

# Le prime due leggi

*Vincendo i condizionamenti della tradizione classica Keplero riesce a dimostrare l'eccentricità dell'orbita terrestre e a formulare le famose leggi che descrivono il moto dei pianeti*

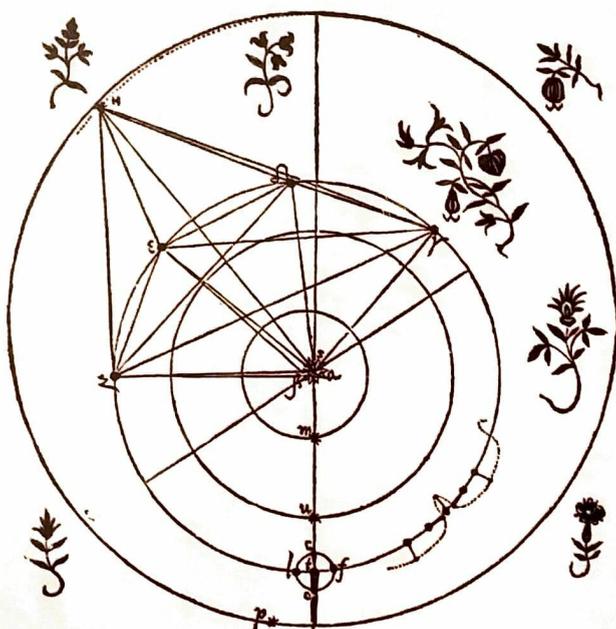
**N**el 1604, dopo aver dedicato un intero anno alla stesura dell'*Optica*, Keplero ritornò ai tentativi di offrire una giustificazione fisica al bizzarro moto di Marte. Il tempo apparentemente rubato alla sua guerra contro il pianeta rosso lo aveva in realtà arricchito con nuove e potenti armi: la conoscenza dei fenomeni di rifrazione, che gli rendeva ora possibile correggere i dati a sua disposizione; una buona familiarità con la famiglia delle coniche; un'analisi approfondita delle proprietà di quel luogo geometrico che aveva battezzato «fuoco»; e, non ultima, la consapevolezza che a volte, nella descrizione dei fenomeni naturali, altre coniche fossero da preferirsi rispetto alla circonferenza.

Il secondo libro dell'*Astronomia nova* era terminato con la presa di coscienza che una ricerca basata sugli antichi dogmi dell'astronomia non poteva portare a una descrizione esatta del sistema solare. «Quindi l'edificio che abbiamo innalzato sulle fondamenta delle osservazioni di Tycho l'abbiamo rovesciato... Fu questa la punizione per aver seguito gli assiomi plausibili, ma in realtà sbagliati, dei grandi uomini del passato.»

Cercheremo ora di seguire il tortuoso cammino che portò Keplero alla scoperta delle sue prime leggi, con l'intento non già di riproporre tutti i passaggi geometrici o logici affrontati nei 70 capitoli dell'*Astronomia nova* - il che ci porterebbe davvero lontano - ma di farci un'idea del modo di procedere dello scienziato. È importante, per esempio, sapere quanti differenti modelli proponesse, per poi dichiararli inutili, e magari in seguito utilizzarli nuovamente, con piccole varianti; oppure cogliere quanto fosse forte il condizionamento della tradizione classica, che gli impediva

di vedere quello che i suoi stessi occhi stavano guardando.

Il punto di partenza scelto da Keplero per studiare Marte fu quello di aumentare la precisione nella descrizione dell'orbita della Terra. È dalla Terra che prendiamo tutte le nostre misure, e ogni inesattezza sulla sua posizione si rifletterà in un errore sistematico in tutti i dati raccolti, impedendoci di cogliere eventuali regolarità o leggi a essi sottostanti. Immaginiamo allora di considerare un punto particolare dell'orbita di Marte. Il pianeta ritornerà nello stesso punto dopo 687 giorni, ovvero dopo un periodo. Ma quando Marte si ritroverà nella medesima posizione, la Terra sarà a sua volta in un punto diverso della propria orbita. Se ogni volta misuriamo la posizione di Marte e del Sole rispetto alla Terra, riusciremo, tramite una triangolazione, a calcolare la posizione del



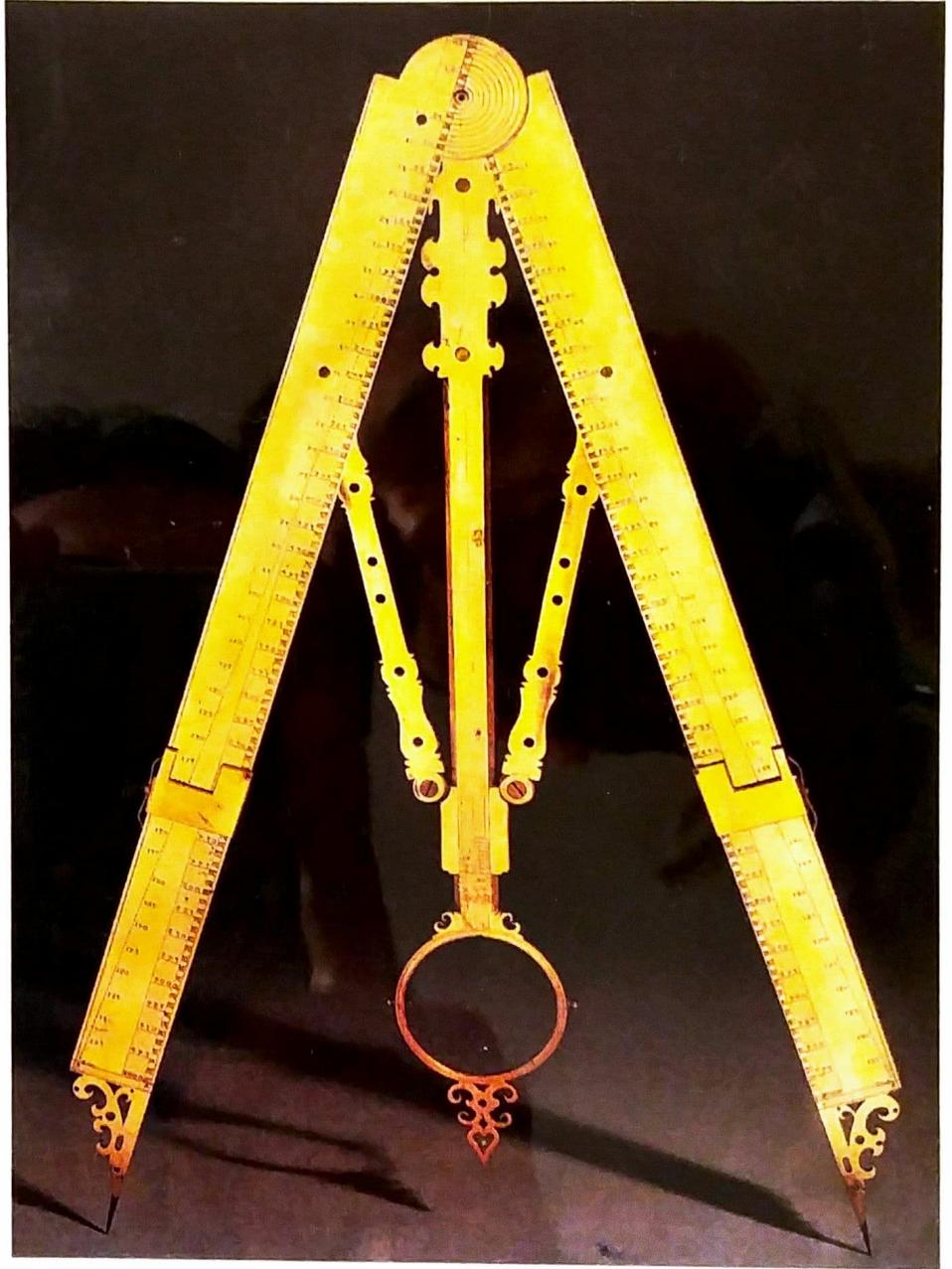
La tavola tratta dal capitolo 27 di *Astronomia nova* spiega come Keplero dimostrò con il metodo delle triangolazioni che l'orbita di Marte non è circolare.

nostro pianeta come se lo si osservasse da Marte, e, punto dopo punto, a ricostruire la sua orbita in una maniera originale e molto precisa.

Purtroppo non è così facile procurarsi misure tanto distanziate nel tempo: come si è visto, Keplero poteva solo contare su dieci misure di Tycho e due sue. La fatica, a cui si sottopose per ridisegnare l'orbita terrestre in maniera più precisa, venne ripagata con un'inattesa scoperta. Fin dai tempi del *Mysterium* Keplero aveva compreso come il moto dei pianeti non fosse uniforme, ma ora scopre che anche la nostra Terra non si muove con una velocità costante: il suo moto è tanto più veloce quanto più essa si trova in prossimità del Sole. Ecco quindi che è necessario generalizzare anche alla Terra l'idea espressa nel *Mysterium*, ovvero che la forza che muove i pianeti è situata nel Sole, ed è inversamente proporzionale alla distanza. Ancora una volta Keplero si sofferma sulla necessità che la descrizione definitiva del sistema solare scaturisca dalle leggi della fisica. Ritorna però subito dopo ai suoi conti, perché la ricerca dell'esatta orbita della Terra è tutt'altro che finita.

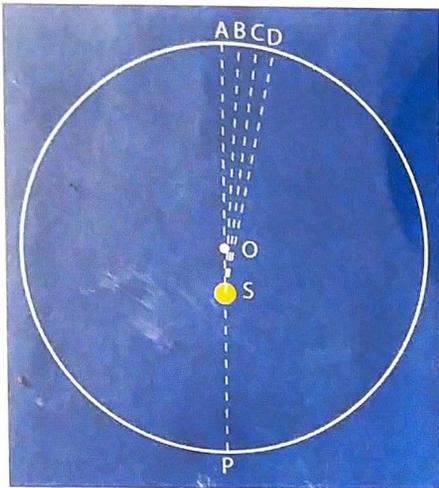
Keplero, che in quel momento dà ancora per scontato il punto di vista secondo cui l'orbita della Terra è circolare, prova a calcolarne l'eccentricità. Questa è sicuramente meno evidente di quella di Marte, ma, grazie alla precisione raggiunta dai dati di Tycho, non è più trascurabile. L'eccentricità, per i contemporanei di Keplero, era la distanza tra la posizione del Sole medio e il centro del cerchio che rappresenta l'orbita di un pianeta. Per definizione la Terra aveva quindi eccentricità nulla, poiché era proprio il centro dell'orbita terrestre a essere chiamato Sole medio. Asserire che anche la Terra possiede un'eccentricità, significa spostare il punto di riferimento dal Sole medio (come era nel sistema copernicano) al Sole «vero».

Keplero ottiene per la Terra un'orbita di cui conosce con grande precisione l'eccentricità, ma che continua a credere perfettamente circolare. È intanto preso da un nuovo problema: se il moto del nostro pianeta non ha velocità costante, come si può prevedere dove si troverà a un determinato istante? Keplero, che ha in mente una velocità inversamente proporzionale alla distanza, divide una semiorbita in 180 spicchi. Somma poi le distanze dal Sole  $AS + BS + \dots + NS$ , così che il totale sia proporzionale al tempo necessario a percorrere il tragitto tra  $O$  e  $N$ . Risolto il problema di calcolare dopo quanto tempo la Terra si sarebbe trovata in una data posizione, Keplero si pone il problema inverso, ovvero quello di individuare la posizione del pianeta a un fissato istante  $t_0$ . Una buona approssimazione si otteneva interpolando i dati di una tabella, ma sarebbe stato un lavoro snervante e noioso l'essere costretti a sommare tutte le diverse distanze nei diversi casi. Keplero cerca allora una scorciatoia. Egli vede

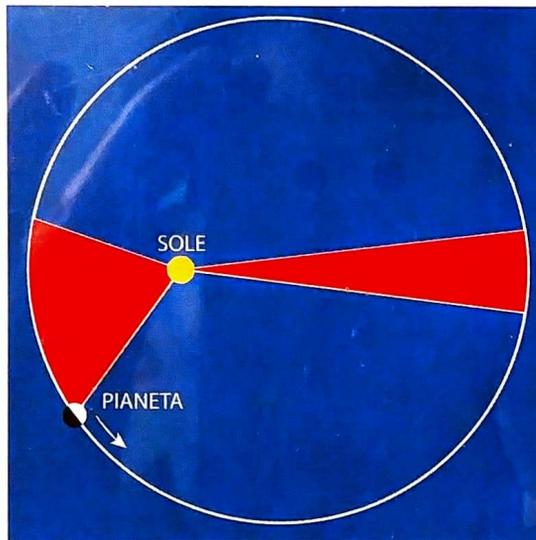


*Strumento per triangolazioni del 1557 conservato presso l'Istituto e Museo di storia della scienza di Firenze.*

Per dimostrare che il moto della Terra non ha velocità costante, Keplero divide una semiorbita terrestre in 180 spicchi (in figura ne sono indicati solo alcuni). La distanza OS del centro dell'orbita circolare dal Sole era chiamata «eccentricità».



La cosiddetta seconda legge di Keplero - formulata nel 1602 e quindi precedente alla legge conosciuta come prima - stabilisce che il raggio vettore descrive aree uguali in tempi uguali. La velocità del moto non è quindi costante ma varia a seconda della distanza dal Sole.



un'analogia tra il suo problema e un tentativo di quadratura del cerchio ideato da Archimede: considerando che, a priori, si potrebbe dividere non solo in 180 ma in infiniti spicchi la semiorbita, alla somma di tutte le infinite distanze che si otterrebbero Keplero sostituisce l'area contenuta nella porzione di orbita che si vuole considerare.

Da questa sostituzione nasce, nel capitolo 40 del terzo libro dell'*Astronomia*, la cosiddetta «seconda legge di Keplero», secondo la quale il raggio vettore descrive aree uguali in tempi uguali. La velocità quindi non è affatto costante, ma si ha minima velocità quando il pianeta è alla sua massima distanza dal Sole, e viceversa. Si noti come la seconda legge risalga al 1602, e sia stata trovata quindi con qualche anno di anticipo rispetto alla «prima» legge; a essa Keplero si riferirà in seguito come alla «legge delle aree», considerandola un'approssimazione dell'«ipotesi fisica», secondo la quale il tempo di percorrenza sarebbe proporzionale alla somma di tutti i raggi vettore compresi tra i due estremi dell'arco di orbita percorso.

Keplero si rende conto di aver utilizzato con apparente leggerezza alcuni passaggi niente affatto giustificati. È cosciente che i due concetti «aree dei triangoli» e «somma di infinite distanze» non sono esattamente equivalenti: mette quindi subito alla prova la legge ricorrendo ai dati osservativi relativi alla Terra e ottiene la conferma che il sistema che utilizza le aree fornisce ottimi risultati. Keplero argomenta che, probabilmente, la seconda legge è il frutto della composizione di più approssimazioni che si compensano l'una l'altra.

Trovata un'orbita della Terra più corretta, Keplero si rivolge nuovamente a Marte, affrontando un ulteriore, lungo *tour de force* attraverso i capitoli 41-60, fino a muovere lo scacco finale.

Il primo passo sta nel capire che l'orbita non è un cerchio. Come leggiamo nel capitolo 41, se l'orbita fosse un cerchio, una volta assegnate tre posizioni dovremmo essere in grado di ricavarla in maniera univoca. Keplero considera pertanto la posizione di Marte in tre date: 25.10 1595, 31.10 1590 e 31.12 1590, e individua l'equazione di una circonferenza. Ma, subito dopo, mostra come sia sufficiente sostituire uno dei tre dati con un'altra misura, presa tra quelle a sua disposizione, per ottenere un'orbita differente. Così, all'inizio del capitolo 42 si può leggere: «tu hai compreso, mio caro lettore, che ci tocca ricominciare daccapo... io sospetto che non si tratti di un cerchio». In effetti, le misure gli mettono davanti agli occhi una strana forma ovale. Ma Keplero, che già si è buttato alle spalle il «dogma» del moto circolare uniforme, vuole comunque ancora tentare di trovare una classica orbita circolare. Intuisce come sia conveniente prendere come fondamentali due punti notevoli dell'orbita di Marte, afelio e perielio. Raccoglie quindi tutti i dati disponibili, di

## Eccentricità

Già prima di Keplero si parlava di eccentricità dell'orbita, intendendo però che il centro dell'orbita circolare di un dato pianeta era a una certa distanza dal Sole (nel caso di Copernico). Dopo Keplero, l'eccentricità sarà un parametro che permette di distinguere i diversi tipi di conica:

$e = 0$	<b>circonferenza</b>
$0 < e < 1$	<b>ellisse</b>
$e > 1$	<b>iperbole</b>

Consideriamo per esempio alcune eccentricità rilevanti per l'*Astronomia nova*:

<b>Terra</b>	<b>0,016</b>
<b>Marte</b>	<b>0,093</b>
<b>Mercurio</b>	<b>0,2</b>

(non osservato da Tycho).

Risulta evidente perché, approssimando l'orbita a un cerchio, si avessero comunque buoni risultati per la Terra, ma non per Marte. E come non fosse assolutamente possibile riprodurre con un cerchio l'orbita di Mercurio.

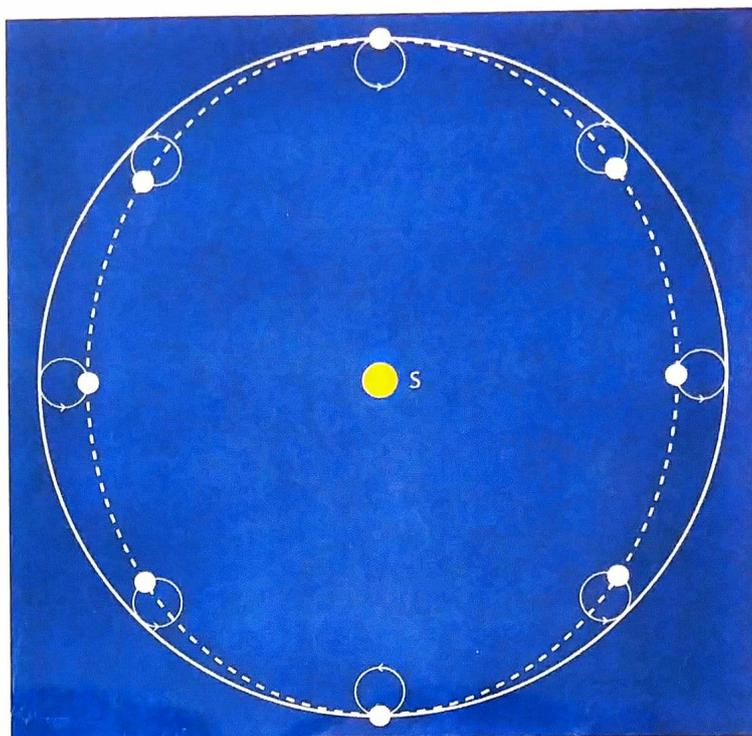
modo che ha ora a disposizione due punti fissi di riferimento per ogni congettura futura. Ora, considerando afelio e perielio come estremi di un diametro del cerchio, basterebbe dividere a metà per ottenere il raggio. Il problema è che, cercando di utilizzare tale raggio per le aree della seconda legge, questa sembra non essere più affidabile, come lo era per la Terra. È come se, allontanandosi dalla linea degli apsidi, il raggio fosse «troppo lungo».

Keplero non è stato il primo ad ammettere che l'orbita dei pianeti non è un cerchio perfetto, ma piuttosto un ovale. Anche Copernico e Brahe avevano confezionato un apposito modellino, il quale, grazie a un epiciclo circolare che si muoveva di moto uniforme su un cerchio perfetto, riproduceva una forma leggermente schiacciata, senza turbare le regole del «circolare» e dell'«uniforme». Keplero è consapevole del fatto che quelle erano solo approssimazioni, ma è pronto a ripercorrere anche tali vecchie strade, pur di ricavarne le regole geometriche a cui quella strana forma, che i dati gli mettono davanti agli occhi, ubbidisce. Risolverà allora un modello che aveva esposto nel capitolo 39. Esso prevedeva ancora un epiciclo che ruotava con moto circolare uniforme, con il centro  $E$  mobile lungo un cerchio di riferimento (il deferente). La novità del capitolo 45 consiste nel fatto che ora  $E$  si muove di moto non uniforme sul deferente. La differenza della composizione di moti immaginata da Keplero, rispetto a quello di Copernico e Brahe, è che l'orbita risultante è tutta contenuta nel cerchio di riferimento, mentre quella era «un po' fuori, un po' dentro» il deferente. In ogni caso, Keplero non è soddisfatto di dover ricorrere a un artificiale epiciclo, una specie di trucchetto geometrico, e scrive: «Così fu che restai nel mio errore, che poco prima avevo iniziato a rimuovere, cioè che il pianeta possiede una propria forza che lo guidi lungo un epiciclo». Il suo ideale consiste, invece, in una descrizione del sistema solare in cui la forza dipenda solo dal Sole e dalla distanza tra il pianeta e il Sole stesso.

La figura che ottiene con la composizione dei moti di deferente ed epiciclo ha una forma simile a un uovo, più schiacciata vicino al perielio, più dilatata vicino all'afelio. Mentre era immediato calcolare l'area dei settori circolari, non è affatto chiaro come ottenere l'area di parti della figura irregolare dell'ovoide. Per poter verificare sperimentalmente se la seconda legge è valida per l'ovoide composto da deferente più epiciclo, Keplero dapprima dovrebbe individuare un modo per calcolare in maniera semplice la differenza tra l'area di questo ovoide e quello della circonferenza perfetta che lo contiene. Inizia a questo punto una serie incredibile di costruzioni geometriche, tese a rintracciare eventuali regolarità o similitudini da sfruttare. Keplero utilizza tutti i termini classici della geometria astronomica e ne battezza anche di nuovi.

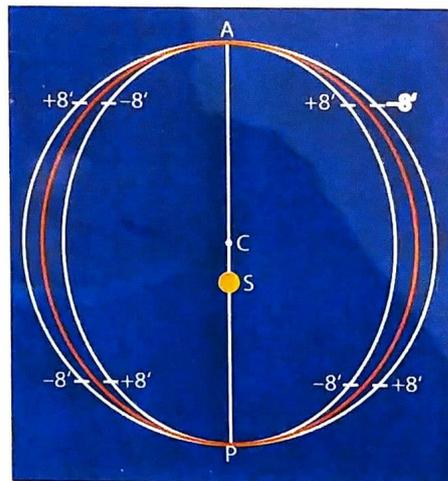
Trovare una qualche legge che metta in relazione una figura regolare con una irregolare è un'impresa che assorbe una gran quantità di energie a Keplero, il quale, già un anno e mezzo prima, il 4 luglio 1603, aveva scritto all'amico Fabricius: «Se soltanto l'orbita fosse un'ellisse, il problema sarebbe già stato risolto da Archimede e Apollonio». Immerso nei calcoli, torna a ripetere allo stesso amico che l'orbita, «come fosse un'ellisse», deve trovarsi esattamente intermedia tra un cerchio e un ovale. Decide, solo per semplificare un po' le cose, di approssimare l'ovoide con un'ellisse perfetta, e prova ad applicare la seconda legge ai dati sperimentali. Ma non trova un buon accordo: se ci si allontana dalla linea degli apsidi, si vede ancora che il raggio determinato teoricamente è troppo lungo rispetto a quello misurato.

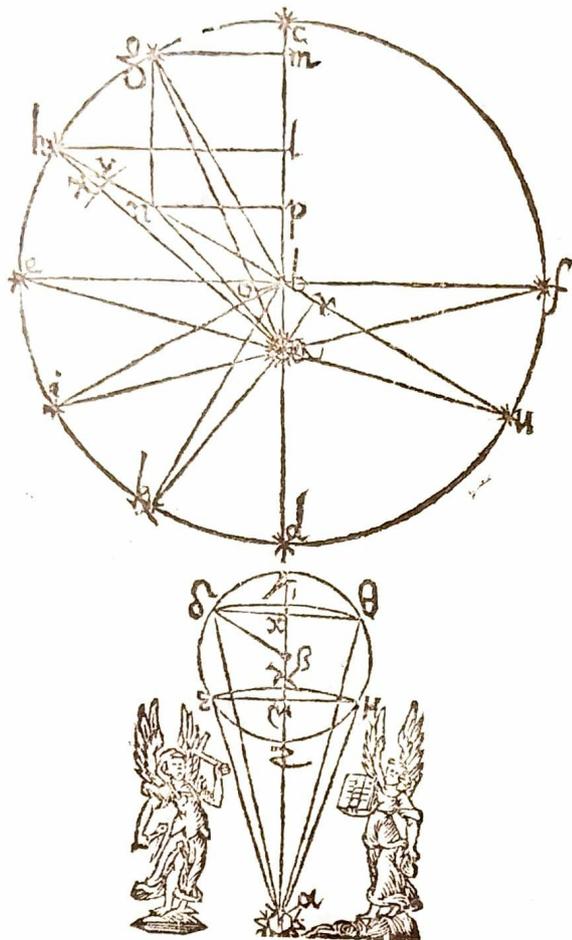
A questo punto Keplero arriva a mettere in dubbio la seconda legge.



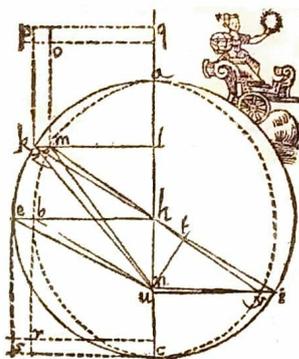
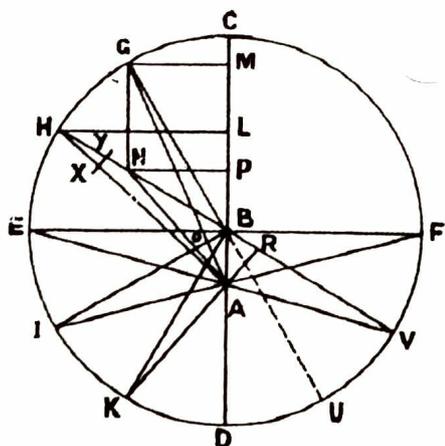
*Cercando regole geometriche per giustificare la forma ovale dell'orbita dei pianeti, Keplero immagina un epiciclo che ruota con moto circolare non uniforme con il centro mobile lungo un cerchio di riferimento (deferente). Il risultato è un'orbita tutta contenuta nel cerchio di riferimento.*

*L'orbita ellittica (in arancio) studiata da Keplero per mettere alla prova la sua legge sulle aree.*

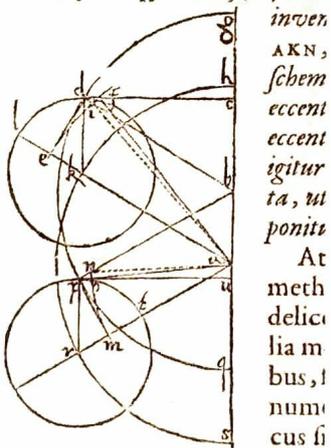




In questa pagina, alcune costruzioni geometriche ideate da Keplero per risolvere il problema dell'orbita di Marte. Sopra, la svolta definitiva descritta nel testo: utilizzando la secante dell'anomalia al posto del raggio si ottiene l'ellisse. Sotto, la stessa figura in notazione moderna. Qui a fianco, Keplero torna al cerchio ausiliario e all'epiciclo.



91600000 ut sit HL 771100000 86603 20.  
 100000 Igitur HL secunda vice est  $\frac{100000}{91600000}$  20  
 nominatoribus, et quae possunt  
 aequales numero 7733800000.  
 107744. Et quia ut HN ad ha  
 83583. sinus ipsius KE 56. 42 con



Finalmente un'illuminazione consente di dare una svolta definitiva allo studio dell'orbita. Si può forse parlare di fortuna, di caso, ma - come scrive lo storico della scienza Alexandre Koyré - è questo un tipico esempio di «quei casi che capitano soltanto a chi se li merita». Keplero nota che alla longitudine media (ovvero a metà strada tra i due apsi) tanto l'angolo «equazione ottica», quanto la larghezza della lunetta contenuta tra l'ovale e il cerchio assumono il loro valore massimo. L'angolo raggiunge il valore  $5^{\circ}18'$ , la cui secante è 100 429; al raggio è assegnato il valore 100 000, e la larghezza della lunula è 429. Bastava considerare quindi la curva che si otteneva sostituendo al raggio  $EB$  la secante  $EA$ , e in generale a  $HR$  la secante  $HA$ . Keplero comprende che quella che si ottiene «aggiustando» in questo modo il cerchio è proprio la strana figura che ricostruiva sperimentalmente, e racconta che, a quel punto, credette di risvegliarsi da un sogno.

Keplero è riuscito a ricostruire matematicamente la sua curva, ma non è ancora soddisfatto. Come poteva avere un significato fisico la relazione trovata, che si potrebbe sintetizzare scrivendo che la distanza del pianeta dal Sole è data da  $r = 1 + e \cos \beta$ , dove  $e$  è l'eccentricità ( $AB$ ), e  $\beta$  l'anomalia eccentrica, cioè riferita al centro dell'ovale, ovvero a un puro punto matematico di cui Keplero aveva sempre diffidato?

Ancora una volta rispolvera una vecchia idea che aveva utilizzato quando riteneva

che l'orbita fosse circolare: le librazioni, e cioè quegli spostamenti minimi lungo il raggio vettore che unisce il pianeta al Sole, e che matematicamente si rappresentano con l'aiuto di epicicli. In particolare Keplero ha in mente un effetto di tipo magnetico sull'asse terrestre, che paragona a un remo che avvicina e allontana la «nave» dal Sole. Anche in questo caso, però, non riesce a ottenere l'ellisse in modo rigoroso. Questa forza magnetica, di cui abbiamo già parlato, va a sommarsi alla forza che il Sole esercita su tutti i pianeti, la quale originerebbe un moto circolare. È come se i pianeti fossero piccoli magneti e lungo l'orbita si alternassero momenti in cui Sole e pianeta si attraggono ad altri in cui si respingono.

Keplero immagina di poter controllare la teoria delle librazioni osservando la variazione di diametro solare. Infatti, il Sole apparirà tanto più grande, quanto più vicina sarà la Terra in quel momento dell'anno. E Keplero, grazie agli studi sul diametro apparente del Sole, aveva a disposizione dati molto precisi.

Egli compie, qui, un altro passo decisivo: sostituisce, all'angolo anomalia eccentrica ( $\beta$ ), l'angolo anomalia vera ( $\alpha$ ). La sostituzione gli permette di rendere finalmente fisica la sua teoria, visto che l'angolo  $\alpha$  ha vertice nel Sole, e, soprattutto, la nuova relazione,  $r = 1 + e \cos \alpha$ , seppure formalmente simile a quella trovata in precedenza, rappresenta finalmente una vera e propria ellisse!

Purtroppo questo risultato non è immediatamente evidente a Keplero, che pertanto è indotto a tornare alla teoria dell'epiciclo, la quale approssimava l'ovale a un'ellisse. Cercando così una figura che resti intermedia tra un cerchio e un'ellisse, osserva che deve semplicemente essere una nuova ellisse, con l'asse minore più corto. I passaggi sono alquanto complessi, ma finalmente Keplero ottiene una descrizione matematicamente corretta (ricavando il luogo geometrico «ellisse» come dalle definizioni classiche di luogo dei punti la cui somma delle distanze dai due fuochi è eguale a una costante), fisicamente sensata (cioè in cui il

## Piccolo dizionario

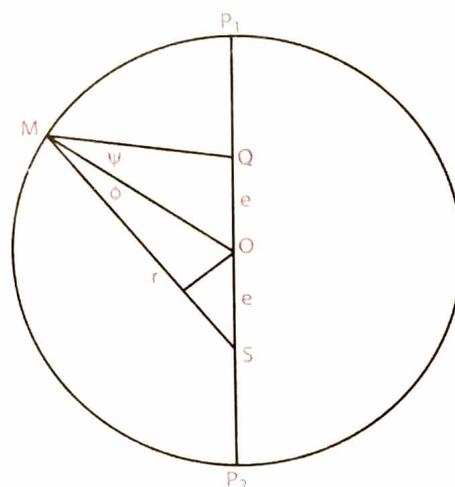
Il termine *equazione* aveva nell'astronomia antica un significato differente da quello moderno: stava a indicare la modesta correzione da apportare a una qualche brutale approssimazione, solitamente di un angolo.

L'*equazione del centro* era la correzione da apportare all'angolo sotto cui si vede il pianeta dal centro di una ideale circonferenza, per avere l'angolo sotto cui il pianeta è visto dal Sole (che è spostato rispetto al centro). Corrisponde quindi alla differenza tra l'anomalia vera e l'anomalia media.

L'*equazione ottica* è un termine utilizzato da Keplero per indicare quella componente dell'equazione del centro dovuta al fatto che la distanza tra pianeta e centro eccentrico varia, per cui, per esempio, il moto apparente è più lento di quello reale quando la distanza è maggiore.

L'*equazione fisica* è il termine con cui Keplero definisce quella componente dell'equazione del centro dovuta al fatto che il pianeta ha realmente una velocità non uniforme.

- P<sub>1</sub> = AFELIO
- P<sub>2</sub> = PERIELIO
- Q = EQUANTE
- O = CENTRO DELL'ORBITA CIRCOLARE ECCENTRICA DEL PIANETA
- S = SOLE VERO
- $\psi$  = EQUAZIONE FISICA
- $\phi$  = EQUAZIONE OTTICA
- e = ECCENTRICITÀ
- r = RAGGIO DELL'ORBITA

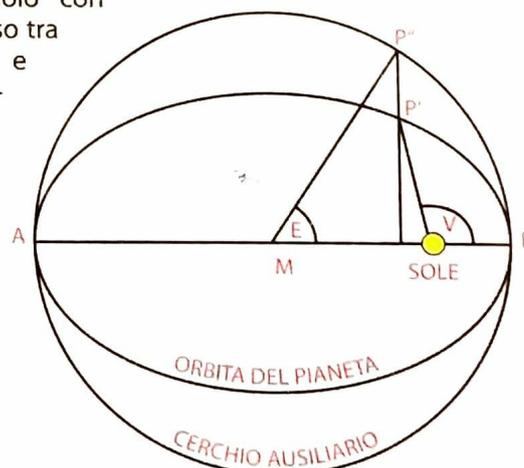


Con il termine *anomalia* si indicava in generale un angolo che, finché il moto era circolare uniforme, era direttamente proporzionale al tempo che il pianeta impiegava a raggiungere quel punto dell'orbita, partendo dal perielio. Con l'adozione di un moto ellittico, Keplero è costretto a distinguere tra differenti tipi di anomalie:

*anomalia vera* è l'angolo con vertice nel Sole e compreso tra la direzione del perielio e quella del pianeta sull'orbita;

*anomalia media* è l'angolo con vertice nel Sole e compreso tra la direzione del perielio e quella di un ipotetico pianeta che si muova con velocità angolare costante e periodo eguale a quello del pianeta reale;

*anomalia eccentrica* è l'angolo E con vertice nel centro del cerchio circoscritto all'ellisse e compreso tra la direzione del perielio e quella della proiezione del pianeta sul cerchio.



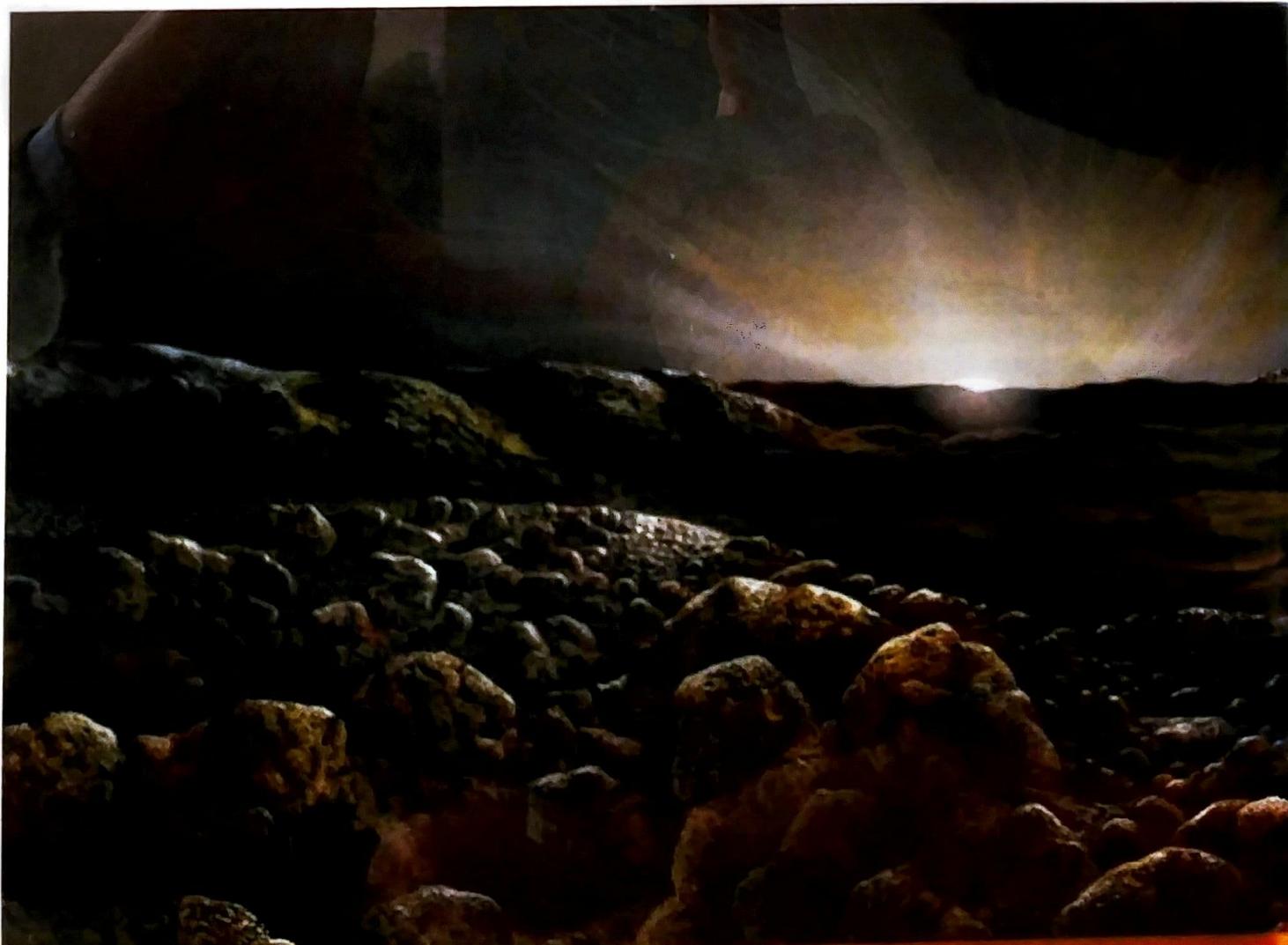
- A = AFELIO
- M = ANOMALIA MEDIA
- P = PERIELIO
- V = ANOMALIA VERA

moto è ricondotto alle sue cause) e in accordo con i dati sperimentali. Il Sole viene a trovarsi nel fuoco dell'ellisse, anche se il termine «fuoco», che Keplero aveva usato ripetutamente nell'*Optica*, in questo contesto non verrà mai utilizzato (mentre lo ritroveremo nel 1622 all'interno dell'*Epitome*, dove Keplero ripresenterà le sue leggi in un quadro più maturo).

Al termine di questa sovrumana fatica, Keplero non raccoglie grandi entusiasmi tra i colleghi. Viene anzi criticato da Maestlin, Fabricius e Longomontano, soprattutto per il suo ostinato esigere giustificazioni fisiche ai suoi modelli. Keplero sostiene che «l'astronomia non deve essere basata su ipotesi fittizie, ma sulle cause fisiche» e, in una lettera a Herwart von Hohenburg del 10 febbraio 1605, racconta che il suo scopo è «mostrare il mondo non come una macchina animale ma come un orologio».

Uno dei risultati più importanti che sente di aver raggiunto nell'*Astronomia nova* è quello di aver sostituito la forza animale del *Mysterium* con una forza «quasi magnetica», una forza fisica. Neppure le orbite ellittiche ebbero una buona accoglienza presso i suoi contemporanei; anche Galileo, sebbene a conoscenza delle sue leggi (come si evince da una lettera di Federico Cesi del 1612), continuerà a utilizzare orbite circolari nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* del 1632. E, quando ci dice che la natura è geometrica, non nomina le ellissi, ma solamente i più rassicuranti cerchi.

La forma ellittica dell'orbita mostrerà tutta la sua forza nel caso di Mercurio. Come mostra il box a pagina 46, l'eccentricità di questo pianeta è piuttosto elevata, così che risulta impossibile approssimare il suo cammino con un cerchio. L'orbita di Mercurio, infatti, aveva rappresentato per secoli un altro mistero per gli astronomi. Anche Copernico considera Mercurio come un pianeta a sé stante, con un epiciclo dal periodo sospetto di un anno. Non è così nella teoria di Keplero, dove Mercurio diventa un pianeta come tutti gli altri. La conferma si ha quando l'astronomo, sfruttando la nuova forma dell'orbita, riesce a prevedere un transito di Mercurio sul Sole che avverrà nel 1631, e che non sarà purtroppo verificato dal nostro astronomo, ormai morto, ma da

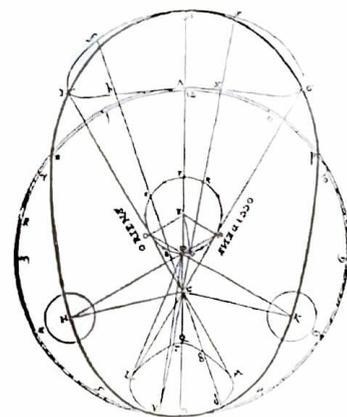


Pierre Gassendi, il quale ne confermerà la precisione al decimo di grado.

Si diceva all'inizio che l'*Astronomia nova*, terminata nel 1606, fu pubblicata solo nel 1609. Keplero si trovò sempre a dover affrontare grossi problemi per riuscire a stampare le proprie opere, per un sommarsi di cause, non ultima gli ingenti costi a cui spesso non era in grado di provvedere. In questo caso assistiamo a un vero e proprio calvario: il primo problema fu quello di ottenere l'approvazione dagli eredi di Tycho, visto che l'opera era nata dall'incarico che Keplero aveva assunto presso di lui e sfruttava alcune delle sue preziose osservazioni. Agli eredi l'Imperatore aveva offerto con grande generosità ben 20 000 talleri in cambio degli strumenti lasciati a Praga da Brahe e tutti i diritti sulle osservazioni, ma Rodolfo II aveva il difetto di promettere somme che poi il bilancio dello Stato non gli consentiva di elargire, così che gli eredi ricevettero in tutto soltanto poche centinaia di talleri.

Ma non erano solo gli interessi economici a muovere la famiglia Brahe e, in particolare, proprio il genere di Keplero, il già citato Tegnanel. Questi aveva ritardato la pubblicazione dell'*Astronomia nova*, asserendo di voler controllare la correttezza dello scritto, visto che in esso erano utilizzati i dati raccolti dal grande danese. A Tegnanel erano stati concessi ben quattro anni per verificare la correttezza dell'opera, ma, in realtà, egli continuava a ritardare la fine del lavoro, e, quando il tempo fu trascorso, pose la condizione di poter scrivere una prefazione all'opera. In quelle righe egli intendeva riaffermare la supremazia del sistema tychonico, avendo ben compreso che nell'*Astronomia nova* questa superiorità non emergeva. Egli non accettava insomma che le misure, raccolte dallo zio in tanti anni di lavoro, fossero utilizzate da Keplero per dimostrare che il sistema tychonico, che stava raccogliendo numerosi consensi proprio in quegli anni, era semplicemente scorretto. Ai problemi con gli eredi si sommarono i problemi relativi al pagamento dell'edizione. Finalmente, nel 1609, l'opera fu pubblicata da Gotthard Vögelin di Heidelberg, ma l'Imperatore non consentì un'ordinaria vendita pubblica, ponendo la condizione che la cessione di ciascuna copia dovesse essere da lui autorizzata. Alla fine tutte le copie vennero vendute all'editore stesso. □

KEPLER AND THE NEW ASTRONOMY  
THEORICAE COMITAE FERREAE  
TABULA IIII  
Caelorum et lunae figuratae (Tab. IIII)



Caelorum et lunae figuratae (Tab. IIII)

*Lo schema dell'orbita di Mercurio, come appare sul Theoricarum novae planetarum di Peurbach, del 1558.*

*L'alba su Mercurio, 10 volte più luminosa di quella terrestre, è annunciata dai brillamenti della corona solare che si innalzano sull'orizzonte, illuminando i pendii della scarpata Discovery (a destra).*

*Nel cielo sono visibili un pianeta azzurro e il suo satellite. (Questa illustrazione di Don Dixon si basa sui dati raccolti dalla missione Mariner 10.)*

