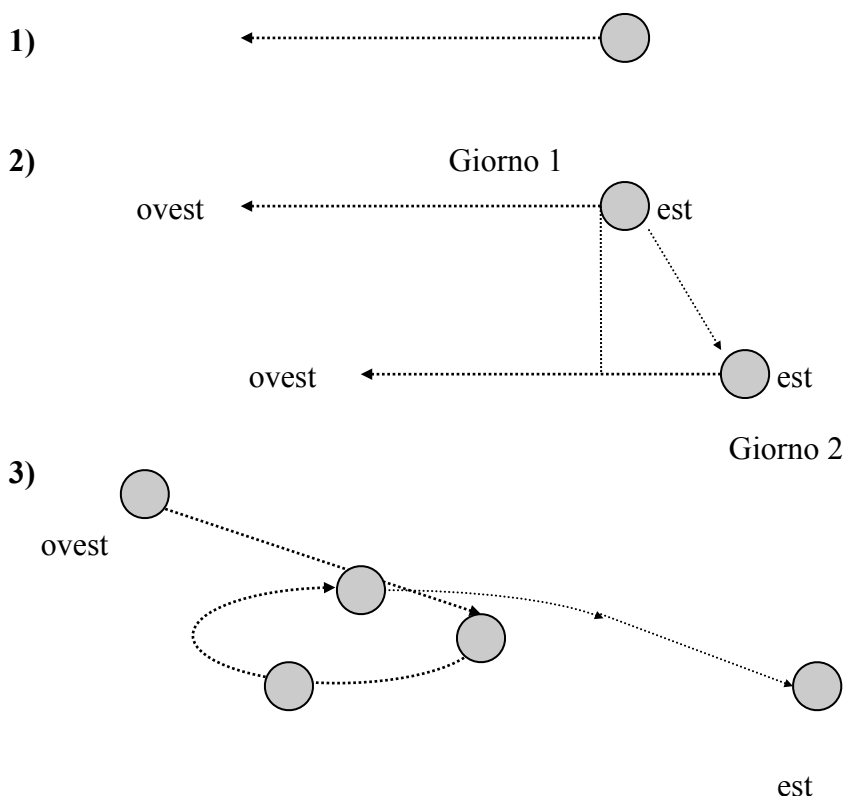


IL CIELO ANTICO E IL CIELO MODERNO

di Cristian Mazzoni

Fenomeni osservabili (detti oggi “moti” apparenti):

- 1) i pianeti, come tutti gli astri, compiono un moto giornaliero da est verso ovest (tale moto è evidente all’occhio di notte). Ciò vale anche per il Sole (lo vediamo sorgere la mattina ad est e tramontare la sera ad ovest): questo moto è oggi detto di “trascinamento” ed è imputato non ad un movimento effettivo del pianeta o del Sole, ma alla rotazione giornaliera della Terra su se stessa;
- 2) i pianeti, in analogia col moto annuale del Sole (si noti che il Sole non è un “pianeta”, ma una “stella”) compiono un moto da ovest verso est rispetto alle stelle fisse (così dette anticamente non perché non si muovono, ma perché mantengono inalterata la loro posizione reciproca, di contro ai “pianeti”, cioè “astri erranti”, che vagano fra di esse), il che significa che essi perdono ogni giorno terreno rispetto a queste ultime, apparendo, di giorno in giorno, sempre più spostati verso est: questo moto è oggi detto, per distinguerlo da quello di trascinamento, “moto diretto” ed è imputato alla rivoluzione dei pianeti e della Terra intorno al Sole - il moto diretto, in altri termini, è quella parte del moto apparente (ossia visibile dalla Terra) dei pianeti e del Sole che rimarrebbe se supponessimo di annullare il moto rotatorio della Terra sul suo asse;
- 3) in tale ultimo moto da ovest verso est, proprio a tutti i pianeti ed al Sole, periodicamente, i pianeti (ma non il Sole, né la Luna) compiono un moto retrogrado, vale a dire, rallentano, si fermano, tornano indietro (moto da est ad ovest) e poi riprendono il solito moto (da ovest ad est). Durante tale fase retrograda i pianeti divengono più luminosi, come se si avvicinassero alla Terra per poi allontanarsene nuovamente;
- 4) il Sole, pur non essendo soggetto a movimento retrogrado nel suo moto annuo, varia le sue dimensioni apparenti (da piccolo a grande, da grande a piccolo). Ciò farebbe supporre intuitivamente un avvicinamento alla Terra ed un successivo allontanamento.



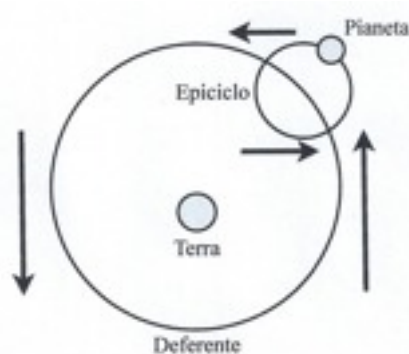
La figura che precede descrive il moto 3 (moto annuale apparente dei Pianeti), quale visibile dal luogo d’osservazione x, posto sulla Terra (1). Ora, gli Antichi, a partire da Platone, ritennero dover spiegare i moti apparenti (ossia visibili dalla Terra) sulla base di moti circolari, regolari ed uniformi, gli unici adatti alla natura delle cose celesti in quanto moti perfetti.

- 1) Circolare, ossia tale da tornare ciclicamente al punto di partenza.
- 2) Regolare, ossia tale per cui non vi siano variazioni di verso.
- 3) Uniforme, ossia tale per cui non vi siano variazioni di velocità

Risulta piuttosto semplice ed intuitivo spiegare il moto giornaliero del Sole e degli altri astri (moto 1) con una loro rotazione diurna intorno ad una Terra immobile, tuttavia non altrettanto lo si può sostenere a proposito del moto di tipo 3). Il primo modello ideato per spiegare i moti apparenti degli astri sulla base di moti circolari, regolari ed uniformi, è quello di **Eudosso di Cnido** (408-355 a.C.), contemporaneo di Platone e membro dell’Accademia.

Tale modello è detto “a sfere omocentriche” (ossia “sfere con lo stesso centro”). Il centro delle sfere è la sfera terrestre. Ogni sfera, con centro la Terra, ruota su assi differenti e variamente inclinati. I pianeti sono incastonati sulla parte interna di questa o quella sfera e si muovono poiché “portati” da questa. Nel dettaglio: le sfere, tranne quella delle Stelle fisse, dotata di moto diurna da oriente ad occidente, sono annidate a gruppi di 3 (Sole e Luna) o 4 (i restanti pianeti), ossia sono raggruppate in modo tale per cui le inferiori partecipano al movimento delle superiori (ogni sfera ruota su un asse imperniato sulla precedente): il pianeta è sempre incastonato sull’equatore della sfera più interna. La presenza del gruppo determina la composizione dei moti di ciascuna sfera con quelli delle altre: così la sfera più esterna di ogni gruppo compie un movimento diurna da est verso ovest atto a spiegare la rotazione diurna degli astri da est ad ovest. Tale moto si trasmette alle sfere sottostanti non come moto semplice, ma composto con i moti ad esse propri (ad esempio la seconda sfera compie un moto da ovest verso est: è il moto oggi chiamato “diretto”). Il modello rende conto dei movimenti ciclicamente retrogradi dei pianeti, ma non spiega la variazione di luminosità. Infatti ogni pianeta, muovendosi di moto circolare intorno alla Terra, dovrebbe avere sempre la stessa distanza da essa.

Il modello di Eudosso fu ripreso e perfezionato da Aristotele. Tuttavia, l'osservazione delle variazioni di luminosità dei pianeti, determinò nuovi modelli ad *epiciclo-deferente*, nonché l'introduzione degli *eccentrici* (secoli III e II a.C. ad opera di Apollonio e Ipparco). L'eccentrico, da solo, rendeva conto, sulla base di moti circolari, regolari ed uniformi, di piccole variazioni di luminosità dei corpi celesti, ma non di grandi variazioni di luminosità, né dei moti retrogradi, cose, invece, tutte, spiegate efficacemente dal modello ad epiciclo-deferente. Il modello più importante di questo tipo è quello messo a punto da **Tolomeo** nell'*Almagesto* (II secolo d. C.). Secondo tale modello, ogni pianeta ruota in modo circolare, regolare ed uniforme (direzione est) intorno ad un centro che ruota a sua volta in modo circolare, regolare ed uniforme (direzione est) intorno ad un ulteriore centro eccentrico rispetto alla Terra (vale a dire il cui centro geometrico non coincide con la Terra): le uniche eccezioni sono date dal Sole e dalla Luna, che ruotano non su epicicli, ma su circonferenze incentrate sulla Terra (per la Luna) o su un eccentrico rispetto alla Terra (per il Sole).



E' da notare come, a questi modelli se ne affiancasse già un altro di stampo eliocentrico, per quanto minoritario e presto soppiantato. Esso fu ideato da **Aristarco di Samo** (III secolo a. C.) ed ipotizzava: 1) un movimento annuo della Terra intorno al Sole (eliocentrismo) e 2) un movimento rotatorio della Terra su se stessa. La 1) spiegava il movimento retrogrado periodico dei pianeti, la 2) l'alternanza di giorno e notte. Si noti come i modelli in questione, compreso quello tolemaico, abbiano una valenza meramente *descrittiva*, si limitino, cioè, a descrivere il moto dei pianeti, consentendone di prevedere anticipatamente le posizioni, ma non abbiano, invece, la pretesa di spiegarli. Essi ci dicono, in altri termini, *come* i pianeti si muovono, ma non *perché* si muovono in quella maniera e non in un'altra e, soprattutto, non ci dicono *qual è la causa* del loro movimento: in genere, la spiegazione del moto dei pianeti veniva differita alla Fisica aristotelica (è per questo che si parla di modello "aristotelico-tolemaico").

Oltre ai già citati, altri modelli ammettevano la rotazione della Terra su se stessa, ma non l'eliocentrismo (modello di Eraclide Pontico del IV secolo a. C.).

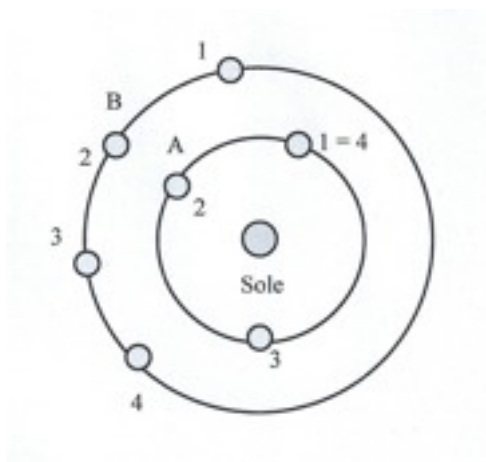
Tali modelli (la Terra ruota intorno al Sole, o su se stessa, o entrambe le cose assieme) presentano una difficoltà immediata. Se, infatti, la Terra ruotasse su se stessa verso est i corpi non solidali con essa (cioè non posati a terra), dovrebbero muoversi in senso contrario (così gli uccelli in volo, etc.).

Il modello di Aristarco (III. Secolo a. C.) è sostanzialmente affine a quello copernicano (*De revolutionibus orbium coelestium*, 1543).

Copernico (polacco), ammette: 1) immobilità del Sole posto al centro del cosmo; 2) il movimento della Terra intorno al Sole secondo un moto circolare, regolare ed uniforme (detta "rivoluzione"): ciò spiega il moto annuo apparente del Sole; 3) la rotazione giornaliera della Terra su se stessa: ciò spiega, fra l'altro, l'alternanza giorno-notte.

La Terra si muove intorno al Sole come tutti gli altri pianeti, salvo non tutti muoversi alla stessa velocità: questo spiega perché un pianeta osservato da un altro dia l'impressione di muoversi dapprima in un senso, poi in senso contrario, e poi di nuovo nel senso iniziale.

Supponiamo, ad esempio, che il pianeta A dell'esempio sia più veloce del pianeta B, ambedue muovendosi nella stessa direzione di moto circolare regolare ed uniforme. Posto su A il punto di osservazione: dapprima il pianeta B è davanti ad A (posizione 1 di A e B); ad un certo momento, essendo A più veloce di B, A raggiungerà B (posizione 2 di A e B); successivamente A supererà B, con l'effetto che B sembrerà rimanergli dietro, andare in direzione contraria a prima, ossia invertire il proprio moto (posizione 3); in un secondo tempo, però, allontanatosi A da B e recuperando A la posizione originaria, B parrà a sua volta riprendere la propria direzione originaria (posizione 4 di B e 4 coincidente con 1 di A).



Copernico non ha (al momento della formulazione della sua teoria) nuovi fatti osservati che tale teoria spieghi e tali da non essere spiegati dalla teoria tolemaica: i fatti spiegati sono gli stessi, salvo essere difforme la spiegazione. Tuttavia Copernico è convinto della verità del suo sistema, contrariamente a quello tolemaico, per ragioni di semplicità dei principi esplicativi cui in essa si fa ricorso (di contro agli epicicli, ai deferenti, etc.) e poiché esso preserva la simmetria e l'armonia del cosmo: la ragione della superiorità della teoria copernicana, nel convincimento del suo autore, sarebbe, dunque, essenzialmente una questione estetica.

Tycho Brahe (danese, seconda metà del Cinquecento) conserva la teoria geocentrica, per quanto modificata in questo senso: la Terra è al centro del cosmo, immobile; intorno ad essa si muove di moto circolare regolare uniforme il Sole e la Luna e la sfera delle stelle fisse; tutti gli altri pianeti ruotano intorno al Sole. Brahe condusse durante la sua vita sistematiche misurazioni del moto degli astri, le quali furono poi utilizzate da studiosi successivi (*in primis* Keplero) per abbattere il sistema tolemaico.

Keplero (1571-1630)

Assume il sistema copernicano, così modificato: 1) i pianeti ruotano intorno al Sole non in modo circolare, ma ellittico – il Sole occupa uno dei fuochi dell'ellissi (I legge di Keplero); 2) il moto di tali pianeti sull'ellissi non è uniforme ma subisce un'accelerazione in corrispondenza dell'avvicinamento al Sole (ossia è inversamente proporzionale alla distanza del pianeta dal Sole) – II Legge di Keplero. Per la precisione è detto che “la velocità orbitale di ciascun pianeta varia in modo tale che una retta congiungente il Sole e il pianeta percorre, in eguali intervalli di tempo, eguali porzioni di superficie dell'ellisse”. La Terza legge di Keplero pone una relazione matematica

fra il periodo di rivoluzione di un pianeta e la sua distanza media dal Sole (il quadrato del periodo di rivoluzione è proporzionale al cubo della sua distanza media dal Sole): quanto più un pianeta è distante, tanto più lungo è il suo periodo di rivoluzione.

Le leggi di Keplero si limitano a descrivere il moto dei pianeti (costituiscono un modello cinematico), ma non lo spiegano: le leggi individuate da Newton nei *Principia Mathematica*, del 1689, invece, spiegheranno ciò che le leggi di Keplero si limitavano a descrivere. I tre principi della dinamica di Newton, si ricorderà dai manuali di Fisica, sono: 1) in assenza di forze applicate, ogni corpo si mantiene nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme; 2) l'accelerazione che un corpo subisce per effetto di una forza applicata è proporzionale e parallela alla forza stessa; 3) ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.

Ad essi si aggiunge la legge della gravitazione universale, per la quale due corpi si attraggono con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa, il che vale a dire che due corpi qualsiasi (compresi i corpi celesti) si attraggono con una forza tanto maggiore quanto minore è la loro distanza, o, essendo pari la distanza, tanto maggiore quanto maggiore è la loro massa. E' evidente a chiunque come i Principi di Newton, salvo forse il secondo, risultino per chiunque fortemente anti-intuitivi, ossia contrari al senso comune, il quale, a sua volta, si basa sul dato d'esperienza immediato.

Le indagini di Keplero si originarono inizialmente da uno studio accurato dell'orbita di Marte, per poi essere generalizzate al moto degli altri pianeti.

Viene dunque confutata la credenza: 1) nell'uniformità del moto dei pianeti; 2) nella circolarità delle orbite da questi percorse.

Si noti questo: per quanto Keplero abbia scrupolosamente osservato il movimento dei pianeti, sino ad individuare leggi matematicamente esatte tali da prevederne le posizioni future, i suoi convincimenti personali circa le ragioni del loro moto erano ben lungi dalla spiegazione che poi di tali movimenti darà Newton. In particolare, Keplero riteneva, secondo un principio tipicamente aristotelico, che dovesse esistere un agente esterno come causa del moto dei pianeti sulle loro orbite (in caso contrario i pianeti sarebbero stati immobili): egli ignorava completamente il principio d'inerzia. Il moto dei pianeti (Terra compresa), a suo avviso, era genericamente spiegabile sulla base della rotazione del Sole, la quale si trasmetterebbe (forse attraverso i raggi solari) ai pianeti: è come se il Sole, ruotando, tirasse verso di sé i pianeti attraverso una corda invisibile.

Alla stessa maniera, per quanto Copernico fu il primo a sostenere in epoca moderna il sistema che prenderà il suo nome (centralità ed immobilità del Sole e non della Terra, etc.), rovesciando i vecchi pregiudizi circa la centralità ed immobilità della Terra, egli continuerà, come s'è visto, a concepire in modo pregiudiziale ed, in questo, secondo le concezioni allora correnti fra gli scienziati, che i moti dei pianeti (Terra compresa) *debbono* essere circolari ed uniformi. Sia Keplero, sia Copernico, partecipavano, perciò, ancora di certi principi al loro tempo comunemente accolti dalla comunità scientifica (per Keplero la necessità di postulare un agente esterno come causa del moto dei pianeti, per Copernico la circolarità ed uniformità dei moti celesti). E' soltanto a poco a poco che quei principi saranno scardinati dalle fondamenta (e non solo sulla base di dati osservativi) e sostituiti da altri principi spesso del tutto opposti. Quest'opera di demolizione sarà portata a compimento da Newton.

Nota 1. Si noti che, quando si parla di moto annuale dei pianeti da ovest verso est o di moto retrogrado da est verso ovest, è fondamentale comprendere innanzitutto dove debbano essere collocati l'est e l'ovest. Zenit è il punto in cui la retta passante per il luogo d'osservazione x e perpendicolare al piano orizzontale incontra la sfera celeste; Nadir è il punto opposto: se supponiamo un osservatore collocato in x , lo Zenit sta sopra alla sua testa e il Nadir sotto i suoi piedi. Si noti che, essendo la Terra sferica, lo Zenit e il Nadir non sono gli stessi per tutti gli

osservatori. I punti cardinali risultano determinabili col seguente procedimento. Il nord geografico, se supponiamo di conficcare a terra, in posizione perpendicolare al suolo, un' asta, viene così individuato: l'asta (detta "gnomone"), nei vari momenti della giornata, proietterà al suolo ombre di differente lunghezza e direzione; tuttavia, laddove il Sole, nell'arco della giornata, raggiungerà il punto più alto all'orizzonte (nel mezzogiorno), l'ombra proiettata dal bastone avrà l'estensione minore. Se supponiamo di prolungare quest'ombra in linea retta otteniamo la meridiana: essa, nella direzione dell'ombra (quella opposta al Sole) punterà a nord, nella direzione del Sole a sud. A questo punto, tracciata la perpendicolare alla meridiana, l'est, per chi guarda da sud, risulterà a destra e l'ovest a sinistra. Tuttavia, il metodo più semplice per l'individuazione dei punti cardinali consiste, ovviamente, nell'utilizzo della bussola, la quale, nel suo meccanismo di funzionamento, sfrutta la circostanza che il nord geografico ed il nord magnetico sono assai vicini (per quanto non coincidenti). Accertato il nord, gli altri punti cardinali risultano di conseguenza.

