

Al centro dell'orbita solare non c'è niente

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted March 5th 2021, accepted March 6th

Abstract The orbit of the Sun in Ptolemy's system is circular, and the Sun moves itself with constant velocity. To account for the different duration of the four seasons the center of the orbit is shifted of $e=0.034$ times the radius from the Earth, which is then eccentric. The center of the motion is empty.

Sommario L'orbita del Sole nel sistema di Tolomeo è circolare e percorsa a velocità costante. Per rendere conto della diversa durata delle stagioni, la Terra da cui le osserviamo, deve essere spostata di $e=0.034$ volte il raggio dell'orbita dal centro del moto circolare, che resta, pertanto, vuoto.

Introduzione Eccentrici ed Epicicli

Il moto dei pianeti nella cosmogonia greca conosce epicicli ed eccentrici da diversi secoli avanti Cristo. Apollonio di Perge dimostrò all'inizio del III sec. a. C. che un moto a epiciclo è equivalente a quello circolare uniforme visto da un punto eccentrico. Il moto a epiciclo più semplice da pensare è quello che la Luna fa intorno al Sole nel nostro sistema Copernicano, solo che al posto della Terra non dovrebbe esserci nulla.

Astronomia e preposizioni greche e latine Epiciclo significa "cerchio sopra". Epi=sopra (il deferente). Perigeo significa "vicino alla Terra". Peri=presso. Apogeo significa "lontano dalla Terra". Apo=da. Eccentrico significa "(fuori) dal centro". E, ex, de=da in Latino. Deferente "che porta fuori" dal latino fero=portare, è il raggio vettore del centro dell'epiciclo, cioè quello che lo porta "fuori" dal centro di tutte le orbite, che dovrebbe essere la Terra nel sistema di Tolomeo, ma che alla fine non è centro di nulla, perché tutto è portato fuori. Il sistema di Tolomeo contava in tutto 7 pianeti (corpi che si muovono rispetto alle stelle): Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove e Saturno e 78 cerchi (7 deferenti e 71 epicicli).

L'orbita del Sole è la più semplice, ed è trattata nell'Almagesto libro terzo. Veniva studiata preferibilmente con una linea meridiana, su cui si misuravano le ombre al mezzodì durante tutto l'anno. Due stagioni iniziano quando l'ombra arriva al massimo e poi torna indietro tropico=svolta invernale, e quando arriva al minimo e poi riprende a crescere tropico=svolta estiva. Le altre due quando il Sole arriva a metà altezza sopra l'orizzonte Sud rispetto ai tropici, cioè all'equatore celeste, e sono gli equinozi. Per il 2021-22 abbiamo preso i dati di IMCCE per calcolare la durata delle stagioni:

		En
Pr	92,75	478,6
Es	93,66	483,3
An	89,86	463,7
Jn	88,78	459,2
365,25:62832		
		300=

Fig. 1 Durata in giorni [d] e frazione delle stagioni, e lunghezza in cm dell'arco di cerchio di raggio 3 metri, del centrocampo.

L'estate è la stagione più lunga perché contiene l'apogeo (6 luglio), in cui la velocità angolare del Sole si riduce, mentre l'inverno è più breve contenendo il perigeo (2 gennaio).

Simulazione dell'orbita solare al cerchio di centrocampo



Fig. 2 I 4 settori delle stagioni si uniscono a due a due con linee incrociate 11 cm fuori dal centro. L'eccentricità $e = 11/300 = 0.037$.

Il problema pratico da affrontare per fare questa simulazione è la misura curvilinea degli archi. Il ragazzo di spalle è seduto

sul solstizio invernale e l'incrocio delle due rette perpendicolari tra loro indica un punto a sinistra e in basso rispetto al dischetto di centrocampo. Le due rette sono quelle tra i solstizi e quelle tra gli equinozi. Il segmento tra il centro del disco e l'incrocio di queste rette è parte della linea degli apsidi (perigeo in basso, e apogeo in alto tra le due ragazze). L'orbita è percorsa dal Sole in senso orario.

Torta quattro stagioni con la geometria cartesiana

Per ottenere un risultato esente da misure sperimentali diventa molto comodo usare la geometria cartesiana, e quindi le coordinate degli "anni cardines" sulla circonferenza goniometrica, che per noi è stata quella di raggio 3 metri del centrocampo. Fissando l'equinozio di Primavera nel punto (1,0), alla destra del cerchio in figura, le coordinate degli altri punti sulla circonferenza hanno valore $(\cos\theta, \sin\theta)$ con θ l'angolo proporzionale alla durata della stagione. $0^\circ, 91.42^\circ, 183.73^\circ, 282.3^\circ, 360^\circ=0^\circ$. Le coordinate (X,Y) sono dunque: inizio Primavera P(1,0) Estate S(-0.02473, 0.999694) Autunno A(-0.99788, -0.06507) Inverno I(0.040114, -0.9992). La retta passante per PA è $y = 0.032567x - 0.032567$ (linea dei nodi) e $y = -30.8281x + 0.23744$ quella per SI (linea dei solstizi). Sono due rette tra loro perpendicolari, perché il prodotto dei due coefficienti angolari è -1.00398 (-1 dovrebbe essere).

Il punto di intersezione tra queste due rette è E(-0.00875, -0.03228), distante dall'origine $e=0.033447$, l'eccentricità tolemaica, che è il doppio di quella kepleriana $e_k=0.016723$. L'angolo che il punto EC forma con l'origine, è $\varphi=-74.83578^\circ$ che corrisponde a 75.927 giorni prima dell'equinozio vernale 2022, che sarà il 20 marzo alle 16:30 TMEC, cioè il 3 gennaio 2022 h 16, che cade 16 ore prima delle effemeridi (timeanddate.com) che è il valore "vero" nella teoria di Keplero-Newton-Einstein. Analogamente il giorno

dell'afelio dovrebbe cadere –secondo questo modello, basato sull'anno tropico Giuliano di 365.25 giorni, 182.625 giorni prima, il 5 luglio all'1 TMEC (quasi 24 ore prima delle effemeridi). L'anno anomalistico (tra due perielî consecutivi) dura di più dell'anno tropico, ma in questa approssimazione non ne abbiamo tenuto conto. Fig. 3 Apsidi 2021-2025 (TMEC).

2021	2 gennaio 2021	14.50	147.093.163 km	6 luglio 2021	0.27	152.100.527 km
2022	4 gennaio 2022	7.52	147.105.052 km	4 luglio 2022	9.10	152.098.455 km
2023	4 gennaio 2023	17.17	147.098.925 km	6 luglio 2023	22.06	152.093.251 km
2024	3 gennaio 2024	1.38	147.100.632 km	5 luglio 2024	7.06	152.099.968 km
2025	4 gennaio 2025	14.28	147.103.686 km	3 luglio 2025	21.54	152.087.738 km

La durata dell'anno anomalistico e le distanze degli apsidî cambiano da un anno all'altro. Ma il valore medio cresce lentamente di un giorno ogni 77 anni, come correttamente individuarono gli arabi già nel VIII-XII secolo.

Il vero sistema tolemaico al proprio centro non ha la Terra, che è solo il punto di osservazione di tutti i fenomeni, ma un punto vuoto. Rispetto ai manoscritti più antichi dell'Almagesto, tradotti dal Greco in Arabo, e poi recuperati nel mondo occidentale da traduzioni dall'Arabo in Latino fatte nella Spagna del califfato di Cordoba e a Toledo, ci si accorse che i parametri originali delle varie orbite dovevano essere rivisti. Da ciò i lavori degli astronomi-traduttori medievali di Tolomeo come Campano da Novara, Georg Purbach (Vienna), Johannes Müller (Königsberg), Giovanni Bianchini (Bologna), Jean des Murs (Parigi), fino a Tycho Brahe che nel 1563 osservando una congiunzione Giove Saturno decise che era ora di riformare l'astronomia anche con nuove e più accurate osservazioni. Dalla sua grande opera Johannes Kepler arriverà ad ipotizzare le orbite ellittiche per Marte (1609) e gli altri pianeti. In un fuoco dell'ellissi c'è il Sole, nell'altro niente.

Copernico nel 1543 aveva pubblicato il *De Revolutionibus Orbium Coelestium* che in Italiano si traduce “sulle rivoluzioni (rotazioni) delle sfere celesti”. Alla parola Rivoluzione, anche quella Copernicana, si dà un significato diverso oggi... come scardinamento di ciò che era prima, la Terra al centro sostituita dal Sole al centro. In realtà Copernico mise al centro non il Sole, ma sempre il punto eccentrico... vuoto, e conservò le orbite circolari, riducendole a 54 tra epicicli e deferenti. Keplero pure lasciò un centro vuoto, ipotizzando che l'altro, occupato dal Sole, fosse sede di una “vis” una forza, di un'*anima motrix*, un'anima capace di dare movimento... Galileo riguardo queste orbite era a favore del cerchio, pur essendo convinto che il Sole era centro dei moti. Sarà Newton nel 1687 a pubblicare i *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* (a spese di Halley, segretario della Royal Society di Londra) con cui dimostra che una forza inversamente proporzionale al quadrato della distanza produce orbite ellittiche (ma anche circolari, paraboliche o iperboliche), ossia sezioni coniche.

I segni zodiacali sono i dodici settori uguali in cui è divisa l'orbita circolare del Sole attorno al punto eccentrico E, così come le quattro stagioni sono i quattro settori ampi esattamente 90° visti da E. Ogni segno zodiacale abbraccia 30° dal punto E, che corrispondono a durate leggermente diverse l'uno dall'altro: più brevi quelli dalla parte di E, più lunghe quelli dalla parte opposta. Così come i due equinozi avvengono col Sole alla stessa declinazione 0° così i segni zodiacali a due a due vengono incominciati alla stessa declinazione. Il centro della Terra, l'orbita solare e il punto E appartengono allo stesso piano, e gli equinozi sono all'intersezione del piano dell'equatore terrestre con l'orbita (eclittica è il nome dell'orbita perché solo lì avvengono le

eclissi). I due equinozi distano tra loro 180° in longitudine eclitticale λ , così come ogni segno dista 30° l'uno dall'altro. Declinazione e ascensione retta sono coordinate riferite alla proiezione dell'equatore e del polo terrestre in cielo. È facile per noi immaginarci al centro della Terra, ed è naturale vedere il campo come il piano dell'equatore e il polo sulle nostre teste. L'eclittica è inclinata di $\varepsilon=23^\circ26'$ rispetto a questo piano e culmina nel solstizio in Cancro, e all'opposto al Capricorno. I segni a due a due hanno le stesse altezze. Ma ciò vale anche se il centro dell'orbita non coincide più con E, il punto da cui il moto uniforme viene visto rallentare in estate e accelerare in inverno? Per i segni zodiacali questa differenza non c'è. L'eclittica è considerata un cerchio massimo il cui centro è il centro della Terra, come se il Sole fosse all'infinito, così come l'equatore celeste, quello galattico e tutti i meridiani celesti. Le declinazioni dei segni zodiacali sono $\sin\delta=\sin\varepsilon\cdot\cos\lambda$, $\lambda=30^\circ, 60^\circ$

Conclusioni

Il parametro di eccentricità dell'orbita terrestre e può essere misurato convenientemente con una meridiana, poiché occorre la durata delle quattro stagioni, e quindi gli istanti di solstizi ed equinozi. Usando il sistema di Tolomeo di un'orbita circolare eccentrica alla Terra, percorsa a velocità costante, si ricava per $e=0.033447$; facendone la bisezione si ottiene il valore kepleriano, poiché la definizione di eccentricità di un'ellissi è la metà della distanza tra i fuochi, e questa distanza nel modello di Tolomeo è assimilabile alla distanza OE tra il centro del cerchio e l'incrocio degli assi delle stagioni (linea dei nodi e linea dei solstizi). In questo esempio abbiamo usato i dati dalle effemeridi IMCCE per gli "anni cardines" 2021-22.

Referenze Theodore S. Jacobsen *Planetary Systems from the Ancient Greeks to Kepler*, University of Washington Press (1999)

C. Sigismondi, *Lo Gnomone Clementino*, Gerbertus 7, 48-49 (2014)

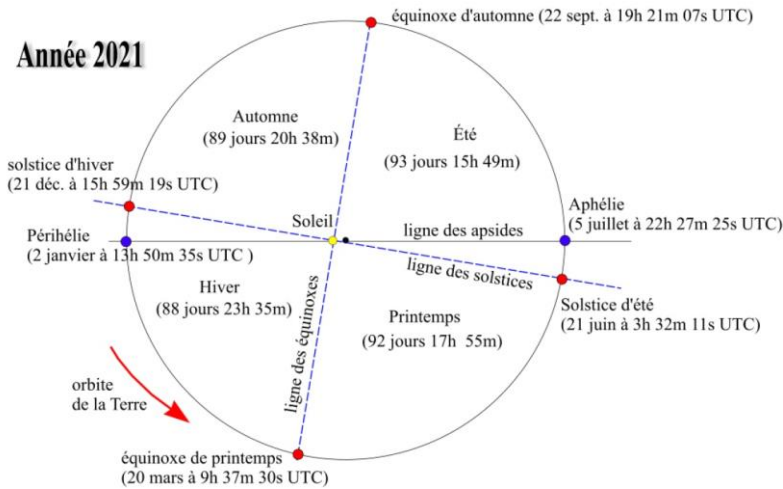


Fig. 2 Effemeridi IMCCE (Patrick Rocher) al secondo a confronto (sotto) con le effemeridi timeanddate.com (TMEC) al minuto, con l'aggiunta delle distanze chilometriche.

2021	2 gennaio 2021	14.50	147.093.163 km	6 luglio 2021	0.27	152.100.527 km
2022	4 gennaio 2022	7.52	147.105.052 km	4 luglio 2022	9.10	152.098.455 km
2023	4 gennaio 2023	17.17	147.098.925 km	6 luglio 2023	22.06	152.093.251 km
2024	3 gennaio 2024	1.38	147.100.632 km	5 luglio 2024	7.06	152.099.968 km
2025	4 gennaio 2025	14.28	147.103.686 km	3 luglio 2025	21.54	152.087.738 km

Poiché l'anno anomalistico è maggiore dell'anno tropico, l'orbita terrestre non è un'orbita chiusa, ma questo è stato dedotto dalla rotazione degli apsidi, scoperta gradualmente nel secondo millennio dell'era cristiana prima dagli arabi e poi dagli europei.

Al centro dell'orbita solare non c'è niente