

La figura di Galileo Galilei

Galileo Galilei (Pisa, 1564-1642) è una figura fondamentale nella storia della fisica, in quanto contribuì, con la teorizzazione del “**metodo scientifico**” e non solo, alla nascita della **Fisica** come disciplina distinta da quella che fino ad allora veniva chiamata “*Filosofia naturale*”.

Galileo non era un personaggio legato al mondo della Chiesa, malgrado la maggior parte degli intellettuali della sua epoca lo fossero, inoltre, essendo un grande intellettuale, si formò sui testi antichi. Grazie al suo atteggiamento critico nei confronti del sapere antico, riuscì a determinare delle nuove strade per risolvere i problemi ancora irrisolti nella sua epoca, dando grande rilievo al *sapere pratico*.

Nel 1581 Galileo entrò all'Università di Pisa per seguire gli studi di medicina. Invece, seguì i corsi dei maestri aristotelici, lesse Platone ed Aristotele e approfondì lo studio della matematica. È di quegli anni la prima scoperta: la *legge dell'isocronismo del pendolo*, compiuta, secondo il tipico processo galileiano, osservando oscillare una lampada nel duomo di Pisa.

Nel 1589 ottenne la nomina di lettore di matematiche nello Studio di Pisa. In questo periodo scrisse i manoscritti del *De motu* (intorno al 1592), in cui, a differenza di quanto affermato da Aristotele, sostiene che tutti i corpi sono intrinsecamente pesanti e che la leggerezza è solo una proprietà relativa. Galileo affronta anche il tema della *velocità* di corpi diversi nello stesso mezzo, o dello stesso corpo in mezzi differenti, o di corpi diversi in mezzi differenti. Egli sostiene che *la velocità di caduta di un grave è proporzionale alla differenza fra il suo peso specifico e la densità del mezzo attraverso il quale esso cade. Gli oggetti aventi la stessa materia e la stessa densità, cadrebbero nell'aria, indipendentemente dal loro peso, con la stessa velocità.*

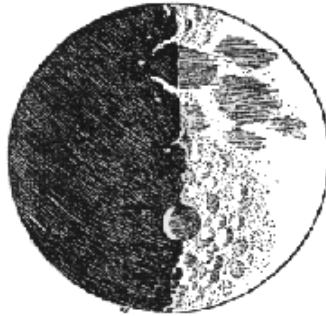
Nel 1593 si spostò all'Università di Padova, allora appartenente alla Repubblica di Venezia, dove insegnò fino al 1610. Qui Galileo ebbe l'opportunità di vedere i lavori tecnici che riguardavano la costruzione di navi, cannoni e tutto quello su cui si fondava la potenza di Venezia per avere la sua egemonia commerciale sul Mediterraneo. Tali osservazioni furono molto stimolanti e incentivarono il sapere pratico di Galilei su cui si fondarono le sue idee future.

Galileo è sempre stato un convinto copernicano, anche se l'astronomia non era stata il suo campo di studio. Egli non era interessato ai moti planetari, ma da buon meccanico e da buon fisico si rese conto che il problema della rivoluzione copernicana non era di carattere astronomico, bensì pensava che fosse opportuno cambiare la fisica terrestre per comprendere quella celeste, ammettendo il movimento della Terra.

Nel 1609, quando *Keplero* (1571-1630) pubblica le sue due prime leggi nell'*Astronomia Nova*, Galileo costruì il **cannocchiale** con due lenti opportunamente convesse, che utilizzò per le osservazioni astronomiche. Il cannocchiale non era un'invenzione di Galileo (artigiani olandesi e italiani ne avevano già costruiti diversi tipi), ma i miglioramenti che lo scienziato vi apportò inaugurarono l'epoca delle grandi scoperte astronomiche, di cui lo stesso Galilei diede annuncio nel *Sidereus Nuncius* del 1610. I quattro maggiori satelliti di Giove, le montagne ed i crateri della

Luna, le macchie solari, furono fenomeni fino ad allora sconosciuti e destarono meraviglia e ammirazione tanto nel mondo accademico (Keplero riconobbe e confermò l'importanza delle scoperte di Galilei), quanto in ambiente politico (Cosimo de' Medici lo nominò matematico dello Studio di Pisa), ma anche ostruzionismo ed astio da parte delle gerarchie ecclesiastiche (in particolare del cardinale Roberto Bellarmino) e degli aristotelici.

Così le nuove scoperte di Galilei furono pubblicate nel 1611 nel libro *Sidereus Nuncius*.



Nel libro Galilei presentò le sue scoperte sulla Luna. Nella figura si vede la parte illuminata dal Sole e quella in ombra, in cui la linea di demarcazione non è netta, ma frastagliata. Sulla Luna ci sono le montagne con delle valli che proiettano le ombre e, proprio grazie a queste ultime, Galileo riuscì a calcolare l'altezza delle montagne lunari.

Con Galilei nacque anche l'*Astrofisica*, ossia lo studio della natura dei corpi celesti e venne dimostrata l'assurdità della distinzione fra la perfezione del **mondo celeste** e la corruzione **mondo sublunare**: la Luna non è perfetta così come non lo è la Terra.

Nel 1613, Galilei pubblicò *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari*, che suscita molto più scalpore e scandalo rispetto al *Sidereus Nuncius*.

Galilei, nelle quattro famose **Lettere Copernicane** (una a Benedetto Castelli, due a Monsignor Dini e una più ampia alla granduchessa Cristina di Lorena) scritte tra il 1613 e il 1615, incominciò a rivendicare i diritti della "laicità" della scienza, ovvero la scienza doveva essere considerata come una disciplina **svincolata dai dogmi teologici** e quindi, in quanto tale, il campo di azione della scienza non è lo stesso di quello della Chiesa.

Galileo sostenne che sia le Sacre Scritture che le leggi della natura provengono da Dio (così dicendo non vuole compromettere la sua posizione nei confronti della Chiesa), però esse hanno funzioni diverse: le Sacre Scritture hanno la funzione di raccontare delle storie, mentre la scienza ha lo scopo di scoprire le leggi della natura.

Nel 1616 il Sant'Uffizio condannò la teoria copernicana e mise all'indice l'opera di Copernico *De revolutionibus orbium coelestium* e altri libri che parlavano del suo sistema cosmologico. Galileo, in quanto sostenitore della teoria di Copernico, venne convocato a Roma per giustificare le sue opinioni. Qui il suo tentativo di difendere le sue concezioni astronomiche venne respinto e lo scienziato fu intimato a non professarle più.

Il Saggiatore (1623)

Proprio quando si recò a Roma, Galilei ha avuto modo di conoscere il cardinale *Matteo Barberini*, che si era mostrato aperto alle sue idee. Quando questi, nel 1623, salì al soglio pontificio col nome di *Urbano VIII*, si mostrò nuovamente disponibile nei confronti di Galilei, tanto che proprio a lui Galileo dedicò il **Saggiatore** (1623), opera nella quale pose le **basi del metodo scientifico-sperimentale**, in cui si richiede l'esigenza del *rigore matematico per descrivere le esperienze da un punto di vista quantitativo*.

La matematica diventa quindi la “voce” della fisica, ovvero il linguaggio con il quale la natura si esprime. In un celeberrimo passo egli afferma che:

“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”.

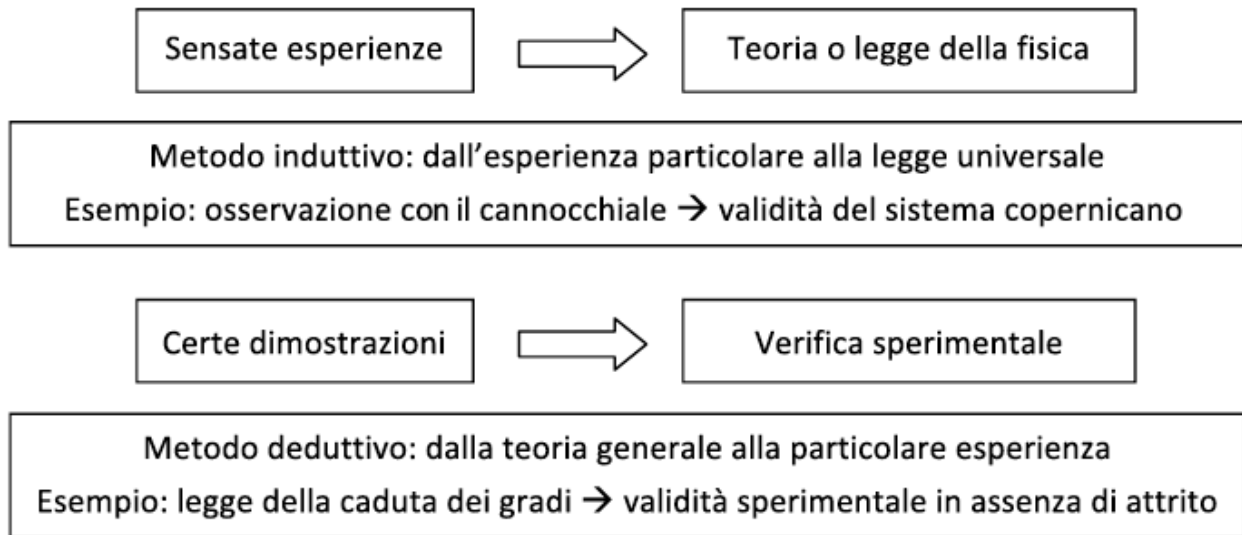
Come detto, in quest’opera Galilei codificò il metodo scientifico essenzialmente attraverso due approcci distinti: le “*sensate esperienze*” e le “*certe dimostrazioni*”.

Per Galileo le “**sensate esperienze**” sono osservazioni compiute mediante i sensi e, di conseguenza, l’osservazione scientifica avviene soprattutto tramite il senso della vista. Osservando in maniera ragionata i fenomeni naturali, è possibile effettuare alcune ipotesi che vadano oltre la mera convinzione e il senso comune. Proprio grazie a queste esperienze di osservazione con il cannocchiale, Galileo riuscì ad avvalorare l’ipotesi copernicana a scapito di quella tolemaica. L’osservazione deve essere rigorosamente passiva, in quanto lo scienziato deve sfogliare il libro della natura e leggerlo senza alcun preconetto e dall’esperienza particolare, per **induzione**, formulare una legge generale.

L’approccio delle “**certe dimostrazioni**” è invece di tipo **deduttivo**, per tale ragione simile a quello aristotelico. A differenza di quest’ultimo, Galileo sostiene di dover partire sempre dai dati empirici e, mediante le deduzioni (ossia le dimostrazioni), giungere alle conclusioni. Quindi l’esperienza è il punto di arrivo con il quale verificare le deduzioni teoriche che sono state fatte a partire dalle ipotesi.

Cosa bisogna fare qualora la teoria dovesse essere confutata da un esperimento?

Appurato che l’esperienza sia stata progettata senza errori concettuali e con adeguati strumenti di misura, se la teoria non viene confermata allora è necessario rivederla.



Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632)

Dopo una stesura protratta per anni e dopo vari negoziati e aggiustamenti per ottenere il permesso di stampa, nel febbraio del 1632, fu pubblicato il capolavoro della letteratura scientifica di ogni tempo, ovvero il **Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano**, un testo fondamentale per la scienza moderna in cui Galileo, sotto un'apparente neutralità, diede risalto all'astronomia copernicana a discapito di quella tolemaica.

Dedicato a Cosimo II de' Medici, granduca di Toscana, il Dialogo è articolato in 4 giornate ed è scritto in lingua volgare.

Nella prima giornata si discute del **moto**, nella seconda si entra nel vivo del **sistema copernicano**, nella terza si affronta la **teoria delle stelle fisse** e nella quarta si apre il dibattito sul **flusso e riflusso del mare**.

L'opera è strutturata secondo un dialogo ipotetico tra tre interlocutori:

- A. **Simplicio**, filosofo medievale realmente esistito nel VI secolo, che sostiene le idee aristoteliche,
- B. **Sagredo**, patrizio veneziano scelto da Galileo come moderatore,
- C. **Filippo Salviati**, nobile fiorentino, portavoce delle idee copernicane di Galileo.

Nel dialogo non ci sono esperimenti, dimostrazioni o formule, qui Galileo si dimostra poco sperimentale, usa l'arma del ragionamento e della logica con altrettanta efficacia di quanto non ha usato il metodo sperimentale in senso stretto.

Il problema che si pone nel *Dialogo* non è quello di dimostrare le leggi matematiche del moto che farà nella sua opera *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), ma quello, come dice Simplicio, «di potere muovere la terra senza mille inconvenienti», ossia di far sì che si possa ragionare sul moto, capire, spiegare i movimenti anche su una terra in movimento.

La forza del ragionamento deve portare a rovesciare il senso comune, infatti Galileo-Salviati è colui che non crede alle osservazioni, mentre chi crede alle osservazioni empiriche è Simplicio.

Il ragionamento di Galileo sul moto è il punto di partenza per rovesciare la logica aristotelica, quindi bisogna cominciare dalla base e dire cosa vuol dire movimento: è questa la grande innovazione.

Le idee sul moto prima della rivoluzione eliocentrica derivavano da Aristotele. Il concetto di moto in Aristotele riveste una valenza più generale rispetto alla nostra attuale concezione. Egli considera moto non solo il mutamento di luogo (moto locale), ma anche l'alterazione qualitativa, l'aumento o diminuzione quantitativi e, in taluni casi, la generazione e la corruzione.

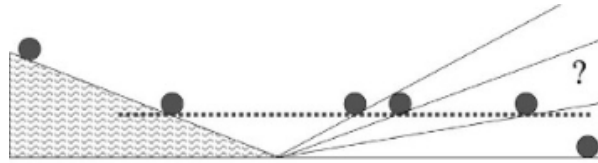
Nella concezione aristotelica la dinamica del movimento, cioè il rapporto tra la causa, la natura e la velocità del movimento stesso, è basata sostanzialmente sul senso comune cioè sull'osservazione diretta.

Galilei confuta il concetto aristotelico di moto affermando che *il moto non differisce da corpo a corpo per l'essenza materiale che li compone, ma questo deve essere unico per tutti e ciò che lo caratterizza è lo spostamento rispetto ad un sistema di riferimento (relatività del moto).*

Luogo naturale	
Terra e Acqua Centro dell'universo	Aria e Fuoco Regioni "superiori"
Quiete possibile solo nel luogo naturale non necessita di una causa	
Moto	
Naturale secondo natura il corpo muove verso il luogo naturale ↑ Aria Fuoco leggeri [traiettoria rettilinea] Terra Acqua pesanti ↓ finalità portare il corpo alla quiete nel suo luogo naturale	Violento contro natura il corpo si allontana dal luogo naturale ↑↑ Terra Acqua Aria Fuoco ↓↓ Non può essere perpetuo, necessita di una causa [motore]

Il concetto di **inerzia** è importante in Galileo ed egli lo introduce nel *Dialogo*, invitando Simplicio a immaginare un piano inclinato su cui fare scivolare una palla ben levigata. Egli fa notare che la palla rotola accelerando e, una volta arrivata a terra, continua a camminare. Ma, se lungo il suo cammino inseriamo un altro piano inclinato in salita, questa risale fino ad una certa altezza e poi ridiscende. Se si diminuisse l'inclinazione di questo secondo piano inclinato, la palla andrebbe più

lontano e, a seguito di un'ulteriormente diminuzione dell'inclinazione fino a disporre il piano orizzontalmente, la palla questa continuerebbe a camminare fino a quando esiste superficie. Quindi la palla, in assenza di attrito, procede sul piano orizzontale con la velocità che aveva ottenuto per effetto della caduta, indefinitamente con un moto rettilineo a velocità costante¹.



Questo tema sarà discusso più dettagliatamente da Galileo nei *Discorsi*, in cui spiega che l'esperimento va fatto in condizione di attrito nullo o almeno trascurabile.

Si perviene così ad una importante conclusione: **la velocità non è l'effetto di una forza costante**, come invece sosteneva erroneamente Aristotele. Questa proprietà vale per qualsiasi corpo, sia che si trovi sulla Terra sia che si trovi sulla Luna o su un pianeta, purché il pianeta possa considerarsi approssimativamente in moto inerziale. Si ha così un'altra conferma dell'assurda differenza sostenuta da Aristotele tra mondo celeste e mondo sublunare: le leggi fisiche sono le medesime in tutto l'Universo.

Secondo alcuni critici Galileo aveva intuito il principio di inerzia, anche se non lo enunciò mai in forma esplicita. Tuttavia il suo è solo un **principio di inerzia "circolare"** nel senso che egli pensava che il moto naturale, sia celeste che terrestre, fosse quello circolare uniforme (il piano fa seguire alla pallina in condizioni di inerzia un moto circolare uniforme e cioè quello a raggio infinito), a discapito della tradizione aristotelica che poneva il moto verticale come moto naturale sulla Terra e quello circolare uniforme come moto naturale nel mondo celeste. Bisognerà aspettare *René Descartes* (1596-1650) per pensare al moto rettilineo uniforme come moto naturale.

La teoria dell'impetus

La fisica aristotelica era di tipo qualitativo e non quantitativo, dal momento che non conteneva formule matematiche. Il problema del moto dei proiettili non era immediatamente risolvibile, in quanto non si capiva quale fosse la causa che mantenesse il corpo in movimento, di moto non naturale, anche quando era terminata l'azione della forza agente². Utilizzando la meccanica aristotelica, era possibile dare una spiegazione del movimento ammettendo che **non esiste il vuoto** (*horror vacui*), per cui ogni volta che un corpo deve muoversi, questo deve spostare il mezzo in cui si muove, o meglio deve aprire un varco in questo e subito dietro si chiude il varco che aveva aperto precedentemente; così questa successione di apertura e di chiusura tiene il corpo in movimento.

¹ Questa risulta essere una prima formulazione del *principio d'inerzia*.

² Secondo la fisica aristotelica "*cessante causa cessat effectus*", ossia soppressa la causa, naturale o violenta, il moto cesserà.

Nel tardo Medioevo vennero proposte nuove teorie meccaniche, in particolare *Buridano* (1295-1300 circa - 1361) formulò la teoria dell'*impetus*³, alla quale Galileo restò fedele per molto tempo.

Secondo tale teoria, quando un corpo viene messo in movimento da una forza, questa rilascia al corpo un impeto che viene conservato, mantenendolo in movimento di moto non naturale. Tale impeto si va a mano a mano estinguendo e quindi il moto del corpo tende nuovamente a essere quello naturale.

Quindi durante una parte del moto prevale l'*impetus*, in una seconda parte operano l'*impetus* e la gravità e durante l'ultima parte del moto agisce la sola forza di gravità che porta il corpo verso il suo luogo naturale. Tuttavia questa rimane ancora una teoria qualitativa ed è stato proprio Galilei a dare una formulazione matematica nel *De Motu*.

Ai tempi di Galilei si sente sempre più l'esigenza di spiegare i fenomeni fisici dal punto di vista quantitativo. Ciò era dovuto a esigenze della vita pratica che aveva richiedeva maggiori di analisi quantitative per fare funzionare al meglio certi strumenti, come ad esempio nel caso dei cannoni.

Per tale ragione furono formulate varie teorie innovative fra le quali si ricordano le seguenti:

- la teoria del matematico **Nicolò Fontana** (1499 circa-1557), detto **Tartaglia**, secondo la quale l'*impetus* agisce sempre con la forza di gravità durante il moto di un proiettile, combinandosi in proporzioni variabili con quest'ultima e facendo sì che il moto sia curvo; ciò che si sa empiricamente è che la massima gittata di un proiettile si ha quando il cannone viene alzato a 45°;
- la teoria di **Giambattista Benedetti** (1530-1590) che, contrapponendosi a quella aristotelica del moto di caduta⁴, è basata sul fatto che la velocità di caduta dei corpi non aumenta in funzione all'avvicinamento al centro della Terra, ma in funzione dell'allontanamento dal punto di caduta.

Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze (1638)

Dopo la pubblicazione del *Dialogo*, Galileo è costretto a tornare a Roma e, nel 1633, venne processato e condannato al carcere a vita dal Sant'Uffizio, una pena da cui poté salvarsi solo abiurando le sue teorie, cioè ammettendo pubblicamente che la teoria copernicana era falsa e assurda, impegnandosi a non insegnarla più. Effettuata l'abiura, il carcere a vita fu commutato in isolamento, che Galileo scontò prima nel palazzo dell'Arcivescovado di Siena e poi nella sua villa di Arcetri.

Vecchio, debilitato e cieco, continua a mantenere rapporti



³ Il concetto odierno affine all'*impetus* è quello di *quantità di moto*.

⁴ Secondo la teoria aristotelica se si considerano due corpi di diversa pesantezza e si lasciano cadere dalla stessa altezza, arriverà prima al suolo quello che ha una pesantezza maggiore, in quanto possiede più terra. Quindi, la velocità di caduta è direttamente proporzionale alla massa del corpo.

con gli scienziati di tutta Europa, ma sotto l'occhio vigile dell'Inquisizione. Riprende e porta a termine il capolavoro in cui vengono gettate le basi della dinamica moderna: i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e i movimenti locali*, edito nel 1638 a Leida (Olanda). Le due nuove scienze in questione sono:

- quella del moto dei proiettili e della caduta dei gravi,
- quella sulla resistenza dei corpi solidi all'essere spezzati.

Il trattato, in cui tornano in scena i tre personaggi del *Dialogo*, è ricco di dimostrazioni matematiche e quindi si presenta più come trattato scientifico. Qui Galileo spiega i moti balistici come moti parabolici dati dalla combinazione di un moto rettilineo uniforme con un moto uniformemente accelerato verso il basso, inoltre egli fornisce solamente trattazioni cinematiche del moto.

La terza giornata inizia con la descrizione del moto “**equabile**⁵”, cioè del moto rettilineo uniforme, ponendo alcuni assiomi e teoremi. A titolo d'esempio il **teorema 5** afferma che «*se due mobili si muovono di moto equabile, ma le loro velocità sono diseguali e diseguali gli spazi percorsi, la proporzione tra i tempi risulterà composta dalla proporzione tra gli spazi e dalla proporzione tra le velocità permutatamente prese (proporzione inversa delle velocità)*», ossia:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{\Delta s_1}{v_1} \cdot \frac{v_2}{\Delta s_2} = \frac{\Delta s_1}{\Delta s_2} \cdot \frac{v_2}{v_1}$$

Segue la trattazione del moto naturalmente accelerato e interpreta il moto di caduta libera come un moto rettilineo uniformemente accelerato. Con le sue parole: «*Quando, dunque, osservo che una pietra, che discende dall'alto a partire dalla quiete, acquista via via nuovi incrementi di velocità, perché non dovrei credere che tali aumenti avvengano secondo la più semplice e più ovvia proporzione?*»

L'affermazione lascia capire che Galileo è convinto del fatto che la natura operi secondo i mezzi “*più immediati, più semplici, più facili*”, di conseguenza la mente umana, mediante il linguaggio della matematica, è in grado di penetrare e descrivere i fenomeni naturali.

Galileo definisce il moto uniformemente accelerato come segue: «*Moto equabilmente accelerato, ossia uniformemente accelerato, diciamo quello che, a partire dalla quiete, in tempi eguali acquista eguali momenti di velocità*». Successivamente fa notare come anche il moto di discesa lungo un piano inclinato sia uniformemente accelerato con accelerazione minore di g .

Fornite le definizioni iniziali, Galileo descrive il moto mediante ventidue teoremi matematici.

Teorema 1. *Il tempo in cui uno spazio dato è percorso da un mobile con moto uniformemente accelerato a partire dalla quiete, è eguale al tempo in cui quel medesimo spazio sarebbe percorso dal medesimo mobile mosso di moto equabile, il*

⁵ «Moto eguale o uniforme intendo quello in cui gli spazi percorsi da un mobile in tempi eguali, comunque presi, risultano tra di loro eguali».

cui grado di velocità sia sudduplo [la metà] del grado di velocità ultimo e massimo [raggiunto dal mobile] nel precedente moto uniformemente accelerato.

In questo teorema si afferma che un moto uniformemente accelerato con velocità iniziale pari a zero è equivalente a un moto rettilineo uniforme avente per velocità costante la media del moto accelerato, ossia, generalizzando, la velocità media è pari alla media delle velocità:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Teorema 2. *Se un mobile scende, a partire dalla quiete, con moto uniformemente accelerato, gli spazi percorsi da esso in tempi qualsiasi stanno tra di loro in duplicata proporzione dei tempi [in un rapporto pari al rapporto dei tempi moltiplicato per se stesso], cioè stanno tra di loro come i quadrati dei tempi.*

L'affermazione presente in questo teorema si può tradurre nella legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato quando $v_0 = 0$ ed $s_0 = 0$, ossia:

$$s = \frac{1}{2}at^2$$

Galilei spiega il moto uniformemente accelerato nel seguente modo. Se supponiamo di volere misurare lo spazio s di un corpo che si muove di moto uniformemente accelerato nell'intervallo t con variazione di velocità pari a v , dobbiamo considerare la velocità media $\frac{1}{2} \cdot v$, per cui lo spazio risultante sarà $s_1 = \frac{1}{2}vt$.

Se misuriamo lo spazio percorso fino all'istante $2t$, avremo allora:

$$s_2 = \frac{3}{2}vt + \frac{1}{2}vt = 2vt$$

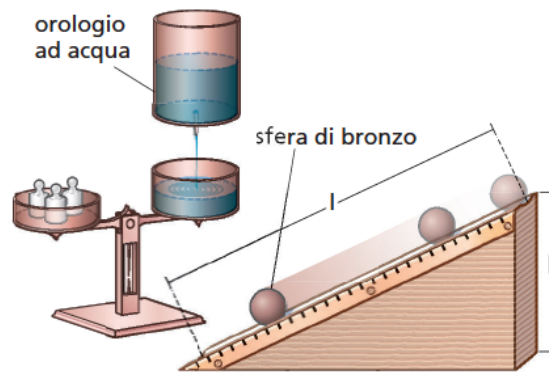
dove $\frac{3}{2}v = \frac{1}{2}v + v$ è la nuova velocità media. Si noti che $s_2 = 4s_1$.

Così facendo si scopre che quando i tempi cambiano 1-2-3....., si avranno spazi che mutano in modo quadratico, cioè 1-4-9....., e quindi la legge fisica sarà espressa da una velocità quadratica.

Galileo volle dimostrare sperimentalmente che il moto di caduta dei gravi è uniformemente accelerato. Prima di ciò aveva osservato che due corpi dello stesso materiale cadono nel "vuoto" con la stessa leggerezza indipendentemente dal peso, dalla forma e dalla loro composizione.

Per potere eseguire esperimenti sulla caduta di un grave è necessario effettuare misure di spazio e di tempo. Il moto però è troppo rapido, per cui, se si opera in laboratorio, i tempi di caduta sono molto brevi. Galileo superò l'ostacolo della misura di brevi intervalli di tempo rallentando il moto con un **piano inclinato**. Egli si servì di un **regolo** (cioè un metro) di ottone suddiviso in intervalli uguali, sul quale era incavato un condotto ben levigato dove potevano rotolare delle sfere di bronzo. Per la misura del tempo utilizzò un orologio ad acqua e ottenne il tempo di caduta della

sfera pesando la quantità d'acqua che, durante la discesa della sfera lungo il piano, fuoriesce da un secchio attraverso un sottile cannello e si raccoglie in un recipiente posato sul piatto di una bilancia.



Variando l'inclinazione del piano, il moto può essere rallentato a piacimento. Galileo misurò il tempo di caduta per diverse lunghezze del percorso. Confrontando tempi di discesa e percorsi, verificò che esiste una proporzionalità diretta fra le distanze percorse Δs e i quadrati dei corrispondenti intervalli di tempo $(\Delta t)^2$. Ciò è vero per diverse inclinazioni del piano e permette di arrivare a una legge generale del moto di caduta libera, che vale anche al limite quando il piano inclinato è in posizione verticale. Secondo tale legge, *se non ci fosse l'attrito dell'aria, tutti i corpi cadrebbero con moto uniformemente accelerato*.

Se assumiamo come istante iniziale quello in cui il grave incomincia il moto, la velocità iniziale v_0 è nulla, sicché le leggi del moto diventano:

$$1) v = at \quad 2) s = \frac{1}{2}at^2$$

in cui v è la velocità istantanea, la cui misura è legata a quella di intervalli di tempo molto brevi. Date le difficoltà, a quell'epoca, per misure del genere, Galileo verificò la seconda relazione, in cui è necessario misurare il tempo t impiegato dal grave a percorrere lo spazio s . D'altra parte, poiché la 2) segue dalla 1), una verifica sperimentale della 2) è anche una verifica indiretta della 1).

I risultati sperimentali ottenuti da Galileo misero in luce il fatto che lo spazio percorso dal grave in caduta libera è linearmente proporzionale al quadrato del tempo di caduta e che quindi il moto è accelerato uniforme.

Vigile e sereno, Galileo Galilei muore ad Arcetri, nel suo «continuato carcere ed esilio», l'8 gennaio del 1642. Le sue spoglie vengono deposte nella **Basilica di Santa Croce** a Firenze solamente nel 1736.

Galileo Galilei è stato formalmente assolto dall'accusa di eresia solo nel 1992, trecentocinquanta anni dopo la sua morte.

