens (1629 - 1695)

Huygens nasce a L'Aja da un'importante famiglia olandese. Suo padre Costantijn aveva studiato filosofia naturale ed era un diplomatico. Insegnanti privati dall'età di 16 anni (geometria, modelli meccanici, suona il liuto)

1645-1647: legge e matematica all'Università di Leiden; lo segue van Schooten.

1647-1649: legge e matematica al collegio degli Orange a Breda; lo segue John Pell. Mersenne lo stimola con problemi "variazionali" (forma di un laccio appeso per due capi).

Impara a molare le lenti e **costruisce telescopi** migliori di quelli noti.

1652-1656: studia le **leggi dell'urto** usando argomenti relativistici e stabilisce la **conservazione del momento**.

1655: scopre la **prima luna di Saturno**.



C. Huygens nel 1671

1656: scopre che le "braccia" di Saturno (note a Galileo) sono un **anello**; nasconde la scoperta dietro l'anagramma di "*Annulo cingitur tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato*".

Dal 1655 viaggia a Parigi e contatti con l'opera di B. Pascal, G. Desargues e altri.

1656: brevetta il primo **orologio a pendolo**, che aumenta di molto l'accuratezza della misura del tempo. Costruisce il **pendolo cicloidale** (periodo costante per ogni ampiezza) e numerosi orologi a pendolo per determinare la longitudine in mare.

1659: in *Systema Saturnium* spiega le fasi e i cambiamenti nella forma dell'anello. Deriva anche la formula della **forza centrifuga per il moto circolare uniforme**.

1660: torna a Parigi; incontra Pascal e viene presentato a Luigi XIV; diventa famoso e viene invitato a Londra dai colleghi inglesi.

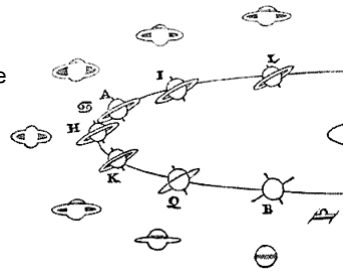
1664: ritorno a Parigi; Colbert gli offre una pensione e un laboratorio; contribuisce all'organizzazione dell'Accademia Reale delle Scienze. Dimostra parecchi teoremi di meccanica e passa dalla meccanica del punto a quella del corpo rigido; dallo studio del pendolo fisico arriva al concetto di **momento di inerzia**.

Dal 1672: esperimenti sulla doppia rifrazione della calcite.

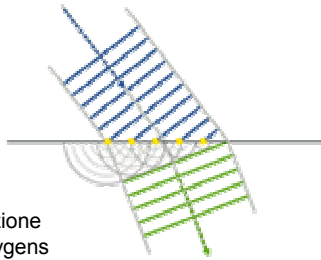
Huygens aveva formulato una **teoria ondulatoria della luce** che spiegava riflessione e rifrazione.

Principio di Huygens: ciascun punto della superficie di un'onda è il centro di una nuova onda.

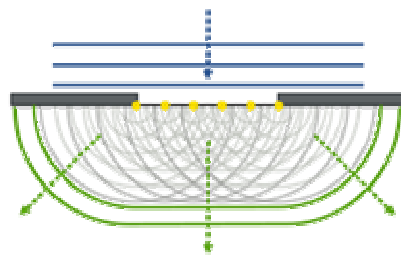
La teoria è valida, ma manca la nozione di interferenza; inoltre Huygens crede che le vibrazioni siano **longitudinali** come quelle del suono.



Esempi di applicazione
del principio di Huygens



rifrazione



diffrazione

1672: critica blandamente un importante trattato di ottica di Newton, provocandone la furiosa reazione.

1683: muore Colbert; cambia la politica francese; con la revoca (1685) dell'editto di Nantes molti cervelli protestanti si rifugiano nei paesi limitrofi. Huygens torna in Olanda.

1695: durante la sua ultima malattia rifiuta l'assistenza spirituale di un pastore protestante. Spirito aristocratico e anticonformista, diffidava di ogni atteggiamento di tipo dogmatico. Aveva detto: *"Il mondo è la mia Patria, la Scienza la mia Religione"*.



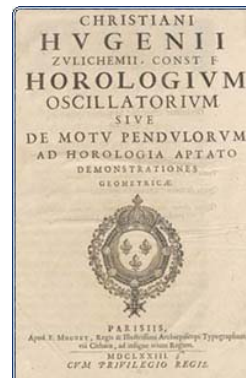
Note conclusive

Huygens ha svolto un ponderoso lavoro anche per la matematica, anticipando Newton; la sua matematica è raffinata dall'uso dei metodi archimedei.

Ha risolto il problema del **pendolo isocronico** e **studiato le proprietà della cicloide**. È entrato solo molto avanti negli anni nello spirito del calcolo infinitesimale.

Egli ha rappresentato una vetta luminosa nella scienza olandese. Dai suoi tempi i Paesi Bassi sono uno dei centri scientifici del mondo.

Tra le opere più importanti, si ricordano l'*Horologium oscillatorium* (1673) sul moto del pendolo e il trattato di *Ottica*.



Isaac Newton (1642 - 1727)



Cronologia fondamentale

1642: nasce prematuro a Woolsthorpe il 25 dicembre, figlio postumo di un piccolo proprietario terriero.

A tre anni la madre si risposa e viene affidato alla nonna; ritorna a vivere con la madre all'età di 11 anni, dopo la morte del patrigno.

Tre periodi nella vita di Newton:

1642-1661 (Woolsthorpe), 1661-1696 (Cambridge), 1696-1727 (Londra)

Scolaro diligente durante le scuole elementari, con spiccato ingegno per costruzione di giocattoli meccanici; la madre voleva farne un agricoltore, ma uno zio sacerdote la persuade a farlo studiare a Cambridge.

1661: ammissione come studente al Trinity College; studi regolari, accompagnati da vaste letture di ottica, astronomia, matematica, chimica, alchimia; studi classici di lingua latina, di Euclide, della geometria analitica di Cartesio e della *Arithmetica Infinitorum* di J. Wallis.

1665: ottiene il grado di Bachelor of Arts; nello stesso anno la peste colpisce l'Inghilterra e l'Università viene chiusa; ritorno presso la madre a Woolsthorpe.

Periodo mirabile: scopre il teorema sui binomi, $(1+x)^p$, con p qualsiasi, la legge di gravitazione, la dinamica del sistema solare (aneddoto della mela); in questo periodo concepisce una teoria della luce basati sui suoi stessi esperimenti (luce bianca e colori dello spettro).

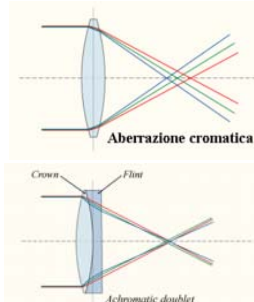
Newton non pubblica le sue scoperte, ma al ritorno a Cambridge ne rivela una parte al suo amico e protettore Isaac Barrow, Lucasian Professor di matematica.

Solo in un secondo momento Barrow ottiene il permesso di comunicare alcuni dei risultati a J. Collins, membro della Royal Society.

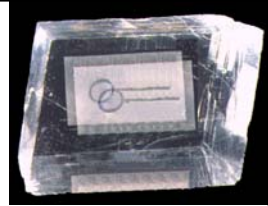
1669: Barrow rinuncia alla cattedra; presumibilmente per lasciare il posto a Newton.

1672: membro della Royal Society, fondata nel 1660 da 12 gentiluomini, con interessi scientifici; dello stesso periodo sono l'Accademia dei Lincei (Roma, 1603), di cui fece parte Galileo; l'Académie des Sciences (Parigi, 1666), la Akademie der Wissenschaften di Berlino, ideata da Leibniz nel 1670. R. Hooke fu tra i primi segretari della Royal Society; Newton ne diventa presidente nel 1703.

Dal 1662: primi esperimenti con la luce, nelle stanze al Trinity, costruendosi gli apparecchi che gli servivano; fra i primi progetti la costruzione di un telescopio; per liberarsi della **aberrazione cromatica** studia la scomposizione in colori della luce. Capisce che i diversi colori hanno diverso indice di rifrazione, ma ritiene erroneamente che, cambiando tipo di vetro i rapporti tra gli indici rimangono costanti per tutti i colori, quindi non risolve l'aberrazione combinando una lente convergente con una divergente, ma inventa il **telescopio a riflessione**.



1672: primo lavoro pubblicato su *Philosophical Transactions*, sulla rifrazione con il colore, criticato da Hooke. Nello stesso periodo J. Gregory descrive un telescopio riflettente, il gesuita F. Grimaldi scopre la **diffrazione** (1665), Hooke scopre i colori delle lamine sottili (1666), E. Bartholin scopre la doppia rifrazione (1670) dello spato d'Islanda o calcite.



I risultati di Newton sono raccolti nel libro *Ottica* che esce nel 1704.

1684: Newton manda ad Halley un piccolo trattato *De motu corporum* che contiene i principi della meccanica e si basa sulle lezioni tenute. Halley, con l'aiuto della Royal Society, convince Newton a pubblicare tutte le sue scoperte, che scrive in 18 mesi a partire dal 1685 i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (originale in latino).

Tutte le dimostrazioni sono geometriche; Newton scrive il testo in modo deliberatamente astruso affinché sia capito solo dai buoni matematici. Leibniz e Huygens ne erano solerti studiosi.

Il libro si diffonde in Scozia prima ed in Inghilterra, poi Voltaire lo diffonde in Francia. I Bernoulli, Eulero (1707-1783), Clairaut (1713-1765), d'Alembert (1717-1783) usano la notazione di Leibniz per portare avanti il programma di Newton. I *Principia* vengono riformulati in forma analitica e diventano accessibili ad un pubblico vasto.

La meccanica newtoniana viene estesa ai fluidi, alle corde vibranti, ai gas. Lagrange (1736-1813) con la *Mécanique Analytique* la porta al massimo sviluppo teorico. Laplace (1749-1827) con la *Mécanique Celeste* discute tutti i problemi noti sui moti planetari.

Per un secolo "spiegare" significò "ricondurre a struttura newtoniana"; per due secoli tutti gli aspetti dei moti planetari furono spiegati dalla meccanica newtoniana (scoperta di Nettuno nel 1846 da Le Verrier e Adams). Eccezione: anomalia del perielio di Mercurio.

1689: elezione al Parlamento come rappresentante dell'Università; frequenti viaggi a Londra; morte della madre a cui era molto legato; la sostanziosa eredità gli consente di vivere da benestante.

1692: comparsa di gravi disturbi psichici, che svaniscono nel giro di un anno.

1696: Charles Montagu (futuro Lord Halifax) gli trova un impiego alla Zecca come Ispettore, secondo posto dopo Master (direttore). Occorre ritirare le monete in corso, limate ai bordi dal pubblico, e sostituirle con quelle a bordo zigrinato; Newton fa un eccellente lavoro, con fermezza e rigore puritani. Trasferimento definitivo a Londra.



1699: promozione a Direttore della Zecca.

Abbandono degli studi di matematica e fisica, a favore di quelli di teologia e alchimia. Unica eccezione nota: la soluzione in un giorno del problema della brachistocrona, posto da J. Bernoulli (1696).

1703: diventa presidente della Royal Society, che dirige con pugno di ferro fino alla morte.

1705: la regina Anna gli conferisce il titolo nobiliare, diventa sir Isaac Newton; è ricco e gode fama di massimo scienziato vivente.

1727: muore il 27 marzo; viene sepolto nella Abbazia di Westminster insieme ai grandi inglesi.

Aspetti della personalità di Newton

Forte attaccamento alla madre.

Moralità puritana (austerità della disciplina ed inclinazione ai sensi di colpa).

Riluttanza a pubblicare i risultati ottenuti; preferiva comunicarli a voce a pochi amici o, per iscritto al segretario della Royal Society, che provvedeva a farli circolare con discrezione presso un certo numero di corrispondenti selezionati. Ipotesi: intendeva mantenere il "monopolio" sulle ricerche che faceva? Voleva sfruttare al massimo una scoperta prima che altri lo facessero?

Carattere difficile: scontri con Hooke, Flamsteed e Leibniz.

1. Hooke aveva formulato effettivamente la legge dell'inverso del quadrato della distanza prima di Newton, ma non aveva dimostrato che da essa discendono le orbite ellittiche; inoltre aveva ammesso che essa fosse valida anche all'interno del sole e dei pianeti;
2. Flamsteed, figlio di un mercante e persona cagionevole e tutt'altro che ricca, era diventato Astronomo Reale; Newton lo assillava continuamente per avere i dati delle sue osservazioni; lo cita giustamente nella prima edizione dei *Principia*, ma omette di farlo nella seconda;
3. Leibniz e Newton si stimavano reciprocamente, ma nel 1699 comincia una violenta polemica sul primato della scoperta del calcolo; alla fine Newton chiese alla Royal Society, che presiedeva, di nominare una commissione arbitrale; questa commissione operò in modo partigiano, ma emerse tuttavia che i due erano arrivati indipendentemente al risultato, sebbene Leibniz lo avesse ottenuto con due anni di ritardo. La notazione di Leibniz è quella che ha prevalso.

Il contributo scientifico

Il contributo di Newton alla matematica e alla fisica è enorme; la differenza tra l'era che lo precedette e quella che lo seguì è impressionante.

Egli ha portato a maturazione idee che erano già nell'aria, ma nessuno prima di lui era riuscito a scoprire le idee fondamentali e unificanti.

Matematica:

- invenzione del calcolo, in condivisione con Leibniz
- studio delle curve di terzo ordine
- metodi numerici per la soluzione di equazioni
- studio delle serie infinite
- ...

Non si curava troppo del rigore logico, mirando solo al risultato, cioè a risolvere nuovi problemi. Costruì la matematica per sé stesso, senza curarsi della notazione e della facilità di manipolazione; ciò diede un grande vantaggio al calcolo differenziale di Leibniz.

Fisica: i suoi risultati principali sono contenuti nell'*Ottica* e nei *Principia*, ma si occupò con successo anche di

- termometria (l'acqua bolle e gela a temperature fisse)
- legge di raffreddamento dei corpi caldi
- ...

Ottica (1704)

Si basa sul materiale di insegnamento a Cambridge nel 1670, fu mandata al segretario della Royal Society nel 1675, ma uscì come libro, con molte modifiche, solo nel 1704.

“La riflessione, la rifrazione, la formazione delle immagini dovuta alle lenti, il modo di funzionare dell'occhio, la decomposizione spettrale e la ricomposizione della luce di vari colori, l'invenzione del telescopio a riflessione, i primi fondamenti della teoria dei colori, la teoria elementare dell'arcobaleno passano di fronte a noi in successione e, infine, arrivano le sue osservazioni sui colori delle lamine sottili ...” Einstein, Prefazione all'Ottica.

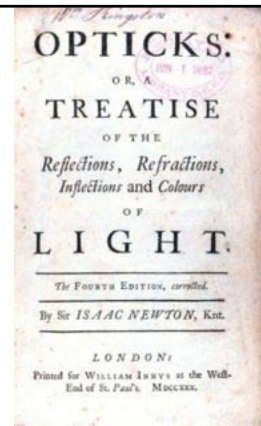
La teoria di Newton non è una scienza completa, ma in formazione.

La teoria mescola **concezioni corpuscolari** con altre non facilmente classificabili (*“impulsi dalla facile riflessione e impulsi dalla facile trasmissione”*).

Dimostra conoscenze estese delle proprietà chimiche e tecnologiche dei materiali e una **forte tendenza a misurare i fenomeni**.

Il libro si apre con queste parole:

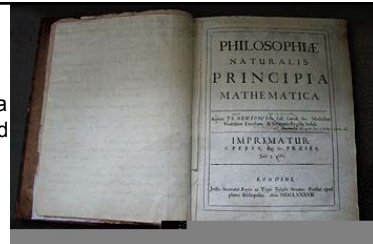
“Il mio proposito in questo libro non è di spiegare le proprietà della luce mediante ipotesi, bensì di proporle e di provarle mediante la ragione e gli esperimenti ...”



Principia Mathematica (1687)

Sono probabilmente il più grande libro scientifico mai scritto. L'originale è in latino; nella moderna traduzione inglese, tratta dalla terza edizione del 1725, l'opera supera le 540 pagine ed è divisa in tre parti.

Prima di iniziare il primo libro sono introdotti definizioni ed assiomi;



- il primo libro comincia con un capitolo matematico

sul **concetto di limite**; segue poi un **trattato di meccanica** (moti prodotti da forze centrali, legge della azione proporzionale all'inverso del quadrato della distanza, studio geometrico delle coniche); ci sono poi capitoli dedicati all'attrazione dovuta a corpi estesi;

- il secondo libro analizza i **movimenti nei mezzi resistenti** (resistenza proporzionale alla velocità e al quadrato di questa, in combinazione con forza centrale), poi **densità e compressione dei fluidi, idrostatica elementare**; influenza della forma di un corpo che si muove in un mezzo che apre la strada al **calcolo delle variazioni**; infine, onde sia in acqua che in aria, **calcolo della velocità del suono** assumendo compressioni isoterme e non adiabatiche, come sono in realtà;

-il terzo libro si intitola *Sistema del Mondo* e studia il **moto dei pianeti e dei satelliti del sistema solare**, assumendo solo la gravitazione universale.

Esposizione moderna del calcolo della velocità del suono

Se comprimiamo **lentamente** con un pistone un volume V_0 di aria contenuta in un cilindro indeformabile, essa si oppone alla compressione come farebbe una molla,

$$\Delta P = -\frac{K}{V_0} \Delta V$$

Quando rilasciamo il pistone, l'aria torna ad occupare il volume originale; il ritorno non è istantaneo, ma rallentato dall'inerzia dell'aria stessa, cioè dalla massa contenuta nel volume V_0 . Il risultato deve quindi dipendere dalla densità

$$\rho = \frac{M}{V_0}$$

Modello meccanico della trasmissione sonora in cui l'aria è trattata come un mezzo elastico.

Risultato:
$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Errore di Newton: in realtà la compressione non avviene lentamente, quindi non è **isoterma**, ma **adiabatica** (il lavoro eseguito sul gas non ha il tempo di trasformarsi in calore).

Effetto: K va rimpiazzato con $1.4K$

($1.4 = \gamma = C_p/C_v$ per gas biatomico).

PROPOSITIO XLIX. PROBLEMA XL.

Datis medii densitate et vi elasticâ, invenire velocitatem pulsum.

*Fingamus medium ab incumbente pondere pro more aëris nostri com-
primi; sitque A altitudo medii homogenei, cujus pondus adæquet pondus
incumbens, et cujus densitas eadem sit cum densitate medii compressi, in
quo pulsus propagantur. Constitui autem intelligatur pendulum, cujus*

“Regulae philosophandi”:

- 1) *“Delle cose naturali non devono essere ammesse cause più numerose di quelle che sono vere e bastano a spiegare i fenomeni” (principio di semplicità).*
- 2) *“Perciò, finché può essere fatto, le medesime cause vanno attribuite ad effetti naturali dello stesso genere” (ad esempio: luce del fuoco e luce del Sole debbono agire allo stesso modo).*
- 3) *“Le qualità dei corpi che non possono essere aumentate e diminuite, e quelle che appartengono a tutti i corpi sui quali è possibile impiantare esperimenti, devono essere ritenute qualità di tutti i corpi” (principio di induzione; ad esempio: i corpi gravitano verso la Terra, il mare gravita verso la Luna, i pianeti gravitano verso il Sole, quindi tutti i corpi gravitano l'un l'altro).*
- 4) *“Nella filosofia sperimentale, le proposizioni ricavate per induzione dai fenomeni, devono, nonostante le ipotesi contrarie, essere considerate vere o rigorosamente o quanto più possibile, finché non interverranno altri fenomeni, mediante i quali o sono rese più esatte o vengono assoggettate ad eccezioni”.*

Ruolo delle “ipotesi”

“In verità non sono ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravità, e non invento ipotesi (Hypotheses non fingo). Qualunque cosa, infatti, non deducibile dai fenomeni va chiamata ipotesi e nella filosofia sperimentale non trovano posto le ipotesi sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche. In questa filosofia le proposizioni vengono dedotte dai fenomeni, e sono rese generali per induzione”.

Definizioni fondamentali

Massa

"La quantità di materia è la misura della medesima ricavata dal prodotto della sua densità per il volume".

A questa quantità si può dare il nome di massa. Si tratta di una tautologia, una definizione circolare che non definisce nulla. In ogni caso Newton utilizzò sempre in modo corretto (in senso moderno) questo concetto.

Principio di inerzia

"La forza insita (vis insita) della materia è la sua disposizione a resistere per cui ciascun corpo, per quanto sta in esso, persevera, nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme."

Questa '*vis insita*' coincide con l'inerzia della massa, per cui forza insita può essere chiamata anche forza d'inerzia.

"Una forza impressa (vis impressa) è un'azione esercitata sul corpo al fine di mutare il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme".

Qui viene definita la forza come causa del moto.

Per Newton non è altrettanto necessario definire **tempo, spazio, luogo e moto** "in quanto notissimi a tutti" ma, poiché sussistono "vari pregiudizi", "conviene distinguere le medesime quantità in assolute e relative, vere ed apparenti, matematiche e volgari".

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

2) *Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile; lo spazio relativo è una dimensione mobile o misura dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile; ...*

3) *Il luogo è quella parte dello spazio occupata dal corpo, e, a seconda dello spazio cui si riferisce, può essere assoluto o relativo. ...*

4) *Il moto assoluto è la traslazione di un corpo da un luogo assoluto in un luogo assoluto, il relativo da un luogo relativo in un luogo relativo..."*

Oltre a ciò Newton aggiunge alcune importanti considerazioni:

"È possibile che non vi sia movimento talmente uniforme per mezzo del quale si possa misurare accuratamente il tempo. Tutti i movimenti possono essere accelerati o ritardati, ma il flusso del tempo assoluto non può essere mutato. Identica, è la durata o la persistenza delle cose, sia che i moti vengano accelerati, sia che vengano ritardati, sia che vengano annullati; per cui, a buon diritto, questa durata viene distinta dalle sue misure sensibili."

"Vero è che, in quanto le parti dello spazio non possono essere viste e distinte tra loro mediante i nostri sensi, usiamo in loro vece le loro misure sensibili. Definiamo, infatti, tutti i luoghi dalle distanze e dalle posizioni delle cose rispetto ad un qualche corpo, che assumiamo come immobile; ed in seguito, con riferimento ai luoghi predetti, valutiamo tutti i moti, in quanto consideriamo i corpi come trasferiti da quei medesimi luoghi in altri. Così, invece dei luoghi e dei moti assoluti usiamo i relativi; né ciò riesce scomodo nelle cose umane: ma nella filosofia occorre astrarre dai sensi. Potrebbe anche darsi che non vi sia alcun corpo al quale possano venir riferiti sia i luoghi che i moti. La quiete ed il moto, assoluti e relativi, si distinguono gli uni dagli altri mediante le loro proprietà, le cause e gli effetti. La proprietà della quiete è che i corpi veramente in quiete giacciono in quiete fra loro. Di modo che, per quanto sia possibile che un qualche corpo, nelle regioni delle stelle fisse, o anche più lontano, sia in quiete assoluta, tuttavia, dalla posizione fra loro dei corpi nelle nostre regioni, non si può sapere se qualcuno di questi conserva o no una data posizione rispetto a quel corpo tanto lontano, né si può stabilire la vera quiete dalla posizione dei corpi fra loro".

Come mai Newton non sceglie il cielo delle stelle fisse come riferimento assoluto?

Egli era cosciente del fatto che ogni cosa che dovesse avere caratteristiche di assolutezza, non doveva essere relazionata a cose sensibili ed anche se le stelle fisse avevano fino ad allora dato grosse garanzie Newton temeva che in futuro non fossero più in grado di darle (nel 1718 Halley provò che le stelle 'fisse' sono dotate di un moto proprio, ma solo dopo la morte dello stesso Newton il fatto fu comunemente accettato).

Il principio di relatività di Galileo è così enunciato:

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

Non si fa menzione dell'equivalenza di tutti i sistemi inerziali che si muovono di moto uniforme (e rettilineo) gli uni rispetto agli altri.

Per la 1^a legge del moto Newton fornisce invece questa definizione:

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

Rispetto a cosa si hanno quiete e moto? Newton richiede un **riferimento assoluto** per la validità della legge d'inerzia, allo stesso modo in cui non accetta quello delle stelle fisse. Il riferimento assoluto diventa il suo spazio assoluto che risulta indispensabile per la definizione di uno stato di quiete.

La stessa cosa vale per il tempo: se le misurazioni sensibili che noi facciamo del tempo sono legate a moti non perfettamente regolari, chi ci garantisce l'uniformità del moto?

Nel terzo libro è enunciata la famosa legge di **gravitazione universale**: due corpi di massa m ed M si attraggono reciprocamente con una forza F che è proporzionale, secondo una costante G , al prodotto delle masse dei due corpi ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza r che li separa.

Presuppone **azione rettilinea e istantanea**.

Per quanto riguarda poi il mezzo attraverso cui l'azione, da quel che traspare dalla lettura dell'opera di Newton, egli appare indeciso e spesso contraddittorio nell'optare per **l'etere o per il vuoto**. Mentre a volte sostiene l'esistenza del vuoto (quando ad esempio ipotizza l'esistenza di atomi e quando osserva che le comete negli spazi non incontrano alcuna resistenza), altre sembra propendere per l'etere (quando lo ipotizza nella sua teoria corpuscolare della luce per permettere la trasmissione dei corpuscoli luminosi).

In definitiva sembra si possa dire che Newton propende per l'etere, almeno per lo spazio che interessa il nostro sistema solare, mentre non lo pensa esteso all'infinito.

Questo etere poi deve essere una sostanza sottilissima ed elasticissima; esso non deve avere una struttura continua, ma corpuscolare proprio per rendere conto della sua elasticità che altrimenti non potrebbe esistere.