

# Capitolo 1

## La cosmologia copernicana

### 1.1 Copernico e la teoria eliocentrica

Nicolò Copernico (1473-1543) pubblica la sua unica opera, il *De Revolutionibus Orbium caelestium*, ovvero il trattato “Sulle rivoluzioni degli orbi celesti”, nel 1543, pochi mesi prima della sua morte. L’opera, divisa in sei libri, è dedicata a Papa Paolo III. Il titolo fa riferimento a concetti dell’astronomia antica: per Copernico, il termine *revolutio* denota le rotazioni costanti e uniformi delle sfere celesti, chiamate anche “orbi”, le quali trascinano con sé i pianeti.

Ma l’opera di Copernico è in realtà una vera e propria “rivoluzione” in molti settori della cultura del suo tempo: in astronomia (dove si scontra con il modello tolemaico che rappresentava da 14 secoli un paradigma cosmologico indiscusso ed indiscutibile) perché spiega elegantemente il movimento dei pianeti e apre il cammino alla conoscenza delle reali dimensioni del sistema solare; in filosofia (dove si scontra con gli assunti aristotelici) perché apre la mente ad una nuova concezione del mondo e dell’universo, del quale l’Uomo non occupa più “il centro”: in teologia, perché si scontra con l’interpretazione letterale dei testi sacri.

Copernico è perfettamente cosciente dei grandi cambiamenti che sta per introdurre, ma non è in grado di intuirne per intero il significato, che trascende l’ambito stesso dell’astronomia.

L’ipotesi eliocentrica, fondamento della teoria copernicana, non era comunque un fatto nuovo, essendo già stata formulata nel III sec. a.C. da Aristarco e ripresa nel tardo Medioevo da Grossatesta, Buridano e Oresme, ma è solo in

epoca rinascimentale che trova terreno culturale fertile per affermarsi, seppure tra molte difficoltà.

Il sistema copernicano può sintetizzarsi nelle seguenti affermazioni:

1. il centro della Terra non è il centro dell'Universo, ma solo il centro della massa terrestre e dell'orbita della Luna
2. tutti i pianeti si muovono lungo orbite il cui centro è il Sole, che quindi è al centro dell'Universo
3. la distanza fra la Terra ed il Sole, paragonata alla distanza fra la Terra e le stelle del Firmamento, è infinitamente piccola
4. il movimento del Sole durante il giorno è solo apparente, e rappresenta l'effetto di una rotazione che la Terra compie intorno al proprio asse durante le 24 ore, rotazione sempre parallela a sé stessa
5. la Terra (insieme alla Luna, ed esattamente come gli altri pianeti) si muove intorno al Sole, ed i movimenti che questo sembra compiere (durante il giorno e nelle diverse stagioni dell'anno) altro non sono che l'effetto del reale movimento della Terra
6. i movimenti della Terra e degli altri pianeti intorno al Sole possono spiegare le *stazioni* (punti di fermata apparente), le stagioni e le altre particolarità dei movimenti planetari.

Copernico fonda queste sue affermazioni su tre postulati filosofici fondamentali, di evidente origine neoplatonica:

- l'Universo ha forma sferica
- la Terra ha forma sferica
- i moti dei pianeti devono essere composti da moti circolari uniformi.

Egli non può ammettere la mancanza di uniformità perché “l'intelletto indietreggia con orrore, essendo indegno di sostenere una tale veduta intorno ai corpi, che sono costituiti nell'ordine più perfetto.” Ecco, quindi, l'importanza della sfera e della circonferenza, simboli filosofici di perfezione, che rappresentano la linea guida del suo lavoro.

Un altro punto fondamentale è la ricerca della semplicità teorica che lo porta a pensare che debba essere la Terra a *ruotare attorno a se stessa*, piuttosto che tutta la sfera celeste, anche se ciò sembra essere in contrasto con l'apparenza fondata sul senso comune. Del resto, le principali obiezioni di Copernico all'ipotesi tolemaica dell'immobilità della Terra hanno come base delle conoscenze fisiche che i Greci antichi non potevano possedere. Vediamole in dettaglio:

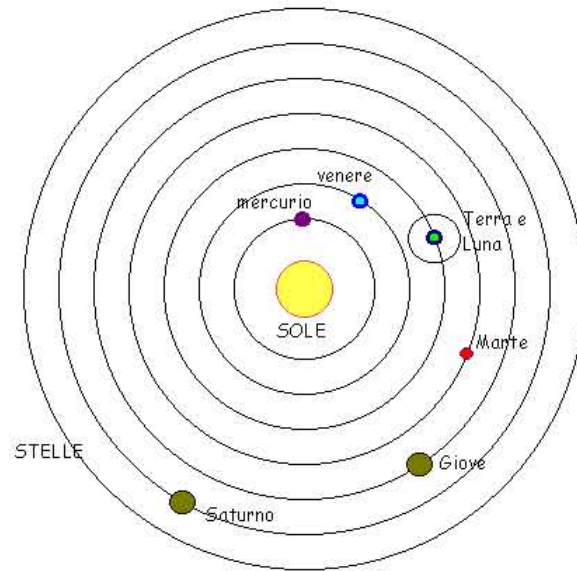


Figura 1.1: *Il Sole e i pianeti secondo il modello eliocentrico copernicano.*

.) Tolomeo affermava che se la Terra fosse in movimento, un oggetto lanciato in aria sarebbe *ricaduto più indietro* rispetto al punto di lancio. A questa conclusione Copernico obietta che il moto di un oggetto lanciato in aria è dato da due componenti: una componente verticale dovuta al lancio verso l'alto, e una componente orizzontale dovuta al movimento rotatorio della Terra. Un oggetto ricade lungo la verticale esattamente nel punto di lancio per il semplice fatto che noi stessi partecipiamo alla componente orizzontale del moto, causato dalla rotazione terrestre, e poiché tale moto è condiviso con tutti gli oggetti sulla superficie terrestre, non ce ne possiamo accorgere anche se è sempre presente.

.) Tolomeo inoltre supponeva che se la Terra ruotasse attorno a se stessa avrebbe dovuto *disintegrarsi* per l'elevata velocità. A questa osservazione Copernico risponde facendo osservare quanto maggiormente dovrebbe disintegrarsi la sfera delle stelle fisse, dato che le stelle, essendo molto distanti, dovrebbero muoversi con una velocità di rotazione molto più elevata di quella della Terra.

.) La teoria eliocentrica, afferma infine Copernico, spiega in maniera più semplice alcune caratteristiche incomprensibili del moto dei pianeti sugli epicicli. Ad esempio, secondo Tolomeo, i pianeti esterni, e solo loro, dovevano compiere un giro sui loro epicicli nello stesso tempo impiegato dal Sole per girare attorno alla Terra (e questo perché, da un giorno con l'altro, la loro posizione in cielo varia di pochissimo). Ma perché questa particolarità? Copernico, posizionando il Sole al centro, dimostra che le strane caratteristiche dei moti planetari sono semplicemente una conseguenza del moto terrestre. Inoltre, mettendo la Terra al terzo posto nella sequenza delle distanze planetarie dal Sole (cioè tra Venere e Marte) gli risulta possibile dividere i pianeti in due insiemi ben distinti: pianeti interni (Mercurio e Venere) e pianeti esterni (Marte, Giove e Saturno). Viene

in questo modo chiarito in modo semplice l'inspiegabile necessità tolemaica di differenziare il meccanismo degli epicicli di questi due gruppi di pianeti. E' qui che si evidenzia la più consistente semplificazione introdotta dal sistema copernicano rispetto a quello tolemaico.

*In realtà Copernico non può ancora sapere che le orbite planetarie non sono effettivamente circolari e che i moti dei pianeti non sono per niente uniformi.*

Ed é proprio per questo motivo, cioè per fare in modo che il suo modello cosmologico rispecchi nel modo più preciso possibile la posizione in cielo dei pianeti anche dopo intervalli di tempo molto lunghi, che anche Copernico si vede costretto ad usare un sistema di epicicli ed eccentrici per spiegare quelle apparenti anomalie del moto planetario che anche la teoria eliocentrica originale non era in grado di interpretare alla perfezione. Il risultato finale di questo successivo lavoro di aggiustamento modifica il modello originale facendogli perdere gran parte di quella semplicità teorica che lo caratterizzava. In alcuni casi (es. il sistema Sole-Terra) lo schema eliocentrico risulta addirittura più complesso di quello tolemaico.

Il sistema copernicano non rappresenta il sistema cosmologico oggi noto: i suoi principali difetti consistono nel conservare ancora una struttura ad epicicli, e nel fatto che i moti dei pianeti (che nella realtà avvengono su orbite ellittiche), erano interpretati ancora attraverso composizioni di orbite assolutamente circolari. Soltanto con l'opera di Keplero si riuscirà finalmente a superare questo "pregiudizio" filosofico sulla necessità di avere moti necessariamente circolari.

Bisogna infine sottolineare il fatto che *la nuova teoria copernicana non é in grado di fornire risultati globalmente migliori in termini di predicibilità dei moti planetari di quanto non riesca a fare il vecchio modello tolemaico !!* Anche per questo motivo (che è esclusivamente astronomico), il modello eliocentrico, accanto a convinti sostenitori, trova degli irriducibili oppositori persino tra i migliori astronomi del tempo. Il più famoso tra questi é senz'altro il danese Tycho Brahe.

## 1.2 Il sistema "misto" di Tycho Brahe

Come Copernico era stato il primo europeo dal tempo dei Greci ad innalzarsi all'altezza di Aristarco e di Tolomeo nel campo teorico, così Tycho Brahe (1546-1601) é il primo ad innalzarsi all'altezza di Ipparco nel campo dell'osservazione astronomica.

Sinceramente contrario alla teoria copernicana, il sistema cosmologico da lui proposto é ancora geocentrico, anche se diverso da quello Tolemaico. Egli infatti immagina che la Terra sia immobile al centro dell'universo, che il Sole e la Luna ruotino attorno alla Terra e che tutti i pianeti ruotino attorno al Sole. Fino alla fine della sua vita egli non é capace di accorgersi che la sua soluzione risulta,

nei fatti, esattamente uguale a quella di Copernico. Infatti dal punto di vista matematico e geometrico, la trasformazione da un sistema all'altro è di fatto insignificante e conduce agli stessi risultati.

Pure con questi pesanti limiti teorici, il suo lavoro di osservazione fu preziosissimo per lo sviluppo successivo dell'astronomia, e non solo per la mole di dati raccolti ma anche e soprattutto per l'elevata precisione degli stessi, veramente impensabile per i tempi che precedono l'invenzione del telescopio.

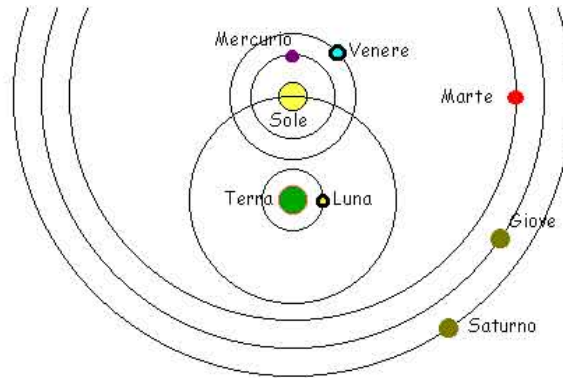


Figura 1.2: *Il sistema "misto" di Tycho Brahe.*

Nato in Danimarca, a Knudstrup, nel 1546, Tycho era figlio del governatore del castello di Helsingborg. Dopo aver compiuto gli studi a Copenaghen e in Germania, si interessa presto di astronomia e di astrologia. Comincia a progettare e collezionare strumenti di osservazione sempre più imponenti fra cui un grande quadrante per osservazioni stellari e un globo celeste sul quale va segnando le posizioni delle stelle, migliorando di molto la precisione delle misure astronomiche fino ad allora eseguite.

Il re Federico II gli fa dono dell'isola danese di Hveen con tutte le rendite che produce e si impegna a costruirgli un osservatorio a spese dello stato. Nasce così un grande edificio chiamato *Uranjborg* (castello del cielo), dove Tycho installa molti strumenti astronomici (sestanti, armille equatoriali, strumenti parallattici, orologi ecc ...).

Tycho Brahe vive a Uranjborg per vent'anni, durante i quali raccoglie una immensa collezione di dati astronomici che gli serviranno in seguito per costruire il suo nuovo sistema cosmologico. M

a la megalomania di cui soffre lo porta presto a tiranneggiare i poveri abitanti dell'isola di Hveen con balzelli non dovuti e condanne per insolvenza. Proprio per porre un freno a questa situazione, il successore di Federico II comincia a limitare gli appannaggi godeva l'astronomo, e Tycho, profondamente offeso, abbandona l'isola e riprende le sue peregrinazioni per l'Europa portandosi dietro la famiglia e i suoi numerosi strumenti.

Finisce così alla corte di re Rodolfo II (personaggio altrettanto eccentrico) con

l'incarico di Mathematicus imperialis. E' qui che nel 1600 incontra Keplero nel quale Tycho spera di trovare un fedele discepolo della sua teoria, ma il rapporto tra i due astronomi risulta difficoltoso e molto breve. Tycho, infatti, muore nel 1601 senza riuscire a convincere Keplero della correttezza del suo sistema geocentrico.

### 1.3 Le tre leggi di Keplero (1576 - 1630)

Giovanni Keplero, la cui opera teorica deve così tanto alle osservazioni di Tycho Brahe, nasce a Würtemberg il 27 dicembre del 1571, quasi un secolo dopo Copernico. La più importante innovazione di Keplero é quella di liberarsi dal pregiudizio (di natura filosofica) che le orbite dei pianeti debbano essere necessariamente circolari o comunque ottenute mediante composizione di moti circolari.

Egli infatti, oltre a riaffermare l'ipotesi eliocentrica, é il primo a proporre un modello di *orbite ellittiche* per descrivere il movimento dei pianeti intorno al Sole in modo da far coincidere la teoria con l'enorme quantità di dati osservativi raccolti nella sua vita da Tycho Brahe. Ecco, in sintesi, le tre leggi di Keplero sulle orbite planetarie:

PRIMA LEGGE - Ciascun pianeta ruota attorno al Sole percorrendo un'orbita piana che ha la forma di un'*ellisse*, di cui il Sole occupa uno dei due fuochi. Il punto in cui il pianeta raggiunge la massima distanza dal Sole si chiama *afelio*, mentre il punto di minima distanza viene detto *perielio*.

SECONDA LEGGE - La velocità di ciascun pianeta lungo la sua orbita non è uniforme, ma cambia a seconda della sua posizione: il pianeta sarà più veloce nei pressi del perielio e più lento nei pressi dell'afelio. Precisamente, *il raggio vettore che unisce il pianeta al Sole, percorrerà aree uguali in tempi uguali*. (Nella fig:Ellisse1, le aree azzurre hanno forma diversa ma sono uguali: quindi i tratti di orbita che esse sottendono sono percorsi dal pianeta in tempi uguali).

TERZA LEGGE - E' la famosa relazione tra le dimensioni delle orbite e i periodi di rivoluzione dei pianeti. *I quadrati dei periodi di rivoluzione sono proporzionali ai cubi delle distanze dal Sole*, cioè:

$$(T_1/T_2)^2 = (a_1/a_2)^3 \tag{1.1}$$

dove  $T_1$  e  $T_2$  sono periodi di rivoluzione di due pianeti e  $a_1$  e  $a_2$  sono i semiassi maggiori delle loro orbite.

Senza il prezioso frutto delle osservazioni di Tycho, che si erano protratte per più di 30 anni con una precisione mai raggiunta prima e che in gran parte si riferivano all'orbita di Marte, il pianeta dal movimento più "anomalo", Keplero molto difficilmente avrebbe potuto determinare la vera natura delle orbite planetarie.

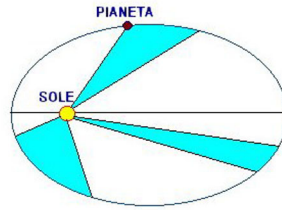


Figura 1.3: Terza legge di Keplero: aree uguali sono percorse in tempi uguali

I risultati di questi studi, pubblicati nel 1609 (*De motibus stellae Martis*), furono applicati proprio al pianeta Marte e poi estesi a tutti gli altri pianeti. La terza legge fu pubblicata qualche anno dopo (1618) nella sua opera più importante: *Harmonices mundi*.

## 1.4 Galileo (1564-1642) e il telescopio

L'opera di Galileo é di estrema importanza da numerosi punti di vista: passato alla storia come il padre del metodo scientifico, Galileo è senza dubbio il più importante artefice della nascita della scienza moderna e in particolare della fisica. Ma sono le sue osservazioni astronomiche, la prime compiute con il telescopio, a fornire quell'insieme di elementi sperimentali che accentuano la crisi della fisica di Aristotele e accelerano la graduale affermazione del sistema cosmologico copernicano.

Il telescopio non fu inventato da Galileo, ma quando giunge tra le sue mani alla fine dell'anno 1609 Galileo capisce immediatamente le straordinarie potenzialità del nuovo strumento in campo astronomico, e lo punta verso il cielo. Convinto sostenitore del modello eliocentrico, lo scienziato pisano cerca di trovarne le prove sperimentali attraverso quelle osservazioni che solo l'uso del nuovo strumento rende ora alla sua portata.

Le scoperte astronomiche di Galileo possono essere riassunte nei seguenti punti:

1) è il primo a vedere i 4 satelliti di Giove (battezzati *medicei* in onore della nobile famiglia fiorentina dei Medici), la cui osservazione dimostra senza dubbio che le loro orbite hanno come *centro del moto il pianeta Giove e non la Terra*. I satelliti di Giove, quindi, sono dei corpi celesti che non ruotano attorno alla Terra. Inoltre, proprio il loro movimento attorno a Giove é una prova contro l'esistenza delle sfere cristalline teorizzate da Aristotele che, altrimenti, sarebbero da questi satelliti completamente perforate.

Ad una conclusione analoga era arrivato Tycho Brahe qualche anno prima quando, studiando minuziosamente l'orbita di una luminosa cometa apparsa nel 1577, si era reso conto, utilizzando il "metodo della parallasse", che essa era

un oggetto posto oltre la sfera della Luna (contrariamente a quanto si credeva allora) e che seguiva un'orbita "ovoidale" (oggi diremmo ellittica) che avrebbe dovuto intersecare e *perforare le sfere cristalline* degli altri pianeti.

2) scopre le *fasi di Venere*, identiche a quelle della Luna, e perché ciò sia possibile occorre che Venere ruoti attorno al Sole e non attorno alla Terra (osservazione, questa, che però era in accordo anche con un modello geocentrico del tipo di quello proposto da Tycho Brahe)

3) scopre i *monti e i mari della Luna* (questi ultimi sono in realtà delle zone pianeggianti e senza acqua) la cui presenza dimostra come l'aspetto morfologico del nostro satellite non sia dissimile da quello terrestre, e questo contraddice l'ipotesi aristotelica della perfezione delle sfere celesti e della diversità del mondo celeste da quello terrestre. In questo senso anche la scoperta delle *macchie solari* (zone della superficie del Sole che appaiono scure perché, essendo a temperatura più bassa, appaiono per contrasto meno luminose di quelle limitrofe,) si inserisce nel solco di una evidente falsità dell'assunto aristotelico.

Inoltre, proprio in quegli anni, Tycho Brahe nel 1572 e poi Keplero nel 1604, osservano la comparsa di una "stella nova" (oggi diremmo lo scoppio di una supernova galattica) che rimane luminosissima in cielo per diversi mesi fino poi a scomparire gradatamente dalla vista. L'evento è rarissimo e capita in media una volta ogni 4 secoli. Questo fenomeno, ripetutosi due volte in circa trent'anni, contraddiceva in modo fin troppo evidente il principio aristotelico della *immutabilità e dell'assoluta staticità* delle sfere celesti.

4) Galileo nota infine che la Via Lattea, se osservata al telescopio, dimostra di possedere un aspetto granulare dove ogni singolo piccolo punto luminoso svela la sua natura stellare. Si tratta di stelle lontanissime, quindi, non appartenenti al mondo sublunare, la cui scoperta induce a dilatare enormemente le dimensioni dell'Universo fino ad allora concepito.

Va detto a conclusione che tutta questa serie di osservazioni, se da un lato minano alla radice tutta quanta l'impostazione della fisica di Aristotele, dall'altro non costituiscono ancora una prova certa e indubitabile delle teorie copernicane. I dubbi in proposito, alcuni dei quali molto ragionevoli, si fondano sulle seguenti osservazioni:

1. il fatto che le stelle lontane non dimostrano di essere interessate dal *fenomeno della parallasse* (che invece dovrebbe essere causato dalla rivoluzione della Terra attorno al Sole) indurrebbe a pensare, come conseguenza della teoria eliocentrica, ad un Universo infinitamente grande (ma questa conclusione, sebbene corretta, non era assolutamente condivisa dai filosofi del tempo)

2. la difformità di ogni teoria eliocentrica con il "senso comune", in virtù del quale è più facile per l'Uomo convincersi che è il Sole a ruotare attorno alla Terra, e non viceversa, e che annovera dalla sua parte l'unico fatto non dubitabile: la Luna ruota con certezza attorno alla Terra e non attorno al Sole



3. il *principio di autorità*, per il quale l'opera di Aristotele appare agli studiosi del tempo un esempio di perfezione filosofica a cui attenersi scrupolosamente e difficile da contraddire

4. il fatto che, in termini di predicibilità delle posizioni dei pianeti, *il modello eliocentrico non funziona assolutamente meglio di quello tolemaico*. Da questo punto di vista un sostanziale passo in avanti lo si consegue solo con l'ipotesi introdotta da Keplero relativamente alla forma ellittica delle orbite (che però sembra essere un'assurdo filosofico anche in un'ottica copernicana)

5. la mancanza, nella teoria copernicana, del *motivo* per cui i pianeti si muovono. La risposta verrà solo con l'introduzione del concetto di forza di gravità così come spiegato nella Teoria della Gravitazione universale di Newton. L'ipotesi delle sfere celesti che trasmettono il movimento che il Motore Immobile induce nella sfera delle stelle fisse, é comunque una spiegazione considerata filosoficamente "ragionevole" in assenza di una qualunque risposta alternativa

6. l'ipotesi di *rotazione della Terra sul suo asse*, infine, si scontra con tre critiche molto ragionevoli:

- con la prima si fa osservare che l'aria, le nuvole e gli uccelli dovrebbero rimanere indietro rispetto al movimento della superficie terrestre
- con la seconda, si constata l'apparente assenza di una forza centrifuga sugli oggetti posizionati sulla superficie terrestre, propria di ogni corpo in moto circolare, e i cui effetti dovrebbero essere massimi all'equatore: una tale forza dovrebbe proiettare nello spazio tutto ciò che non è vincolato alla superficie terrestre, e ciò non si verifica
- con la terza critica si sottolinea come un oggetto lasciato cadere in verticale da una certa quota (la sommità della torre di Pisa, ad esempio) non dovrebbe muoversi perfettamente lungo la verticale, ma dovrebbe dirigersi un po' più ad Est, in virtù di una sua velocità tangenziale iniziale maggiore di quella posseduta dai punti al suolo; ma anche questo effetto sembra non verificarsi . . .

Al giorno d'oggi un atteggiamento errato, e forse un po' pretestuoso, ci ha indotto ad accusare di ignoranza ed "oscurantismo" tutti coloro che tra il Cinquecento e il Seicento si sono opposti alla teoria copernicana perché l'ipotesi eliocentrica non si conciliava con l'interpretazione letterale delle Sacre Scritture.

In realtà, come abbiamo ampiamente visto, le ragioni di questa opposizione erano ben più complesse e motivate. Inoltre, proprio le prove sperimentali a favore dell'eliocentrismo, che Galileo cercò di produrre per tutta la vita, non erano così convincenti e definitive come si vorrebbe far credere, al punto che un astronomo, uno scienziato sperimentale del valore di Tycho Brahe, rifiutò a spada tratta la teoria copernicana fino alla morte.

E poi c'era un orizzonte culturale fortemente contraddistinto dalla filosofia aristotelica i cui principi erano obiettivamente ben radicati e difficili da mettere in discussione: il concetto di *etere*, ad esempio, si aggirerà ancora come un fantasma tra le teorie della fisica fino all'inizio del Novecento, quando sarà definitivamente sconfitto da Einstein nella sua Teoria della relatività ristretta.

## 1.5 Isaac Newton e la “gravitazione universale”

Isaac Newton (1642-1727) completa l'opera di scardinamento della filosofia naturale aristotelica *estendendo la validità delle leggi terrestri al cielo* e quindi rimuovendo definitivamente quella distinzione tra il corruttibile mondo sublunare e il mondo celeste, regno della perfezione, che nella fisica di Aristotele necessitavano di leggi separate per essere interpretati !!

Il moto dei corpi celesti è spiegato con la forza gravitazionale, che altro non è che la generalizzazione all'intero universo della forza peso terrestre: il moto di un sasso in caduta libera e il moto dei pianeti, quindi, sono regolati dalla stessa forza (che a ragione Newton può chiamare universale), e la fisica appare in grado di comprendere in un unico sistema di leggi sia i fenomeni terrestri che quelli celesti. La matematica e la geometria diventano il linguaggio che rende possibile questo gigantesco passo.

Nasce, però, un problema di tipo nuovo. E' ancora radicata nella cultura scientifica l'ipotesi, tutta aristotelica, che le forze possano agire sui corpi materiali solo attraverso il *contatto*: in che modo, allora, la forza gravitazionale può far sentire il suo influsso sui corpi celesti ? (La Luna e la Terra non sono certo a contatto !!) Lo stesso problema si ripresenta nel corso dell'Ottocento per spiegare l'attrazione elettrica tra cariche di segno opposto. A tale proposito, Newton, con grande umiltà, confessa la sua incapacità di suggerire spiegazioni ragionevoli che possano interpretare la natura di queste forze che sembrano agire a distanza, affermando: “*Hypoteses non fingo*” (“Non avanzo ipotesi”).

I suoi contemporanei, invece, non esitano a riesumare il concetto aristotelico di etere: una sostanza immateriale, trasparente, elastica, incorruttibile ... che riempie di se l'intero Universo e il cui duplice scopo è ora quello di rappresentare il supporto materiale alla “propagazione” della forza gravitazionale e di evitare il vuoto (*horror vacui*) che si potrebbe formare tra un corpo celeste e l'altro in un universo enormemente più grande di quanto non potessero concepire la cultura greca e quella rinascimentale. Può così prendere vita l'idea di azione (forza) *a distanza* (che si affianca a quella aristotelica di azione *a contatto*).

Si tratta, in realtà di una soluzione criticabile, che dimostrerà tutta la sua inadeguatezza quando gli esperimenti di Michelson e Morley alla fine dell'Ottocento provano senza ombra di dubbio l'inesistenza dell'etere. Il concetto di azione a distanza verrà allora definitivamente sostituito da quello di campo di forze.

Per quanto riguarda la visione cosmologica, Isaac Newton poteva veramente diventare il fondatore della cosmologia moderna, se non avesse commesso un errore enorme nel tentativo di *salvare l'immobilismo cosmico*. Newton, come tutti i suoi contemporanei, è sinceramente convinto che le stelle lontane siano fisse e immutabili e poiché egli stesso ha scoperto che in virtù della forza di attrazione gravitazionale i corpi materiali, liberi di muoversi, si attraggono reciprocamente e tendono a collassare verso una massa centrale, per non contraddire il principio (filosofico!!) della staticità ed immutabilità del Cosmo, sostiene che *l'Universo deve essere infinito e popolato uniformemente di stelle in modo che la forza risultante, e quindi il movimento complessivo, risulti nulla*.

Ma se una stella rimane in equilibrio perché attratta in uguale misura da un numero infinito di altre stelle, la stessa cosa dovrebbe valere per la Terra la quale dovrebbe stare ferma perché anch'essa attratta in tutte le direzioni da un numero infinito di stelle. E allora, come può una Terra che deve rimanere ferma, ruotare attorno al Sole ?

Il modello di Universo di Newton si rivela, quindi, non esente da contraddizioni. La soluzione del problema sta nel riconoscere che le stelle non sono fisse: esse si attraggono, ma contemporaneamente si muovono descrivendo traiettorie ellittiche proprio come fanno i pianeti e le comete.

Si dovrà aspettare ancora molto tempo prima di mettere in moto quello che ancora oggi chiamiamo “firmamento”, cioè il luogo degli oggetti fermi. Sarà necessaria la teoria della relatività generale di Einstein per entrare in possesso del quadro concettuale indispensabile per la formulazione del primo modello di Universo di sicuro valore scientifico.

## 1.6 Le prove della rotazione terrestre

1. *la caduta verso est dei gravi*. E' verificata per la prima volta dall'abate Giovanni Battista Gugliemini, che offre in questo modo una prova fisica della rotazione della Terra misurando, grazie a degli esperimenti realizzati a Bologna fra il 1789 e il 1792 una leggerissima deflessione verso est dei gravi in caduta dall'alto di una torre (solo 4 mm di scostamento su una caduta di 30 m, quindi difficilissimo da evidenziare ai tempi di Galileo)
2. *il pendolo di Foucault* (1851). E' Galileo a scoprire le leggi che regolano il moto del pendolo e tra queste vi è quella che afferma che il piano di oscillazione è costante. In realtà, poiché il pendolo si muove sulla superficie della Terra che, a causa della sua rotazione, non è un sistema di riferimento inerziale, il suo moto è influenzato dalle forze “apparenti” (nel caso specifico la forza di Coriolis) che agiscono perpendicolarmente al piano di oscillazione e lo fanno lentamente ruotare dalla sua posizione originaria.

Questo fenomeno era perfettamente visibile anche ai tempi di Galileo, ma lo scienziato pisano, che passa tutta la vita a cercare una prova della rotazione terrestre, non si accorge di avere a portata di mano la soluzione sperata, nonostante lui stesso scriva di aver notato un comportamento “anomalo” del pendolo relativamente a certe irregolarità nel suo modo di oscillare . . . L’esperienza che dimostra definitivamente la rotazione del piano del pendolo, e di conseguenza la rotazione terrestre, é eseguita solo nel 1851 da Foucault a Parigi.

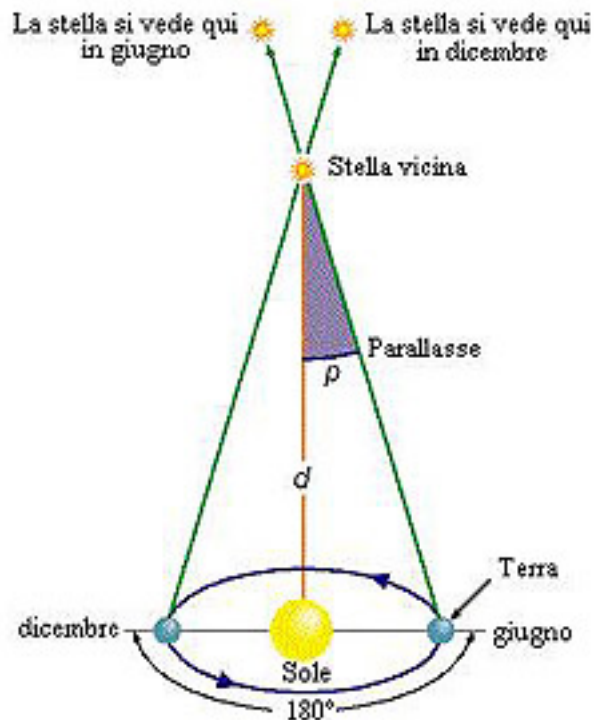


Figura 1.4: Il fenomeno della parallasse consiste in un apparente spostamento della posizione delle stelle vicine rispetto alle stelle lontane quando si osserva il cielo da due posizioni diverse sull’orbita terrestre.

## 1.7 Le prove della rivoluzione terrestre

1. *la parallasse delle stelle vicine* (1838). E’ la prova chiave della rotazione della Terra attorno al Sole e consiste in uno spostamento apparente delle stelle vicine rispetto a quelle più lontane dovuto alla variazione di prospettiva indotta nell’osservatore quando si trova in due punti diversi dell’orbita terrestre. A causa delle grandi distanze in gioco l’effetto è piccolissimo e molto difficile da misurare. Ci provano, inutilmente, Aristarco e Ipparco

nell'antica Grecia, Tycho Brahe e Galileo in epoca più recente. L'effetto viene misurato per la prima volta nel 1838 da Bessel che evidenzia un piccolissimo spostamento apparente della stella 61 Cygni se osservata a distanza di sei mesi. La distanza angolare misurata risulta pari a tre decimi di secondo d'arco, equivalente, per dare un'idea, all'angolo sotto il quale sono visti a occhio nudo due capocchie di spillo separate da 1 mm e poste alla distanza di 1 km dall'osservatore

2. *l'aberrazione della luce*. E' un complesso fenomeno misurato per la prima volta nel 1726 da Bradley. Dipende dal movimento della Terra attorno al Sole e dimostra, tra l'altro, che la luce si muove a velocità elevata ma non infinita.

# Indice

<b>1</b>	<b>La cosmologia copernicana</b>	<b>1</b>
1.1	Copernico e la teoria eliocentrica . . . . .	1
1.2	Il sistema “misto” di Tycho Brahe . . . . .	4
1.3	Le tre leggi di Keplero (1576 - 1630) . . . . .	6
1.4	Galileo (1564-1642) e il telescopio . . . . .	7
1.5	Isaac Newton e la “gravitazione universale” . . . . .	10
1.6	Le prove della rotazione terrestre . . . . .	11
1.7	Le prove della rivoluzione terrestre . . . . .	12