

MENSURA CAELI

Territorio, città,
architetture, strumenti

Atti dell'VIII Convegno Nazionale
della Società Italiana di Archeoastronomia (SIA)

A CURA DI
MANUELA INCERTI

UnifePress

2010

INDICE

Presentazione, <i>di Francesco Bertola</i>	p.	9
Introduzione, <i>di Manuela Incerti</i>		11
Prefazione. L'architettura e il cosmo nelle fonti, <i>di Manuela Incerti</i>		17
INTRODUZIONE AI LAVORI		
I. UNESCO Thematic Initiative <i>Astronomy and World Heritage</i> , <i>di Anna Sidorenko-Dulom</i>		37
II. Commissione Nazionale UNESCO per l'Italia. Gruppo di progetto <i>Cultura immateriale e diversità</i> . Convenzione per la protezione e la promozione delle espressioni della diversità culturale. Estratto del piano di attuazione, <i>di Silvana Rizzo</i>		43
III. Architettura, "segno" dell'Universo?, <i>di Emma Mandelli</i>		47
TERRITORIO, CITTÀ, ARCHITETTURE, STRUMENTI		
IV. <i>Opus Dei Project</i> . Orologi solari medioevali italiani. Un archivio per lo studio e la tutela del patrimonio gnomonico medioevale in Italia, <i>di Mario Arnaldi</i>		55
V. <i>In forma dunque di candida rosa</i> . Un disegno gotico per Firenze, <i>di Maria Teresa Bartoli</i>		63
VI. Geometrie per il disegno della terra e del cielo, <i>di Paolo Bertalotti, Mauro Luca De Bernardi, Izabel Alcolea e Maria Chiara Bonora</i>		75
VII. Rappresentazione e comunicazione del Palazzo della Ragione di Padova e del suo ciclo astrologico, <i>di Malvina Borgherini e Emanuele Garbin</i>		94
VIII. Gnomonica e architettura a Roma nel XVII secolo, <i>di Cristina Cåndito</i>		103
IX. Roccabruna: un'architettura adrianea a immagine del cielo, <i>di Giuseppina Enrica Cinque e Elisabetta Lazzeri</i>		116

X.	Where the earth meets the sky: the Roden Crater project by James Turrell, <i>di Agostino De Rosa</i>	131
XI.	La dodicesima parte del cielo: da Schifanoia alla <i>Ferrariae novae restauratio</i> , <i>di Manuela Incerti</i>	161
XII.	Padre Maignan e l'orologio catottrico di Trinità dei Monti. Identificazione delle località ordinate per latitudine presenti nel quadrante, <i>di Nicoletta Lanciano e Emanuele Bellucci</i>	181
XIII.	Archaeoastronomy and landscape archaeology as clues for a new interpretation of Machu Picchu, <i>di Giulio Magli</i>	190
XIV.	Tell Arad (zone H e M) e Bab edh-Dhra' (Charnel House A44): la geometria di alcuni edifici E.B.A. Lo squadra numerico, la composizione armonica e l'unità di lunghezza, <i>di Marcello Ranieri e Andrea Polcaro</i>	202
XV.	La misura del tempo nel chiostro romanico di Sant Cugat, <i>di Adriana Rossi</i>	214
XVI.	Il tempio e le stelle. Analisi dell'orientamento di templi e santuari delle popolazioni parlanti la lingua osca, <i>di Francesco Ruggieri e Mario Pagano</i>	229
XVII.	Misura del ritardo accumulato dalla rotazione terrestre, ΔUT_1 , alla meridiana clementina della basilica di Santa Maria degli Angeli in Roma, <i>di Costantino Sigismondi</i>	240
XVIII.	Il santuario dell'età del Bronzo di Trinitapoli. Il Calendario di Pietra, <i>di Anna Maria Tunzi, Mariangela Lo Zupone, Elio Antonello, Vito Francesco Polcaro e Francesco Ruggieri</i>	249
	ASTRONOMIA CULTURALE	
XIX.	Le stelle delle Orse e Arturo, <i>di Elio Antonello</i>	261
XX.	Il cielo del <i>Samarangana Sutradhara</i> . Trattato indiano sull'architettura degli inizi del sec. XI, <i>di Annamaria Dallaporta e Lucio Marcato</i>	267

XXI.	Nuove, antiche sorprese geologiche al di là delle (prime) Colonne d'Ercole, <i>di Sergio Frau</i>	275
XXII.	Mito e razionalità nel cielo di Ovidio, <i>di Elena Francesca Ghedini e Isabella Colpo</i>	280
XXIII.	Il ruolo della statistica nell'archeoastronomia, <i>di Vito Francesco Polcaro</i>	307
XXIV.	Uno straordinario cielo stellato di Piero della Francesca. Il <i>Sogno di Costantino</i> in S. Francesco ad Arezzo, <i>di Vladimiro Valerio</i>	318
STORIA DELLA SCIENZA		
XXV.	Kepler e le sue misconosciute leggi di partenza, <i>di Francesco Castaldi</i>	333
XXVI.	Il calendario runico conservato nel Museo Missionario Etnologico dei Musei Vaticani, <i>di Massimo Ricci, Silvia Listorti e Nicoletta Lanciano</i>	342
SESSIONE POSTER		
XXVII.	Analisi dei moti propri stellari e forma delle costellazioni, <i>di Elio Antonello</i>	353
XXVIII.	La rivoluzione del ciclo zodiacale. La simbologia olistica e l'archeoastronomia, <i>di Teodoro Brescia</i>	357
XXIX.	<i>In hoc signo vinces</i> , <i>di Bruno Carboniero e Fabrizio Falconi</i>	364
XXX.	Primstaff. I calendari runici del Museo Astronomico e Copernicano di Roma e di S. Geneviève a Parigi, <i>di Silvia Listorti, Massimo Ricci e Nicoletta Lanciano</i>	369
XXXI.	La supernova del 1054 a Bisanzio, <i>di Giovanni Lupato</i>	376
XXXII.	Chi l'ha vista? Cas A, un resto di supernova inspiegato, <i>di Andrea Martocchia e Vito Francesco Polcaro</i>	384
	Gli autori	389

KEPLER E LE SUE MISCONOSCIUTE LEGGI DI PARTENZA*

*Abstract. With the proclamation of 2009 as the International Year of Astronomy by the United Nations, there is to remember, among other important events of 1609, the publication of Kepler's *Astronomia Nova*, a book where we find those discoveries afterwards remembered as his first two laws. But they are only the arrival points of Kepler's revolution, who had to struggle against a lot of prejudicial statements originating from the past, when his predecessors had subjected the physic reality to their mathematics solutions. Three main underestimated starting reforms of Kepler has been considered by an important scholar of our times, C. Wilson: no more the Mean Sun as point of reference for the planetary orbits and motions, but the True Sun; every orbital plane shall pass through the true Sun's centre, at a constant inclination to the plane of the ecliptic; bisection of the eccentricity of Earth's orbit¹. The present work wishes briefly to remember the huge gaps that Kepler had to fill in order to ferry the astronomy from kinematics of his predecessors to the firm foundations on which the descendants built the knowledge of it.*

Johannes Kepler è famoso per avere stabilito, in relazione ai corpi celesti in moto attorno a un corpo centrale, tre famose leggi². Due di queste sul moto dei pianeti (orbite ellittiche attorno a un fuoco occupato dal Sole e archi percorsi in tempi proporzionali all'area spazzata dalla congiungente Sole-Pianeta) si trovano in *Astronomia Nova*, Praga, 1609³. In occasione della proclamazione del 2009 come Anno Internazionale dell'Astronomia, qui desideriamo rammentare le prime e fondamentali *riforme* caratterizzanti questo testo, che si merita veramente, come nessun altro, il titolo datogli dal suo autore.

* Per le animazioni mostrate nel corso della presentazione fatta all'VIII Congresso SIA, l'autore è grato all'amico astrofilo ing. Giampiero Barbieri di Sestri Levante, GE.

¹ TATON – WILSON (1989, cap. X, p. 161).

² VOELKEL – GINGERICH (2001, p. 7). Secondo questi autori furono chiamate leggi per la prima volta da Lalande nel 1774. Però, già N.L. Lacaille (*Lectiones elementares astronomiae* etc., Vienna e Praga, 1757, con edizione in francese di due anni prima) considera, p. 68, in unica legge queste prime due, mentre, dopo la presentazione di quella che per noi è la terza, scrive, (p. 83): «Atque haec est altera binarum legum Kepleri».

³ CASPAR (1937, vol. III).

1. Riforma nr. 1. Alleato col "Sole vero" contro gli utilizzatori del "Sole medio"

In tutte le teorie dei precursori di Kepler i moti planetari erano stati riferiti alla direzione di un immaginario Sole che svolge una rivoluzione (apparente per i copernicani) di 360° in un anno, con moto uniforme.

Annota il Neugebauer, uno storico e matematico dei nostri tempi⁴: «Perciò è il postulato dei moti circolari che introduce nella teoria planetaria il Sole medio come punto fondamentale di riferimento, procedura ancora pienamente mantenuta nella teoria copernicana»⁵.

In FIG. 25.1. si coglie l'essenziale di questa teoria secondo Tolomeo con un esempio semplificato dei moti in longitudine di Marte, Giove, Saturno.

Kepler non aveva nascosto le proprie idee innovatrici in proposito, come leggiamo in una sua lettera del 1/6/1601 al Professore di astronomia dell'Università di Bologna, A. Magini: «Nel mio volumetto *Mysterium Cosmographicum* (1596) c'è un particolare capitolo con una tabella calcolata da Mästlin, in base alla quale stabilii che si dovesse correggere l'ipotesi di Copernico in modo tale che le eccentricità dei pianeti e gli absidi fossero derivati direttamente proprio dal centro del Sole vero e non dal Sole medio»⁶.

Kepler qualificò Copernico *restauratorem astronomiae*, ma non gli risparmiò critiche, a cominciare dalla stessa *Introduzione di Astronomia Nova*, dove, per esempio, evidenzia la scarsa precisione delle *Tabulae prutenicae* del Reinhold, ricavate (1562) dal *De revolutionibus*: messe a confronto con dati osservativi di Tycho Brahe o suoi, per Marte cadono in errori di longitudine eclittica anche di 5 gradi⁷.

Dichiarata la sua vicinanza a Copernico, annuncia che nella *Parte III* dimostrerà che «il cerchio, nel quale la Terra si muove attorno al Sole, non ha per centro quel punto (matematico) attorno al quale il suo moto è regolare e uniforme», che corrisponde a minare alla base la geometria del sistema copernicano.

Un altro studioso, O. Gingerich, evidenzia in questo modo l'opera di Kepler: «[...] il primissimo compito del suo programma di ricerca era quello di apportare le opportune correzioni all'orbita di Marte, in modo che si riferisse al Sole, anziché al punto vuoto corrispondente al centro dell'orbita terrestre. Questa centralità del Sole sarebbe diventata un tratto essenziale

⁴ NEUGEBAUER (1975, p. 171).

⁵ ZAGAR (1988, p. 109). Qui è spiegata la coincidenza di questo *Sole medio* col moderno *Sole fittizio*.

⁶ CASPAR (1949, vol. XIV, p. 174). Il matematico e astronomo M. Mästlin fu il maestro di Kepler.

⁷ CASPAR (1937, vol. III, *Introductio in hoc opus*, p. 20). Un astrofilo, ing. G.P. Barbieri, ha raffrontato i dati delle *Prutenicae* con il simulatore di planetario *Perseus*, ottenendo quasi 6° di differenza attorno all'opposizione di Marte del 25/8/1593, calendario giuliano.

dell'approccio fisico di Kepler, un fondamentale principio che lo avrebbe guidato nella sua revisione dei dettagli dell'eliocentrismo»⁸.

Infatti, nel cap. I, Kepler si pone il problema «[...] se i pianeti, in opposizione, dovessero essere considerati rispetto alla posizione media o vera del Sole; Tolomeo scelse il moto medio perché pensava che la differenza, anche se concreta, fra prendere il moto del sole medio o del sole vero, non si poteva percepire con le osservazioni; mentre, assunto il moto del sole medio, lo sviluppo del calcolo e delle dimostrazioni sarebbe stato facilitato. Copernico e Tycho, nei loro assunti, seguirono Tolomeo. Io, come si vede nel mio *Mysterium Cosmographicum*, cap. XV, stabilisco come riferimento il luogo vero e proprio il corpo del Sole; e lo dedurrò con dimostrazioni nelle successive parti IV e V dell'opera»⁹.

Kepler non risparmia nemmeno il suo Tycho il quale, ancora con un sistema a Terra immobile, riproduceva i moti dei tolemaici: «Ogni pianeta, infatti, [...] per Brahe, non diversamente da Tolomeo, si muove in realtà col moto del Sole [...] mescolando in uno i diversi moti da cui si producono le spirali; [...]. Così da Brahe inutilmente vengono moltiplicati ancora i movimenti, come prima veniva fatto da Tolomeo»¹⁰.

Altra critica è poi rivolta a Copernico per la scelta sulla nota equipollenza fra il moto di un corpo su un cerchio eccentrico rispetto al corpo centrale e quello sopra un sistema epiciclo-su-deferente. Copernico esita perché «*utrum eorum existat in coelo non est facile discernere*»¹¹. Ma, per motivi di principio, opta per il secondo perché non tradisce la regola per cui ogni moto doveva essere circolare uniforme.

La FIG. 25.2., presa come esempio dal *De revolutionibus* (libro V, cap. IV, p. 142), mostra il modello per un pianeta (escluso Mercurio trattato in altro modo).

Dunque, in pratica Copernico accetta di disporre l'eccentricità sulla linea degli absidi, evitando di usare un sistema a epiciclo-su-epiciclo-su-deferente, come fatto in seguito da Tycho¹²; però conserva, al posto dell'equante, un epiciclo e questo procura all'orbita una distorsione che al cap. 4 di *Astronomia Nova* Kepler commenta così: «Pertanto, mentre Copernico si sforza di essere superiore a Tolomeo nell'uniformità dei moti, a sua volta da lui è superato nella perfezione dell'orbita planetaria. [...] Copernico, dal

⁸ GINGERICH (2004, p. 220).

⁹ CASPAR (1937, vol. III, cap. I, p. 65). In nota a margine qui troviamo anche quel che intendeva Kepler per *sole medio*.

¹⁰ *Ibid.*, p. 23. La critica a queste spirali o *corolle* viene espressa con una famosa figura a p. 64. Con insistenza Kepler esprime ancora al cap. VI, p. 89, la vanità del sistema di Tycho.

¹¹ COPERNICO (1543, p. 86).

¹² BRAHE (1602). A p. 479 c'è il suo unico schema, per Saturno, con l'epiciclo minore (che trasporta il pianeta) che ha il centro in rivoluzione sopra quello maggiore: essi svolgono i ruoli di equante e di eccentricità rispettivamente.

canto suo, al Libro V, Cap. IV, ammette che per lui l'orbita del pianeta non è circolare, ma che esorbita sui fianchi; [...]».

2. Riforma nr. 2. «Plana eccentricorum sunt atalanta»

Al cap. XIV Kepler stabilisce: «I piani delle orbite eccentriche sono fissi», come il gigante Atlante bloccato dallo sguardo di Medusa in smisurata montagna a tenere sulle spalle l'Universo. Inoltre, le loro intersezioni col piano dell'eclittica e, di conseguenza, le linee dei nodi di tutti i pianeti passano per il centro del Sole¹³.

Tolomeo, pur tenendo fisso il piano del deferente, fa passare le linee dei nodi per il centro della Terra e ciò lo costringe a teorizzare un'oscillazione dell'epiciclo per *salvare* i moti in latitudine dei pianeti.

Nessuna costrizione subiva Copernico, ma la FIG. 25.3., tratta da originale, prevede di avere inattese complicazioni¹⁴.

Da qui la reazione di Kepler: «Copernico, lui stesso ignaro delle sue ricchezze, per dare espressione completa alle sue opinioni fece proprie le idee di Tolomeo e non i dati della natura ai quali tuttavia si era avvicinato più di chiunque altro. [...] conscio di avere incrementato le latitudini con l'avvicinamento della Terra ai pianeti, non osò però eliminare del tutto le oscillazioni di latitudine tolemaiche, (le quali non potevano sfruttare questo avvicinamento della Terra), ma (come se fosse una conseguenza) immaginò che librassero i piani delle orbite planetarie, nei riguardi dei quali fece variare l'angolo d'inclinazione [...]; e ciò (fatto mostruoso) messo in relazione non alle leggi dei singoli orbi, ma alle leggi dell'orbe terrestre che ne è chiaramente estraneo. [...] Pertanto, noi concludiamo in modo fermo che l'inclinazione dei piani delle orbite dei pianeti rispetto all'eclittica [...] assolutamente non cambia»¹⁵.

A parte il contenuto di verità, questo è un ulteriore esempio delle insufficienze di Copernico.

3. Riforma nr. 3. Dimezzamento dell'eccentricità dell'orbita terrestre

Tolomeo mantenne per l'eccentricità della Terra il valore intero, $e = 0.04152$, come risultava dalle osservazioni, mentre, con sorprendente lungimiranza, aveva dimezzato quella di ciascun pianeta (FIG. 25.1.); tale decisione fece

¹³ CASPAR (1937, vol. III, parte V, cap. LXVII, p. 400).

¹⁴ COPERNICO (1543, p. 183). Tutto il libro VI è dedicato ai moti in latitudine dei pianeti. Rammentiamo, a tal proposito, che per primo Kepler trattò assieme longitudini e latitudini nei moti planetari, a differenza dei predecessori che formulavano teorie indipendenti. Così non ci meravigliamo se Copernico, per le latitudini, dimenticò l'epiciclo introdotto per i calcoli di longitudine.

¹⁵ CASPAR (1937, vol. III, cap. XIV, p. 141).

discutere perché apparentemente ingiustificata, mentre Kepler ne affermò la necessità «[...] in quanto, in base alle osservazioni, il centro del loro epicyclo sarebbe apparso avvicinarsi troppo alla Terra, all'apogeo, e fuggire troppo lontano, al perigeo, di quanto l'eccentricità intera [...] avrebbe consentito»¹⁶.

Il dimezzamento dell'eccentricità per l'orbita terrestre (o, indifferentemente, di quella apparente del Sole) era già stato adombrato in *Appendice*, a p. 821, di *Progymnasmata*, 1602, opera postuma di Brahe. Da qui l'origine di una lettera del 15/1/1610 del Magini che informava Kepler di avere data una scorsa al suo *Astronomia Nova*, ma che aveva già adottato il dimezzamento dell'orbita terrestre in accordo a *Progymnasmata*. In risposta, il 1 febbraio 1610 Kepler fece sapere a chi Magini avrebbe dovuto indirizzare la sua gratitudine: «Dell'Appendice a Progymnasmata io stesso sono l'autore»¹⁷.

Sono molteplici in *Astronomia Nova* le dimostrazioni che inducono a questa necessità, per cui Kepler accettò tale dimezzamento, oltre tutto prezioso per l'assetto della sua ellisse, e stabilì $e=0.018$.

Che fosse un argomento importante per le sue tesi non ci sono dubbi, perché richiedeva anche per la Terra (o in apparenza per il Sole) una velocità orbitale variabile in accordo con la seconda legge.

Una prima verifica sperimentale di questo dimezzamento venne dal giovane G. D. Cassini (costruttore della grandiosa meridiana nella Basilica di S. Petronio in Bologna) con due documenti nel 1656¹⁸:

– *Nuova luce astronomica da un nuovo eliometro*, che già nel titolo s'interrogava su «[...] ipotesi avute dai principali astronomi Tolomeo, Alfonso, Tycho, Longomontano, Lansberg e altri sia antichi, sia moderni: se in effetti siano più vicine al vero quelle di Kepler e Boulliau». Dunque il tema era in discussione.

– *Saggio di osservazioni bolognesi che di recente, al fine di una riforma dell'astronomia, si sono cominciate a effettuare nel tempio di S. Petronio [...]*. Già nel titolo leggiamo: «Ora per la prima volta si scopre con osservazioni dirette l'ineguaglianza reale del moto del Sole e si chiarisce la sua vera regolarità».

¹⁶ CASPAR (1937, vol. III, cap. XVI, p. 152). In *Mysterium Cosmographicum*, 1596, la sua opinione era allineata a quella degli altri: vedi CASPAR (1938, vol. I, cap. XXII, p. 77).

¹⁷ CASPAR (1954, vol. XVI, p. 279). In effetti l'*Appendice* risulta scritta dagli eredi di Tycho con l'aiuto di Kepler per le questioni astronomiche.

¹⁸ Il primo, *Novum lumen astronomicum*, dedicata ai responsabili civili di S. Petronio, sono due pagine di propositi; il secondo, *Specimen observationum bononiensium*, in una trentina di pagine riassume l'attività dei primi due anni alla meridiana, con dati e discussioni; forse qualche capitolo è stato accorpato in tempi successivi.

Fra le pagine di osservazioni, svolte dal 19 al 23 marzo 1656, e di calcoli, colpisce a p. 5 l'annotazione: «Eccentricità di 17394 parti su un semiasse maggiore dell'ellisse pari a 1000000». Su questo dato, che in termini adimensionali si scrive $e = 0.017394$, e sulla parola *ellisse* non troviamo commenti.

Più avanti Cassini rammenta perché si cimentò «a compiere questa opera in S. Petronio [...] particolarmente idonea a raffinatissime osservazioni astronomiche [...]». E ne precisa la finalità «allorché dalla proporzione del quotidiano incremento del Sole capii di raggiungere l'evidenza di un fenomeno di tanta importanza [...]». Dall'immagine del Sole sulla meridiana intuiva di scoprire il valore dell'eccentricità.

Tralasciamo un poco di discussioni e arriviamo al capitolo *La prima controversia astronomica*, dove Cassini spiega il parere dei kepleriani: «Pertanto essi ritengono che soltanto la metà dell'ineguaglianza complessiva possa essere salvata per tale distanza dal centro; e affermano che poi l'altra parte d'ineguaglianza compete al corpo in rivoluzione che in una parte della sua orbita ritarda, in un'altra si affretta [...]». Cioè, le apparenze dei moti del sistema Terra-Sole, dai predecessori aggiudicate all'intera eccentricità del corpo centrale fisso rispetto all'orbita di quello in rivoluzione, qui sono riconosciute in parte al corpo in rivoluzione, il cui moto segue la regola che oggi conosciamo come la seconda legge di Kepler.

Acquisire certezza su questo problema migliorava la precisione dei moti planetari e dei fenomeni come le eclissi di Sole: «Inoltre, visto che nelle ipotesi di provata validità, il Sole è stabilito come centro dei diversi pianeti, se si ignora la vera distanza del Sole, allora di necessità non si conosce il luogo del centro attorno a cui ruotano gli altri pianeti [...]»¹⁹. Da ciò emerge che una decisione su questo problema è di un tal peso che senza di essa è impossibile in astronomia procedere oltre in modo utile». Ritorniamo così alla *Riforma nr. 1*, dove al Sole vero competono tutti i parametri planetari, anche per chi adottasse il sistema ticoniano.

La variazione apparente del diametro solare è in relazione alla sua distanza dalla Terra, per cui: «[...] occorre che il diametro del Sole in perigeo (D_p) rispetto a quello in apogeo (D_a) abbia lo stesso rapporto della distanza apogea (d_a) rispetto alla perigea (d_p)». L'eccentricità si esprime anche con la formula²⁰: $e = (d_p - d_a) / (d_p + d_a) = (D_p - D_a) / (D_p + D_a)$. Riferendosi a tolemaici, copernicani e ticoniani da una parte e kepleriani dall'altra, Cassini prosegue: «In effetti gli autori di entrambe le ipotesi si sono applicati con gran diligenza e tuttavia la disputa è ancora sotto giudizio [...]. Infatti, essendo l'incremento del diametro solare, da apogeo a perigeo, in una ipotesi

¹⁹ Cassini non specifica a quale sistema si riferisce (Copernico, Tycho, Kepler) fra quelli con i pianeti in rivoluzione attorno al Sole. Ma i primi due non ammettevano una reale variazione di velocità dei pianeti; quello di Kepler sì.

²⁰ ZAGAR (1988, pp. 107 e 327).

di 2' e nell'altra di 1', la differenza si riduce solamente a 1' che è osservabile con difficoltà; così ciascuno tira dalla sua parte».

Le misure e i calcoli alle sagome del Sole in S. Petronio destarono discussioni che si smorzarono soltanto dopo anni di prove. Intanto, alla fine di questo scritto, col titolo *Osservazioni riguardanti la soluzione della proposta controversia*, Cassini ricorda un'altra verifica, in cui mette in relazione archi di eclittica percorsi dal Sole col corrispondente diametro, e conclude: «Quindi, da questa raccolta di osservazioni, non soltanto si dimostra che la disuguaglianza osservata del Sole è in parte apparente e in parte fisica; ma anche che il Sole avanza di tanto di disuguaglianza fisica e di altrettanto di disuguaglianza apparente».

In TAB. 25.1. riportiamo in perielio e afelio l'arco di eclittica percorsa in un giorno e le misure dei corrispondenti diametri: dunque la diminuzione effettiva del diametro solare è di 1'.0667.

TAB. 25.1.: misure in primi	arco/giorno	diametro Sole
Inizio gennaio (perielio)	61.1	32.583
Inizio luglio (afelio)	57.2	31.516

Se invece si attribuisce alla sola eccentricità la differenza apparente di velocità del Sole, il calcolo (svolto, in relazione agli archi percorsi, mediante la proporzione $61.1 : 57.2 = 32.583 : x$) produrrebbe per il diametro all'afelio $x = 30'.50$, cioè una diminuzione di 2'.08 rispetto al diametro al perielio.

Di tutto ciò, forse, la conseguenza più importante fu nello stimolare a proseguire gli approfondimenti utilizzando, prima di tutto, queste *riforme* che furono essenziali per il progresso, come o di più delle prime due leggi: ne è prova il fatto che quella delle aree restò disattesa fino ai *Principia*, 1687, di Newton²¹.

Riferimenti bibliografici

BRAHE T. (1602), *Progymnasmata*, Praga.

CASPAR M. et al. (1937-2002), *Johannes Kepler Gesammelte Werke* [opera omnia], Verlag C.H. Beck, München.

CASTALDI F. (2004), *Dopo Keplero, in attesa di Newton*, in *Atti del II Convegno della SIA*, Osservatorio Astronomico di Monte Porzio Catone, settembre 2002, Cusl, Milano, pp. 9-19.

²¹ CASTALDI (2004, pp. 9-19).

- COPERNICO N. (1543), *De revolutionibus orbium coelestium*, Joh. Petreius, Norimberga.
- GINGERICH O. (2004), *Alla ricerca del libro perduto*, Rizzoli, Milano.
- NEUGEBAUER O. (1975), *A history of ancient mathematical astronomy*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- TATON R., WILSON C. (eds.) (1989), *The general history of astronomy*, vol. II, *Planetary astronomy, Part a, Tycho Brahe to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge.
- VOELKEL J.R., GINGERICH O. (2001), *Giovanni Antonio Magini's "Keplerian" Tables of 1614 and their implications for the reception of Keplerian astronomy in the seventeenth century*, «Journal for the history of astronomy», 32, pp. 236-262.
- ZAGAR F. (1988), *Astronomia sferica e teorica*, Zanichelli, Bologna.

FIG. 25.1. Esempio semplificato di moti in longitudine di un pianeta secondo Tolomeo. Sulla linea degli absidi AP si trova F , centro del cerchio deferente dal quale equidistano due punti: E , l'equante che conduce con moto angolare uniforme, mediante il "braccio" EC , il centro C dell'epiciclo; T , la Terra eccentrica. E e T distano da F di metà dell'eccentricità risultante dalle osservazioni. Il pianeta P sull'epiciclo gira con moto uniforme, mantenendo il raggio CP sempre parallelo alla direzione del sole medio. Combinando i moti di C e di P , P ritorna in una stessa configurazione, rispetto all'osservatore in T , dopo un periodo di rivoluzione sinodica

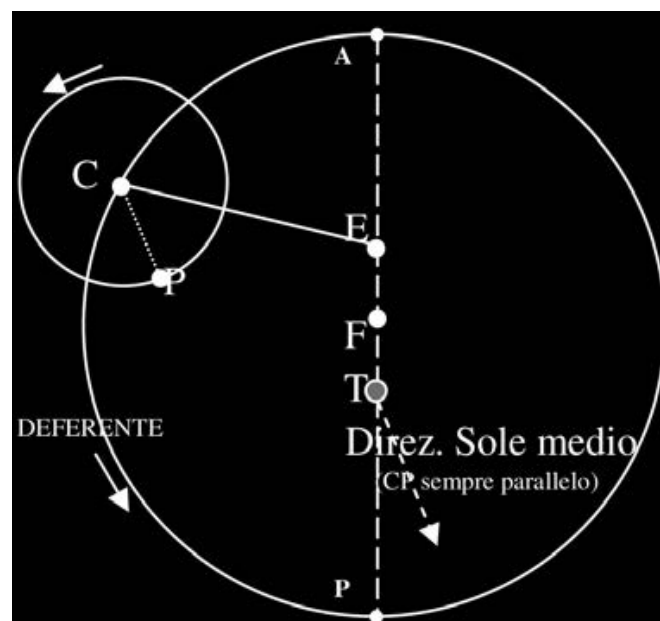


FIG. 25.2. Modello di moti in longitudine di un pianeta secondo Copernico. Il centro D dell'orbita terrestre fissa l'eccentricità del pianeta sulla linea AB degli absidi, mentre un cerchio deferente di centro C trasporta il centro di un epiciclo, sul quale ruota il pianeta, da A a G a B . I moti angolari attorno ai centri di epiciclo e di deferente sono uniformi e con stesso verso; la risultante del moto planetario è l'orbita FGL

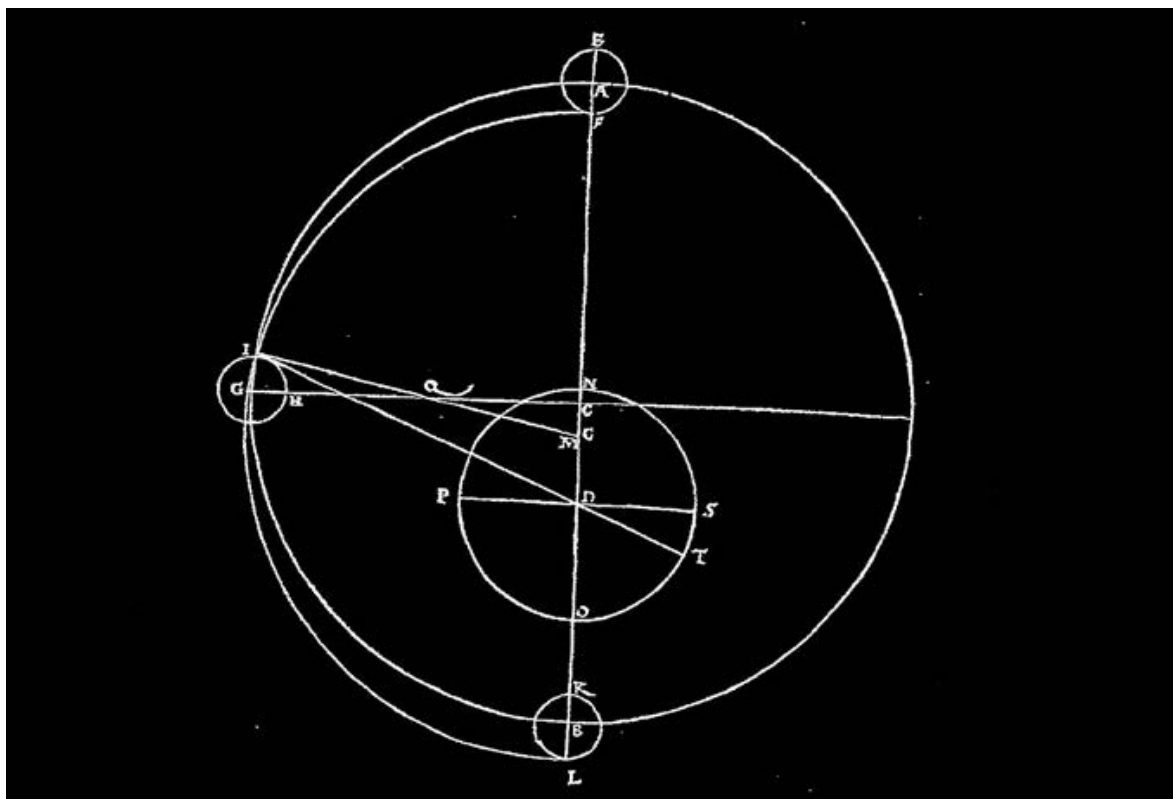


FIG. 25.3. Schema di moti in latitudine di un pianeta secondo Copernico: a) sul piano del foglio il piano dell'eclittica sopra il quale si svolge l'orbe terrestre $ABCD$ di centro E , un puro punto matematico; b) un orbe medio con inclinazione fissa $FGKL$ che determina la linea $GBEDL$ dei nodi (G discendente, L ascendente) passante per E ; c) un terzo piano contenente l'orbita del pianeta $OGPL$, oscillante, incernierato sulla stessa linea dei nodi

