

Capitolo 14

La cosmologia: da Aristotele a Galileo

14.1 La rivoluzione scientifica

Tra la fine del Cinquecento e l'inizio del Settecento ha origine in Europa una profonda revisione metodologica nello studio della Natura che prende il nome di "*rivoluzione scientifica*" e che trova nelle figure del pisano Galileo Galilei (1564-1642) e dell'inglese Isaac Newton (1642-1727) i principali artefici del suo sviluppo.

I nuovi presupposti culturali vedono nell'affermazione del cosiddetto **metodo scientifico** lo strumento principe di questa innovazione. Con il "metodo" sono definitivamente gettate le basi della scienza moderna, la cui nascita segna un allontanamento sempre più marcato dai concetti della fisica aristotelica.

14.2. La filosofia: nasce il pensiero razionale

Una delle principali caratteristiche del "metodo scientifico" è *l'approccio esclusivamente razionale allo studio dei fenomeni naturali*. Il ché, però, non rappresenta di fatto una novità nella storia del pensiero occidentale.

Sappiamo, infatti, come già le antiche civiltà dei Sumeri, degli Assiri, dei Babilonesi e degli Egiziani siano state in grado di sviluppare notevoli conoscenze tecnologiche mettendo a frutto le esperienze artigiane da loro maturate nel corso dei secoli: si pensi, ad esempio, all'invenzione della ruota o alla costruzione delle piramidi. D'altro canto si sa anche che questi popoli non provarono mai a coordinare tutte queste nozioni in una formulazione teorica generale capace di fornire una valida interpretazione della realtà fisica nel suo complesso.

Questo limite intellettuale è in parte imputabile a una concezione **fatalista** dell'esperienza, nella quale il *magico e il soprannaturale* (il **mito**) hanno il sopravvento sullo sviluppo di un pensiero di stampo *razionale* (il **logos**). All'interno di un tale orizzonte culturale, in cui tutto sembra immutabile e predestinato, anche la vita dei singoli uomini, non risulta particolarmente interessante il tentativo di capire la Natura e i suoi fenomeni se non entro gli angusti limiti di quello che è un mero uso applicativo, con fini esclusivamente utilitaristici, delle conoscenze tecniche di volta in volta conquistate.

E' solo con l'avvento della cultura greca che per la prima volta l'Uomo tenta di interpretare la complessa realtà del mondo che lo circonda, di carpirne i segreti per puro e semplice spirito di conoscenza e senza dichiarate finalità tecnico-pratiche. Le ipotesi di partenza sono allora di tipo nuovo, completamente fondate su *paradigmi intellettuali di stampo logico-razionale e non più magico-mitologico*.

Così scrive il Geymonat: "Fin dai primi secoli della Grecia classica si cominciò a distinguere la scienza (*epistème*) dall'opinione (*doxa*): il primo termine designava un tipo di conoscenza assolutamente certa, il secondo invece un tipo di conoscenza priva di certezza. Il cosiddetto problema della conoscenza consisteva nel determinare la via per giungere alla scienza oltrepassando il campo delle mere opinioni."¹

Questo cambiamento di prospettiva rappresenta un passo decisivo nello sviluppo del pensiero occidentale e il vero fattore di novità di cui siamo debitori alla cultura greca antica.

I filosofi greci, quindi, possono essere considerati, in un certo senso, i precursori degli scienziati moderni, perché sono i "sapianti" che più di altri avvertono il bisogno di indagare razionalmente la realtà sensibile e il suo rapporto con l'Uomo.

Poiché la filosofia rappresenta una riflessione del pensiero intorno alla realtà, il tema *gnoseologico* (cioè le possibilità della "conoscenza" intesa come rapporto tra *pensiero ed essere*) è uno dei suoi aspetti caratteristici fin dalle origini. Semplificando il discorso, possiamo affermare che la filosofia greca ha di fatto elaborato i tre modelli di sapere che ancora oggi contraddistinguono la cultura occidentale:

1. un pensiero "forte", espresso da Aristotele, convinto che la ragione sia in grado di pensare compiutamente l'essere, e che si può far risalire ad Aristotele
2. un pensiero "debole", suggerito da sofisti e scettici, per i quali il rapporto tra pensiero e realtà è di fatto impossibile
3. una posizione intermedia, delineata da Platone, che esprime fiducia nelle possibilità della ragione, ma nello stesso tempo non ne nasconde i limiti recuperando il valore conoscitivo del "mito".

L'approccio tradizionale allo studio della filosofia vede il suo nascere come il momento in cui avviene il passaggio dal *mito* al *logos*, ma in una tale affermazione si nasconde "un pregiudizio gnoseologico che vede nel sapere poetico-religioso una forma di pre-sapere, attribuendo solo alla conoscenza razionale la dignità di sapere vero e proprio. Optare per questa impostazione significherebbe avere già aprioristicamente abbracciato un preciso paradigma gnoseologico, nella fattispecie quello di Aristotele, nella convinzione che la piena e perfetta corrispondenza tra pensiero ed essere si possa avere solamente utilizzando quell'ambito ristretto del pensiero che è la razionalità logica"².

In realtà la stessa storia della filosofia ci invita a non "assumere sbrigativamente, quasi fosse un assioma, la pacifica superiorità e compiutezza del sapere logico-razionale ... ,ma a ricordare che la

¹ L. Geymonat – Lineamenti di filosofia della scienza – pag.5, Ed. UTET.

² L. Lacchini, P.C. Rivoltella – Intersezioni filosofiche – pag. 51, Ed. CEDAM.

filosofia stessa, nella sua riflessione epistemologica, ha seriamente problematizzato, al di là di ogni banalizzazione, il rapporto assai complesso tra *mythòs* e *logos*, e che una fiducia incondizionata in una ragione forte va probabilmente ridimensionata.”³

In senso storico si è soliti far coincidere il periodo di nascita della filosofia con la figura di *Talete di Mileto*, vissuto nel VI sec. a.C.. Con lui prende l'avvio una profonda indagine teoretica volta alla ricerca del *principio ultimo* su cui si fonda la realtà sensibile. Questa indagine costituisce il primo passo verso una comprensione razionale del mondo e sfocia in una serie di ipotesi attraverso le quali tutta la molteplicità di forme con cui la Natura si manifesta viene inizialmente ricondotta a poche o, addirittura, ad un'unica sostanza originale: **l'archè**.

Ai fini del nostro discorso, è però importante porre l'accento anche su quello che, di fatto, rappresenterà un limite evidente del pensiero greco, almeno nell'ambito della filosofia naturale: l'implicita convinzione, cioè, che il fine ultimo della conoscenza sia solo quello di stabilire **l'essenza** ed **il perché** delle cose, piuttosto che quello di indagare “**il come**” queste avvengano.

Una tale speculazione, quindi, è *più qualitativa che quantitativa*, e questa caratteristica di fondo **non conduce il filosofo alla misurazione della realtà fisica**, ma alla creazione di sistemi di pensiero che spesso, ancorché coerenti dal punto di vista logico, *risulteranno molto lontani da una corretta spiegazione dei fenomeni naturali*.

Lo studio della Natura attraverso i modelli filosofici elaborati dal pensiero greco raggiunge il suo punto più alto nella *Fisica* di **Aristotele** (384 a.C. – 322 a.C.), le cui conclusioni rimarranno un punto di riferimento indiscusso (e indiscutibile!!) fino all'inizio del 1600.

14.3. La sfericità della Terra

Alcune evidenze osservative che vanno affinandosi nel tempo, quali il mutamento del cielo notturno con la latitudine (per cui, se ci si sposta da nord a sud, le stelle visibili non sono sempre le stesse in ogni luogo) porta inesorabilmente ad abbandonare la concezione primitiva di una Terra piatta. Dall'Egitto, infatti, sono chiaramente visibili delle costellazioni che non possono assolutamente essere scorte dalla Grecia e, viceversa, alcune stelle circumpolari (ad esempio dell'Orsa Maggiore) che non tramontano mai in Grecia, sono viste scendere sotto l'orizzonte terrestre quando vengono osservate dall'Egitto. Anche il fatto che quando una nave si allontana dalla vista fino a scomparire in mare aperto spariscono sotto l'orizzonte prima lo scafo e solo in un secondo tempo le vele, tende ad avvalorare la stessa ipotesi.

Tali osservazioni, alla portata non solo dei filosofi ma anche di mercanti, carovanieri o di chiunque in quei tempi aveva la possibilità di compiere lunghi viaggi per terra o per mare, inducono necessariamente a presupporre una qualche *curvatura* della superficie terrestre.

E' Aristotele (384-322 a.C) a suggerire una dimostrazione logicamente corretta della sfericità terrestre facendo notare come, durante le eclissi di Luna, *l'ombra che la Terra proietta sul nostro satellite ha sempre un contorno circolare* da qualunque punto del pianeta si osservi il fenomeno.

14.4. Eratostene misura il diametro terrestre

La misura delle dimensioni della Terra viene eseguita per la prima volta da Eratostene di Cirene intorno al 230 a.C.

³ L. Lacchini, P Rivoltella – Intersezioni filosofiche – pag. 52, Ed. CEDAM.

Il suo calcolo si basa sull'osservazione che un bastone piantato verticalmente nel terreno e posto a Siene (Assuan) in Egitto il giorno del solstizio d'estate a mezzodì non proietta nessuna ombra. Ciò significa che, in quel giorno e a quell'ora, il Sole si trova esattamente allo zenit. Nello stesso giorno dell'anno e alla stessa ora, un bastone uguale piantato ad Alessandria d'Egitto proietta invece un'ombra ben visibile che indica una inclinazione di $7^{\circ} 12'$ dei raggi solari rispetto alla verticale. Poiché Alessandria si trova quasi esattamente a nord di Siene, il valore trovato di $7^{\circ} 12'$ indica la differenza di latitudine tra i due luoghi.

A partire da queste premesse e conoscendo la distanza tra Siene e Alessandria (circa 5 000 stadi, dove 1 stadio valeva circa 157 metri), Eratostene può calcolare, per mezzo di una semplice proporzione, la misura della circonferenza e del diametro terrestre. Infatti, poiché $7^{\circ} 12'$ rappresentano un cinquantesimo dell'angolo giro (360°), anche la distanza Siene-Alessandria deve essere la cinquantesima parte della circonferenza terrestre. Le stime della distanza tra le due città si basavano, nota curiosa, sul tempo impiegato dalle carovane dei cammellieri per percorrere tale tragitto, e sul tempo impiegato dai cosiddetti "corridori professionisti" per recapitare i messaggi tra le due città.

Nonostante l'originalità del metodo usato, in verità l'unico possibile per l'epoca, il risultato ottenuto è molto preciso e consente ad Eratostene di ottenere un valore pari a circa 12 629 km (80 000 stadi), una misura straordinariamente vicina a quella oggi accettata (inferiore soltanto di circa 113 Km: il valore corretto del diametro terrestre è infatti di 12 742 Km). Il risultato ottenuto da Eratostene è così vicino al vero, che ancora oggi si rimane sorpresi del fatto che con i mezzi a sua disposizione egli sia riuscito a produrre un valore tanto accurato.

La misura viene in seguito ripetuta diverse volte anche da altre persone, ma i valori ottenuti sono spesso differenti e contraddittori. Fra gli altri vi è il risultato calcolato da Posidonio di Apamea (135-51 a.C.) il quale, partendo dal calcolo della differenza di latitudine fra Rodi ed Alessandria, ottiene un valore nettamente inferiore a quello reale.

Purtroppo è proprio questa misura, detta in seguito "la piccola misura di Posidonio", a venire riportata dall'astronomo alessandrino Tolomeo (100-178 d.C.) nel suo libro di astronomia, il più famoso ed importante dell'antichità, *l'Almagesto*, e per questo motivo ad essere ritenuta per tutto il Medioevo la più corretta.

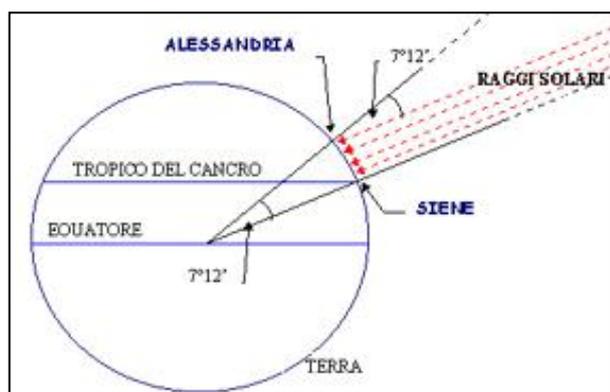


Fig. 1 - Il metodo di Eratostene per la misura del diametro terrestre

È interessante notare che tutti questi risultati erano perfettamente noti alla commissione di esperti del Re Ferdinando di Spagna che alla fine del 1400 fu incaricata di esaminare la proposta di Cristoforo Colombo di raggiungere l'Oriente navigando verso Occidente. Gli esperti si opposero al progetto di Colombo perché, usando il valore originale di Eratostene, essi calcolarono correttamente di quanto l'India era ad ovest della Spagna, e conclusero che la distanza era eccessiva, mentre Colombo aveva eseguito una sua propria valutazione utilizzando il valore più piccolo riportato da Tolomeo. La spedizione, infatti, sarebbe miseramente fallita per l'impossibilità di coprire in mare aperto una distanza come quella che realmente separa l'Europa dall'Oriente se Colombo non avesse incontrato, nel suo cammino, un nuovo continente.

Una storiografia distorta e maliziosa ha creato la leggenda secondo la quale l'idea che la Terra fosse piatta era quella più accreditata anche in ambiente colto. In realtà l'ipotesi che la Terra avesse

forma sferica risale alla cultura greca ed era generalmente condivisa dalla maggior parte degli studiosi e dei filosofi di fine Medio Evo.

Il seguente brano di Aristotele prova come la concezione della sfericità della Terra fosse ben chiara già a partire dal III sec. a.C.:

“ ... ancora, l'osservazione delle stelle rende evidente non solo che essa è sferica, ma anche che non è di grandi dimensioni. Infatti un piccolo cambiamento di posizione verso sud o nord provoca una manifesta alterazione dell'orizzonte. Intendo che c'è un grande cambiamento nelle stelle che abbiamo sopra: le stelle sono viste in posizioni differenti, muovendosi a sud e a nord... Inoltre ci sono stelle visibili in Egitto o vicino a Cipro, che non sono viste nelle regioni settentrionali, e stelle, che nel nord sono sempre visibili, che nelle regioni meridionali sorgono e tramontano.

Tutto ciò va nel senso di mostrare non solo che la terra è di forma circolare, ma anche che è una sfera di non grandi dimensioni; senno' l'effetto di un piccolo cambio in posizione non sarebbe così evidente. Quindi non è così incredibile ciò che alcuni affermano, che vi sia continuità tra le colonne d'Ercole e l'India e che via sia un unico Oceano.”

Aristotele (350 a.C.): “De Coelo”, libro III

14.5. Aristotele: un modello “forte” del conoscere

La concezione della conoscenza per Aristotele si fonda su alcune linee guida che, per semplicità, potrebbero essere ricondotte alle seguenti riflessioni:

- a) il “**sapere**” è unico, ma gli oggetti di tale sapere sono diversificati e necessitano il ricorso a più scienze, variamente organizzate e gerarchizzate tra loro per importanza
- b) la forma più completa di conoscenza è quella che porta ad individuare le **cause** di un dato fenomeno, che per lo Stagirita sono le seguenti:
 - a. **causa efficiente**, relativa a chi o a che cosa lo abbia prodotto
 - b. **causa materiale**, di quale materia sia costituito
 - c. **causa finale**, quale sia lo scopo della sua esistenza
 - d. **causa formale**, quale sia la sua *essenza*.

Quando si arriva a quest'ultimo punto si è finalmente scoperta l'**essenza** del fenomeno che è immutabile ed universale e una volta conosciuta lo sarà per sempre.

- c) le varie scienze possono arrivare alla conoscenza delle cause e delle essenze delle cose in modo diverso, con minore o maggiore profondità, e quindi esiste una gerarchia tra esse che vede al posto più basso le **scienze poietiche**, ovvero quello che sfociano in una applicazione pratica, in una tecnica (il costruire, il suonare, il curare...). Ad un livello superiore si trovano le **scienze pratiche**, che si occupano dell'agire in senso etico e queste sono le scienze morali. Al posto più alto si trovano le scienze **teoretiche**, speculative, che si interessano solo della conoscenza fine a se stessa e non al suo utilizzo in senso pratico o morale. Esse sono la *matematica*, la *fisica*, e, la *metafisica*. E' la *metafisica* ad occupare il vertice della piramide, in quanto volta a determinare le cause e i principi supremi della realtà nel suo complesso.

La vera scienza è dunque, per Aristotele, un'indagine sulle cause: “*Verum scire est scire per causas*”. Il metodo con cui tale indagine deve essere condotta è la **logica**, che sola può assicurare l'elaborazione di teorie coerenti, non contraddittorie e, in definitiva, “vere”.

Lo strumento principe della logica risulta essere il **sillogismo**, attraverso il cui uso, muovendo da premesse “vere e certe”, solo per via deduttiva ed utilizzando principi logici primi, si può arrivare a verità certe e non contraddittorie.

14.6. La cosmologia in Aristotele

La visione cosmologica aristotelica si basa sui seguenti punti fondamentali:

- al centro dell’Universo si trova la Terra, immobile e di forma sferica. Attorno ad essa, trasportati da *sfere cristalline* assolutamente trasparenti alla vista e per questo invisibili, si muovono i pianeti e la sfera delle “stelle fisse”. Queste ultime hanno posizioni reciproche che non cambiano nel tempo, dando forma stabile alle costellazioni, anche se partecipano al moto apparente del cielo notturno comune a tutti gli astri. Su questo sfondo immutabile si trovano i pianeti, i cui movimenti rispetto le stelle fisse diventano evidenti ad occhio nudo anche dopo intervalli di tempo di pochi mesi: l’etimologia del nome “pianeta”, infatti, deriva dalla lingua greca e vuol dire “vagabondo”
- Cielo e Terra sono luoghi *nettamente divisi* non solo da un punto di vista fisico, ma anche e soprattutto filosofico: sono governati da leggi differenti, contraddistinti da un diverso tipo di movimento e formati da sostanze profondamente dissimili
- il mondo sublunare è composto dai quattro elementi già suggeriti da Empedocle: *aria, terra, acqua e fuoco*; il mondo celeste da un quinto elemento, *l’etere*, invisibile, impalpabile, incorruttibile, puro e trasparente che riempie l’Universo senza lasciare spazi vuoti. L’esistenza del “vuoto” è per Aristotele inconcepibile; la sua convinzione in proposito è diametralmente opposta a quella di Democrito, per il quale la materia è costituita da atomi perennemente in moto in uno spazio completamente “vuoto”
- il moto caratteristico del mondo sublunare è il *moto rettilineo*, attraverso il quale i vari corpi tentano di ricongiungersi al loro “luogo naturale”: questo “luogo” è rappresentato dalla Terra per gli oggetti pesanti quali l’acqua e la terra, e dal Cielo per gli oggetti leggeri come l’aria e il fuoco. Una tale interpretazione “finalistica” spiega la tendenza degli oggetti pesanti a cadere verso il basso e di quelli leggeri a salire verso l’alto
- le sfere cristalline si muovono invece di *moto circolare uniforme* (il moto perfetto, caratteristico dell’armonia celeste, come del resto lo sono le figure geometriche della circonferenza e della sfera) e la causa del loro moto, che si propaga da una sfera all’altra per attrito, è da ricercarsi nell’intervento iniziale sulla sfera più esterna, e solo su di essa, dell’Ente Supremo, il *Primo Motore Immobile* (immobile perchè, se si dovesse muovere, il suo moto dovrebbe essere spiegato dalla presenza di un altro ente). Sulle sfere che circondano la Terra vi sono, nell’ordine: la Luna, Mercurio, Venere, il Sole, Marte, Giove, Saturno e infine le stelle fisse, bagliori di quella luce soprannaturale che riempie di se l’Empireo
- i corpi celesti sono oggetti puri, perfetti ed immacolati; hanno forma sferica perchè, riprendendo l’assunto platonico, la sfera è il simbolo della perfezione e quindi meglio di altro si addice a rappresentare la perfezione del Cielo. Lo stesso dicasi del moto circolare uniforme, il più filosoficamente perfetto tra i moti possibili.

Fu però un grave errore quello di attribuire una realtà fisica (non solo teorico-filosofica) alle sfere cristalline, facendo coincidere un modello puramente geometrico ed ideale con l’essenza stessa della realtà. Tale convinzione spinse la filosofia antica a cercare di combinare i gruppi separati di sfere in un unico complicatissimo sistema meccanico di sfere concentriche legate le une alle altre.

Per riuscire a dare spiegazione ai complicati moti dei pianeti, il sistema cosmologico aristotelico arrivò a prevedere un totale di 55 sfere diverse!!

Il modello delle sfere cristalline concentriche diviene così parte di una descrizione “fisica” dell’Universo. Non rappresenta solo una rappresentazione astratta e teorica del Mondo, utile perché “funziona” bene nell’interpretare i moti dei pianeti e delle stelle, ma una rappresentazione “reale” che pretende di dire come è veramente strutturato l’intero Universo.

14.7. Le irregolarità dei moti planetari

Con il progredire delle osservazioni astronomiche e con il miglioramento della precisione nella misura delle posizioni dei pianeti, ci si rende ben presto conto che i moti planetari descritti dalle varie teorie cosmologiche non sembrano in grado di interpretare in modo corretto quanto avviene sulla volta celeste. Le traiettorie dei corpi celesti, almeno così come appaiono nella loro proiezione sullo sfondo delle stelle fisse, non sono per nulla regolari e ad una osservazione accurata manifestano le seguenti anomalie:

1. le **traiettorie** non sono degli archi di circonferenza come quelle che vediamo descritte in cielo dal Sole o dalla Luna, ma delle curve irregolari che formano dei “cappi”; nel percorrere questi “cappi” il pianeta si ferma, inverte il suo moto e poi riprende il cammino nella direzione originaria
2. la **velocità** con cui i pianeti sono visti spostarsi in cielo “non ha valore costante”: in alcuni tratti vi è una accelerazione, in altri una decelerazione
3. la “**luminosità** dei pianeti cambia nel tempo” (soprattutto quella di Venere e Marte), lasciando supporre che sia variabile in proporzione ed essa la distanza del pianeta dalla Terra.

Il modello proposto da Aristotele non è in grado di spiegare nessuna di queste anomalie.

14.8. Il modello “ad epicicli” di Tolomeo

A partire dalle analisi sulle irregolarità dei moti planetari prima Eraclide (390-310 a.C.), poi Ipparco e infine Tolomeo (II sec. d.C.) giungono ad elaborare quella teoria che passerà alla storia con il nome di *teoria degli epicicli* e che rappresenterà per circa 1 500 anni il punto di riferimento indiscusso per tutta la cultura astronomica e filosofica occidentale.

Nella sua opera più importante, *l’Almagesto*, Tolomeo ribadisce in modo definitivo le ipotesi cosmologiche fondamentali:

1. il raggio della Terra è posto pari a 20 500 stadi, cioè 3 200 km (in questo caso , Tolomeo dà maggior credito alla misura di Poseidonio, più piccola di quella correttamente calcolata da Eratostene e che risultava essere di 6 300 km: è utile ricordare che il raggio terrestre è oggi valutato in circa 6 370 km)
2. la Terra è ferma al centro dell’intero Universo. Tolomeo si rifiuta di concepire un suo eventuale moto di rotazione e di rivoluzione attorno al Sole. Nel far ciò riprende le critiche che giudicano impossibile la rotazione terrestre per i seguenti motivi:
 - a. l’elevata velocità di rotazione del pianeta dovrebbe causarne la disintegrazione

- b. l'atmosfera e tutti gli uccelli che volano in cielo dovrebbero essere spazzati via dal moto di rotazione e di rivoluzione terrestre
- c. l'assenza della *caduta verso Est dei gravi* supporta l'ipotesi di una Terra statica: se così non fosse, un corpo fatto cadere dall'alto di una torre lungo la verticale non dovrebbe toccar terra ai piedi della torre, ma in un punto spostato più ad Est a causa della sua maggiore velocità tangenziale iniziale. Poiché il fenomeno sembra non sussistere, afferma Tolomeo, la Terra non può ruotare su se stessa.

Il maggior merito del sistema tolemaico è però quello di risolvere le anomalie dei moti planetari.

Il moto orbitale dei pianeti, infatti, viene ora interpretato attraverso *la teoria degli epicicli*. Secondo questo modello ogni corpo celeste è costretto a muoversi su una circonferenza minore (l'**epiciclo** propriamente detto) il cui centro si muove di moto circolare uniforme su una traiettoria di raggio maggiore (il **deferente**). Ed è il "deferente" ad avere al proprio centro la Terra. Il moto combinato di questi due moti circolari riesce a creare un movimento risultante che, se visto da Terra, non solo forma dei "cappi", ma presenta anche le anomalie relative all'inversione del moto.

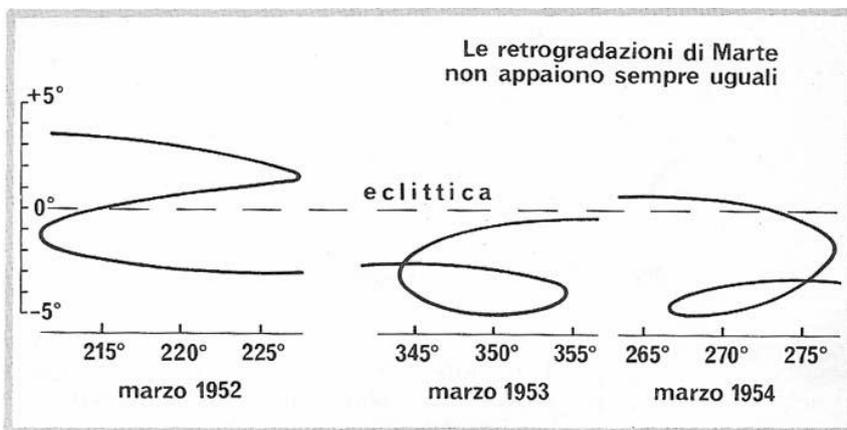
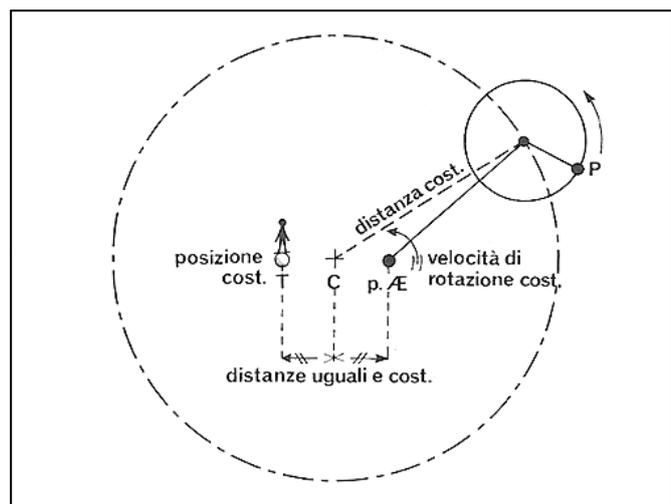


Fig. 2 - Il moto apparente dei pianeti in cielo sembra descrivere dei "cappi" e non degli archi di circonferenza.

Fig. 3 - Rappresentazione del modello ad epicicli; in evidenza il "deferente", il "punto equante" e la posizione non perfettamente centrale della Terra



Per interpretare al meglio i dati osservativi, Tolomeo porta poi al limite estremo i principi platonici relativi alla perfezione dei moti circolari introducendo due geniali "anomalie":

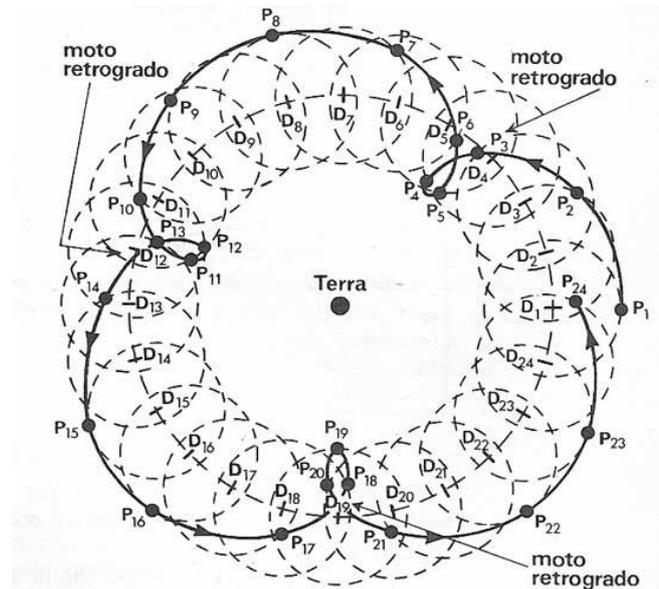
- la Terra viene posta in posizione leggermente eccentrica in modo tale da non occupare il centro del deferente (ciò introduce una maggiore variazione della distanza Terra-pianeta, fenomeno a cui Tolomeo giustamente attribuisce la causa delle differenze periodiche di luminosità di questi ultimi)

- l'uniformità del moto circolare è ora soddisfatta solo se si osserva il pianeta da un punto simmetrico della Terra e posizionato dalla parte opposta rispetto al centro del deferente: il cosiddetto *punto equante* ("punctum aequans"). L'introduzione di questo artificio consente di spiegare le variazioni di velocità dei pianeti sulle loro orbite e contemporaneamente di salvare il principio filosofico dell'uniformità dei moti: l'uniformità continua ad esistere, ma solo rispetto al *punto equante*, e non rispetto alla Terra.

La cosa sorprendente è che il modello geocentrico di Tolomeo, sebbene molto lontano dalla realtà delle cose, funziona in modo soddisfacente anche in termini di predizione della posizione dei pianeti, almeno relativamente al grado di precisione ottenibile all'epoca.

Arriva così a compimento un preciso sistema geometrico-filosofico che sembra interpretare alla perfezione la realtà cosmica. Anche per questo motivo dalla pubblicazione dell'Almagesto di Tolomeo devono passare ben 14 secoli prima di vedere qualche progresso significativo nello sviluppo delle scienze astronomiche.

Fig. 4 - La composizione dei due moti circolari del pianeta, sull'epiciclo e sul deferente, compone un moto complessivo che, visto dalla Terra, rappresenta in modo soddisfacente l'andamento irregolare dei corpi celesti in cielo



14.9. La disputa tra platonici e aristotelici

Nel corso del Quattrocento, in pieno umanesimo, la riscoperta di Platone sviluppatasi nell'ambito delle Accademie fiorentine, e il rinnovato interesse per Aristotele che ha come centro di diffusione l'Università di Padova, danno vita a una "disputa" sulla superiorità presunta delle rispettive scuole di pensiero. Tale acceso dibattito avrà conseguenze non trascurabili sull'ormai imminente nascita della scienza moderna.

I **platonici** sono coloro che, pur ponendo in primo piano l'esigenza di una rinascita religiosa, vedono in Platone sia la sintesi di tutto il pensiero antico, sia la figura che può contrastare la filosofia scolastica, perché il suo filosofare aperto e problematico "appare il più adatto a esprimere l'inquietudine dell'uomo e la complessità dinamica del reale."⁴

Gli **aristotelici**, d'altro canto, tendono soprattutto alla rinascita della ricerca razionale, con particolare interesse alla filosofia della natura e alla libera ricerca naturalistica.

"Tuttavia, l'aristotelismo del Rinascimento mostra paradossalmente i suoi limiti proprio in relazione a questi stessi punti che sanciscono la sua importanza storica. Infatti, dando per scontata la validità delle dottrine scientifiche del maestro, i suoi seguaci rinascimentali continuarono tendenzialmente a spiegare la realtà secondo gli schemi della *Fisica* aristotelica, ostinandosi a voler im-

⁴ N. Abbagnano, G. Fornero – La filosofia vol 2A, pag.26. –Ed.Paravia.

brigliare i fenomeni della natura mediante nozioni metafisiche come i concetti di *essenza e di causa finale* e restando legati ad una considerazione *qualitativa* del mondo. In secondo luogo, l'appello alla ragione e all'osservazione scientifica dei fatti risultò generalmente vanificato dal simultaneo appello all' *Ipse dixit* di Aristotele ...

Ciò spiega perché l'aristotelismo rinascimentale, pur con tutti i suoi meriti, abbia finito per assumere una funzione oggettivamente conservatrice nell'ambito delle scienze naturalistiche, obbligando la nascente scienza fisica a entrare in urto con esso.⁵

14.10. 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.

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) perchè 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) perchè apre la mente ad una nuova concezione del mondo e dell'universo, del quale l'Uomo non occupa più “il centro”, almeno in senso geometrico: in teologia, perchè si scontra con l'interpretazione letterale dei testi sacri.

L'ipotesi eliocentrica, fondamento della teoria copernicana, non è 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. tutti i pianeti si muovono lungo orbite il cui centro è il Sole, che quindi è al centro dell'Universo
2. la distanza fra la Terra ed il Sole, paragonata alla distanza fra la Terra e le stelle del Firmamento, è estremamente piccola
3. 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
4. la Terra e gli altri pianeti si muovono intorno al Sole, ed i movimenti che questo sembra compiere durante il giorno e nelle diverse stagioni dell'anno altro non sono altro che l'effetto del reale movimento della Terra
5. i movimenti della Terra e degli altri pianeti intorno al Sole possono spiegare i punti di fermata apparente, le inversioni di moto, le stagioni e le altre particolarità dei movimenti planetari.

Copernico fonda tutte le affermazioni precedenti su tre postulati filosofici fondamentali, di evidente **origine neoplatonica**:

- l'Universo ha forma sferica
- la Terra ha forma sferica
- i moti dei pianeti sono moti circolari uniformi.

Per Copernico, la mancanza di uniformità non è ammissibile perché: “...l'intelletto indietreggia con orrore, essendo indegno di sostenere una tale veduta intorno ai corpi, che sono costituiti

⁵ N. Abbagnano, G. Fornero – La filosofia vol 2A, pag.29. –Ed.Paravia.

nell'ordine più perfetto.” Ecco, quindi, l'importanza della sfera e della circonferenza, che rappresentano le linee guida del suo lavoro in quanto simboli filosofici di perfezione, ispirati dalla cultura neoplatonica del primo Cinquecento.

Un altro punto che Copernico ritiene 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.

Quello che Copernico non può ancora sapere è che le orbite planetarie non sono effettivamente circolari e che i moti dei pianeti non sono per niente uniformi: questo fatto è il motivo per cui anche il nuovo sistema eliocentrico fallisce nel predire con precisione e su lunghi intervalli di tempo la posizione futura dei pianeti sulla volta celeste. La persistenza di queste anomalie causa l'introduzione anche nel modello copernicano di epicicli ed eccentrici, ma il risultato finale di questo successivo lavoro di aggiustamento modifica lo schema originale facendogli perdere gran parte di quella semplicità teorica che lo caratterizzava. In alcuni casi (ad esempio per spiegare il sistema Sole-Terra) *lo schema eliocentrico risulta addirittura più complesso di quello tolemaico.*

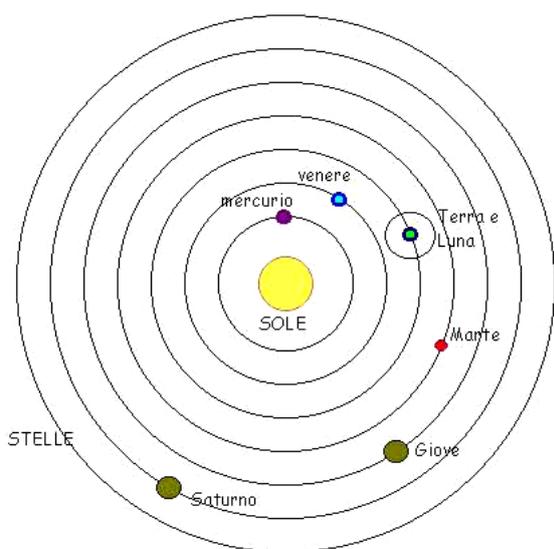


Fig. 5 - Il Sole e i pianeti secondo il modello eliocentrico copernicano

In conclusione, il sistema copernicano mostra i seguenti profondi limiti:

- ha una struttura ancora costruita sugli epicicli
- i moti dei pianeti (che nella realtà avvengono su orbite ellittiche), sono interpretati attraverso composizioni di orbite solo circolari
- dal punto di vista esclusivamente astronomico, *non è in grado di fornire risultati globalmente migliori* in termini di predicibilità dei moti planetari di quanto non riesca a fare il vecchio modello tolemaico!!

Proprio per questo ultimo motivo la nuova teoria, accanto a convinti sostenitori, trova alcuni irriducibili oppositori persino tra i migliori astronomi del tempo. Il più famoso tra questi è senz'altro il danese Tycho Brahe.

14.11. Le tre leggi di Keplero

Nato in Danimarca, a Knudstrup, nel 1546, **Tycho Brahe** 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 moltissimo la precisione delle misure astronomiche fino ad allora eseguite.

Nel 1600 Tycho Brahe finisce alla corte di re Rodolfo II con l'incarico di *Mathematicus imperialis* ed è qui che incontra **Giovanni Keplero**, che diventa suo allievo. Il rapporto tra i due astronomi risulta difficoltoso, ma anche molto breve. Tycho, infatti, muore nel 1601 lasciando in eredità al suo giovane allievo più di 30 anni di osservazioni precisissime sulle posizioni dei tutti i pianeti, tra cui quelle di Marte che sembrava essere il pianeta il cui moto più si allontanava dalle previsioni del modello Copernicano.

La più importante innovazione di Keplero è 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.

Keplero riafferma l'ipotesi eliocentrica, ma è 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 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 è più veloce nei pressi del perielio e più lento nei pressi dell'afelio. Precisamente, il *raggio vettore* (cioè il segmento che unisce il pianeta al Sole) *copre aree uguali in tempi uguali*.

TERZA LEGGE - Il quadrato del periodo T di rivoluzione del pianeta attorno al Sole è proporzionale al cubo del semiasse maggiore R dell'orbita, e la costante di proporzionalità k dipende dal corpo centrale (nel caso dei pianeti, il Sole):

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

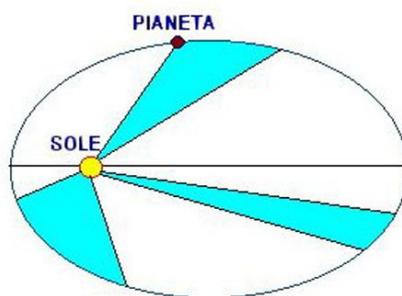


Fig. 6 - Terza legge di Keplero: il “raggio vettore” copre aree uguali in tempi uguali. Ne consegue che la velocità del pianeta sui tre tratti dell'orbita in figura non può essere costante.

E' opportuno ricordare che 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.

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*.

14.12. La nascita del metodo scientifico

Analizziamo i caratteri fondamentali del cosiddetto “metodo scientifico” utilizzando alcuni passi tratti dalle stesse opere di Galileo.

Il rifiuto del principio di autorità (concetto spesso riferito ad Aristotele e sintetizzato dal detto: “*Ipse dixit*”). Galileo afferma, invece, che nelle scienze naturali la conoscenza (“l’apprendersi al vero”) ha un oggettivo riscontro con la realtà, basta applicare il corretto metodo: allora le conclusioni di “un mediocre ingegno” che segua questo metodo valgono più dell’opinione anche di un grande filosofo.

“... Ma nelle scienze naturali, le conclusioni delle quali son vere e necessarie ne’ vi ha che far nulla l’arbitrio umano, bisogna guardarsi di non si porre alla difesa del falso, perché mille Demosteni e mille Aristoteli resterebbero a piede contro ad ogni mediocre ingegno che abbia avuto ventura di apprendersi al vero...”.

Galilei, *Dialogo sui Massimi sistemi*.

La distinzione tra conoscenza filosofica e scientifica, ciascuna delle quali si pone domande diverse sulla realtà cui tenta di rispondere con diverso metodo di indagine; mentre la filosofia si occupa dei sistemi ultimi (le “essenze”) della realtà, la conoscenza scientifica si limita ad isolare alcune caratteristiche dei fenomeni (le “affezioni”) che si possono cogliere senza ambiguità. Si pongono qui le premesse affinché, nell’analisi dei fenomeni naturali, si attui quel passaggio dalla ricerca dell’**essere** e del **perché** delle cose (“tentar le essenze ... é impresa vana”) allo studio relativo al **come** i fenomeni avvengano.

“...Perché, o noi vogliamo speculando tentar di penetrar l’essenza vera ed intrinseca del le sostanze naturali; o noi vogliamo contentarci di venir in notizia d’alcune loro affezioni. Il tentar l’essenza, l’ho per impresa non meno impossibile e per fatica non meno vana delle prossime sostanze elementari che nelle remotissime cose celesti (...). Ma se vorremo fermarci all’apprensione di alcune affezioni, non mi par che sia da disperare di poter conseguirle anco nei corpi lontanissimi da noi, non meno che nei prossimi...”.

Galilei, *Lettera delle macchie del Sole*.

La scelta di descrivere i fenomeni riferendosi a caratteristiche misurabili (come le dimensioni di un oggetto, la sua massa o le coordinate che ne precisano la collocazione nello spazio e nel tempo), le uniche che si accompagnano “necessariamente” alla “materia o sostanza corporea”. In pratica, una tale opzione si concretizza nel considerare grandezze fisiche solo le caratteristiche misurabili di un corpo.

“Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch’ella é terminata e figurata di questa o di quella figura, ch’ella in relazione ad altre é grande o piccola, ch’ella é in questo o in quel luogo, in questo o in quel tempo, ch’ella si muove o sta ferma, ch’ella tocca o non tocca un altro corpo, ch’ella é una o poche o molte, n’è per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch’ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata.”

Galilei, *Il Saggiatore*.

La scelta del “linguaggio matematico” come mezzo per esprimere in modo inequivocabile i contenuti della “nuova filosofia della natura”, cioè la nascente *fisica*:

“La filosofia é scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l’universo), ma non si può intendere se prima non s’impara a intendere la lingua e conoscere i caratteri, nei quali é scritto. Egli é scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi é impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto...”

Galilei, *Il Saggiatore*

L’elaborazione di una teoria generale; ad essa si arriva per *induzione*, cioè attraverso l’analisi di molte esperienze ripetute, anche tra loro diverse, delle quali si cercano di mettere in evidenza le caratteristiche di fondo, gli elementi teorici essenziali, utilizzati per fondare una visione sintetica e complessiva dell’intero fenomeno. Anche in questa fase, il linguaggio matematico gioca un ruolo fondamentale

La critica della teoria attraverso l’esperienza, cioè attraverso la riproduzione controllata in laboratorio del fenomeno studiato, con il quale, attraverso una nuova serie di misure, si pone la teoria sotto giudizio valutandone criticamente la correttezza esplicativa, con la consapevolezza dell’inevitabile fallimento dell’impianto teorico qualora questo dovesse dimostrarsi inadeguato o fallace nell’interpretazione di anche una sola situazione sperimentale. Da qui la decisione di non affidarsi ai sensi, ovvero al cosiddetto “senso comune” della realtà, ma di sottoporre ogni ipotesi al vaglio di un “esperimento” svolto in condizioni controllate (le “sensate esperienze”).

SIMPLICIO - (. . .) io resto assai ben capace che il negozio deva succeder cos’i, posta e ricevuta la definizione del moto uniformemente accelerato. Ma se tale sia poi l’accelerazione della quale si serva la natura nel moto dei suoi gravi discendenti, io per ancora ne resto dubbioso: e però, per intelligenza mia e di altri simili a me, parmi che sarebbe stato opportuno in questo luogo arrear qualche esperienza di quelle che si è detto esservene molte, che in diversi casi s’accordano con le conclusioni dimostrate. SALVIATI - Voi, da vero scienziato, fate una ben ragionevole domanda; e cos’i si costuma e conviene nelle scienze le quali alle conclusioni naturali applicano le dimostrazioni matematiche, come si vede ne i prospettivi, negli astronomi, ne i meccanici, ne i musici ed altri, li quali con sensate esperienze confermano i principi loro, che sono i fondamenti di tutta la seguente struttura.

Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*

L’applicazione della teoria a nuovi fenomeni attraverso un processo di *deduzione*, per cui i risultati conseguiti vengono utilizzati per risolvere problematiche nuove, diverse da quelle di partenza, ma comunque connesse all’interno di una fenomenologia comune.

Anche se Galileo non tratta mai esplicitamente nelle sue opere il problema del metodo, tuttavia é possibile estrarre dai suoi testi la necessità di un rapporto dialettico tra “sensate esperienze” e “matematiche dimostrazioni” e, di conseguenza, l’importanza di uno stretto legame tra il momento induttivo e quello deduttivo nell’elaborazione di una teoria scientifica

A differenza del modello scientifico aristotelico, in cui la teoria non rischia la prova dell’esperienza nel senso che non fornisce alla natura un linguaggio (matematico) che le consenta di esprimersi in un modo comprensibile all’Uomo, l’esperimento galileiano pone concretamente in

rapporto tra loro “le sensate esperienze” e le “matematiche dimostrazioni”, affidando all’esperimento e solo ad esso l’ultima parola sulla bontà di ogni teoria scientifica.

I capisaldi logici del metodo sono invece da rintracciarsi nel procedimento di *induzione* e in quello di *deduzione*.

L’induzione consiste nell’osservare una serie di fenomeni particolari e nel ricavare da tali misure le leggi generali che reggono tutti i fenomeni dello stesso tipo: si ha cioè il passaggio “dal particolare all’universale”.

La deduzione consiste invece nel supporre come punto di partenza una legge generale e nell’estenderne la validità a tutta una serie di fenomeni diversi, ma tra loro intimamente collegati: in questo modo si attua un passaggio logico “dall’universale al particolare”. Ad esempio, quando osserviamo che, nel vuoto, un sasso e una piuma cadono con la stessa velocità, concludiamo per induzione che, in assenza di attriti, “tutti i corpi cadono secondo la stessa legge indipendentemente dalla loro massa”. Ma quando, in base a tale legge, prevediamo che gli stessi corpi si devono comportare allo stesso modo, eventualmente con accelerazione diversa, se trasportati sulla superficie di un qualunque pianeta dell’Universo, operiamo per deduzione.

E ancora: se osserviamo un particolare metallo dilatarsi in funzione della temperatura, operando per induzione ricaviamo la legge della dilatazione termica, ma quando, usando la stessa legge, prevediamo che é opportuno interrompere qualche centimetro i binari ferroviari ogni 50 metri di lunghezza per evitare che il riscaldamento solare li deformi, operiamo per deduzione.

14.13. Galileo e il cannocchiale

L’opera di Galileo è 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 cannocchiale, 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 cannocchiale 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 sicuramente non ruotano attorno alla Terra. Inoltre, proprio il loro movimento attorno a Giove è una prova contro la consistenza materiale delle sfere cristalline teorizzate da Aristotele che, altrimenti, sarebbero da questi satelliti perforate e distrutte.

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 perchè 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 alternativo proposto qualche anno prima 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 perchè, essendo a temperatura meno elevata, 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 cannocchiale, dimostra di possedere un aspetto granulare dove ogni singolo piccolo punto luminoso svela la sua natura stellare. Essa appare costituita da stelle lontanissime, quindi, non appartenenti al mondo sublunare, la cui scoperta induce a dilatare enormemente le dimensioni dell'Universo fino ad allora concepito.

14.14. Le critiche a Galileo

Va comunque precisato che tutta questa serie di importanti osservazioni astronomiche, se da un lato minano alla radice l'impostazione della fisica di Aristotele, dall'altro non costituiscono ancora una prova certa e indubitabile delle teorie copernicane. Le critiche in questo senso riguardano soprattutto le conseguenze che avrebbero i movimenti di rotazione e rivoluzione terrestre inevitabilmente implicati dal modello eliocentrico. Infatti:

1. le stelle lontane non sembrano interessate dal *fenomeno della parallasse*, che invece dovrebbe essere causato dal moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole

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 certo: *la Luna ruota sicuramente attorno alla Terra e non attorno al Sole*

Anche l'ipotesi di rotazione della Terra sul suo asse si scontra con tre critiche molto ragionevoli:

3. con la prima si fa osservare che l'aria e le nuvole dovrebbero essere *disperse* dal movimento rotatorio della superficie terrestre

4. 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

5. 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 . . .

Non bisogna poi dimenticare che:

6. 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 e che lo stesso Copernico mai avrebbe accettato)

7. 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, è comunque una spiegazione considerata filosoficamente "ragionevole" in assenza di una qualunque risposta alternativa.

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 semplicemente perchè 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.

14.15. Le prove della rotazione terrestre

1. *La caduta verso est dei gravi*. E' verificata per la prima volta dall'abate Giovanni Battista Guiliemini, 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. 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 (in modo molto semplificato, è un po' come dire che il terreno sotto il pendolo ruota mentre il pendolo oscilla...).

Questo ultimo 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, è eseguita solo nel 1851 da Foucault nel Panthèon di Parigi.

14.16. 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* quando osservata a distanza di sei mesi, e quindi da due posizioni opposte dell'orbita terrestre attorno al Sole distanti tra loro circa 300 milioni di km!! La distanza angolare misurata è 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.

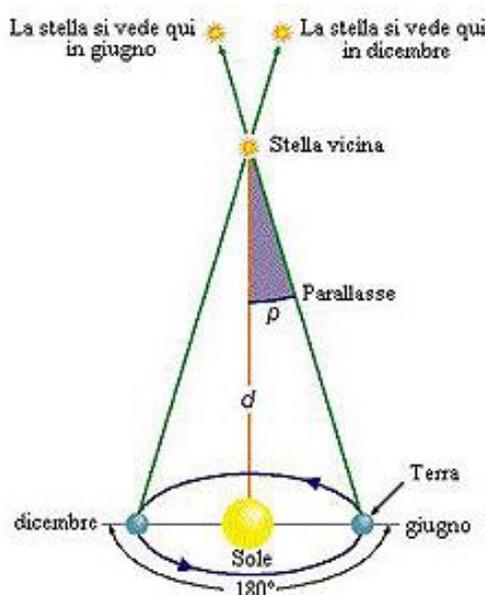


Fig. 7 - Il fenomeno della parallasse: una stella vicina è proiettata in due punti diversi della volta celeste rispetto alla posizione "fissa" delle stelle più lontane se osservata a sei mesi di distanza, quando la Terra occupa due posizioni dell'orbita separate da una distanza di circa 300 milioni di km.

14.17. Tra filosofia, scienza e religione

Da quanto esposto nelle pagine precedenti nello studente potrebbe formarsi l'idea che la filosofia si fondi su convinzioni discutibili e porti spesso a conclusioni sbagliate, e che la "verità" debba essere cercata con il solo metodo razionale suggerito dal metodo scientifico.

Se poi aggiungiamo che l'alba della scienza modernamente intesa, fatta coincidere con gli studi di fisica e di astronomia di Galileo (1600), ha causato attriti profondi con la Chiesa cattolica in quanto le nuove scoperte sembravano scontrarsi con il contenuto della Bibbia, ancora interpretata in

senso strettamente letterale, ecco allora che la frattura tra filosofia, scienza e religione sembrerebbe essere inevitabile, con l'unico risultato di affidare alla razionalità scientifica le uniche parole di verità possibili che l'Uomo può esprimere su se stesso e sul mondo naturale.

Questo approccio, detto **scientismo**, è in realtà una *deformazione* dell'ottimismo neopositivista che ha in parte attraversato gli ultimi due secoli di storia del pensiero. Secondo tale (discutibile) impostazione, nessuna conoscenza deve essere considerata accettabile e certa se non è supportata dal metodo scientifico.

Lungi dal sostenere la correttezza di una tale posizione, ancorché parzialmente diffusa anche oggi, l'invito allo studente è di considerare come questi tre settori del pensiero umano (scienza, filosofia e religione), siano di fatto complementari, e come ciascuno di essi, limitatamente al suo ambito di azione, possa contribuire in modo proficuo e concreto non solo alla nostra conoscenza dell'Uomo e della Natura, ma anche e soprattutto ad **affrontare quelle domande che nascono da una profonda ricerca di senso sull'esistenza nel suo complesso, ricerca che valica i confini della realtà fisica misurabile.**

L'errore che lo studente non deve compiere è quindi fondamentalmente di tipo epistemologico: non dobbiamo chiedere alla filosofia di chiarirci le idee sulle teorie del Big Bang relative alla formazione dell'Universo, così come non dobbiamo pretendere dalla scienza una improbabile risposta sull'"essere in quanto essere", sul divenire, sull'esistenza di Dio o sul significato della vita umana...

Roman Sexl, fisico teorico autore di libri scientifici divulgativi di successo, così scrive:

“Le teorie scientifiche non sono né vere, né definitive, e nemmeno certe. Esse sono ipotesi provvisorie che l'uomo ha formulato nella sua ricerca sulla realtà, nel suo desiderio di conoscenza. Certo, le ipotesi della fisica sono tra le parti più accuratamente vagliate della conoscenza umana sul mondo, e in molti casi sono state verificate con una precisione migliore di una parte su un miliardo. Ma queste otto, nove cifre significative sono il meglio che il fisico può opporre ai suoi critici come giustificazione per le sue affermazioni. Ed anche la più piccola deviazione, una piccola differenza nella quarta o quinta cifra significativa può provocare uno sconvolgimento completo dell'immagine del mondo precedentemente accettata. La storia dei moti planetari, da Tolomeo a Keplero ad Einstein, ne fornisce una testimonianza eloquente.

Verità e certezza, un antico sogno dell'umanità che deve rimanere non realizzato.”⁶

E questo perché, se anche un giorno l'Uomo dovesse arrivare a comprendere perfettamente i meccanismi fisici che spiegano la nascita, la vita, l'evoluzione e la morte dell'intero Universo, rimarrà a maggior ragione ineludibile la profonda e drammatica domanda che si pose il filosofo, matematico e scienziato tedesco Gottfried Leibnitz (1646-1716): *“Perché esiste qualcosa, invece che il nulla ?? ...”.*

*“Come si può mettere la Nona di Beethoven in un diagramma cartesiano?
Ci sono delle realtà che non sono quantificabili.
L'Universo non è i miei numeri: è pervaso tutto dal Mistero,
Chi non ha il senso del Mistero è un uomo morto...”⁷*

Albert Einstein

⁶ R.Sexl, *Ciò che tiene insieme il mondo*, Ed Zanichelli, p.218.

⁷ Citato in Mario Canciani, *Vita da prete*, Mondadori, Milano, 1991, p. 94.