

SOCIETÀ ITALIANA DI ARCHEOASTRONOMIA

V Congresso di Archeoastronomia,  
Astronomia antica e culturale e Astronomia storica

*INAF-Osservatorio Astronomico di Brera*  
*23 - 24 settembre 2005*

A cura di  
Elio Antonello

## INDICE

Presentazione .....	pag. 1
<i>Elio Antonello</i>	
La Supernova del 1181 nell'affresco di San Pietro in Valle e nei documenti orientali .....	pag. 3
<i>Francesco Polcaro</i>	
Ipotesi astronomica sulla “Stella di Betlemme” e sulle aspettative escatologiche coeve nel mondo mediterraneo .....	pag. 9
<i>Ettore Bianchi, Mario Codebò, Giuseppe Veneziano</i>	
Raffigurazione della stella di Ipparco su una moneta di Mitridate .....	pag. 29
<i>Giovanni Lupato</i>	
Il moto dei pianeti secondo J. Kepler .....	pag. 35
<i>Vittorio Banfi</i>	
De Gasparis e l'equazione di Keplero .....	pag. 41
<i>Teresa Boccia</i>	
Maupertuis ed il Principio della Minima Azione .....	pag. 53
<i>Marina Morici</i>	
Una prova azzardata .....	pag. 59
<i>Francesco Castaldi</i>	
Le ricerche di Francesco Bianchini sul globo (Atlante) Farnesiano .....	pag. 69
<i>Massimo Tinazzi</i>	
Rigas Ferrèos: il primo divulgatore scientifico della Grecia moderna .....	pag. 87
<i>Giorgio Dimitriadis</i>	
La tarda età della pietra nuova, l'età del rame, del bronzo e degli osservatori archeoastronomici. Il Disco di Nebra .....	pag. 97
<i>Adele Martini Masani</i>	
Orientamenti di alcuni menhir dalla Cornovaglia alla Liguria .....	pag. 101
<i>Luigi Felolo</i>	
L'equinozio in Paleoastronomia: il problema epistemologico e il problema semantico .....	pag. 103
<i>Enrico Calzolari, Chantal Jègues, Antoine Mari Ottavi</i>	

# IL MOTO DEI PIANETI SECONDO J. KEPLER

VITTORIO BANFI

## 1 Introduzione

Nel Seicento si realizza in Europa la rifondazione della scienza, dopo secoli dominati dal pensiero di Aristotele. Protagonisti di questa grande svolta sono tre insigni pensatori: G. Galilei, J. Kepler e I. Newton. Il primo è colui che introduce il metodo sperimentale – matematico, applicandolo soprattutto ai fenomeni di meccanica studiati in laboratorio. L'opera del secondo, nella sua estensione specifica di astronomo teorico, verrà qui esaminata con maggiore accuratezza. Infine I. Newton, assumendo come base l'opera dei due precedenti, fornisce una completa sintesi unificando la meccanica terrestre e la meccanica celeste.

## 2 L'uomo e lo scienziato

Nato nel 1571, a Weil der Stadt in Svezia, Keplero può essere considerato contemporaneo di Galileo. Nel 1600 fu accolto come assistente dal grande astronomo Ticho Brahé che era passato, dalla Danimarca, all'osservatorio di Benatech presso Praga. Dopo la morte di Ticho, Keplero fu nominato matematico dall'imperatore Rodolfo e direttore di quell'osservatorio. Nel 1613 passò a Linz e poi nel 1626 ad Ulm. Morì a Regensburg nel 1630.

Riflettiamo sul modello dell'universo Kepleriano. Esso differisce da quello Copernicano per diversi aspetti: Keplero pone il Sole al vero centro del sistema solare (in realtà nel fuoco di ellissi, orbite planetarie, di piccola eccentricità); inoltre la modifica di Keplero è consentanea con le sue vedute circa i concetti di massa e di forza e con la certezza che la forza, responsabile dei moti planetari, sia emanante dal Sole stesso.

Non si trovano più, nel modello di Keplero, le “scorze cristalline” per i pianeti, pur rimanendo unica quella relativa all'insieme delle stelle fisse.

Come scrittore Keplero fu semplicemente prodigioso, per qualità e quantità dei suoi trattati. Le principali opere sono qui sotto indicate:

- *Mysterium Cosmographicum* 1596
- *De Stella Nova* 1606
- *Astronomia Nova* 1609
- *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* 1610
- *Epitome Astronomiae Copernicanae* 1618
- *Harmonice Mundi* 1619
- *Tabular Rudolphinae* 1627

Nei paragrafi seguenti saranno esaminati gli studi di Keplero sui moti planetari; verrà inoltre compiuto un bilancio generale della sua opera nella scienza del Seicento.

### **3 I fondamenti della meccanica celeste moderna e contemporanea**

Facendo piazza pulita delle sfere cristalline, delle orbite circolari, degli eccentrici e degli epicicli, Keplero concepisce per primo i pianeti soggetti a forze, intese in senso essenzialmente fisico – matematico relazionale, ossia nel senso propriamente moderno. Lo stesso dicasi per il concetto di massa, correlato a quello di forza. Per la prima volta, nella storia della scienza, si comprende che esiste, in ogni istante della traiettoria, una dipendenza della velocità del pianeta dalla distanza dal Sole e si tenta di darne una spiegazione. Sfortunatamente, per residui di aristotelismo, egli è legato alla (erronea) legge del moto, espressa dalla relazione  $\text{forza} = \text{costante} \times \text{velocità}$ . Inoltre egli suppone che detta forza sia tangente all'orbita di ciascun pianeta in ogni punto. Ne ricava purtroppo una forza inversamente proporzionale alla distanza dal Sole (anziché al suo quadrato).

Nel paragrafo che segue saranno esaminate le celebri tre leggi del moto planetario, pietre miliari per lo sviluppo della meccanica celeste sino ai nostri giorni.

### **4 Le leggi relative all'orbita di un corpo secondario nel moto attraverso lo spazio cosmico, attorno al primario. Enunciazione cinematica**

Nel trattato “*Epitome Astronomiae Copernicanae*” Keplero enuncia la seguente legge, in certo senso, preliminare alle celeberrime tre. << I piani orbitali dei pianeti >> egli afferma << passano tutti per il centro del Sole e la loro inclinazione sull'eclittica si mantiene costante nel tempo >>. In sostanza il moto del corpo secondario (pianeta), attorno al primario (Sole), si svolge in un piano: l'orbita è una curva piana.

Ma quella che propriamente è detta prima legge di Keplero è contenuta, insieme alla seconda, nel trattato “*Astronomia Nova*”. In essa Keplero esamina i dati di osservazione accuratissimi, ottenuti da Ticho Brahé, in ordine alle posizioni dei pianeti in un periodo di tempo assai esteso. Sulla base di questo esame egli affronta il problema della formulazione matematica dell'equazione dell'orbita di un pianeta. Egli accerta, dopo molti sforzi, che tale equazione corrisponde a quelle dell'ellisse. E' quindi in grado di enunciare la sua prima legge << Tutti i pianeti si muovono su orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi >>. Successivamente giunge alla seconda legge << Il segmento congiungente un pianeta con il Sole (detto anche raggio vettore) descrive aree uguali in tempi uguali >>. La terza è contenuta nel trattato “*Harmonice Mundi*” ed è così enunciata << I quadrati dei periodi rivoluzione dei pianeti stanno fra loro come i cubi dei semi-assi maggiori delle loro orbite >>. Complessivamente esse stabiliscono le proprietà cinematiche del moto dei pianeti attorno al Sole, dedotte dall'esperienza ( o meglio dalle osservazioni) e riformulate matematicamente. Il processo di deduzione di queste leggi matematiche è assai simile a quello che oggi viene detto di “best-fitting”. Ciò significa che si ottiene il migliore adattamento, mediante formule matematiche, ad un dato insieme di rilevazioni sperimentali. Questo procedimento è simile, dal punto di vista epistemologico, a quello seguito per giungere a quelle che vengono dette << leggi empiriche >>.

### **5 Approfondimento di identificazione della forza planetomotrice da parte di Keplero**

L'interpretazione corretta delle tre leggi indubbiamente sfugge a Keplero, mentre appare manifesta al genio di Newton alcuni decenni più tardi. Tale interpretazione

conduce al concetto di forza centrale, cioè la forza, sperimentata dal pianeta e causata dall'attrazione solare, sempre diretta verso il centro del Sole, in ogni punto dell'orbita percorsa dal pianeta.

Keplero ipotizza invece una forza sempre tangente alla traiettoria. Inoltre concepisce la natura fisica di questa forza propendendo, erroneamente, per una influenza di tipo magnetico. Detta forza aveva per lui la funzione di promuovere il moto planetario. Egli immagina infatti che queste forze magnetiche, emananti da un corpo centrale come il Sole, fossero simili a gigantesche braccia in grado di spingere i pianeti sulle loro orbite. Riteneva inoltre che fosse a tale fine necessario che lo stesso corpo centrale fosse dotato di rotazione propria. Illuminante, in questo senso, è una lettera inviata da Keplero al suo amico Maestlin il 5 Marzo 1605. In essa si trova il seguente passo <<Solis corpus est circulariter magneticum et convertitur in suo spacio, trasferens orbem virtutis suae, quae non est attractoria sed promotoria>> <<Il Sole è un corpo magnetico a simmetria circolare (assiale) e ruota su se stesso nello spazio, trasferendo l'ambito della sua forza (tutt'intorno) che non è di attrazione ma di promozione>>.

Nella "Astronomia Nova" del 1609, Keplero perfeziona queste vedute come appare da codesto passo:

Quid si ergo corpora planetarum  
omnia sunt ingentes quidam ro-  
tundi magnetes? De Terra (uno ex  
planetis, Copernico) non est du-  
bium. Probavit id Guglielmus  
Gilbertus.

Che cosa sono dunque tutti i corpi  
dei pianeti se non in certo modo  
dei grandi e rotondi magneti? A  
proposito della Terra (uno dei pia-  
neti secondo Copernico) non vi è  
dubbio. Lo dimostrò Guglielmo  
Gilbert.

W. Gilbert (1544 – 1603) studiò in effetti i fenomeni magnetici nel suo trattato "De Magnete". Nella Kepleriana "Epitome" troviamo poi questo passo di cui riportiamo, per brevità, solo la traduzione italiana:

<<Dunque il Sole, grazie alla rotazione del suo corpo, fa girare i pianeti? E come ciò può accadere dal momento che il Sole non ha mani con cui afferrare un pianeta, distante con tanto intervallo di spazio, e farlo girare con sé mentre ruota?.

In luogo delle mani esso ha la proprietà del suo corpo, emessa mediante linee in tutta l'ampiezza dell'universo, la quale (proprietà) per ciò stesso, perché è la peculiarità del corpo, insieme col corpo del Sole è ruotata, in guisa di un rapidissimo vortice, e tutta quella ampiezza in orbita, per quanta possa raggiungere, percorrendo in modo ugualmente rapido, mentre il Sole si gira nel piccolissimo spazio intorno al suo centro.>>

Come appare dal passo riportato, Keplero riteneva che il corpo centrale fosse dotato, per necessità, di rotazione propria. Più avanti nel trattato, egli giunse ad affermare che un corpo celeste, privo di satelliti, non avrebbe dovuto possedere alcun moto rotatorio proprio! Esempio addotto è quello della Luna, di cui si dice "Gyratio igitur in Luna, ut supervacua, fuit omissa" "Il moto rotatorio, dunque, nel caso della Luna, in quanto inutile, fu tralasciato".

## 6 Bilancio della ricerca Kepleriana

Per valutare l'importanza dell'opera di J. Kepler nella storia dell'astronomia occorre innanzitutto contestualizzare le sue ricerche nell'ambito del XVII secolo.

Gli aristotelici, ancora nel Seicento, erano convinti che i corpi celesti obbedissero a leggi completamente diverse da quelle valide per i corpi terrestri. Erano persuasi che questi corpi celesti fossero di natura divina, immortale e perfetta, a differenza delle cose terrestri mortali e soggette alle trasformazioni e al deterioramento nel tempo. Gli aristotelici si rifacevano direttamente alla fonte, ossia alla fisica di Aristotele, sostenendo la divisione in due parti dell'universo stesso. E' pressoché superfluo dire che, alla luce delle nuove scoperte e dopo l'avvento del metodo sperimentale, tutto ciò appariva assurdo. Comunque tutto il Seicento fu ancora appesantito da residui di mentalità aristotelica.

J. Kepler si trovò nel bel mezzo di questa, diciamo così, disputa di durata quasi secolare (peraltro con l'avvento del pensiero e delle scoperte newtoniane, già negli ultimi decenni del XVII secolo, la transizione alla fisica e all'astronomia moderna era compiuta) e contribuì con il suo genio a far trionfare la scienza nuova.

Esaminiamo innanzitutto i successi di Keplero nel senso dell'eliminazione del tardo aristotelismo. Egli pubblicò nel 1606 il trattato "De Stella Nova" che descriveva il fatto astronomico, avvenuto nel 1604, della comparsa di una nuova stella nella costellazione del Serpentario. Sulla base delle conoscenze odierne in astrofisica, possiamo dire che si trattò dell'esplosione di una supernova. Nel testo di Keplero sono descritti i dati astronomici e congetturate financo altre proprietà a proposito della natura fisica del nuovo astro. Questo fenomeno astronomico, unitamente a quello delle macchie solari posto in evidenza da Galileo, metteva in forte imbarazzo i sostenitori del tardo aristotelismo dell'epoca.

Ma, come si è visto poc'anzi, fu nella teoria dei moti planetari che Keplero ottenne i maggiori successi ai fini della disputa aristotelica. Oltre alle considerazioni cinematiche e dinamiche, in larga parte frutto dell'osservazione astronomica e disseminata nei suoi trattati, Keplero prese posizione netta contro l'universo (diviso) dei tardo aristotelici. Infatti i corpi celesti planetari sono soggetti a forze e sono dotati di massa, allo stesso modo degli oggetti sotto esperimenti nei nostri laboratori. Non importa, a questi fini, se le forze sono tangenti alle orbite anziché, correttamente, centripete verso il centro del Sole; non importa se dette forze sono causate, secondo Keplero, da campi magnetici anziché, correttamente, essere causate dal campo gravitazionale del Sole. Quello che è importante è che si tenta di fornire una spiegazione unitaria della "macchina del mondo", riunendo, per così dire, l'universo spezzato in due degli aristotelici.

Un'altra concezione grandiosa, assai coraggiosa per il Seicento, fu quella dell'azione a distanza, nel vuoto cosmico, tra i corpi celesti intesa come causa determinante di una dinamica evolutiva in un sistema di tali corpi. Nella visione del mondo dei tardo aristotelici l'azione a distanza era considerata impossibile se non un'assurdità: l'azione di un corpo su un altro distante doveva realizzarsi solo attraverso contatto (multiplo, mediato ma sempre contatto diretto). Sfortunatamente il grande Cartesio, filosofo e matematico, contribuì a mantenere questo pregiudizio per quasi tutto il Seicento, con la sua teoria dei vortici nella spiegazione dei moti planetari (sino alla sua confutazione, da parte di Newton, nel 1687). La concezione dell'azione a distanza fu

introdotta giustamente da Keplero, che purtroppo commise l'errore di ritenerla di natura magnetica anziché gravitazionale, come fu dimostrato più tardi da I. Newton.

Comunque, a proposito della forza magnetica kepleriana, nell'astrofisica contemporanea sono studiati e sperimentati fenomeni cosmici in qualche modo "anticipati" da Keplero. Alludo al lavoro di ricerca, di Hannes Alfvén e dei suoi allievi, che comprende parecchi risultati interessanti. Il fatto, ad esempio, che una nube o comunque un oggetto di plasma si ponga in orbita circolare attorno ad un primario ruotante su se stesso, gravitante e magnetizzato, con modalità di moto assai simili a quelle intuite da Keplero, è assolutamente stupefacente. Si può affermare che è suggestivo constatare come idee, concepite da Keplero all'inizio del 1600, si siano propagate, al modo di un germe addormentato, sino alla seconda metà del 1900 per essere riattualizzate in un contesto rigoroso, teorico – sperimentale, quale ha potuto strutturarsi verso la fine del XX secolo.

## **7 Note conclusive**

A. Koestler, biografo di Keplero del XX secolo, ha pubblicato un volume dal titolo "I sonnambuli". Su esso l'autore scolpisce la figura di Keplero assimilandola a quella di un gigante, strano e ansioso, che si erge sulla cresta della catena montuosa che separa, nella storia del pensiero umano, la conoscenza antica e medioevale dalla scienza moderna e contemporanea.

Ad un esame più approfondito dell'opera kepleriana, appare chiara la grandezza dello scienziato – astronomo tedesco, uno dei tre fondatori (con Galilei e Newton) della scienza moderna.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 J. Kepler <<Epitome Astronomiae Copernicanae>>, Gesammelte Werke, Beck'sche Verlagsbuchhandlung, Monaco, 1969.
- 2 J. Kepler <<Astronomia Nova>> Gesammelte Werke, Beck'sche Verlagsbuchhandlung, Monaco 1969.
- 3 J. Kepler <<Harmonice Mundi>>, Gesammelte Werke, Beck'sche Verlagsbuchhandlung, Monaco 1969.
- 4 J. Kepler <<Briefe 1604-1607>>, Gesammelte Werke, Beck'sche Verlagsbuchhandlung, Monaco 1969.
- 5 W. Gilbert <<De Magnete>>, Dover Publications Inc., New York, 1958.
- 6 H. Alfvén, G. Arrhenius <<Structure and evolutionary history of the Solar System>>, D. Reidel Publishing Company, Dodrecht Holland, 1975.

- 7 H. Alfvén <<The Voyager I/ Saturn encounter and the cosmogonic shadow effect>>, *Astrophysics and Space Science* 79, 1981.
- 8 H. Alfvén << Paradigm transition in cosmic plasma physics>> , Department of Plasma Physics, Royal Institute of Technology S – 10044, Stockholm 1982.
- 9 V. Banfi <<Il campo di forze di J. Kepler per i moti planetari, e la sua riattualizzazione nella nuova teoria cosmologica di Alfvén>>, *Gionale di Astronomia* 1996.
- 10 A. Koestler <<I sonnambuli>>, Jaca Book 1959.