

La fisica del cinquecento

di Germano Germani

Stanza di lavoro, miseramente arredata, di Galileo a Padova.

È il mattino. Un ragazzetto, Andrea, figlio della governante, entra recando un bicchiere di latte e un panino.

.....

GALILEO Ho qualcosa da mostrarti. Guarda dietro quelle mappe stellari.
ANDREA Cos'è?
GALILEO Un astrolabio: un aggeggio che fa vedere come si muovono gli astri attorno alla terra, secondo l'opinione degli antichi.
ANDREA E come?
GALILEO Esaminiamolo. Cominciamo dal principio: descrizione.
ANDREA In mezzo c'è un sassolino.
GALILEO La terra.
ANDREA Tutt'intorno, una sopra l'altra, tante calotte.
GALILEO Quante?
ANDREA Otto.
GALILEO Sono le sfere di cristallo.
ANDREA Alle calotte sono attaccate delle palline...
GALILEO Le costellazioni.
ANDREA E qui ci sono dei nastri, con dipinte sopra delle parole.
GALILEO Che parole?
ANDREA I nomi degli astri.
GALILEO Per esempio?
ANDREA La pallina più in basso è la luna; c'è scritto su. Quella sopra il sole.
GALILEO Avanti, fa muovere il sole.
ANDREA (*muovendo le calotte*) Bello. Ma noi siamo come intrappolati dentro.
GALILEO (*asciugandosi*) Già. Anche a me, la prima volta che lo vidi, fece lo stesso effetto. A certi, lo fa. Muri, calotte, ogni cosa immobile! Per duemil'anni l'umanità ha creduto che il sole e tutte le costellazioni celesti le girassero intorno. Papa, cardinali, principi, scienziati, condottieri, mercanti, pescivendole e scolaretti: tutti erano convinti di starsene immobili dentro questa calotta di cristallo. Ma ora ne stiamo uscendo fuori, Andrea: e ci attende un grande viaggio. Perché l'evo antico è finito e siamo nella nuova era. Da cent'anni è come se l'umanità si stia aspettando qualche cosa.

.....

Molto è già stato trovato, ma quello che è ancora da trovare, è di più. A Siena, quand'ero giovane, una volta vidi alcuni muratori discutere per pochi minuti intorno al modo di spostare dei blocchi di granito: dopodichè abbandonarono un metodo vecchio di mille anni per adottare una nuova disposizione di funi, più semplice. In quel momento capii che l'evo antico era finito e cominciava la nuova era. Presto l'umanità avrà le idee chiare sul luogo in cui vive, sul corpo celeste che costituisce la sua dimora. Non le basta più quello che sta scritto negli antichi libri.

GALILEO Tu, intanto, hai capito quello che t'ho detto ieri?
ANDREA Cosa? Quella faccenda di Chippernico e della sua rotazione?
GALILEO Già.
ANDREA No. Ma perché vi ostinate a farlo capire a me? È difficile. Non ho ancora undici anni, li compirò in ottobre.

GALILEO Proprio questo voglio: che anche tu lo capisca. Proprio perché lo si capisca io sto lavorando tanto, e mi compro quei libri che costano uno occhio, invece di pagare il lattaio.

ANDREA Ma io vedo che il sole, la sera, sta in un punto diverso che al mattino. Dunque non sta fermo! Mai e poi mai!

GALILEO Tu lo vedi! Ma che vedi tu? Un bel niente. Guardi come un allocco: è molto diverso che vedere. (*Spinge il portacatino al centro della stanza*) Questo è il sole. Siedi. (*Andrea si siede su una sedia. Galileo si mette dietro di lui*) Dov'è il sole? A destra o a sinistra?

ANDREA A sinistra.

GALILEO E come può venirti a destra?

ANDREA Tò! Se voi ce lo portate, si capisce.

GALILEO Si capisce? (*Lo solleva con tutta la sedia e compie con lui un mezzo giro*) Dov'è il sole, adesso?

ANDREA A destra.

GALILEO E chi si è mosso?

ANDREA Lui, no.

GALILEO E che si è mosso, allora?

ANDREA Io.

GALILEO (*muggiando*) No! Stupido! La sedia!

ANDREA Ma io ci stavo sopra!

GALILEO Appunto. La sedia è la terra, e tu ci stai sopra.

B. Brecht – Vita di Galileo

In queste battute iniziali il drammaturgo Bertolt Brecht tocca i tre momenti fondamentali della vita di Galileo scienziato; dato ormai per certo che Galileo è considerato unanimemente il padre della fisica moderna, in questo articolo cercherò di illustrare questi tre fondamentali punti: Galileo astronomo, Galileo e il metodo sperimentale, importanza del rapporto tra scienza e tecnica.

Galileo e Copernico.

Il contributo di Galileo è decisivo; le sue osservazioni costituiscono la prova decisiva a favore dell'ipotesi copernicana. I primi sostenitori di Copernico, è noto, non appartenevano al mondo accademico; il numero dei negatori delle sfere celesti aumenta, nei manuali di astronomia, solo nel corso degli anni venti del Seicento. Giustamente quindi Brecht fa dire a Galileo “*Da cent'anni è come se l'umanità si stia aspettando qualche cosa*”. In realtà ancora prima inizia a farsi strada la convinzione circa la necessità, per la ricerca, di liberarsi dai vincoli imposti dall'aristotelismo; gli aristotelici, con il loro appellarsi a regole e leggi vecchie di mille anni e più, finiscono per mortificare ogni tentativo di ricerca e di progresso. Due sono i punti cardine considerati inamovibili: in astronomia la separazione tra mondo sublunare, imperfetto e soggetto a mutamenti, e mondo celeste, quello delle “*stelle fisse*”, perfetto ed incorruttibile, in fisica la teoria del moto dei corpi della dinamica aristotelica.

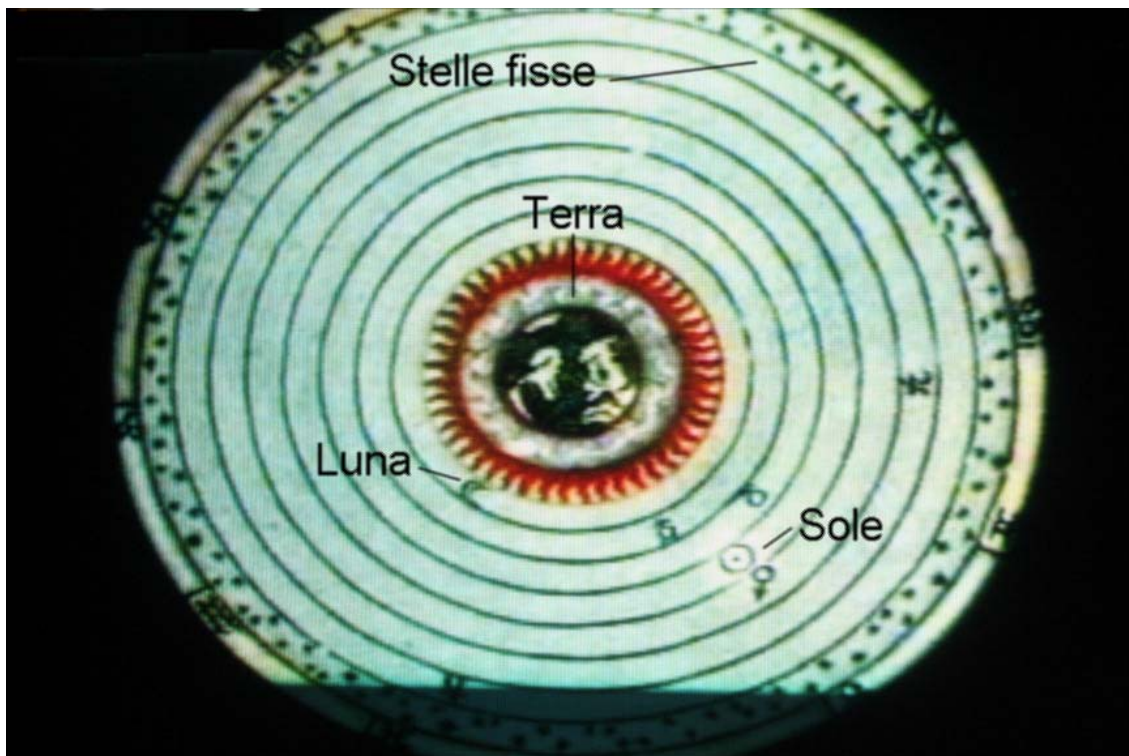


Figura 1: L'universo secondo Tolomeo.

I precursori

Nicola Cusano - Già il cardinale Nicola Krebs (1401-1464), detto Cusano, si distacca nettamente dalle correnti aristotelico-tolemaiche; egli perviene, per via puramente speculativa, alla formulazione del concetto di relatività delle rappresentazioni di luogo e di movimento concludendo che ogni punto può dirsi, a pari diritto, centro dell'universo; per Cusano il mondo (inteso come ordine fisico) è tutto contenuto in Dio, ed è dunque "implicito" in Lui, poiché Egli stesso è la "complicatio" di tutte le cose, ovvero l'implicazione che ogni cosa ha in sé. Ma Egli ne diviene anche l'esplicatio, cioè l'esplicazione, in quanto si dispiega nelle cose stesse, rimanendo comunque al di là di esse. In Dio inoltre gli opposti coincidono (*coincidentia oppositorum*): così come i tre lati di un triangolo all'infinito diventano una sola retta o il poligono inscritto in una circonferenza, quando il numero dei suoi lati diventa sempre più grande, coinciderà con la stessa circonferenza, così accade che gli opposti si incontrano in Dio, quindi Dio è infinito e lo stesso universo, esplicatio di Dio, è infinito. Con tale visione, Cusano avversa la concezione aristotelica dell'universo, affermando che la Terra non può essere il centro dell'universo, poiché l'universo è illimitato (in quanto dispiegamento divino), ed il centro dell'universo è Dio stesso.

Giordano Bruno - La concezione di Cusano viene ripresa da Giordano Bruno (1548-1600), il quale da un lato rifiuta di considerare la teoria copernicana come pura ipotesi matematica elaborata per spiegare il moto dei corpi celesti come vorrebbe la Chiesa; infatti per Bruno la concezione copernicana intende riferirsi alla realtà e introduce una vera e propria rivoluzione nel modo di concepire il rapporto tra uomo e realtà. D'altro lato Bruno tenta la saldatura della rivoluzione astronomica con la tradizione filosofica. Egli si serve della metafisica cusana dell'infinito per demolire i confini dell'universo, ancora finito, di Copernico e si serve della fisica del mondo di Copernico per dare consistenza di sostanza all'infinito, metafisico, di Cusano: "uno dunque è il cielo, il spacio immenso, il seno, il continente universale, l'eterea regione per la quale il tutto

discorre e si muove. Ivi innumerevoli stelle, astri, globi, soli e terre sensibilmente si veggono, ed infiniti ragionevolmente si argomentano. L'universo immenso ed infinito è il composto infinito che resulta di tal spacio e di tanti compresi corp". Come è noto Giordano Bruno pagherà con la vita queste sue convinzioni, e tuttavia proprio la sua concezione del mondo aprirà la strada alle maggiori conquiste del pensiero tanto nel campo della filosofia quanto in quello della scienza; sia Keplero, il quale pubblicamente lo ammette, che Galileo e Cartesio saranno debitori nei confronti del filosofo nolano.

Tycho Brahe - La sera dell'11 novembre 1572, tornando a casa, l'astronomo Tycho Brahe vide una nuova brillantissima stella nella costellazione di Cassiopea. Poiché non si trattava di una cometa, in quanto la nuova stella appariva sempre nella stessa posizione contro la sfera delle stelle fisse, allora nei cieli immutabili si era verificato un mutamento. Veniva così a cadere la distinzione tra mondo sublunare e mondo celeste, in quanto anche questo secondo non era per niente immutabile. Il tentativo poi di misurare la parallasse della cometa del 1577, tentativo non andato a buon fine in quanto il valore da misurare era troppo piccolo portò Tycho Brahe alla conclusione che *"tutte le comete da me osservate si muovono nelle regioni eteree del mondo e mai nel mondo sublunare come Aristotele e i suoi seguaci hanno voluto farci credere per tanti secoli"*. Egli scriverà a Keplero: *"la realtà di tutte le sfere deve essere esclusa dai cieli"*. Le solide certezze dell'*Almagesto* tolemaico si dissolvono così poco per volta.

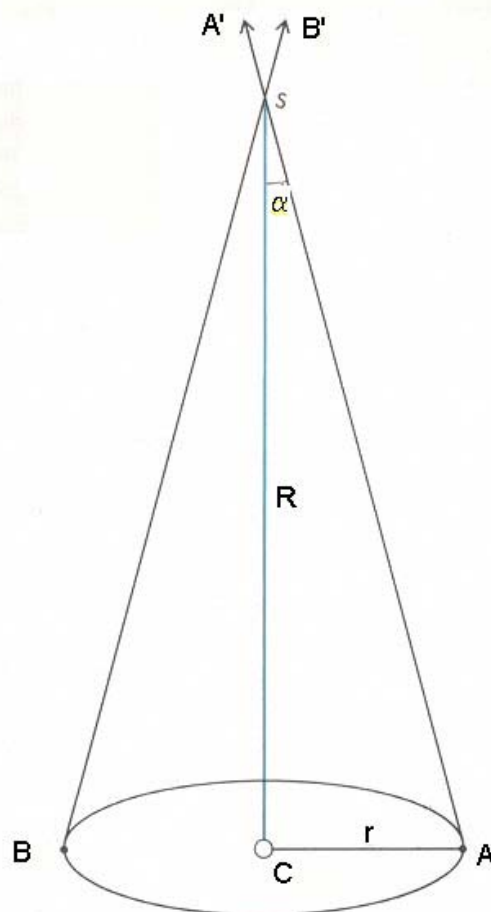


Figura 2: Il metodo della parallasse annua nel calcolo delle distanze.

La principale obiezione che i tolemaici facevano al sistema copernicano era che se la Terra si fosse realmente mossa attorno al Sole, il suo moto doveva apparire riflesso in un moto simile delle stelle fisse. L'obiezione era giusta, ma non teneva conto dell'enorme distanza alla quale si trovano le stelle ed è proprio per questo motivo che il loro spostamento, visto da Terra, è inapprezzabile. Per contro proprio l'affermarsi del sistema copernicano fece capire che la distanza delle stelle dalla Terra è enorme. Uno dei metodi impiegati per la valutazione di queste distanze è il metodo trigonometrico o della parallasse. Supponiamo di guardare una stella in una data epoca, ad esempio in gennaio, quando la Terra è in A (fig. 2). La stella S sarà proiettata, dalla nostra visuale, in un punto A' della volta celeste; torniamo ad osservare la medesima stella dopo sei mesi, quando la Terra è in B. Questa volta la stella sarà proiettata in B'. Si cerca allora di determinare l'angolo ASB formato dalle congiungenti Terra-stella e quindi l'angolo α sotto il quale è visto dalla stella il raggio dell'orbita terrestre. Dalla trigonometria si avrà poi:

$$R = \frac{r}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Se poi α è un angolo molto piccolo allora $\operatorname{tg} \alpha$ si può porre uguale ad α e in definitiva

$$R = \frac{r}{\alpha}$$

Quanto più la stella è lontana tanto più piccolo è l'angolo α e tanto più difficile la sua determinazione. Solo nel 1838 l'astronomo Bessel riuscì a misurare con questo metodo la distanza della stella 61 Cygni, tuttavia se il corpo celeste è relativamente vicino, vedi Luna, si può applicare questo metodo prendendo come base non il raggio dell'orbita terrestre ma, ad esempio, un arco AB di meridiano. Con questo metodo Ipparco, uno dei più grandi astronomi dell'antichità, misurò con stupefacente precisione la distanza Terra-Luna.

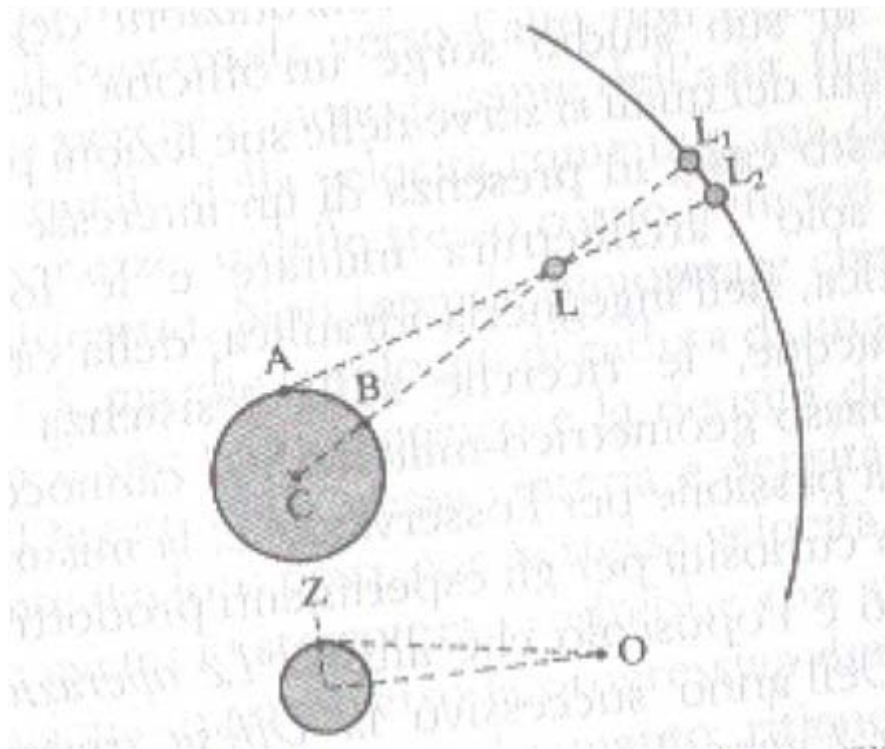


Figura 3: l'angolo di parallasse consente una valutazione delle distanze.

Tycho Brahe tentò di applicare lo stesso metodo per misurare la distanza delle comete; ma non vi riuscì e giustamente dedusse, contro l'opinione corrente, che le comete non appartenevano al mondo sublunare.

Galileo Galilei - Quale fu allora il contributo di Galileo astronomo? Nel 1609 Galileo costruisce il cannocchiale; è pur vero che strumenti del genere già circolavano nei Paesi Bassi e in Francia, ma Galileo ebbe l'intelligenza di servirsene per le sue ricerche astronomiche, il cannocchiale diventa strumento di indagine scientifica. Il cielo, osservato con il cannocchiale, appariva come un mondo del tutto nuovo che per la prima volta giungeva a conoscenza degli uomini. Per comunicare al mondo accademico le sue scoperte Galileo pubblica, nel 1610, il *Sidereus nuncius*

Grandi invero sono le cose che in questo breve trattato io propongo alla visione e alla contemplazione degli studiosi della natura. Grandi, dico, sia per l'eccellenza della materia per sé stessa, sia per la novità loro non mai udita in tutti i tempi trascorsi, sia anche per lo strumento, in virtù del quale quelle cose medesime si sono rese manifeste al senso nostro. Bellissima cosa è il poter rimirare il corpo lunare, da noi remoto per quasi sessanta semidiametri terrestri, così da vicino, come se distasse di due soltanto di dette misure; sicché il suo diametro apparisca quasi trenta volte maggiore, la superficie quasi novecento volte più grande di quando sia veduta ad occhio nudo; e quindi con la certezza che è data dall'esperienza sensibile, si possa apprendere non essere affatto la Luna rivestita di superficie liscia e levigata, na scabra ed ineguale, e allo stesso modo della faccia della Terra, presentarsi ricoperta in ogni parte di grandi prominente, di profonde valli e di anfratti.

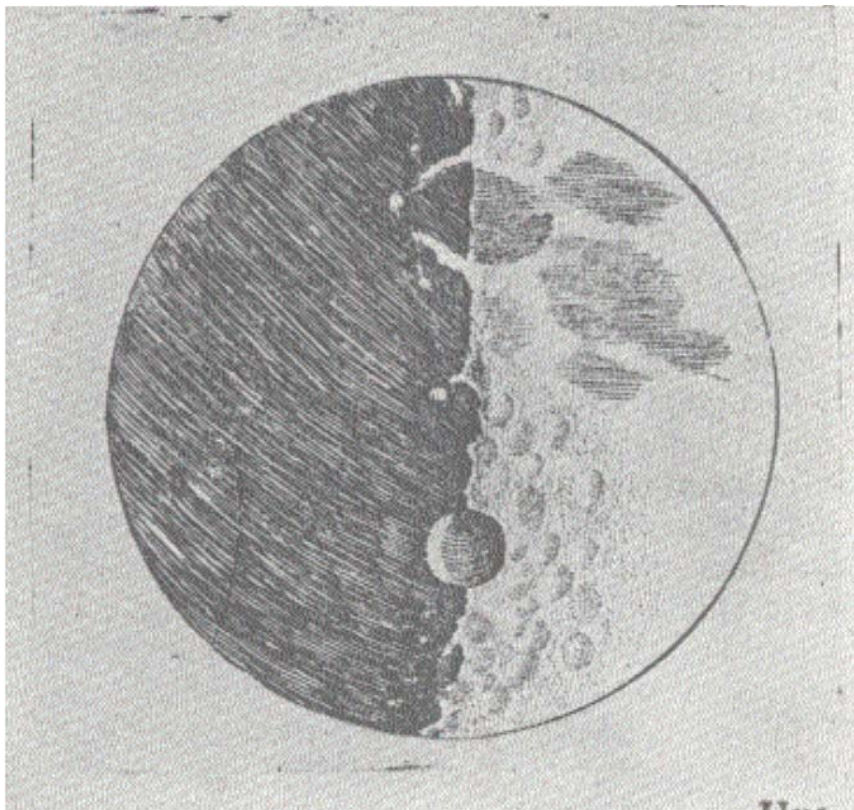


Figura 4: disegno della Luna vista da Galileo (dal *Sidereus nuncius*).

Galileo osserva che il confine tra la parte illuminata e quella oscura della Luna non è una curva regolare ma si presenta ineguale e sinuoso ed inoltre nella parte oscura appaiono delle punte lucenti totalmente separate dalla parte illuminata; poco a poco queste punte aumentano di grandezza fino a congiungersi con la restante parte lucida. Giustamente egli deduce che le cime lucenti sono cime di montagne presenti sulla superficie lunare e riesce anche a valutarne l'altezza. La Luna dunque presenta una superficie simile a quella della Terra.

La accuratezza del disegno di Galileo è evidente se confrontiamo il suo disegno con una fotografia ottenuta con forte ingrandimento.

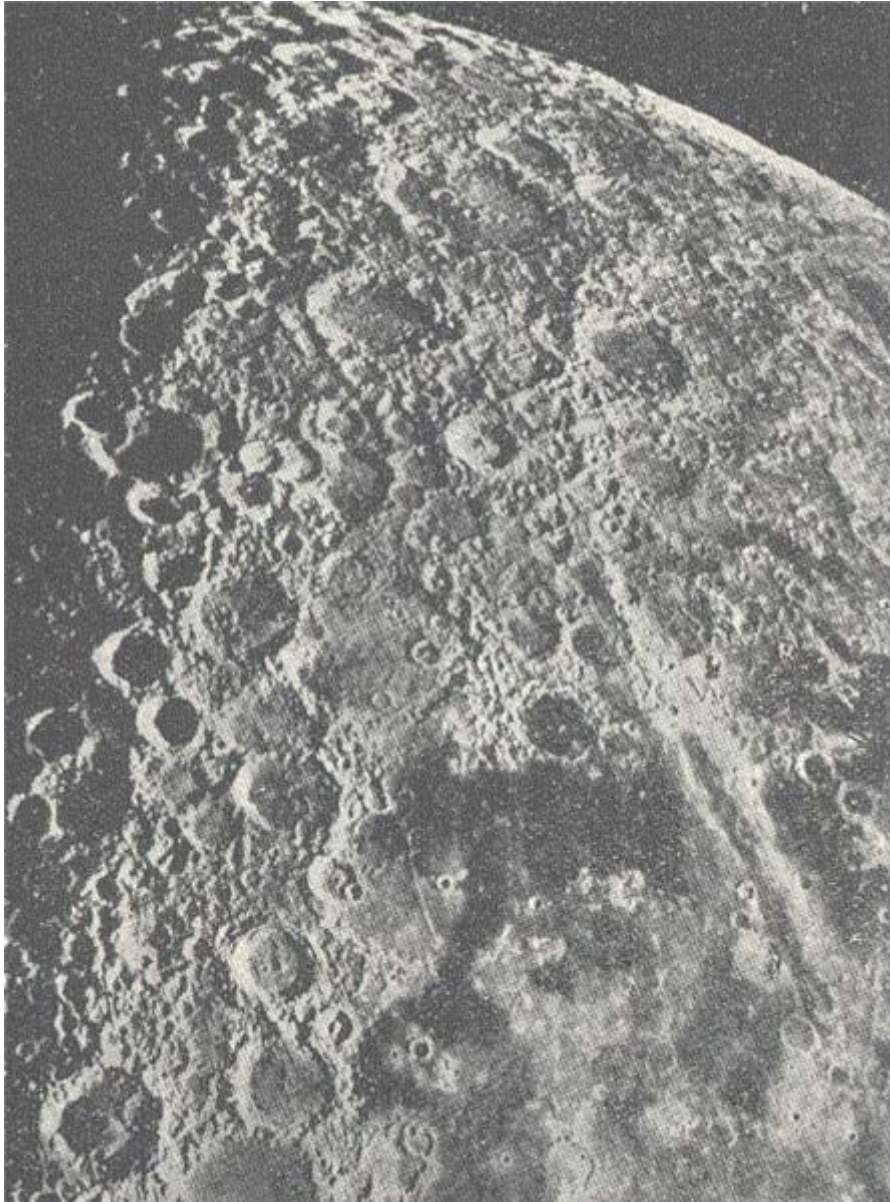


Figura 5: Fotografia della Luna.

La seconda osservazione riguarda le Stelle fisse:

E prima d'ogni altro un fatto è degno di attenzione, che cioè le stelle, tanto fisse che erranti, quando si osservano col cannocchiale, non sembrano affatto aumentare di grandezza nella medesima proporzione secondo cui gli altri oggetti, ed anche la stessa Luna, s'ingrandiscono: nelle Stelle tale aumento appare di gran lunga minore; anche degna di nota sembra essere la differenza

tra l'aspetto dei pianeti e quello delle Stelle fisse. I Pianeti infatti mostrano i loro globi esattamente rotondi e delineati, e, come delle piccole lune inondate d'ogni parte di luce, appaiono orbicolari; invece le Stelle fisse non si vedono mai terminate da una periferia circolare, ma hanno l'aspetto come di fulgori vibranti torno torno i loro raggi e oltremodo scintillanti; infine, guardate col cannocchiale, appaiono di figura simile a quando sono guardate a occhio nudo, ma così ingrandite, che una stellina di quinta o sesta grandezza sembra eguagliare il Cane, cioè la più grande di tutte le Stelle fisse (Sirio).

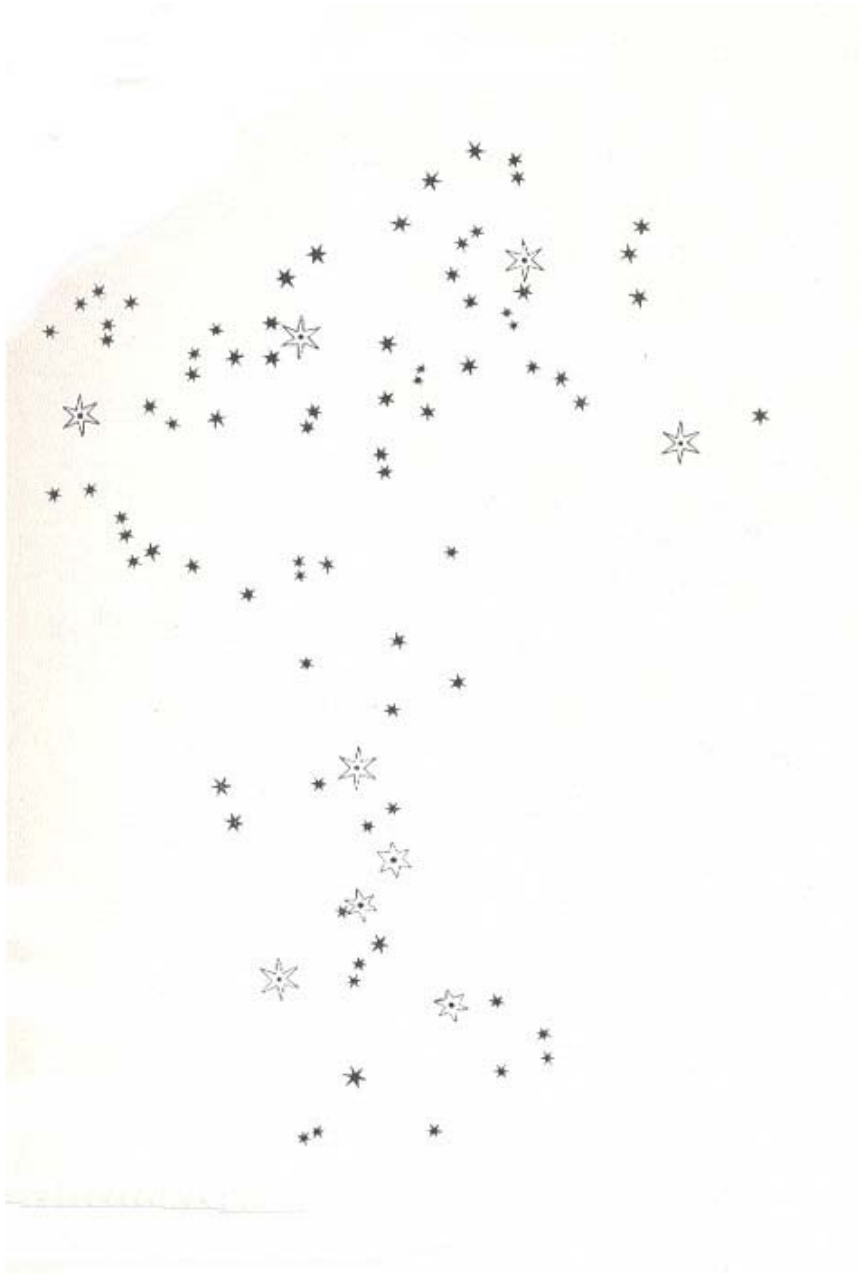


Figura 6: disegno di stelle viste al cannocchiale

Ma la stessa Via Lattea, osservata al cannocchiale, appare costituita da una miriade di stelle non visibili ad occhio nudo e così pure le innumerevoli Nebulose visibili in cielo, sono greggi di piccole Stelle disseminate in "modo mirabile". L'Universo è quindi completamente diverso da come appare ad occhio nudo; crollano pertanto tutte quelle leggende e fantasie alimentate da visioni consentite all'occhio nudo.

Tuttavia la scoperta di gran lunga più importante viene dall'osservazione del Pianeta Giove. La descrizione che Galileo fa della scoperta di quelli che poi saranno chiamati Pianeti Medicei è esemplare.

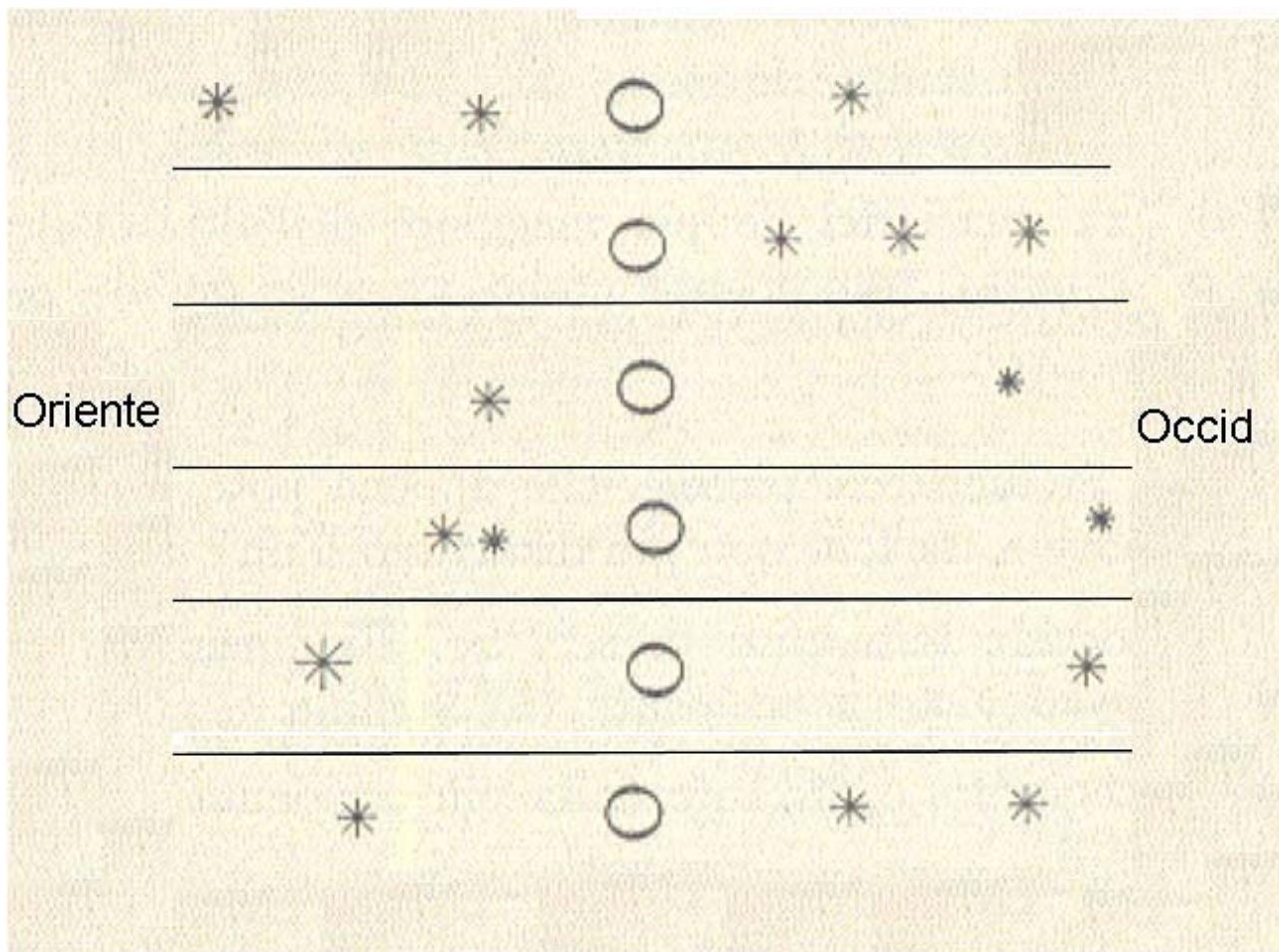


Figura 7: disegni del pianeta Giove con i suoi satelliti.

Pertanto il giorno 7 gennaio del corrente anno 1610, alla prima ora della notte seguente, mentre guardavo gli astri celesti col cannocchiale, mi si presentò Giove; e poiché m'ero preparato uno strumento proprio eccellente, m'accorsi che gli stavano accanto tre Stelline, piccole invero, ma pur lucentissime; le quali, per quanto fossero da me credute del numero delle Stelle fisse, tuttavia mi destarono una qualche meraviglia, per il fatto che apparivano disposte secondo un'esatta linea retta e parallela all'Eclittica

In un primo momento Galileo non dette peso a questa osservazione pensando di aver visto tre piccole stelle, due ad est e una a Ovest del pianeta, non visibili ad occhio nudo data la loro piccolezza. Il giorno dopo però quelle tre stelline erano ancora visibili vicino a Giove ma si trovavano tutte tre a Est. Galileo interpretò questo fatto come la prova del moto del pianeta Giove sullo sfondo delle stelle fisse e quindi l'effetto osservato era dovuto al moto del pianeta verso Ovest. Ma il giorno appresso le tre stelline erano ancora nelle vicinanze di Giove ma questa volta era cambiata anche la loro posizione relativa. Una settimana dopo a questi tre nuovi astri se ne aggiunse un quarto che in precedenza non era stato osservato perché evidentemente occultato da Giove. Continuando l'osservazione per vari mesi prende nota che le stelline ora seguono, ora precedono Giove, con elongazioni molto piccole e accompagnano il pianeta sia nel suo moto diretto che in quello retrogrado. A questo punto non vi sono più dubbi: le stelline sono in effetti quattro satelliti di Giove. Che Galileo chiama astri Medicei. che così come avviene per la Luna che

orbita attorno alla Terra ed assieme alla Terra fa un giro completo attorno al Sole in un anno, anche Giove è circondato da quattro Stelle erranti assieme attorno a Giove e con Giove compiono un gran giro completo attorno al Sole in dodici anni. Questa scoperta mostra, al di là di ogni dubbio, la infondatezza delle vecchie convinzioni *aristotelico-tolemaiche*. La verità è frutto dell'osservazione diretta, mediante l'accertamento sperimentale dei fatti, al di là di ogni deduzione formale. La posizione variabile di questi corpi attorno a Giove, il fatto che pur essendo luminose non scintillano come le Stelle fisse, il tutto sta ad indicare che non si tratta affatto di Stelle fisse, ma di corpi orbitanti attorno a Giove.

Galilei dimostra anche che le fasi del pianeta Venere si accordano con la teoria copernicana, mentre non sarebbero spiegabili nell'ambito dell'astronomia di Tolomeo. Infatti è ben vero che anche la Luna presenta lo stesso fenomeno delle fasi, ma le sue dimensioni, viste da Terra, restano praticamente invariate, non così accade nell'osservazione di Venere e delle sue fasi.

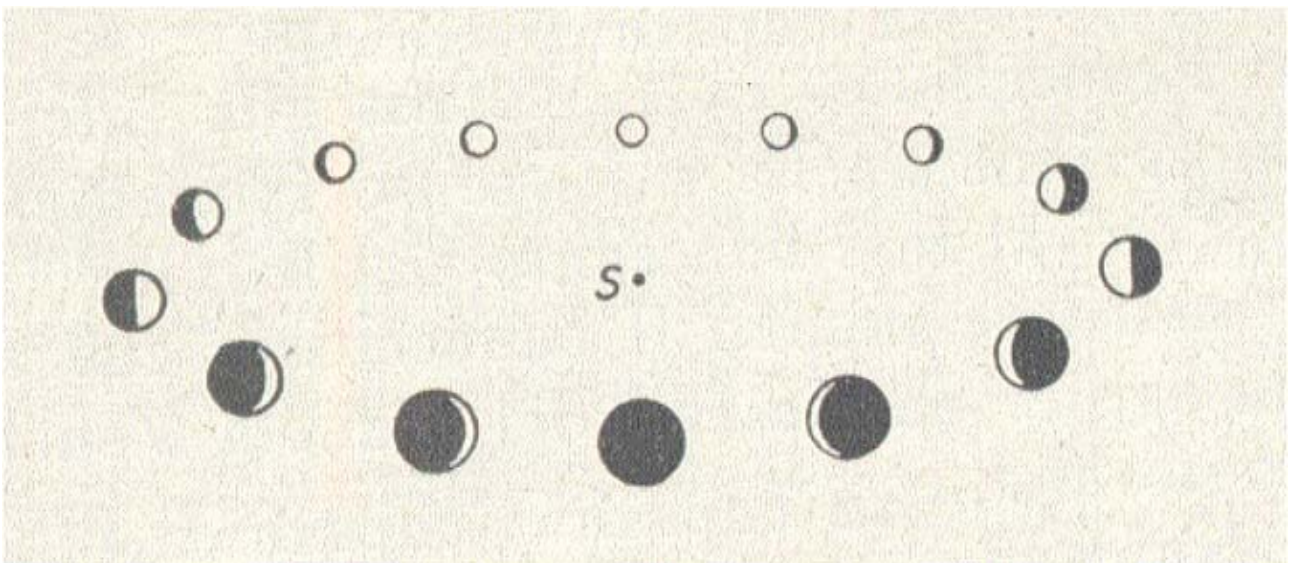


Figura 8: Le fasi di Venere

Infatti il pianeta Venere appare di dimensioni maggiori quando volge verso la Terra la faccia oscurata e di dimensioni sensibilmente minori quando ci appare pienamente illuminato. Ciò non sarebbe possibile se Venere compisse le sue rivoluzioni attorno alla Terra con moto circolare, mentre il fenomeno è pienamente spiegabile ammettendo che Venere compie le sue rivoluzioni attorno al Sole. Ecco quindi che con Galilei la scienza acquista la sua autonomia; le sue scoperte trasformano la teoria copernicana in realtà scientificamente accertabile.

Galileo fisico.

Studiando il pendolo Galileo scoprì la legge dell'isocronismo delle piccole oscillazioni (il periodo dell'oscillazione dipende dalla lunghezza del pendolo e non dalla massa oscillante). Ma il moto del pendolo è un caso particolare di caduta libera dei gravi; se lasciamo cadere una pietra questa va diritta al suolo, se invece la pietra è legata all'estremo di una corda avente la seconda estremità fissata ad un gancio, allora la traiettoria è un arco di cerchio. Ora se due pietre, una più pesante dell'altra, collegate all'estremo di corde aventi la stessa lunghezza impiegano lo stesso tempo per giungere nel punto più basso, per quale motivo, lasciate libere di cadere, dovrebbero impiegare tempi diversi per giungere al suolo? Secondo la filosofia aristotelica gli oggetti più pesanti cadono al suolo più rapidamente di quelli leggeri. Galileo non solo dimostrò la inesattezza della affermazione di Aristotele, ma si propose di ricavare la legge di caduta dei gravi. A tale scopo,

essendo la caduta dei gravi troppo veloce, pensò di attenuare il moto di caduta facendo rotolare una pallina lungo un piano inclinato.

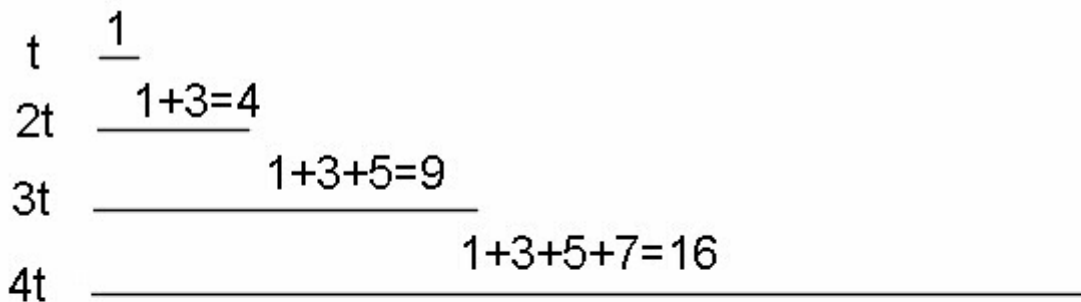


Figura 9: Galileo studia il moto accelerato.

Per la misura dei tempi impiegò un orologio ad acqua, che forniva una misura degli intervalli di tempo in base alla quantità di acqua che usciva da una piccola apertura. Egli misurò in tal modo gli spazi percorsi dalla pallina ad intervalli di tempo uguali e trovò che le distanze percorse durante questi intervalli di tempo erano proporzionali ai numeri 1; 3; 5; 7;... Variando l'inclinazione del piano egli trovò che le distanze percorse erano diverse, ma comunque si mantenevano proporzionali ai suddetti numeri, dedusse perciò che anche nel moto verticale di caduta gli spazi percorsi dovevano seguire la stessa legge. Posto allora uguale a t il primo intervallo di tempo e detto 1 lo spazio percorso in questo intervallo, nel successivo intervallo uguale a t lo spazio percorso è uguale a 3, poi, 5, 7 e così via.



a) Spazi percorsi in intervalli di tempo uguali



b) Spazi percorsi in funzione dei tempi impiegati a percorrerli

Figura 10: il moto uniformemente accelerato.

Quindi lo spazio percorso in un tempo $2t$ è 4 , in $3t$ è 9 , in $4t$ è 16 , ecc. Galileo dedusse quindi che nel moto di caduta libera dei gravi gli spazi percorsi sono direttamente proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. Per quanto riguarda poi le velocità, giustamente Galileo osservò che la velocità nel moto di caduta varia continuamente ed assume infiniti valori, a partire da 0 , velocità iniziale, fino al valore massimo. Possiamo però dire che se al termine del primo tratto la velocità raggiunta è v_0 , al termine del secondo tratto è $4/2t = 2v_0$, al termine del terzo $9/3t = 3v_0$ e così via. Dunque le velocità raggiunte sono proporzionali ai tempi impiegati. Possiamo allora immaginare un triangolo rettangolo ABC nel quale il lato AC viene diviso in un certo numero di parti uguali AD , DE , EF , FG , GC , che rappresentano gli intervalli di tempo uguali, e conduciamo dai punti D , E , F , G , le parallele alla base BC , i segmenti DH , EI , FK , GL , rappresentano proprio le velocità raggiunte dal mobile al termine degli intervalli di tempo considerati.

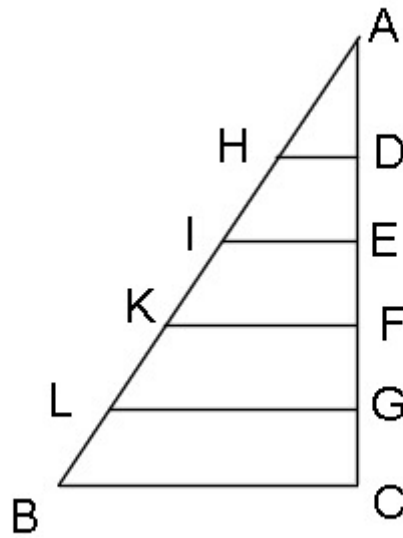


Figura 11: Velocità istantanea e spazio percorso.

Come facilmente si vede la velocità aumenta sempre della stessa quantità e lo spazio percorso corrisponde all'area del rettangolo ABC, quindi

$$S = \frac{1}{2} kt^2.$$

Il moto dei proiettili.

Un altro importante contributo di Galileo alla dinamica fu lo studio sulla composizione dei moti simultanei. Se un sasso viene lasciato cadere da una altezza di 4 metri, esso toccherà il suolo dopo 0,9 secondi; se il sasso viene lanciato con una velocità orizzontale, allora la traiettoria descritta è una parabola, ma il tempo impiegato a giungere al suolo è sempre 0,9 secondi. Se si aumenta la velocità orizzontale il sasso arriverà più lontano, ma il moto verticale avviene sempre nello stesso tempo.

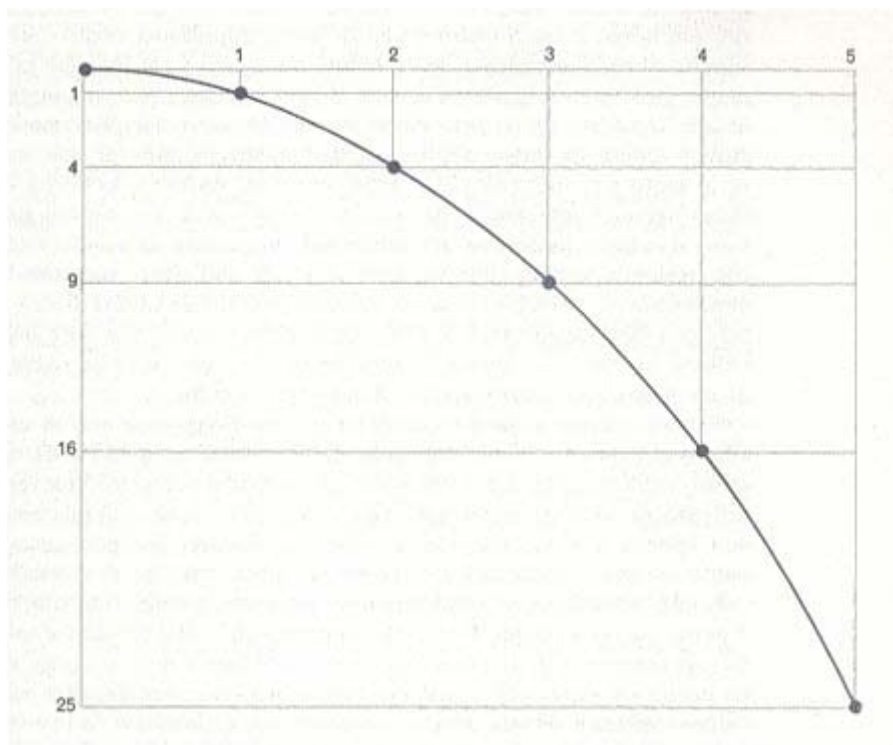


Figura 12: la composizione dei movimenti.

Così, ad esempio, se si lascia cadere un sasso dall'albero maestro di una nave in movimento con velocità costante, nel momento della caduta il sasso possiede la stessa velocità orizzontale della nave e perciò nel suo moto continua a restare sulla verticale alla base dell'albero maestro, di conseguenza toccherà il ponte proprio alla base dell'albero maestro. Visto da terra il sasso descrive una traiettoria parabolica, ma visto dalla nave il sasso cade lungo la verticale. Tramite questo ragionamento Galileo demolisce la convinzione degli aristotelici dell'immobilità della Terra.

Afferma Aristotele che argomento certissimo dell'immobilità della Terra è la caduta in verticale di oggetti lanciati verso l'alto: se infatti la Terra fosse in movimento verso Oriente, nel periodo di tempo durante il quale il sasso è in aria la Terra si sposterebbe ed il sasso ricadrebbe spostato ad Occidente rispetto al punto di lancio. La stessa cosa avverrebbe per un sasso lasciato cadere dall'alto di una torre: il sasso non potrebbe cadere mantenendosi parallelo alla torre. Ma ammettiamo, dice Galileo per bocca di Salviati (*Dialogo dei massimi sistemi*), *che il globo terrestre si muovesse in giro, ed in conseguenza portasse seco la torre ancora, e che ad ogni modo si vedesse la pietra nel cadere venir radendo il filo della torre, qual bisognerebbe che fusse il suo movimento?*

SIMPL. Bisognerebbe in questo caso dir piuttosto "i suoi movimenti", perché uno sarebbe quello col quale verrebbe da alto in basso, e un altro converrebbe ch' ella n'avesse per seguire il corso della torre.

SAL. Sarebbe dunque il moto suo composto di due, cioè di quello col quale ella misura la torre, e dell'altro col quale ella la segue: dal qual composto ne risulterebbe che 'l sasso descriverebbe non più quella semplice linea retta e perpendicolare, ma una trasversale, e forse non retta.

Dunque vedere la pietra cadere radendo la torre non assicura che la traiettoria è una linea retta e perpendicolare alla superficie terrestre, a meno che non si ammetta prima, come ipotesi, la immobilità della Terra. Ma allora il sillogismo di Aristotele è una pura petizione di principio, in quanto si ammette vero quello che in realtà si deve dimostrare. Caratteristica della filosofia Scolastica era proprio quella di stare a discutere per anni i pro e i contro di un problema, senza che a nessuno mai venisse in mente di lasciar cadere un oggetto dall'albero maestro di una nave in movimento. Merito di Galileo è proprio quello di aver introdotto il metodo sperimentale nello studio delle scienze fisiche. In particolare possiamo dire che con Galileo viene fuori una nuova concezione del rapporto causa-effetto: il concetto di causalità viene liberato da ogni indagine sui "fini" della natura, sul significato dei fenomeni nell'ordine complessivo dell'universo. Galileo mantiene il principio di causalità su di un piano rigorosamente scientifico, da qui l'importanza della matematica nella enunciazione delle leggi della natura. Con il ricorso al linguaggio della matematica la "causa efficiente" sostituisce la "causa finale" della filosofia aristotelica. In realtà la polemica di Galileo non è contro Aristotele, ma contro i suoi seguaci "io mi rendo sicuro che se Aristotele tornasse al mondo, egli riceverebbe me tra i suoi seguaci...molto più che moltissimi altri che, per sostenere ogni suo detto vero, vanno esplicando da i suoi testi concetti che mai non li sariano caduti in mente. E quando Aristotele vedesse le novità scoperte nuovamente in cielo, dove egli affermò quello essere inalterabile ed immutabile, perché niuna alterazione vi si era allora veduta, indubitatamente egli, mutando opinione, direbbe ora il contrario."

Non poco merito ebbe poi Galileo nel superamento di quell'abisso che separava teoria e pratica. L'uso sistematico degli strumenti che la tecnica mette a disposizione dello scienziato, da un lato stabilisce un sicuro collegamento tra il lavoro dello scienziato e quello dei tecnici, d'altro lato facilita il conseguimento di nuovi significativi successi.

Rapporto tra scienza e tecnica.

Si attribuisce ad Erone, matematico e scienziato greco vissuto nel I secolo d.C., la costruzione di uno strumento chiamato eolipila di Erone. Il cui meccanismo è assai semplice: un recipiente pieno d'acqua termina con due cannelli ascendenti che finiscono in una piccola sfera libera di ruotare attorno ad un suo diametro e munita di due beccucci orientati in versi opposti. Quando l'acqua nel recipiente sottostante viene portata ad ebollizione il vapore sale lungo i cannelli e fuoriesce dai beccucci. La sfera allora gira emettendo un sibilo.



Figura 13: eolipila di erone.

Si tratta di un esempio di macchina che sfrutta il vapore ed il principio di reazione. Lo stesso Erone costruì un meccanismo formato da ruote a palette, chiamato *odometro*, che serviva a misurare le distanze percorse dai veicoli. Al tempo di Giustiniano si ebbe poi l'idea di rovesciare l'uso degli odometri in modo da utilizzarli non più per la misura delle distanze percorse, ma per la propulsione delle navi.

A questo punto sarebbe bastato applicare il meccanismo dell'eolipila all'odometro perché la navigazione a vapore venisse inventata con molti secoli di anticipo. Come mai invece la prima macchina funzionante a vapore venne costruita solo verso il 1500? Una possibile risposta è che l'abbondanza di lavoro servile scoraggiava il ricorso ad altre forme di energia; che bisogno c'era di adattare l'eolipila all'odometro in un'epoca in cui vi era abbondanza di schiavi, che Aristotele considera appunto *macchine umane*. D'altro lato però il ricorso a manodopera servile generò disprezzo per il lavoro meccanico. Secondo Senofonte il lavoro meccanico deforma il corpo di coloro che vi si dedicano e, cosa orribile, questo lavoro costringe talora chi lo compie a passare giornate intere davanti al fuoco. Ma il difetto più grave che viene rimproverato al lavoro meccanico, sia da Platone che da Aristotele, è che esso genera uno smodato desiderio di ricchezza, distogliendo l'uomo dalla ricerca. L'amore per la ricchezza, dice Platone, toglie il gusto d'ogni altra cosa che non sia l'arricchirsi ed adopera per questo qualsiasi mezzo ed espediente. Nell'antichità non mancavano di certo gli ingegneri, che anzi erano capaci di raggiungere una estrema precisione matematica nella realizzazione delle loro opere. Il fatto è, come è stato detto, che per gli antichi l'uomo è destinato a vivere nel mondo, e non a sfruttare, né a correggere il mondo. Per questo

stesso motivo la filosofia scolastica ignorava il ricorso all'esperienza diretta: che differenza c'è, infatti, tra l'esperienza ed il lavoro manuale? alla pari di quest'ultimo l'esperienza è improponibile ad uno scienziato. D'altra parte spiegare il fenomeno sulla base di una *causa finale* esclude la verifica sperimentale; la *causa finale* infatti è di natura metafisica, quindi non può essere soggetta ad una verifica sperimentale. O la si accetta o la si confuta ma sempre sul piano della metafisica. Con Galileo i termini del problema vengono rovesciati; la causa del fenomeno va ricercata nel fenomeno stesso; una volta formulato il modello matematico, questo può, ed anzi deve, essere sottoposto a verifica sperimentale. L'esperienza quindi è fondamentale in due momenti; in primo luogo tramite l'esperienza si analizza il fenomeno fino a formulare, per via induttiva quindi, la legge; successivamente la ripetizione in laboratorio del fenomeno è necessaria per confermare la legge che è stata proposta. Quelle che prima di Galileo erano intuizioni, a volte anche geniali, con Galileo acquistano una giustificazione rigorosa, basata prima sull'osservazione e successivamente sull'argomentazione. Si può ben dire quindi che dopo Galileo la fisica ha completamente cambiato modo di operare ed è diventata adulta.

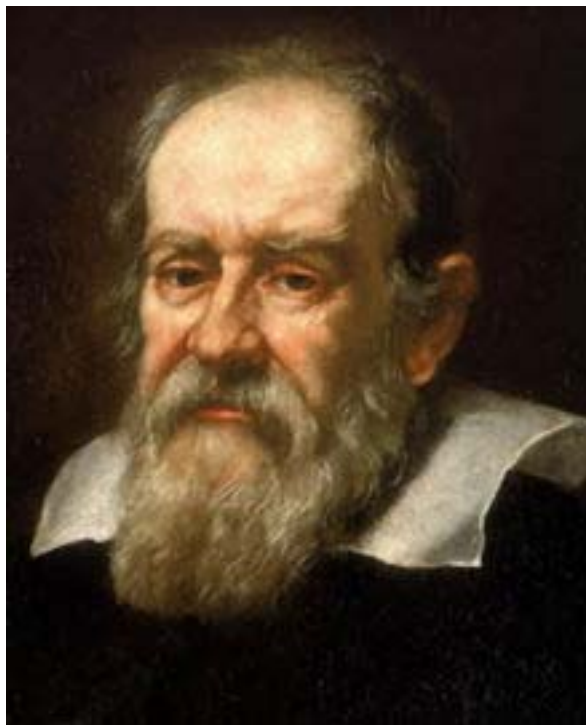


Figura 14: ritratto di Galileo.

Bibliografia:

- L. Geymonat: Storia del pensiero filosofico e scientifico, vol. II – Garzanti
- P. Rossi: Storia della scienza, vol. I: Dalla rivoluzione scientifica all'età dei lumi. – UTET
- E. Garin: Giordano Bruno
- G. Gamow: Biografia della fisica – Mondatori
- A. Koyré: Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione – Einaudi.

