

TALETE (624—546 a.c.)

La terra è piatta , immobile e galleggiante sull'acqua che è la materia primordiale .

Il tutto era posto all'interno di una grande sfera che conteneva le stelle fisse e che ruotava di un giro completo ogni giorno con l'asse di rotazione passante per la stella polare .

ANASSIMANDRO (610—546 a.c.)

La terra ha la forma di una colonna ; la materia primordiale è l' ' apeiron cioè l'indeterminato , l'indefinito .

ANASSIMENE (586—528)

La terra è piatta , immobile e sospesa nell'aria , la quale è la materia primordiale .

ARISTOTELE

La sua teoria geocentrica dell'universo è strettamente legata ai seguenti concetti :

1) il moto naturale 2) il luogo naturale 3) gli elementi fondamentali (Terra , Acqua , Aria , Fuoco) . Se immaginiamo di porli in perfetto ordine secondo la loro pesantezza nel mondo sublunare , avremo che intorno alla TERRA sferica si dispongono 11 sfere concentriche , delle quali le prime tre (procedendo dall'interno) contengono i tre elementi acqua , aria e fuoco e sono immobili , mentre le altre 8 più esterne , che trasportano i pianeti della Luna , di Mercurio , di Venere , del Sole , di Marte , di Giove , di Saturno ed il sistema delle stelle fisse , ruotano di moto diurno intorno all'asse del cielo ; e sono queste le 8 sfere di cui si fa menzione negli schemi maggiormente semplificati . Per spiegare i movimenti planetari , Aristotele segue la teoria delle sfere concentrica elaborata da Eudosso di Cnido . Per ottenere una maggiore aderenza ai dati osservati , Aristotele arriva ad un totale di 55 sfere , tutte con assi passanti per il centro dell' ' Universo . Per quanto riguarda la spiegazione del movimento , Aristotele non segue Platone nella sua credenza che i Pianeti siano corpi viventi : l'ottava sfera , la più esterna , è mossa dall'amore che essa porta al PRIMO MOTORE (immobile perché atto puro) e dal desiderio di una maggiore perfezione

che questi suscita in essa , mentre le inferiori sono mosse ognuna da una sostanza immateriale , che , essendo completamente priva di potenzialità , non può essere essa stessa in movimento .

Il problema di Platone (428—347 a.c.)

La maniera di affrontare il problema astronomico che contraddistinse per molti secoli i Greci e quanti si ispirarono alle loro idee , ci è indicata in un enunciato di Platone , risalente al quarto secolo a.c. Egli pose il problema astronomico ai suoi allievi in questi termini : << Le stelle, rappresentando oggetti eterni , divini , immutabili , si muovono con velocità uniforme attorno alla terra , come noi possiamo constatare , e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie , quella della circonferenza senza origine e senza fine . Ma alcuni corpi celesti come il Sole , la Luna , i Pianeti , vagano attraverso il cielo e seguono cammini complessi , con inclusione di moti retrogradi . Essendo tali oggetti corpi celesti dovranno sicuramente muoversi in maniera conforme al loro rango elevato . Poiché tali corpi non descrivono delle traiettorie circolari dobbiamo dedurre che i loro moti debbono derivare da una qualche combinazione di cerchi perfetti . Quali sono le combinazioni di moti circolari uniformi in grado di spiegare il moto complesso dei corpi celesti ? >> Platone e molti altri filosofi greci ritenevano che l'apparente varietà delle sostanze osservabili nel mondo fosse il risultato della combinazione di **pochi elementi basilari** . Sebbene all'inizio non si fosse in accordo su quali potessero essere questi elementi , gradualmente ne furono accettati 4 coi quali potere spiegare tutti i fenomeni che avvengono sulla Terra . Questi elementi erano il **fuoco , l'aria , l'acqua , la terra** . D'altra parte si riteneva che solamente la perfezione avrebbe potuto esistere nei cieli , poiché erano tanto lontani dalla terra ed erano il regno degli dei .

Come i moti nei cieli dovevano essere eterni e perfetti , così gli incorruttibili corpi celesti non avrebbero potuto essere composti da elementi che normalmente si ritrovano sulla terra , o vicino ad essa .

Per questo motivo si riteneva che i corpi celesti fossero composti da un **quinto elemento** incorruttibile e caratteristico ; l' ' etere . [^]

Per quasi duemila anni il **problema di Platone** relativo alla spiegazione del moto dei pianeti fu il più significativo che gli astronomi teorici avrebbero potuto affrontare .

Aristarco di Samo (310—230 a.c.)

Si deve ad Aristarco di Samo l'elaborazione del primo sistema eliocentrico . Il SOLE è al centro dell 'universo ; la TERRA , assieme a tutti gli altri corpi celesti , ruota attorno al SOLE . La Luna , con orbita circolare , ruota attorno alla terra la quale possiede un moto diurno attorno al proprio asse . La sua teoria non fu presa in considerazione , non per valutazioni scientifiche , ma per le opposizioni religiose in quanto Aristotele , il **maestro di coloro che sanno** come lo chiamava il sommo Poeta Dante Alighieri , con la sua cosmologia aveva permeato di << **religiosità** >> l' ' Universo a tal punto che anche il Cristianesimo ne condivise la teoria .

Aristarco di Samo , per spiegare il moto dei pianeti rispetto alle stelle fisse avanzò l'ipotesi che il Sole e le stelle siano immobili nell'Universo , e che la Terra ed i 5 pianeti si muovano attorno al Sole su orbite circolari . Non possediamo scritti di Aristarco in cui si accenni a questa ipotesi , ma conosciamo il suo pensiero per via indiretta , grazie soprattutto al Archimede . Il sistema di Aristarco , detto **sistema eliocentrico** , spiega in modo semplice e naturale le irregolarità nel moto dei pianeti, senza che si debba rinunciare al principio del moto circolare .

In particolare , il **moto retrogrado** è dovuta al fatto che i pianeti in movimento sono visti da un osservatore a sua volta in movimento . Per un osservatore posto sul Sole , il moto dei pianeti apparirebbe circolare ed uniforme . Tale sistema non ebbe alcun successo e venne subito generalmente rifiutato : Se è vero che esso presentava alcuni

[^] In latino , l'**etere** è chiamato << quinta essentia >> (il quinto elemento) : da qui il termine **quintessenza**

vantaggi quali la semplicità nella descrizione del moto dei pianeti , non era in grado di giustificare certi fatti in contrasto col senso comune della gente del suo tempo .

Infatti , il senso comune della gente del suo tempo suggeriva che un eventuale moto della terra avrebbe avuto effetti catastrofici : gli edifici sarebbero dovuti crollare , gli uccelli sarebbero rimasti indietro rispetto al suolo , gli oggetti sarebbero caduti molto lontano dal punto in cui erano stati abbandonati .

La cosmologia di Tolomeo (138—180 d.c.)

La soluzione aristotelica della costruzione dell'universo in termini di sfere concentriche mancava di accuratezza . Durante i 500 anni che seguirono all'epoca di Platone e di Aristotele , gli astronomi cominciarono ad avvertire la necessità di una teoria migliore , che fosse in grado di prevedere con maggiore accuratezza gli eventi celesti . Il libro di **Claudio Tolomeo** l' **ALMAGESTO** (il più grande) sul moto dei corpi celesti è un capolavoro di analisi . Tolomeo si era prefisso di trovare un sistema capace di predire accuratamente le posizioni di ogni pianeta . Il tipo di schema generale e di moti su cui basare il suo ragionamento derivava direttamente dalle ipotesi di Aristotele . Nella prefazione del suo Almagesto , Tolomeo definisce il problema ed enuncia le ipotesi da lui accettate : << noi desideriamo trovare le cose che appaiono evidenti ed inconfutabili traendole dalle osservazioni antiche nonché da quelle effettuate da noi , e mediante dimostrazioni geometriche desideriamo utilizzare le conseguenze di queste concezioni . Inoltre la nostra opinione è che i cieli sono sferici e che si muovono in maniera sferica ; che la terra , per quanto riguarda la sua posizione , è posta nel giusto mezzo dei cieli , a guisa di centro geometrico ; per ciò che riguarda le dimensioni e la distanza , la terra è come un punto rispetto alla sfera delle stelle fisse , e non è animata di alcun moto locale . >>

La posizione centrale della terra è suffragata dal fatto che tutti i corpi , lasciati liberi , cadono verso il centro dell'universo . Il SOLE si muove attorno alla TERRA ed il suo movimento , così come quelli dei pianeti e della luna , è spiegato dalla teoria degli

epicicli , dei **deferenti** , degli **eccentrici** e degli **equanti** . La luna , i pianeti ed il Sole si muovono attorno alla Terra in ordine di distanza come aveva affermato Aristotele 5 secoli prima . Per spiegare il **moto retrogrado** Tolomeo ricorre ad un accorgimento geometrico : l ' **epiciclo** . Il pianeta si muove a velocità costante sulla circonferenza di un piccolo cerchio , chiamato **epiciclo** . Nel frattempo , il centro dell'epiciclo si muove attorno alla terra a velocità costante ma su un cerchio più grande , chiamato **deferente** . Quando il pianeta si trova , nel suo moto sull'epiciclo , nella parte esterna del deferente , esso si muove più rapidamente rispetto ad un osservatore terrestre , poiché al suo moto è associato anche il moto di O che ha lo stesso verso . Ma quando avviene che il moto del pianeta P si svolge all'interno del deferente i moti di P e di O hanno versi opposti ed il moto di P è **retrogrado** rispetto a quello di O . Gli epicicli possono essere utilizzati per descrivere molti tipi di moto . Non era , dunque , troppo difficile costruire in questa maniera un sistema che possedesse tutte le principali caratteristiche dei moti planetari reali . Un dettaglio particolarmente interessante del sistema tolemaico consisteva nel fatto che gli epicicli dei pianeti esterni (Marte , Giove e saturno) avevano tutti lo stesso periodo , cioè un anno esatto . Inoltre i raggi degli epicicli dei tre pianeti esterni erano sempre paralleli alla congiungente Terra-Sole . Fino a questo punto il sistema di epicicli e deferenti funziona assai bene : un tale sistema spiega non solamente il **moto retrogrado** , ma anche il fatto che i pianeti abbiano luminosità maggiore quando si trovano in moto retrogrado . Infatti , durante questa fase , il pianeta è nella parte interna del suo epiciclo , ovvero alla distanza minima dalla Terra , e quindi appare al massimo della sua luminosità .

E' questa una ricompensa veramente inattesa , in quanto il modello non era stato progettato per spiegare tale caratteristica di comportamento . Nonostante l'introduzione dell ' **epiciclo** e del **deferente** Tolomeo non era in grado di descrivere ancora il moto dei 5 pianeti , della Luna e del Sole . Con l'introduzione dell ' **eccentrico** Tolomeo riuscì a spiegare le variazioni di velocità angolare dei pianeti osservabili dalla terra , cioè delle differenti velocità dei pianeti a seconda della loro

posizione nell'orbita . Con l'introduzione dell '**equante** Tolomeo riuscì a spiegare perché il Sole si muoveva rispetto alla Terra con una velocità non costante .

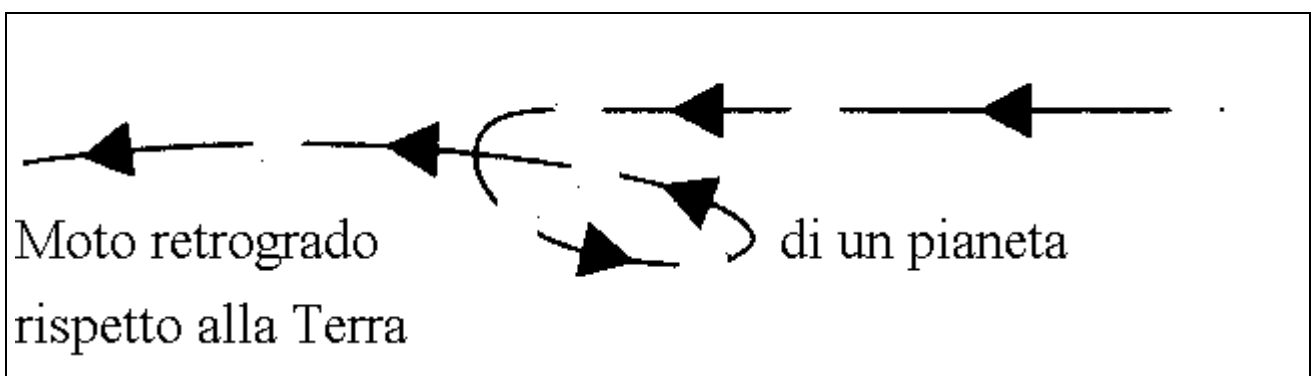
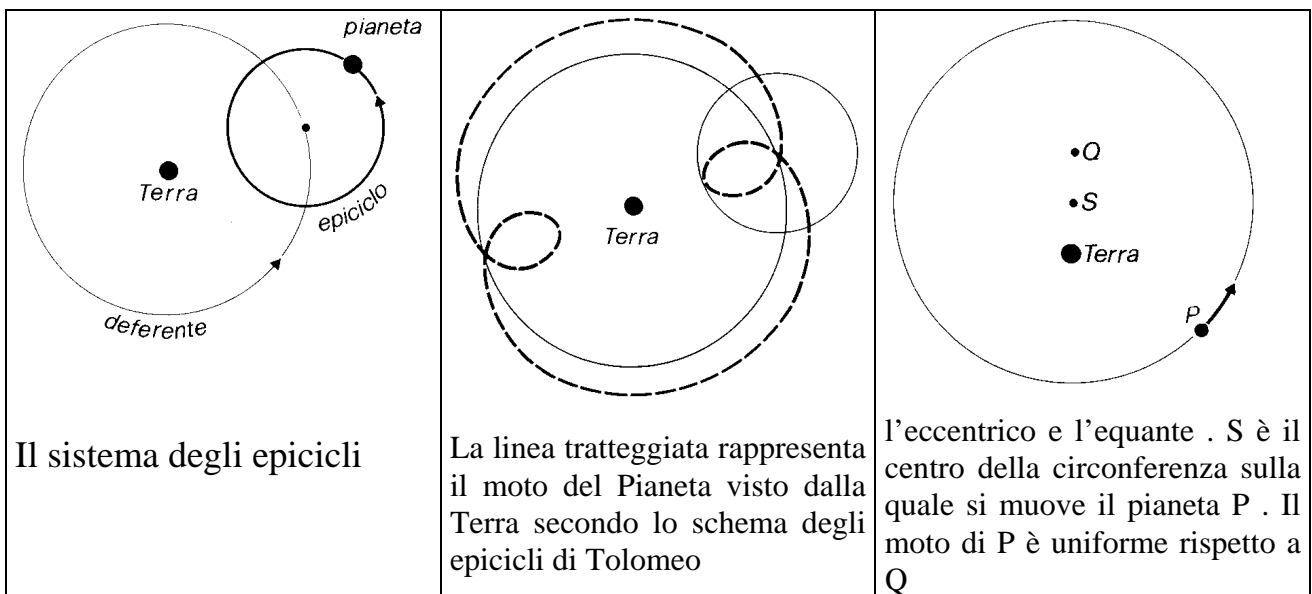
In accordo con Platone , gli astronomi ritenevano che il moto di qualsiasi corpo celeste dovesse essere caratterizzato dalla **velocità angolare uniforme** e dalla distanza costante rispetto al centro della Terra . Anche Tolomeo credeva che la Terra fosse al centro dell ' Universo , tuttavia non riteneva che essa fosse al centro esatto di tutti i cerchi perfetti : egli propose , invece , che il centro C di una circonferenza (**deferente**) potesse non coincidere con il centro della Terra , e cioè che la Terra fosse in posizione **eccentrica** . Pertanto , un moto che in realtà era uniforme rispetto al centro C , osservato dalla Terra sarebbe apparso non uniforme . Le orbite eccentriche dei pianeti erano in grado di spiegare la non costanza delle loro velocità lungo i rispettivi **deferenti** . Per spiegare la variazione della velocità del Sole lungo il suo deferente utilizzò un quarto accorgimento geometrico chiamato **equante** che consiste in un eccentrico modificato . Tolomeo collocava la terra in posizione spostata rispetto al centro geometrico C dell'orbita circolare descritta dal Sole . Però il moto lungo la circonferenza non era più uniforme attorno a C , bensì attorno ad un altro punto C' posto in posizione simmetrica della Terra rispetto al centro C stesso .

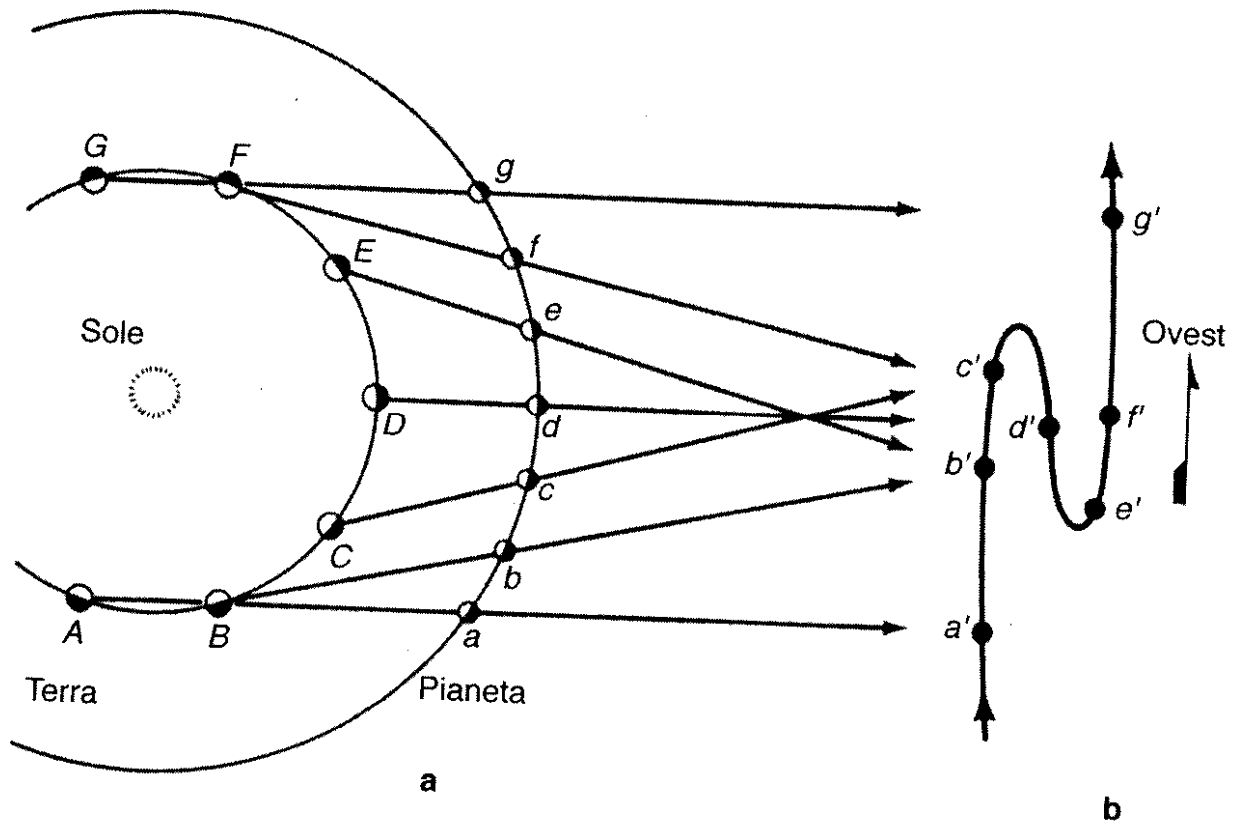
Man mano che le osservazioni progredivano , gli astronomi combinarono in modo differente gli epicicli , i deferenti , gli eccentrici e gli equanti per adeguare sempre meglio le osservazioni ai loro modelli . Si giunse a quella complicazione del Cosmo che tempo prima fu operata dall'aumento del numero delle sfere concentriche dei greci .

Tale era la complessità di quei sistemi che il re di Castiglia ,Alfonso X detto il saggio, vissuto nel XIII° secolo , si racconta disse : << Se il Signore Onnipotente mi avesse consultato prima di iniziare la creazione del Cosmo , gli avrei consigliato qualcosa di più semplice >> La risoluzione abbastanza semplice del problema risiedeva nelle tre leggi di Keplero sul moto dei pianeti e nel moto eliocentrico di Copernico . Il sistema Tolemaico , pressoché dimenticato dall ' Occidente Cristiano fino all' XI secolo ,

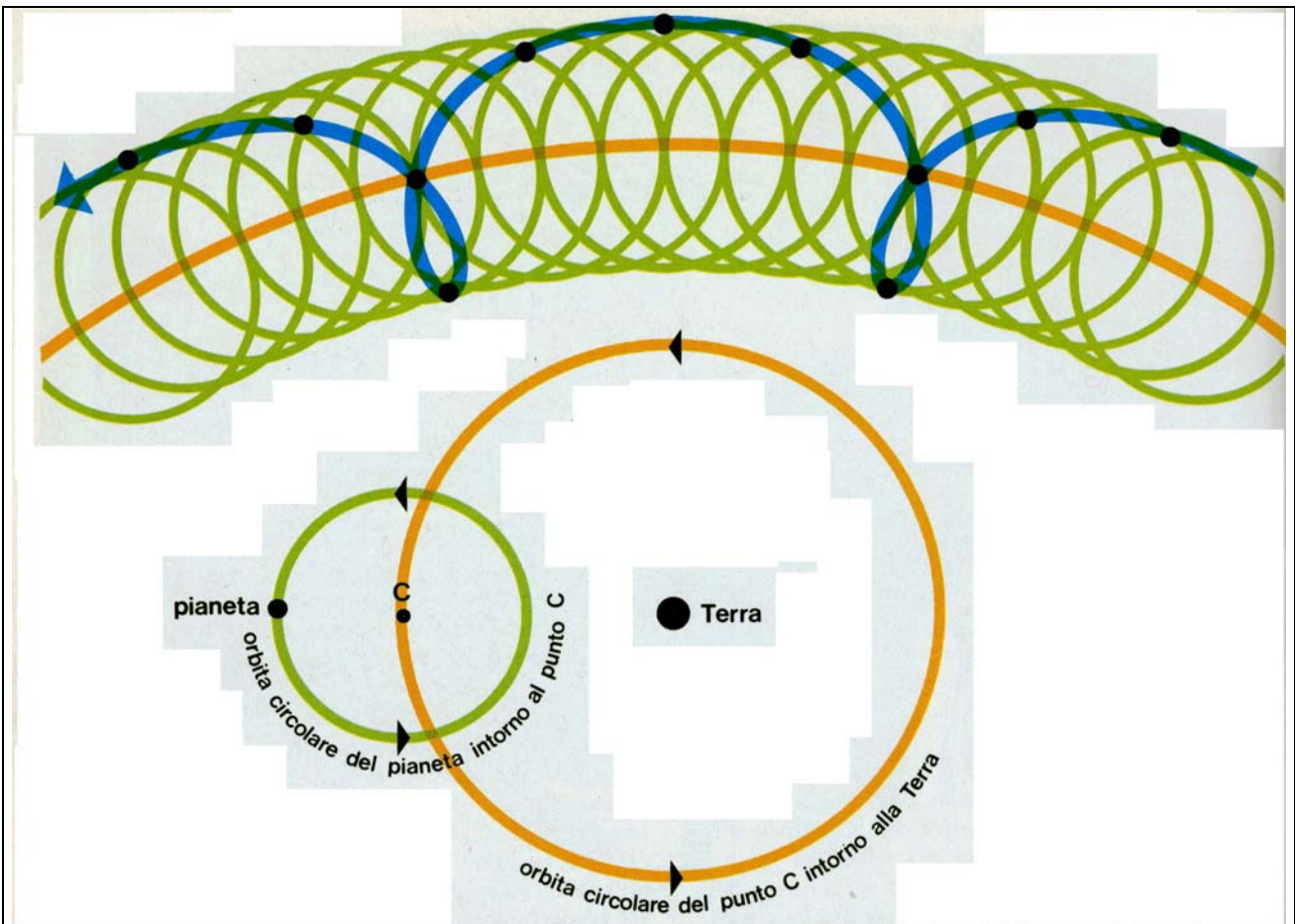
venne riscoperto con la diffusione della cultura araba . Il grande corpus delle dottrine aristoteliche , che senza il contributo dei traduttori e commentatori arabi , sarebbe in gran parte andato perduto , incominciò ad influire sulla cultura europea , che risorgeva nelle Università appena fondate .

Tommaso d’Aquino , il “ **doctor angelicus** “ , riuscì a fondere in un’unica grande sintesi le dottrine di Aristotele con la tradizione teologica biblico-cristiana ; e poiché gli Arabi non avevano dato contributi originali di rilievo , il modello tolemaico venne accettato integralmente e restò per secoli la teoria cosmologica ufficiale della chiesa . Per questo motivo da Tommaso d’Aquino in poi , ogni disputa in materia di astronomia divenne anche una disputa teologica e si dovrà attendere lo spirito innovatore dell ‘ **Umanesimo** perché il sistema di Tolomeo venga rimesso in discussione .



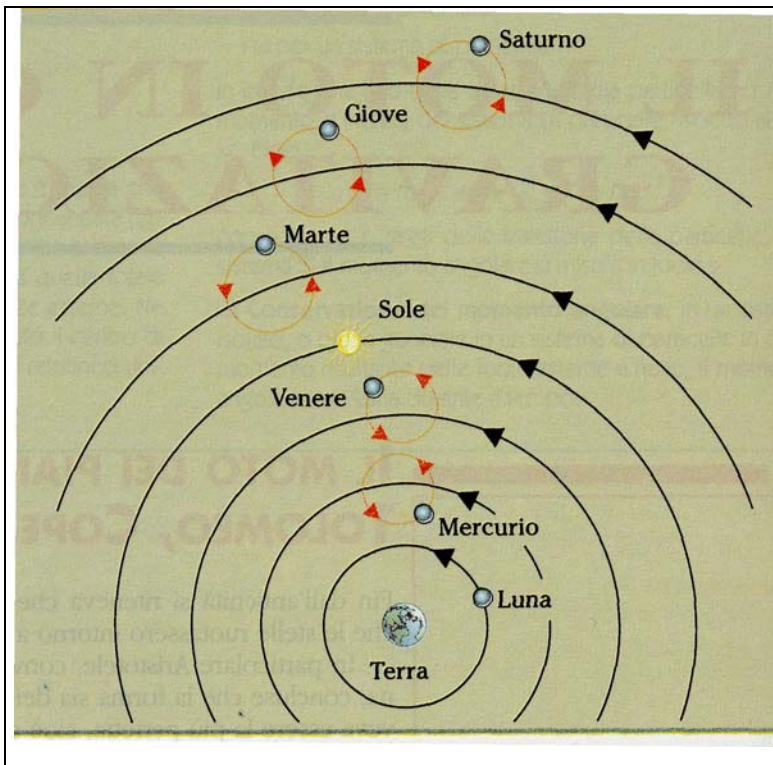


Posizioni apparenti di un pianeta la cui orbita è maggiore di quella della Terra nel momento in cui questo si trova più vicino alla Terra. A causa della maggiore vicinanza, durante il moto retrogrado il pianeta assume la massima luminosità.

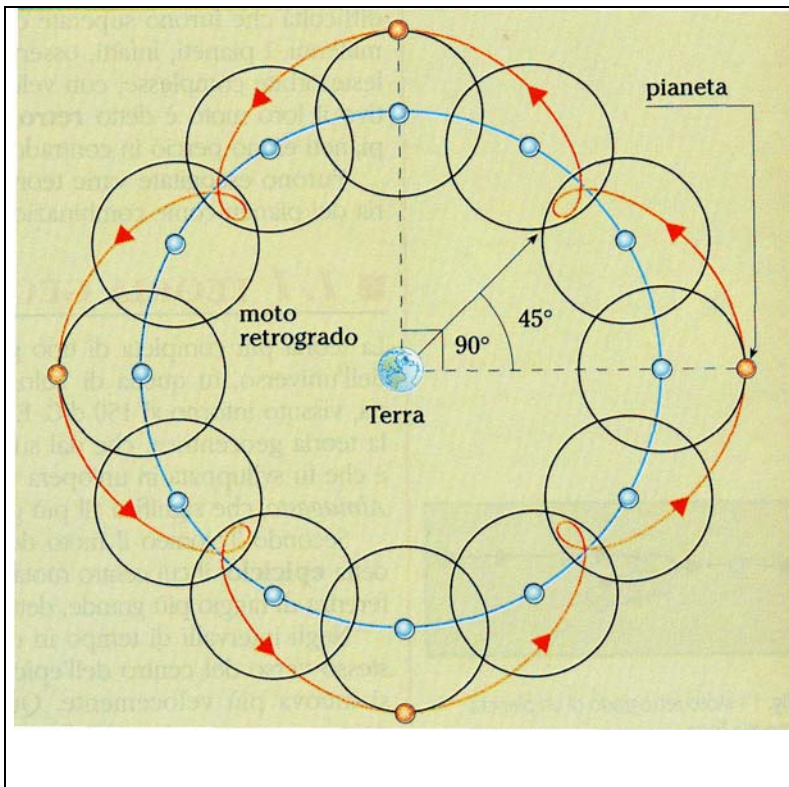


Il sistema di Tolomeo può essere considerato come un tentativo di descrivere il moto dei pianeti e del Sole , quando si prenda come sistema di riferimento la Terra .

La figura mette in evidenza come il moto dei corpi celesti diventi complicato quando il sistema di riferimento è la terra e come , viceversa , esso si semplifichi quando il punto di osservazione venga idealmente trasferito sul Sole .



Secondo la teoria geocentrica tolemaica i pianeti descrivono una traiettoria circolare, detta **epiciclo**, il cui centro ruota intorno alla Terra descrivendo una seconda circonferenza detta **deferente**



Se la velocità angolare del pianeta intorno al centro dell'epiciclo è 4 volte più grande di quella del centro dell'epiciclo intorno al centro del deferente, si hanno 4 inversioni di moto mentre il centro dell'epiciclo compie un giro completo.

Successi e limiti del modello tolemaico

Il modello di Tolomeo si serviva del moto con velocità angolare uniforme attorno ad un dato centro , e perciò sotto questo aspetto era in stretto accordo con le ipotesi di Platone . D'altra parte , Tolomeo ritenne opportuno non considerare la Terra come il centro esatto dei moti di rotazione dei pianeti , ma pensò che il centro fosse spostato di quanto bastava per potere spiegare le osservazioni astronomiche . Egli descrisse le traiettorie di ogni pianeta separatamente servendosi di una opportuna combinazione (diversa da pianeta a pianeta) di eccentrici , epicicli ed equanti . Per ogni pianeta Tolomeo riuscì a trovare una combinazione di moti in grado di predire le posizioni successivamente occupate dal pianeta stesso , durante lunghi periodi di tempo, e con una accuratezza di circa due gradi . sembra , tuttavia , che Tolomeo stesso non pretendesse di avere trovato un modello dell'universo avente realtà fisica : al contrario , gli bastava un modello matematico che permettesse il calcolo delle posizioni successivamente occupate . E' certo però che alcune difficoltà continuavano a sussistere . La descrizione tolemaica consisteva in una serie di artifici matematici atti a spiegare e prevedere il moto dei pianeti . Queste analisi geometriche equivalevano , parlando con un linguaggio moderno , a scrivere una equazione del moto per ogni singolo pianeta , equazione alquanto complessa . malgrado ciò , la maggior parte degli eruditi , Dante compreso , continuò a credere che i pianeti si muovessero veramente su sfere cristalline , proprio come Eudosso aveva suggerito in epoca remota . Cause della fortuna del sistema tolemaico rimasto in auge per 1500 anni :

- 1) era in grado di fare previsioni abbastanza accurate sulle posizioni del Sole , della Luna e dei pianeti
- 2) spiegava perché le stelle fisse non si spostano

3) era conforme nella maggior parte dei dettagli alle idee filosofiche elaborate dai primi filosofi greci , ivi compresi i concetti di << **moto naturale** >> e di << **posto naturale** >>

In tempi più recenti questo modello di sistema planetario entrò a fare parte della sintesi del pensiero cristiano e della fisica aristotelica operata da Tommaso d ' Aquino . In astronomia Tolomeo non introduce idee originali ma riesce a delineare una teoria dell'Universo coerente e sistematica , basata su ipotesi che gli sembrano plausibili in quanto erano in sostanziale accordo con i dati delle osservazioni . Notevolissima importanza assume , in questa sistemazione , l'apparato matematico a cui Tolomeo fa ricorso per stabilire rigorosi nessi fra le varie proposizioni . Tolomeo dà importanza alla determinazione dei dati empirici , determinazione che cerca di curare con il massimo scrupolo , sia raccogliendo e controllando il materiale d'osservazione degli astronomi che lo avevano preceduto , sia eseguendo egli stesso nuove osservazioni . Le ipotesi cui Tolomeo fa ricorso per coordinare matematicamente fra loro queste osservazioni sono quelle di Ipparco basate sul moto circolare degli astri , corretto però da un complicato meccanismo di epicicli e di eccentrici . Diversamente da Ipparco , egli suppone che ogni pianeta risulti fisso sopra una sfera epiciclica anziché sopra un cerchio . Fino a questo punto Tolomeo presenta la propria teoria come essenzialmente matematica e quindi non disgiungibile da un certo carattere ipotetico : teoria , però , che non intende limitarsi ad una semplice descrizione dei fenomeni , ma mira a fornire una spiegazione plausibile delle loro leggi . Passando poi a trattare quella che oggi chiameremmo << **astronomia fisica** >> egli cerca di dimostrare l'immobilità della terra , principio cardine di tutta la concezione dell ' Almagesto . L'argomento fondamentale (prettamente aristotelico) da lui addotto a sostegno di questa tesi è la simmetria delle forze dell'universo , simmetria che dovrebbe trattenere la terra al centro del mondo . Anche la spiegazione fisica del **moto delle sfere celesti** è di carattere aristotelico . Tolomeo , infatti , l'ottiene ammettendo l'esistenza di una sfera esterna dell'Universo

(la cosiddetta **sfera motrice**) priva di stelle , che darebbe il moto diurno alla sfera delle stelle fisse e poi più giù alle successive sfere planetarie . Alla sfera delle stelle fisse egli deve aggiungere un altro moto , per spiegare la precessione degli equinozi ; ed alle sfere planetarie deve aggiungerne due . Questi moti richiedono nuove sfere motrici . Tolomeo può essere considerato l ' Euclide dell'astronomia . L'opera di Tolomeo non può essere considerata come un ostacolo allo sviluppo scientifico che non progredì in quanto la teoria tolemaica fu assunta dai suoi seguaci come **assoluta ed intoccabile** . Questa è del resto la sorte che tocca ad ogni teoria , quando essa viene assunta come dogma anziché come risultato scientifico.

Tolomeo si interessò anche di geografia , acustica ed ottica .

Il problema di Platone (428—347 a.c.)

La maniera di affrontare il problema astronomico che contraddistinse per molti secoli i Greci e quanti si ispirarono alle loro idee, ci è indicata in un enunciato di Platone, risalente al quarto secolo a.c. Egli pose il problema astronomico ai suoi allievi in questi termini : << Le stelle, rappresentando oggetti eterni, divini, immutabili, si muovono con velocità uniforme attorno alla terra, come noi possiamo constatare, e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie, quella della circonferenza senza origine e senza fine. Ma alcuni corpi celesti come il Sole, la Luna, i Pianeti, vagano attraverso il cielo e seguono cammini complessi, con

inclusione di moti retrogradi. Essendo tali oggetti corpi celesti dovranno sicuramente muoversi in maniera conforme al loro rango elevato. Poiché tali corpi non descrivono delle traiettorie circolari dobbiamo dedurre che i loro moti debbono derivare da una qualche combinazione di cerchi perfetti. Quali sono le combinazioni di moti circolari uniformi in grado di spiegare il moto complesso dei corpi celesti? >>

Tolomeo, con la sua teoria, dieda una valida risposta al problema di Platone.