

La rivoluzione scientifica

Fabio Filippi

29 settembre 2016

La scienza è uno dei molti
passatempi che l'uomo ha
inventato per divertirsi.

Paul K. Feyerabend (1924-1994)

Indice

1	L'antichità	9
1.1	Le richieste di Platone	9
1.1.1	La nascita delle idee	9
1.1.2	Tolomeo	13
2	La rivoluzione	19
2.1	Copernico	19
2.1.1	La vita	19
2.1.2	Il copernicanesimo	23
2.2	Tycho Brahe	29
2.2.1	Astronomo per vocazione	29
2.2.2	Le misure	31
2.3	Johannes Kepler	35
2.3.1	Le prime esperienze	35
2.3.2	Le leggi	37
2.4	Giordano Bruno	43
2.4.1	La formazione e le prime opere	43
2.4.2	Le peregrinazioni e l'infinito	44
2.5	Galileo Galilei	49
2.5.1	Il periodo pisano	49
2.5.2	Il <i>Sidereus</i> , e il <i>Dialogo</i>	50
2.6	Cartesio	60
2.6.1	La formazione	60
2.6.2	Cogito ergo sum	62
	Bibliografia	66

Elenco delle figure

1.1	La rappresentazione di Eraclide riportata in un codice minio del XV secolo	12
1.2	Una pagina della traduzione latina di Giorgio Trebisonda (ca 1451) dell'Almagesto	13
1.3	Con l'eccentrico il moto è uniforme rispetto al centro ma non è uniforme rispetto alla Terra	15
1.4	Con l'epiciclo era possibile giustificare il moto retrogrado	15
1.5	L'equante è il punto sulla linea degli apsi rispetto al quale il pianeta ha velocità angolare costante	15
1.6	Il sistema geocentrico	16
1.7	Il sistema geocentrico di Eraclide	16
1.8	Il sistema eliocentrico di Aristarco	17
2.1	La determinazione della distanza relativa Venere-Terra	24
2.2	Nel sistema tolemaico i deferenti di Venere e Mercurio devono giacere sul segmento Terra-Sole	24
2.3	Secondo Copernico Venere e Mercurio hanno un'elongazione minore di 180° in maniera naturale	25
2.4	Le retrogradazioni dei pianeti secondo Copernico	26
2.5	Gli epicicli e i deferenti nel sistema tolemaico devono stare sul segmento Terra-Sole	27
2.6	Posizioni particolari dei Pianeti rispetto alla Terra	30
2.7	La Nova di Tycho	31
2.8	La misura della parallasse	31
2.9	La strage di San Bartolomeo	32
2.10	Il passaggio della cometa	32
2.11	Michael Maestlin osservò la cometa	33
2.12	La traiettoria disegnata da Tycho	34
2.13	Il modelli a confronto	34
2.14	Johannes Kepler	35
2.15	Il seminario ove studiò Kepler	36

2.16	Figure tratte dal <i>Mysterium cosmographicum</i>	37
2.17	Una pagine de <i>Astronomia nova</i>	38
2.18	Le posizioni della Terra rispetto al Sole e a Marte. Si misurano gli angoli α , β ,	39
2.19	L'osservazione di Keplero	41
2.20	Figure tratte dal <i>Narratio de Jovis satellitibus</i>	41
2.21	<i>Harmonices mundi</i>	42
2.22	Due figure presenti nel testo	46
2.23	Il periodo pisano	49
2.24	<i>Dialogo de Cecco di Ronchiti da Brunzene in perpuosito de la Stella Nuova</i>	50
2.25	Orione in <i>Sidereus nuncius</i>	51
2.26	La Luna <i>Sidereus nuncius</i>	51
2.27	Giove in <i>Sidereus nuncius</i>	53
2.28	La scoperta dei satelliti	53
2.29	La scoperta dei satelliti	54
2.30	La scoperta dei satelliti	54
2.31	Il <i>Sidereus nuncius</i>	55
2.32	Venere in una lettera a Paolo Sarpi	57
2.33	Le osservazioni del Sole	58
2.34	Cartesio	60
2.35	Figure presenti in Diottrica	65

Elenco delle tabelle

2.1	Confronto tra le distanze relative calcolate da Copernico e quelle attuali	25
2.2	Le eccentricità dei pianeti a confronto	36

Capitolo 1

L'antichità

1.1 Le richieste di Platone

1.1.1 La nascita delle idee

LE prime osservazioni sistematiche del cielo le effettuarono probabilmente i Babilonesi. Alcune testimonianze (tavolette) indicano che questo popolo usava l'osservazione astronomica per poter misurare il tempo (calendario). Pare inoltre che essi fossero in grado di prevedere in anticipo le eclissi di Sole, secondo quanto riporta Gemino (I secolo avanti Cristo), e che conoscessero il saros corrispondente a 18 anni e 10 giorni. Ma pare che non esista alcun documento che lo testimoni. Un grande passo in avanti fu fatto dai Greci. Essi scoprirono la dialettica e inventarono la filosofia che può essere pensata come l'arte di porsi interrogativi sul mondo e di ideare le teorie su di esso. Pitagora (circa 500 a.C.) contribuì, pare, in maniera significativa all'astronomia. Sembra che fu lui ad identificare la stella della notte e la stella del mattino in Venere. Egli pensava ad un Mondo in cui i pianeti ruotavano attorno al Sole. Ma la sua idea più originale fu quella di pensare che Cosmo, Musica e Matematica facessero parte di un unico disegno e che quindi fosse necessaria una sola chiave di lettura per poter interpretare tutti i fenomeni (aritmogeometria). Questo concetto sarà ripreso da Keplero. A Metone (circa 420 a.C.) viene attribuita la paternità del Saros e del grande anno (76000 anni) cioè di quel periodo di tempo dopo il quale tutte le anime tornano alla loro configurazione iniziale.

L'ossatura dell'astronomia tolemaica che è sopravvissuta per tutto il Medioevo è essenzialmente quella di Platone e Aristotele. Nella concezione del primo prevale l'immobilità come nozione chiave, cioè la perfezione. Le idee pure e le forme pure rappresentano la realtà della natura che è da noi percepita come ombre proiettate sulle pareti della caverna. Per vie metafisiche egli

giunge a stabilire che il Demiurgo deve aver organizzato il Mondo nella forma perfetta per antonomasia: la sfera e che i movimenti dei corpi celesti devono anch'essi essere compatibili con questa forma e quindi: circonferenza e moto uniforme. Questa visione cosmologica è espressa nel *Timeo*. Platone (circa 428-348 a.C.) cercò una teoria per salvare le apparenze, cioè, per spiegare, tramite convinzioni anche personali, i fenomeni osservati.

Le stelle, rappresentando oggetti eterni, divini e immutabili, si muovono con velocità uniforme attorno alla Terra, come noi possiamo constatare, e descrivono la più regolare e perfetta di tutte le traiettorie, quella della circonferenza senza fine. Il Sole, la Luna e i pianeti vagano invece attraverso il cielo e seguono cammini complessi, anche retrogradi. Tuttavia, essendo corpi celesti, anch'essi debbono sicuramente muoversi in maniera conforme al loro rango elevato: i loro moti debbono perciò derivare da una qualche combinazione di cerchi perfetti. Quali sono le combinazioni di moti circolari con velocità uniforme che possono spiegare il loro strano comportamento?

Una soluzione ovvia è pensare ad un modello geocentrico, che è comunque in grado di soddisfare la richiesta di spiegare i fenomeni. Il nostro giudizio non deve essere troppo severo. D'altra parte anche le teorie moderne non sono prive di errori e probabilmente, in futuro, appariranno assurde. Fra l'altro Platone ravvisa un'unità del Cosmo che riprenderà in considerazione Keplero. L'unità sarebbe suggerita dal fatto che i solidi regolari (noti come solidi platonici) sono cinque: tetraedro, ottaedro, icosaedro, cubo, dodecaedro. Il numero è lo stesso di quello dei pianeti: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Egli dunque immagina che ai solidi siano associati gli elementi generatori: al tetraedro il fuoco, all'ottaedro l'aria, all'icosaedro l'acqua, al cubo la terra e al dodecaedro l'etere. Così si intuisce che il programma di ricerca di Platone contiene anche elementi olistici, cioè che pretendono in qualche misura di spiegare tutto, dalla generazione della materia al cosmo nel suo insieme. Eudosso (circa 408-355 a.C.) raccolse quello che oggi chiameremmo un programma di ricerca ideando un modello di cosmo costituito da sfere omocentriche, il cui centro è immaginato essere la Terra. La sfera esterna era attraversata dall'asse del Mondo e comunicava il proprio movimento alla sfera immediatamente interna, la quale era tuttavia animata anche da un moto proprio. Questa comunicava a sua volta i suoi movimenti alla sfera appena interna e così via. Un sistema così complesso da descrivere e da pensare, descriveva con un certo buon grado di approssimazione ciò che si osservava. Le sfere erano 27. Questo numero salirà a 56 con Aristotele, discepolo di Platone, uno dei più grandi pensatori di tutti i tempi.

Aristotele (circa 384- 322a.C.) organizza il Mondo in una maniera più strutturata rispetto a Platone, oggi diremmo più fisica. Il Demiurgo di Aristotele governa le cose dall'esterno, dal Motore Immobile, oltre le stelle fisse. L'U-

niverso è diviso in due zone: il mondo sublunare che giace, appunto, tra la Terra e la Luna. In questa regione i moti sono verticali, le cose degenerano e muoiono. Tutte le cose sono in qualche modo connesse con i quattro elementi. Le vicende degli uomini avvengono qui. Oltre la Luna giace un universo immoto e immutabile, composto da una quinta essenza. Il movimento naturale è quello naturale delle cose perfette, quindi il cerchio. In Aristotele le contraddizioni apparenti e le contrapposizioni trovano una giusta posizione logica e quindi un ruolo. Il "tutto scorre" di Eraclito e il "niente cambia mai" di Parmenide.

È bene ricordare anche Apollonio di Perge (circa 262-190 a.C.) il quale propose come soluzione l'epiciclo su cui il pianeta si muove, cioè una circonferenza il cui centro giace su una circonferenza detta deferente il cui centro è la Terra. Eratostene (circa 275-195 a.C.) direttore della biblioteca di Alessandria che fu in grado di misurare il diametro della Terra e Ipparco di Rodi (circa 190-120 a.C.) che scoprì il moto di precessione dell'asse terrestre.

Concludiamo infine, per i discorsi che ci interessano, con Eraclide (385-322 a.C.) e Aristarco (circa 310 - 230 a.C.). Il primo diede una soluzione semplice per i moti irregolari di Mercurio e Venere. Poiché i due astri si trovano sempre in prossimità del Sole sia al tramonto che all'alba egli trovò sensato porre i due pianeti in moto intorno al Sole. Il secondo propose una soluzione eliocentrica. Aristarco misurò anche la distanza tra Terra Sole Luna. Leopardi dice di lui: Egli determinò la distanza del Sole dalla Terra, che egli credè 19 volte maggiore di quella della Terra medesima dalla Luna e trovò la distanza della Terra dalla Luna, di 56 semidiametri del nostro globo. Credette che il diametro del sole fosse non più che 6 o 7 volte maggiore di quello della Terra e che quello della Luna fosse circa un terzo di quello della Terra medesima. Questa soluzione pareva concordare benissimo con le osservazioni e, in più, era semplice. Le critiche mosse verso le idee eliocentriche furono: 1) Era in contraddizione con il buon senso, in quanto la Terra appare immobile e non in moto. 2) Il moto rispetto alle stelle fisse dovrebbe apparire oscillante.

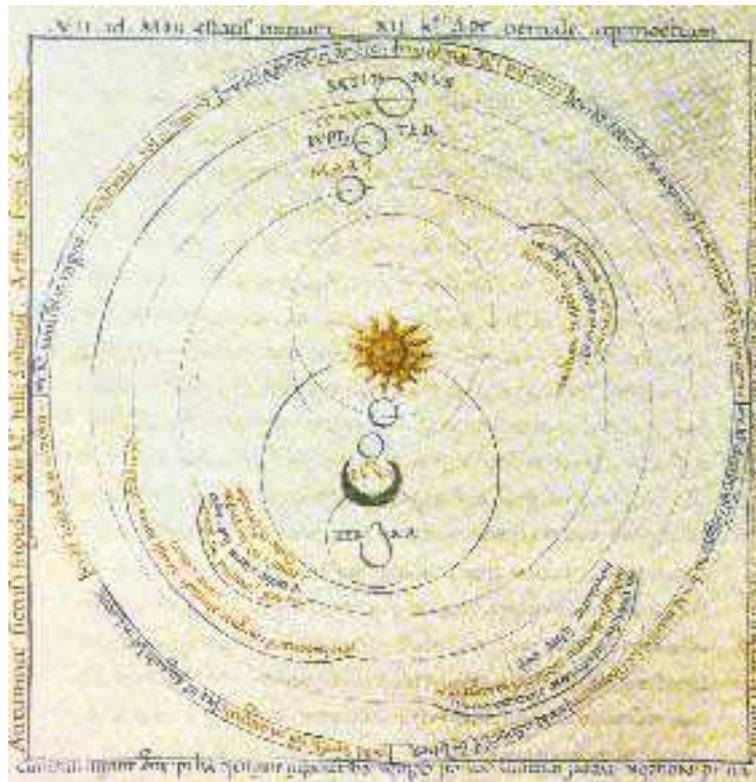


Figura 1.1: La rappresentazione di Eraclide riportata in un codice minito del XV secolo

1.1.2 Tolomeo

Tolomeo (150 d.C.) diede un'interpretazione molto elaborata e raffinata al modello geocentrico, basata sulle idee di Aristotele. Tolomeo descrisse il cielo nel libro *Almagesto* nome di origine araba da un titolo originale che vuol dire grande sintesi. Noi desideriamo trovare le cose che appaiono evidenti e inconfutabili traendole dalle osservazioni antiche nonché da quelle da noi effettuate, e mediante dimostrazioni geometriche desideriamo utilizzare le conseguenze di queste concezioni. Inoltre, la nostra opinione é che i cieli sono sferici e che si muovono in maniera sferica; che la Terra, per quanto riguarda la forma, é sensibilmente sferica [...]; per ciò che riguarda la sua posizione, é posta nel giusto mezzo dei cieli, a guisa di centro geometrico; per ciò che riguarda le dimensioni la distanza, la Terra é come un punto rispetto alla sfera delle stelle fisse, non é animata da alcun moto locale. (Prefazione all'*Almagesto*)

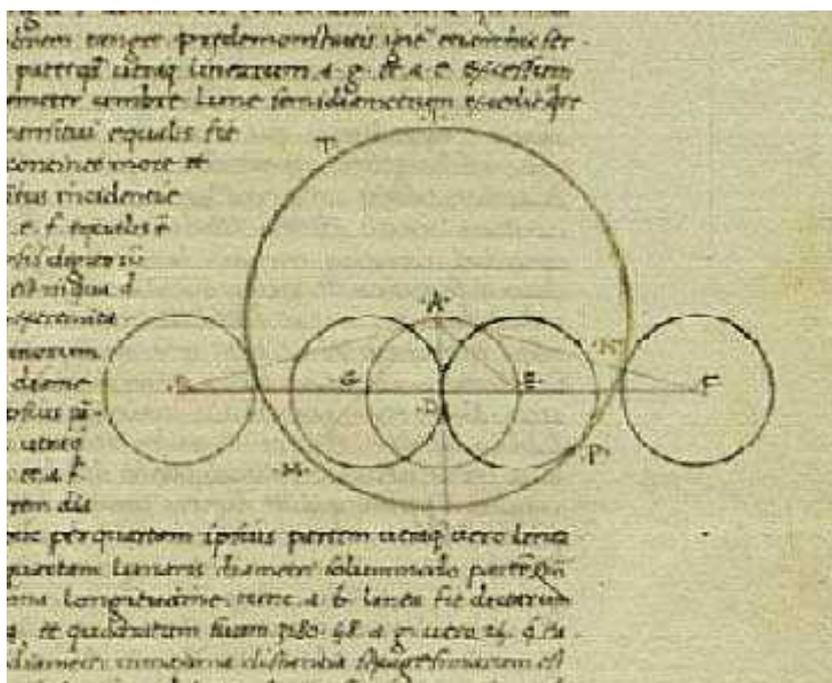


Figura 1.2: Una pagina della traduzione latina di Giorgio Trebisonda (ca 1451) dell'*Almagesto*

E critica Aristarco sostenendo che se la Terra si muovesse non potrebbe trascinarsi l'aria che la circonda. Alcune persone, sebbene non abbiano niente da opporre a simili argomentazioni, concordano su teorie ritenute piú plausibili. A queste persone sembra infatti che niente si opponga al considerare i

cieli immobili : la Terra, al contrario, in rivoluzione da Ovest a Est attorno allo stesso asse delle stelle, compiendo quasi esattamente una rivoluzione al giorno [...].Ma invero é sfuggito alla loro attenzione che, se ci occupiamo solamente di come appaiono i moti delle stelle, niente potrebbe forse contraddire questa pú semplice congettura, ma che alla luce di quanto accade nell'ará attorno a noi una tale ipotesi risulterebbe essere affatto assurda". (Almagesto)

Per migliorare il modello di Platone introdusse tre movimenti distinti: l'eccentrico, l'epiciclo, l'equante. 1) L'eccentrico é il movimento su un'orbita circolare in cui la Terra é pensata giacente in un punto non coincidente col centro della circonferenza. Questa configurazione conservando l'idea di moto uniforme, permetterebbe di giustificare la variazione di luminosità dei pianeti. Tuttavia si rinuncia ad una visione antropocentrica. 2) L'epiciclo è una circonferenza sulla quale orbita il pianeta. L'epiciclo, inoltre ruota su un'altra circonferenza che è l'orbita vera e propria e che prende il nome di deferente. Questa soluzione giustifica le retrogradazioni dei pianeti. 3) L'equante è un punto simmetrico al punto dove si immagina risieda la Terra rispetto al centro della circonferenza. Poiché la velocità tangenziale deve essere costante, cambiando la il raggio cambia la velocità angolare. Il moto é uniforme rispetto all'equante, ma non rispetto alla Terra. Il successo del modello tolemaico può essere riassunto in tre punti: 1) Dava ottime previsioni (i cambiamenti di luminosità dei pianeti, i moti retrogradi, le stelle sono fisse) 2) Era conforme alle osservazioni 3) La Terra era al centro dell'Universo. In questo modello le distanze tra i pianeti non sono note, ma sono noti solo i rapporti tra i raggi dell'epiciclo e del deferente. Riassumiamo qui di seguito i modelli del Cosmo. Nel seguito i simboli hanno il seguente significato: \oplus = Terra, \mercury = Mercurio, \venus =Venere, \mars = Marte, \jupiter = Giove, \saturn = Saturno

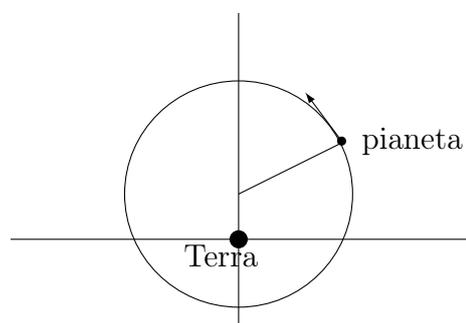


Figura 1.3: Con l'eccentrico il moto è uniforme rispetto al centro ma non è uniforme rispetto alla Terra

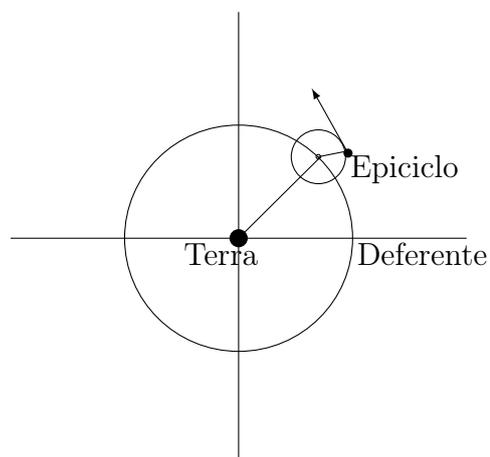


Figura 1.4: Con l'epiciclo era possibile giustificare il moto retrogrado

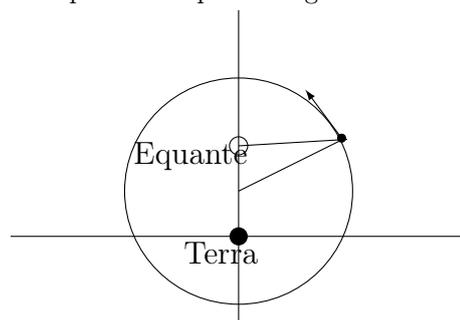


Figura 1.5: L'equante è il punto sulla linea degli apsidi rispetto al quale il pianeta ha velocità angolare costante

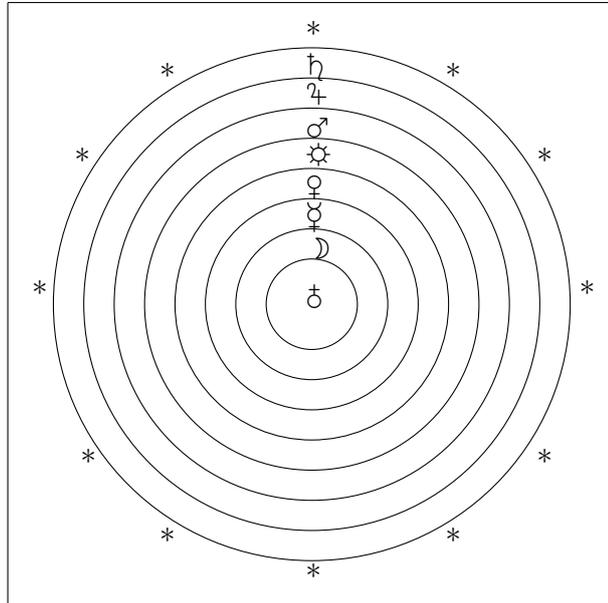


Figura 1.6: Il sistema geocentrico

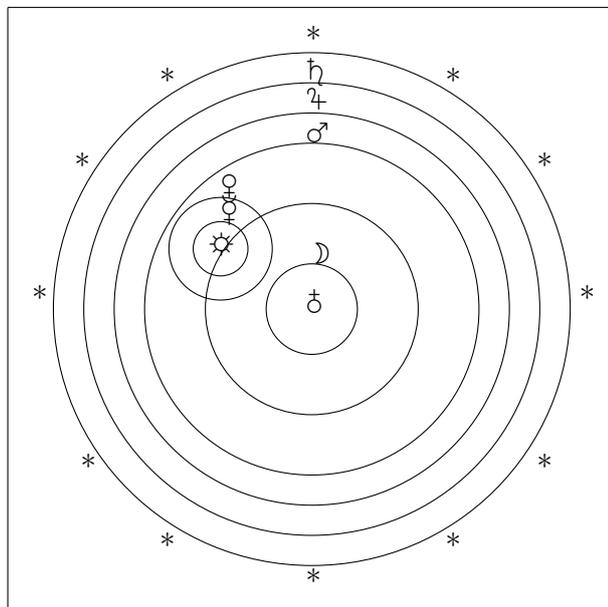


Figura 1.7: Il sistema geocentrico di Eraclide

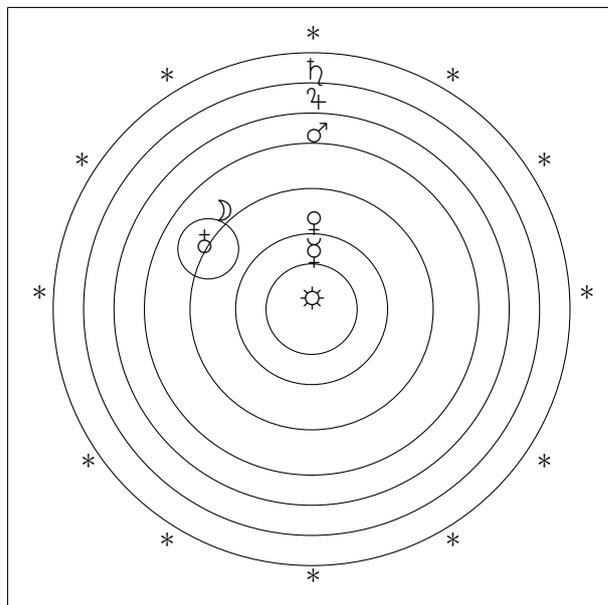


Figura 1.8: Il sistema eliocentrico di Aristarco

Capitolo 2

La rivoluzione

2.1 Copernico

2.1.1 La vita

NOME originale Niklas Koppernigk (toponimo koper sta per aneto e nik per abbondante) lui stesso assunse Nicolaus Copernico. Nicola nasce alle 4.48 del 19 febbraio 1473 a Thorn e rimane orfano di padre a 10 anni. Si prende cura di loro lo zio materno Lucas Watzenrode che diventerà vescovo della Warmija nel 1489. Grazie a lui Nicolò va all'Università di Cracovia il trivio (grammatica, dialettica, retorica) ed il quadrivio (aritmetica, geometria, musica ed astronomia) nel 1491. Non conclude l'università perché preferisce intraprendere la carriera di ecclesiastico nella diocesi dello zio. Conserva dall'esperienza universitaria le tavole alfonsine che sono perle posizioni dei pianeti, le eclissi, la navigazione e gli oroscopi. Lascia Cracovia a 22 anni con competenze astronomiche e matematiche. Acquisisce uno degli ordini minori (accolitato?) e in attesa di prendere posto a Warmija prende il dottorato in diritto canonico a Bologna. Copernico non diventerà sacerdote ma essendo eletto canonico di Warmija ne percepiva i benefici. A Bologna non consegue la laurea e soggiorna presso l'astronomia Domenico Maria Novara che lo stimola all'osservazione astronomica. Durante il periodo bolognese vi sono prove che Copernico si incuriosì di alcune discrepanze sul moto della Luna rilevabili dalla lettura dell'epitome un libro di Tolomeo parafrasato in latino da Peurbac e da Regiomontano. Inoltre conduce osservazioni della luna (occultazioni) Copernico rimase così colpito dalla discrepanza che studio il greco per poter leggere in originale i testi di vari autori. Copernico si laurea in diritto canonico a Ferrara nel 1503. Nonostante la prospettiva di sostituire lo zio nella carica di vescovo di Warmija, Copernico decide di tornare a Frauenburg (1510) dove assume diversi impegni di tipo amministrativo oltre

che esercitare l'attività di medico, ruolo nel quale si rappresenta in un autoritratto con un mughetto in mano fiore che egli riteneva avere ottime proprietà curative. Nel 1514 costruisce una torre senza tetto dalla quale fa osservazioni tramite un quadrante solare, uno strumento parallattico (per la Luna) e un astrolabio. Gli incarichi diventano impegnativi ancora di più dopo che, passata l'invasione prussiana, a Copernico viene dato l'incarico dal Capitolo di Amministratore generale. Come prima cosa chiede all'Ordine Teutonico la restituzione dei beni e dei territori. Scrive il *Saggio sul conio del denaro* al fine di evitare che la moneta si indebolisse. Questo fenomeno era dovuto al fatto che la Zecca dell'Ordine Teutonico aveva ridotto la percentuale di argento nelle monete e questo fatto avrebbe gradualmente indebolito la moneta. Il calendario giuliano (calendario elaborato da Sosigene) era costruito sull'anno tropico che è il tempo necessario affinché il Sole raggiunga il punto vernale cioè l'equinozio di primavera (punto gamma) questo intervallo di tempo a causa della precessione degli equinozi, cambia. L'anno tropico ha una lunghezza che dipende da quale punto si considera e poiché la velocità della Terra non è uniforme, si prende un anno tropico medio. Questo fa sì che ci sia un accumulo di 11 minuti ogni anno che all'epoca di Copernico erano diventati circa 11 giorni. Copernico scrisse una sua proposta su richiesta del matematico Paolo di Middelburg (Paolo di Fossombrone) il quale era stato interpellato da Papa Gregorio XIII. Galileo (sbagliando) riteneva che Copernico fosse il solo autore della riforma del calendario e lo riporta in una lettera a alla Granduchessa Cristina (forse per elevare la personalità di Copernico). Si ricordi che nel periodo durante il quale operò Copernico, in Europa centrale si verificarono due fatti rilevanti: fu attuata la riforma monetaria, a cui Copernico prese parte per il fatto che era stato nominato Amministratore, un ruolo che potrebbe ricordare l'esattore delle tasse (*Saggio sul conio del denaro*, nel 1517) e comparve sulla scena Martin Lutero ¹, che nel 1519 affisse le sue 95 tesi sulla porta della chiesa di Wittenberg. Esse mettevano in discussione l'autorità del Papa in merito alle penitenze ed all'utilità delle indulgenze. Questo atto inaugura la stagione della riforma protestante. Inoltre c'era una questione ancora irrisolta a proposito del calendario. Esso era stato inaugurato in una forma moderna da Giulio Cesare nel 46 a. C. (calendario giuliano) imponendo che l'anno durasse 365,25 giorni. Tuttavia l'anno tropico ² medio dura in effetti 365,2422 giorni, cioè 365 giorni, 5 ore,

¹Martin Lutero disse di Copernico che era uno "sciocco che intendeva mettere sottosopra l'inutile scienza dell'astronomia"

²L'anno tropico è definito come l'intervallo di tempo che impiega il Sole a tornare nello stesso punto vernale (equinozio di primavera). Tuttavia questo intervallo non è costante, ma soggetto a piccole variazioni (perturbazioni planetarie, precessione degli equinozi). Di conseguenza si parla di anno tropico medio.

48 minuti e 46 secondi, causando un eccesso di soli 11 minuti in un anno, in realtà, ma all'epoca di Copernico l'accumulo era salito a quasi 11 giorni. Uno dei motivi per cui si aveva imprecisione era da attribuirsi al fatto che i calcoli effettuati erano basati sulle Tavole Alfonsine le quali usavano come anno, quello tropico. Copernico suggerì di utilizzare, invece, l'anno sidereo. Il nuovo calendario fu inaugurato in Europa da Papa Gregorio XIII nel 1582 e fu adottato in Inghilterra nel 1752 ³ ed in Russia nel 1918. Il modello di Copernico è enunciato da Copernico nel *Commentariolus* (1514). Qui di seguito i suoi postulati tratti da esso.

- **Primo postulato** Non esiste un unico centro di tutti i circoli o sfere celesti.
- **Secondo postulato** Il centro della Terra non è il centro dell'universo, ma solo della gravità e della sfera lunare.
- **Terzo postulato** Tutte le sfere ruotano intorno al Sole come se questo stesse al centro di tutte; pertanto il Sole è il centro dell'universo.
- **Quarto postulato** Il rapporto della distanza della Terra dal Sole con l'altezza del firmamento è minore rispetto a quello fra il raggio della Terra e la sua distanza dal Sole, tanto che la distanza della Terra dal Sole è impercettibile in confronto all'altezza del firmamento.
- **Quinto postulato** Qualsiasi movimento che appaia nel firmamento non è causato da questo stesso ma dalla Terra. La Terra dunque con gli elementi ad essa più vicini compie durante il moto giornaliero una completa rotazione intorno ai suoi poli fissi, mentre il firmamento insieme con l'ultimo cielo restano immobili.
- **Sesto postulato** Qualsiasi movimento ci appaia attinente al Sole, non è causato da questo ma dipende dalla Terra e dalla nostra sfera, con la quale rotiamo intorno al Sole come qualsiasi altro pianeta; pertanto la Terra risulta spinta da diversi moti.
- **Settimo postulato** I movimenti retrogradi e diretti, che appaiono appartenenti ai pianeti, non derivano da essi, ma dalla Terra. Perciò basta il movimento di questa sola per spiegare le tante irregolarità che appaiono nel cielo.

³Questo è il motivo per cui la data di nascita di Isaac Newton non è il 25 dicembre del 1625, in quanto in Inghilterra, in quell'anno, era ancora in vigore il calendario giuliano

Copernico lavorò al *De Revolutionibus* per un trentennio dal 1512 al 1542. Una svolta positiva fu l'interesse di Georg Joachim von Lauchen (Retico) matematico di Wittenberg per il lavoro di Copernico di cui sentì parlare. Retico si fa promotore del lavoro di Copernico. Suo è il primo resoconto del lavoro di Copernico nel *Narratio Prima*. È importante rilevare che il *De Revolutionibus* è un buon contributo dato alla trigonometria da parte di Copernico. In esso è contenuto un teorema che, retrospettivamente, assume un significato importante: il teorema di Nasir Eddin il quale afferma che dati due cerchi di cui uno di diametro metà dell'altro se questo rotola senza strisciare all'interno di quello grande allora un punto non appartenente alla circonferenza piccola ma vincolato ad esso descrive un'ellisse, Retico sceglie Norimberga per la pubblicazione del *De Revolutionibus* rispetto a Wittenberg a causa della maggiore influenza di Lutero alle idee di Copernico. A Norimberga risiede il matematico Schöner a cui Retico aveva dedicato la *Narratio Prima* e soprattutto l'editore Hans Peter sensibile ai temi scientifici. Il *De Revolutionibus* andò in stampa nel maggio 1542 ma Retico non poté più seguirne l'iter a causa di sopraggiunti impegni. La pubblicazione fu seguita da Osiander che anonimamente aggiungerà una prefazione al libro preannunciando al lettore il carattere puramente speculativo del lavoro. Aggiunse anche *orbium coelestium* al titolo dell'opera proprio per le stesse ragioni.

Qui di seguito parte della prefazione

«Non dubito che alcuni dotti - poiché già si è divulgata notizia della novità delle ipotesi di quest'opera, che pone Terra mobile e il Sole invece immobile in mezzo all'universo - ne siano rimasti vivamente offesi e giudichino inopportuno turbare le discipline liberali da tempo istituite. Ma se vorranno ponderare esattamente la cosa, troveranno che l'autore di quest'opera nulla ha commesso che meriti di essere biasimato. È proprio dell'astronomo, infatti, mettere insieme con osservazione diligente e conforme alle regole, la storia dei movimenti celesti; poi le loro cause ossia - non potendo in alcun modo raggiungere quelle vere - escogitare e inventare qualunque ipotesi, con la cui supposizione sia possibile calcolare quei medesimi movimenti secondo i principi della geometria, tanto nel futuro quanto nel passato. Ora, l'autore ha assolto egregiamente entrambi questi compiti. Non è infatti necessario che queste ipotesi siano vere, e persino nemmeno verosimili, ma è sufficiente solo questo: che presentino un calcolo conforme alle osservazioni; a meno che qualcuno non sia tanto ignaro di geometria e di ottica da tenere per verosimile l'epiciclo di Venere e lo creda la causa per cui essa talvolta precede, talvolta segue il Sole di quaranta parti di cerchio ed anche più. Chi non vede, infatti - posto questo - come di necessità ne conseguirebbe che nel perigeo il diametro della stella dovrebbe apparire più di quattro volte - e il corpo stesso più di sedici volte - maggiore che nell'apogeo, al che peraltro si oppone tutta l'esperienza dei secoli? Vi sono in questa disciplina anche altre cose non meno assurde, che non è necessario esaminare

qui. È abbastanza chiaro, infatti, che quest'arte ignora totalmente e semplicemente le cause dei moti apparenti ineguali. E se ne inventa con l'immaginazione alcune - come certamente ne inventa parecchie - non lo fa mai, tuttavia, al fine di persuadere qualcuno che così stanno le cose, ma solo per fondare esattamente su di esse il calcolo. Ora, poiché di un solo e medesimo movimento talvolta si offrono varie ipotesi (come, nel movimento del Sole, l'eccentricità e l'epiciclo), l'astronomo prenderà di preferenza quella più facile comprendere. Il filosofo richiederà forse piuttosto la verosimiglianza. Né l'uno né l'altro, tuttavia, comprenderà o insegnerà alcunché di certo, a meno che non gli sia rivelato da Dio. Lasciamo dunque che anche queste nuove ipotesi si facciano conoscere accanto a quelle antiche, per nulla più verosimili, tanto più che esse sono insieme ammirabili e facili, e portano seco un ingente tesoro di dottissime osservazioni. E perché non si lasci questo studio più stolti di quando lo si era intrapreso, prendendo per vere cose preparate per altro uso, nessuno si aspetti dall'astronomia, quello che si attiene alle ipotesi, alcunché di certo, niente di simile essa può mostrare. Salute.»

Ma Copernico non fece a tempo di vedere la prefazione ebbe solo la possibilità di ricevere una copia della pubblicazione sul letto di morte. Fu Keplero a rendere pubblica la faccenda della prefazione non autorizzata perché aveva acquistato una copia del *De Revolutionibus* presso un circolo di studiosi in cui vi era il nome di Osiander. Nel 1551 Erasmus Rehinold pubblicò delle nuove tavole astronomiche, queste basate sulla teoria copernicana. La precisione e la facilità di utilizzo di queste, le fece ben presto prevalere rispetto alle altre. Esse sono note come Tavole Putrenicae in onore del Duca di Prussia...

2.1.2 Il copernicanesimo

TRAMITE il sistema copernicano è facile determinare la distanza Venere Terra conoscendo l'elongazione massima di Venere in maniera semplice. ... Copernico conosceva l'elongazione massima di Venere (circa 57°). Quando si osserva Venere appena tramontato il Sole il triangolo Sole-Terra-Venere è retto in Venere. Ponendo uguale ad 1 la distanza Terra-Sole risulta $distanza_{Venere-Sole} = 1 \cdot \sin(47^\circ) = 0.73 \dots$ Semplice è anche giustificare le retrogradazioni.

Questo metodo si può utilizzare per determinare le distanze relative dei pianeti superiori. Questo sistema spiega semplicemente anche perché i pianeti superiori non mostrano un'elongazione di 180° . Nel sistema geocentrico occorre vincolare il movimento dei pianeti interni al segmento che unisce la Terra al Sole.

Il sistema copernicano aveva un unico vero vantaggio, e cioè che era semplice da descrivere, fatto salvo che ad un certo punto Copernico stesso per rendere conforme ai moti circolari il proprio modello aggiunse più epicicli di

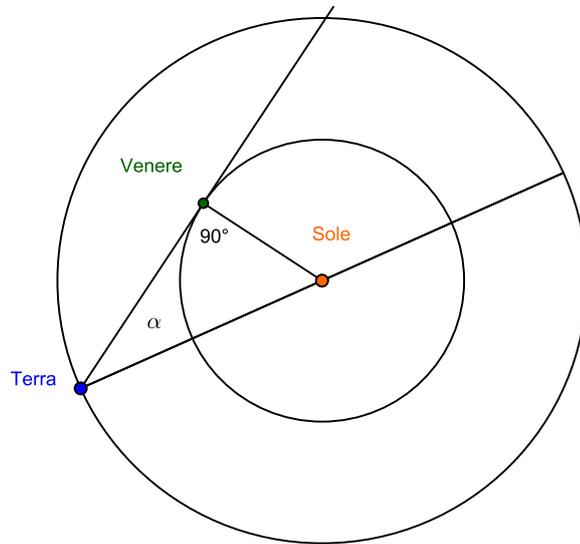


Figura 2.1: La determinazione della distanza relativa Venere-Terra

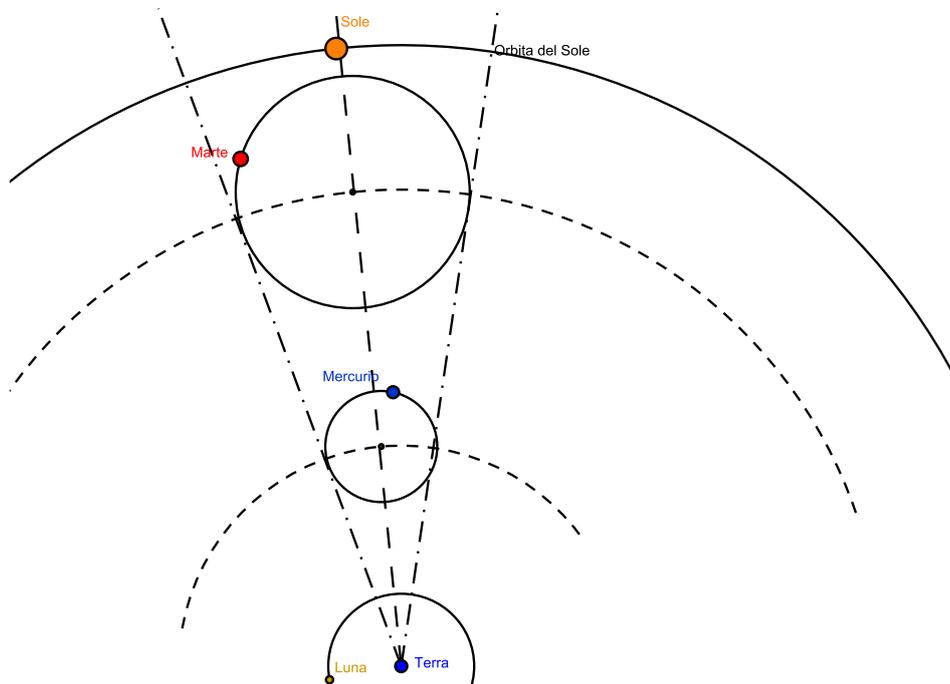


Figura 2.2: Nel sistema tolemaico i deferenti di Venere e Mercurio devono giacere sul segmento Terra-Sole

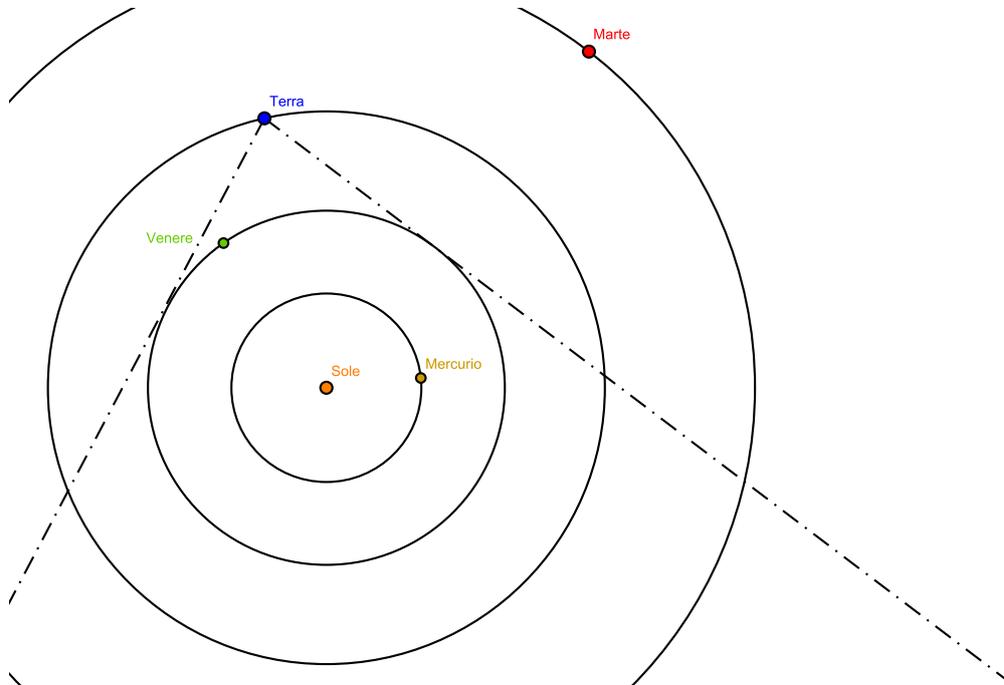


Figura 2.3: Secondo Copernico Venere e Mercurio hanno un'elongazione minore di 180° in maniera naturale

Tabella 2.1: Confronto tra le distanze relative calcolate da Copernico e quelle attuali

Pianeta	Copernico	Moderno
Mercurio	0,38	0,39
Venere	0,72	0,72
Terra	1	1
Marte	1,52	1,52
Giove	5,2	5,20
Saturno	9,2	9,54

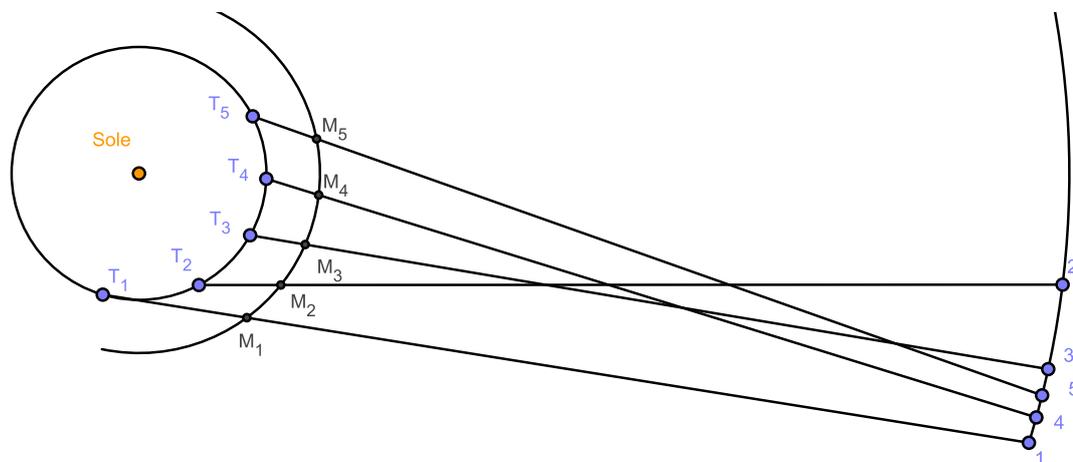


Figura 2.4: Le retrogradazione dei pianeti secondo Copernico

Tolomeo. In più, la circostanza che lo scienziato fosse stato in grado di misurare le distanze planetarie dal Sole, destava il sospetto che il suo modello contenesse qualcosa di sostanziale. D'altra parte il modello copernicano non era certo in grado di spingere le previsioni sulle posizioni dei pianeti oltre quelle che era già in grado di fornire il modello tolemaico. Inoltre l'idea di una Terra mobile offriva comunque il fianco a due critiche che Copernico non seppe controbattere in maniera convincente: le stelle fisse non parevano mostrare movimenti di parallasse (ma la precisione strumentale era comunque lontana dal poterlo rilevare) e gli oggetti accidentalmente in volo non rimanevano indietro rispetto al presunto moto diurno della Terra.

Infine non era facile scalzare l'Uomo dal trono che la religione gli attribuiva, essere al centro dell'Universo fisico e spirituale poneva ancora un limite superiore invalicabile con l'ausilio della sola teoria qualitativa.

Per Copernico era il Sole dover stare al centro, perché la sua natura rivelava davvero la potenza divina. Inoltre quale posizione migliore per illuminare tutti i corpi celesti, se non il centro? Occorrevano, tuttavia, senz'altro prove più consistenti.

Il dibattito sul sistema copernicano si riconduce al confronto tra i cattolici

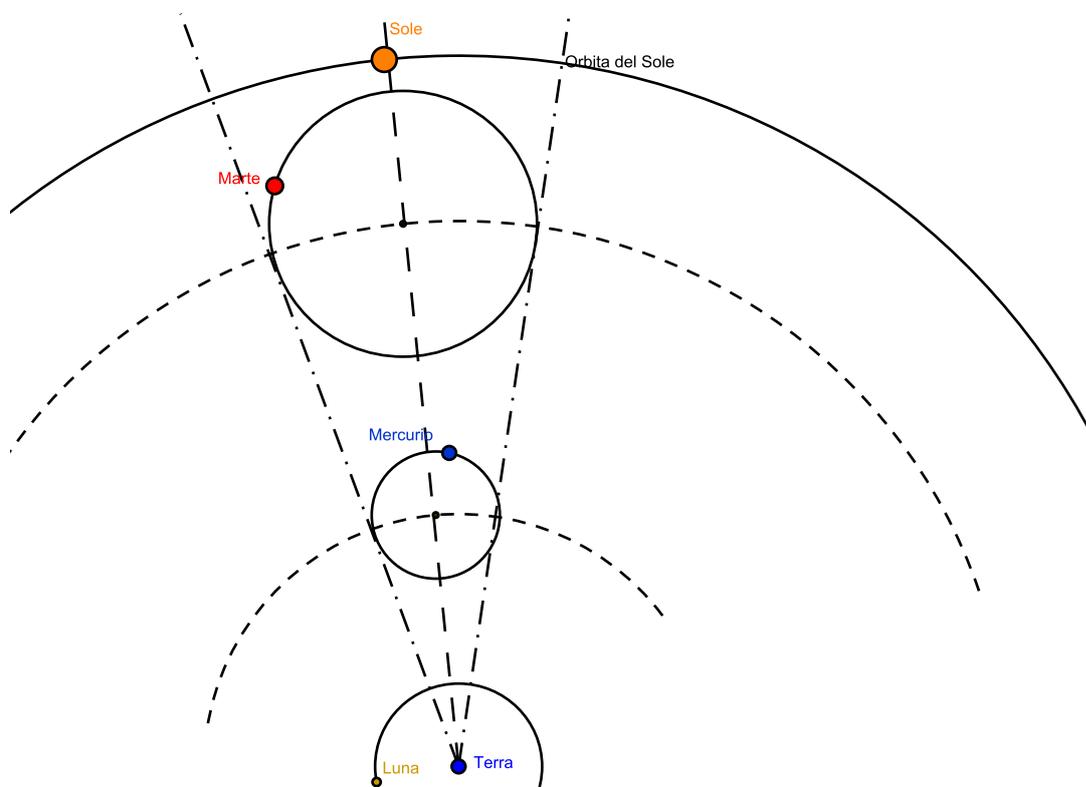


Figura 2.5: Gli epicicli e i deferenti nel sistema tolemaico devono stare sul segmento Terra-Sole

e i protestanti e l'umanesimo di Erasmo.

Probabilmente il copernicanesimo prese sempre più piede tra i matematici perché nonostante tutto il sistema copernicano rendeva più facili i calcoli mentre era osteggiato dai non matematici perché, non capendo la differenza, vedevano nel sistema tolemaico un sistema più consono alla posizione dell'Uomo cioè più facile da capire.

2.2 Tycho Brahe

2.2.1 Astronomo per vocazione

NACQUE a Knutstrop il 14 dicembre 1456. Suo padre Otte era governatore di Helsingborg sua madre Beate Bille e suo zio Jørgen si era fatto promettere dal fratello che se avesse avuto un figlio maschio glielo avrebbe dato. Gli nacquero due gemelli ma uno morì e non mantenne la promessa. Quando gliene nacque un altro allora Jørgen rapì il primogenito cioè Tiesge. A tredici anni andò a studiare retorica ma a 14 fu testimone di un evento che gli cambiò la vita: eclisse parziale di sole. Comprò dei libri. A sedici il padre adottivo lo mandò a studiare seguito da Anders Vedel nella speranza che l'interesse per le misure e l'astrologia gli passasse.

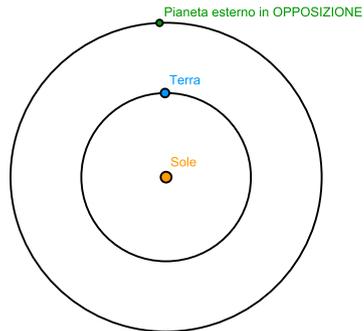
A diciassette anni il 17 agosto 1563 osservò Saturno e Giove vicini da non distinguersi e scoprì che le tavole alfonsine si sbagliavano di mesi e quelle putreniche di giorni.

A vent'anni nel dicembre 1566 a Rostock pare dopo una gran bevuta Tycho e Manderup Parsberg si sfidarono a duello sembra a causa di una lite su chi fosse migliore matematico. Il duello avvenne nella sera (notte all'epoca anche se erano le 19) del 29 dicembre. A Tycho fu asportato il setto nasale. Per tutta la vita Tycho indossò una protesi di metallo che ogni tanto ungeva e sistema con un unguento e adesivo per lo sfregamento prelevando il materiale da un vasetto. Probabilmente Tycho espresse il suo desiderio di diventare uno studioso tendenza che aveva ereditato dalla madre e dalla madre adottiva e non certo dai padri. Il canonicato nella chiesa luterana era l'unico spazio disponibile per nobili e comuni. C'era molta competizione ma i mediatori di Tycho erano influenti. Il padre adottivo di Tycho morì di polmonite dopo essersi buttato in un canale di Copenhagen per salvare il re. Era il 1571 e Tycho ereditò parte degli averi insieme a fratelli e sorelle. A ventisei anni terminò gli studi e tornò in Danimarca.

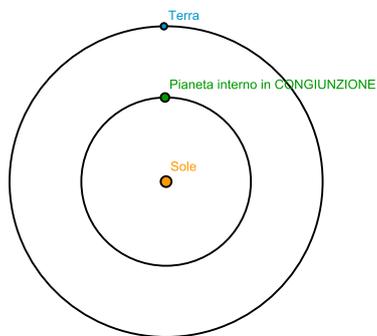
Occhi azzurri, immensi baffi, barba e protesi. Re Federico era alto e atletico, capelli ricci. Verso la fine del 1565 Tycho aveva 29 anni e Federico 42 Tycho e di ritorno da un viaggio si presentò a corte. Federico era a caccia di persone a culture di cui circondarsi. Gli propose di prendersi un feudo ma Tycho esita perché voleva un posto da solo.

In una lettera a Rothmann dichiara che Marte quando è in opposizione è più vicino del Sole mentre secondo Tolomeo era il contrario e quindi doveva rifiutare Tolomeo Inoltre quando le comete sono in opposizione non mostrano moto retrogrado e per questo doveva rifiutare Copernico.

L'importanza di questo scienziato è tutta nella sua enorme capacità osservativa in termini quantitativi.



(a) *Pianeta in congiunzione*



(b) *Pianeta in congiunzione*

Figura 2.6: Posizioni particolari dei Pianeti rispetto alla Terra

2.2.2 Le misure

DUN sono le date di riferimento: l'11 Novembre 1572 l'autore osserva nei cieli un evento spettacolare, la comparsa di una nova, di una stella cioè giunta alla fine della sua esistenza che emette una enorme quantità di energia in forma esplosiva rendendosi visibile.

Questa lo fu persino di giorno. La Nova scomparve nel marzo del 1574.

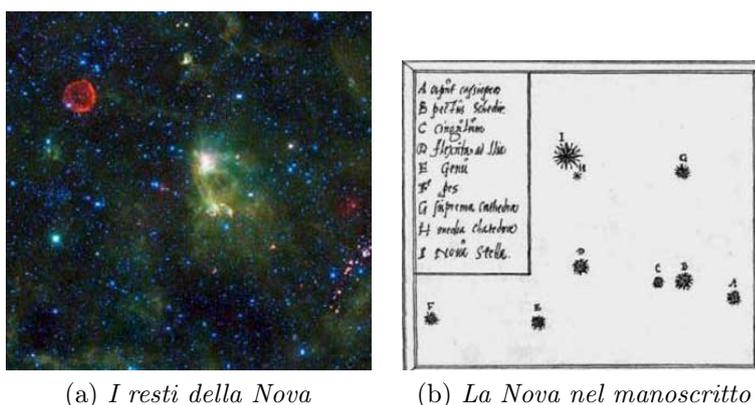


Figura 2.7: La Nova di Tycho

Occorreva capire se fosse una stella o no. Maestlin, il maestro di Keplero, tese due fili, uno tra una stella e la nova e l'altro tra un'altra stella e la nova in modo tale che la nova fosse intersezione tra due rette. Se la nova era in movimento doveva lasciare il punto di intersezione. Maestlin concluse che la nova non si muoveva. Anche Thomas Digges arrivò alle stesse



Figura 2.8: La misura della parallasse

conclusioni. Ma Tycho usò un sestante alto 1,70 metri con cerniera di bronzo munito di un rapportatore di metallo graduato in minuti e una tavola cifrata per correggere gli errori. Determinò che la nova (fu lui a coniare il nome) non presentava alcuna parallasse. Dunque pareva che i cieli non fossero così immutabili ed incorruttibili. Nei *Progymnasmata* trova la distanza di Saturno dalla Terra in 12300 semidiametri terrestri e in 14000 semidiametri terrestri

la distanza delle stelle fisse perché non ammetteva spazio vuoto, e in almeno 13500 semidiametri terrestri la distanza dalla nova del 1572.

Poiché la "cometa" era comparsa tre dopo il massacro di san Bartolomeo questo evento fu considerato un presagi.



Figura 2.9: La strage di San Bartolomeo



Figura 2.10: Il passaggio della cometa

Nel 1575 Tycho cominciò a girare per l'Europa. A Kassel Tycho conobbe il langravio Wilhelm IV che si diletta di astronomia. Aveva dotato la sua torre dalla quale eseguiva osservazioni. Il langravio invitò Federico II di dotare Tycho di strumenti. Questi mandò uno scudiero a pregare Tycho di tornare in Danimarca proponendogli di costruire la sua dimora nell'isola di Hven. In quest'isola nacque Uraniborg, la città delle stelle, la prima operazione di Big Science. Qui Tycho era come un monarca assoluto. Nel 1577 comparve nei cieli una cometa e Tycho osservò che questa non poteva essere collocata nel cielo sublunare, la qual cosa sarebbe stata in piena sintonia col modello tolemaico, costituito da sfere cristalline. Infatti osservando la cometa da due siti diversi non era affatto osservabile una parallasse, cosa che invece avveniva ed avviene con l'osservazione della Luna. Tycho aveva misurato la parallasse della cometa da Hven e da Praga scoprendo che essa era minore di quella della Luna. Dunque la cometa, non solo giaceva ne

giganteschi nella sua città della scienza Uraniborg, collocata in un'isola mes-sagli a disposizione da Federico II. Dallo studio della cometa Tycho riuscì a rappresentare la traiettoria della cometa individuando un'orbita esterna a Venere, un'orbita retrograda ma si rese conto che non era perfettamente circolare "ma alquanto oblunga come la figura chiamata comunemente ovale". È

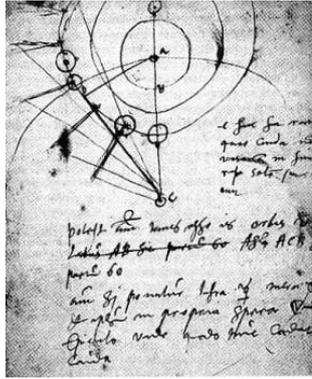
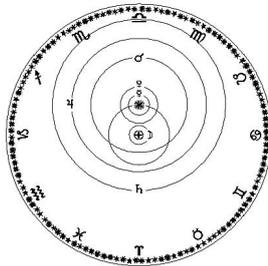


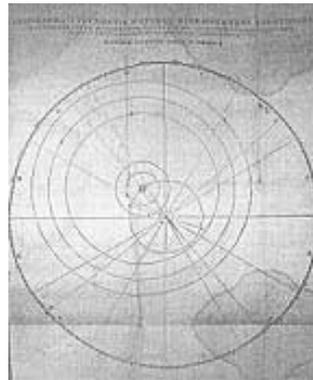
Figura 2.12: La traiettoria disegnata da Tycho

la prima volta che si utilizza una traiettoria non circolare. Il sistema ticonoco si diffuse rapidamente e il *De Mundi aetherei recentioribus phaenomena liber secundus* stampato nel 1588. Contestualmente Tycho ebbe un avversario il quale accampava la priorità del modello.: Nicolaus Reymarus detto Ursus che stampò il modello senza citare Tycho a Strasburgo proprio nel 1588. Dopo il 1597 Tycho si recò a Praga invitato da Rodolfo di Boemia e qui Keplero, già valente matematico, divenne suo allievo. Nel 1601 egli ereditò tutti i dati che Tycho aveva raccolto durante le sue ricerche.

NOVA MVNDANI SYSTEMATIS HYPOTYPOSIS AB
 AUTHORE NUPER ADINVENTA, QUA TUM VETUS ILLA
 PTOLEMAICA REDUNDANTIA & INCONCINNITAS,
 TUM ETIAM REICENS COPERNICIANA IN MOTU
 TERRAE PHYSICA ABSURDITAS, EXCLU-
 DUNTUR, OMNIAQUE APPAREN-
 TIS CAELI STIBUS APTISSIME
 CORRESPONDENT.



(a) Tycho



(b) Ursus

Figura 2.13: Il modelli a confronto

2.3 Johannes Kepler

2.3.1 Le prime esperienze

NASCE il 27 dicembre 1571 a Weil der Stadt ebbe un'infanzia difficile. La madre sarà poi accusata di stregoneria il padre si arruolava per combattere, tornava a casa per mettere incinta la moglie.



Figura 2.14: Johannes Kepler

A un certo punto sparisce dalla circolazione. Johannes ha un fratello epilettico. Keplero vedeva questi fatti come legati al cielo. Per lui lo studio doveva quindi essere una vera salvezza. È continuamente assalito da malattie della pelle ed è molto cagionevole di salute. Finisce gli studi presso monastero cistercense di Maulbronn. Nel 1588 supera l'esame di baccalaureato. Dopo aver vinto una borsa di studio per l'università di Tubinga conosce il suo maestro per la vita Maestlin che lo seguirà anche in seguito. Gli viene poi offerto un posto di matematico provinciale e insegnante di matematica presso Graz. Guadagna poco ma acquisisce fama per gli oroscopi in particolare due previsioni (un inverno freddo e l'arrivo dei turchi). Keplero non crede agli oroscopi ma ad un'armonia superiore. Nel 1600 Tycho aveva dato il compito a Keplero di determinare le caratteristiche geometriche dell'orbita di Marte, utilizzando i dati che aveva a disposizione. Egli lavorò un anno e mezzo, e dopo 70 tentativi di conciliare i dati sperimentali con le orbite circolari di platoniana memoria, concluse che al più si poteva giungere ad una divergenza minima tra osservazioni e modello di 8 minuti d'arco (un quarto del diametro della Luna). Di per sé un eccellente risultato se non fosse per il fatto che Keplero sapeva che le misure eseguite da Tycho conducevano senz'altro ad una precisione 4 volte superiore. Con questa convinzione si apprestò ad



Figura 2.15: Il seminario ove studiò Kepler

utilizzare il modello copernicano per determinare l'orbita di Marte. Per far questo gli occorreva la forma geometrica dell'orbita della Terra.

Tabella 2.2: Le eccentricità dei pianeti a confronto

Pianeta	Eccentricità	Note
Mercurio	0,206	Keplero poteva disporre di pochissime osservazioni
Venere	0,007	Orbita quasi perfettamente circolare
Terra	0,017	Piccola eccentricità
Marte	0,093	Massima eccentricità di cui Keplero poteva disporre
Giove	0,48	Si sposta troppo lentamente in cielo
Saturno	0,056	Si sposta troppo lentamente in cielo
Urano	0,046	Scoperto nel 1781
Nettuno	0,009	Scoperto nel 1846
Plutone	0,249	Scoperto nel 1930

Il 9 luglio 1595 Keplero viene folgorato a lezione da un'intuizione geometrica mentre esegue una serie di triangoli che dovrebbero spiegare il meccanismo delle congiunzioni di Giove e Saturno. Le sue riflessioni confluiranno nella pubblicazione del *Mysterium cosmographicum*. Il pensiero di Keplero è attratto dall'armonia, come già detto, inoltre da studioso quale è ha la capacità di collegare tra loro aspetti della conoscenza.

Perché i pianeti sono disposti in questo modo? Perché hanno proprio quella velocità? Perché i pianeti sono proprio sei? “*E questo ancora mi colpi*”, scrisse. “*Perché abbiamo figure piane tra orbite a tre dimensioni? Scorgi lettore, l'invenzione e l'intera sostanza di questo piccolo libro!*”

Keplero nota che i poliedri regolari sono cinque. Ogni pianeta percorre un'orbita circolare all'interno di una superficie sferica che ha uno spessore tale da essere tangente esternamente ad un poliedro ed internamente ad un altro poliedro. In questo modo per la prima volta è costruita una struttura teorica

al moto dei pianeti che è arricchita dalla seguente che riguarda le velocità. Il moto, per Keplero, può essere causato dal Sole e poiché le orbite si distribuiscono sul piano le velocità decrescono con l'inverso del quadrato della distanza (e non col cubo) proprio perché la superficie si diluisce in questo modo nello spazio. Keplero si fa promotore della propria opera presso il duca di Wurtemberg senza molto successo e invia alcune copie a Galileo che si dimostra entusiasta e a Tycho. Scrive a Maestlin: “*Ecco cosa penso a riguardo di Tycho: abbonda di ricchezze, ma non sa usarle nel modo giusto, come succede alla maggior parte dei ricchi. La cosa da farsi è quindi cercare di sottrargli le sue ricchezze [...] quasi mendicando così che le sue osservazioni siano divulgate in maniera sincera e completa*”.

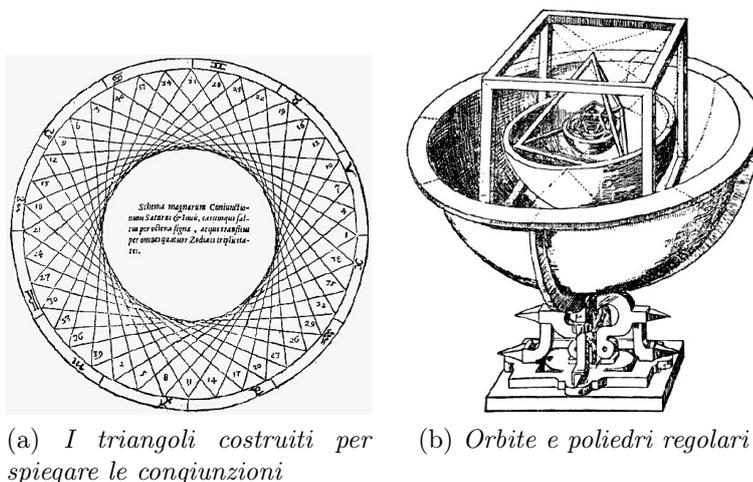


Figura 2.16: Figure tratte dal *Mysterium cosmographicum*

2.3.2 Le leggi

A CAUSA delle tensioni religiose la vita delle persone non poteva essere tranquilla. Ferdinando II, cattolico, decise di chiudere la scuola di Graz e si annunciavano restrizioni per tutti i luterani per cui Keplero il quale fu costretto a pagare una multa per poter seppellire la figlia con il rito luterano. Tycho stava cercando chi potesse costruire l'impalcatura teorica a cornice del suo modello e Keplero non vedeva l'ora di mettere le mani sui dati di Tycho. Finalmente Tycho, astronomo imperiale alla corte di Federico II, spedisce una lettera ufficiale a Keplero ma contemporaneamente Keplero parte verso Praga approfittando del viaggio verso quella città del barone Hoffmann. Dopo una serie di contrasti Tycho assegna a Keplero il compito di costruire l'orbita di Marte mentre Longomontano sarà spostato allo studio del moto

possono essere circolari. Mentre continuava a lavorare sull'orbita di Marte studiò anche il fenomeno della rifrazione sfruttando l'osservazione dell'eclisse di Sole che egli osservò a Graz il 10 luglio 1610. Lo studio della rifrazione era stata suggerita anche da Tycho il quale aveva notato che la dimensione apparente della Luna in eclisse era minore che in altre circostanze. Keplero inoltre chiedeva ragione del colore rosso della Luna in occasione delle eclissi di Luna. Inoltre si rendeva conto che la precisione delle misure doveva anche dipendere dalla conoscenza che noi abbiamo sul processo della visione. Di qui comprese le leggi della rifrazione e chiam "fuochi" i punti in cui convergono i raggi provenienti da un altro fuoco.

Sfruttò il l'anno marziano di 687 giorni, cioè dopo questo intervallo di tempo

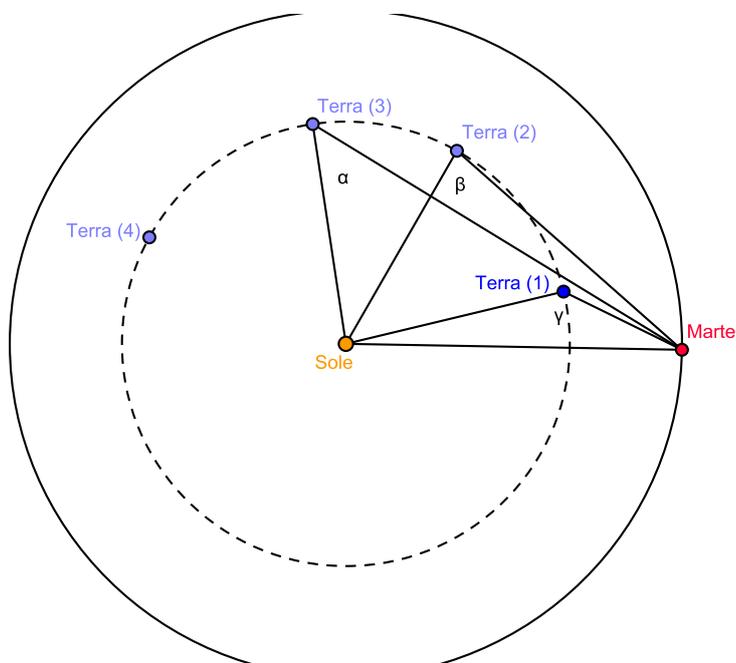


Figura 2.18: Le posizioni della Terra rispetto al Sole e a Marte. Si misurano gli angoli α , β , ...

Marte ed il Sole hanno la stessa posizione rispetto alle stelle fisse, mentre la Terra si trova in punti diversi i quali si individuano proprio grazie alle misure eseguite sul Sole e su Marte. Le loro direzioni rispetto alla Terra, infatti, si intersecano in un punto che deve appartenere all'orbita della Terra stessa. Si tenga conto che Keplero disponeva di 10 osservazioni di Tycho e di due sue osservazioni. Il percorso per giungere alla formulazione delle prime due leggi fu tortuoso e molto difficile passando attraverso pentimenti, avanzamenti improvvisi, ripensamenti, riscoperte eccetera. È "L'errore a mostrarci

la strada della verità”, scriverà ad un certo punto. Cronologicamente Keplero scopre prima la seconda legge che poi metterà a verifica sperimentale con altre osservazioni. Finalmente nel 1609 conclude l’opera definendo le orbite come ellissi.

Dallo studio del moto della Terra si deduceva che essa era più veloce in prossimità del Sole e questo implicava che fosse costante la velocità areolare fosse costante. Egli enunciò quella che è nota come prima legge di Keplero: il segmento che unisce il Sole ad un pianeta, spazza aree uguali in tempi uguali. Per determinare l’orbita di Marte, Keplero usò la stessa tecnica, determinò prima la posizione di Marte rispetto alla Terra all’inizio dell’anno marziano e poi la posizione di Marte rispetto alla Terra alla fine dell’anno marziano. In questo modo individuava i punti appartenenti all’orbita del pianeta. Keplero concluse che l’orbita non è una circonferenza e che anzi era un’ellisse. Questo gli permise in qualche modo di enunciare quella viene riconosciuta come seconda legge di Keplero: i pianeti si muovono su orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei due fuochi. Qui di seguito una tabella contenente i dati relativi alle eccentricità delle orbite ellittiche dei pianeti. Come si vedrà, l’eccentricità è piccolissima.

Il 9 ottobre 1609 Keplero osserva una Nova come era accaduto a Tycho. La studia e giunge alle conclusioni che non può appartenere al mondo sublunare. Tra la fine del 1609 e l’inizio del 1610 le scoperte di Galilei fanno rumore in Europa. Keplero ne viene a conoscenza da un amico. Galileo che era stato poco accorto alla richiesta di sostegno che Keplero gli aveva fatto qualche tempo prima a proposito della pubblicazione del suo libro invia una lettera a Keplero chiedendo un giudizio su *Sidereus nuncius*. Keplero elegantemente risponde subito. Poco dopo però quando Keplero chiede un telescopio a Galileo per poter fare anche lui osservazione Galileo non risponde. Tuttavia Keplero riesce ad avere un telescopio grazie all’elettore Ernst di Colonia. Si consideri che il telescopio era uno strumento per ricchi e che Galileo se lo produceva da solo. In ogni caso Keplero riuscì ad effettuare le osservazione di Giove tra l’agosto il settembre del 1610 e pubblicò l’esito di queste osservazione nel 1611 in *Narratio de Jovis satellitibus*. In questa pubblicazione Keplero annuncia anche di aver interpretato l’anagramma di Galileo correttamente come la scoperta di due satelliti di Marte. Era usanza all’epoca porre come sigillo di priorità della scoperta comunicarla ad una personalità riconosciuta come poteva essere Marsenne oppure costruire un anagramma a cui si sarebbe data soluzione in seguito. Nel 1611 Keplero pubblica *Dioptricae* come risultato delle sue veloci e profonde riflessioni sulle lenti.

Nel 1615 Keplero deve occuparsi della madre accusata di stregoneria e fino al 1619 si occupa di inquadrare la sua teoria del cielo in un contesto più ampio che contenga l’armonia complessiva del Mondo. Quindi si occupa di concii-

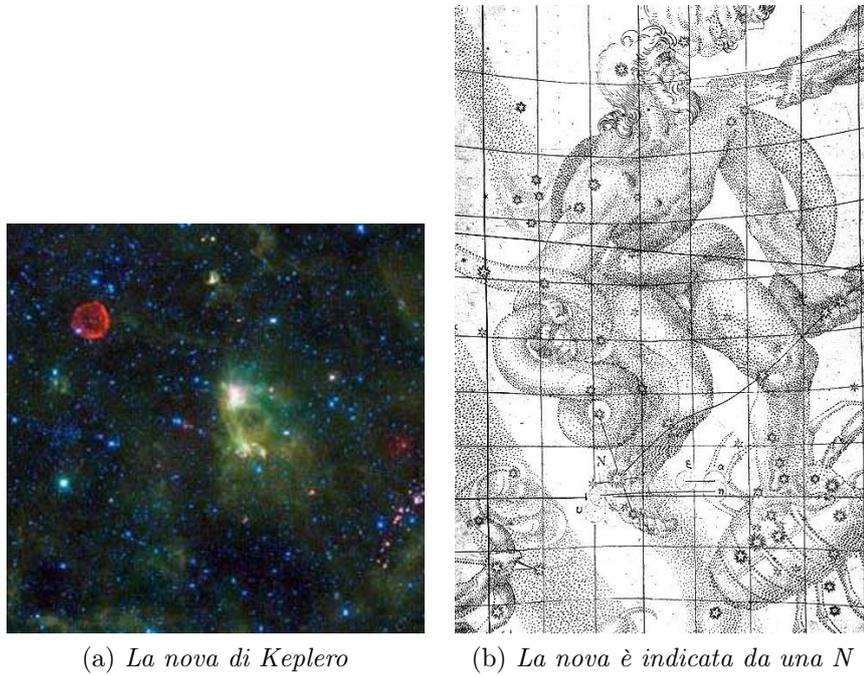


Figura 2.19: L'osservazione di Keplero

Die 4. Septemb. mane, Iupiter per nubila cum duobus satellitibus est visus, clari occidentali, minus clari orientali, dupla distantia occidentalis ad distantiam orientalis, linea recta & ardua, quasi plus quam Ecliptica. Occidentalis ferè distabat, vt occidentalissima die 1. Septemb. Eret hæc distantia, ferè stellæ patentis pars parua, forte quinta aut sexta. Presto fuerint reliqui duo an non, haud constat. Nubila enim celeberrima turbant inquisitionem.

(a) L'osservazione di Giove

Cum igitur misisset Galileus huc qualdam litteras transpositas, numero 37, quibus ait contineri nouam obseruationem priori, quatuor Iouis satellitum mirabiliorem: quas ego litteras memoriæ causa vt potui, in hunc semibarbarum versum redegeram:

Salve umbifineum geminatum Martia proles.

Multa nos incessit cogitatio, si forsân & circa Martem aliquas tales Lunulas videamus. Sed sequentium dierum obseruatio docuit, Martem, quamuis tardo motu, existere septo harum stellarum versus orientem, & denudatum penitus. Itaque fixæ erant, de quibus ideo nullam porro faciam mentionem.

Iouem

(b) L'anagramma di Galilei

Figura 2.20: Figure tratte dal *Narratio de Iouis satellitibus*

liare la teoria musicale alle orbite dei pianeti. Questo profilo ha comunque origini pitagoriche quando la scuola di Pitagora, appunto, cercava di ridurre tutte le conoscenze a numero.

Keplero riesce a collegare le scale di consonanze e quindi i rapporti consonanti con le velocità dei pianeti e le distanze dei pianeti all'afelio e al perielio giungendo a formulare la terza legge ove si mettono in relazione i rapporti di distanza con i rapporti dei periodi di rivoluzione. Tutto questo confluisce nell'opera *Harmonice mundi*. Keplero morì il 15 novembre 1630.

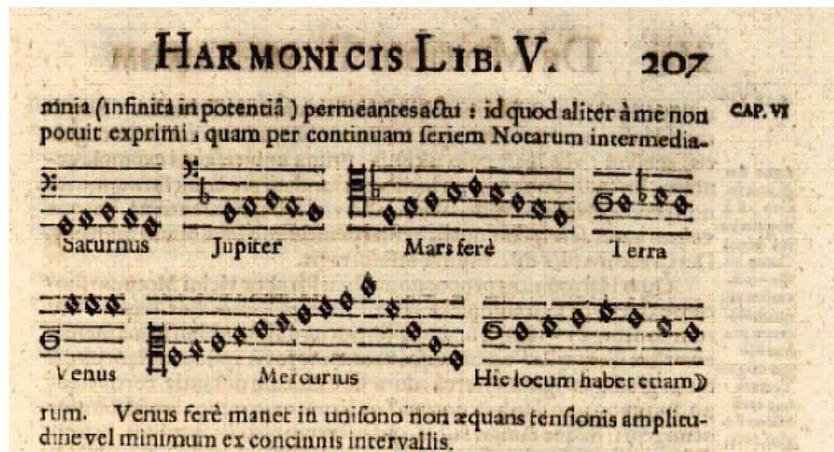


Figura 2.21: *Harmonices mundi*

2.4 Giordano Bruno

2.4.1 La formazione e le prime opere

NASCE a Nola il 24 ottobre 1548 “Vicino a Napoli dodeci miglia [...] et la professione mia è stata ed è di lettere et d’ogni scientia”, suo padre era un soldato.

Si reca presto a Napoli. Grazie alle letture di Pietro da Ravenna (giurista presso l’Università di Padova, dalla memoria prodigiosa, che scrisse *Phoenix, sive artificiosa memoria*) intraprende quel contatto con una disciplina decisiva per lui. Nel 1565 Bruno entra nel convento dei domenicani a Napoli probabilmente perché pensava che quella fosse l’unica strada per proseguire gli studi. Si laurea nel 1576 ma nello stesso anno incautamente sosterrà la dottrina di Ario (per il quale esiste un Dio unico ed eterno e quindi Cristo è un dio immanente proprio perché figlio e dunque in posizione subordinata) con un confratello Agostino da Montalcino e quindi fuggirà da Napoli e riparerà a Roma. A Roma si stavano verificando gravi disordini e anche Bruno viene accusato di aver ucciso un frate e averlo buttato nel Tevere. Bruno passa da una città all’altra e finirà a Ginevra. Qui Bruno lascia nuovamente la tonaca domenicana che aveva indossato nuovamente per quella calvinista e trova lavoro come correttore di bozze grazie all’interessamento di Galeazzo Caracciolo che lì aveva costituito una comunità evangelica. Anche a Ginevra Bruno si mette nei guai poiché pubblica un opuscolo in cui elenca gli errori fatti a lezione di Anthoyné de la Faye, il titolare della cattedra di filosofia e accusa i padri della chiesa di non saper vivere nella fede il 6 agosto viene arrestato e condannato a distruggere la pubblicazione e il 13 viene sospeso dalla Cena e poi riammesso dopo che ha riconosciuto le sue colpe.

Lascia Ginevra per Tolosa dove insegna privatamente l’astronomia di Sacrobosco e la filosofia. Poi conseguito il titolo di Magister artium tiene lezioni sul *De Anima* di Aristotele e dove compone un trattato di arte della memoria, rimasto inedito e andato perduto, la *Clavis magna*, che si rifarebbe all’*Ars memnotecnitematica*: parte dal presupposto che ogni proposizione sia riducibile a termini e i termini complessi siano riducibili a più termini semplici o principi. Supposto di aver completato il numero di tutti i termini semplici possibili, combinandoli in tutti i modi possibili si otterranno tutte le proposizioni vere possibili: nasce così l’arte combinatoria, un’anticipazione dei calcoli automatici. Ma per l’acuirsi degli scontri tra cattolici e ugonotti Bruno va a Parigi. Qui trova soddisfazione grazie a Enrico III che è incuriosito alla memnotecnica e lo fa lettore. A Parigi scrive il *De compendiosa architectura et complemento artis Lullii*, l’*Ars Memoria*, l’*Umbris idearum* il *Cantus Cercaeus* e la commedia *Il candelaio*. In particolare nell’*Umbris*

idearum emerge il concetto per cui l'uomo può solo possedere le ombre delle idee poiché non ne ha in contrasto con Dio che è l'idea in sè. Ecco di nuovo la contrapposizione tra finito e infinito. *Il Candelaio* è una rappresentazione della volgarità e della pedanteria. Emerge il contrasto tra l'essere e l'apparire.

2.4.2 Le peregrinazioni e l'infinito

NEL 1583 Bruno arriva in Inghilterra. Esistono due ipotesi a riguardo: che fosse in missione segreta per conto di Enrico III oppure a causa dei suoi scritti. Dal 10 al 13 agosto è in visita a Oxonia (Oxford) al seguito del conte palatino polacco Alberto Laki e pur non essendo tra gli oratori designati sfida in un dibattito pubblico il teologo puritano John Underhill disputa che non gli rende la vita più facile nonostante, per sua stessa voce, dalla disputa filosofica ne esca vincitore. In ogni caso Bruno chiede di poter insegnare presso l'Università di Oxford e viene accontentato. Scrive il *Sigillus Sigillorum*. Qui prende corpo un'istanza ontologica che prenderà corpo nelle opere successive. Il concetto di unitarietà tra universo e universi. *Una sola luce illumina tutte le*

cose, una sola luce vivifica tutte le cose discendendo secondo determinati gradi dalle superiori alle inferiori e ascendendo dalle inferiori alle superiori; e così l'Universo, così è anche nei simulacri dell'Universo. E a quanti ascendono più in alto non solo sarà manifesto che una sola è la vita di tutte le cose, una sola luce in tutte le cose, una sola bontà, e che tutti i sensi sono un solo senso, tutte le nozioni sono una sola nozione, ma anche tutte le cose, come pure cognizione, senso, luce e vita sono in ultimo una sola essenza, una sola virtù, una sola operazione. Essenza potenza e azione, essere potere e agire, ente potente e agente sono una cosa sola: sicché tutte le cose sono uno, come ben conobbe Parmenide essere uno il tutto e l'ente.

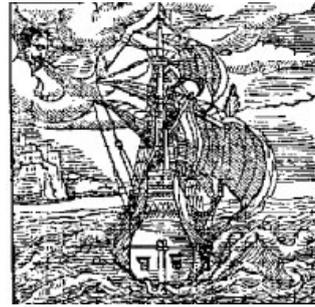
Le lezioni furono interrotte per un'accusa di plagio nei confronti dell'opera di Marsilio Ficino *De vita coelitus comparanda*. Bruno torna a Londra alla fine dell'estate 1583 ospite dell'ambasciatore francese e scrive *La cena delle ceneri* scritto sotto forma di dialogo diviso in cinque parti (dialoghi). In quest'opera Bruno commenta la prefazione di Osiander: "*certa epistola superluminare attaccata non so da chi asino ignorante, et presuntuoso*". Tra i cinque personaggi che partecipano Teofilo è evidentemente la voce di Bruno. Già nel primo dialogo parla di Copernico anche se ne prende le distanze affermando di voler avere un proprio giudizio e criticandolo per avere impostato il suo discorso in una modalità matematica piuttosto che fisica. Nel terzo dialogo il Nolano anticipa il principio d'inerzia di Galilei.

TEO. *Con la terra dunque si muovono tutte le cose che si trovano in terra. Se dunque dal loco extra la terra qualche cosa fusse gittata in terra, per il moto di quella perderebbe la rettitudine. Come appare nella nave A B [fig. 6], la qual, passando per il fiume, se alcuno che se ritrova nella sponda di quello C venga a gittar per dritto un sasso, verrà fallito il suo tratto per quanto comporta la velocità del corso.*

*Ma posto alcuno sopra l'arbore di detta nave, che corra quanto si voglia veloce, non fallirà punto il suo tratto di sorte che per dritto dal punto E, che è nella cima de l'arbore o nella gabbia, al punto D che è nella radice de l'arbore, o altra parte del ventre e corpo di detta nave, la pietra o altra cosa grave gittata non vegna. Cossì, se dal punto D al punto E alcuno che è dentro la nave, gitta per dritto una pietra, quella per la medesima linea ritornerà a basso, muovasi quantosivoglia la nave, pur che non faccia degl'inchini. **SMI.** Dalla considerazione di questa differenza s'apre la porta a molti ed importantissimi secreti di natura e profonda filosofia; atteso che è cosa molto frequente e poco considerata quanto sii differenza da quel che uno medica se stesso e quel che vien medicato da un altro. Assai ne è manifesto, che prendemo maggior piacere e soddisfazione se per propria mano venemo a cibarci, che se per l'altrui braccia. I fanciulli, allor che possono adoprar gli proprii instrumenti per prendere il cibo, non volentieri si servono de gli altrui; quasi che la natura in certo modo gli faccia apprendere, che come non v'è tanto piacere, non v'è anco tanto profitto. I fanciullini che poppano, vedete come s'appigliano con la mano alla poppa? Ed io giamai per latrocinio son stato sì fattamente atterrito, quanto per quel d'un domestico servitore: perché non so che cosa di ombra e di portento apporta seco più un familiare che un straniero, perché referisce come una forma di mal genio e presagio formidabile.*

TEO. Or, per tornare al proposito, se dunque saranno dui, de' quali l'uno si trova dentro la nave che corre, e l'altro fuori di quella, de' quali tanto l'uno quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria, e da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora l'uno lascie scorrere una pietra e l'altro un'altra, senza che gli donino spinta alcuna, quella del primo, senza perdere punto né deviar da la sua linea, verrà al prefisso loco, e quella del secondo si trovarrà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra, che esce dalla mano de l'uno che è sustentato da la nave, e per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha tal virtù impressa, quale non ha l'altra, che procede da la mano di quello che n'è di fuori; benché le pietre abbino medesima gravità, medesimo aria tramezzante, si partano (se possibil fia) dal medesimo punto, e patiscano la medesima spinta. Della qual diversità non possiamo apportar altra raggione, eccetto che le cose, che hanno fissione o simili appartenenze nella nave, si muoveno con quella; e la una pietra porta seco la virtù del motore il quale si muove con la nave, l'altra di quello che non ha detta partecipazione. Da questo manifestamente si vede, che non dal termine del moto onde si parte, né dal termine dove va, né dal mezzo per cui si move, prende la virtù d'andar rettamente; ma da l'efficacia de la virtù primieramente impressa, dalla quale dipende la differenza tutta.

Nel quinto dialogo Bruno accetta il concetto di infinito che si inquadra nell'idea secondo la quale piè un oggetto è lontano minore è il suo movimento apparente:

(a) *La Nave come sistema di riferimento*

O, la vista, Pocchio. O A B,
O C, O D, lunghezze, longi-
tudini e linee visuali. A C,
A D, C D, larghezze,
latitudini.

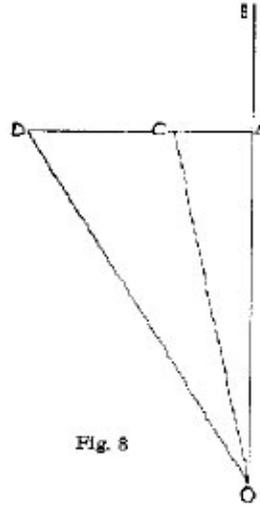


Fig. 8

(b) *La Fig. 8 citata nel testo*

Figura 2.22: Due figure presenti nel testo

come a noi, che dal centro de l'orizzonte, voltando gli occhi da ogni parte, possiamo giudicar la maggior e minor distanza da, tra, ed in quelle cose, che son più vicine, ma da un certo termine in oltre tutte ne parranno e-qualmente lontane; cossì, alle stelle del firmamento guardando, apprendiamo la differenza de' moti e distanze d'alcuni astri più vicini, ma gli più lontani e lontanissimi ne appaiono immobili, ed equalmente distanti e lontani, quanto alla longitudine; qualmente un arbore talvolta parrà pù vicino e l'altro, perché si accosta al medesimo semidiametro; e perché sarà in quello indifferente, parrà tutt'uno: e pure con tutto ciò sarà più lontananza tra questi, che tra quelli che son giudicati molto più discosti per la differenza di semidiametri. Cossì accade che tal stella è stimata molto maggiore, che è molto minore; tale molto più lontana, che è molto più vicina. Come nella seguente figura [fig. 8], dove ad O, occhio, la stella A pare la medesima con la stella B; e, se pur si mostra di-stinta, gli parrà vicinissima; e la stella C, per essere in un semidiametro molto differente, parrà molto pù lontana; ed in fatto è molto pù vicina. Dunque, che noi non veggiamo molti moti in quelle stelle, e non si mostrino allontanarsi ed accostarsi l'une da l'altre, e l'une all'altre, non è perché non facciano cossì quelle come queste gli lor giri; atteso che non è ragione alcuna, per la quale in quelle non siano gli medesmi accidenti che in queste, per i quali medesimamente un corpo, per prendere virtù da l'altro, debba muoversi circa l'altro. E però non denno esser chiamate fisse perché veramente serbino la medesima equidistanza da noi e tra loro;

ma perché il lor moto non è sensibile a noi.

Nel *De l'infinito, universo e mondi* Giordano Bruno continua e sviluppa le idee affermando un universo infinito con infiniti mondi talmente lontani che il loro moto non è percepibile dai sensi.

Burchio. *Cossì dunque gli altri mondi sono abitati come questo?*

Fracastorio. *Se non cossì e se non migliori, niente meno e niente peggio: perché è impossibile ch'un razionale ed alquanto svegliato ingegno possa immaginarsi, che sieno privi di simili e migliori abitanti mondi innumerabili, che si mostrano o cossì o pù magnifici di questo; i quali o son soli, o a' quali il sole non meno diffonde gli divinissimi e fecondi raggi che non meno argumentano felice il proprio soggetto e fonte, che rendono fortunati i circostanti partecipi di tal virtù diffusa. Son quunque infiniti gl'innumerabili e principali membri de l'universo, di medesimo volto, faccia, prorogativa, virtù ed effetto.*

L'unitarietà del cosmo è garantita proprio dalla sua non finitezza.

Filoteo. *Uno dunque è il cielo, il spacio immenso, il seno, il continente universale, l'eterea regione per la quale il tutto discorre e si muove. Ivi innumerabili stelle, astri, globi, soli e terre sensibilmente si veggono, ed infiniti ragionevolmente si argumentano. L'universo immenso ed infinito è il composto che risulta da tal spacio e tanti compresi corpi.*

Nel *Spaccio della bestia trionfante* Bruno se la prende sia con la riforma protestante e sia con il cristianesimo responsabile della decadenza religiosa e filosofica.

In *Cabala del cavallo Pegaso* scritta in chiave comica l'allegoria del cavallo nel cielo è in realtà l'asino dell'ignoranza dei cabalisti e dei dogmi religiosi.

Nell'ottobre del 1585 Bruno torna a Parigi accompagnando l'ambasciatore Michel de Castelnau presso il quale risiedeva a Londra. Ma a Parigi le cose erano cambiate perché Enrico III aveva revocato la pacificazione con i protestanti e quindi Bruno cerca di rientrare nel corpo dell'ordine. Contemporaneamente aveva preso le parti del matematico Fabrizio Mordente il quale aveva inventato da lui e da lui chiamato compasso proporzionale a otto il quale consentiva di ottenere misure molto precise. Poiché Mordente non conosceva il latino Bruno si interessò all'opera e pubblicò un dialogo dove lo rimproverava di non aver capito bene la propria invenzione. Mordente bruciò tutte le copie del dialogo. A seguito degli strascichi della polemica e per questioni legate al mancato riassorbimento nell'ordine, Bruno emigrò in Germania. Il 25 luglio 1586 è immatricolato come *Theologiae doctor romensis* presso l'Università di Magonza. Si stabilisce a Wittenberg dove lavora ad altre opere fino al 1587. A causa del prevalere del calvinismo a discapito del luteranesimo, Bruno emigrò a Praga dove Rodolfo II imperatore del Sacro Romano Impero appassionato di astrologia a cui dedica un trattato. Per questo motivo viene ricompensato.

C'è da aggiungere che l'astronomo imperiale era Mordente e forse questo non è un caso. Alla fine del 1590 Bruno lascia Praga per Francoforte. Chiede ospitalità a Carlo V senza ottenerla e allora si rifugia dai carmelitani che non sono sotto la sua giurisdizione. A Francoforte scrive *De minimo*, *De monade* e *De immenso*.

Nella prima opera Bruno parte dall'idea secondo la quale una quantità finita sia divisibile in una infinità di parti dovendosi concludere, la divisione, necessariamente nel trovare un minimo. Minimo fisico (atomo), minimo matematico (punto) e minimo metafisico (monade).

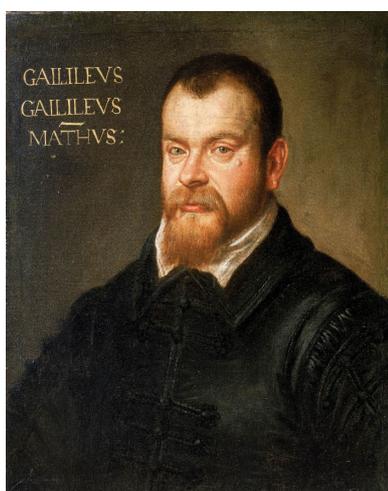
Nell'ultima opera Bruno ribadisce la teoria copernicana il rifiuto delle sfere cristalline e degli epicilci, l'uguaglianza tra materia terrestre e celeste, l'infinità dei mondi e l'esistenza dell'etere. Bruno lascia Francoforte per la Svizzera. Nel 1591 è a Venezia ospite di Giovanni Mocenigo al quale aveva promesso di insegnargli l'arte della memoria. Si reca a Padova dove risiede il suo amico Gerolamo Besler con il quale continua gli studi cabalistico. Probabilmente Bruno sperava di ottenere la cattedra di matematica di Padova che era libera da tre anni e diventerà poi di Galilei. Ha intenzione di tornare a Francoforte per pubblicare altre cose ma per paura che se ne andasse Mocenigo lo denuncia. Il processo di Giordano Bruno dura sette anni. Tra gli accusatori Bellarmino. Verrà bruciato in Campo dei Fiori a Roma il 17 febbraio 1600.

2.5 Galileo Galilei

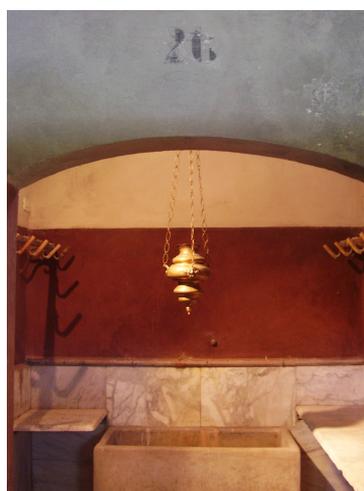
2.5.1 Il periodo pisano

NASCE Pisa il 15 febbraio 1564. Nel 1581 si iscrive a Pisa per ottenere la laurea in medicina. Durante questa prima fase pisana Galileo scopre la legge di isocronismo del pendolo. Nel 1585 interrompe gli studi e torna a Firenze. Nel 1589 diventa lettore di matematica allo Studio di Pisa grazie all'interessamento del matematico Guidobaldo dal Monte.

Nel 1591 muore il padre Vincenzo e Galileo si deve sobbarcare la gestione di tutta



(a) Galilei ritratto da Tintoretto



(b) La lampada del Duomo di Pisa

Figura 2.23: Il periodo pisano

la famiglia. Dal 1592 insegna matematica a Padova. A Padova Galileo frequenta gli ambienti culturali e in una lettera a Paolo Sarpi è contenuta la legge di caduta dei gravi.

Il 30 dicembre 1604, Ilario Altobelli (oggi diremmo un intellettuale), scrive a Galileo già insegnante di matematica all'università di Padova. Egli aveva già forti sospetti, per dire forti convinzioni, circa la correttezza del modello copernicano del Mondo.

[...] le significo della nuova stella che già doi giorni sono un mio amico qua intendente l' ha veduta; ma io, non avend' orizzonte commodo [...] non ho animo di vederla per ora. Ho aviso [...] mio paesano [...] aver veduto la sua prima apparizione li 27 settembre ed osservatala più sere [...], ma solo li 9 ottobre, che ci fece grandemente maravegliare, ad era quasi un narancio mezzo maturo. [...] Il P. Clavio [...] l' ha osservata in Roma con i stromenti, e l'ha travata sempre immota ed equidistante da molte fisse, e la conclude 5 nell'ottava sfera.

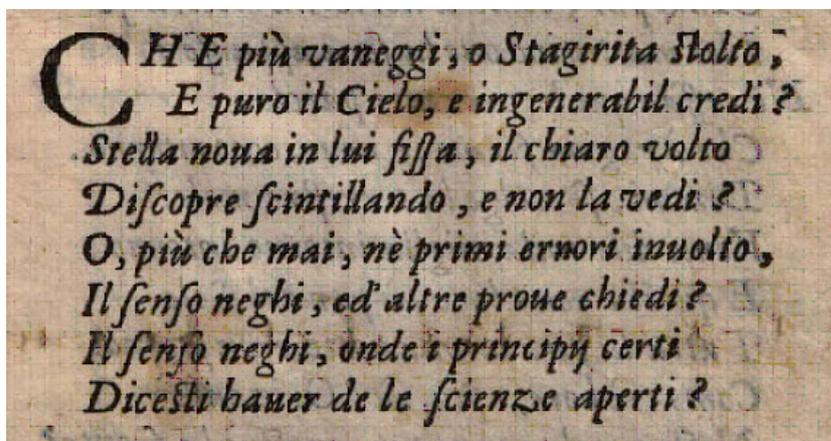


Figura 2.24: *Dialogo de Cecco di Ronchiti da Brunzene in perpuosito de la Stella Nuova*

Il 9 ottobre 1604 compare in cielo una nove nella costellazione di Ofiuco (Serpentario). Galileo conclude che nel *Dialogo de Cecco di Ronchiti da Brunzene in perpuosito de la Stella Nuova* che l'aristotelismo ha torto. In questo testo Galileo si cela dietro il nome di Cecco Ronchiti. È anche di questo periodo una riflessione importante che Galileo compie intorno al moto affermando che se una sfera è posta su un piano perfettamente piano essa è indifferente allo stato di quiete o di moto. Il linguaggio è quello che noi oggi riconosciamo come un linguaggio molto lontano dalla qualità tipica della tradizione medioevale. In questo pensiero è anche in nuce quello che si riconosce come esperimento ideale ovvero quella attività laboratoriale non condotta nella realtà ma che potrebbe benissimo esserlo fatta nelle condizioni prescritte senza impedimenti. In questo periodo Galileo chiarisce quindi molte questioni riguardanti il moto come il moto parabolico.

2.5.2 Il *Sidereus*, e il *Dialogo*

Il 21 agosto 1609, Galileo mostra i prodigi del cannocchiale al Doge di Venezia. Poi comincia ad osservare sempre più assiduamente il cielo e comprende di aver bisogno di strumenti più potenti. E questo lo fa dal 30 novembre 1609 al 6 gennaio 1610, passando, nel frattempo a strumenti più potenti.

Galileo osserva la Luna, il Sole, Orione e le Pleiadi. Nota due cose estremamente interessanti: la prima è che col cannocchiale si possono osservare molte più stelle, la seconda è che nonostante il cannocchiale ingrandisca, di fatto esso non riesce a risolvere, vale a dire le stelle rimangono di dimensione puntiforme.

Dal 30 novembre 1609 al 6 gennaio 1610 Galileo osserva la Luna, il Sole e la notte del 7 gennaio, osserva Giove e nota tre stelline accanto ad esso. Scrive una lettera ad Antonio de Medici.

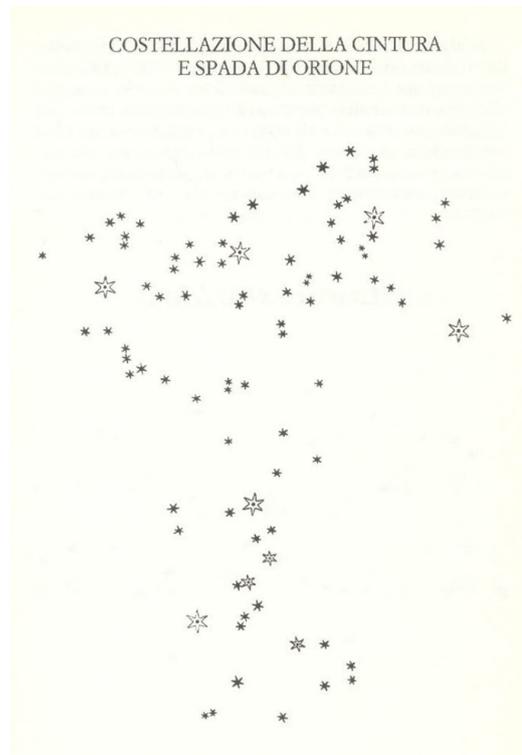


Figura 2.25: Orione in *Sidereus nuncius*

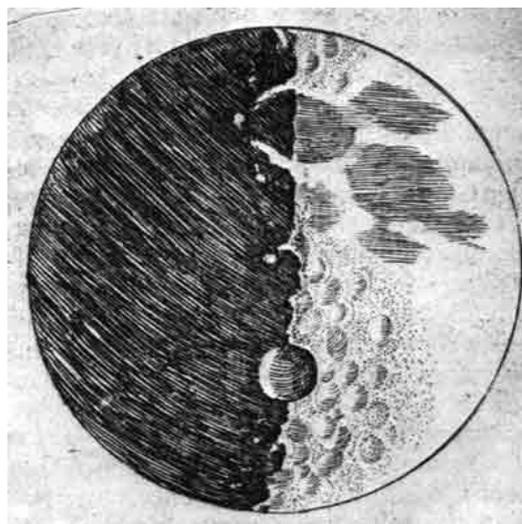


Figura 2.26: La Luna *Sidereus nuncius*

[...] racconterò brevemente quello che ho osservato con uno de' miei occhiali guardando nella faccia della luna; la quale ho potuto vedere come assai da vicino, cioè in distanza minore di tre diametri della terra, essendoché ho adoprato un occhiale il quale me la rappresenta di diametro venti volte maggiore di quello che apparisce con l'occhio naturale, onde la sua superficie vien veduta 400 volte, e il suo corpo 8000, maggiore di quello che ordinariamente dimostra : sicché in una mole così vasta, e con strumento eccellente, si può con gran distinzione scorgere quello che vi è; e in effetto si vede apertissimamente, la luna non essere altramente di superficie uguale, liscia e tersa, come da gran moltitudine di gente vien creduto esser lei e li altri corpi celesti, ma all'incontro essere aspra e ineguale, e in somma dimonstrarsi tale, che altro da sano discorso concluder non si può, se non che quella è ripiena di eminenze e di cavità, simili, ma assai maggiori, ai monti e alle valli che nella terrestre superficie sono sparse. E le apparenze da me nella luna osservate, sono queste.

Prima, cominciando a rimirarla 4 o 5 giorni dopo il novilunio, vedesi il confine che è tra la parte illuminata e il resto del corpo tenebroso, esser non una parte di linea ovale pulitamente segnata, ma un termine molto confuso, anfrattuosamente aspro, nel quale molte punte luminose sporgono in fuori ed entrano nella parte oscura; e all'incontro altre parti oscure intaccano, per così dire, la parte illuminata, penetrando in essa oltre il giusto tratto dell'ellipsi . . . Di più, non solamente è il predetto confine e termine tra'l chiaro e'l tenebroso, sinuoso e ineguale, ma scorgonsi vicino ad esso diverse punte luminosissime poste nella parte oscura, e totalmente separate da le corna illuminate; le quali punte a poco a poco vanno crescendo e ampliandosi, sì che dopo qualche ora s'uniscono con la parte luminosa, divenendo lucido anco quello spazio che tra esse e la parte risplendente si fraponeva . . .

Veggonsi in oltre nella parte illuminata, e massimamente nel confine tra'l chiaro e l'oscuro, e più che altrove intorno alla punta del corno australe, moltissime macchiette oscure, e terminate con certi orli luminosi, li quali sono posti tutti verso la parte oscura della luna, restando le macchiette oscure tutte sempre verso la parte onde viene il lume del sole, dalla frequenza delle, quali macchie viene quella parte resa simile ad uno di quei vetri che vulgarmente si chiamano di ghiaccio avanti auto sempre opinione, che il globo terrestre veduto da grandissima lontananza illuminato dal sole, più lucido aspetto faria nella parte terrena, e meno risplendente apparirebbe il mare e la superficie dell'altre acque.

Vedesi tuttavia che la parte men lucida della luna, cioè quella che comunemente si chiama le macchie, non è per tutto e in tutta le sue parti consimile, ma ha sparse alcune piazzette alquanto più chiare del resto di esse macchie : e una di queste gran macchie racehiosa di sotto e di sopra da due gioghi lunghi e molto illuminati, li quali, inclinando l'uno verso l'altro incontro all'oriente quando la luna ha 6 o 6 giorui, sporgono mirabilmente in fuori e si distendono oltre al confine sopra la parte oscura[. . .]

Di tutte le sopradette osservazioni niuna se ne vede o pò vedere senza strumento esquisito; onde possiamo credere di essere stati i primi al mondo a scuoprare tanto

da vicino e così distintamente qualche cosa dei corpi celesti. E oltre all'osservazioni della luna, ho nell'altre stelle osservato questo. Prima, che molte stelle fisse si veggono con l'occhiale, che senza non si discernono; e pur questa sera ho veduto Giove accompagnato da 3 stelle fisse, totalmente invisibili per la lor picciolezza, ed era la lor configurazione in questa forma :

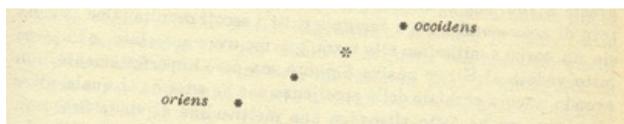


Figura 2.27: Giove in *Sidereus nuncius*

né occupava non più d'un grado in circa per longitudine.

I pianeti si veggono rotondissimi, in guisa di piccole lune piene, e di una rotondità terminata e senza irradiazione; ma le stelle fisse non appariscono così, anzi si veggono folgoranti e tremanti assai più con l'occhiale che senza, e irradiate in modo che non si scuopre qual figura posseghino.

Ora mi resta, per soddisfare interamente al commandamento di V. S. Ill^{ma}, dirli quello che si deve osservare nell' uso dell'occhiale: che insomma che lo strumento si tenga fermo, e perciò è bene, per fuggire la titubazione della mano che dal moto dell'arterie e dalla respirazione stessa procede, fermare il cannone in qualche luogo stabile. I vetri si tenghino ben tersi e netti dal panno o nuola che il fiato, l'aria umida e caliginosa, o il vapore stesso che dall'occhio, e massime riscaldato, evapora, vi genera sopra. È ben che il cannone si possa allungare s scorciare un poco, cioè 3 o 4 dita in circa, perché trovo che per distintamente vedere gl'oggetti vicini il cannone deve esser più lungo, e per lo lontano più corto. È bene che il vetro colmo, che è il lontano dall'occhio, sia in parte coperto, e che il pertuso che si lascia aperto sia di figura ovale, perché così si vedrarino li oggetti assai più distintamente

La notte successiva, quella dell'8, Galileo fa una sensazionale scoperta: le stelline



Figura 2.28: La scoperta dei satelliti

che la sera prima erano disposte due ad oriente ed una a occidente, si trovano tutte e tre ad occidente. Per Galileo è già tutto chiaro: Giove è attorniato da tre lune, così come la Terra da una. Potrebbe avere una verifica ulteriore, ma la sera del 9 è nuvoloso e quindi è costretto ad attendere la successiva. Compagno però due stelle entrambe ad oriente. Vuol dire che una delle tre si trova dietro Giove, in eclisse.



Figura 2.29: La scoperta dei satelliti

La sera successiva, una delle due è più luminosa. Evidentemente le lune di Giove ruotano in un piano che dalla Terra è visto di taglio. Ma la sorpresa più grande Galileo ce l'ha la sera del 13 gennaio quando compare alla corte di Giove un altro satellite.

Le osservazioni di Galileo si protraggono fino a marzo. Il 12 marzo 1610 egli

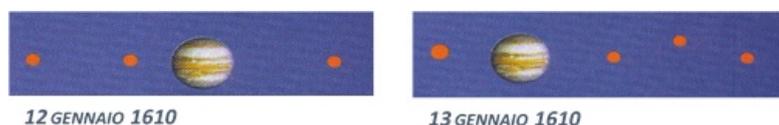


Figura 2.30: La scoperta dei satelliti

pubblica il libro *Sidereus Nuncius* dove vengono riportate le tutte le osservazioni condotte finora. L'autore non si esime dall'esprimere un giudizio chiaro e netto intorno ad alcuni fatti, secondo lui, incontestabili. La Luna è tutt'altro che un corpo perfetto, vi sono monti e valli, dunque è come la Terra. Il cielo è pieno di stelle molte di più di quelle che si possono osservare ad occhio nudo. Dunque i nostri sensi sono limitati, abbiamo bisogno di opportune estensioni per poter andare al di là delle sensate esperienze. Giove pare un mini sistema solare così com'è concepito da Copernico.

Ma le scoperte di Galileo non sono finite. In una lettera scritta a Belisario Vista, datata 30 luglio 1610, egli scrive che:

Questo è, che la stella Saturno non è una sola, ma composto d 3, le quali si toccano, né mai si muovono o mutano; e sono poste in fila secondo la lunghezza dello zodiaco, essendo quella di mezzo circa tre volte maggiore delle altre due laterali: oOo e stanno situate in questa forma

Galileo aveva utilizzato uno strumento che non era in grado di risolvere i dettagli di ciò che stava osservando e cioè non satelliti, ma un anello la cui scoperta sarebbe stata ancora più sconvolgente. È tuttavia significativo il fatto che lo scienziato abbia minuziosamente annotato come i tre satelliti non mutassero mai le posizioni reciproche come invece facevano i satelliti di Giove.

Intanto all'estero le scoperte di Galileo finiscono per interessare anche Keplero che vorrebbe anche lui un telescopio e lo chiede espressamente allo scienziato italiano che però tergiversa non rivelandogli le sue recenti nuove scoperte. Galileo aveva

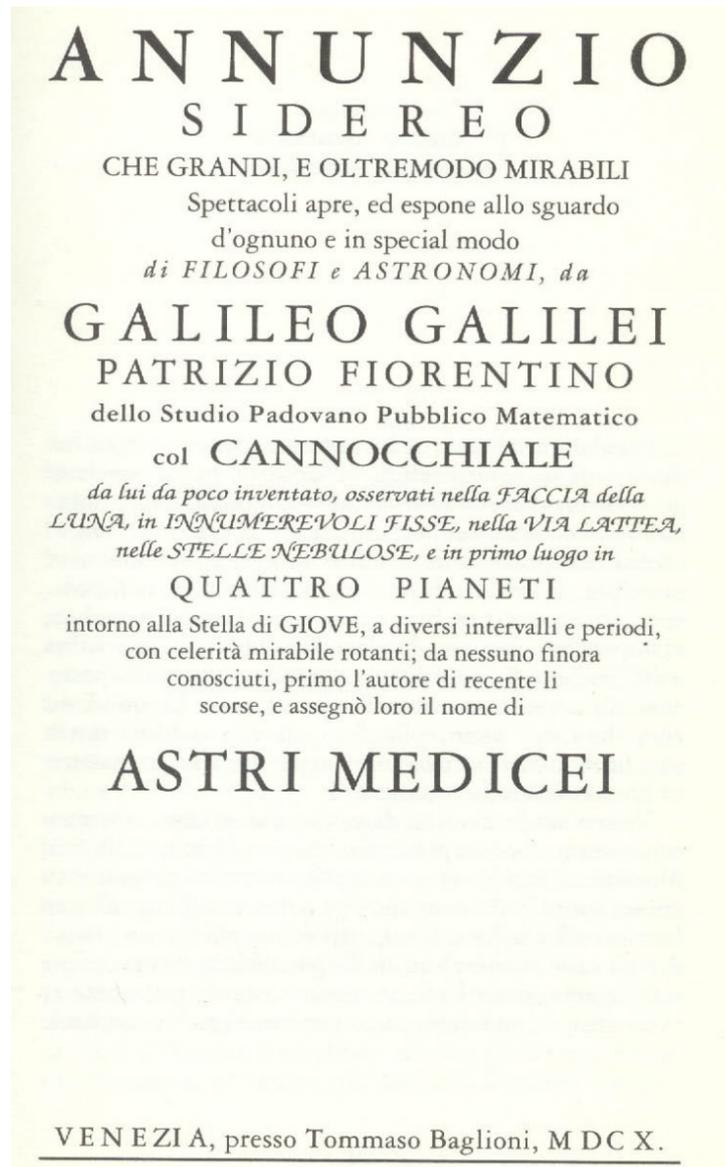


Figura 2.31: Il *Sidereus nuncius*

comunque depositato la priorità sulle osservazioni relative a Saturno in un anagramma depositato presso l'ambasciatore di Toscana, anagramma⁴ che Keplero credeva, dopo gran fatica, di aver tradotto in termini di *Salve umbistineum geminatum Martia proles* (salve brillante gemello di Marte). È lo stesso Galileo che ne rivela il significato in una lettera inviata a Giuliano de Medici, lettera datata 13 novembre 1610.

[...] *Ma passando ad altro, già che il S. Keplero ha in questa sua ultima Narrazione stampate le lettere che io mandai a V. S. Ill.^{ma} trasposte, venendomi anco significato come S. M. ne desidera il senso, ecco che io lo mando a V. S. Ill.^{ma}, per parteciparlo con S. M. col S. Keplero, e con chi piacerà a V. S. Ill.^{ma}, bramando io che lo sappi ogn' uno. Le lettere dunque, combinate nel loro vero senso, dicono così :*

*Altissimum planetam tergeminum observavi*⁵

Questo è, che Saturno, con mia grandissima ammirazione, ho osservato essere non una stella sola, ma tre insieme; le quali quasi si toccano; sono tra di loro totalmente immobili, e costituite in questa guisa oOo; quella di mezzo è assai più grande delle laterali; sono situate una da oriente e l'altra da occidente, nella medesima linea retta a capello; non sono giustamente secondo la drittura del zodiaco, ma la occidentale si eleva alquanto verso borea; forse sono parallele all'equinoziale. Se si riguarderanno con un occhiale che non sia di grandissima moltiplicazione, non appariranno 3 stelle ben distinte, ma parrà che Saturno sia una stella lunghetta in forma di una uliva, così O; ma servendosi di un occhiale che moltiplichi più di mille volte in superficie, si vedranno li 3 globi distintissimi, e che quasi si toccano, non apparendo tra essi maggior divisione di un sottil filo oscuro. Or ecco trovata la corte a Giove, e due servi a questo vecchio, che l'aiutano a camminare, né mai se gli staccano dal fianco. Intorno a gl'altri pianeti non ci è novità alcuna.

E quasi un mese dopo Galileo informa di nuovo Giuliano de Medici di un'altra scoperta, tramite un altro anagramma. La lettera è datata 11 dicembre 1610.

Sto con desiderio attendendo la risposta a due mie scritte ultimamente a V. S. Ill.^{ma}, e Rev.^{ma}, per sentire quello che averà detto il S. Keplero della stravaganza di Saturno. In tanto gli mando la cifra⁶ di un altro particolare osservato da me nuovamente, il quale si tira dietro la decisione di grandissime controversie in astronomia, e in particolare contiene in sé un gagliardo argomento per la costituzione Pythagorea e Copernicana; e a suo tempo pubblicherò la decifrazione, e altri particolari

⁴Smaismrmilmepoetaleumduenugtttauras

⁵Ho osservato il pianeta più alto in forma di triplice.

⁶L'anagramma scritto all'inizio della lettera è *Haec immatura a me iam frustra leguntur oy*

L'anagramma tradotto è *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum* ovvero: ciò è che Venere imita le figure della Luna. Venere mostra le fasi e questo per Galileo è un segnale preciso ed inequivocabile che il modello copernicano di universo è quello giusto. Egli lo dice in maniera chiara e netta in una lettera scritta a Paolo Sarpi il 12 febbraio 1611

Stimando pure esser verissimo che tutti i pianeti si volghino intorno al sole come dentro dei loro orbi, e più credendo che siano tutti per sé tenebrosi ed opachi come la terra e la luna, mi posi, quattro mesi sono, a osservar Venere, la quale, essendo vespertina, mi si mostrò perfettamente rotonda, ma assai piccola; e di tal figura si mantenne molti giorni, crescendo però notabilmente in mole. Avvicinandosi poi alla medesima digressione, cominciò a scemare dalla rotondità nella parte verso oriente, ed in pochi giorni si ridusse ad esser semicircolare; e di tal figura si mantenne circa un mese, senza vedersi altra mutazione che di mole, la quale notabilmente si accresceva. Finalmente nel ritirarsi verso il sole cominciò ad incavarsi dove era retta ed a farsi pian piano corniculata: ed ora è ridotta in una sottilissima falce, simile alla luna quattriduana. La mole per della sua sfera è fatta tanto grande, che dalla sua prima apparizione, quando la veddi rotonda, a che si mostrò mezza ed a quello che si vede adesso, ci è la differenza che mostrano le tre presenti figure.

Scemerà, ancora sino alla occultazione, ed a mezzo quest' altro mese la vederemo

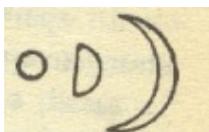


Figura 2.32: Venere in una lettera a Paolo Sarpi

orientale, sottilissima ; e seguitando di allontanarsi dal sole; crescendo di lume e scemando di mole , nello spazio di tre mesi incirca si ridurrà, a mezzo cerchio, e tale, senza conoscervi sensibile mutamento, si manterrà circa un mese ; poi, seguitando sempre di scemare in mole, si farà in pochi giorni interamente rotonda, della qual figura si mostrerà per più di dieci mesi continui, trattone quei tre mesi incirca che starà invisibile sotto i raggi del sole.

Or eccoci fatti certi che Venere si volge intorno al sole, e non sotto (come credette Tolommas dove mai non si mostrerebbe se non minore di mezzo cerchio ; né meno sopra (come piacque ad Aristotele), perché se fusse superiore al sole, non si vedrebbe mai falcata, ma sempre più di mezza assaissimo, e quasi sempre perfettamente rotonda. E l'istesse mutazioni son sicuro che vedremo fare Mercurio [...]

Per Galileo non ci sono dunque più dubbi se non fosse che questo tipo di risultati si adatterebbero anche al modello di Tycho che, fra l'altro, conservava la Terra al centro dell'Universo. È proprio quest'ultimo modello che, i detrattori di Galileo, si aggrapperanno come ultimo baluardo di una visione antropocentrica divenuta ora-

mi, agli occhi dello scienziato pisano, indifendibile. Galileo incomincerà, dunque, a farsi pian piano nemici in particolare fra i gesuiti. È proprio con uno di essi, Orazio Grassi, che intratterrà una disputa sulla natura delle comete che comparvero nei cieli d'Europa nel 1618 e che Keplero indicò come foriere di disgrazie. Nonostante era oramai evidente anche ai Padri Gesuiti che l'altezza delle comete dovesse ben oltre la Luna, essi suggerivano che il modello di Tycho poteva essere adeguato a descriverne la natura delle loro orbite.

Prima di questa disputa, ve ne fu un'altra. Circa la priorità della scoperta delle macchie solari. Pare ormai certo che il primo ad osservare questi fenomeni sia stato Thomas Herriot doi Oxford. Nel 1609. Di certo, tuttavia, le osservazioni di Galileo ed il linguaggio chiaro (*Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*) che egli usa sono ineguagliabili.

Il 29 maprile 1611 il Cardinale Bellarmino incarica i matematici del Vaticano di fare una relazione sulle scoperte di Galileo.

Le cose incominciano a mettersi male per Galileo denunciato da un domenicano.

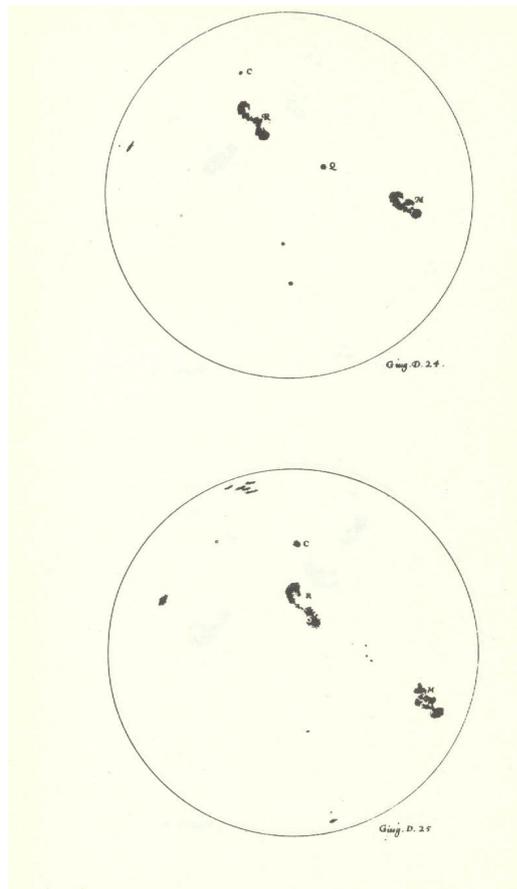


Figura 2.33: Le osservazioni del Sole

Alla fine del 1616 Bellarmino condanna il sistema copernicano. Nel novembre del 1618 comparvero tre comete e questo non fece che aprire un dibattito sempre più pericoloso in quanto le osservazioni conducevano alle conclusioni a cui già Tycho e Keplero erano giunti. Anche in seguito a questo dibattito Galileo scrive *Il saggia-tore* in cui pur dando una interpretazione errata delle comete ma nel quale Galileo afferma che non era la scienza libresca del Grassi quella giusta, in quanto non fondata sulle esperienze, bensì sui libri degli antichi e sull'astrazione. Galileo invece si basava sul suo metodo scientifico basato sull'osservazione e la sperimentazione . Il 6 agosto 1623 Barberini fu eletto papa Urbano VIII apparentemente una buona notizia per Galileo perché verso questi aveva omostrato un certo interesse cosicché nel 1624 Galileo rompe gli indugi e scrive il *Dialogo sopra i due massimi sistemi* che viene stampato nel 1632. Il 22 giugno 1633 Galileo legge l'abiura da cui riceverà gli arresti domiciliari presso Arcetri. Nel 1638 scriverà *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* e l'8 gennaio 1642 muore.

2.6 Cartesio

2.6.1 La formazione

NASCE il 31 marzo 1596 visse l'adolescenza con la nonna materna. Nel 1607 Cartesio entra nel collegio gesuita di La Flèche istituito nel 1603 su concessione di Enrico IV di Navarra: nove anni di studi di cui i primi dedicati alla grammatica e alla retorica e gli ultimi alla filosofia naturale (logica, fisica, metafisica). Tra i riferimenti Cartesio prende contatto con la matematica di Clavius l'ottica di Vitellio.

Il 14 maggio 1610 un fanatico cattolico uccide Enrico IV ^{7,8} e il 4 giugno il



Figura 2.34: Cartesio

cuore del re viene trasportato in processione proprio nella cittadina. Nella stessa cittadina fu organizzato anche una cerimonia per celebrare le scoperte annunciate nel *Sidereus Nuncius* avvenute nel 1610. Nel 1616 consegue il beccellierato in diritto canonico e civile a Poitiers. Nel 1618 si arruola in un reggimento francese nell'esercito calvinista guidato dal celebre Maurizio di Nassau-Orange forse anche per seguire gli studi ingegneristici dove tra gli insegnanti figurava Simon Stevin.

⁷La celebre presunta frase “Parigi val bene una messa” pronunciata da Enrico IV riguarda il fatto che egli era di religione ugonotta e per vincere la cosiddetta guerra dei tre Enrico e insediarsi come legittimo sovrano avrebbe dovuto diventare cattolico.

⁸Autore dell’editto di Nantes del 30 aprile 1598 con il quale si stabilisce il diritto di culto e che mette fine alle guerre di religione che avevano attraversato la Francia

Conosce Isaac Beeckman studioso olandese che lo indirizza a studi a lui ancora sconosciuti. Beeckman era in relazione con Simon Stevin, Nicola Cardano, Marin Marsenne, Willebrord Snellius era un copernicano e conosceva probabilmente i lavori di William Harvey, Tycho Brahe e Joahannes Kepler e William Gilbert. Scrisse un Journal cioè un diario sul quale egli annotava le sue osservazioni in cui emergono alcune anticipazioni significative per esempio del principio d'inerzia e uno studio sulla teoria delle corde vibranti. Desideroso di continuare a viaggiare si reca in Boemia attirato dal centro culturale praghese che aveva generato attorno a sé Rodolfo II. Partecipa ai festeggiamenti per l'incoronazione di Federico II nel 1619 presso Francoforte e poco dopo si arruola nell'esercito di Massimiliano di Baviera. È in questo periodo di solitudine che Cartesio elabora la sua visione del mondo. A Ulm Cartesio conosce il matematico Johann Faulhaber il quale in un certo senso colleziona orologi e compassi e congegni (meccanici, quindi).

Dal 1623 al 1625 Cartesio è in Italia. Al suo ritorno a Parigi si inserisce nel cerchio culturale inaugurato dal frate minore e matematico di Marsenne⁹. La città francese era diventato un tumulto culturale a discapito dell'ordinanza di Luigi XIII che aveva emanato un'ordinanza contro coloro che si levavano contro Aristotele con l'intenzione di ridimensionare l'editto di Nantes. Il cardinale Richelieu, nominato primo ministro, rappresenta l'estensione di questo pensiero: "abbattere i calvinisti francesi, abbassare l'orgoglio dei grandi, ricondurre tutti i sudditi ai loro doveri, riportare il nome del sovrano presso le nazioni straniere all'altezza che gli spettava". In questo periodo Cartesio scrive le Regole per la guida dell'ingegno che è un'opera incompleta e non pubblicata in cui l'autore stabilisce i suoi orientamenti speculativi e sottolinea che la mente non deve occuparsi di questioni che trascendano le sue possibilità come l'influsso dei cieli o la previsione del futuro. Invece la conoscenza è suddivisa in ciò che conosciamo e le cose (res). Il nostro intelletto può solo agire in uno spazio delimitato della scienza che quindi è uno spazio operativo intellegibile costituito da termini che possono essere comunicati.

Occorre convincersi che tutte le scienze sono così connesse tra loro che è molto più facile apprenderle tutte insieme che isolarne una sola dalle altre.

Gli strumenti per costruire questo spazio sono l'intuito e la deduzione. Il primo ha il carattere dell'immediatezza coadiuvata dal conosciuto, dunque un verità può immediatamente essere attinta mediante l'intuito e il secondo è costituito e costruito per un passaggio continuo da elemento a elemento quasi in maniera automatica. La conoscenza deve essere comunicata in un linguaggio formalizzato, quindi quello della matematica anche se nel seguito Cartesio ammetterà che in alcuni casi non si possa prescindere dal linguaggio naturale, come nella fisica, per esempio:

Tutte le cose in cui si può esaminare un certo ordine o misura si riferiscono alla

⁹Sono noti i numeri primi N_M di Marsenne come quelli per i quali $N_M = 2^{p-1}$ con p primo.

mathesis, né ha importanza se tale misura sia da cercarsi nei numeri, nelle figure, negli astri, nei suoni o in qualsiasi altro oggetto; ci dev'essere pertanto una scienza generale che spieghi tutto ciò che può essere richiesto intorno all'ordine e alla misura, senza riferirla a una specie di materia, e questa deve essere chiamata mathesis universalis.

Forse a causa della curiosità disordinata innescata dall'umanesimo per la conoscenza era nell'aria l'esigenza di un'unità ordinatrice. Così anche da altri autori era emersa l'esigenza di elevare il metodo a perno della conoscenza stessa. Tra questi autori si trovano Melantone e Ramo, di cui si è parlato più sopra.

Per metodo intendo regole certe e facili, grazie alle quali chiunque le avrà rispettate in modo esatto non assumerà mai il falso come vero e senza stancare la mente con sforzi inutili, ma sempre aumentando per gradi il sapere, perverrà alla vera cognizione di tutte le cose di cui sarà capace.

Come Teseo nel labirinto ha un metodo per orientarsi nel labirinto, suggerisce Cartesio usando la mitologia come metafora, così il metodo assume il ruolo di condurre intuito e deduzione alla verità. Per Cartesio assume un significato anche la congettura che diventa uno strumento euristico come l'analogia e la metafora. Sempre in questo periodo traspare dal suo linguaggio il contatto culturale con Françoise Viete il quale fece il primo importante passo verso il formalismo matematico tipico dell'algebra simbolica ¹⁰.

2.6.2 Cogito ergo sum

INTORNO al 1629 Cartesio emigra in Olanda senza fermarsi definitivamente in una città. Continua a intrattenere rapporti epistolari con Marsenne. Da queste emerge una concezione di Dio originale in cui esso è pensato come colui che stabilisce regole matematiche a cui il mondo deve ubbidire come anche no. Stimolato dalle osservazioni di Cristophe Sheiner ¹¹ a proposito del fenomeno dovuto alla rifrazione noto come parelio (o dei "cani solari") decise di dedicare la sua attenzione sulle meteore e all'ottica. Molto significativo ciò che egli dice dal punto di vista metodologico:

In luogo di spiegare un solo fenomeno mi riprometto di spiegare tutti i fenomeni della natura, cioè tutta la fisica.

In un'altra lettera a Marsenne Cartesio esprime il principio d'inerzia:

¹⁰Usò la vocale per rappresentare la quantità incognita (la "cosa") e una consonante per rappresentare le quantità note.

¹¹Astronomo gesuita che entrò in polemica con Galilei a proposito delle macchie solari.

Per il fatto stesso che una cosa ha iniziato a muoversi continua nel suo moto tanto a lungo quanto le è possibile e, posto che non possa continuare in linea retta, si piega in senso opposto piuttosto che quietarsi.

In Cartesio emerge un'ontologia dell'oggetto idea maturata da sue personali osservazioni e mutuata anche dalle idee che aveva incamerato strada facendo per esempio da Beeckman, ma di rappresentanti dell'atomismo ce ne sono molti. Ogni corpo è costituito da particelle come tutto lo spazio. Il moto complessivo di tutte le particelle si conserva (principio di conservazione della quantità di moto). In base a quest'ontologia Cartesio spiega anche la differenza tra corpi solidi e corpi liquidi o fluidi. È proprio l'ontologia fine che gli permette di giustificare i movimenti. Così ci sono particelle sottili e fluidi sottili come l'etere e particelle con forme diverse. In questo panorama prendono forma anche i movimenti e la trasmissione dei movimenti. Nasce il concetto di azione per contatto non essendo concepibile quello a distanza.

Cartesio si propone di raccontare la sua interpretazione del mondo in forma di favola, anche per questioni di prudenza. Dunque utilizza metafore, spesso di tipo idraulico. Il suo ragionamento si basa essenzialmente su tre principi sottoposti però a leggi precise e partendo dall'idea atomistica di un iniziale caos.

1. *Ogni parte della materia [...] persiste nello stesso stato fino a che l'urto delle altre non le costringa a mutarlo.* (Quello che noi oggi riconosciamo come principio d'inerzia). In confronto alla definizione aristotelica del moto la quale stabilisce che sia un atto dell'ente in potenza mentre il moto locale è in qualche modo concepito molto semplicemente come il passaggio da un luogo all'altro attraverso l'occupazione di tutte le parti intermedie.
2. *Quando un corpo ne sospinge un altro non può imprimergli nessun movimento senza nello stesso tempo perdere altrettanto del suo né sottrargliene senza che il proprio non ne sia accresciuto in equal misura.* (Quello che più o meno oggi riconosciamo come principio di conservazione della quantità di moto).
3. *Quando un corpo si muove per quanto il suo moto avvenga per lo più secondo una linea curva e [...]e non se ne possa mai dare nessuno che non sia circolare, tuttavia ciascuna delle sue parti in particolare tende sempre a continuare il proprio in linea retta.* E qui fa l'esempio della fionda.

Il mondo è concepito come una macchina, costituito da elementi, cioè atomi, diversi che pervadono tutto lo spazio e producono movimenti vorticosi. Il vuoto propriamente detto non esiste poiché i vortici comunicano i movimenti costituiti da atomi diversi. Fino a determinare il movimento dei pianeti intorno al Sole in una visione completamente aristotelica. Anche il corpo umano è concepito da Cartesio come una macchina.

Il 16 aprile 1633 Galileo viene condannato. Questo episodio fece molto impressione a Cartesio che lo riteneva grande amico del Papa e che quindi rinunciò a pubblicare la sua fisica. Cartesio arriva ad alcune conclusioni a cui è arrivato Galileo come la dipendenza dal quadrato del tempo per lo spazio percorso da un corpo in caduta libera. Forse per prudenza pubblica anonimamente il *Discorso sul metodo* pensato come introduzione programmatica a la *Diottrica*, *Meteore* e la *Geometria*. È utile procedere suddividendo il problema in elementi elementari e arrivare alle conclusioni co-struendo il pensiero partendo dall'elemento più semplice fino al più complesso. Egli individua lo scetticismo metodologico per cui occorre rifiutare come falsa ogni idea che può essere revocata tramite il dubbio. Le regole sono:

1. Evidenza: *Il primo era di non prendere mai niente per vero, se non ciò che io avessi chiaramente riconosciuto come tale; ovvero, evitare accuratamente la fretta e il pregiudizio e di non comprendere nel mio giudizio niente di più di quello che fosse presentato alla mia mente così chiaramente e distintamente da escludere ogni possibilità di dubbio.*
2. Analisi: *Il secondo, di dividere ognuna delle difficoltà sotto esame nel maggior numero di parti possibile, e per quanto fosse necessario per un'adeguata soluzione.*
3. Sintesi: *Il terzo, di condurre i miei pensieri in un ordine tale che, cominciando con oggetti semplici e facili da conoscere, potessi salire poco alla volta, e come per gradini, alla conoscenza oggetti più complessi; assegnando nel pensiero un certo ordine anche a quegli oggetti che nella loro natura non stanno in una relazione di antecedenza e conseguenza.*
4. Enumerazione: *E per ultimo, di fare in ogni caso delle enumerazioni così complete, e delle sintesi così generali, da poter essere sicuro di non aver tralasciato nulla.*

Per Cartesio l'Uomo è un essere razionale il quale si distingue dagli altri animali per il fatto è dotato di parola. Gli animali dunque sono macchine.

Ad Amsterdam Cartesio si lega con la domestica del suo affittuario, Hélène. Da lei nacque nel 1632 la figlia Francine.

In *Diottrica* Cartesio ribalta il modo di concepire l'ottica anziché la scienza che studia ciò che si vede ma la scienza che studia perché si vede. Ecco dunque analizzare la luce come movimento di aria sottile, lo studio della rifrazione e lo studio della visione tramite l'occhio. La rifrazione è descritta tramite la metafora della palla che rimbalza. La legge della rifrazione tuttavia non è ben concepita nei *Metodi* pure essendolo in una lettera a Marsenne (correttamente come rapporto tra seni degli angoli). Anche la legge della rifrazione era nell'aria. Keplero vi aveva messo le mani e anche Snellius. L'interesse che le scoperte di Galileo avevano suscitato in Europa condussero Cartesio a occuparsi quindi di ottica e di fenomeno celesti. Tutti quei fenomeni connessi con la regione di spazio sublunare erano definiti

meteorici. Utilizzando l'approccio meccanico Cartesio fornisce un'interpretazione dell'arcobaleno. Cartesio diede un grande contributo allo sviluppo della geometria riducendola all'algebra. Nasce quella che noi oggi conosciamo come geometria analitica da cui poi nascerà più avanti l'analisi. Per esempio stabilisce un ordine nelle curve riconoscendo un particolare status a ellisse, parabole, iperbole e cerchio (coniche).

Nel 1639 pubblica *Meditazioni sulla filosofia prima* in cui Cartesio si chiede cosa

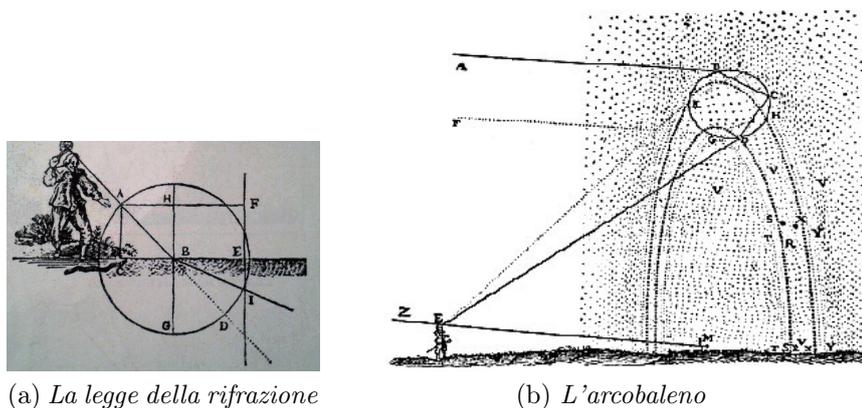


Figura 2.35: Figure presenti in *Diottrica*

noi possiamo conoscere con certezza. Invocando ciò che avviene quando si dorme ove il sogno è realtà, l'autore conclude nessuna esperienze di per sé evidente è sicura. Nemmeno la verità espressa dalla matematica lo è perché un genio maligno potrebbe non solo farci apparire la realtà come non vera ma addirittura sovvertire le regole della matematica. Nessuna esperienza sensibile può sfuggire al dubbio. Per uscire dalla trappola Cartesio opera la divisione tra mente e corpo. Il maligno può ingannare la mente ma non il corpo. Ma se inganna la mente è perché la mente pensa e quindi dubitare è sintomo di esistere (*cogito ergo sum*). L'io pensante è dunque la vera essenza dell'Uomo distinto dalla *res extensa*. Cartesio passa alla prova ontologica dell'esistenza di Dio poiché, dice, Dio non può ingannare la sua creatura e proprio perché è un Dio benevolo non può ingannare i miei sensi e dunque il mondo è reale.

Nel 1641 Cartesio pubblica *Meditazioni metafisiche* e nel 1643 l'Università di Utrecht mette al bando la filosofia di Cartesio con pretesto l'ateismo e la relazione con Hélené.

Nel 1649 Cartesio si trasferisce a Stoccolma alla corte della regina Cristina dove morì di polmonite l'11 febbraio 1650.

Bibliografia

- [1] Sir Thomas L. Heath *Greek Astronomy*. Dover, 1991.
- [2] Anna Maria Lombardi *Keplero*. Le Scienze, 2000.
- [3] Johannes Kepleri *Somnium*. Theoria, 1984.
- [4] Michele Ciliberto, Giulio Giorello *Giordano Bruno*. Le Scienze, 2004.
- [5] Giordano Bruno *La cena delle ceneri*. Mondadori, 1956.
- [6] Galileo Galilei *Sidereus Nuncius*. Marsilio, 1993.
- [7] Galileo Galilei *Il Saggiatore*. Einaudi, 1997.
- [8] Galileo Galilei *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*. Einaudi, 1988.
- [9] Enrico Bellone *Galileo*. Le Scienze, 1998.
- [10] Ettore Lojacono *Cartesio*. Le Scienze, 2000.
- [11] Cartesio *Discorso sul metodo*. Mondadori, 1993.
- [12] René Descartes *Il mondo ovvero Trattato della luce e dell'Uomo*. Theoria, 1983.