

EPPUR SI MUOVE...

di Lorenzo Mazzoni *

Un percorso che parte dalle acquisizioni sperimentali e teoriche degli antichi greci, con l'introduzione dei modelli geocentrici, fino alla rivoluzione copernicana. Dopo le ipotesi di Copernico, si esamina il contributo sperimentale di Galileo, quello teorico di Keplero e infine l'introduzione della forza gravitazionale da parte di Newton. Si accenna al processo a Galileo e alla sua revisione in tempi moderni da parte di San Giovanni Paolo II.

Lo scopo dell'articolo è quello di recuperare una dimensione storica nello studio dei modelli del Sistema Solare, spesso trascurata dai libri di testo.

** già docente di Matematica e Fisica al Liceo Scientifico, membro della redazione della rivista Emmeciquadro*

Nei libri di testo spesso la forza gravitazionale è introdotta, preceduta dalle leggi di Keplero, senza che si scorga la complessità della rivoluzione copernicana, senza cioè vederne le implicazioni scientifiche e culturali che hanno comportato la dissoluzione della cosmologia antica e medievale.

Sembra perciò utile un percorso che rivisita l'evoluzione storica della concezione dell'Universo, dalle origini fino alla completa affermazione del modello eliocentrico. Questa non è una conclusione, perché il modello eliocentrico non appare inserito in una cosmologia compiuta come quella medievale: occorrerà tutto il percorso del XX secolo, fino al modello del big-bang, per arrivare a una nuova cosmologia.

Il percorso suggerito può costituire un quadro di riferimento per l'insegnante, che usando il libro di testo potrà sviluppare i contenuti dimostrativi specifici che riterrà opportuno e che qui non riportiamo, se non per sommi capi.

Le prime testimonianze della concezione del cosmo agli albori della storia parlano di una Terra piatta, racchiusa in una specie di conchiglia, al di fuori della quale c'è l'acqua. Questa visione che parte dalla civiltà assiro-babilonese, la ritroviamo nel Genesi, dove si parla delle «acque superiori», quelle sopra il «guscio», dalle cui aperture scaturisce la pioggia.

È vero però che nello stesso tempo venivano fatte accurate osservazioni dei moti apparenti dei corpi celesti, fino anche alla previsione delle eclissi, senza però alcun modello.

Nella civiltà greca compaiono importanti novità. Già al tempo dei Pitagorici nasce l'ipotesi che la Terra sia una sfera, inoltre le osservazioni del cosmo e dei movimenti apparenti dei corpi celesti diventano più precise, anche se eseguite a occhio nudo (il cannocchiale è un'invenzione moderna).



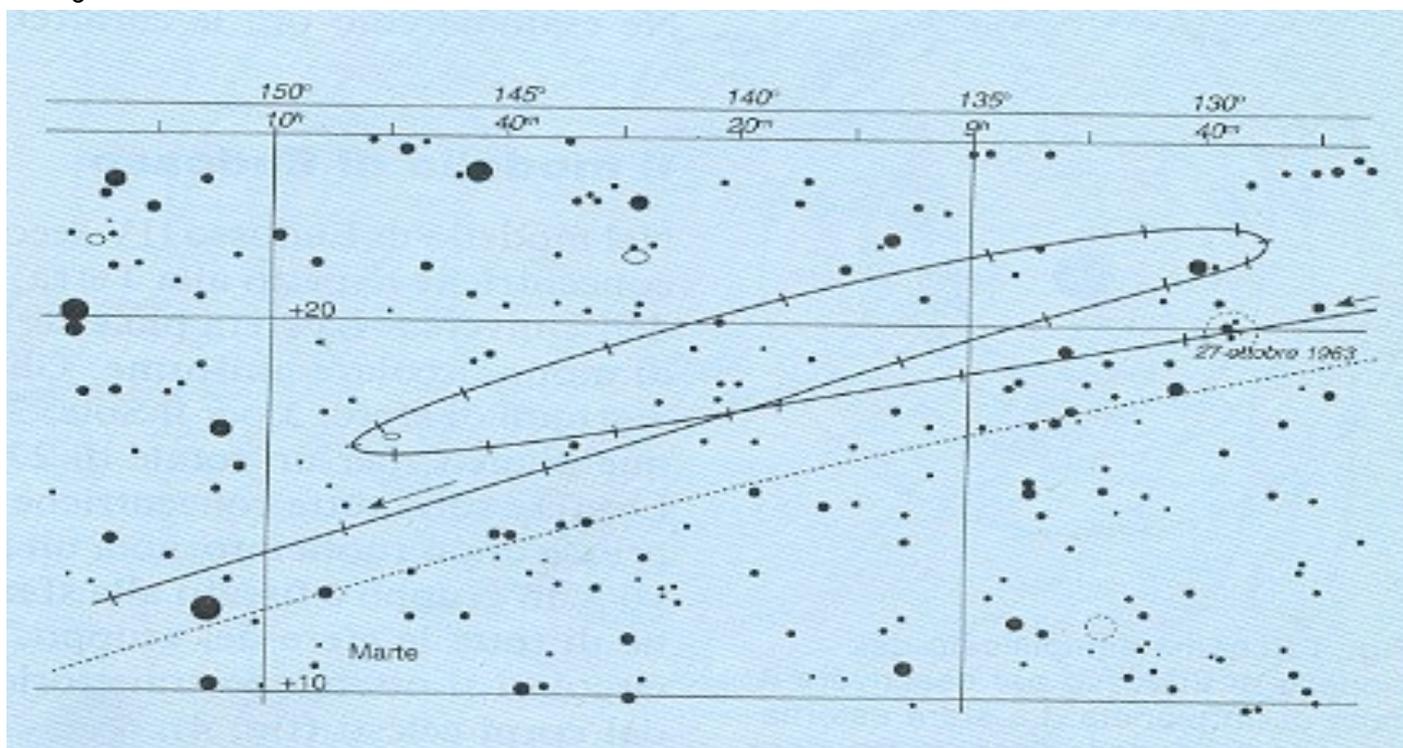
Cosa si osserva a occhio nudo

Tutti i corpi celesti (stelle, Sole, Luna, pianeti) compiono un moto di rotazione diurna intorno alla Terra da est verso ovest.

Mentre però le stelle sembrano mantenere inalterate le posizioni reciproche, gli altri corpi appaiono compiere movimenti più complessi.

Innanzitutto si osserva, rispetto alle stelle, uno spostamento verso est nel moto diurno: per esempio, rispetto a una certa stella, il Sole «ritarda» di circa 4 minuti al giorno. Il Sole ricomparirà nella stessa posizione dopo circa 365 giorni (basta vedere quante volte 4 minuti stanno in 24 ore). Lo stesso si può dire della Luna; poiché il suo «ritardo» è molto maggiore (quasi un'ora), il tempo in cui la Luna ricompare nella stessa posizione è molto minore, circa 28 giorni. Anche i pianeti si spostano verso est, e hanno quindi un moto di rivoluzione, di cui si può calcolare il periodo; la loro classificazione avvenne considerando più lontani quelli che avevano un minore spostamento verso est; questa classificazione, accettata anche nel Medioevo (si ricordi il *Paradiso* di Dante) vale ancora oggi, pur di scambiare il Sole con la Terra. Ma, attenzione! Alcuni pianeti ogni tanto tornano indietro! Cioè si spostano verso ovest per un certo tempo (moto retrogrado), e poi tornano a spostarsi verso est.

Sono un po' bizzarri! Il nome *pianeta* infatti, deriva da un termine del greco antico, che significa «errante».



Moto retrogrado di Marte

I modelli geocentrici

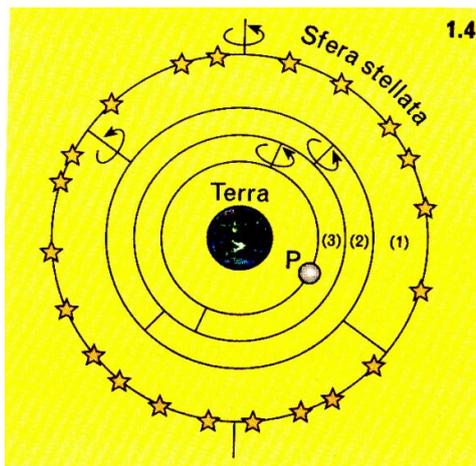
Già nell'antichità greca sorsero dei modelli per spiegare i moti dei corpi celesti, in particolare dei pianeti. Tali modelli erano di tipo geocentrico, cioè prevedevano la Terra immobile al centro dell'Universo. Inoltre, poiché il cielo è il luogo dell'immutabilità e della perfezione, contrapposto all'imperfezione della Terra, i movimenti dei corpi celesti dovevano avere un'importante simmetria, cioè essere moti circolari uniformi, secondo quanto affermato da Platone (428 a.C. – 348 a.C.), nel *Timeo*.

C'è una sola eccezione, che si sappia, quella di Aristarco (310 a.C. – 230 a.C.), che suppone il Sole al centro (il Sole al centro era anche un'ipotesi di alcuni Pitagorici, per esempio di Filolao (470 a.C. – 390 a.C.)). Il modello di Aristarco è un antenato del

modello copernicano, ma non fu accettato, perché con le misure del tempo non si rilevava alcuna prova del movimento della Terra; infatti non si vedeva alcuna parallasse stellare (si veda più avanti di che cosa si tratta), e quindi ciò significava che o la Terra era ferma, oppure le stelle erano migliaia di volte più lontane del Sole dalla Terra; in questo secondo caso l'angolo di parallasse era così piccolo da non poter essere misurato con i mezzi di quel tempo. Questo enorme ampliamento delle dimensioni dell'Universo sembrava assurdo, per cui il modello di Aristarco non ebbe successo.

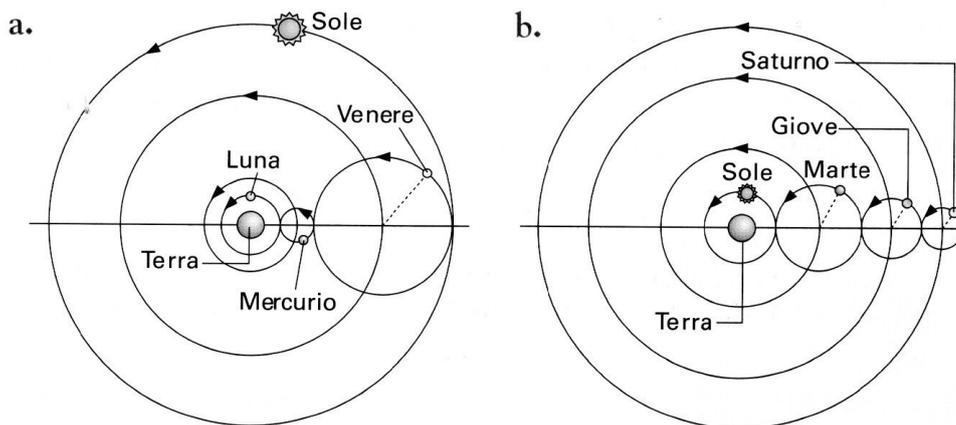
I due modelli geocentrici che ci sono pervenuti sono quelli di Eudosso (408 a.C. – 355 a.C.) e di Tolomeo (100 – 170).

Nel modello di Eudosso a ogni pianeta sono collegate tre sfere, che ruotano intorno ad assi sfalsati, permettendo così traiettorie abbastanza complicate da poter rappresentare le posizioni reali dei pianeti.



Modello di Eudosso

Nel modello di Tolomeo i pianeti ruotano su una circonferenza detta «epiciclo», che ha il suo centro geometrico in un punto P che ruota a sua volta su una circonferenza concentrica alla Terra, detta «deferente».



Schema tolemaico con deferenti ed epicicli:
 a. pianeti fra Terra e Sole,
 b. pianeti esterni.

La composizione di questi due movimenti spiega il moto retrogrado dei pianeti. Nel moderno modello eliocentrico il moto retrogrado è un effetto della differente velocità di rotazione della Terra intorno al Sole rispetto a quella degli altri pianeti.

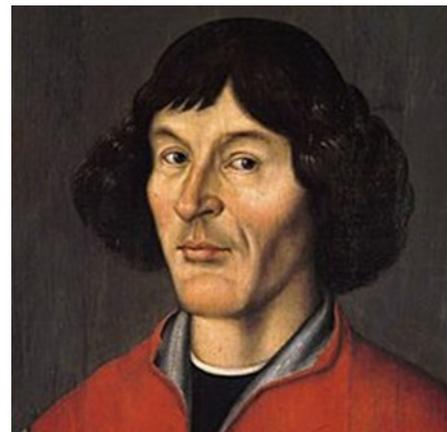
Il modello copernicano

Copernico si dedica allo studio teorico dei moti dei pianeti del Sistema Solare, partendo dai dati sperimentali di Tolomeo, e cerca di riferirli al Sole invece che alla Terra.

Nel 1543, proprio nel giorno della sua morte, viene pubblicato il *De revolutionibus orbium coelestium*. In questo testo, riprendendo l'ipotesi di Aristarco, si ipotizza che il Sole sia al centro, e che la Terra e gli altri pianeti gli ruotino intorno, su orbite circolari.

Dice Copernico «E in mezzo a tutto sta il Sole. Chi infatti, in tale splendido tempio [l'Universo], disporrebbe questa lampada in un altro posto o in un posto migliore, da cui poter illuminare contemporaneamente ogni cosa? Non a sproposito quindi taluni lo chiamano lucerna del mondo, altri mente, altri regolatore. *Trismegisto* lo definisce il dio visibile, l'*Elettra* di *Sofocle*, colui che vede tutte le cose. Così il Sole, sedendo in verità come su un trono regale, governa la famiglia degli astri che gli fa da corona.»

In realtà con un semplice moto circolare intorno al Sole non si spiegano perfettamente i dati sperimentali per cui anche Copernico è costretto a inserire degli epicicli, creando un modello non molto più semplice di quello tolemaico.



Nicolò Copernico (1473 – 1543)

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBVS ORBI-
um coelestium, Libri vi.

.Habes in hoc opere iam recens nato, & ædito, studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum, quàm erraticarum, cum ex ueteribus, tum etiam ex recentibus obseruationibus restitutos: & nouis insuper ac admirabilibus hypothesibus ornatos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex quibus eosdem ad quoduis tempus quàm facillime calculare poteris. Igitur eme, lege, fruere.

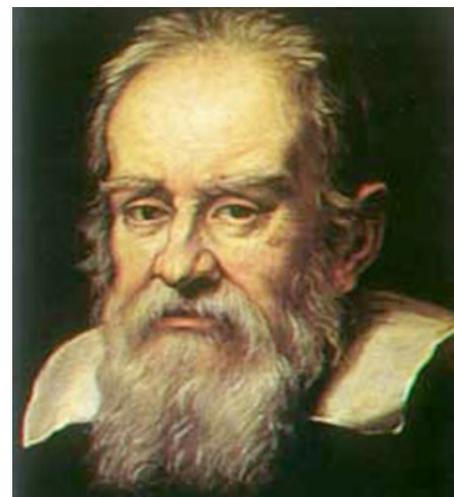
Ἀγαμέμνωνος ἰδέεισ ἐπίτω.

Norimbergæ apud Ioh. Petreium,
Anno M. D. XLIII.

Frontespizio del *De revolutionibus orbium coelestium*

Il contributo di Galileo

Già dal 1597 risulta che Galileo nella lettera a Jacopo Mazzoni aderisse al modello copernicano. Ma si trattava di una opinione «privata». È solo con l'avvento del cannocchiale che Galileo entra nella disputa tra geocentrismo ed eliocentrismo. Nel 1609 ha notizia che in Olanda è stato inventato un nuovo «occhiale» con due lenti, il cannocchiale. Galileo ne fabbrica alcuni di sua invenzione, perfezionandoli fino ad avere 30 ingrandimenti lineari, e a questo punto (autunno 1609) comincia a osservare il cielo notturno.



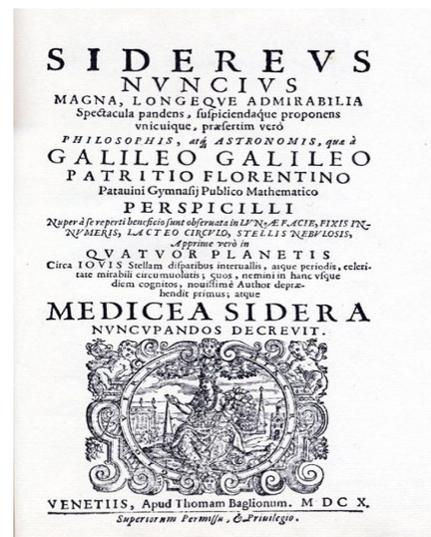
Galileo Galilei (1562 – 1642)

L'importanza di Galileo, che per la prima volta nella storia usò il cannocchiale per osservare il cielo stellato, è testimoniata dal fatto che l'anno 2009, quarto centenario di quell'avvenimento, è stato dichiarato anno internazionale dell'astronomia. Con il cannocchiale Galileo scopre cose mai viste prima, che pubblica in un trattato, il *Sidereus Nuncius*, scritto in latino, la lingua scientifica internazionale del tempo. Da così inizio alla moderna astronomia!

La Luna al cannocchiale appare circa mille volte (circa il quadrato di trenta) più grande di quella osservata a occhio nudo! E non appare più liscia, ma con montagne e valli come la Terra.



La Luna, disegno di Galileo

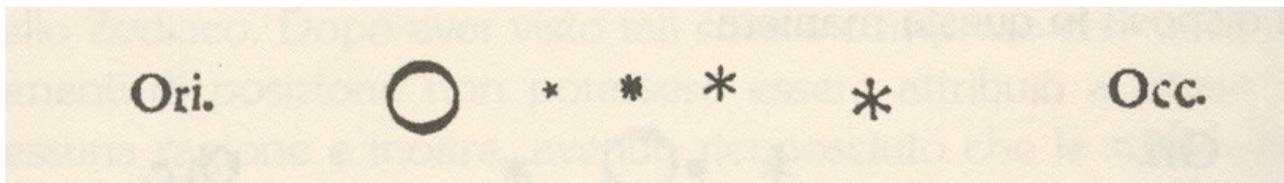


Frontespizio del *Sidereus Nuncius*

Compagno molte più stelle di quelle che si vedono a occhio nudo, ma anche se più luminose rimangono puntiformi, segno della loro enorme distanza.

Intorno a Giove compaiono quattro satelliti, segno che non tutto gira intorno alla Terra!

L'importanza della scoperta dei satelliti di Giove è sottolineata dallo stesso Galileo: «Resta ora quello che ci sembra l'argomento più importante di questo trattato: e cioè rivelare e divulgare le notizie intorno a quattro pianeti non mai dal principio del mondo fino ad oggi veduti».

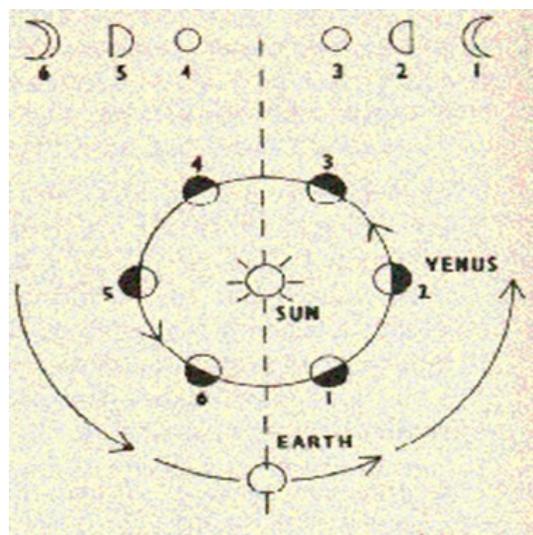


I satelliti di Giove, dal *Sidereus Nuncius*

Inoltre Galileo studia le fasi di Venere, mostrando che seguono un modello copernicano: Venere, nel modello Copernicano, presenta le fasi come la Luna, mostrandosi quasi completamente illuminata quando è in opposizione con la Terra.

Così commenta Galileo: «[...] dalla quale mirabile esperienza [lo studio delle fasi di Venere] aviamo sensata e certa dimostrazione [...] che Venere necessariamente si volge intorno al Sole, come anco Mercurio e tutti li altri pianeti, cosa ben creduta da i Pittagorici, Copernico, Keplero e me, ma non sensatamente provata, come ora in Venere e in Mercurio» (gennaio 1611, lettera a Giuliano de Medici).

Ma la concezione eliocentrica faceva a pugni con l'interpretazione letterale della Bibbia, in cui è il Sole a muoversi intorno alla Terra. E, a quel tempo, in conseguenza della riforma protestante, in cui l'interpretazione della Bibbia era in qualche modo libera, ogni interpretazione non letterale della Bibbia era vista con sospetto dalla Chiesa Cattolica, per cui il cardinale Bellarmino (1542 – 1621) suggerisce a Galilei di considerare l'eliocentrismo come una semplice *ipotesi matematica*, non una realtà, a meno che: «...quando ci fusse vera dimostrazione che il Sole stia nel centro del mondo e



Fasi di Venere

la Terra nel terzo cielo, e che il Sole non circonda la Terra, ma la Terra circonda il Sole, allora bisognava andar con molta circospezione in esplicitare le Scritture che paiono contrarie e più tosto dire che non l'intendiamo, che dire che sia falso quello che si dimostra».

Galileo cercò questa dimostrazione studiando un fenomeno che secondo lui provava il movimento della Terra, quello delle maree. Purtroppo la sua teoria delle maree si rivelò errata, e quindi fallì il suo proposito. Oggi sappiamo che le maree sono un effetto dell'attrazione gravitazionale della Luna e del Sole sulla Terra.

La sua convinzione sulla validità del modello eliocentrico, sviluppata nel suo *Dialogo sui massimi sistemi del mondo*, gli provocò l'opposizione della Chiesa, da cui il famoso processo che lo costrinse all'abiura delle sue convinzioni copernicane. Probabilmente però le sue convinzioni nell'intimo rimasero, come viene affermato nella frase «eppur si muove...» riferita alla Terra e a lui attribuita, anche se sembra un falso storico.

L'importanza di Galileo risiede quindi nelle sue osservazioni sperimentali, perché dal punto di vista teorico rimane a livello delle ipotesi di Copernico.¹

Le leggi di Keplero

La vera innovazione viene compiuta da Keplero, che riesce a descrivere il moto dei pianeti con tre leggi, valide per qualsiasi pianeta intorno al Sole.

Val la pena di accennare al percorso fatto da questo scienziato, perché è un primo esempio di come procede la scienza moderna. Keplero si trova davanti una serie di dati molto precisi, molto più di quelli trasmessi dall'epoca di Tolomeo, dovuti al lavoro estremamente coscienzioso del suo maestro Tycho Brahe (1546 – 1601). Un modello teorico deve render conto con estrema fedeltà dei dati sperimentali, altrimenti va scartato. Così un primo tentativo, basato su un sistema di orbite circolari su sfere inscritte nei solidi regolari, fu scartato perché produceva piccole, ma significative, differenze con i dati di Tycho.

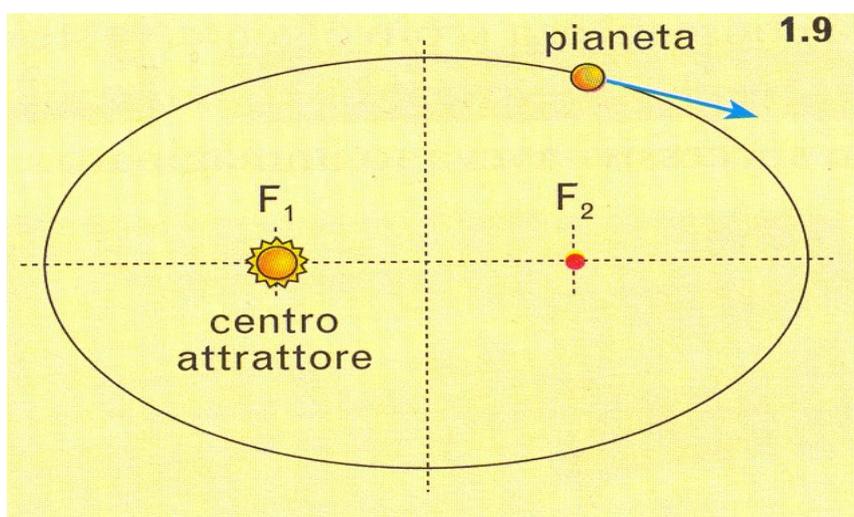
Allora Keplero abbandonò per la prima volta nella storia l'ipotesi platonica che i moti dei corpi celesti siano circolari, perché non adeguata ai dati sperimentali. Così nell'*Astronomia Nova* (1609) enuncia le prime due leggi che portano il suo nome.

Prima legge di Keplero

La prima legge afferma che le orbite dei pianeti intorno al Sole sono delle ellissi, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi. È un altro passo, dopo la natura «terrestre» della Luna, verso l'abbandono della separazione, tipica della filosofia greca e di quella medievale fra la «Terra», luogo dell'imperfezione e il «Cielo» simbolo della perfezione, e quindi composto di una sostanza incorruttibile, la «quintessenza».



Giovanni Keplero (1571 – 1630)



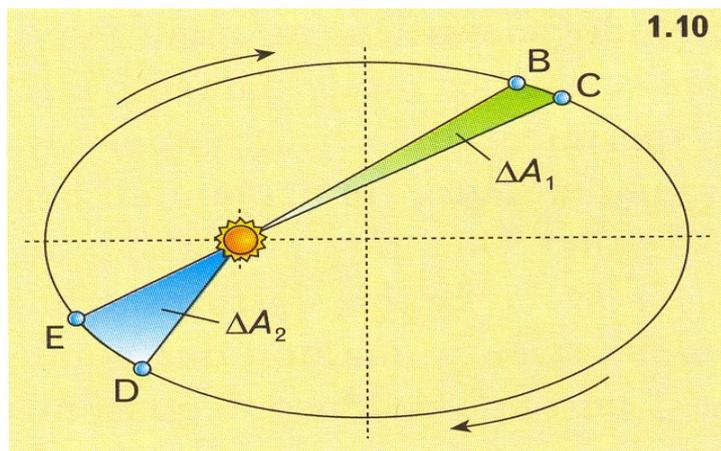
Prima legge di Keplero

Seconda legge di Keplero

Ad aree uguali spazzate dal segmento che unisce Sole e pianeta corrispondono tempi uguali, o, in altri termini, la velocità «areolare» del pianeta è costante. Quindi la velocità tangenziale dei pianeti non è costante; come si intuisce dalla figura, è maggiore quando il pianeta è più vicino al Sole.

Nell'ulteriore sviluppo della scienza fisica la seconda legge di Keplero si può leggere come esempio di una legge di conservazione fondamentale: quella della conservazione del momento della quantità di moto.

Il problema di collegare la distanza R dei pianeti dal Sole con il loro periodo di rivoluzione T , è affrontato nella sua opera *Harmonices mundi* (1619), dedicata nella prima parte agli accordi musicali. E proprio dagli accordi gli venne l'idea di una relazione fra R e T .



Seconda legge di Keplero

Terza legge di Keplero

Il cubo della distanza media R del pianeta dal Sole è direttamente proporzionale al quadrato del periodo di rivoluzione T del pianeta:

$$k = \frac{R^3}{T^2}$$

Le tre leggi di Keplero costituiscono una enorme semplificazione delle leggi del moto dei pianeti riferite a orbite intorno al Sole. Così commenta Keplero la terza legge: «Ciò che profetizzai venti anni fa, ciò che promisi ai miei amici nel titolo di questo libro (*Harmonices mundi*), ciò per cui mi unii a Tycho Brahe, seguendolo a Praga, e per cui dedicai la parte migliore della mia vita, alla fine l'ho portato alla luce e ne ho riconosciuto la veridicità al di là delle mie attese. Il dato è tratto, il libro è scritto, per essere letto ora o dai posteri non importa; esso può ben attendere un secolo per un lettore come Dio ha atteso seimila anni [*l'età stimata per il mondo ai tempi di Keplero*] per un osservatore»

Tuttavia siamo ancora a un livello di descrizione «cinematica» del moto. Al trionfo della rivoluzione copernicana manca ancora la «causa» del moto dei pianeti intorno al Sole, cioè l'introduzione di una forza, che possa spiegare compiutamente il moto dei pianeti.

Newton e la forza gravitazionale

Solo l'introduzione da parte di Newton delle leggi della dinamica e di una forza responsabile del moto dei pianeti dà una vera giustificazione del modello eliocentrico. Newton parte dalla validità delle leggi Keplero, e dalla legge fondamentale della dinamica, $F = ma$, dimostrando l'esistenza di una forza che spiega completamente il moto dei pianeti. La forza in questione è la forza gravitazionale:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Questa forza agisce fra ogni coppia di masse M e m con intensità direttamente proporzionale al loro prodotto e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. G è una costante universale.

I passaggi dimostrativi si trovano nei libri di testo di Fisica e qui non li riportiamo. Ci sembra comunque importante ricordare che l'accelerazione della Luna è circa 1/3600 dell'accelerazione gravitazionale terrestre g , e la distanza della Luna dalla Terra è circa 60 volte il raggio terrestre.² Se facciamo l'ipotesi che la forza che attira i corpi alla Terra sia la stessa che fa ruotare la Luna intorno alla Terra, ne deduciamo che la forza varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Osserviamo che questa ipotesi completa una rivoluzione del concetto di «Cielo», come separato, anche come leggi fisiche, dalla Terra, se è vero che la stessa forza può spiegare l'attrazione che subiamo sulla superficie della Terra e quella del moto della Luna intorno alla Terra.



Isaac Newton (1642 – 1726)

L'introduzione della forza gravitazionale, insieme alle leggi della dinamica, permette di rispondere a una domanda fondamentale: è la Terra che gira intorno al Sole o viceversa?

Secondo le leggi della dinamica se due corpi interagiscono attraverso la stessa forza la loro accelerazione è inversamente proporzionale alle rispettive masse:

$$F = ma$$

Poiché la costante kepleriana k è proporzionale alla massa M del corpo attrattore, e dato che la costante del Sole è 500 mila volte quella della Terra come attrattore del satellite Luna, Newton è in grado di dimostrare che il Sole ha una massa 500 mila volte quella della Terra. Quindi il Sole risulta praticamente fermo (un'accelerazione 500.000 volte inferiore a quella della Terra!); è la Terra che si muove ruotando intorno al Sole.

Ma questa non è l'unica conclusione: se è vero che il movimento diurno delle stelle è apparente e dovuto alla rotazione della Terra, non esiste più la «sfera celeste», le stelle sono distribuite tridimensionalmente e, dato che non si riesce a misurare (con i mezzi di allora) la parallasse, sono estremamente distanti: l'Universo acquista quelle dimensioni enormi che, ai tempi di Aristarco, sembravano inaccettabili.

Le prove sperimentali

Se Newton fornisce una giustificazione teorica, manca ancora una prova sperimentale del moto della Terra. Occorre trovare un fenomeno spiegabile solo con il moto della Terra: in realtà ne sono stati trovati due: l'*aberrazione stellare*, a opera di James Bradley nel 1728, e la *parallasse stellare* a opera di Friedrich W. Bessel nel 1838.

L'aberrazione stellare

Se uno corre sotto la pioggia gli sembra che la pioggia non cada dritta ma inclinata. Così, se la Terra si muove, la luce, come la pioggia dell'esempio, sembra provenire da una direzione lievemente diversa da quella in cui è realmente la stella. Poiché la direzione del moto della Terra cambia durante l'anno, cambia anche la posizione apparente della stella.

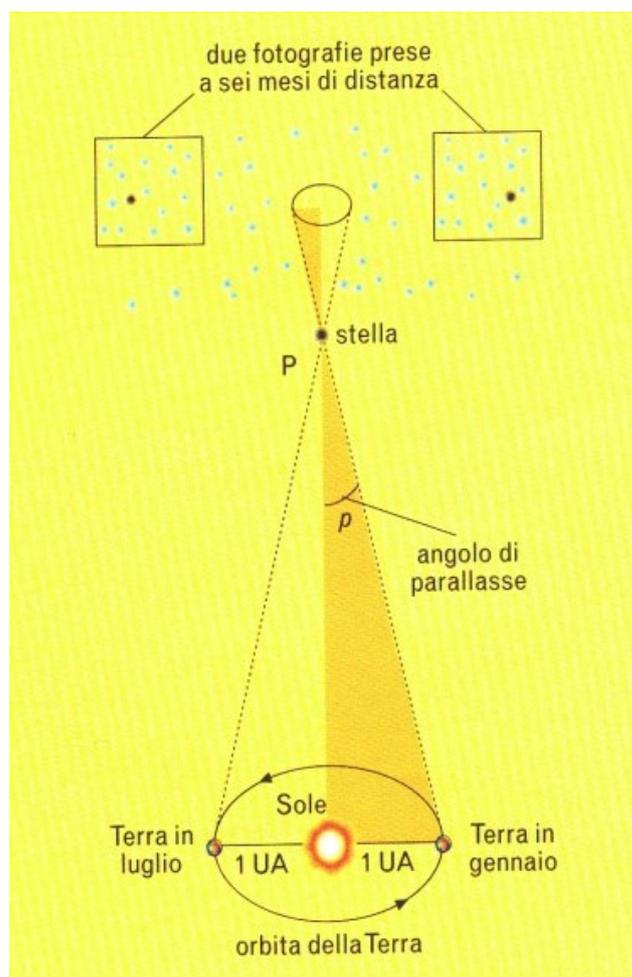
La parallasse stellare

Se la Terra si muove rispetto alle stelle, le stelle più vicine vengono viste spostate, a sei mesi di distanza, rispetto alle stelle lontane, per cui lo spostamento della Terra intorno al Sole è troppo piccolo per cambiare la direzione stella-Terra. L'angolo di spostamento è $2p$, dove p si dice *parallasse*. La misura della parallasse, oltre a dimostrare il moto di rivoluzione della Terra, permette la misura della distanza Terra-stella. Come si vede dalla figura, se conosciamo la distanza Terra-Sole, sulla base delle similitudini dei triangoli, possiamo ricavare la distanza dalla stella.

In realtà, la condanna delle dottrine copernicane venne quasi subito tacitamente ritirata, anche se solo nel 1820 il Papa Pio VII riconobbe ufficialmente la validità delle dottrine copernicane, annullando la precedente condanna.

Oltre ai due fenomeni sopra citati ne furono studiati altri in cui il moto della Terra è provato direttamente. Infatti erano stati comunicati al Papa due esperimenti condotti da italiani, Giovanni Battista Guglielmini (1760 – 1817) e Giuseppe Calandrelli (1749 – 1827) che fornivano le prove sperimentali del moto della Terra, soddisfacendo così alla famosa condizione di Bellarmino.

Nel 1820 Giuseppe Settele, presentò a Pio VII una richiesta per l'approvazione del manuale *Elementi di Astronomia*, nel quale si sosteneva il modello eliocentrico, proprio perché potesse venire stampato a Roma con *Imprimatur* della Santa Sede. In questa lettera si citavano, a favore del modello copernicano, le due misure di Guglielmini e Calandrelli effettuate nel 1791. Pio VII rispose positivamente con il decreto di approvazione del manuale, decreto pubblicato nell'agosto dello stesso anno.



La parallasse stellare

L'esperimento di Guglielmini

Consideriamo due punti che si trovano a distanza diversa dal centro della Terra: due punti che si trovano allineati su uno stesso raggio, ma a distanze diverse dal centro di rotazione, avranno la stessa velocità angolare. Presenteranno invece una diversa velocità periferica: il punto più vicino al centro di rotazione avrà una velocità periferica più bassa; il punto che si trova più all'esterno avrà una velocità periferica più elevata. Quest'ultimo, infatti, deve mantenersi allineato sullo stesso raggio in cui si trova il punto più interno, ma nello stesso tempo deve percorrere un arco di circonferenza più lungo.

Poiché la rotazione terrestre avviene (vista dal Polo Nord) in modo antiorario, cioè da ovest verso est, i vettori corrispondenti sono rivolti verso est e quindi il corpo materiale che cade dall'alto si sposta verso est rispetto alla verticale locale (determinabile con un filo a piombo).

Guglielmini eseguì, nel 1791 a Bologna, ripetute prove con palle di piombo (il materiale più denso, noto fin dall'antichità) lasciate cadere dalla torre degli Asinelli (alta circa 100 metri). Trovò uno spostamento medio di 16 mm verso est: fu così provato il moto di rotazione della Terra. I suoi risultati furono pubblicati nel *De diurno terrae motu* del 1792.

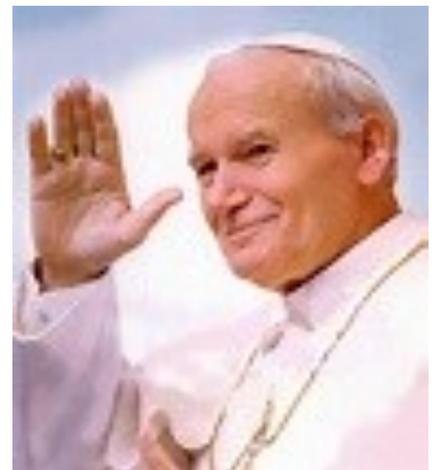
La revisione del processo a Galilei

L'accettazione del modello eliocentrico avvenne alle condizioni poste da Bellarmino: che ci siano delle prove del moto della Terra. Tuttavia le ragioni del processo a Galileo, che queste prove non poteva fornire, rimanevano.

Una revisione «culturale» del processo a Galileo è un evento moderno: è stata richiesta da San Giovanni Paolo II con l'istituzione di una commissione che ha concluso i lavori nel 1992, i cui risultati il Papa ha riassunto in un bellissimo intervento di cui vengono qui riportati alcuni passi.

«La maggioranza dei teologi non percepiva la distinzione formale tra la Sacra Scrittura e la sua interpretazione, il che li condusse a trasporre indebitamente nel campo della dottrina della fede una questione di fatto appartenente alla ricerca scientifica. Come la maggior parte dei suoi avversari, Galileo non fa distinzione tra quello che è l'approccio scientifico ai fenomeni naturali e la riflessione sulla natura, di ordine filosofico, che esso generalmente richiama. È per questo che egli rifiutò il suggerimento che gli era stato dato di presentare come un'ipotesi il sistema di Copernico, fin tanto che esso non fosse confermato da prove irrefutabili. Era quella, peraltro, un'esigenza del metodo sperimentale di cui egli fu il geniale iniziatore [...] A partire dal secolo dei Lumi fino ai nostri giorni, il caso Galileo ha costituito una sorta di mito, nel quale l'immagine degli avvenimenti che ci si era costruita era abbastanza lontana dalla realtà. In tale prospettiva, il caso Galileo era il simbolo del preteso rifiuto, da parte della Chiesa, del progresso scientifico, oppure dell'oscurantismo "dogmatico" opposto alla libera ricerca della verità [...] Al tempo di Galileo, era inconcepibile rappresentarsi un mondo che fosse sprovvisto di un punto di riferimento fisico assoluto. E siccome il cosmo allora conosciuto era, per così dire, contenuto nel solo Sistema Solare, non si poteva situare questo punto di riferimento che sulla Terra o sul Sole. Oggi, dopo Einstein e nella prospettiva della cosmologia contemporanea, nessuno di questi due punti di riferimento riveste l'importanza che aveva allora. Questa osservazione, intende indicare che spesso, al di là di due visioni parziali e contrastanti, esiste una visione più larga che entrambe le include e le supera.»

D'altronde anche gli scienziati oggi esprimono una posizione abbastanza simile a quella del Papa: «Il calcolo della densità di massa critica dell'Universo, cioè quella minima che basta per arrestare la sua espansione ha un marcato carattere geocentrico, ma non è un aspetto intrinseco del modello matematico. In altri termini se un osservatore posto in corrispondenza di una qualunque parte dell'Universo misurasse le posizioni, le velocità e le accelerazioni rispetto a sé, costruirebbe una descrizione con se stesso al centro che sarebbe identica a quella che abbiamo costruito noi.» (A. Guth e P. Steinhart, *L'Universo inflazionario*)



San Giovanni Paolo II (1920 – 2005)

Conclusione

Come si è accennato all'inizio dell'articolo la risoluzione del problema del Sistema Solare, non chiude la questione cosmologica, anzi la riapre. Si è in presenza di un immenso numero di stelle, distribuite in uno spazio tridimensionale; solo di quelle più vicine, attraverso la parallasse, si può misurare la distanza: e si tratta di anni luce! (la distanza del Sole dalla Terra è di circa 8 minuti luce). Si pongono una serie di domande: l'immensità dell'Universo, in cui il Sistema Solare occupa uno spazio quasi infinitesimo, ha un limite oppure l'Universo è infinito? L'Universo ha avuto un inizio o è esistito da sempre? È statico o ha dei movimenti non casuali (per esempio espansione o contrazione)? Sono domande a cui risponde la moderna cosmologia, ma questo apre un altro percorso (da affrontare, da un punto di vista didattico, nell'ultimo anno di liceo) che riguarda le scoperte del XX secolo, e che tuttora non appare concluso.

Possiamo solo accennare che i passi principali sono stati: i nuovi metodi di misurazione di distanze cosmiche, che hanno permesso la scoperta delle galassie, la legge di Hubble-Lemaître che ha evidenziato l'espansione dell'Universo, la radiazione cosmica di fondo, che ha costituito una delle prove fondamentali del big-bang. Infine l'ultima sorpresa: la maggior parte dell'Universo è composta di materia ed energia oscure (che cosa sono esattamente non è stato ancora scoperto), mentre la materia ordinaria, di cui anche noi siamo fatti, costituisce solo il 5% del totale.

Lorenzo Mazzoni (già docente di Matematica e Fisica al Liceo Scientifico, membro della redazione della rivista Emmeciquadro)

Riferimenti

1. Owen Gingerich *Galileo e Copernico, quando la bellezza genera conoscenza* <https://www.ilsussidiario.net/news/scienze/2009/8/28/astrofisica-gingerich-harvard-galileo-e-copernico-quando-la-bellezza-genera-conoscenza/36147/>
2. Vittorio Banfi *La mela o la Luna di Newton* <https://www.ilsussidiario.net/news/emmeciquadro/emmeciquadro-n-36/2009/8/12/scienzaestoria-la-mela-o-la-luna-di-newton-l-itinerario-concettuale-verso-la-forza-gravitazionale/211815/>