

Galilei e Newton

GALILEO GALILEI 1564-1642

GAILILEVS
GAILILEVS
MATHVS:

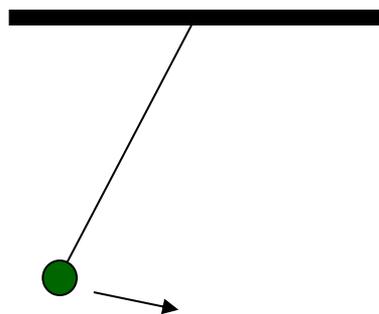


Egli fu un autodidatta, svogliato studente di Medicina abbandonò presto l'Università e, privo di titoli accademici, si concentrò sui testi dell'antica geometria greca in particolare su Euclide ed Archimede.

«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» (Il Saggiatore).

Galileo insegnava l'Almagesto all'Università, ma segretamente era un convinto copernicano. Conosceva bene l'insoddisfacente meccanica di Aristotele che non si accordava con una Terra mobile. Inizia con lo studio del pendolo e della caduta libera dei corpi.

- Galileo Galilei: leggi del moto del pendolo



Il periodo di oscillazione del pendolo:

- è indipendente dalla ampiezza della oscillazione.
- è indipendente dalla massa oscillante
- dipende solo dalla lunghezza del filo.

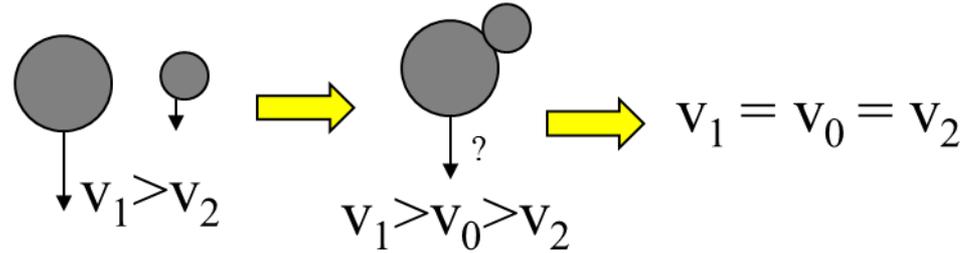
Galileo figlio di un musicista non aveva inibizioni per il lavoro manuale. I musicisti toccano gli strumenti.

Cinematica

Aristotele affermava che i corpi in aria cadevano a velocità costante e proporzionale al loro peso, come succede realmente nei liquidi.

Dal “Dialogo dei Massimi Sistemi” Galileo (1636):

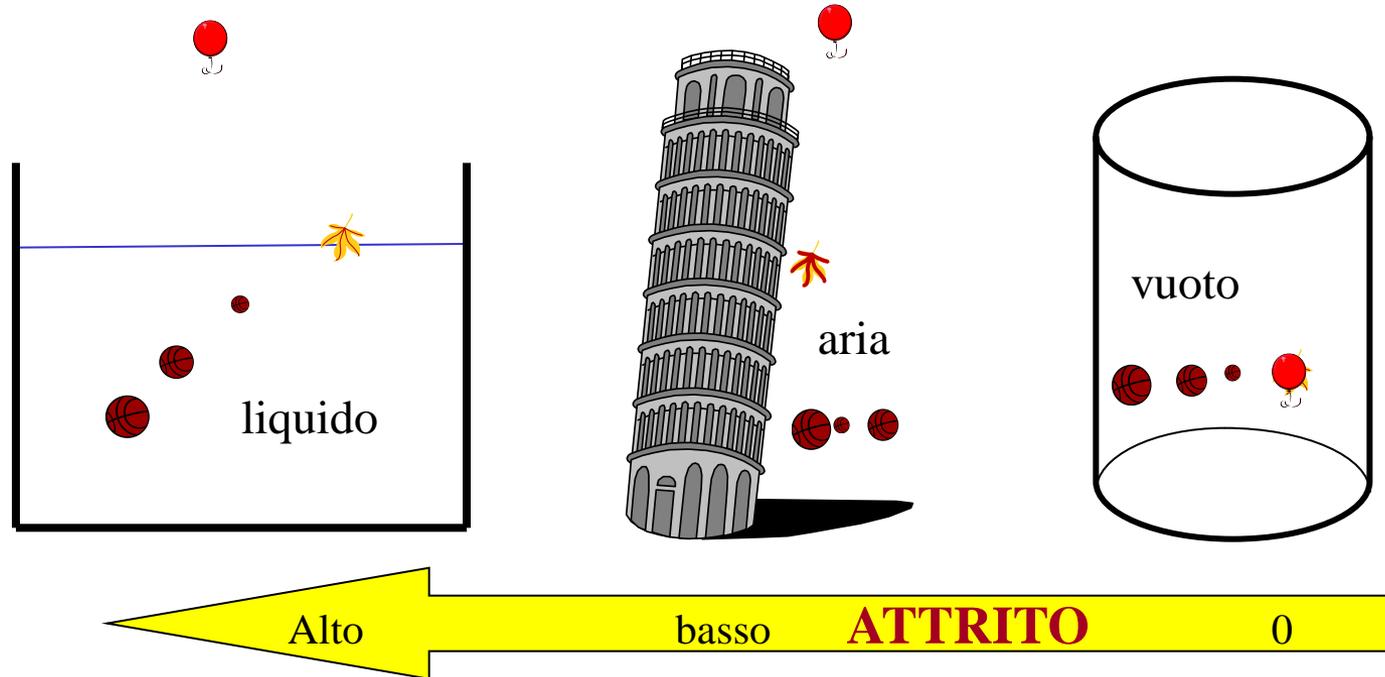
(Benedetti
1530-1590)



43

1604- Galileo scopre che gli oggetti in caduta libera incrementano la velocità (cioè accelerano) e cadono tutti, indipendentemente dal peso. con la stessa velocità.

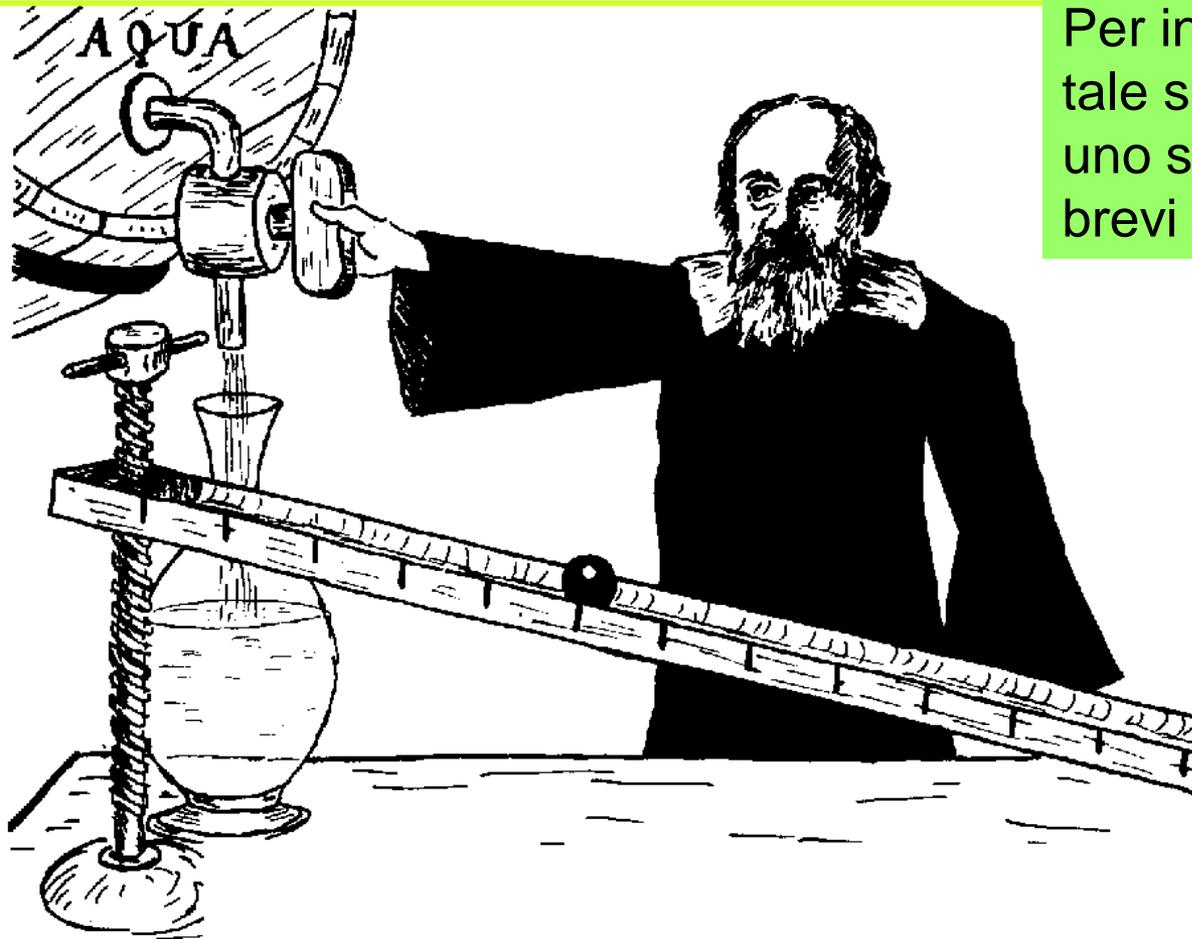
GALILEO: ha saputo discriminare tra gli effetti importanti e quelli irrilevanti di un fenomeno



Galileo:
asserisce
con forza
che la
Matematica
è la lingua
della
natura.

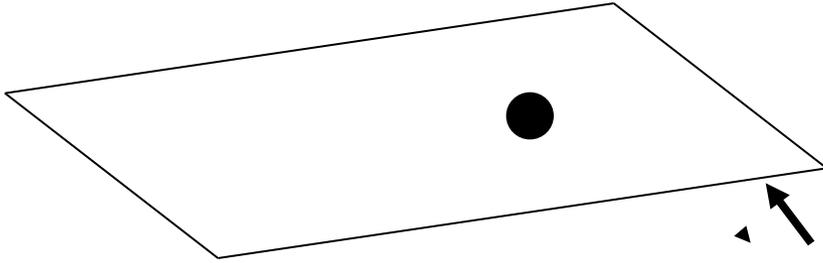
che usando la RAGIONE, discriminando tra gli aspetti importanti e quelli irrilevanti di un fenomeno e verificando che alle teorie logiche corrispondano fatti verificabili sperimentalmente, introdusse una metodologia efficace per avvicinarsi alla verità delle leggi naturali, senza segreti, da sfruttare per l'uomo. *Finalmente il pensiero umano ha trovato un arbitro: l'esperimento riproducibile*

ESPERIMENTI CON PIANI INCLINATI Nel 1603/4 Galileo trascrive i primi dati su un manoscritto: *le distanze percorse dalla sferetta in una sequenza di tempi del tipo 1, 2, 3, 4 ecc, non corrispondono a velocità costante, la sequenza delle distanze corrisponde piuttosto alla sequenza dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, ecc.. Siamo costretti ad ammettere che la velocità aumenta lungo la discesa. Il che significa che l'accelerazione non è un fatto solo iniziale, ma è qualcosa che governa tutto il moto naturale della sferetta.*



Per indagare quantitativamente su tale scoperta Galileo ha bisogno di uno strumento per misurare tempi brevi e inventa l'orologio ad acqua.

“Nel moto naturale e libero di un oggetto lungo la verticale, gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati per percorrerli verso il basso, e la stessa regolarità è vera quando l'oggetto è lanciato verso l'alto ed esegue un moto violento lungo la verticale.”



Galileo tiene a Padova un corso sulle macchine (leva) e spiega come si comporterebbe una sfera solida perfetta se collocata su una superficie solida e perfetta. Se la superficie non fosse inclinata, allora la sfera rimarrebbe in quiete. Ma se la superficie fosse inclinata anche dello spessore minimo come quello di un capello sarebbe in moto. Torniamo ora alla superficie non inclinata. Cosa si dovrebbe fare per mettere in moto la sfera. Bisognerebbe applicare una forza. Quanto grande? La risposta è netta:

“Un corpo sferico su una superficie perfetta ha disposizione di essere da ogni piccolissima forza mosso”

“Una sfera perfetta è indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, sì che ogni minima forza sia bastante a muoverla, mentre una minima resistenza può fermarla.”

“Tutti i corpi gravi, rimossi tutti gli impedimenti esterni ed adventizi, possono essere mossi nel piano del orizzonte da qualunque minima forza”

È il principio di inerzia

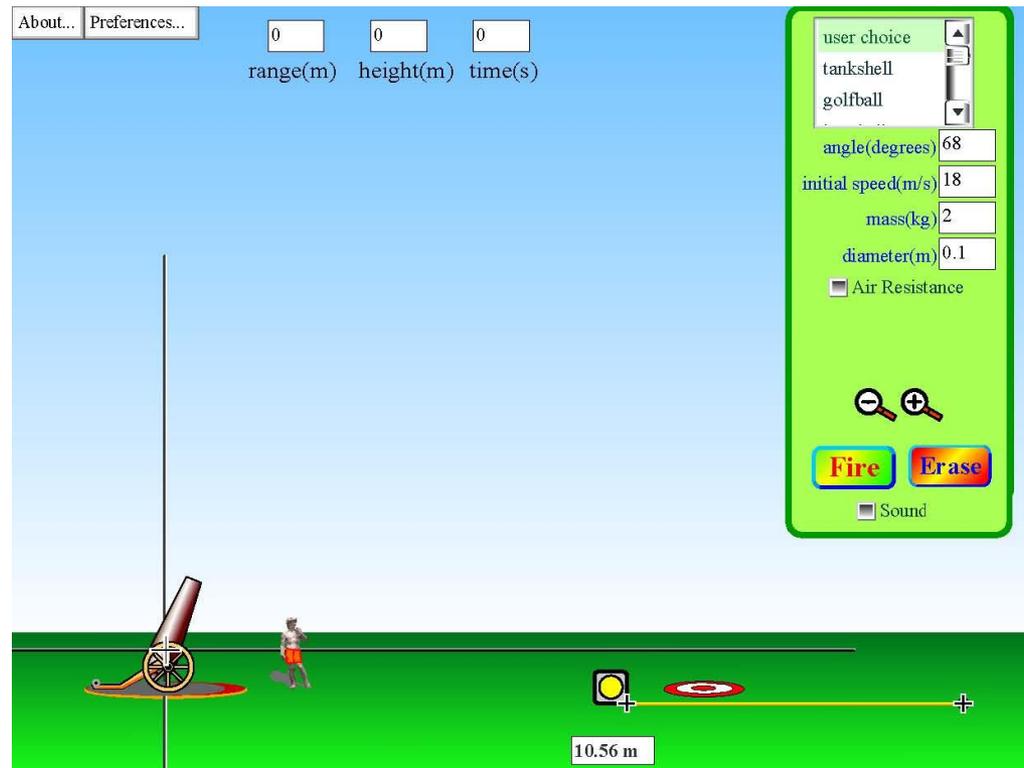
Aristotele: stato normale \Rightarrow quiete --- forza \Rightarrow movimento

Galileo: stato normale **velocità costante** --- forza varia velocità

PRINCIPIO DI INERZIA Il principio di inerzia come lo conosciamo noi è stato formulato da Cartesio. Galileo credeva che il principio si applicasse anche al moto circolare. per cui non c'era bisogno di forze, *magiche*, come la gravità per giustificare il moto planetario. Come conseguenza il moto dei pianeti non abbisognava di giustificazioni.

Introdusse in modo definitivo la composizione e la relatività dei movimenti

GALILEO: ha saputo scomporre in moti in 2 dimensioni come somma di moti unidimensionali.



IL PRINCIPIO DI RELATIVITA' GALILEIANA

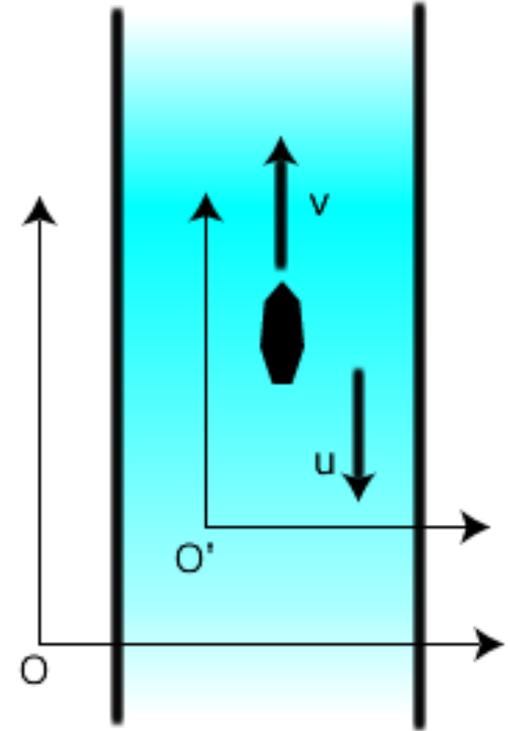
(dal Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo)

Dice Salviati:

«Rinserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; suspendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti 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 all'amico alcuna cosa non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze siano eguali; e saltando voi, come si dice, a pié 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; ché (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, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, 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».

LE TRASFORMAZIONI GALILEIANE

- Due osservatori determinano due diverse posizioni per il medesimo oggetto mobile che si trova in una certa posizione in un certo istante. Per poter correlare le due determinazioni, queste devono venire eseguite nel medesimo istante.
- Quando effettuano le loro misure, i due osservatori sono lontani l'uno dall'altro e, siccome le loro osservazioni devono essere fatte nello stesso istante, devono scambiarsi dei segnali. Galilei era perfettamente conscio di tale problema, tanto che provò a misurare la velocità della luce fra due osservatori che facevano segnali con una lanterna. Ne dedusse che la velocità della luce è rapidissima e archiviò la questione come irrilevante ai fini pratici. Si noti che la quarta coordinata, il tempo, sia la stessa in entrambi i sistemi inerziali. Cioè nell'ambito della meccanica classica tutti gli orologi marciano con lo stesso ritmo, di conseguenza gli intervalli temporali fra due eventi successivi saranno gli stessi per entrambi gli osservatori.
- Galilei mise a punto delle regole di trasformazione dette trasformazioni galileiane che permettevano di spostare delle analisi da un osservatore ad un altro.
- La più importante conseguenza delle trasformazioni galileiane è la composizione della velocità. Un esempio viene dato da una barca che si muove con velocità v rispetto all'acqua di un canale che a sua volta si muove con velocità u rispetto alla riva. Un osservatore O è solidale con la riva, un altro O' con la barca.

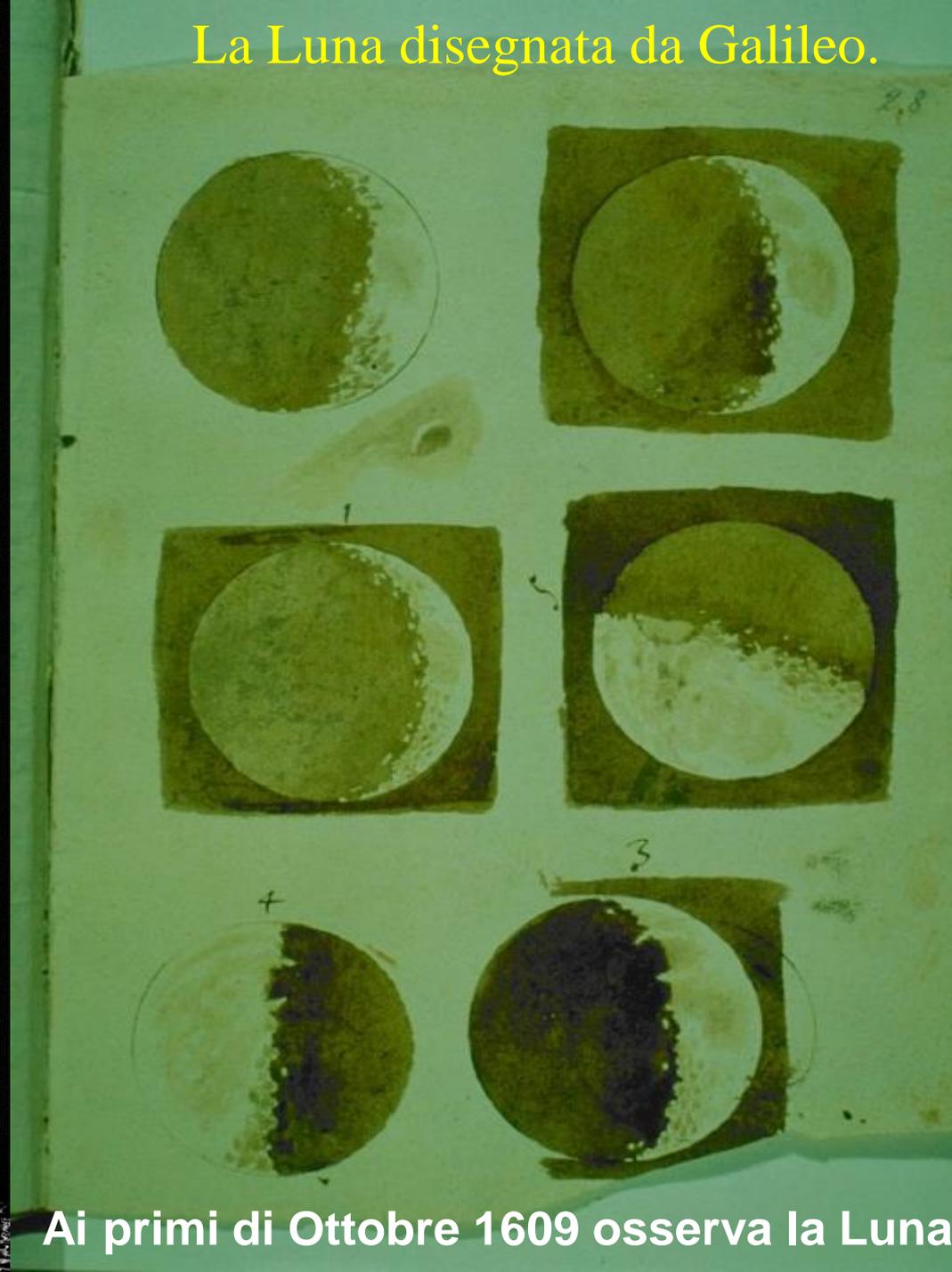


Galileo non era un astronomo, ma i primi di Ottobre 1609 osserva il cielo notturno con il suo telescopio.



1610 pubblica *Sidereus nuncius* UNA VERA RIVOLUZIONE non solo in ASTRONOMIA

La Luna disegnata da Galileo.



Ai primi di Ottobre 1609 osserva la Luna



**Galileo scrisse
che le stelle
della Via Lattea
erano numerose
quanto i grani di
polvere del talco e
che apparivano tra
loro fisse, solo
perché erano
lontanissime.**

color
quan

**Ad occhio nudo
vediamo solo
~ 6000 stelle.**

Costruisce un telescopio con 20 ingrandimenti ed il 7 gennaio 1610 osservando Giove vede delle nuove stelle allineate con il pianeta.

1610

Oriente

Occidente

7 gennaio



8 gennaio



9 gennaio

NUVOLOSO

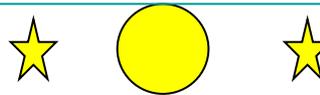
10 gennaio



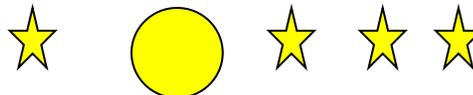
11 gennaio



12 gennaio



13 gennaio

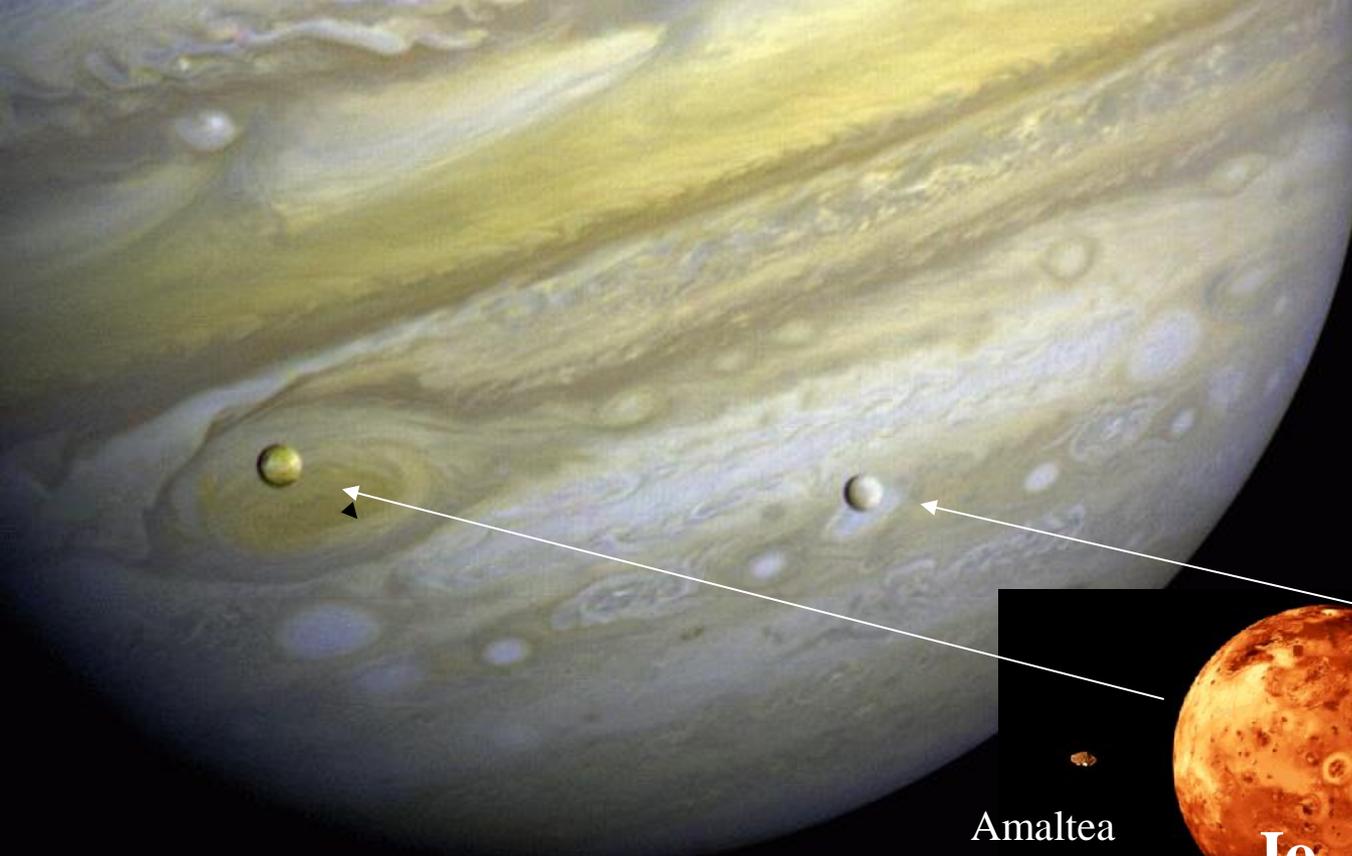


Ha pensato che Giove si era mosso verso oriente, ma dalle tabelle astronomiche capisce che si era mosso verso occidente.

La valutazione di **Galileo** nel *Sidereos Nuncius*

è perentoria:

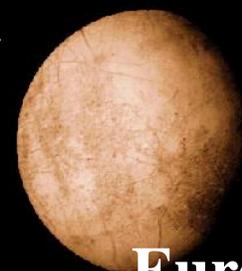
attorno a Giove sono in orbita dei satelliti, così come i pianeti Venere e Mercurio sono in orbita attorno al Sole. Il che equivale a dire che Copernico era nel vero.



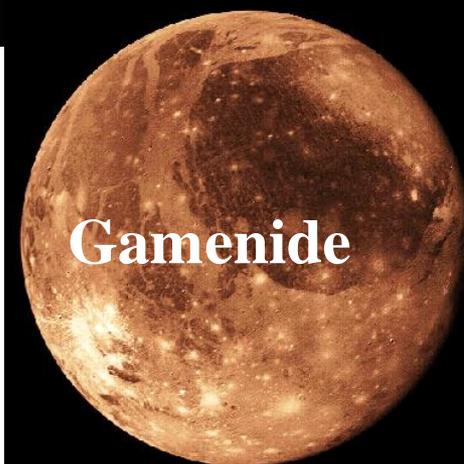
Amaltea



Io



Europa



Gamenide



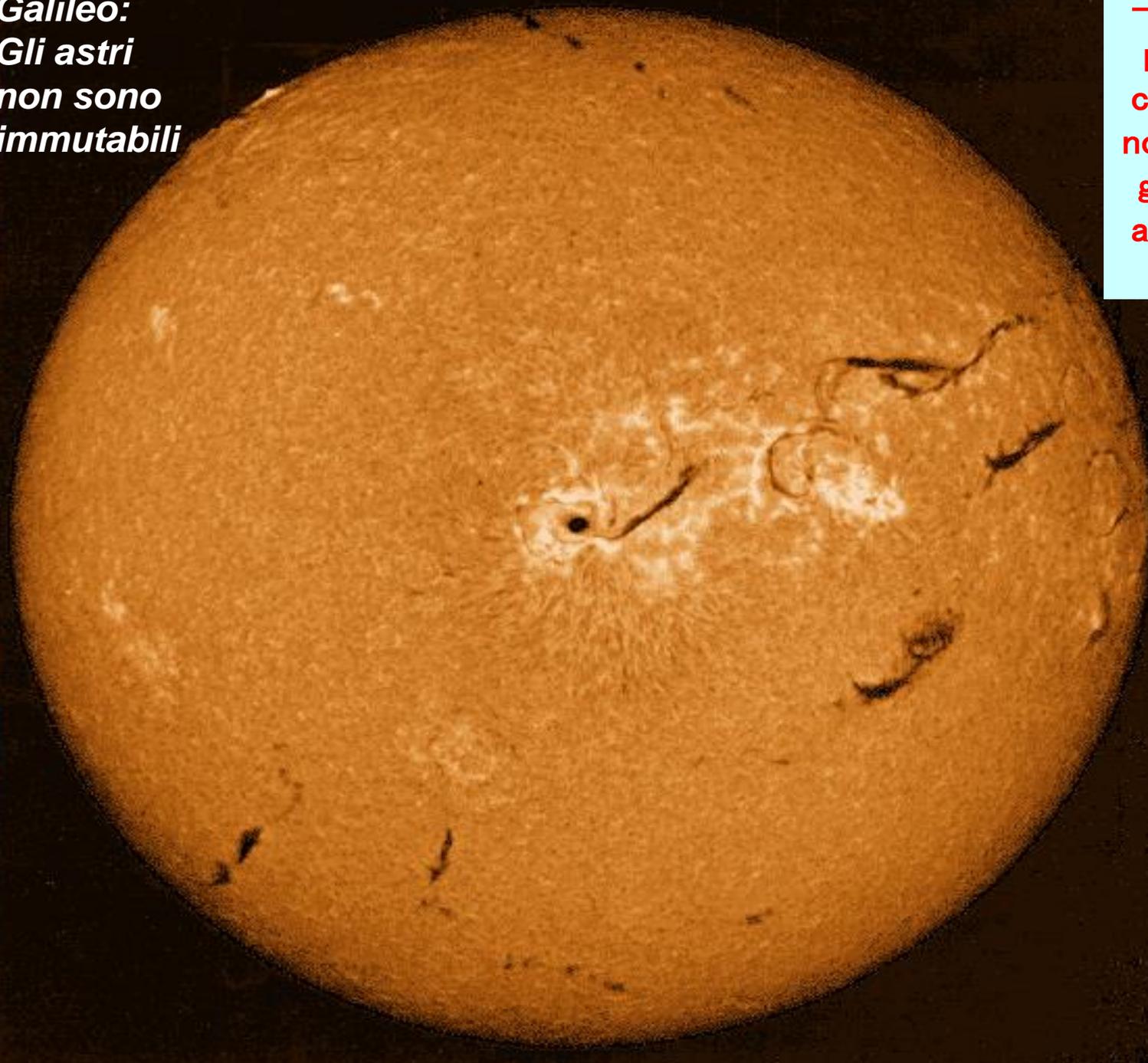
Callisto

Giove con i suoi satelliti è un centro di movimento come la Terra, quindi questa non è l'unico centro di movimento dell'universo.

Nel 1611/12 osserva:
Venere ha le fasi come
la Luna quindi non
ha luce propria e come
aveva previsto Copernico
non si vedeva mai un
Venere pieno, in quel caso
è coperto dal Sole.



**Galileo:
Gli astri
non sono
immutabili**



-1612 Il Sole non è perfetto, ha macchie che si muovono con periodo di 27 giorni, quindi ruota attorno ad un asse.

Gli astronomi gesuiti dissero di avere osservato le macchie solari per primi e che queste sono dovute al passaggio di oggetti di tipo planetario.



Galileo risponde misurando la velocità apparente delle macchie ai bordi e al centro del Sole e trovando che ai bordi sono più lente che al centro dimostrò che sono solidali con il Sole



**Galileo
descriveva
SATURNO
come
uno strano
oggetto:
gli appariva
come un punto
circondato da
altri due punti
qualche volta
a forma di C.
ma certamente
non una stella
normale**

IL METODO SCIENTIFICO

Il più grande libro di Galileo, i **Discorsi e dimostrazioni matematiche attorno a due nuove scienze** (Leida 1638) rappresenta la nascita del metodo scientifico.

Galileo, abbandona la ricerca **delle cause e delle essenze** aristoteliche e la sostituisce con una ricerca delle **traiettorie e dei fatti** e con la **matematizzazione** delle osservazioni, e con lo slogan **provando e riprovando** abbandona le verità certe per una discussione che può falsificare sia le osservazioni che la teoria proposta. Con questo metodo si apre la possibilità di rigettare false convinzioni e la ricerca della verità ci guadagna, anche se ovviamente non sarà mai una verità definitiva ma spesso è ben approssimata.

La **discussione** e la possibilità di **sperimentare** previsioni diventano **l'arbitro** di tutte le idee e quindi rimangono solo quelle più valide

Con questo metodo la conoscenza è cumulativa, e cresce di generazione in generazione.

È evidente che tale metodo, ed in particolare la discussione, era aborrito da coloro che leggendo un libro erano convinti di possedere la verità. 19

IL METODO SCIENTIFICO

Dal Saggiatore (1623)

«Se il Sarsi vuole che io creda che i Babilonii cocesser l'uova col girarle velocemente nella fionda, io lo crederò, ma a noi questo non succede [...] Ora a noi non mancano uova né fionde, né uomini robusti che le girino, e pur non si cuocono [...].

E poiché non ci manca altro che esser di Babilonia, adunque l'esser Babilonii è causa dell'indurirsi delle uova, e non l'attrizione dell'aria».



Egli fu un autodidatta, svogliato studente di medicina abbandonò presto l'Università e, privo di titoli accademici, si concentrò sui testi dell'antica geometria greca in particolare su Euclide ed Archimede. Entrò in corrispondenza con alcuni matematici già noti, e fu da loro apprezzato, in particolare da Guidobaldo del Monte, che lo appoggiò per fargli ottenere un insegnamento a Pisa e poi nel 1592, per farlo entrare a 28 anni nell'Ateneo padovano. Dagli scritti giovanili sappiamo che Galileo era molto competente sugli argomenti scientifici che risalivano anche al lontano passato.

L'evoluzione del suo pensiero sul moto si può riassumere sulla base dei suoi scritti e della sua corrispondenza fin dall'età giovanile:

- Alla domanda *“Come esplorare i fenomeni”* risponde come Aristotele rifacendosi alle *“sensate esperienze”* e alle *“certe dimostrazioni”*, vale a dire che possiamo avvicinarci alla verità raccogliendo dati con gli organi di senso e utilizzando quando è possibile la geometria.
- Galileo non ha mai scritto un trattato sul metodo scientifico ma ha scritto del metodo nel contesto preciso delle sue ricerche. Per esempio annota che *“a volte disponiamo soltanto di informazioni sensoriali ma non abbiamo teoremi che le confermino*, come nel caso che si crea quando guarda il cielo con il telescopio e scopre che la Via Lattea è un ammasso di stelle e scrive *“ab oculata certitude”*, non ha bisogno di dimostrazione matematica per convalidare la propria certezza. Altre volte i teoremi esistono ma non riusciamo a farli corrispondere a un fenomeno naturale, per esempio *“niente pregiudica alle conclusioni dimostrate da Archimede circa la spirale non ritrovarsi in natura mobile che in quella maniera spiralmemente si muova”*. *Questi moti esistono, masse che spiraleggiano in campi gravitazionali intensi e cariche in campo magnetico, ora lo sappiamo ma Galileo no.*
- Che fare, allora? Proseguire con tenacia le ricerche facendo tesoro di saperi anche incerti o incompleti ma non avendo comunque dubbi sulle asserzioni ben dimostrate della geometria che spesso ma non sempre ci aiutano a comprendere i fenomeni naturali. Nuove misure, nuove idee. Le ipotesi possono oscillare e ciò è dovuto alle limitazioni sia dei sensi che dell'intelletto umani, ma l'esperienza ha dimostrato che c'è convergenza verso opinioni più stabili.

Galileo mette insieme Aristotele, Euclide e Archimede facendo un mix filosofico che si ristrutturava cammin facendo, procedendo a zig-zag con risultati imprevedibili.

Un buon aristotelico elogia l'esperienza e la deduzione, ma è convinto che si debba compiere un ulteriore passo cioè scovare grazie a una filosofia posta al di sopra delle singole scienze, le **cause** e le **essenze** che sono in gioco. Un buon seguace di Euclide ed Archimede, concentra la sua attenzione sulle *figure* e sulle *traiettorie*

Per esempio: nel moto relativo ai corpi celesti il buon aristotelico punta ad ottenere spiegazioni astronomiche e fisiche. Il buon archimedeo invece geometrizza il mondo e si concentra su problemi per così dire *locali*. Egli vuole capire come funziona la leva e come certi corpi stanno a galla sull'acqua ed altri no. Si pone domande che al metafisico appaiono minuzie tecniche, estranee alla cultura del vero filosofo, il quale pone se stesso come cultore di un sapere che aspira alla completezza ed all'universalità. Uno dei risultati del mix galileiano è quello per cui l'uomo non è misura di tutto e non esiste alcuna possibilità di conoscenza completa:

“Estrema temerità mi è parsa sempre quella di coloro che vogliono far la capacità umana misura di quanto possa e sappia operar la natura, dove che, all'incontro, è non è effetto alcuno in natura, per minimo che sia, all'intera cognizion del quale possano arrivare i più speculativi ingegni. Questa così vana presunzione di intendere il tutto non può avere principio da altro che dal non avere inteso mai nulla, perché, quando altri avesse sperimentato una volta sola a intendere perfettamente una sola cosa e avesse gustato come veramente è fatto il sapere, conoscerebbe come dell'infinità dell'altre conclusioni niuna ne intende.” (dal Dialogo....)

Queste idee per gli intellettuali del primo seicento era sconcertanti: esse implicano che ogni asserto umano basato su esperienze ripetute sia passibile di critica, e che ogni proposizione ritenuta vera possa essere falsificata. Sta insomma nascendo il punto di vista secondo cui la libera controversia è la sorgente della crescita della cultura, infatti si fa luce lo slogan **“provando e riprovando”** dove *riprovando sta per falsificando, da riprovazione.*

Che sia sconcertante e da respingere per la sua epoca lo esprime bene nel Dialogo.. Semplicio:

“Questo modo di filosofare tende alla sovversion di tutta la filosofia naturale, e al disordinare e mettere in conquasso il cielo e la terra e tutto l’universo.” Ed ecco la risposta di Galileo:

“La filosofia medesima non può non ricevere beneficio dalle nostre dispute, perché se i nostri pensieri saranno veri, nuovi acquisti vi saranno fatti, se falsi, col ributtarli, maggiormente verranno confermate le prime dottrine. Pigliatevi più tosto pensiero di alcuni filosofi, e vedete di aiutarli e sostenerli, che quanto alla scienza stessa, essa non può se non avanzarsi.”

Galileo con il suo mix filosofico, abbandona la ricerca **delle cause e delle essenze** aristoteliche e la sostituisce con una ricerca e misura dei fatti e con la geometrizzazione delle osservazioni, e con lo slogan **provando e riprovando** abbandona le verità certe per una discussione che può falsificare sia le osservazioni che la teoria proposta. Con questo metodo si apre la possibilità di rigettare false convinzioni e la ricerca della verità ci guadagna, anche se ovviamente non sarà mai una verità definitiva ma spesso è ben approssimata. Con questo metodo la conoscenza è cumulativa e cresce di generazione in generazione. La discussione e la possibilità di sperimentare previsioni diventano l’arbitro di tutte le idee e quindi rimangono solo quelle più valide. È evidente che tale metodo, ed in particolare la discussione, era aborrito da coloro che leggendo un libro erano convinti di possedere la verità.

Galileo ha inventato un nuovo modo per conoscere le leggi naturali:

il METODO SCIENTIFICO

Le ragioni per cui Galileo ha affrontato la meccanica non sono certo facili da chiarire, si dice che iniziò con lo studio del pendolo. Altri con il fatto che era un copernicano convinto. Infatti prima del 1600 lo aveva scritto a del Monte e a Keplero dicendo che non lo dichiarava pubblicamente per non essere deriso dagli stolti. Ma si rendeva conto che le idee copernicane erano in contrasto con la meccanica aristotelica per ciò si occupò di meccanica. Sta di fatto che si dedicò con profitto.

Nello stesso periodo Galileo tiene a Padova un corso sulle macchine (leva) e spiega come si comporterebbe una sfera solida perfetta se collocata su una superficie solida e perfetta. Se la superficie non fosse inclinata, allora la sfera rimarrebbe in quiete. Ma se la superficie fosse inclinata anche dello spessore minimo come quello di un capello sarebbe in moto. Torniamo ora alla superficie non inclinata. Cosa si dovrebbe fare per mettere in moto la sfera. Bisognerebbe applicare una forza. Quanto grande? La risposta è netta: *un corpo sferico su una superficie perfetta ha disposizione di essere da ogni piccolissima forza mosso.*

Eppure le teorie esistenti pongono una differenza netta tra la quiete ed il moto. Galilei invece sostiene: *una sfera perfetta è indifferente e dubbia tra il moto e la quiete, sì che ogni minima forza sia bastante a muoverla, mentre una minima resistenza può fermarla.*

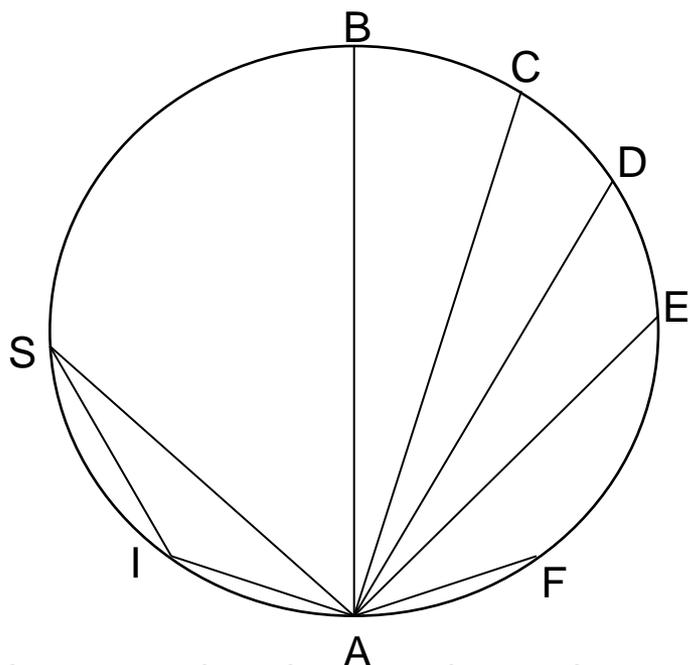
Dal che si deduce un assioma: *Tutti i corpi gravi, rimossi tutti gli impedimenti esterni ed adventizi, possono essere mossi nel piano del orizzonte da qualunque minima forza.* Dato l'assioma si approda alla tesi che se le resistenze sono nulle, un corpo messo in moto da una forza minima resta per sempre in moto rettilineo e la sua velocità resta per sempre costante fino a quando non si introducono perturbazioni. È il principio di inerzia.

Ma l'assioma è inconciliabile con *tutto ciò che sino ad allora è stato detto circa i movimenti osservabili in natura.* Galileo servendosi dell'assioma compie una imprevedibile generalizzazione che coinvolge, la leva, la caduta libera, i piani inclinati, il pendolo e lo spostamento lungo orbite curvilinee e che viene ulteriormente generalizzata in una lettera del 1602 a Guidobaldo del Monte dove viene alla luce una variante decisiva: *invece di chiederci quale sia la vis agente su un corpo o impressa al suo interno, ci si chiede quale sia la forma geometrica della traiettoria percorsa dal corpo il che equivale ad abbandonare la ricerca delle cause per sostituirla con la ricerca di regolarità geometriche.*

Nella lettera del 1602, Galileo annuncia due novità:

-Si costruiscono due pendoli semplicissimi uguali e si affidano a due persone diverse. Le due persone metteranno i pendoli ad oscillare allo stesso istante, una con oscillazioni che descrivono archi di maggiore ampiezza e l'altro con oscillazioni più piccole. Risultato entrambi arrivano a contare 100 oscillazioni nello stesso istante.

- La seconda novità è illustrata con la figura:



Una sferetta lasciata libera di cadere lungo la verticale BA o lungo i piani inclinati CA, DA, EA ed FA e sia la linea FA piccola quant'esser si voglia. Se abbiamo 5 sferette e le lasciamo cadere simultaneamente dai punti B, C, D, E, F esse arriveranno al punto A contemporaneamente:

Distanze diverse sono percorse in tempi fra loro uguali. E si configura un'altra conseguenza infatti nella figura i piani inclinati sottendono degli archi di curva analoghi a quelli percorsi da una sferetta in moto oscillatorio pendolare fissato al centro del cerchio. La generalizzazione è di immensa portata, si profila infatti, l'unificazione, in chiave geometrica, dei moti naturali verso il basso, di quelli sui piani inclinali e di quelli pendolari.

La geometrizzazione sta dunque instaurandosi e apre una nuova via verso regolarità che nulla hanno a che fare con le cause dei moti. Rimane in questa fase la velocità costante di caduta e l'abbrivio iniziale. Vanno in frantumi alcuni argomenti teorici ed altri si conservano.

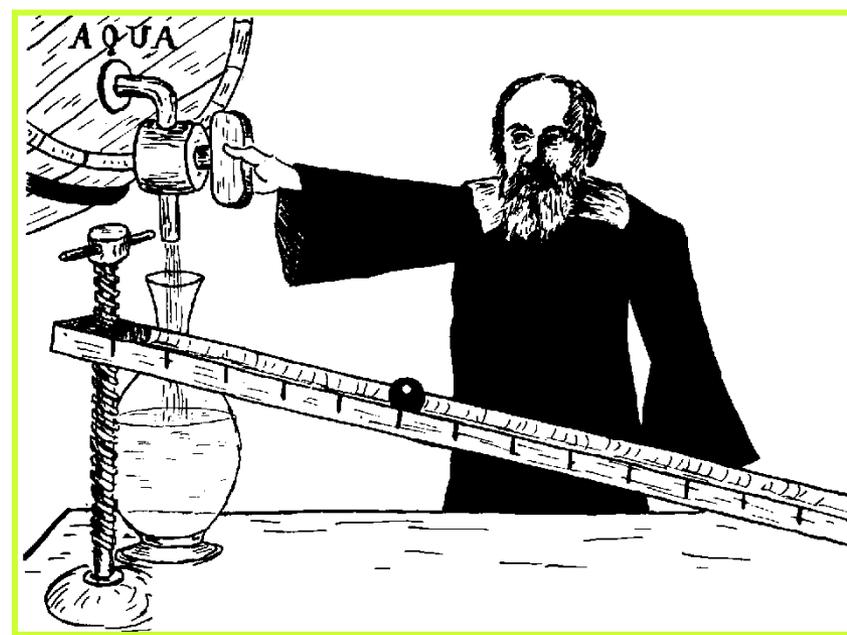
A questo punto la ricerca galileiana si intreccia con quella di Guidobaldo del Monte che a proposito dei moti violenti scrive nel 1602 a Galileo di un interessante esperimento: *Su un tavolo piano leggermente inclinato, fa scorrere una pallina imbevuta di inchiostro, e poi osserva la traccia lasciata e si rende conto che questa è una curva uguale in salita e in discesa, contrariamente all'aspettativa che vuole una retta in salita e la verticale per la discesa. Tale risultato all'epoca era inconcepibile.*

L'esperimento è geniale perché rimuove la difficoltà di seguire con la vista una traiettoria che si svolge troppo rapidamente. La situazione nuova e piena di ombre e Galileo inizia a chiedersi come far intervenire la dimensione temporale. Sino a quell'anno egli ha lavorato basandosi sulla realizzabilità di movimenti tra loro diversi che si realizzano in tempi uguali. È costretto ad agire in tal modo in quanto non esiste uno strumento che permetta di misurare tempi molto brevi e comunque tra loro diversi. Il principio che le accelerazioni siano solo iniziali e che durino meno di un battito di ciglia è garantito ai livelli delle *sensate esperienze*, perché il sistema occhio-cervello non è in grado di cogliere variazioni significative di velocità, neppure quando un sasso cade dall'alto di una torre e impiega due o tre secondi per arrivare al suolo. Figuriamoci cosa siamo in grado di percepire quando una sferetta di ferro cade per un metro, in un piano inclinato anche di soli 20 gradi.

Galileo è obbligato a prendere in considerazione tempi uguali per una profonda ragione che riguarda la possibilità di definire cosa siano davvero la velocità media e la velocità istantanea. Oggi non abbiamo questi problemi, non è troppo complicato capire questi concetti, impariamo che ha senso dividere una grandezza che si misura in chilometri per una che si misura in ore. Ebbene è stato sempre vietato nella geometria greca parlare di rapporto fra entità non omogenee. In poche parole Galileo può solo cercare i rapporti fra due velocità, fra due distanze o fra due intervalli di tempo. Ha senso soltanto cercare proporzioni fra due velocità mentre non ha senso chiedersi quale sia la velocità di un oggetto in un dato istante. Negli esperimenti con piani inclinati ci sono grosse difficoltà a definire intervalli di tempo molto brevi. Galileo ha un vantaggio, per ragioni familiari, sin da giovane ha imparato a suonare strumenti a corda. Ed è diventato un abile concertista. In quanto tale, gli è facile stabilire il numero di battute che si realizzano in un intervallo di tempo piuttosto breve. Un numero doppio di battute implica un tempo doppio, un numero triplo un tempo triplo, ecc.

Nel 1603/4 Galileo trascrive i primi dati su un manoscritto: *le distanze percorse dalla sferetta in una sequenza di tempi del tipo 1, 2, 3, 4 ecc, non corrispondono a velocità costante, la sequenza delle distanze corrisponde piuttosto alla sequenza dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, ecc.. Siamo costretti ad ammettere che la velocità aumenta lungo la discesa. Il che significa che l'accelerazione non è un fatto solo iniziale, ma è qualcosa che governa tutto il moto naturale della sferetta.*

Per indagare quantitativamente su tale scoperta Galileo ha bisogno di uno strumento per misurare tempi brevi, e questo appare nel manoscritto subito dopo la sequenza dei numeri dispari. Osserva: *Se un recipiente colmo d'acqua ha un piccolo forellino sul fondo da questo esce una piccola quantità di acqua che raccolta in un bicchierino si può pesare con una bilancia da orefice.* Con questo orologio ad acqua trasforma i piccoli tempi in numeri e gli paragona alle distanze percorse dalla sferetta la quale aziona un campanellino a tragguardi fissati, suoni che avvisano Galileo per mettere o togliere il bicchierino da pesare.

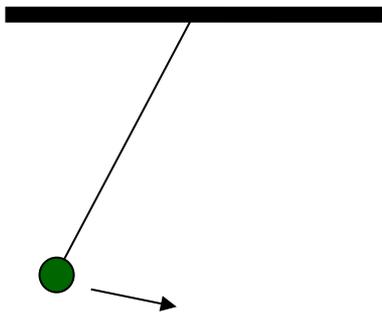


In una lettera a Paolo Sarpi del 16 dic. 1604 annuncia: *Un principio totalmente indubitabile, e tale da assumere come vero che le velocità di un corpo che cade lungo la traiettoria verticale siano proporzionali alle distanze percorse.* L'assioma è falso, ma con alcuni algoritmi creati ad hoc e qualche disinvoltura deduttiva Galilei arriva a una conclusione che è conforme alle misure fatte sotto forma di una legge che: nel moto naturale e libero di un oggetto lungo la verticale, gli spazi percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati per percorrerli verso il basso, e la stessa regolarità è vera quando l'oggetto è lanciato verso l'alto ed esegue un moto violento lungo la verticale.

Cade così sia la questione nei moti naturali della velocità costante di caduta e della accelerazione solo iniziale, e della netta separazione tra moto violento e naturale. La questione dei moti violenti su traiettorie non verticali è stata risolta da Galileo entro la metà del 1609 con traiettorie curve di tipo parabolico, e così cade l'altro caposaldo della esclusione della composizione dei moti.

Ci si può chiedere se queste scoperte sono state rese pubbliche, la risposta è negativa, solo dopo il processo, nel 1638, con la pubblicazione dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, trenta anni dopo si ha un sistema ipotetico deduttivo sufficientemente completo e ben articolato, e così si ha pubblica conoscenza della visione dei moti secondo Galileo.

– Galileo Galilei: leggi del moto del pendolo



Il periodo di oscillazione del pendolo:

- è indipendente dalla ampiezza della oscillazione.**
- è indipendente dalla massa oscillante**
- dipende solo dalla lunghezza del filo.**

Galileo essendo figlio di un musicista non aveva inibizioni per il lavoro manuale. I musicisti sono obbligati a toccare gli strumenti e qualche volta gli costruiscono. Sperimentando con piani inclinati e togliendo l'attrito comprende le leggi della caduta dei gravi. Nei suoi esperimenti Galileo misura il tempo pesando quantità di acqua (1/100 sec). Ha scoperto che l'attrito non era essenziale per il movimento, anzi imbrogliava i fatti

Ogni corpo persevera nel suo stato di riposo o di moto rettilineo ed uniforme, a meno che non sia costretto a cambiare tale stato da forze agenti su di esso.

Galileo usa in modo chiaro la matematica sia per formulare le leggi che per i suoi esperimenti quantitativi.

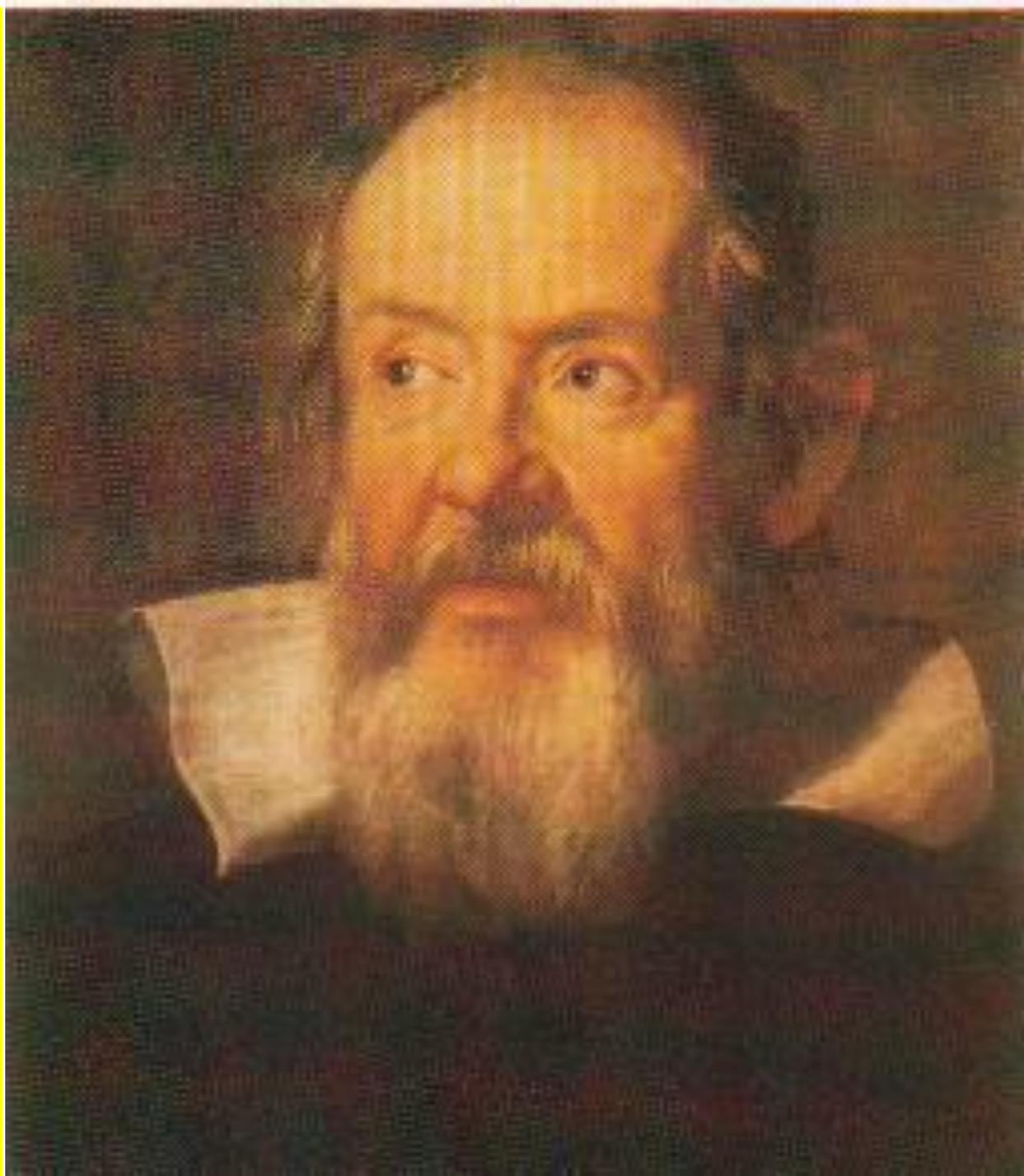
Nei suoi scritti Galileo afferma che le leggi della natura sono scritte con caratteri che sono triangoli, quadrati, cerchi, sfere ed altre figure geometriche, confermandoci che nella sua epoca la matematica era ancora sostanzialmente la geometria sviluppata 2000 anni prima dai greci.

Per gli aristotelici, dominanti nella cultura dei tempi di Galileo, l'uso della matematica era considerato importante per le leggi che governavano i cieli perché si applicavano a fenomeni che si ripetevano con precisione. L'applicazione della matematica ai fenomeni terrestri, che erano soggetti a degenerazione, cioè intrinsecamente imprecisi e soggetti ad accidenti (errori di valutazione) era fortemente contestato dai peripatetici. Tipica era la loro osservazione che una sfera tocca il piano in un solo punto e sfidavano chiunque a costruire una tale sfera ed un tale piano.

Galileo affermava che tutte le leggi naturali erano esprimibili in una forma matematica e per quelle terrene, frutto di nostre osservazioni, per trovarle avremmo dovuto isolare il fenomeno studiato, eliminando i disturbi (per esempio l'attrito nello studio del movimento) e gli accidenti (cioè gli errori di osservazione e misura) ed in ogni caso avremmo ottenuto una legge approssimata che nuove osservazioni e misure avrebbero potuto portare ad una legge migliore.

1632.

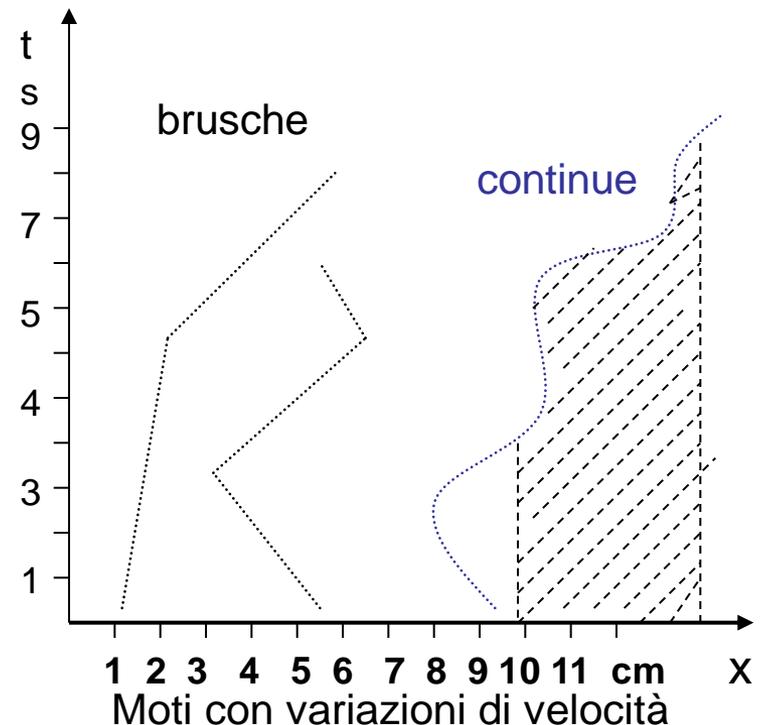
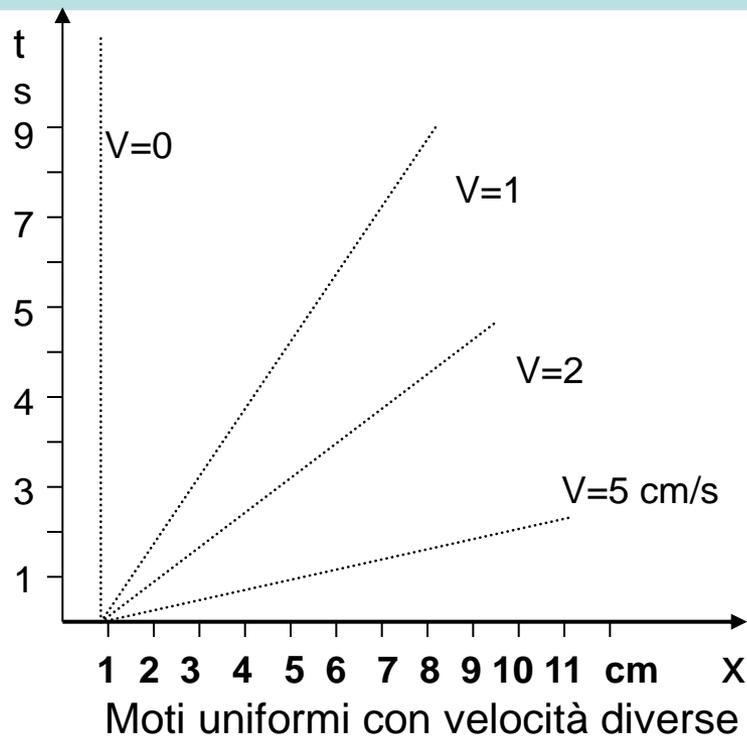
**Il
processo
a
Galileo.**



Il processo a Galileo Galilei, sostenitore della teoria copernicana eliocentrica sul moto dei corpi celesti in opposizione alla teoria aristotelica-tolémaica, geocentrica, sostenuta dalla Chiesa cattolica, iniziò a Roma il 12 aprile 1633 a seguito della pubblicazione nel 1631 del **Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo**. Il processo si concluse il 22 giugno 1633 con la sua condanna per eresia e con l'abiura delle sue concezioni astronomiche.

L'azione della Chiesa contro Galileo ebbe effetti devastanti per lo sviluppo delle scienze in Italia, infatti dopo questa condanna non era molto salubre frequentare Galileo e i suoi allievi. Lo sviluppo della scienza si spostò decisamente a Parigi in Inghilterra ed in Olanda dove per diverse ragioni la Chiesa aveva meno influenza. Solo nell'ottocento dopo le guerre napoleoniche ed in particolare con l'unità d'Italia i nostri concittadini diedero i primi contributi scientifici, dopo il periodo galileiano. Si può spiegare così la tradizionale arretratezza nello sviluppo tecnico scientifico del nostro paese.

Renè Descartes (Cartesio) diede un grande contributo alla meccanica introducendo con chiarezza il principio di inerzia (1544) per il moto rettilineo ed uniforme, come lo conosciamo noi.

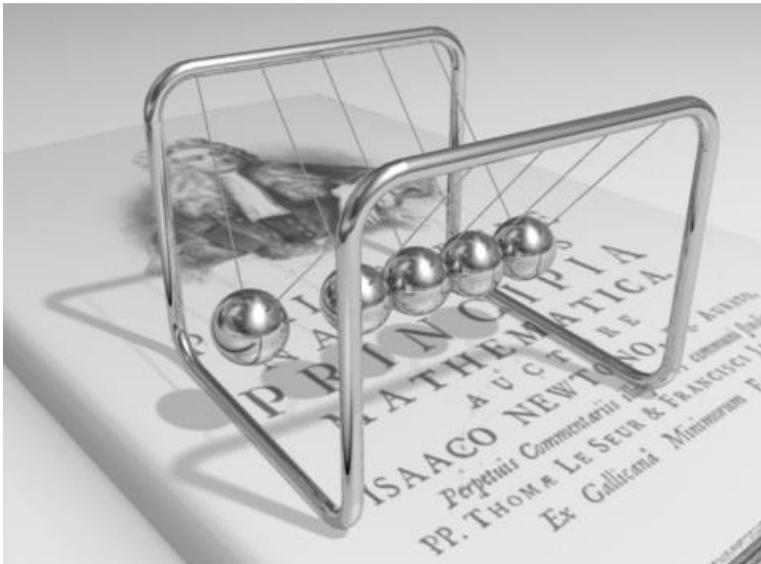


Introdusse anche le coordinate cartesiane ed i grafici con le curve cinematiche spazio tempo, matematicizzandolo. Separò la geometria dall'algebra che permise il rapporto tra grandezze non omogenee ($v=d/t$).

-1666 Isac Newton iniziò gli studi di matematica e di fisica sui libri di Cartesio, e non da Euclide, come era solito fare fino ad allora, introdusse le flussioni (integrali) e le flussioni inverse (derivate) per analizzare e quadrare le curve dei grafici cinematici di Cartesio.

Orfano di padre, e lo zio convince la madre a non farlo diventare agricoltore, ma di mandarlo al Trinity College di Cambridge. Newton era attratto dalla nuova filosofia della natura. Ben presto legge la Geometria di Cartesio, le opere di Hobbes, Wallis e *Il dialogo dei massimi sistemi* di Galileo.

Nel 1665 l'epidemia di peste raggiunge Cambridge che è evacuata, e Newton si rifugia per due anni a in campagna, dove in completa solitudine intellettuale ottiene dei risultati mirabili in matematica, ottica e nella teoria della gravità.



ISAAC NEWTON Nasce nel 1643,
anno della scomparsa di Galileo.



-1687 Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.

I Principia... son fondati su tre assiomi o leggi del moto:

- 1) Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse. (È il principio di inerzia che attribuisce a Galileo)
- 2) Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa, e avviene lungo la linea retta secondo la quale la forza è stata impressa. (non da la formula $F=ma$ perché la matematica del libro era la geometria).
- 3) A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.(la terza legge è una novità assoluta, Newton comprende che non solo il Sole esercita una forza sulla terra ma la Terra ne esercita una sul Sole eguale contraria, e quindi il Sole non è fermo al centro dell'Universo è solo in virtù della sua grande massa anche appare fermo)

Newton introduce i concetti di spazio e tempo assoluti. Sia il tempo che lo spazio assoluti non hanno relazione con alcunché di esterno e ritiene che sia possibile il moto relativo da quello assoluto in base agli effetti causati dalla rotazione. Lo spazio e il tempo assoluti era il luogo nel quale si svolgono gli eventi sotto l'azione ed il controllo costante di Dio e non erano concetti convenzionali umani.

La critica più efficace ai concetti di spazio tempo assoluti verrà fatta da Ernest Mach a fine 800 che getta le basi per la relatività di Einstein.

-1685 - I. Newton – *Principia Philosophiae Naturalis*.

-Leggi della dinamica. ($F = ma$)

-Teoria della Gravitazione Universale.

$$(F = G \frac{M \cdot m}{r^2})$$

**una forza che
agisce a distanza:
solo attrattiva.**



telescopio a riflessione
costituito da Newton

**Velocità di
fuga=11.2Km/s**

**La Luna è in perpetua
caduta sulla Terra.**

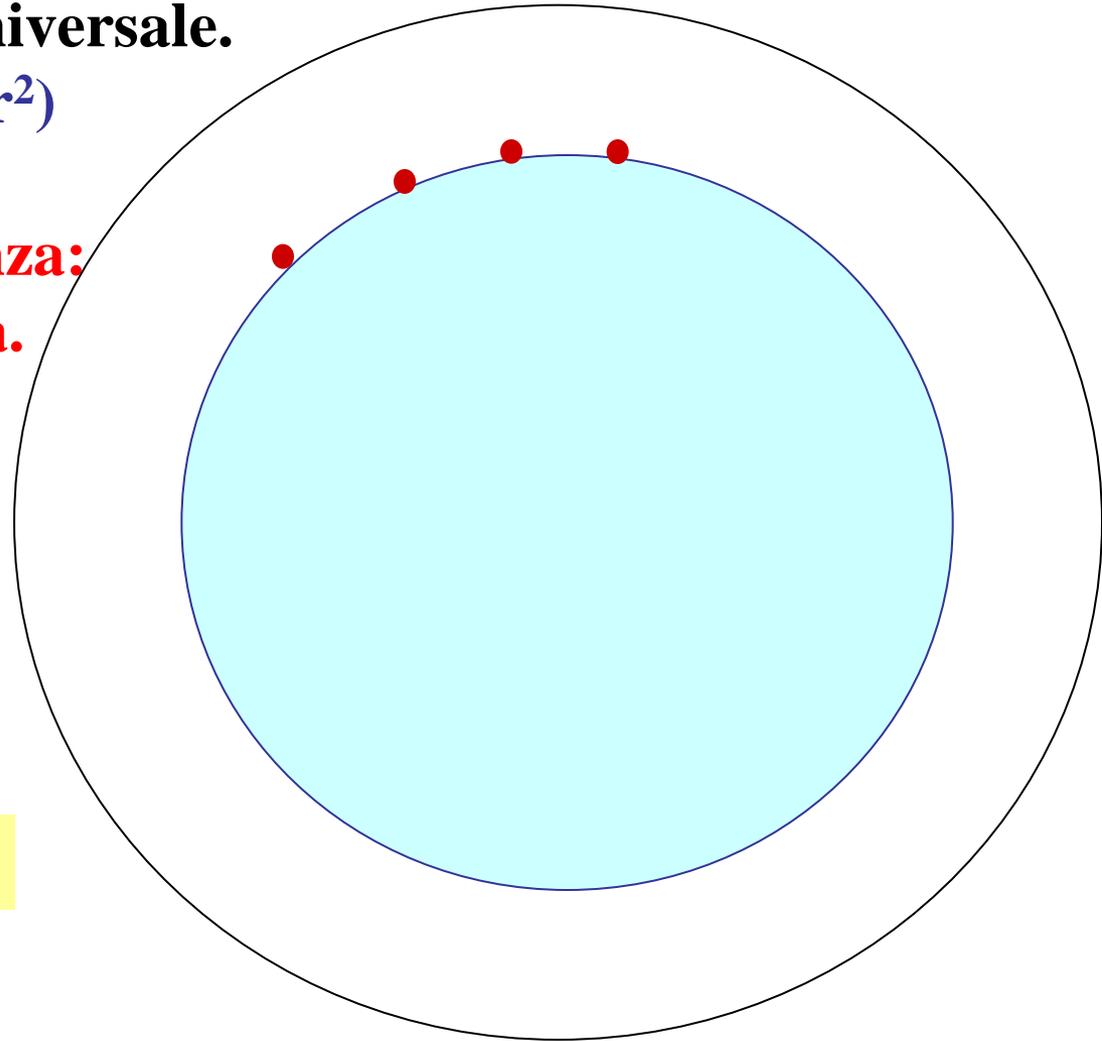
-Dedusse le 3 leggi di Keplero

-Poli schiacciati.

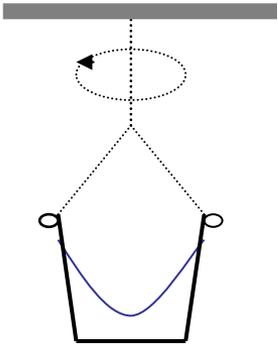
-Rotazione diurna.

-Stagioni: precessione dell'asse di rotazione della Terra.

-Maree: provocate dall'attrazione della Luna e del Sole sugli oceani.



Dimostrazione del moto rotatorio giornaliero della Terra.

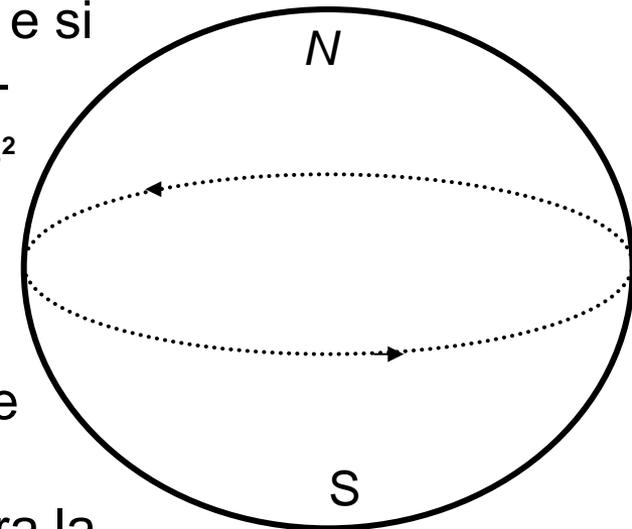


Newton comprese che le forze inerziali si possono mettere in evidenza nei sistemi di riferimento in rotazione sotto forma di forze centrifughe. È noto l'esperimento del secchio in rotazione. All'inizio la superficie dell'acqua rimane piana e poi quando il moto è trasmesso anche all'acqua per azione della forza centrifuga la superficie diventa parabolica.

La forza centrifuga interviene anche nella dimostrazione della rotazione della Terra. A causa di tali forze le masse tendono allontanarsi dall'asse di rotazione e come conseguenza si ha lo schiacciamento della Terra ai poli e la diminuzione della gravità dai poli verso l'equatore. Secondo Newton la forza centrifuga è diretta verso l'esterno e si oppone alla forza di gravità e si ha l'effetto di riduzione di peso. All'equatore la diminuzione di g è data da $4\pi^2R/T=12.56 \times 6.37 \cdot 10^8 \text{cm}/(86400)^2=3.37 \text{cm/s}^2$ che è relativamente piccolo rispetto a $g=981 \text{cm/s}^2$.

La misura era possibile perché bastava misurare con precisione le oscillazioni di un pendolo. Il marchese di Monpartius ha misurato g molto a nord, tra ghiacci e lupi, come ha scritto in modo enfatico Voltaire.

Queste misure hanno avuto una risonanza enorme: era la dimostrazione che la terra girava e da ciò Newton ha avuto un enorme credito.



Forze con azione a distanza. La teoria della gravitazione universale si basava sulla forza di gravità, che agiva con azione a distanza e si propagava con velocità di trasmissione infinita, era quindi un'azione istantanea. Una forza di questo tipo era considerata da scienziati come Galileo e Cartesio come azione di tipo magico e veniva categoricamente rifiutata. Cartesio pensava a particelle vorticosi che facevano cambiare rotta ai pianeti mentre Galileo pensava che l'inerzia funzionasse anche su percorsi circolari. Questa era una delle ragioni per cui non credeva nelle orbite ellittiche di Kepler.

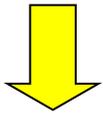
Sistemi di riferimento nella meccanica. Nella concezione di Newton il fatto che nei sistemi accelerati compaiano forze inerziali, particolarmente evidenti nei moti rotazionali costituivano una prova dell'esistenza di uno spazio assoluto o meglio di una posizione privilegiata dei sistemi inerziali. Il sistema di riferimento universale si basava sul fatto che ogni punto dello spazio era identificabile ed il tempo scorreva in modo costante e lineare per qualunque sistema di riferimento in moto. Tale sistema di riferimento universale poteva considerarsi a riposo. Infatti Newton considerava il moto terrestre non sufficientemente costante per riferirvi il tempo e dato che Terra e Sole si muovono non era possibile riferirsi a loro come riferimenti, di qui la necessità di un sistema assoluto.

Con le leggi della meccanica non è possibile stabilire nessun sistema di riferimento privilegiato, ogni sistema in moto relativo uniforme è equivalente, quindi con le leggi della meccanica non è possibile definire un sistema assoluto a riposo.

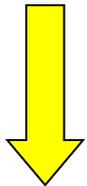
Alla fine del 1800 Mach ha dimostrato che tale sistema di riferimento non aveva senso fisico in quanto non era fisicamente osservabile.

Solo con la teoria della relatività di Einstein il problema verrà risolto.

**Leggi finali del
movimento**



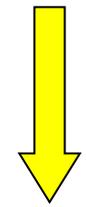
MECCANICA



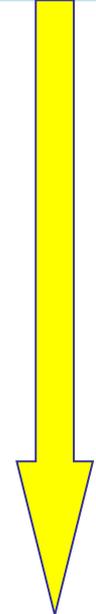
**Dal principio
di
azione e
reazione,
Adam Smith
trae
ispirazione
per stabilire le
LEGGI del
MERCATO**



**Teoria della
Gravitazione
UNIVERSALE**



**Deduce le
leggi di
Keplero del
moto degli
ASTRI**



**Gli illuministi
trassero
ispirazione e
forza per
formulare i diritti
UNIVERSALI
dell'UOMO**

-1642 ISAAC NEWTON.

Niccolò Guicciardini, *I grandi delle scienze n 2, Suppl. Scienze n 356 aprile 1998 cap. III*

Due giorni dopo l'epifania muore Galileo ed il giorno di natale nasce a Woolsthorpe nella contea di Lincoln, Isaac Newton, che ha dato uno dei più grandi contributi sia alla Fisica che alla Matematica. Orfano di padre, il ragazzo era studioso e solitario e lo zio convince la madre a non farlo diventare agricoltore, ma di mandarlo al Trinity College di Cambridge. Dove nel 1661 vien iscritto come *subsizar* (si trattava di studenti poveri che si guadagnavano la retta servendo in tavola, pulendo le stanze, compreso lo svuotamento dei pitoli, degli altri studenti). Gli studi nelle univ. inglesi erano ancora saldamente ancorati alla tradizione aristotelica. Newton era attratto dalla nuova filosofia della natura. Ben presto legge la Geometria di Cartesio, le opere di Hobbes, Wallis e *Il dialogo dei massimi sistemi* di Galileo e la *Physiologia* di Charlenton (una versione dell'atomismo di Gassendi). Nel periodo in cui Newton era studente erano attivi a Cambridge il matematico Isaac Barrow, il filosofo Henry More, un entusiasta dell'opera di Cartesio, ma preoccupato delle conseguenze materialistiche ed ateistiche del interpretazione puramente meccanicistica della Natura e ritiene che nella cosmologia oltre alla presenza di particelle ed impatti ci debba essere la presenza di principi attivi introdotti da Dio. La Natura non dovrebbe essere ridotta a materia e moto, vi deve essere un elemento attivo non materiale che rende la Natura attiva e non meramente passiva. Newton condivideva queste idee. Newton ottiene una fellowship e nel 1669 la cattedra Lucasiana di Matematica, sostituendo Barrow, che ha influito molto sulla sua formazione matematica.

Nel 1665 l'epidemia di peste raggiunge Cambridge che è evacuata, e Newton si rifugia per due anni a Woolsthorpe in campagna, dove in completa solitudine intellettuale ottiene dei risultati mirabili in matematica, *"All'inizio del 1665 trovai il Metodo di approssimazione della serie e la regola per ridurre un qualunque esponete di un binomio qualsiasi a tali serie. Lo stesso anno, in maggio, trovai il metodo delle tangenti, e in novembre avevo il Metodo delle flussioni e l'anno successivo in gennaio la teoria dei colori e il maggio seguente possedevo il Metodo inverso delle flussioni e lo stesso anno cominciai a pensare alla gravità che si estende all'orbita della Luna..... Tutto ciò avvenne nei due anni della peste nel 1665 e 1666, poiché in quei giorni ero nel fiore dell'età creativa e attendevo alla Matematica ed alla Filosofia più di quanto abbia mai fatto in seguito."*

Lavorò con intensità in scienza fino al 1690 diminuendo in seguito per ragioni di salute e per impegni sociali come la direzione della zecca. Nel 1727 alla sua morte lascio ai suoi eredi un enorme cassa di documenti e manoscritti. Essi vendettero il contenuto a diversi acquirenti, e nel tempo si scoprì con una certa sorpresa che Newton aveva dedicato la maggior parte delle sue attività intellettuali non alla scienza, ma all'alchimia ed alla teologia. Studiando la corrispondenza con gli altri scienziati si vede che lo faceva di malavoglia come se avesse
altro da fare, ed in effetti si occupava con grande intensità di esperimenti alchemici e di teologia.

Per calcolare la tangente (la derivata) Newton sostituiva x con $x + \dot{x}0$ e y con $y + \dot{y}0$ nella funzione poi eliminava tutti i termini di ordine superiore e trovava la tangente, e costruiva delle tabelle di funzioni e tangenti. Il metodo era un po' farraginoso ma riusciva a calcolare le aree. La notazione di Leibnitz $x+dx = x$ era molto più pratica e si impose attraverso il lavoro dei Bernoulli e di Eulero, prima in Europa e solo nel '800 in Inghilterra.

La Gravità e Newton: nei due anni della peste a detta dello stesso Newton, iniziò a pensare che la *gravità si estendesse fino alla Luna*. Ma l'idea della forza di gravità non fu immediata, infatti, Newton in un manoscritto della fine degli anni 60 suppone che le orbite dei pianeti siano circolari. E cioè che i pianeti orbitino intorno al Sole di moto circolare uniforme, che in fondo è una buona approssimazione dato che l'eccentricità è piccola. Ma parlando delle disomogeneità nel moto della Luna, dovute come sappiamo all'orbita ellittica, parla dei cartesiani vortici solari e terrestri che fanno girare Terra e Luna e che interferendo provocherebbero le discontinuità nel moto lunare. Newton aveva appreso da Cartesio che un corpo posto in moto circolare uniforme è soggetto a due tendenze (*conati*), uno a muoversi lungo la tangente e l'altro a recedere dal centro, che nel 1666 ottiene la formula: (*tendenza a recedere dal centro*) è *proporzionale a (velocità)² / (raggio dell'orbita)* diremo adesso $F_c = v^2/R$ che è la forza dell'accelerazione centripeta, ma che allora era considerata centrifuga, e non c'era ancora idea del principio di azione e reazione. Questa formula 'è stata scoperta indipendentemente da Huygens e pubblicata nel 1673. Newton nei suoi scritti maturi eliminerà del tutto l'idea del conato centrifugo. A questa forza centrifuga deve corrispondere una forza che tira l'oggetto verso il centro e dato che $v_c = 2\pi R/T$ (T =periodo) combinando le due formule si ottiene che (*Tendenza a recedere dal centro*) è *proporzionale a 1/(Raggio dell'orbita)² ... $F \equiv 1/R^2$* . A questo punto Newton comprende che la forza che agisce sulla Terra è 3600 volte (la Terra dista dalla Luna 60 raggi terrestri) a quella che agisce sulla Luna. Calcola quella della Luna e la paragona alla forza misurata da Galileo ma la trova molto diversa, perché la misura di Galileo era molto imprecisa dovuta alla sua primitiva strumentazione per misurare i tempi. Allora Newton misura la forza con un pendolo e trova i famosi 9.8 m/s^2 e vede che torna con i suoi calcoli e comprende che lo stesso fenomeno che fa cadere i gravi tiene legato la Luna alla Terra.

L'idea della forza di attrazione a distanza tra i Sole e i pianeti è stata data a Newton da Hook, e derivava da un'ipotesi di fatta da Keplero che si trattasse della forza magnetica. Per questo Hook voleva essere quotato da Newton, per la forza gravitazionale. C'è un episodio del 1684 che fa precipitare le cose. Alla Royal Acc. si trovano Halley, Hook e Wren, e Hook dice che si può dimostrare che l'andamento della forza come $1/R^2$ funziona anche per orbite ellittiche Halley non ci crede e fanno una piccola scommessa. Dopo mesi Hook non produce la dimostrazione. Halley lo racconta a Newton e questi gli dice di averlo dimostrato ma non ricordare dove aveva messo la dimostrazione. Halley non ci crede ma dopo due mesi riceve da Newton l'articolo con la dimostrazione.

-1687 Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. Halley convinse Newton a scrivere un articolo completo per la Royal Society sulla gravità. In tre anni di intenso lavoro scrisse il libro in latino ed introdusse la matematica nella filosofia naturale. La matematica era quella di Euclide probabilmente perché pensava che era di più facile comprensione ai membri della Royal Society, l'algebra e le flussioni erano note a lui ed a pochi altri. Il libro è molto pesante e difficile, non certo un best seller come i libri di Galileo, ma è stato uno dei libri più importanti al mondo, anche se è un libro scritto malissimo, circonvoluto, pieno di imprecisioni terminologiche e di lacune, scritto da una persona che ha lavorato con furore inventivo per ben tre anni.

Si trattava di un'opera divisa in tre libri: i primi due prevalentemente di matematica, il primo la applica ai corpi nel vuoto ed il secondo ai corpi nei mezzi resistenti come l'aria e l'acqua. Nel terzo libro si tratta del *Sistema Mondo* dove Newton presenta la sua cosmologia basata sull'idea che i pianeti si muovono nello spazio vuoto attratti verso il Sole da una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza. La natura di questa forza è ignota e su questo Newton non si pronuncia. Deduce le tre leggi di Keplero. Spiega le maree come attrazione della Luna e del Sole e come prova della rotazione della Terra da lo schiacciamento dei poli.

I Principia... son fondati su tre assiomi o leggi del moto:

- 1) Ciascun corpo persevera nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, eccetto che sia costretto a mutare quello stato da forze impresse. (È il principio di inerzia che attribuisce a Galileo)
- 2) Il cambiamento di moto è proporzionale alla forza motrice impressa, e avviene lungo la linea retta secondo la quale la forza è stata impressa. (non da la formula $F=ma$ perché la matematica del libro era la geometria).
- 3) A ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria. (la terza legge è una novità assoluta, Newton comprende che non solo il Sole esercita una forza sulla terra ma la Terra ne esercita una sul Sole eguale e contraria, e quindi il Sole non è fermo al centro dell'Universo è solo in virtù della sua grande massa che appare fermo)

Newton introduce i concetti di spazio e tempo assoluti. Sia il tempo che lo spazio assoluti non hanno relazione con alcunché di esterno e ritiene che sia possibile il moto relativo da quello assoluto in base agli effetti causati dalla rotazione. Lo spazio e il tempo assoluti era il luogo nel quale si svolgono gli eventi sotto l'azione ed il controllo costante di Dio e non erano concetti convenzionali umani.

I concetti newtoniani di spazio e tempo assoluti lasciano scettici molti contemporanei come Huygens, George Berkeley e Leibnitz il quale afferma: *se vi fossero 1000 corpi, io penso che i fenomeni non possono fornirci un modo infallibile per determinare quali di questi si stanno muovendo e in quale grado, e che ciascuno di essi separatamente potrebbe essere considerato in quiete.* La critica più efficace ai concetti di spazio tempo assoluti verrà fatta da Ernest Mach a fine 800 che getta le basi per la relatività di Einstein.