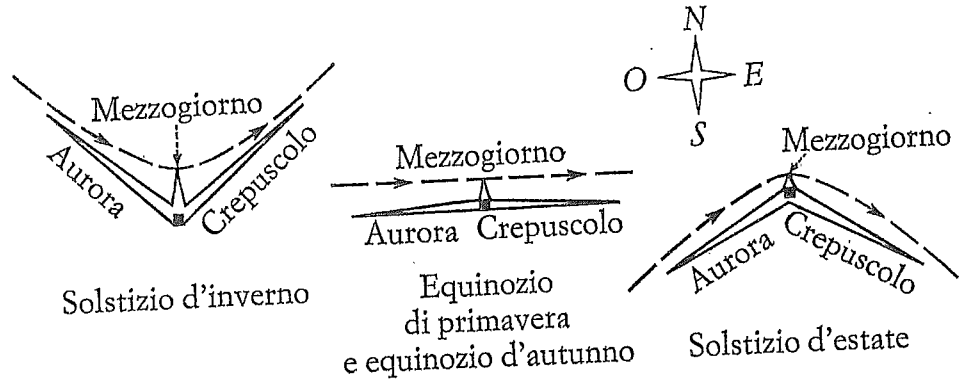


Figura 1.

Lo spostamento quotidiano dell'ombra dello gnomone nelle diverse stagioni per medie latitudini nord. All'alba e al tramonto l'ombra tende per un istante all'infinito, dove la sua estremità è tangente alla linea tratteggiata del diagramma. Fra l'alba e il tramonto, l'estremità dell'ombra si sposta lentamente lungo la linea tratteggiata; a mezzogiorno l'ombra punta verso il nord convenzionale.



2

... di circa un minuto nelle diverse stagioni dell'anno. Sebbene gli antichi astronomi fossero a conoscenza di questa piccola ma significativa irregolarità del tempo solare apparente, noi qui la ignoreremo. La causa di questa variazione ed il suo effetto sulla definizione di un sistema di misura del tempo sono discusse nella parte prima dell'Appendice tecnica.

Figura 2.

Relazione fra la posizione del Sole all'alba, l'altezza sull'orizzonte del Sole a mezzogiorno e la variazione stagionale dell'ombra dello gnomone.

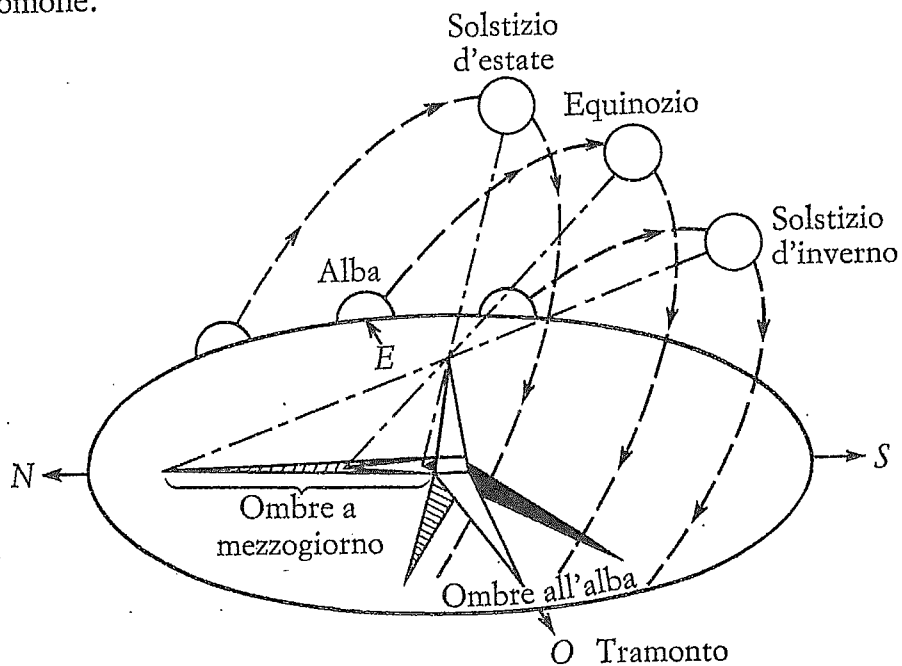


Figura 3.

Lo spostamento quotidiano dell'ombra dello gnomone nelle diverse stagioni nella parte settentrionale della zona torrida.

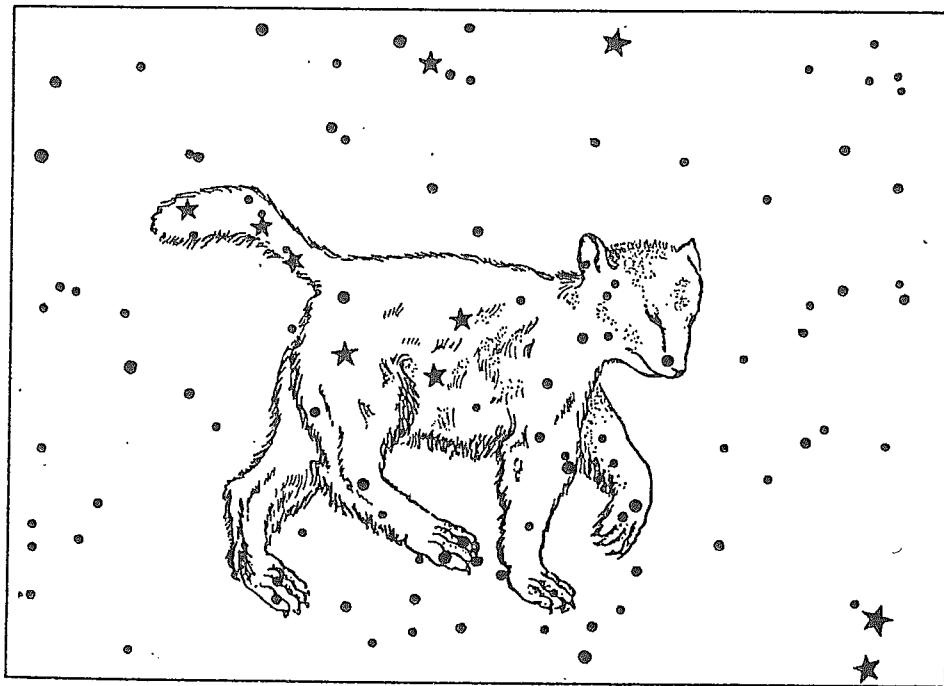
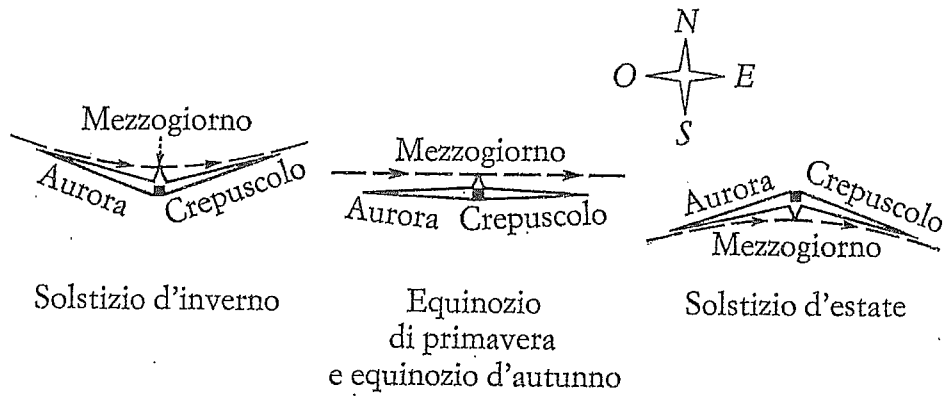
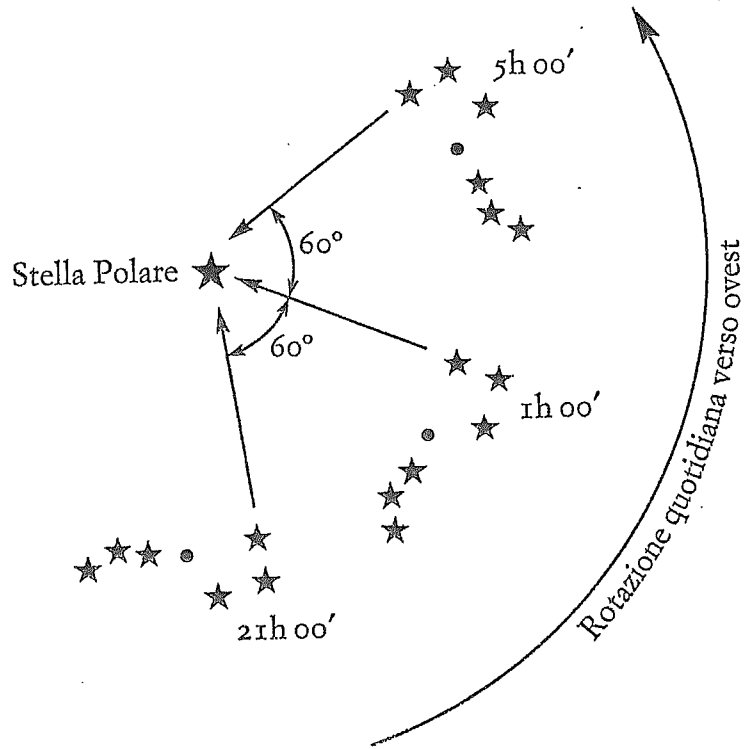


Figura 5.

Posizioni successive del Gran Carro ad intervalli di quattro ore ad ottobre inoltrato.



schematicamente illustrate nelle figure 7a e 7b.

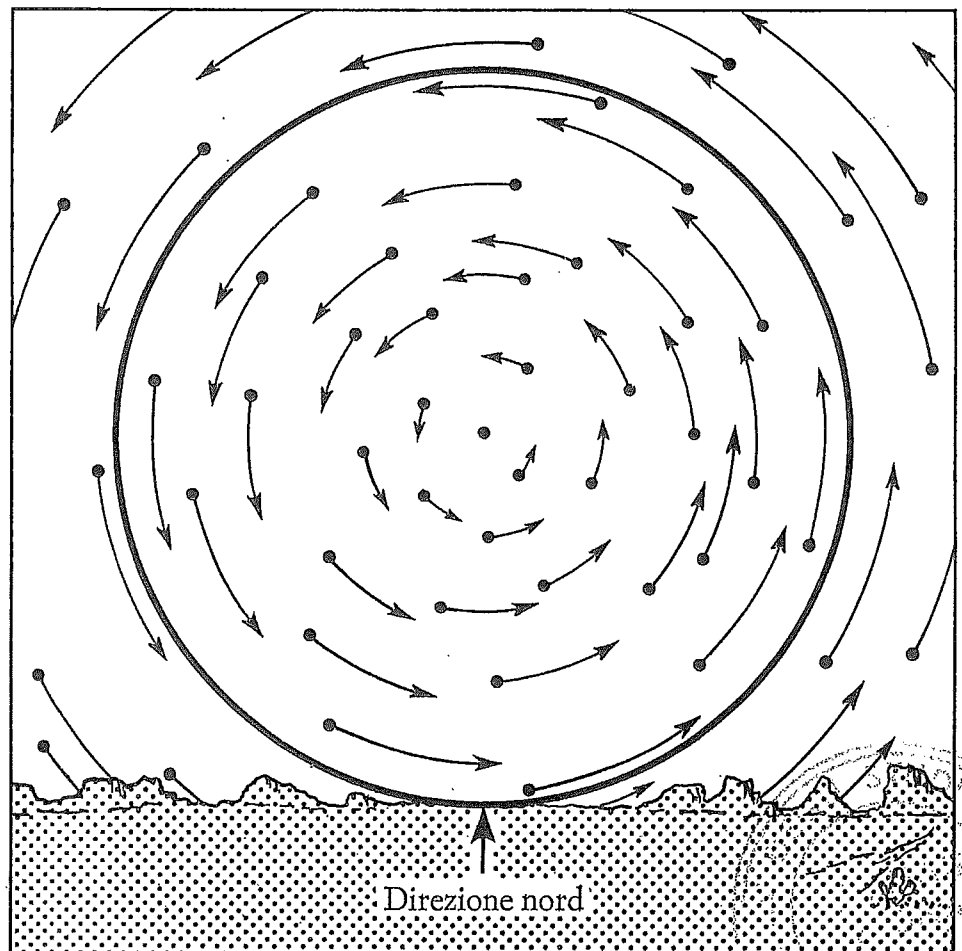
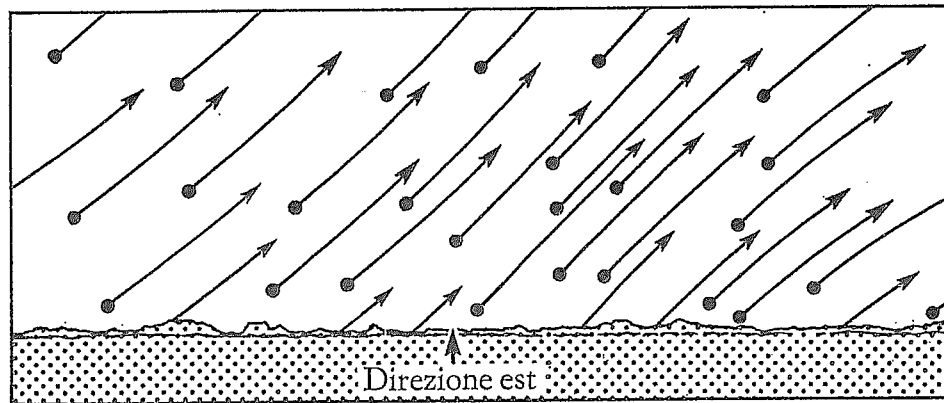
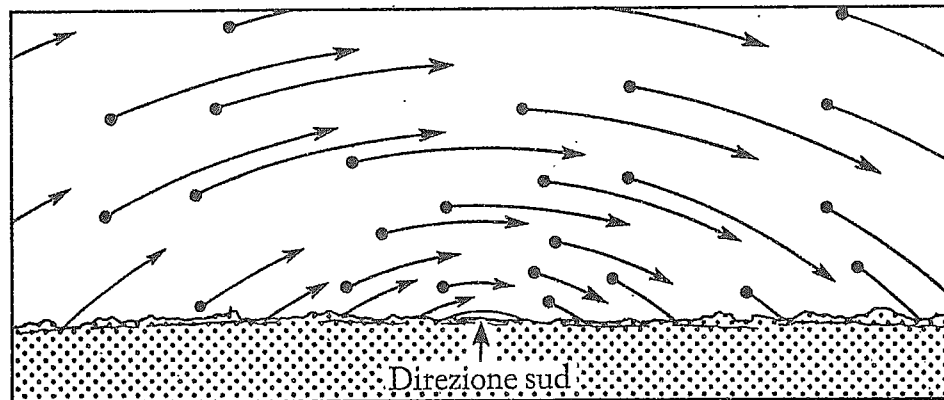


Figura 7.

Tracce di stelle sull'orizzonte orientale (a) e sull'orizzonte meridionale (b). Come in figura 6, questi diagrammi illustrano lo spostamento di stelle tipiche sopra un tratto di orizzonte di 90° e durante un periodo di due ore. In questi diagrammi, tuttavia, l'apparecchio fotografico è puntato all'orizzonte, per cui si vedono solo i primi 40° sopra l'orizzonte.



(a)



(b)

te, corrispondente ad una posizione nel cielo all'incirca al di sopra del capo dell'osservatore. Poiché le stelle riprendono la loro posizione in un periodo esattamente di quattro minuti minore di 24 ore, con il medesimo orientamento la mappa indicherà la posizione delle stelle alle 8,56 della sera del 24 ottobre, alle 8,52 del 25 ottobre, alle 8,32 del 30 ottobre e così via.

Si immagini ora che la linea continua dell'orizzonte, che racchiude il campo visivo dell'osservatore, sia tenuta ferma sulla pagina nella posizione attuale, mentre l'intero disco della mappa venga fatto ruotare lentamente dietro di essa in senso antiorario attorno al polo. Una rotazione del disco porta nella finestra dell'orizzonte proprio quelle stelle che sono visibili alle 10,00 della sera del 23 ottobre, oppure alle 9,56 della sera del 24 ottobre e così via.

Una rotazione di 45° porta entro la linea dell'orizzonte le stelle visibili alla mezzanotte del 23 ottobre. In questo modo si può trovare la posizione di tutte le stelle luminose in qualsiasi ora di qualsiasi notte.

Le mappe stellari trovano tuttavia altre applicazioni, oltre a quella di localizzare corpi celesti che, come le stelle, conservano le loro posizioni relative. Possono essere

antiorario e attorno al polo, di 15° ogni ora successiva alle 9,00. Tale rotazione lascia il polo nella medesima posizione, ma sposta le stelle verso l'alto al di sopra dell'orizzonte orientale e verso il basso dietro l'orizzonte occidentale. Per trovare la posizione delle stelle alle 9,00 di un giorno successivo, la mappa dovrebbe esser fatta ruotare in senso orario, dietro la finestra dell'orizzonte tenuta ferma, di 1° per ogni giorno successivo al 23 ottobre. La combinazione di queste due operazioni rende possibile trovare la posizione delle stelle in qualsiasi ora di qualsiasi notte dell'anno.

La linea tratteggiata che circonda il polo nella figura rappresenta l'eclittica: la traiettoria apparente del Sole fra le stelle (cfr. pp. sgg.). Il quadrilatero che racchiude una parte dell'eclittica nel quadrante superiore destro della mappa comprende la regione del cielo mostrata in scala più grande nelle figure 9 e 15.

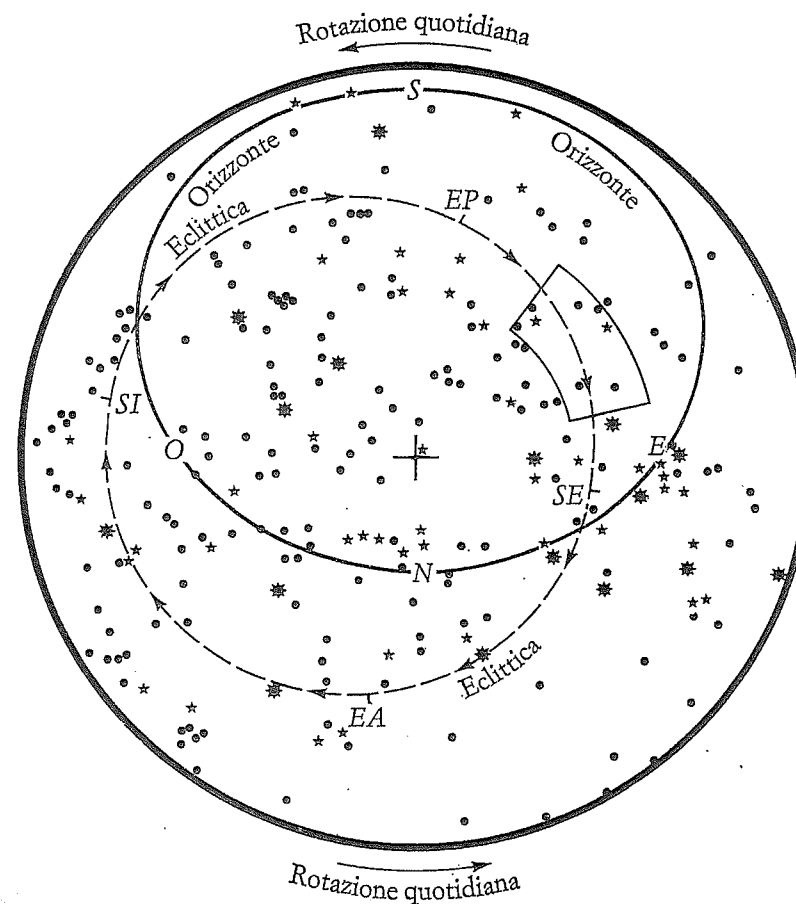


Figura 8.

Mappa delle stelle circumpolari, comprendente tutte le maggiori stelle visibili in qualche istante da un osservatore che si trovi a circa 45° di latitudine nord. La croce nel centro geometrico della mappa indica la posizione del polo celeste.

Se la mappa vien tenuta in posizione orizzontale al di sopra del capo, con la faccia rivolta verso terra e la parte inferiore del foglio diretta verso nord, mostrerà l'orientazione delle stelle come le vede un osservatore delle medie latitudini nord alle 9,00 della sera del 23 ottobre. Le stelle comprese nella linea continua che delimita la finestra dell'orizzonte sono quelle che l'osservatore può vedere; le altre al di fuori della linea si trovano, in quel giorno ed a quell'ora, al di sotto dell'orizzonte. Le stelle che giacciono all'interno della finestra dell'orizzonte vicino al punto N della mappa saranno osservate proprio al di sopra del nord convenzionale dell'orizzonte fisico (si noti il Carro); quelle vicine al punto E sorgeranno esattamente all'est, e così via. Per trovare la posizione delle stelle in una successiva ora del 23 ottobre, si dovrebbe considerar fissa la finestra dell'orizzonte e far ruotare, dietro di essa, la mappa circolare, in senso

SI Solstizio d'inverno
EP Equinozio di primavera

SE Solstizio d'estate
EA Equinozio d'autunno

Figura 9.

Moto del Sole attraverso le costellazioni dell'Ariete e del Toro. I cerchietti rappresentano la posizione del Sole al tramonto, in sere successive che vanno dalla metà di aprile fin verso la fine di maggio.

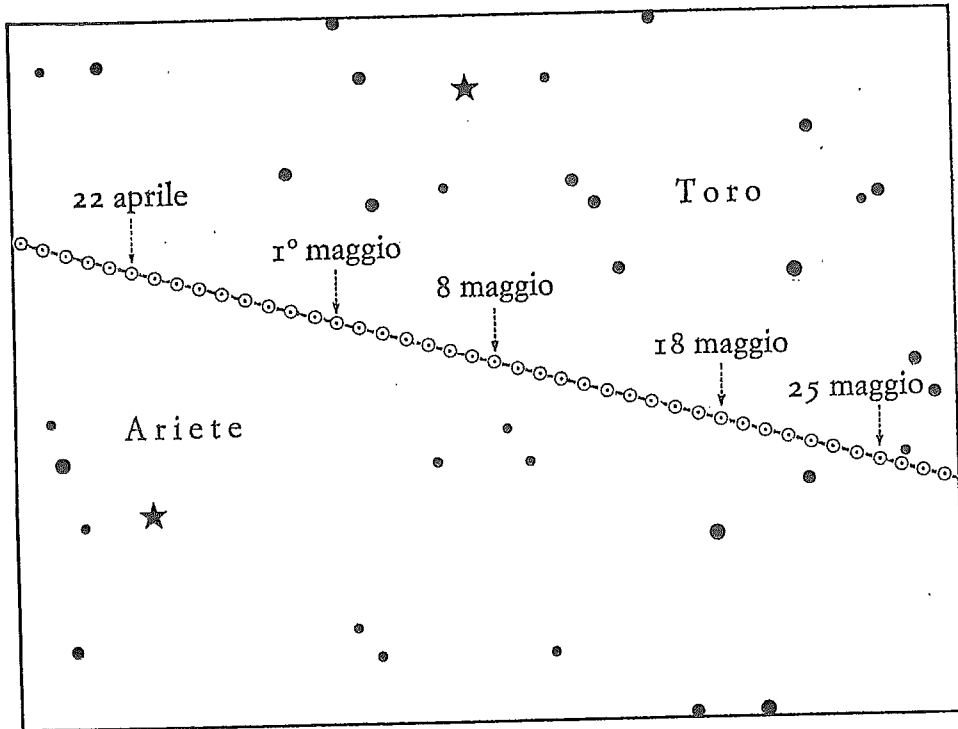
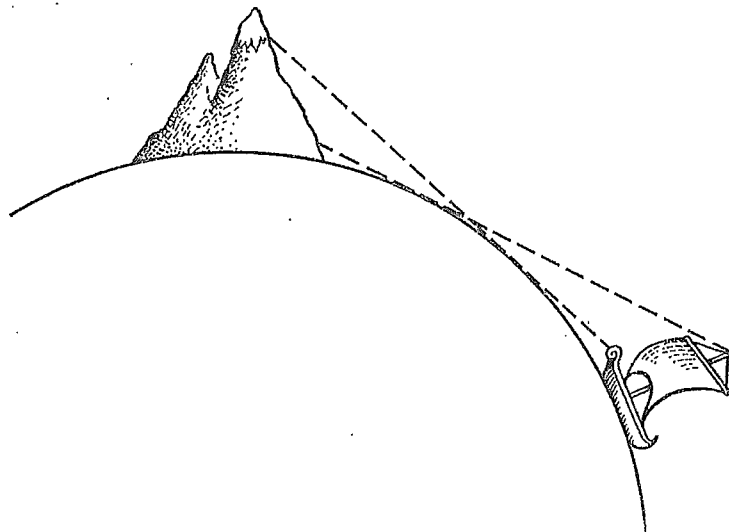


Figura 10.

Un antico (e moderno) argomento a favore della sfericità della Terra. Un osservatore ai piedi della montagna può vedere soltanto la punta dell'albero al di sopra della convessità della Terra. Dalla vetta della montagna si possono vedere l'intero albero e parte dello scafo.



Pertanto la Terra deve necessariamente restar appesa al centro, eternamente fissa mentre l'universo le ruota attorno.

Sebbene tali argomenti, derivati dalla simmetria, possano oggi sembrare strani (gli argomenti che sostengono una tesi ormai confutata sembrano di solito strani), ebbene un grande rilievo nel pensiero antico, medievale e del primo evo moderno. Una dissertazione di simmetria come quella di Platone rivela la logica della cosmologia delle due sfere: spiega il perché l'universo sia stato creato nella forma sferica. Ed ancor più importante: come vedremo nei capitoli III e IV, la simmetria delle due sfere forniva importanti nodi di collegamento fra i pensieri astronomico, fisico e teologico, in quanto costituiva l'essenza di ognuno di essi. Nel capitolo V, vedremo Copernico sforzarsi invano di preservare la simmetria essenziale dell'antica cosmologia in un universo costruito per contenere un pianeta Terra in movimento. Ma ora noi ci occupiamo soprattutto dell'universo a due sfere e qui il caso è del tutto chiaro. In astronomia, la cosmologia delle due sfere funziona, e funziona assai bene. Vale a dire che corrisponde con esattezza alle osservazioni dei cieli descritte nelle prime parti di questo capitolo.

La figura 11 mostra una Terra sferica, ingrandita assai più della normale, al centro di una sfera delle stelle, più grande. Un osservatore sulla Terra, nella posizione O' indicata dalla freccia, può vedere esattamente metà della sfera. Il suo orizzonte è delimitato da un piano (tratteggiato nel disegno), tangente alla Terra nel punto dove egli si trova. Se la Terra è molto piccola nei confronti del-

Figura 11.

Funzioni astronomiche dell'Universo a due sfere. Il cerchio esterno rappresenta una sezione trasversale della sfera delle stelle che ruota regolarmente verso occidente attorno all'asse NS . L'osservatore in O' può vedere tutta la parte di questa sfera che si trova al di sopra del piano tratteggiato dell'orizzonte $SONE$. Se il disegno fosse in scala, la Terra risulterebbe molto più piccola e il piano dell'orizzonte sarebbe tangente alla Terra nel punto di osservazione. Ma poiché un disegno in scala ridurrebbe la Terra a dimensioni mi-

croscopiche, il piano in figura è stato disegnato come passante per il centro della sfera delle stelle, mentre il suo orientamento nei confronti dell'osservatore viene conservato mantenendolo perpendicolare alla retta che va dall'osservatore al centro della Terra. I cerchi orizzontali del disegno rappresentano la traccia del percorso compiuto da determinati punti sulla sfera, mentre la sfera effettua la sua rotazione quotidiana. Essi sono pertanto i cerchi quotidiani di determinare stelle, disegnati con una linea continua nei tratti in cui sono visibili dall'osservatore e con una linea tratteggiata nei tratti in cui giacciono al di sotto dell'orizzonte. Il cerchio centrale è tracciato da una stella che si trova sull'equatore celeste. Essa sorge in E , est convenzionale dell'osservatore, si sposta verso l'alto lungo una linea inclinata a sud e così via. I cerchi più in alto e più in basso sono tracciati da stelle che incontrano l'orizzonte in un sol punto. Il cerchio in alto, CC , è il cerchio quotidiano della stella circumpolare più meridionale; il cerchio in basso, II , è tracciato dalla più settentrionale fra le stelle che rimangono invisibili all'osservatore in O' .

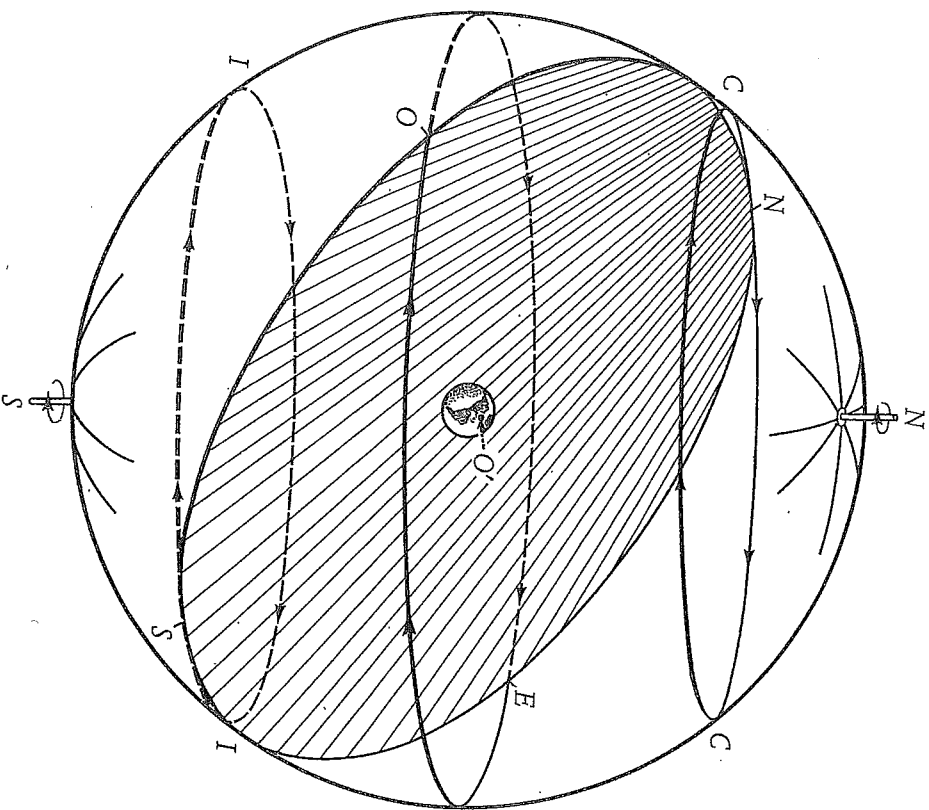


Figura 12.

Moto delle stelle nell'Universo a due sfere, visto da un osservatore al polo nord terrestre (a) e all'equatore (b).

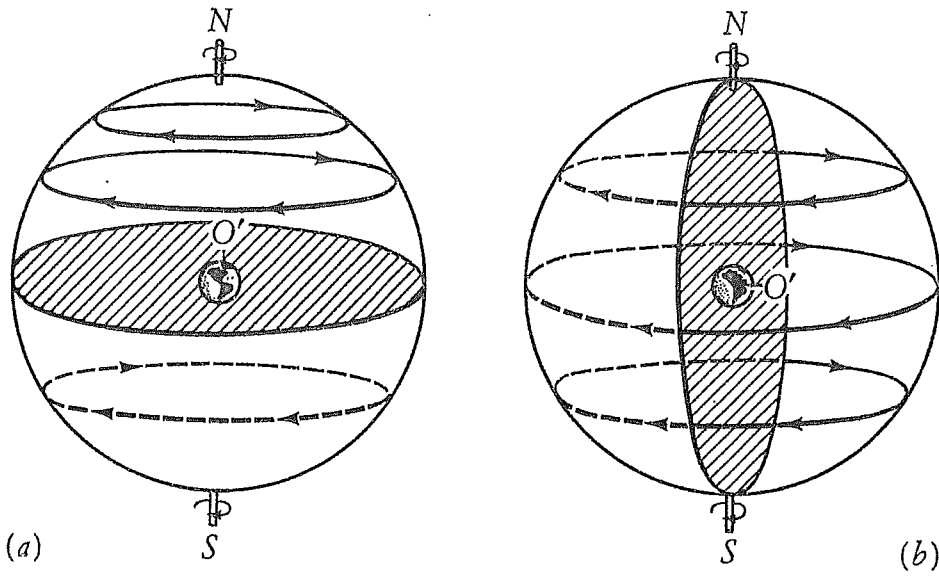
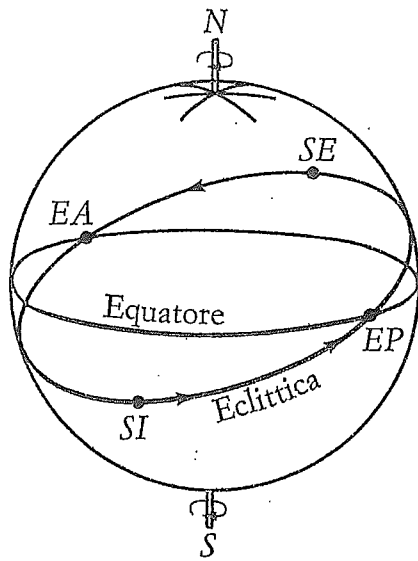


Figura 13.

L'equatore e l'eclittica sulla sfera celeste.



SI Solstizio d'inverno
EP Equinozio di primavera

SE Solstizio d'estate
EA Equinozio d'autunno

ettuale vien spesso definita economia concettuale. Le osservazioni del Sole e delle stelle discusse nelle prime parti, sebbene fossero accuratamente selezionate e sistematicamente presentate, risultavano, considerandole un assieme organico, estremamente complesse. A chi non possiede ancora una profonda conoscenza dei cieli, un'osservazione come quella relativa alla direzione della linea obliqua lungo cui il Sole sorge o al comportamento corrispondente dell'ombra dello gnomone non sembra avere alcun rapporto con un'altra osservazione, come quella della posizione del polo celeste o della breve comparsa delle stelle nel cielo meridionale. Ciascuna osservazione è una voce separata di un lungo elenco di semplici avvenimenti che accadono nei cieli ed è difficile tenere a mente contemporaneamente l'intero elenco.

L'universo a due sfere non presenta alcun problema del genere: una sfera enorme, che regge le stelle, ruota regolarmente in direzione ovest attorno ad un asse fisso, ogni 23 ore e 56 minuti; l'eclittica è un cerchio massimo della sfera, inclinato di $23^{\circ}30'$ sull'equatore celeste, e il Sole percorre regolarmente l'eclittica in direzione est in 365 giorni e un quarto; il Sole e le stelle sono osservate da una minuscola sfera fissa, posta nel centro della gigantesca sfera stellare. Tutto ciò, lo si può affidare alla memoria una volta per sempre e ricordarlo, mentre l'elenco-

Figura 14.

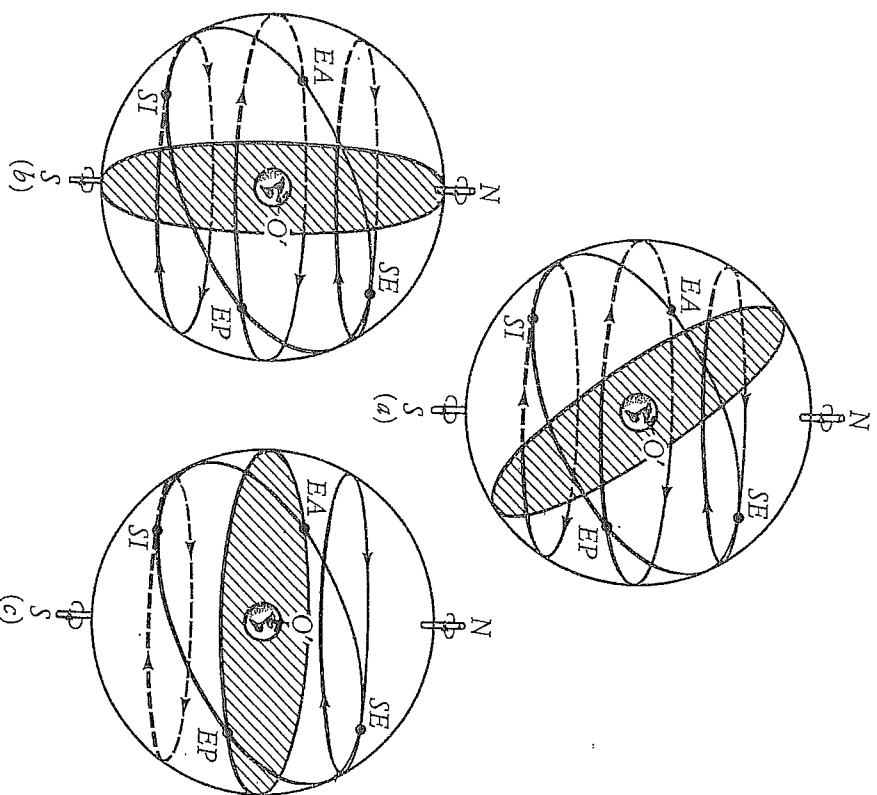
Il moto del sole osservato da differenti località della terra.

(a) Osservatore nelle medie latitudini settentrionali. Nel solstizio d'estate il Sole sorge lungo un'obliqua, spostato verso nord rispetto alla direzione est; più di metà del suo circolo giornaliero giace al di sopra dell'orizzonte, cosicché i giorni risultano più lunghi delle notti. Negli equinozi il Sole sorge in corrispondenza della direzione est e soltanto la metà del suo circolo giornaliero risulta visibile. Nel solstizio invernale il Sole sorge spostato verso sud ed i giorni sono più corti delle notti. L'apice sull'orizzonte dell'orbita giornaliera del Sole tocca il suo punto più alto in estate, ma in tutte le stagioni l'ombra del mezzogiorno deve puntare in direzione nord.

(b) Osservatore sull'equatore. Qualunque sia la posizione del Sole sull'eclittica, il piano dell'orizzonte divide il circolo giornaliero del Sole in due parti uguali. I giorni e le notti hanno sempre la stessa

lunghezza e il clima ha variazioni stagionali piccole. Durante metà dell'anno (dall'equinozio di primavera a quello d'autunno), il Sole sorge a nord del punto dell'orizzonte in direzione est e la sua ombra di mezzogiorno punta in direzione sud. Nell'altra metà dell'anno il Sole sorge a sud dell'orizzonte in direzione est e la sua ombra di mezzogiorno punta a sud.

(c) Osservatore al polo nord terrestre. Metà dell'eclittica si trova sempre al di sotto dell'orizzonte; cosicché per metà dell'anno (dall'equinozio autunnale a quello primaverile) il Sole è completamente invisibile. All'equinozio di primavera, il Sole comincia a spuntare al di sopra dell'orizzonte e ruota attorno ad esso lungo una spirale che va gradualmente innalzandosi fino al solstizio d'estate. Da allora, a poco a poco, la spirale si riabbassa sull'orizzonte, scomparendo lentamente al di sotto di esso nell'equinozio d'autunno. Fra l'equinozio di primavera e quello d'autunno il Sole non tramonta.



SI Solstizio d'inverno
EP Equinozio di primavera

SE Solstizio d'estate
EA Equinozio d'autunno

Il moto di retrocessione di Marte nelle costellazioni dell'Ariete e del Toro. La sezione di cielo è la stessa della figura 9 e della casella nella mappa stellare della figura 8. La linea tratteggiata rappresenta l'eclittica e la linea continua il percorso del pianeta. Si noti che Marte non è sull'eclittica e che, sebbene il suo moto generale sia diretto verso est fra le stelle, c'è un periodo fra la metà di giugno e i primi di agosto in cui esso si sposta verso ovest. Le retrocessioni di Marte hanno sempre approssimativamente questa forma e durata, ma non ricorrono sempre alla stessa data o nella stessa sezione di cielo.

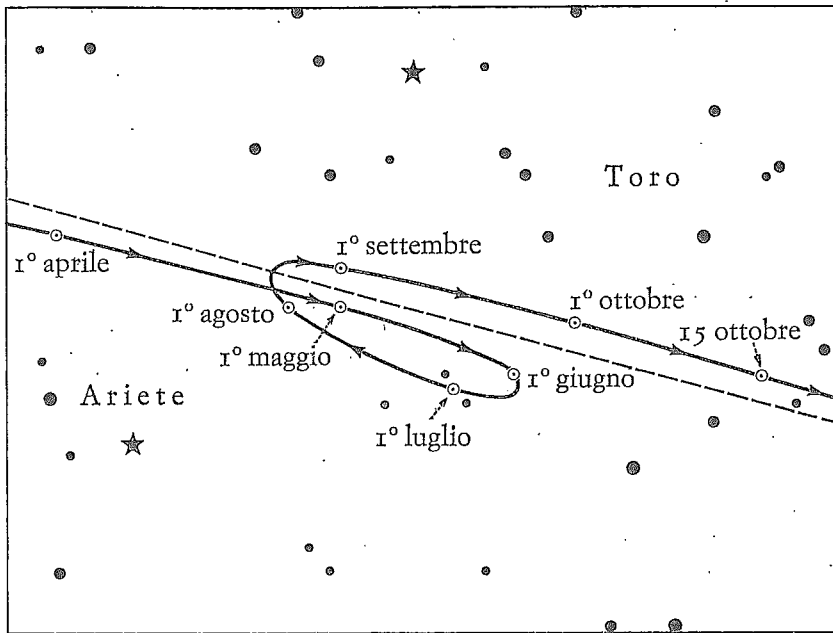


Figura 16.

Le orbite planetarie approssimative nell'Universo a due sfere. Il circolo piú esterno è una sezione trasversale della sfera stellare sul piano dell'eclittica.

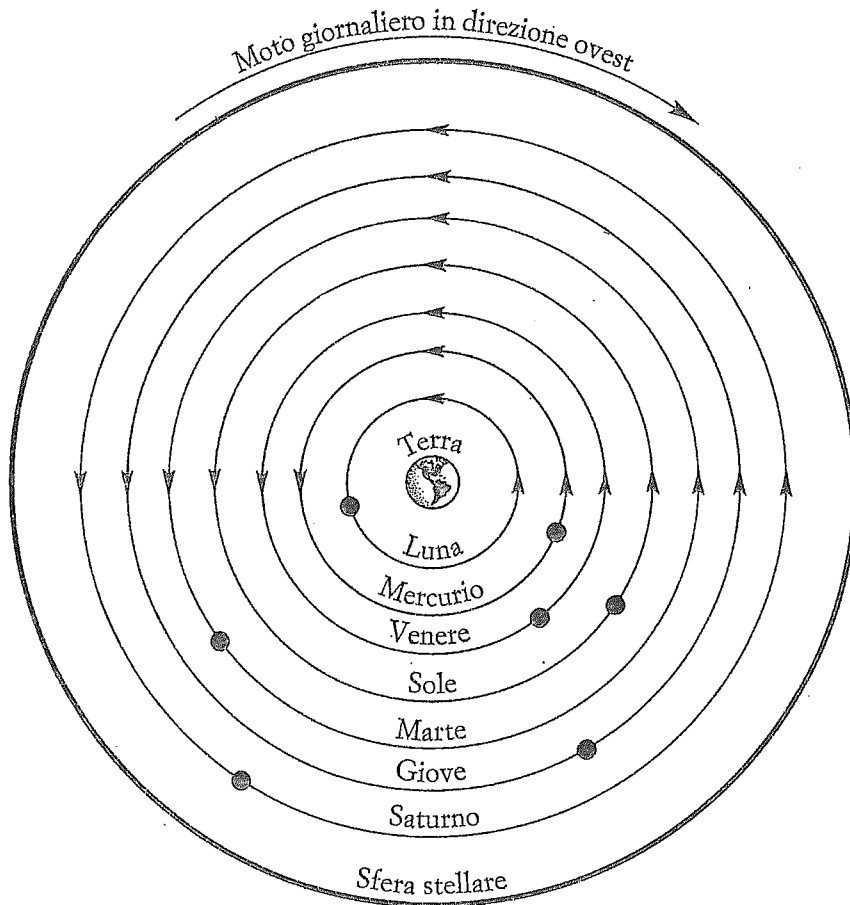


Figura 17.

Sfere omocentriche. Nel sistema a due sfere (a), la sfera esterna produce la rotazione giornaliera e la sfera interna muove il pianeta (Sole o Luna) con velocità regolare verso est attorno all'eclittica. Nel sistema a quattro sfere (b), il pianeta P giace fuori del piano del disegno, all'incirca su di una linea che va dalla Terra T all'occhio del lettore. Le due sfere più interne generano il moto a forma di nodo illustrato in figura 18, mentre le due sfere più esterne producono e il moto giornaliero e lo scorrimento medio del pianeta in direzione est.

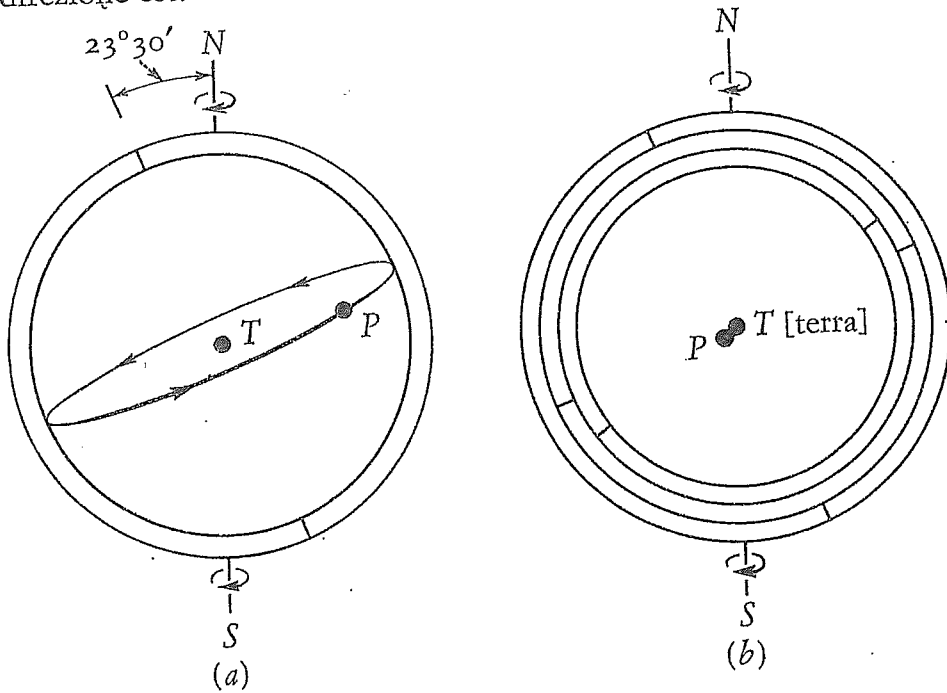
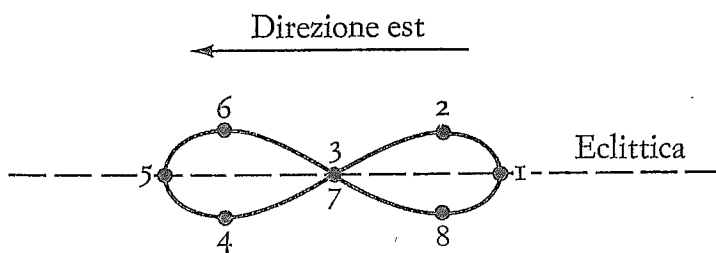


Figura 18.

Il moto a forma di nodo generato dalle due sfere omocentriche più interne. Nel sistema completo a quattro sfere, questo tipo di moto nodale si compie con il moto regolare in direzione est della seconda sfera: moto che, di per se stesso, porterebbe il pianeta lungo l'eclittica a velocità uniforme. Quando si viene ad aggiungere il moto nodale, il moto generale del pianeta ha una velocità variabile e non è più legato all'eclittica. Mentre il pianeta si sposta sul nodo dal punto 1 al 5, il suo moto generale è più veloce del moto medio in direzione est generato dalla seconda sfera. Mentre il pianeta si sposta dal 5 all'1 sul nodo, il suo moto in direzione est diventa più lento di quello generato dalla seconda sfera, e, quando si trova vicino al punto 3, può in effetti spostarsi verso ovest, in retrocessione.



Il moto di retrocessione di Marte nelle costellazioni dell'Ariete e del Toro. La sezione di cielo è la stessa della figura 9 e della casella nella mappa stellare della figura 8. La linea tratteggiata rappresenta l'eclittica e la linea continua il percorso del pianeta. Si noti che Marte non è sull'eclittica e che, sebbene il suo moto generale sia diretto verso est fra le stelle, c'è un periodo fra la metà di giugno e i primi di agosto in cui esso si sposta verso ovest. Le retrocessioni di Marte hanno sempre approssimativamente questa forma e durata, ma non ricorrono sempre alla stessa data o nella stessa sezione di cielo.

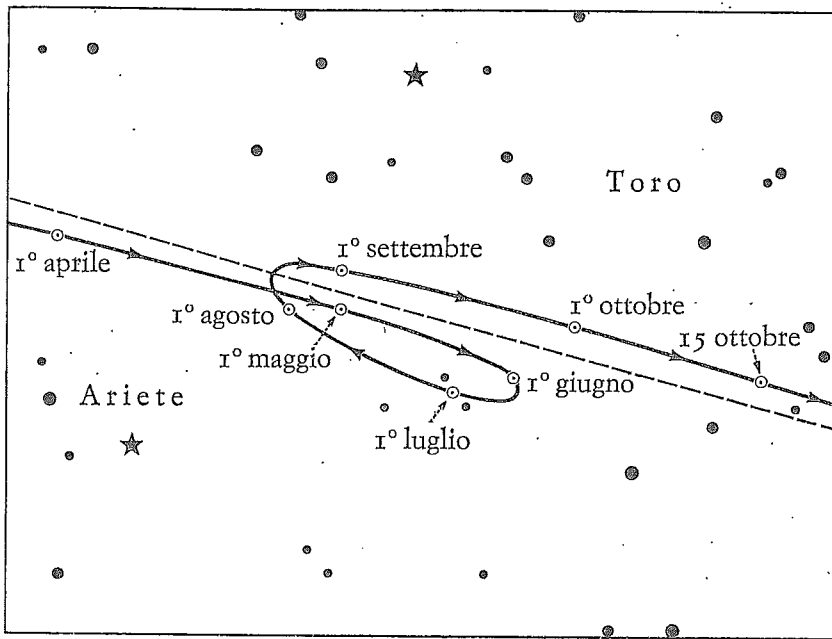


Figura 16.

Le orbite planetarie approssimative nell'Universo a due sfere. Il circolo più esterno è una sezione trasversale della sfera stellare sul piano dell'eclittica.

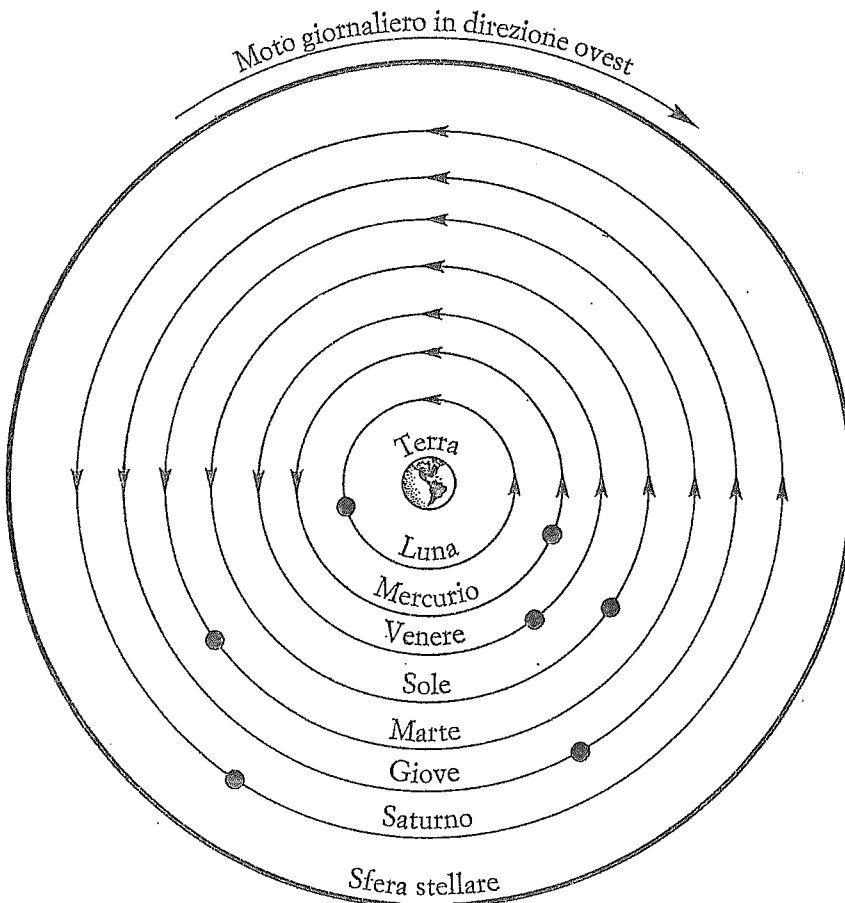
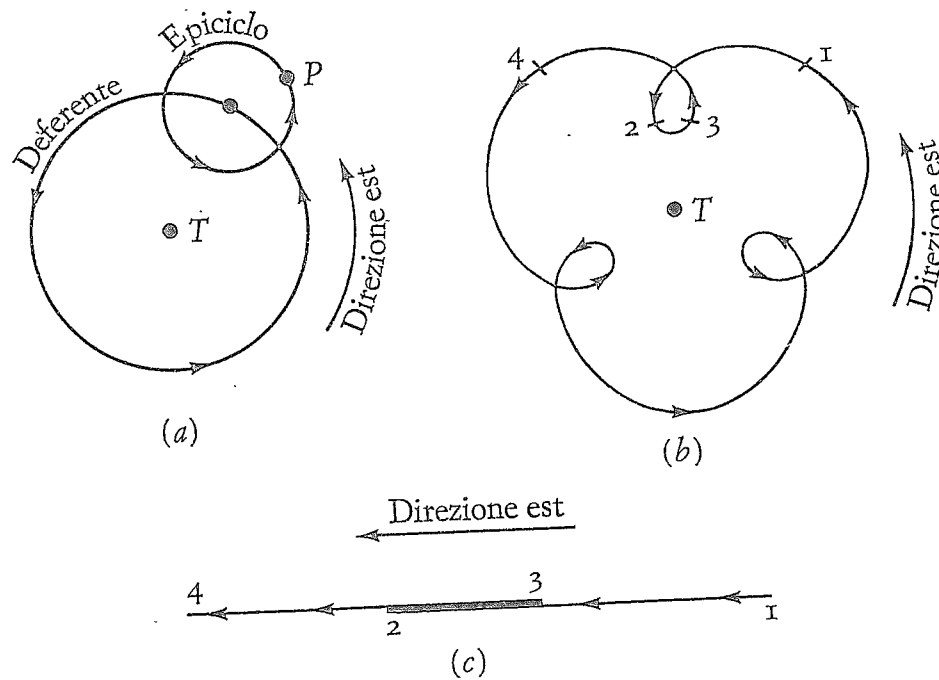


Figura 19.

Schema del sistema epiciclo-deferente. Un deferente ed un epiciclo tipici sono disegnati in (a); il moto intrecciato che essi generano nel piano dell'eclittica è illustrato in (b); il terzo disegno (c) mostra una parte (1-2-3-4) del moto di (b), com'è visto da un osservatore sulla Terra centrale T.



varsi sulla parte interna di uno dei piccoli occhielli: qualsiasi altro punto si sposta normalmente in direzione est, ma con velocità variabile.

La figura 19c illustra il moto del pianeta in uno degli occhielli, com'è visto da un osservatore sulla Terra sul fondo della sfera delle stelle. Poiché osservatore e cielo si trovano sullo stesso piano, che è quello dell'eclittica, l'osservatore non può vedere l'occhiello aperto. Quello che vede è semplicemente la posizione del pianeta sul fondo costituito dall'eclittica. Così, quando il pianeta si sposta dalla posizione 1 alla 2 nelle figure 19b e 19c, l'osservatore lo vede muoversi lungo l'eclittica in direzione est. Quando il pianeta si avvicina alla posizione 2, si vede muoversi più lentamente, fermarsi per un istante in 2 e quindi muoversi in direzione ovest lungo l'eclittica quando si sposta da 2 verso 3. Finalmente, il movimento in direzione ovest del pianeta sull'eclittica si ferma, il pianeta torna a muoversi nuovamente in direzione est e lascia la posizione 3 sull'occhiello per dirigersi verso la posizione 4.

Un sistema costituito da un epiciclo e da un deferente muove pertanto un pianeta attorno all'eclittica, in un intervallo di tempo che, in media, eguaglia esattamente

Figura 20.

Moto generato da un epiciclo e da un deferente quando l'epiciclo compie poco piú di tre giri per ogni rivoluzione del deferente. Il percorso del pianeta durante un singolo percorso completo attraverso le stelle viene illustrato in (a). Questo percorso richiede piú di una rivoluzione del deferente, come indica (b) che illustra la posizione del pianeta all'inizio (P) e alla fine (P') della prima rivoluzione completa del deferente. Il disegno (c) mostra la posizione del pianeta all'inizio e alla fine di un'altra successiva rivoluzione del deferente: rivoluzione che fa compiere al pianeta piú di un viaggio completo attorno all'eclittica.

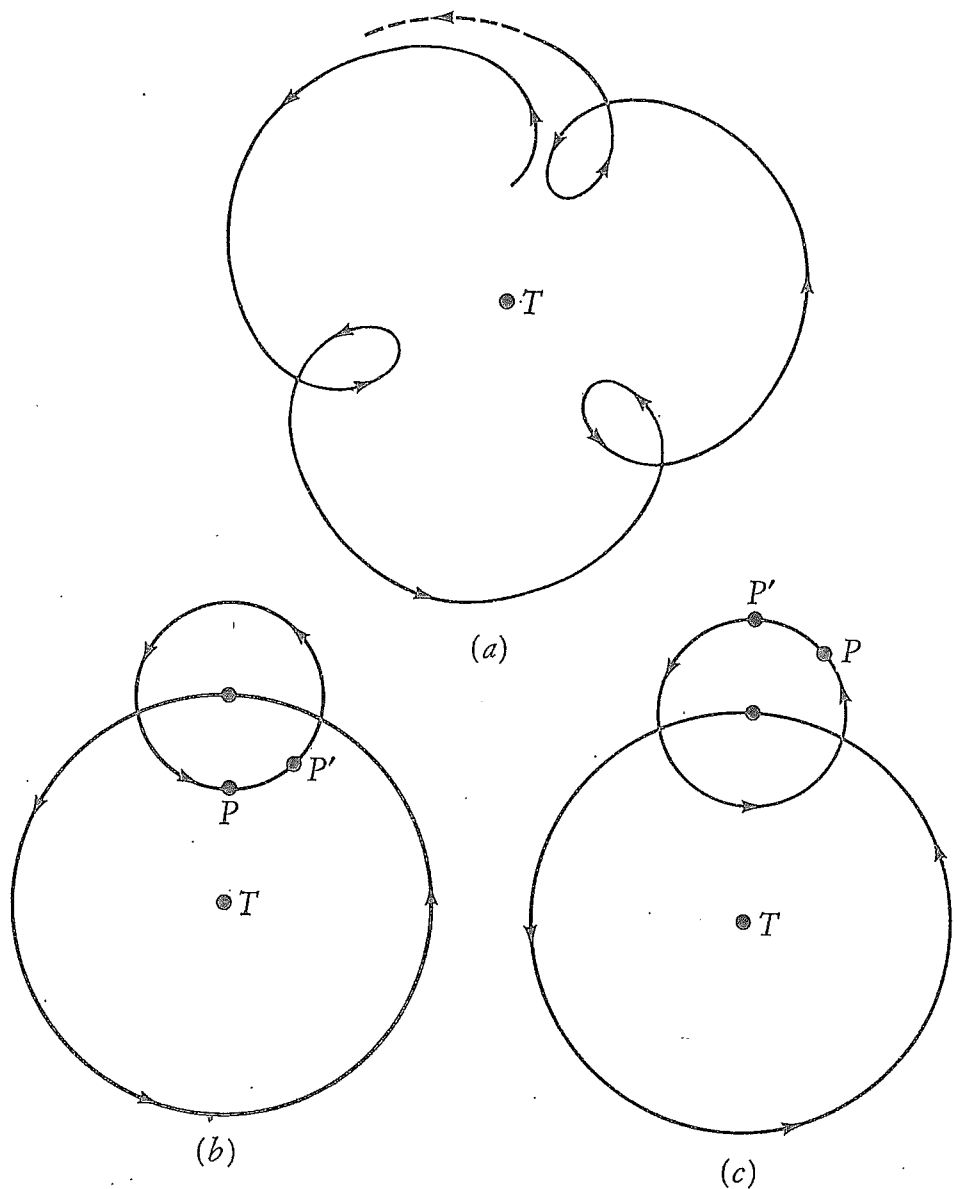
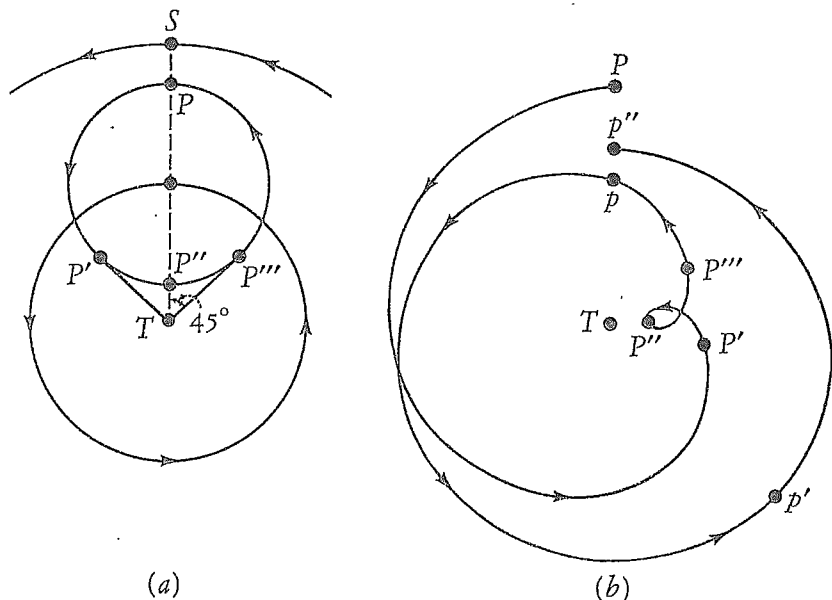


Figura 21.

Un sistema di un epiciclo e di un deferente per Venere (a), e il moto che esso genera nel piano dell'eclittica (b).

In (a) si notino le seguenti caratteristiche del disegno: il deferente compie una rotazione all'anno, cosicché se il centro dell'epiciclo si trova ad un certo istante allineato con la Terra T e col centro del Sole S rimarrà per sempre su questo allineamento e Venere non apparirà mai molto distante dal Sole. Gli angoli STP' e STP'' sono le angolazioni massime che si possono avere fra Sole e Venere e la condizione che queste angolazioni massime siano di 45° determina completamente le misure relative dell'epiciclo e del deferente: L'epiciclo compie una rotazione in 584 giorni; cosicché se Venere parte da P , vicino al Sole, arriverà in P' (massima distanza angolare come stella vespertina) dopo 219 giorni ($3/8$ di rivoluzione); in P'' dopo 292 giorni ($1/2$ rivoluzione); e in P''' (massima distanza angolare come stella mattutina) dopo 365 giorni ($5/8$ di rivoluzione).

Il secondo diagramma illustra il percorso lungo il quale Venere è guidato dai cerchi rappresentati in (a). Qui P è il punto di partenza, come nell'altro diagramma; P' rappresenta la posizione di Venere quando la sua distanza angolare dal Sole verso oriente è massima (219 giorni); P'' è la posizione del pianeta a metà percorso in un nodo di retrocessione (292 giorni); e P''' è la sua posizione quando la distanza angolare verso occidente è massima (365 giorni). Il primo viaggio di Venere sull'eclittica finisce in p dopo 406 giorni (si noti la lunghezza del periodo) e comprende una retrocessione e due punti di massima angolazione. Il viaggio successivo (da p a p' a p'') richiede solo 295 giorni e non comprende nessuno di questi caratteristici fenomeni. In p' Venere si trova di nuovo alla distanza minima dal Sole: posizione che raggiunge dopo una rivoluzione completa dell'epiciclo (584 giorni). Questo è, almeno dal punto di vista qualitativo, il modo in cui Venere si comporta!



sono soltanto cinque pianeti che rivelano grandi irregolarità come la retrocessione. Ma il numero degli epicicli minori necessario per spiegare le piccole irregolarità è funzione soltanto della precisione delle osservazioni di cui ci si può valere e dell'accuratezza delle previsioni richieste al sistema. Sistemi che impiegavano una dozzina o anche più di epicicli non erano rari nell'antichità e nella Rinascenza, giacché con opportuna scelta delle dimensioni e della velocità di un epiciclo minore si può spiegare pressoché ogni tipo di piccola irregolarità.

Un tipo di irregolarità è stato trattato con il sussidio di

Figura 22.

Funzioni di un epiciclo minore. In (a) il Sole, mosso dal solo deferente che ha la Terra come centro, richiede per spostarsi da EA ad EP lo stesso tempo di cui ha bisogno per fare il percorso inverso. In (b) il moto composto del deferente e dell'epiciclo minore guida il Sole lungo la linea tratteggiata, cosicché lo spostamento da EP ad EA richiede più tempo del ritorno. Il disegno (c) mostra la curva che risulta quando l'epiciclo minore ruota ad una velocità doppia di quella relativa al disegno (b):

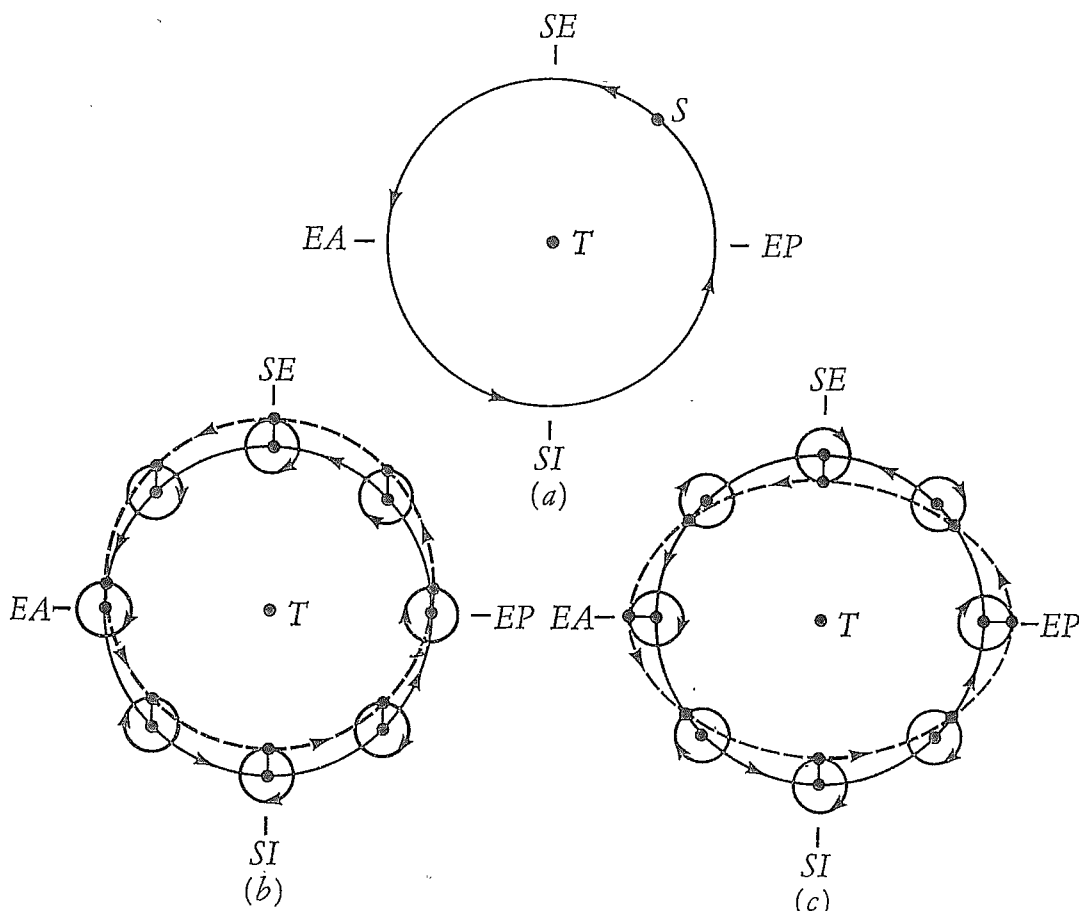


Figura 23.

Epiciclo su epiciclo su deferente (a) e traiettoria tipica nello spazio (b), generata da questo sistema di cerchi composti. Per semplicità si è disegnata una traiettoria che si chiude regolarmente su se stessa, il che non si verifica nel moto reale dei pianeti.

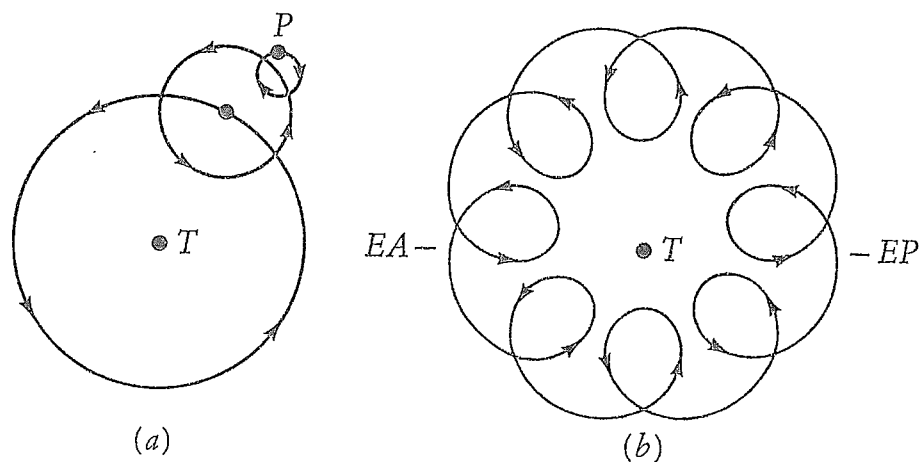
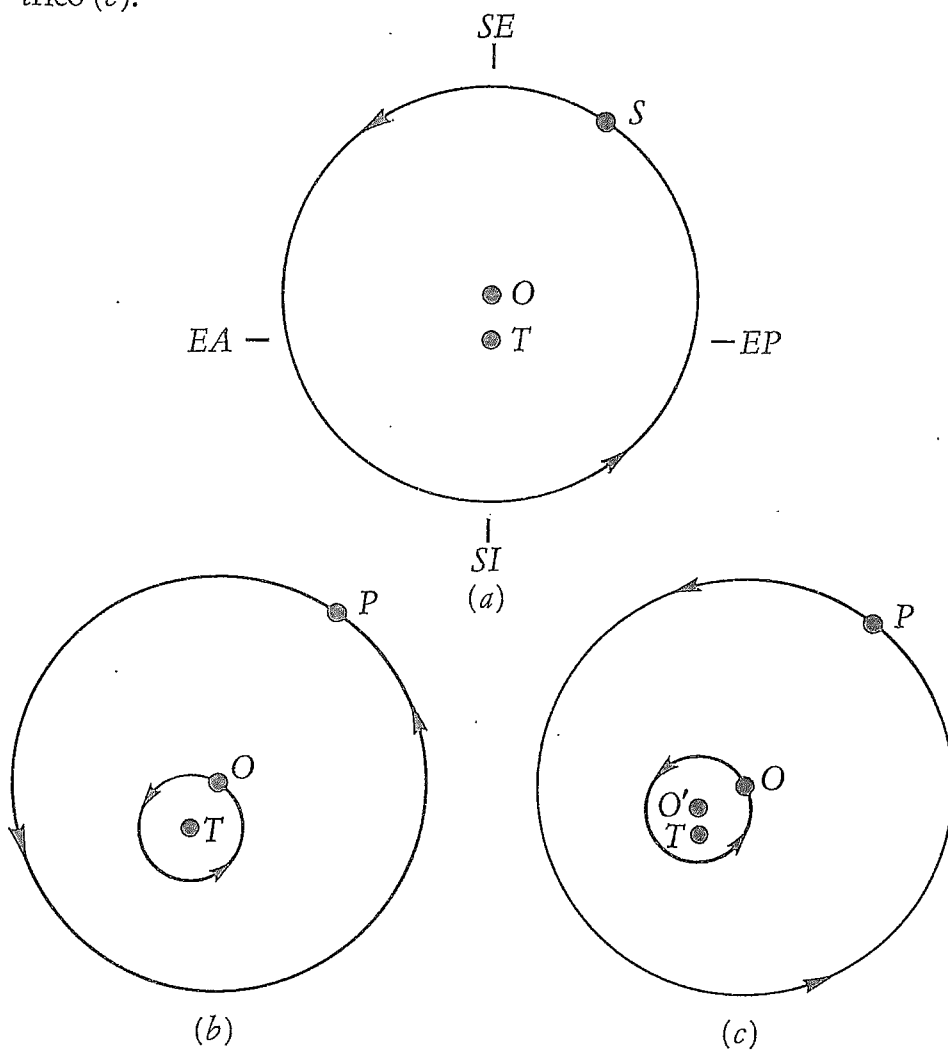


Figura 24.

Eccentrico (a), eccentrico su deferente (b) e eccentrico su eccentrico (c).

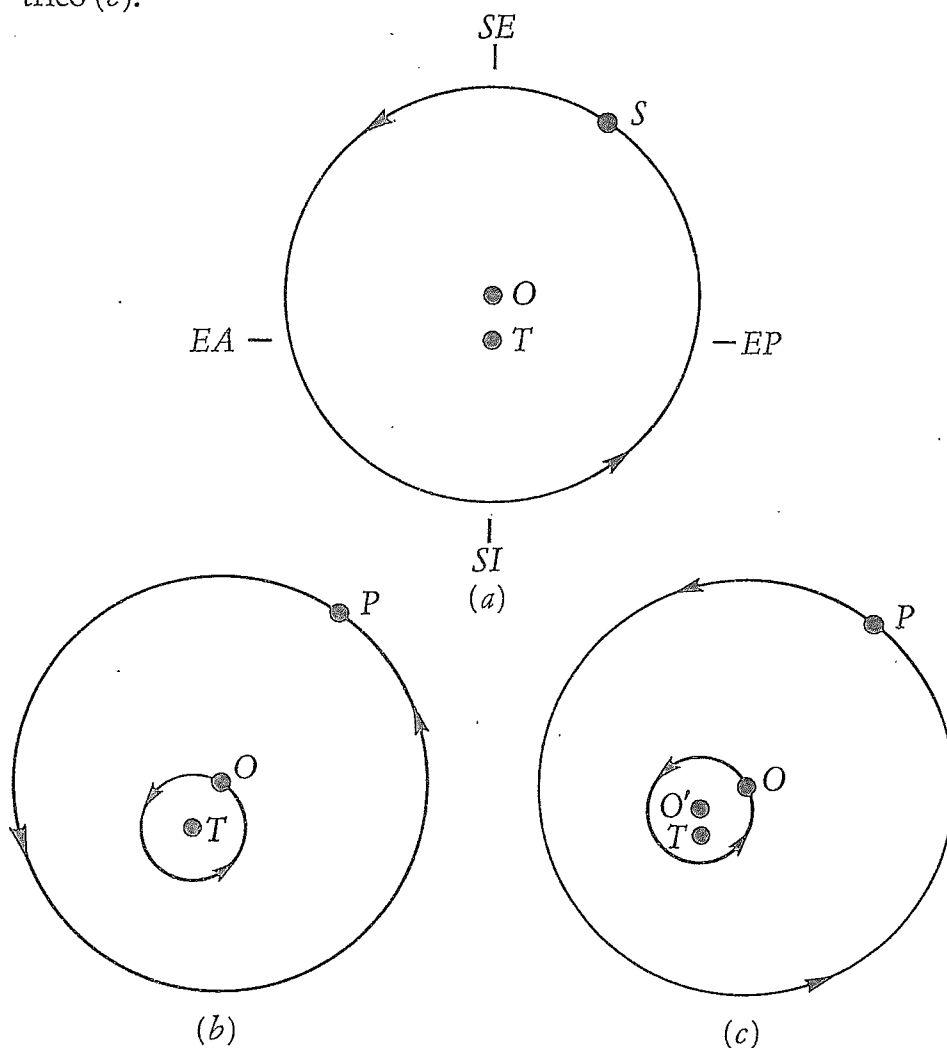


g
s
i
c
i
p
f
t
i
-
F
I
n
v

Un altro sistema, l'equante, fu escogitato dagli antichi per permettere alla teoria degli epicicli di accordarsi meglio con i risultati dell'osservazione accurata. Questo sistema è di particolare importanza, perché le obiezioni estetiche che Copernico formulò su di esso (capitolo v) fornirono un motivo essenziale per respingere il sistema tolemaico e ricercare un metodo di calcolo radicalmente nuovo. Copernico si servì di epicicli ed eccentrici simili a quelli usati dai suoi antichi predecessori, ma non di equanti e ritenne che il non averli usati fosse uno dei vantaggi maggiori del suo sistema e una delle dimostrazioni più efficaci della sua verità.

Figura 24.

Eccentrico (*a*), eccentrico su deferente (*b*) e eccentrico su eccentrico (*c*).



Un tipo di equante, disegnato per spiegare l'irregolare comportamento del Sole, è illustrato in figura 25. Il centro del deferente del Sole coincide, come prima, con il centro della Terra T , ma la velocità di rotazione del deferente deve essere ora uniforme non più rispetto al suo centro geometrico T , ma rispetto ad un punto equante A , spostato in questo caso verso il solstizio d'estate. Il che significa che l'angolo α , avente centro in A e formato dalle congiungenti di A con il Sole e con il solstizio estivo, deve variare a velocità costante. Se l'angolo aumenta di 30° in un mese, deve poi aumentare di 30° in ogni mese che abbia la stessa durata. Nella figura il Sole è raffigurato nell'equinozio di primavera EP . Per raggiungere l'equinozio d'autunno EA , esso deve completare un semicerchio: il che farà aumentare l'angolo α più di 180° . Per tornare da EA ad EP deve completare un secondo semicerchio, mentre l'angolo α varierà meno di 180° . Poiché ogni aumento di 180° di α richiede lo stesso periodo di tempo, il Sole impiega necessariamente di più per andare da EP ad EA che per lo spostamento di ritorno da EA ad EP . Pertanto, visto dal punto equante A , il Sole si muove a velocità irregolare, che è massima in

Figura 25.

L'equante. Il Sole S si muove sul circolo che ha per centro la Terra ma a velocità irregolare determinata dalla condizione che l'angolo α vari uniformemente col tempo.

