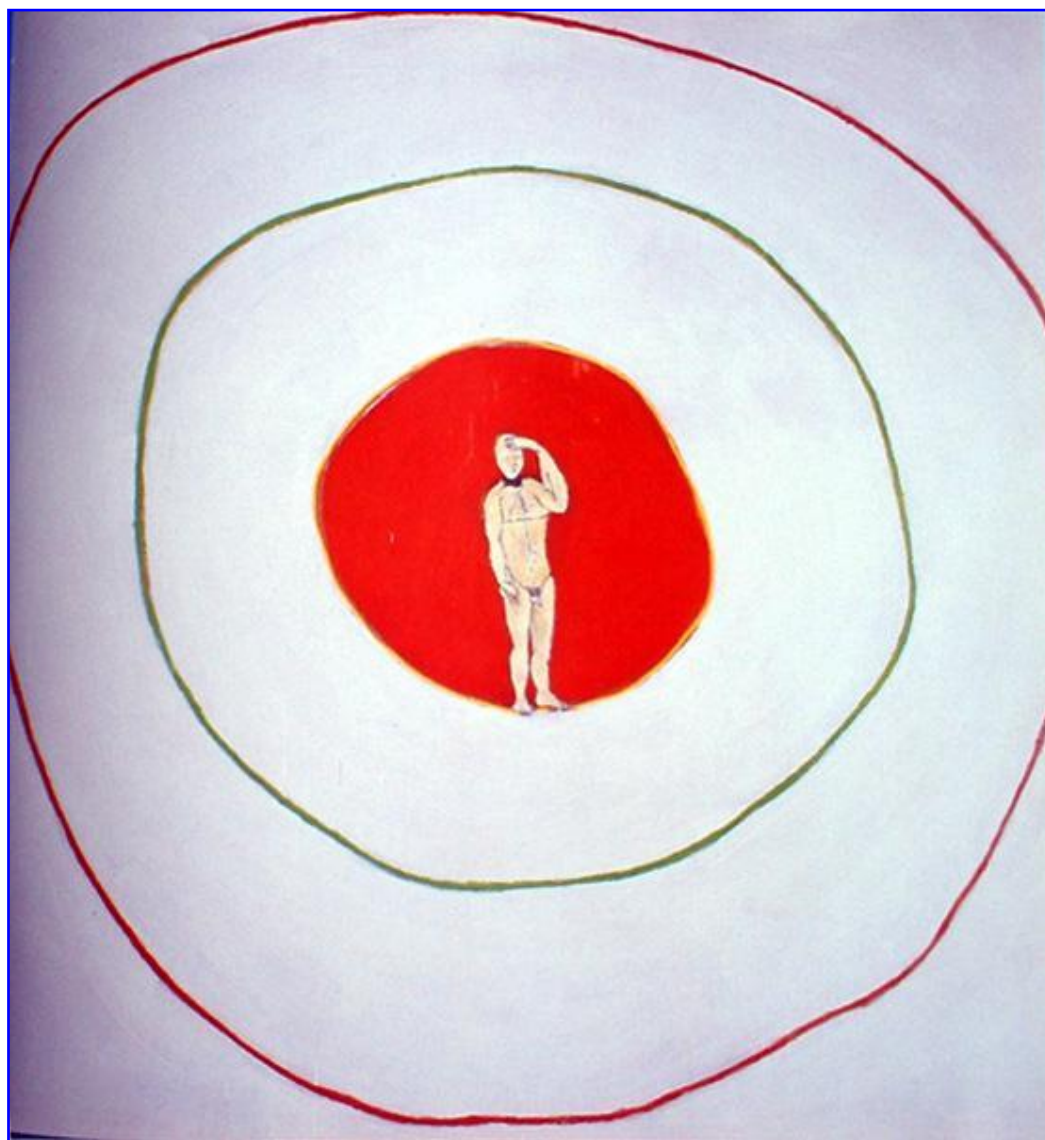


“L'uomo è più grande delle stelle”

(Enrico Medi)



Giulia Pantiri

Classe 5K

Liceo classico Alexis Carrel

Anno scolastico 2011-2012

INDICE

Introduzione _____ pag. 2

Prima parte

Mondo antico_ *Dalle origini al medioevo* _____ pag. 3

- Età classica _____ pag. 3
 - Pitagora
 - Platone
 - Aristotele
- Ellenismo _____ pag. 7
- Tolomeo _____ pag. 8
- Cicerone (Somnium Scipionis) _____ pag. 9
- Dante (Divina Commedia) _____ pag. 13
- Conclusione I parte _____ pag. 13

Seconda parte

Rivoluzione scientifica del 1600_ *Dalla rivoluzione copernicana alla fisica moderna* ____ pag. 14

- Copernico _____ pag. 14
- Galileo _____ pag. 16
- Brahe _____ pag. 17
- Keplero _____ pag. 18
- Newton _____ pag. 19
- Cartesio _____ pag. 20
- Conclusione II parte _____ pag. 21

Terza parte

Rivoluzione scientifica del 1900_ *Dai nuovi pianeti al Big Bang* _____ pag. 22

- Tre nuovi corpi celesti _____ pag. 22
- Nuove scienze _____ pag. 22
- Una nuova unità di misura _____ pag. 23
- Hubble _____ pag. 23
- Big Bang _____ pag. 24

Un'alternativa _____ pag. 26

Conclusione _____ pag. 29

INTRODUZIONE

In questo lavoro ho voluto ripercorrere l'evoluzione dello studio dell'universo nella storia, attraverso tre tappe fondamentali (mondo antico, rivoluzione scientifica del 1600, rivoluzione scientifica del 1900) sottolineando quali sono state le novità fondamentali da un passaggio all'altro e quali le conseguenze. È un percorso in cui i protagonisti, che non sono solo scienziati, collaborano, per andare verso la conoscenza odierna dell'universo, attraverso un progressivo decentramento fisico dell'uomo.

Il punto di partenza di questo percorso è stato la canzone di Leopardi *Ad Angelo Mai: quand'ebbe trovato i libri di Cicerone della Repubblica*, in particolare il brano seguente:

“Ahi ahi, ma conosciuto il mondo
Non cresce, anzi si scema, e assai più vasto
L'etra sonante e l'alma terra e il mare
Al fanciullin, che non al saggio, appare.

Nostri sogni leggiadri ove son giti
Dell'ignoto ricetta
D'ignoti abitatori, o del diurno
Degli astri albergo, e del rimoto letto
Della giovane Aurora, e del notturno
Occulto sonno del maggior pianeta?
Ecco svanire a un punto,
E figurato è il mondo in breve carta;
Ecco tutto è simile, e discoprendo,
Solo il nulla s'accresce.”

(strofe VI e VII, versi 87-100)

La domanda che questo brano mi ha suscitato riguarda l'alternativa con cui si può affrontare l'affermazione di Leopardi, secondo la quale più si conosce il mondo, più il nulla avanza, e l'orizzonte di conoscenza si restringe.

Ho voluto analizzare, attraverso l'evoluzione dello studio dell'universo nella storia, gli uomini che hanno dato credito alla loro sete di conoscenza e l'hanno testimoniata con le loro scoperte e le loro opere.

MONDO ANTICO

Dalle origini al medioevo

Lo spettacolo del cosmo ha colpito da sempre il cuore di ogni uomo. Davanti a un cielo stellato non si può rimanere indifferenti, e non può non nascere una forte curiosità di scoprire cosa siano quei puntini luminosi sullo sfondo scuro della volta celeste.

E così, da quelle domande di significato, è nata l'astronomia.

Le teorie presentate in questa prima parte possono sembrare assurde a noi che siamo abituati a pensare al sole come una stella attorno alla quale orbitiamo, ma ci si deve ricordare che i Greci non disponevano dei mezzi tecnologici di cui disponiamo noi ora, e nonostante ciò sono riusciti ad arrivare ad un livello molto elevato di conoscenza e misurazioni.

GRECIA

Età classica

I Greci, tra tutti i popoli antichi, diedero un apporto particolarmente significativo alle ricerche astronomiche, progredendo nelle conoscenze, come nella costruzione degli strumenti tecnici, più rapidamente dei loro predecessori.

Si basavano naturalmente su quello che vedevano: una sorta di enorme sfera, di giorno illuminata dal sole e di notte dalle stelle e dalla luna, entro la quale si inscriveva la Terra (solo da pochissimi, come Talete, ritenuta piatta).

Non potendosi basare inizialmente su nient'altro se non l'osservazione, è naturale che il primo modello dell'universo fosse geocentrico.

Moltissimi furono i contributi forniti dai Greci per analizzare la struttura del cosmo, ma quelli fondamentali furono dati, in età classica, da Pitagora, Platone e Aristotele. Essi furono innanzitutto filosofi, prima che scienziati. In età antica le discipline non erano slegate tra loro: un filosofo doveva essere anche un grande conoscitore delle scienze per svolgere bene il suo lavoro. Secondo Platone il buon governante era tenuto a sapere bene la matematica, la geometria e l'astronomia.

Pitagora (570-495 a.C.)

"Tutte le cose conosciute posseggono un numero e nulla possiamo comprendere e conoscere senza di questo" (Filolao, pitagorico di seconda generazione)
Circa nello stesso periodo in cui Anassimandro stava maturando la teoria per cui la Terra era un cilindro abitato nella sua base superiore (quindi piatta) e circondata da emisferi con le stelle, il sole e la luna, Pitagora fondava una scuola in Italia meridionale che stava per regalare al mondo una visione molto diversa. Una delle caratteristiche di questa scuola era la segretezza, insieme al conseguente uso di metodi orali e non scritti, e per questo è difficile dire con certezza cosa lui stesso avesse insegnato e cosa avessero scoperto i suoi

discepoli. Pitagora ha sicuramente insegnato che la Terra è una sfera, sospesa liberamente nello spazio, e questa fu un'innovazione straordinaria.

L'altro grande merito del filosofo fu quello di aver teorizzato che il numero è la chiave interpretativa che regge e governa l'universo.

L'importanza del numero era fortemente collegata a quella della musica: secondo Pitagora le distanze tra i corpi celesti erano proporzionali agli intervalli tra le note musicali. Essi infatti emettevano una musica celeste, da noi non udibile per mancanza di allenamento delle nostre orecchie. Si credeva che Pitagora fosse l'unico in grado di sentire questo suono celeste, ed era anche per questo che dai suoi discepoli era adorato quasi come un dio.

Pitagora fu un grande matematico perché era convinto dell'idea del $\kappa\omicron\sigma\mu\omicron\varsigma$; in particolare ci doveva essere una perfetta corrispondenza tra musica e universo. Ad esempio, il numero dei corpi celesti "erranti" era 7 (sole, luna, 5 pianeti) come le note musicali, e il cielo delle stelle fisse era l'ottava.

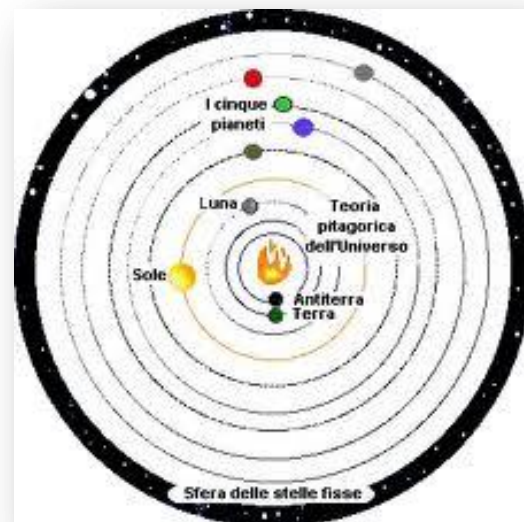
Anche grazie a Pitagora, il cerchio assunse un'importanza fondamentale e divenne l'unica forma geometrica possibile per i movimenti celesti. In matematica il cerchio e la sfera sono infatti figure perfette.

L'importanza del numero non fu facilmente abbandonata dagli studiosi successivi.

Ne è un esempio la teoria di Filolao, una delle poche non geocentriche.

Essa prevede al centro dell'universo la torre di guardia del dio Zeus con gli altri corpi celesti che le girano intorno. Sono, in ordine, un pianeta detto " $\alpha\nu\tau\iota\chi\theta\omega\nu$ " ("davanti alla terra"), la Terra, e i 7 corpi celesti di Pitagora. Metà della Terra è sempre rivolta verso $\alpha\nu\tau\iota\chi\theta\omega\nu$, ed è la metà inabitata, per questo noi, che viviamo sull'altra metà della Terra, non vediamo mai questo ipotetico pianeta. In realtà molto probabilmente esso fu inventato da Filolao per far tornare il numero dei corpi celesti, che così diventavano 10, altro numero considerato perfetto.

Filolao per azzardare l'ipotesi del moto terrestre partì dall'analogia tra la terra e gli altri pianeti: se la terra era anch'essa un pianeta, perché non poteva avere un moto di rivoluzione come gli altri? Però il centro dell'universo non poteva essere lasciato vuoto, e per riempirlo, data l'impossibilità di osservarlo direttamente, Filolao ricorse alla filosofia e alla fedeltà al numero pitagorico.



Universo di Filolao

Platone (428-348 a.C.)

Platone, pur considerando la filosofia come la scienza suprema, dava grande importanza anche alle altre scienze: matematica, geometria, astronomia e musica erano discipline indispensabili, che costituivano una sorta di propedeutica alla filosofia.

Il *Timeo*, uno scritto dell'ultimo Platone, è una grande testimonianza delle conoscenze scientifiche dell'antichità, e ha contribuito a mantenere viva l'idea pitagorica secondo cui la matematica e il numero costituiscono la chiave di interpretazione della realtà. Tuttavia, l'importanza della matematica in Platone e Pitagora è di natura diversa rispetto a quella che ha negli scienziati moderni, come Galileo. Infatti per i due filosofi la matematica ha una base metafisica, non scientifica, essendo Platone in aperto contrasto con le teorie meccanicistiche di Democrito, che lui sostituì con quelle sulle cause finali.

Per quanto riguarda l'utilità dell'astronomia, è interessante il dialogo tra Glaucone e Socrate nel settimo libro della *Repubblica*. Dopo che i due hanno elencato l'astronomia come la quarta tra le discipline fondamentali per il filosofo e il buon governatore, Glaucone afferma che "Essere più pronti a percepire le stagioni, i mesi e gli anni non si addice solo all'agricoltura o alla navigazione, ma anche, e non meno, alla strategia" dando così all'astronomia un valore prettamente pratico.

Socrate dissente, dicendo che l'affermazione di Glaucone è mossa solo dalla paura di prescrivere discipline che sembrino a tutti inutili. Invece lo scopo primario dell'astronomia non è una praticità immediata, ma l'intelligenza dell'anima. La verità riguardo ai corpi celesti, infatti, la "si può cogliere con la ragione e il pensiero, non con la vista(...)bisogna servirsi del ricamo celeste come di un modello per comprendere le realtà invisibili", così da allenare l'anima alla conoscenza delle Idee. Questo prevaleva sull'osservazione sensibile immediata.

Anche per formulare la propria visione dell'universo, Platone partiva dalla sua filosofia, in particolare dalla teoria del mondo delle Idee, che erano forme perfette e reali, raggiungibili solo con la sopravvivenza dell'anima dopo la morte. Dato che in matematica le forme perfette erano il cerchio e la linea retta, anche il mondo doveva esserne costituito, in particolare dalle circonferenze, cioè le linee delle orbite, e dalla sfera, la forma dei corpi celesti. Questi dovevano essere enti divini intelligenti, discendenti direttamente dalle Idee, come è descritto da Dante in *Convivio*, II, iv, 4-5

"Altri furono, sì come Plato, uomo eccellentissimo, che puosero non solamente tante Intelligenze quanti sono li movimenti del cielo, ma eziando quante sono le spezie de le cose (cioè le maniere de le cose): sì come è una spezie tutti li uomini, e un'altra tutto l'oro, e un'altra tutte le larghezze, e così di tutte. 5. E volsero che sì come le Intelligenze de li cieli sono generatrici di quelli, ciascuna del suo, così queste fossero generatrici de l'altre cose ed esempli, ciascuna de la sua spezie; e chiamale Plato 'idee': che tanto è a dire quanto forme e nature universali"

L'universo di Platone era in realtà simile a quello di Pitagora: la Terra era posta al centro con i cieli dei corpi celesti che le ruotavano attorno. C'è un'ambiguità nell'interpretazione

di una frase che Platone scrive nel Timeo, “ελλομένην δὴ τὴν περὶ τὸν διὰ παντὸς πόλον τεταμένον”, nella quale il participio ελλομένην può significare sia “stretta intorno” sia “ruotando”, per cui la frase risulterebbe “(la terra) stretta intorno/ruotando intorno all’asse teso attraverso il tutto”. Aristotele lo interpreta come se la terra ruotasse, ma è più probabile che essa fosse ritenuta immobile, data anche la concordanza con la teoria di Pitagora.

Rispetto a Pitagora, Platone aggiunse l’ordine esatto dei pianeti. Nella Repubblica Socrate ne nomina qualcuno, e gli altri li descrive secondo le loro caratteristiche, per cui possiamo trarre il seguente ordine: Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno. Ribadì l’importanza del sole, nonostante non avesse il ruolo fisicamente centrale, perché è colui che dà vita e luce (anche a tutti gli altri corpi celesti) e crea la distinzione tra la notte e il giorno.

Aristotele (384-322 a.C.)

Aristotele era convinto della teoria geocentrica ed era più o meno in linea con Platone.

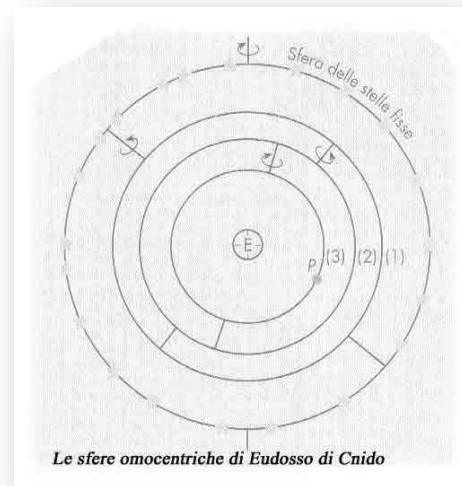
Egli era innanzitutto filosofo, e anche per lui fu questo che determinò la sua visione dell’universo.

Nell’astronomia, apportò delle modifiche al modello di Eudosso di Cnido(408-355 a.C.), che fu il primo a introdurre il concetto secondo cui ogni sfera conteneva un pianeta, e ciascun pianeta aveva il suo “set” di 4 sfere che ruotavano con in direzioni e tempi diversi, così da muovere il pianeta come noi lo vediamo dalla Terra. Questo sistema era molto, forse troppo, ingegnoso, ma doveva fondarsi su una grande conoscenza astronomica e un grande ingegno.

Aristotele riorganizzò i movimenti delle sfere ponendo tra un set e l’altro una sfera autonoma di raccordo per comunicare il moto da una all’altra, complicando ulteriormente il sistema.

Finì per agire con lo stesso principio che aveva biasimato ai pitagorici: fare deduzioni non a partire da come le cose vengono viste, ma da come, in accordo alle sue idee, dovevano essere.

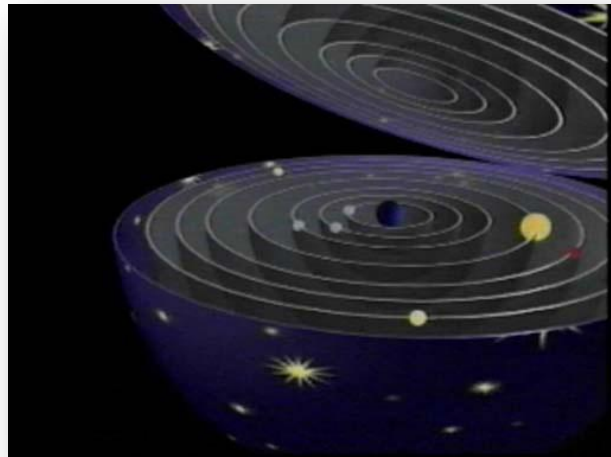
Ad esempio, distinguendo tre tipi di movimento locale (cioè movimento propriamente detto), individuò il movimento dal centro del mondo verso l’alto, dall’alto verso il centro del mondo, e il movimento circolare intorno al centro del mondo. I primi due tipi sono opposti e provocano, con il loro spostamento, nascita, mutamento e morte delle sostanze. Il terzo, invece, non ha opposti, e quindi le sostanze che si muovono così sono immutabili,



ingenerabili ed incorruttibili (perché non c'è un punto d'origine né di fine). L'unico elemento che si muove di questo moto è l'etere, che compone i corpi celesti. Ne deriva la facile conclusione, raggiunta solo tramite il ragionamento, che i corpi celesti devono muoversi di moto circolare.

Aristotele dimostrò anche la perfezione del mondo attraverso elementi aprioristici: dato che, in accordo con la dottrina di Pitagora, il numero perfetto era il 3, il mondo,

possedendo le 3 dimensioni possibili (altezza, larghezza e profondità) era perfetto perché non mancava di nulla. Così dimostrò che il mondo era finito: infinito è sinonimo di manchevole, e non può avere né un centro, né un alto, né un basso, né un limite, che sono prerogative fondamentali di qualsiasi spazio. Il mondo era dunque finito, ed era anche l'unico esistente.



Sistema chiuso di Aristotele

È notevole la sua spiegazione del motivo per cui la Terra si trovasse al centro del mondo. Essa è fatta, appunto, di terra, uno dei 5 elementi (nell'ordine di progressiva leggerezza: terra, acqua, aria, fuoco, etere). Essendo la terra l'elemento più pesante, tende verso il centro del mondo.

Il centro della Terra rispecchia la teoria filosofica del motore immobile: esso è un fine più che una sorgente di movimento, al quale tutti gli altri corpi e gli esseri viventi tendono.

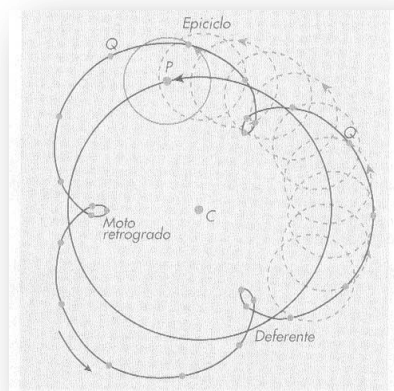
La teoria della causa finale si lega alla concezione anti-meccanicistica di Platone prima citata, e si inserisce nelle molteplici differenze con il meccanicismo di Democrito, che hanno portato, in virtù dell'autorità di Aristotele, alla definitiva sconfitta dell'atomismo democriteo, il sistema scientifico greco che forse più si avvicina alla scienza moderna.

GRECIA

Ellenismo

Nel periodo ellenistico, dal 323-2 a.C. al 31 a.C., nacque il pensiero scientifico. Le tematiche affrontate in età classica dai filosofi divennero oggetto di un interesse più mirato, si migliorarono gli strumenti di ricerca e l'approccio allo studio dei fenomeni celesti diventò puramente scientifico. Non ci si basava più sulle sole osservazioni qualitative, ma anche sulla ricerca di dati (osservazioni quantitative) e sull'interpretazione di questi dati. Infatti, proprio in questo periodo, furono trovate numerose incongruenze con il modello fissato da Aristotele. Quasi nessuno osava contraddire la teoria aristotelica, e si cercava di fare

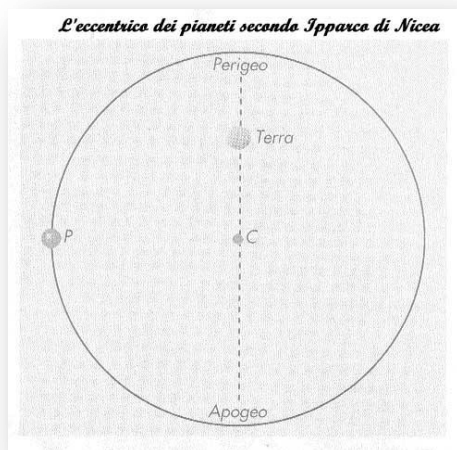
rientrare queste osservazioni nel suo modello, non volendo intaccare la perfezione teorica e visiva che esso aveva, perché rappresentava il mondo perfetto del κόσμος. Un risultato esemplificativo delle osservazioni scientifiche compiute riguarda i moti retrogradi dei pianeti. Si notò che c'erano dei periodi in cui i pianeti non seguivano più regolarmente la loro orbita circolare, ma si fermavano e tornavano indietro. Con le misurazioni delle distanze di stelle e pianeti dalla Terra si scoprì che anche la distanza pianeta-Terra cambiava durante questi moti. Molti furono i tentativi di spiegare il motivo di queste anomalie.



Modello epiciclico di Apollonio

Uno di questi è la teoria degli epicicli di **Apollonio da Perge**: i pianeti, oltre all'orbita circolare intorno alla Terra ("deferente") avevano anche un'altra orbita, sempre circolare e più piccola ("epiciclo"), che aveva come centro i punti sull'orbita più grande.

Circa cent'anni dopo, **Ipparco di Nicea** rompe la perfetta simmetria del sistema: la Terra non poteva trovarsi esattamente al centro del deferente, in base ai dati rilevati con le osservazioni.



L'unico che osò proporre un modello interpretativo in contrasto con quello aristotelico fu **Aristarco**, che pose al centro il sole, e la Terra che gli ruotava attorno con gli altri pianeti. Così il sistema diveniva più semplice e coerente.

Ovviamente la sua teoria fu subito accantonata, e lui accusato di empietà. La sua fu l'unica grande voce a favore della teoria eliocentrica, e l'unica praticamente inascoltata, perché servivano molte più prove di quelle che lui era in grado di offrire.

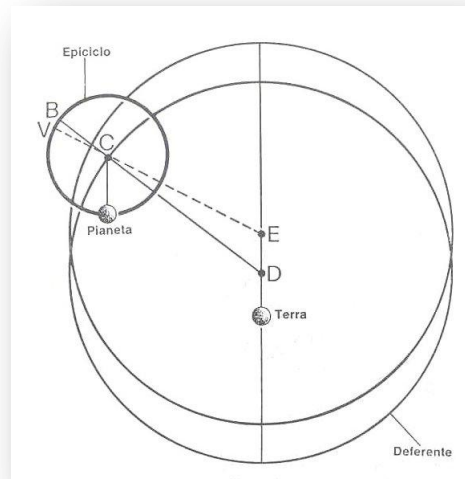
TOLOMEO (100-175 d.C.)

Chi riuscì a mettere insieme tutte le osservazioni e le ipotesi fatte, fu Tolomeo, nell'*Almagesto*, una delle più grandi opere di astronomia. L'opera conteneva molte sezioni, ad esempio un catalogo delle stelle e delle costellazioni, classificate per la loro luminosità e il loro colore (cosa molto difficile da fare per gli strumenti di allora). Tolomeo perfezionò la teoria degli epicicli e tentò di conciliarla con l'eccentrico di Ipparco e con la teoria aristotelica. Introdusse il concetto di punto equante: un punto simmetrico alla Terra

rispetto al centro del deferente, in relazione al quale il moto dei pianeti sembrava uniforme.

Il modello di Tolomeo teneva conto delle osservazioni fatte e delle incongruenze trovate, anche se lui stesso alla fine della grande opera si rese conto che c'era comunque qualcosa che non tornava, e lo mise in evidenza.

Secondo Tolomeo la Terra era immobile, ma non al centro esatto. Le stelle non erano immobili ma ruotavano in un movimento eterno e circolare. Anche gli altri corpi celesti dovevano ruotare come loro. La Terra era minuscola in confronto a tutto il resto.



Il punto equante di Tolomeo

Il modello che dominò fino al XVI secolo fu quello di Aristotele, mediato da Tolomeo. Esso continuava ad essere il modello migliore non solo perché non se ne trovava un altro, ma anche perché si accordava perfettamente con le dottrine filosofiche o concettuali.

Due esempi di ciò sono Cicerone (che visse prima di Tolomeo) con il suo *Somnium Scipionis*, e Dante, nella *Divina Commedia*. Entrambi usarono la struttura del cosmo così definita come supporto di un'idea filosofica nel primo caso, teologica nel secondo.

SOMNIUM SCIPIONIS (Cicerone)

Il *Somnium Scipionis* è un frammento dell'opera "De Re Publica" di Cicerone. Attraverso quest'opera, composta tra il 55 e il 51 a.C., l'autore vuole spingere i cittadini all'amore per lo stato e per la costituzione repubblicana, passando in rassegna le forme di governo quali la monarchia, l'aristocrazia e la democrazia, ed esaltando la repubblica oligarchica precedente all'era dei Gracchi. Per fare ciò utilizza un immaginario dialogo tra Publio Cornelio Scipione Emiliano (l'Africano Minore) e i suoi amici, avvenuto nel 129 a.C., anno della morte del protagonista.

Questo frammento è la parte finale dell'opera e ci è pervenuto per intero.

L'Africano minore racconta ai suoi ascoltatori un sogno che gli era capitato di fare dopo una visita a Massinissa, re della Numidia, nel 149a.C., all'inizio della terza guerra punica. Durante la visita avevano parlato molto di suo nonno, Scipione Africano maggiore, per cui di notte l'Emiliano l'aveva sognato.

Nel sogno Scipione maggiore si trova nella via Lattea, il luogo in cui le anime virtuose vanno dopo la morte. Dopo aver profetizzato le tappe fondamentali della futura carriera politico-militare di Emiliano, il nonno gli descrive l'universo visto da quella prospettiva: è l'universo platonico, con le sfere celesti che ruotando producono il suono armonioso di Pitagora.

Tutta l'opera del *De re publica* è di chiara ispirazione platonica, anche per quanto riguarda la sua struttura formale, che si rifà alla "Repubblica" del filosofo, anche se ci sono numerose differenze. La più importante è la maggior praticità dell'opera di Cicerone, più concreta anche nella descrizione dello stato ideale (riconducibile ad un ordinamento già esistito), in contrasto all'idealizzazione dello stato immaginato da Platone.

È importante osservare che Cicerone ammirava Platone prima di tutto per le sue teorie filosofiche. Questo non vuol dire che ne condividesse le teorie sull'universo, ma credeva che questa in particolare fosse la più adatta ad illustrare una dottrina morale, essendo anche l'autore stesso un filosofo.

Ci sono alcuni passaggi del *Somnium Scipionis* che richiamano aspetti particolari delle teorie dei primi tre filosofi precedentemente esposte.

Pitagora

Il primo riguarda l'armonia celeste di Pitagora (è probabile che Cicerone la conoscesse perché anche Platone l'aveva accettata).

L'Africano minore racconta in prima persona il dialogo con il nonno.

18. Quae cum intuerer stupens, ut me recepi 'Quid? hic 'inquam' quis est, qui complet aures meas tantus et tam dulcis sonus?' 'Hic est' inquit 'ille, qui intervallis disiunctus imparibus, sed tamen pro rata parte ratione distinctis impulsu et motu ipsorum orbium efficitur et acuta cum gravibus temperans varios aequabiliter concentus efficit; nec enim silentio tanti motus incitari possunt, et natura fert ut extrema ex altera parte graviter, ex altera autem acute sonent. Quam ob causam summus ille caeli stellifer cursus, cuius conversio est concitator, acuto et excitato movetur sono, gravissimo autem hic lunaris atque infimus; nam terra nona immobilis manens una sede semper haeret complexa medium mundi locum. Illi autem octo cursus, in quibus eadem vis est duorum, septem efficiunt distinctos intervallis sonos, qui numerus rerum omnium fere nodus est(...).

Dopo aver osservato questo spettacolo, non appena mi riebbi, esclamai: « che suono è questo, così intenso e armonioso, che riempie le mie orecchie?». «È il suono», rispose, «che sull'accordo di intervalli irregolari, eppure distinti da una razionale proporzione, risulta dalla spinta e dal movimento delle orbite stesse e, equilibrando i toni acuti con i gravi, crea accordi uniformemente variati; del resto, movimenti così grandiosi non potrebbero svolgersi in silenzio e la natura richiede che le due estremità risuonino, di toni gravi l'una, acuti l'altra. Ecco perché l'orbita stellare suprema, la cui rotazione è la più rapida, si muove con suono più acuto e concitato, mentre questa sfera lunare, la più bassa, emette un suono estremamente grave; la Terra infatti, nona, poiché resta immobile, rimane sempre fissa in un'unica sede, racchiudendo in sé il centro dell'universo. Le otto orbite, poi, all'interno delle quali due hanno la stessa velocità, producono sette suoni distinti da intervalli, il cui numero è, possiamo dire, il nodo di tutte le cose;

Oltre all'armonia celeste di Pitagora possiamo notare l'importanza fondamentale data al numero, sempre propria di Pitagora. Inoltre quando parla del suono più o meno acuto in base alla velocità di rotazione, possiamo notare che il legame tra la frequenza delle onde sonore e il suono da esse prodotto è analogo.

Platone

| | |
|--|---|
| <p>11. 'Videsne illam urbem, quae parere populo Romano coacta per me renovat pristina bella nec potest quiescere?' (ostendebat autem Karthaginem de excelso et pleno stellarum illustri et claro quodam loco)</p> | <p>Vedi quella città che, costretta per mezzo mio ad obbedire al popolo romano, rinnova le antiche guerre e non può stare in pace?- mostrava Cartagine da un luogo alto e pieno di stelle, luminoso e splendente</p> |
| <p>13. 'Sed quo sis, Africane, alacrior ad tutandam rem publicam, sic habeto: omnibus, qui patriam conservaverint, adiuerint, auxerint, certum esse in caelo definitum locum, ubi beati aevum sempiterno fruuntur; nihil est enim illi principi deo, qui omnem mundum regit, quod quidem in terris fiat, acceptius quam concilia coetusque hominum iure sociati, quae civitates appellantur; harum rectores et conservatores hinc profecti huc revertentur.</p> | <p><u>Ma perché tu, o Africano, sia più deciso a difendere lo stato, sappi questo: per tutti coloro che hanno salvato, aiutato, aumentato la patria, è stabilito in cielo un luogo preciso, dove godere dell'eternità felici; infatti a quel dio principe che regge tutto il mondo, niente è più gradito, almeno di ciò che succede sulla Terra, delle riunioni e aggregazioni di uomini uniti dal diritto, che si chiamano stati; i loro governanti e i loro salvatori partiti da qui tornano qui.</u></p> |
| <p>15. (...) Nisi enim deus is, cuius hoc templum est omne, quod conspicis, istis te corporis custodiis liberaverit, huc tibi aditus patere non potest. Homines enim sunt hac lege generati, qui tuerentur illum globum, quem in hoc templo medium vides, quae terra dicitur, iisque animus datus est ex illis sempiternis ignibus, quae sidera et stellas vocatis, quae globosae et rotundae, divinis animatae mentibus, circulos suos orbisque conficiunt celeritate mirabili.</p> | <p>Infatti se non quando quel dio a cui appartiene tutto quel luogo che vedi ti avrà liberato dalla prigionia del corpo non può esserti aperto l'ingresso qui. Infatti gli uomini sono stati generati con questa legge per proteggere quella sfera che vedi al centro di questo luogo che si chiama terra, e a loro è stata data l'anima da quei fuochi eterni che chiamate astri e stelle che sferiche e rotonde animate da menti divine compiono i loro cerchi e le loro orbite con una straordinaria velocità.</p> |
| <p>16. (...)Ea vita via est in caelum et in hunc coetum eorum, qui iam vixerunt et corpore laxati illum incolunt locum, quem vides' (erat autem is splendidissimo candore inter flammam circus elucens), 'quem vos, ut a Graecis accepistis, orbem lacteum nuncupatis.'</p> <p>Ex quo omnia mihi contemplanti praeclara cetera et mirabilia videbantur. Erant autem eae stellae, quas numquam ex hoc loco vidimus, et</p> | <p>Quella vita è la via verso il cielo e verso questo insieme di coloro che già sono vissuti e, liberati dal corpo, abitano il luogo che vedi (era un cerchio di luminosissimo bagliore tra le fiamme), che voi come avete saputo dai Greci, chiamate cerchio latteo.</p> <p>A me che da lì contemplavo tutte le cose, tutte le altre apparivano splendidissime e straordinarie. C'erano quelle stelle che non abbiamo mai visto</p> |

| | |
|--|---|
| <p> eae magnitudines omnium, quas esse numquam suspicati sumus, ex quibus erat ea minima, quae, ultima a caelo, citima a terris, luce lucebat aliena. Stellarum autem globi terrae magnitudinem facile vincebant. Iam ipsa terra ita mihi parva visa est, ut me imperii nostri, quo quasi punctum eius attingimus, paeniteret. </p> | <p> da questo luogo, e quelle grandezze di tutte le cose che mai abbiamo sospettato esistessero, fra le quali c'era la più piccola, che ultima a partire dal cielo, la più vicina alla terra, splendeva di luce estranea. Le sfere delle stelle poi superavano facilmente la grandezza della Terra. Ormai la terra stessa mi sembrava così piccola che mi vergognavo del nostro impero con cui raggiungiamo per così dire un punto di essa. </p> |
| <p> Haec ego admirans referebam tamen oculos ad terram identidem. Tum Africanus: 'Sentio' inquit 'te sedem etiam nunc hominum ac domum contemplari; quae si tibi parva, ut est, ita videtur, haec caelestia semper spectato, illa humana contemnito. Tu enim quam celebritatem sermonis hominum aut quam expetendam consequi gloriam potes? Vides habitari in terra raris et angustis in locis et in ipsis quasi maculis, ubi habitatur, vastas solitudines interiectas, eosque, qui incolunt terram, non modo interruptos ita esse, ut nihil inter ipsos ab aliis ad alios manare possit, sed partim obliquos, partim transversos, partim etiam adversos stare vobis; a quibus exspectare gloriam certe nullam potestis. </p> | <p> Io, pur osservando stupito tali meraviglie, volgevo tuttavia a più riprese gli occhi verso la terra. Allora l'Africano disse: «Mi accorgo che contempi ancora la sede e la dimora degli uomini; ma se davvero ti sembra così piccola, quale in effetti è, non smettere mai di tenere il tuo sguardo fisso sul mondo celeste e non dar conto alle vicende umane. Tu infatti quale celebrità puoi mai raggiungere nei discorsi della gente, quale gloria che valga la pena di essere ricercata? Vedi che sulla terra si abita in zone sparse e ristrette e che questa sorta di macchie in cui si risiede è inframmezzata da enormi deserti; inoltre, gli abitanti della terra non solo sono separati al punto che, tra di loro, nulla può diffondersi dagli uni agli altri, ma alcuni sono disposti, rispetto a voi, in senso obliquo, altri trasversalmente, altri ancora si trovano addirittura agli antipodi. Da essi, gloria non potete di certo attendervene. </p> |

Aristotele

In questo passo viene ripreso il concetto del peso come "tendenza a". Benché il Somnium Scipionis rispecchi la teoria platonica, ha anche delle influenze di quella aristotelica.

| | |
|--|---|
| <p> 17. (...) Infra autem iam nihil est nisi mortale et caducum praeter animos munere deorum hominum generi datos, supra lunam sunt aeterna omnia. Nam ea, quae est media et nona, tellus, neque movetur et infima est, et in eam feruntur omnia nutu suo pondera.' </p> | <p> Al di sotto, poi, non c'è ormai più nulla, se non mortale e caduco, eccetto le anime, assegnate per dono degli dèi al genere umano; al di sopra della Luna tutto è eterno. Infatti la sfera che è centrale e nona, ossia la Terra, non è infatti soggetta a movimento e rappresenta la zona più bassa e verso di essa sono attratti tutti i pesi, per una forza che è loro propria». </p> |
|--|---|

DIVINA COMMEDIA

La struttura dell'universo nella Divina Commedia è una testimonianza della durata del sistema aristotelico nel corso dei secoli.

La Terra è al centro, immobile; i cieli le ruotano intorno con una velocità che aumenta man mano che ci si avvicina alla sfera più esterna. Il movimento dei cieli è l'energia cinetica in cui si trasforma la letizia divina, ed essi sono mossi dalle intelligenze angeliche (che ricalcano le Intelligenze di Platone). I nomi dei cieli sono collegati ai nomi delle intelligenze angeliche, nell'ordine: Luna, Mercurio, Venere, Sole, Marte, Giove, Saturno, il cielo delle stelle fisse e l'empireo (dove risiede la rosa dei beati con Dio).

La letizia divina, oltre che nel movimento, risulta anche nella velocità e nella musica: per il fatto stesso che si muovono, infatti, i cieli producono musica (come nella dottrina pitagorica). Musica e luce sono i due elementi caratteristici del Paradiso.

L'universo così strutturato, ordinato, in movimento e immerso nell'armonia, è specchio del suo Creatore: "La gloria di colui che tutto move,/ per l'universo penetra e risplende,/ in una parte più e meno altrove" [Par, I, 1-3]

Ritroviamo elementi della filosofia classica anche nelle 5 sostanze che costituiscono il mondo: terra, acqua, aria, fuoco, etere. Terra e aria compongono il globo terrestre in parti disuguali: la terra costituisce il quarto abitabile del globo, l'acqua le altre tre parti. Tra la terra e i cieli c'è prima l'aria, poi il fuoco, infine l'etere, che è la sostanza di cui sono fatti i cieli.

Sulla cosmologia reale prevale il senso della cosmologia, perché a tema della Divina Commedia c'è il senso, la realtà come segno del Creatore (per cui ad esempio Dante non tiene conto degli epicicli e dei deferenti del modello tolemaico).

CONCLUSIONE I PARTE

Quello che traspare dal percorso visto è una forte ammirazione da parte dei greci per il cielo e per i movimenti perfetti dei corpi celesti, ed una radicata convinzione che dietro a tutti questi moti ci debba essere un ordine, un'armonia, un principio unico, il κόσμος. Questo principio è uno dei loro lasciti fondamentali alle generazioni future. Infatti gli scienziati che operarono nella rivoluzione scientifica del XVII secolo erano certi dell'esistenza di un ordine nei movimenti celesti, così come stabilito dai greci. Basandosi su questa convinzione cercarono delle leggi che governassero l'intero universo, come si nota soprattutto nell'opera di Newton.

RIVOLUZIONE SCIENTIFICA '600

Dalla rivoluzione copernicana alla fisica moderna

Il periodo che va dalla fine del 1400 all'inizio del 1700 fu un grande punto di svolta non solo per le ricerche sull'universo, ma per la scienza intera. I protagonisti di questo periodo non furono solo scienziati, e collaborarono tutti (alcuni anche senza volerlo) alla creazione del modello eliocentrico.

COPERNICO (1473-1543)

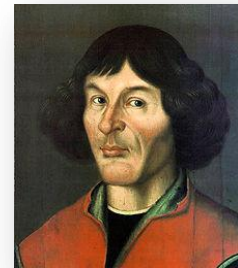
L'astronomo Copernico fu il primo componente della grande "squadra" della rivoluzione scientifica. Poneva grande fiducia nella visione platonica matematica e armonica dell'universo.

Credeva fermamente nell'esistenza delle sfere celesti, nella perfezione dei moti circolari e uniformi, e nella "naturalità" di questo tipo di moto, che non ha bisogno di una causa e si mantiene indefinitamente. Ogni moto apparentemente irregolare, per essere eterno come i cieli, deve necessariamente essere ricondotto a un insieme di tali movimenti perfetti.

Per questo lavorò a lungo sugli equanti di Tolomeo finendo per criticarli: non davano uniformità al moto. Studiando a fondo l'Almagesto, notò che le singole parti della teoria erano perfette ma nell'insieme non erano in armonia. Provò allora a chiedersi se non esistesse, in via del tutto teorica, un'altra soluzione che semplificasse l'intricato sistema tolemaico.

Dato che il sole aveva qualcosa a che fare con il moto di tutti i pianeti, per cui meritava un posto più importante di quello fino ad allora assegnatogli, arrivò alla formulazione di alcuni postulati che andavano accettati per capire la sua idea geniale (la teoria eliocentrica):

- Non esiste soltanto un centro per tutte le sfere celesti
- Il centro della terra non è il centro dell'universo, ma solo il centro verso cui si muovono i corpi pesanti e attorno a cui si muove tutto ciò che è compreso nella "sfera della luna".
- Tutte le sfere dell'universo ruotano attorno al sole, il quale è al centro del mondo.
- Il rapporto fra la grandezza della sfera della terra e la grandezza della sfera delle stelle fisse è notevolmente minore del rapporto tra il raggio della terra e la distanza sole-terra, così che quest'ultima, vista dalla sfera delle stelle fisse, è impercettibile.
- Tutti i movimenti del firmamento non appartengono ad esso, ma alla terra. La terra con gli elementi vicini (sotto la sfera della luna) compie in un moto diurno un intero giro attorno ai suoi poli fissi, mentre il firmamento rimane immobile, inalterato con l'ultimo cielo.



- Qualunque movimento ci appaia del sole, non appartiene ad esso, ma dipende dalla terra e dalla sfera che la porta, insieme alla quale noi ruotiamo intorno al sole come qualsiasi altro pianeta, così la terra compie più movimenti.
- Il moto retrogrado e il moto diretto dei pianeti non dipendono da loro, ma dal moto della terra; pertanto il solo moto della terra basta a spiegare tante irregolarità celesti.



Sistema eliostatico

Espose la teoria dapprima nel *Commentariolus*, che poi perfezionò (e complicò) nel *De revolutionibus orbium caelestium* (pubblicato nel 1543, data della morte dell'autore).

Molte problematiche tolemaiche si risolvevano, e altre teorie apparentemente assiomatiche venivano stravolte, come la velocità di rivoluzione dei pianeti: contro tutto ciò che si era sempre pensato, egli affermò che il pianeta Mercurio era il più veloce, e Saturno il più lento. Approfondendo queste prime osservazioni, iniziò ad introdurre le prime complicazioni che progressivamente aumentarono, fino a rendere il suo modello complesso come quello tolemaico. Ad esempio, Copernico pose il sole in una posizione eccentrica (contro uno dei suoi postulati), e introdusse il doppio epiciclo per spiegare il movimento apparentemente più lento o più veloce della luna e degli altri pianeti (che nell'opera successiva, il *De revolutionibus orbium caelestium*, sostituirà con un sistema "eccentrico ad un solo epiciclico", in pratica reintroducendo l'equante...).

Essendo pienamente consapevole della rivoluzione che la sua teoria avrebbe comportato, andando contro non solo al pensiero comune, ma anche a secoli di pensiero scientifico, aveva sentito l'esigenza di fondare la sua teoria su solide basi, cioè sull'idea di sfere perfette e sui moti circolari uniformi, mantenendo e ricalcando nel *De Revolutionibus* la struttura dell'*Almagesto* di Tolomeo.

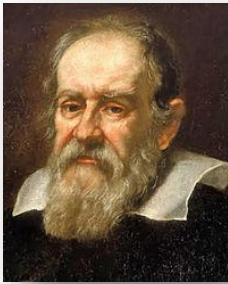
Il *De revolutionibus orbium caelestium* fu pubblicato dal matematico Giorgio Gioacchino Retico, e in esso compariva una prefazione, scritta da Andrea Osiander, che giustificava l'audacia della teoria di Copernico, relegandola ad un semplice modello matematico, non per forza corrispondente al vero (temeva infatti gli attacchi dei sostenitori del geocentrismo tolemaico). Questo fu uno dei motivi per cui Copernico non venne attaccato, oltre al fatto che l'autore morì appena dopo la pubblicazione della sua opera finale, che risultava comunque troppo complicata per permettere il salto vertiginoso che l'eliocentrismo comportava per il popolo e la comunità scientifica.

Il grande merito di Copernico fu di avere avuto il coraggio di andare oltre Tolomeo e Aristotele, contro l'opinione comune, anche se egli sviluppò il suo modello in via teorica.

Si potrebbe immediatamente identificare come un limite della sua teoria il fatto di non essere andato del tutto contro il modello precedente distruggendolo. In realtà l'esigenza di basi solide fu anche ciò che permise alla sua opera di esistere e di essere letta dagli scienziati successivi, permettendo a loro e al mondo di fare gradualmente il passo decisivo verso l'eliocentrismo.

GALILEO (1564-1642)

Il banditore

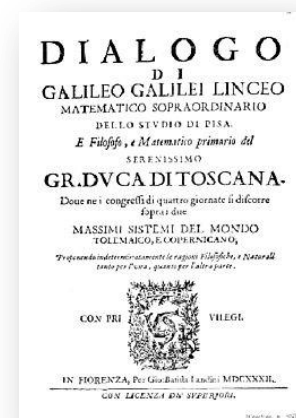


Chi prese su di sé la responsabilità della teoria copernicana fu Galileo, nato 21 anni dopo la pubblicazione dell'opera copernicana. Egli infatti cercò e ricercò le prove che potevano essere a vantaggio di questa teoria, perché si rendeva conto anche lui che ormai il sistema tolemaico stava diventando un po' troppo incongruente. Grazie alla sua formidabile sensibilità scientifica, che gli permise di operare una autentica rivoluzione nel campo della scienza con il metodo sperimentale, riprodusse e migliorò il cannocchiale inventato da un ottico olandese, e fu il primo a puntarlo contro il cielo notturno. Quello che vide lo

lasciò senza parole: la Luna non era una sfera di cristallo, liscia e perfetta, ma aveva delle macchie ben definite, e queste erano le ombre delle montagne lunari proiettate dalla luce del sole, come accade sulla Terra. Luna e Terra erano fatte della stessa materia, e la Luna non era incorruttibile. Il sole stesso presentava macchie oscure che apparivano e scomparivano, contrariamente all'immutabilità a cui doveva essere aristotelicamente soggetto. Altra scoperta fondamentale furono i quattro satelliti di Giove, che orbitavano attorno ad un centro diverso dalla terra. Se Giove orbitava attorno al sole con i suoi satelliti, perché non poteva farlo anche la Terra? Confutò le dimostrazioni aristoteliche dell'impossibilità del moto della Terra con il concetto di moto relativo: i corpi sulla Terra non risentono del suo movimento perché anche loro si muovono con lei, compresa l'aria e l'acqua. Per dimostrare ciò espose un esperimento da fare su di una nave in movimento: i corpi sopra di essa si muovono con lei, non risentendo della velocità della nave.

Galileo era un uomo di grande intelligenza, ottenne molte cattedre di insegnamento di matematica a Padova, Pisa, Firenze, ed era uno scienziato molto rispettato.

Proprio per questo era sicuro che con le sue prove avrebbe convinto dell'eliocentrismo anche il cardinale Maffeo Barberini, poi divenuto papa Urbano VIII, che aveva preso le sue difese nel periodo delle accuse di Firenze. All'inizio del suo pontificato sembrò che Galileo avesse la meglio, perché la Chiesa si ammorbidì nei confronti dello scienziato,

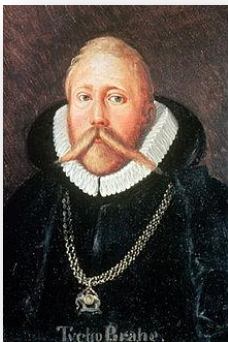


permettendogli di esporre la sua teoria in via del tutto matematica. Ma quando Galileo confutò apertamente, con delle prove oggettive, la teoria aristotelica, nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, la Chiesa e anche il papa non poterono fare altro che condannarlo, costringendolo all'abiura, avvenuta nel 1633, per evitare le condanne riservate agli eretici.

Non si sa se Galileo abiurò perché neanche lui era convinto fino in fondo della sua teoria o perché semplicemente aveva paura. Molti autori si interrogarono su questo, un esempio importante è Brecht, drammaturgo tedesco del '900, che scrisse un'opera in più versioni, *Vita di Galileo*, dedicata allo scienziato.

Riguardo all'abiura, Brecht sembra condannare questo gesto, giudicandolo come una mancanza di responsabilità dello scienziato nei confronti della società e della scienza.

Qualunque sia il giudizio sulla persona di Galileo, non si può non constatare la svolta decisiva che egli diede alla scienza, rilevando la grande importanza delle osservazioni empiriche attraverso gli strumenti tecnici.



TYCHO BRAHE (1546-1601)

L'astronomo

La provocazione di Copernico fu accolta anche da Tycho Brahe, che, sebbene non fosse d'accordo con la teoria eliocentrica, capì che c'era un assoluto bisogno dello sviluppo delle tecniche d'osservazione.

L'evento che sconvolse gli astronomi di quel tempo fu l'apparizione, nel 1572, di una nuova stella che sembrava più alta della luna, cosa che metteva in crisi la teoria delle stelle fisse e immutabili.

Un altro fatto fu l'apparizione di una cometa nel 1577. Le comete erano state spiegate in vario modo, ad esempio Aristotele pensava che si generassero dall'attrito fra le sfere celesti che sfregavano una contro l'altra.

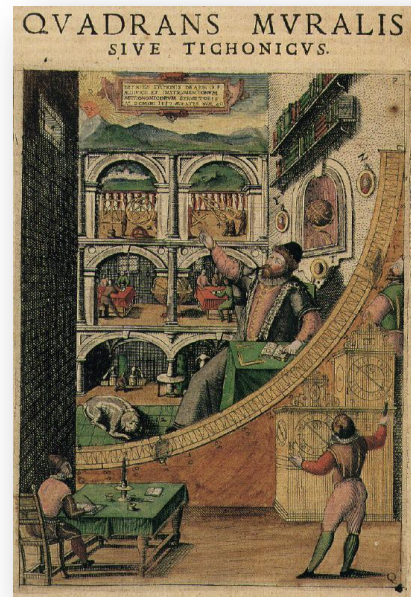
Con i nuovi strumenti e le nuove tecniche d'osservazione, si scoprì che la cometa aveva attraversato le ipotetiche sfere, e non era una scintilla statica. La scoperta pose in discussione anche l'esistenza stessa delle sfere, che era data per assodata fin da Aristotele.

Da qui nacque la difficoltà di spiegare le cause dei moti dei pianeti sulle orbite singole e slegate fra loro. Bisognava passare dalla cinematica dei pianeti alla dinamica, cioè bisognava trovare una legge che tenesse insieme tutti i corpi celesti, ma questo fu opera di Keplero e Newton.

Il ruolo di Brahe fu un altro. Per cercare le risposte a queste domande, fece costruire un osservatorio sull'isola di Hven e lo chiamò Uraniborg ("castello di Urania", la musa protettrice dell'astronomia). Era il primo osservatorio fisso mai costruito, e fu lui stesso a crearne il progetto e a coordinarne i lavori, arrivando ad una correzione degli strumenti tale che portò il margine d'errore da qualche grado a soli 2" di grado.

Egli non era d'accordo con Copernico nel rivoluzionare la struttura dell'universo, e credeva ancora nel sistema geocentrico, attaccandosi a prove antiche ormai molto deboli.

Per quanto riguarda l'esistenza delle sfere, secondo Brahe non ne esisteva nessuna, ma i pianeti (a parte la Terra) erano tutti satelliti del sole.



Quadrante a muro di Tycho Brahe

Il lascito fondamentale di Tycho è proprio Uraniborg, perché fu sui calcoli da lui compiuti nell'osservatorio che Keplero si basò per formulare la sua teoria.



KEPLERO (1571-1630)

Il genio matematico

Keplero diede un contributo matematico fondamentale alla grande "squadra". Il suo desiderio di partenza era di "penetrare la mente del Dio geometra", ed era convinto che l'universo fosse il simbolo di Dio.

Proseguì le osservazioni di Brahe quando questo morì, ricevendo in eredità da Brahe stesso tutti i dati da lui raccolti.

Utilizzando i dati di Tycho, Keplero osservò che le orbite dei pianeti non risultavano perfettamente circolari, come nel modello tolemaico. Errori così grandi nelle misurazioni erano da escludere, considerando la precisione di calcolo a cui era giunto Brahe, perciò le orbite non potevano essere dei cerchi. Giunse alla conclusione che il sole esercita una forza attrattiva in una parte della sua orbita, e nell'altra repulsiva. Fu così che Keplero scrisse le sue tre leggi, dopo varie stesure:

1. L'orbita di un pianeta è un'ellisse di cui il sole occupa uno dei fuochi.
2. Il raggio Pianeta-Sole percorre superfici uguali in tempi uguali.
3. Il rapporto tra il quadrato del periodo di rivoluzione di un pianeta e il cubo del semiasse maggiore dell'orbita è costante.

Quest'ultima fu quella più difficile da scrivere, perché implicava il trovare una legge matematica che andasse bene per tutti i pianeti, cioè che unificasse le forze agenti

nell'universo. Si stava cominciando a passare dalla cinematica dei corpi celesti alla dinamica.

Le tavole di Keplero risultarono esatte per prevedere il passaggio di Mercurio davanti al sole, avvenuto nel 1631, un anno dopo la sua morte.

Il passaggio da Copernico a Keplero e l'importanza fondamentale di ciascuno è ben illustrato da Einstein, nella sua opera *Come io vedo il mondo*:

“Copernico aveva attirato l'attenzione delle menti più elette sul fatto che si poteva avere la nozione chiara del movimento apparente dei pianeti considerando questi moti come rivoluzioni intorno al sole supposto immobile. Se il moto di un pianeta era un moto circolare uniforme intorno al sole come centro, sarebbe stato relativamente facile stabilire quale doveva essere l'aspetto di quei movimenti visti dalla terra. Ma siccome esso si manifestava con fenomeni molto più complessi, il lavoro era assai più difficile. Bisognava determinare questi movimenti dapprima empiricamente secondo le osservazioni di Brahe sui pianeti. Soltanto in seguito si poteva pensare a trovare le leggi generali alle quali questi movimenti ubbidiscono.” [*Come io vedo il mondo*, pag 48, edizione *Grandi tascabili economici Newton*]

“Le orbite erano conosciute empiricamente, ma, da questi risultati empirici, bisognava trarre le leggi. Bisognava anzitutto stabilire una ipotesi sulla natura matematica della curva e verificarla per mezzo di enormi calcoli, i cui dati erano già conosciuti; se il risultato non concordava, fare un'altra ipotesi e verificarla di nuovo.” [*Come io vedo il mondo*, pag 51]

Il genio di Keplero stava anche nel fatto che lui viveva in un tempo in cui l'esistenza di leggi generali per i fenomeni naturali non era data per certa.

Egli ha interpretato i dati di Brahe e non è andato del tutto contro la teoria tolemaica: in fondo l'ellisse è solo una circonferenza più “schiacciata”, nella quale i due fuochi, riuniti nel centro del cerchio, si separano. È vero che l'ellisse perde ordine rispetto alla circonferenza, ma resta comunque la figura più ordinata dopo di essa. È proprio a questo fatto che Keplero si è appellato per non allontanarsi troppo dalla teoria precedente.

NEWTON (1642-1727)

Il genio fisico

È proprio partendo dallo studio delle leggi di Keplero che Newton, genio della fisica, ha fissato la teoria della gravitazione come principio universale per le forze, scoprendo che la forza di gravità che fa cadere i pesi sulla Terra è la stessa che regola le orbite dei pianeti intorno al sole.

Keplero aveva trovato il “come” dei movimenti celesti, anche se stava cercando il “perché”. Quest'ultimo è stato



genialmente trovato da Newton, grazie alla fisica.

Un aspetto della grandezza di una valida teoria scientifica è il tenere conto di tutto, anche del piccolo mondo terreno, per scoprire leggi che riguardano il grande universo. Se la legge universale valesse solo “in grande” e non sulla Terra, non sarebbe “universale”, ci sarebbe qualcosa che manca per integrare le due parti. La scoperta scientifica non distrugge quello che c’era prima (a meno che sia proprio errato), ma lo integra nella nuova teoria, ampliando il concetto. Infatti anche la teoria di Newton non fu abbandonata quando si scoprì la teoria della relatività nel XX secolo, ma venne presa come caso particolare da circoscrivere nella teoria più grande, che comunque senza la guida e l’appoggio fornito dalla teoria newtoniana non avrebbe potuto imporsi.

Lo stesso Einstein afferma, dopo aver introdotto la sua teoria della relatività:

“Ma nessuno deve pensare che la grande creazione di Newton possa essere realmente sostituita da questa teoria o da una consimile. Le sue idee grandi e chiare conserveranno sempre in avvenire la loro importanza eminente, ed è su di esse che fondiamo ogni nostra speculazione moderna sulla natura del mondo.” [Come io vedo il mondo, pag 79]



CARTESIO (1596-1650)

Il filosofo

Manca ancora un ruolo per completare la descrizione della “squadra” che partecipò alla rivoluzione scientifica, quello del filosofo.

René Descartes nacque nel 1596 ad Haye, in Francia e studiò in un prestigioso collegio gesuitico.

Uscito dalla scuola, Cartesio voleva trovare il fondamento di tutte le certezze riguardanti la vita reale: gli sembrava che l’unica certezza possibile potesse venire solo dalla matematica e dalla geometria.

Il ragionamento geometrico cominciava da verità stabilite, mentre nella vita quotidiana si partiva da assunti adottati dall’infanzia, senza riflessione. Per verificare tali affermazioni era necessario dubitare di qualsiasi presunta verità; così sarebbero sopravvissute solo le verità genuine.

Descartes si mise perciò a dubitare di tutto, e giunto alla propria esistenza trovò una certezza: “Cogito, ergo sum”. Il fatto stesso di pensare è il presupposto della mia esistenza. Dopo aver ipotizzato l’esistenza di un genio maligno che ci inganna anche sulle certezze matematiche, la confutò con l’esistenza di un Dio buono: poiché ognuno era in grado di concepire un essere perfetto – Dio – e un tale concetto di perfezione non poteva avere origine da una mente imperfetta, Dio doveva esistere veramente.

Un tale essere, proprio in quanto perfetto, non avrebbe potuto dotare Descartes di un intelletto manchevole e illogico (come aveva ipotizzato con il genio maligno).

Secondo Cartesio il mondo naturale è un'immensa macchina, un enorme meccanismo in cui tutto può essere spiegato con cause naturali, meccaniche, fisiche e con poche leggi fondamentali, escludendo così ogni intervento sia magico che soprannaturale.

Queste leggi sono tre: il principio di conservazione, per cui la quantità di moto rimane costante; il principio di inerzia, per cui ogni cosa persevera nel suo stato se non interviene una causa esterna a farla cambiare; infine il principio per cui ogni cosa tende a muoversi in linea retta. Questi semplici principi erano in realtà molto importanti per il modello di universo che si stava affermando. Nella visione cosmologica cartesiana tutto quello che esiste si è formato a partire da una materia omogenea primordiale, nella quale Dio ha impresso una quantità di movimento destinata a conservarsi inalterata nel tempo. Subito dopo, materia e movimento hanno prodotto una serie di vortici, che col tempo hanno formato le stelle, i pianeti, la terra e tutto quello che su di essa esiste. Intorno al Sole, posto in posizione centrale secondo il modello di Copernico, girano i pianeti trasportati dai rispettivi vortici di materia elementare.

L'altro grande contributo di Cartesio è l'invenzione del piano detto, appunto, cartesiano.

Una descrizione chiara delle conseguenze di tale invenzione si può trovare nelle parole di Einstein tratte dal libro *Come io vedo il mondo*:

“È Descartes che ha introdotto per primo questo concetto [dello spazio come continuo] descrivendo il punto-spazio per mezzo delle sue coordinate: solo allora vediamo apparire le forme geometriche come porzioni di spazio infinito, concepito come continuo a tre dimensioni. La grande superiorità della teoria cartesiana non consiste soltanto nel fatto d'aver messo l'analisi al servizio della geometria. Secondo me, il punto capitale è questo, la geometria dei greci dà la preferenza a certe forme (retta, piano); altre, per esempio l'ellisse, non le sono accessibili se non in quanto costruite o definite con l'aiuto di forme come il punto, la retta e il piano. Invece nella dottrina cartesiana tutte le superfici, ad esempio, sono equivalenti per principio e la preferenza nell'edificio geometrico non è deliberatamente accordata alla forma lineare.” [pag. 83]

CONCLUSIONE II PARTE

Dopo aver analizzato questa seconda tappa fondamentale per lo studio dell'universo, la rivoluzione scientifica de XVII secolo, si possono fare due osservazioni.

- Una teoria rivoluzionaria non nasce esclusivamente dall'estro di un solo individuo né è sufficiente un'intuizione improvvisa per formularla con precisione ed esattezza. Essa infatti è il frutto di un lungo procedimento al quale partecipano molti uomini, ciascuno dei quali fornisce un contributo significativo in un aspetto particolare di studio (Cartesio come filosofo, Newton come fisico...).
- In questa fase si assiste ad un primo cambiamento di orizzonti: alla terra viene negata la posizione centrale nel mondo, e gliene viene attribuita una fisicamente più marginale, dipendente dal sole.

RIVOLUZIONE SCIENTIFICA '900

Dai nuovi pianeti al Big Bang

Dopo che la teoria eliocentrica venne accettata, le osservazioni astronomiche si intensificarono, e grazie alla legge di gravitazione universale era possibile confrontare con l'osservazione i calcoli teorici ottenuti con la matematica e la fisica. Questi due rami della scienza (astronomia e fisica) trovavano sempre più punti di contatto, tanto che nel secolo scorso nacquero nuovi tipi di scienza e nuovi metodi di osservazione del cielo.

TRE NUOVI CORPI CELESTI

Contribuirono ad allargare la visione del sistema solare le scoperte dei tre pianeti mancanti del sistema solare conosciuto oggi.

Nel 1781 Herschel, un astronomo, fisico e musicista britannico di origine tedesca, osservando il cielo con un suo telescopio, scoprì un oggetto sconosciuto, il pianeta **Urano**, il primo pianeta ad essere scoperto dopo i 6 conosciuti già dai greci.

Studiando l'orbita del nuovo pianeta solo con calcoli matematici, in linea con la legge gravitazionale newtoniana, risultò che Urano avrebbe dovuto seguire una certa orbita, invece, osservandola con il telescopio, vennero notate dagli scienziati delle incongruenze. Doveva esistere un altro corpo celeste che influenzava la sua orbita.

Esso venne avvistato nel 1846, e gli si diede nome **Nettuno**.

Un procedimento analogo avvenne per quanto riguarda **Plutone**: c'era ancora qualcosa che non tornava tra calcoli teorici e osservazioni nelle orbite dei due pianeti, e nel 1930 si scoprì, dopo averne teorizzato con certezza l'esistenza, l'ultimo pianeta.

Per la prima volta si era certi dell'esistenza di un corpo celeste prima ancora di averlo osservato direttamente, solo perché si erano viste le conseguenze del suo moto. Questo procedimento induttivo è analogo a quello che si segue oggi riguardo ai buchi neri e alla materia oscura.

NUOVE SCIENZE

L'interesse volto ai calcoli delle posizioni e delle orbite degli astri, più che alla sola osservazione del cielo, prese il nome di **meccanica celeste** (o astronomia di posizione).

L'astronomia stava cambiando volto.

Come nel '600 nasceva l'astronomia, con la dignità di dottrina scientifica che utilizzava il metodo sperimentale e gli strumenti adatti, così agli inizi del '900 nasceva la **cosmologia** con gli stessi connotati.

Nasceva anche l'**astrofisica**: gli scienziati iniziarono a chiedersi come sono fatti i corpi celesti, dopo che Keplero e Newton avevano scoperto rispettivamente il "come" e il "perché" dei loro moti. La sua nascita fu supportata dalle scoperte sulla luce e sugli spettri

delle onde elettromagnetiche emesse dagli astri. Esse sono l'unico strumento che abbiamo per conoscere la composizione dei corpi celesti.

UNA NUOVA UNITA' DI MISURA

Così diventò fondamentale anche il calcolo delle distanze delle stelle dalla Terra, e nel fare ciò ci si imbatté in un grande problema: la loro distanza non era misurabile con la stessa unità di misura usata per gli altri pianeti, perché le stelle erano di gran lunga più distanti. Bisognava inventarne una nuova, più adatta alle distanze calcolate: **l'anno luce**. Si era già passati dal chilometro, per misurare le distanze sulla Terra, all'unità astronomica (pari alla distanza Terra-sole: 150 milioni di km), per misurare la distanza dei pianeti dalla terra. Ora le distanze si allungavano a dismisura: l'anno luce è pari allo spazio percorso dalla luce (che viaggia alla velocità di 300000 km/sec) in un anno, che è di 10^{13} km.

HUBBLE

L'evento più importante in questo periodo avvenne nel 1923: la scoperta, da parte dell'astronomo e astrofisico statunitense Hubble, della galassia Andromeda.

Questa era dapprima considerata una nebulosa, ma quando Hubble ne misurò la distanza dalla Terra scoprì che era più lontana di qualsiasi corpo celeste presente nel nostro sistema solare. Grazie ad alcune fotografie della presunta nebulosa, Hubble individuò nella macchia luminosa 40 stelle, riconosciute come variabili Cefeidi, grazie alle quali poteva ottenere misurazioni di distanze molto accurate. Scoprì che Andromeda si trovava a quasi un milione di anni luce dalla terra, molto oltre i confini della via Lattea.

Andromeda doveva essere un'altra galassia, al di fuori del "piccolo" mondo conosciuto del sistema solare. Dopo lo spostamento di centro del '600 l'universo si ingrandiva ancora! Questa volta il contraccolpo fu forse ancora più forte, perché l'esistenza di un'altra galassia lasciava pensare all'esistenza di chissà quante altre possibili galassie! Si iniziò a migliorare gli strumenti di osservazione e a cercare di ottenere informazioni sempre più dettagliate sui corpi presenti nell'universo. Hubble stesso scoprì l'esistenza di altre galassie oltre ad Andromeda e ne riuscì a misurare la velocità, sfruttando anche le misurazioni fatte da Slipher, scoprendo che esse più sono lontane, più si allontanano velocemente dal punto d'osservazione.

Riuscì a costruire un grafico dell'allontanamento delle galassie, scoprendo che la loro velocità è direttamente proporzionale alla distanza dal sistema solare.

Questo fenomeno venne denominato redshift (spostamento verso il rosso), e lo si ha per l'effetto Doppler quando la sorgente di luce si muove allontanandosi dall'osservatore o, analogamente, quando l'osservatore si allontana dalla sorgente (cioè quando sorgente e osservatore sono in moto relativo). Il redshift consiste nello spostamento degli spettri

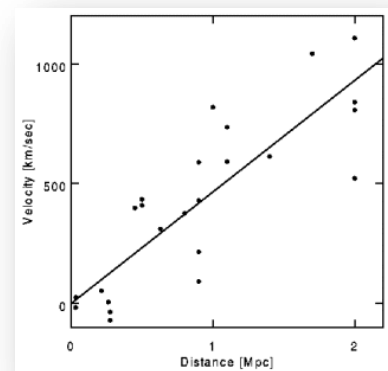


Grafico di Hubble, 1929

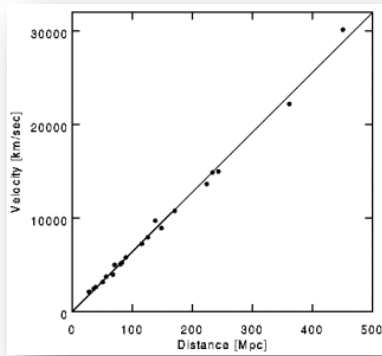


Grafico di Riess

delle galassie o supernovae in esame verso frequenze minori, in confronto con gli spettri delle galassie vicine. I cosmologi hanno interpretato questi dati come una prova dell'espansione dell'universo. Prima di Hubble, altri scienziati, come Slipher e Lemaître, fecero delle misurazioni sulle galassie che si allontanavano. Con queste misurazioni Hubble costruì il grafico, e non soltanto quello, perché dal grafico ricavò una legge, detta legge di Hubble:

$$z = \frac{H_0 D}{c} \quad (\text{Tanto maggiore è la distanza della}$$

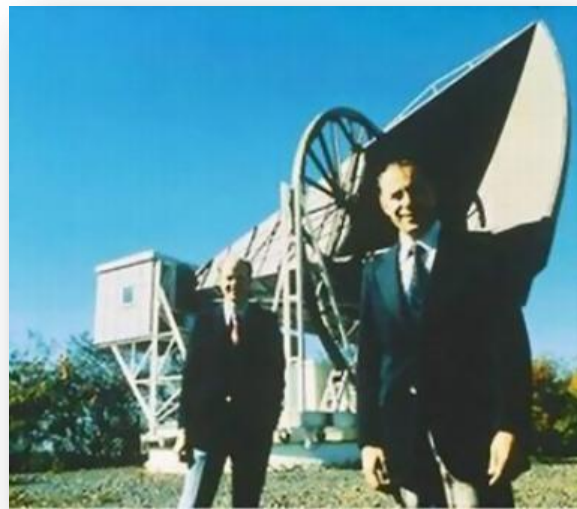
galassia e tanto maggiore sarà il suo redshift.)

Il suo grafico fu la base per gli studi successivi, e fu ampliato aggiungendo galassie sempre più lontane, che, come previsto da Hubble, proseguivano la linea retta da lui individuata, confermando la sua legge. La scommessa di Hubble sull'esistenza di una legge che spieghi l'apparente caos di galassie si rivelava vincente. Questo secondo grafico (disegnato nel 1996 ad opera di Riess) arriva a misurare la velocità delle galassie fino a un miliardo e mezzo di anni luce di distanza.

BIG BANG

Gli studi compiuti in questi anni permisero di fare ipotesi sulla nascita dell'universo: la più accreditata fu quella del Big Bang, che però necessitava ancora di una prova diretta, perché fino ad allora era stata ipotizzata per induzione (una delle motivazioni per spiegarla era proprio l'espansione dell'universo).

La prova (in realtà già predetta da Gamow trent'anni prima) si mostrò per caso il 20 maggio 1964, alle ore 11.15, agli scienziati Penzias e Wilson, che stavano lavorando con un nuovo tipo di



Penzias e Wilson davanti all'antenna a microonde

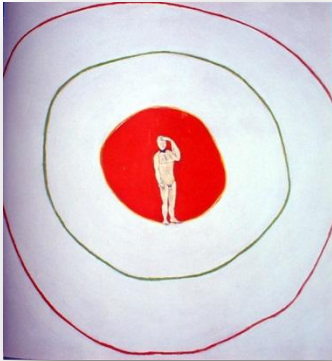
antenna a microonde. Essi avvertirono un rumore di fondo che interferiva nell'antenna. Quando videro che, perfezionando lo strumento, il fastidioso rumore rimaneva, dedussero che esso doveva provenire proprio da dove stavano puntando lo strumento, cioè dall'universo. Dato che il telescopio era puntato verso una regione buia, la radiazione non poteva essere emessa da alcun corpo celeste visibile in particolare. Questa fu identificata come "radiazione cosmica di fondo", ed era nientemeno che il rumore provocato

dall'esplosione del Big Bang, che tuttora si diffonde nell'universo. Per questa scoperta i due scienziati ottennero il premio Nobel per la Fisica nel 1978.

L'affermarsi di questa teoria comportava il fatto che l'universo non era più una scatola statica entro la quale si trovava il sistema solare insieme alle altre galassie, ma lui stesso era dotato di vita propria e si espandeva!

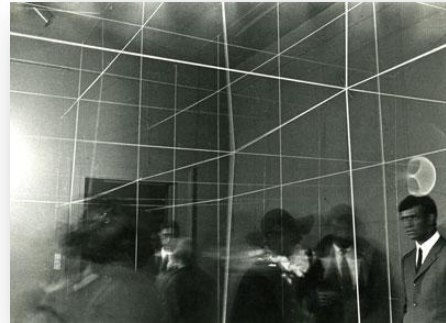
UN'ALTERNATIVA

Queste e le successive scoperte riguardanti l'universo non possono lasciare indifferenti. Hanno avuto un impatto forte anche sulle opere di alcuni artisti, due delle quali sono l'installazione "spazio elastico" di Gianni Colombo con la quale vinse la XXXVI Biennale di Venezia nel 1968 e il quadro di Ferran Garcia Sevilla



Ferran Garcia Sevilla, 1985
Acrilico su tela

esposto alla XLII Biennale d'arte di Venezia (che aveva come tema "Arte e scienza").



G. Colombo, "spazio elastico"

Un altro esempio è la premessa seconda al *Fu Mattia Pascal* di Pirandello (1904).

"(...)Siamo o non siamo su un'invisibile trottolina, cui fa da ferza un fil di sole, su un granellino di sabbia impazzito che gira e gira e gira, senza saper perché, senza pervenir mai a destino, come se ci provasse gusto a girar così, per farci sentire ora un po' più di caldo, ora un po' più di freddo, e per farci morire - spesso con la coscienza d'aver commesso una sequela di piccole sciocchezze - dopo cinquanta o sessanta giri? Copernico, Copernico, don Eligio mio, ha rovinato l'umanità, irrimediabilmente. Ormai noi tutti ci siamo a poco a poco adattati alla nuova concezione dell'infinita nostra piccolezza, a considerarci anzi men che niente nell'Universo, con tutte le nostre belle scoperte e invenzioni e che valore dunque volete che abbiano le notizie, non dico delle nostre miserie particolari, ma anche delle generali calamità? Storie di vermucci ormai le nostre. Avete letto di quel piccolo disastro delle Antille? Niente. La Terra, poverina, stanca di girare, come vuole quel canonico polacco, senza scopo, ha avuto un piccolo moto d'impazienza, e ha sbuffato un po' di fuoco per una delle tante sue bocche. Chi sa che cosa le aveva mosso quella specie di bile. Forse la stupidità degli uomini che non sono stati mai così noiosi come adesso. Basta. Parecchie migliaja di vermucci abbrustoliti. E tiriamo innanzi. Chi ne parla più?

Don Eligio Pellegrinotto mi fa però osservare che per quanti sforzi facciamo nel crudele intento di strappare, di distruggere le illusioni che la provvida natura ci aveva create a fin di bene, non ci riusciamo. Per fortuna, l'uomo si distrae facilmente.

Questo è vero. Il nostro Comune, in certe notti segnate nel calendario, non fa accendere i lampioni, e spesso - se è nuvolo - ci lascia al bujo.

Il che vuol dire, in fondo, che noi anche oggi crediamo che la luna non stia per altro nel cielo, che per farci lume di notte, come il sole di giorno, e le stelle per offrirci un

magnifico spettacolo. Sicuro. E dimentichiamo spesso e volentieri di essere atomi infinitesimali per rispettarci e ammirarci a vicenda, e siamo capaci di azzuffarci per un pezzettino di terra o di dolerci di certe cose, che, ove fossimo veramente compenetrati di quello che siamo, dovrebbero parerci miserie incalcolabili.”

Da queste righe si vede chiaramente l'esistenza di un'alternativa nell'affrontare l'indagine sull'universo: concepirsi come un “granellino di sabbia impazzito” oppure credere che noi valiamo così tanto da avere la possibilità di studiare l'universo intero, e di capirlo.

Questa seconda posizione è quella di Enrico Medi (1911-1974), che rivaluta l'uomo ponendolo come centro di coscienza e conoscenza dell'universo intero, come si nota chiaramente da questi passi tratti dall' *Inno alla creazione* e da un *discorso ai giovani* (dal quale è preso il titolo della tesina):

"Oh voi misteriose galassie, voi mandate luce ma non intendete; voi mandate bagliori di bellezza ma bellezza non possedete; voi avete immensità di grandezza ma grandezza non calcolata. Io vi vedo, vi calcolo, vi intendo, vi studio e vi scopro, vi penetro e vi raccolgo. Da voi io prendo la luce e ne faccio scienza, prendo il moto e ne fo sapienza, prendo lo sfavillio dei colori e ne fo poesia; io prendo voi oh stelle nelle mie mani e tremando nell'unità dell'essere mio vi alzo al di sopra di voi stesse e in preghiera vi porgo a quel Creatore che solo per mio mezzo voi stelle potete adorare."

"(...)L'uomo è più grande delle stelle. Ecco la nostra immensa dignità immensa grandezza dell'uomo, della vita umana. Giovani, godete di questo dono che a voi è stato dato e che a noi fu dato. Non perdetevi un'ora sola di giovinezza, perché un'ora di giovinezza perduta non ritorna più. Non la perdetevi in vani clamori, in vane angosce, in vani timori, in folli pazzie, ma nella saggezza e nell'amore, nella gioia e nella festa, nel prepararvi con entusiasmo e con speranza. Da una cosa Iddio vi protegga: dallo scetticismo, dal criticismo e dal cinismo; il giovane sprezzante di tutte le cose è un vecchio che è risorto dalla tomba. Guai se la giovinezza perde il canto dell'entusiasmo".

L'orizzonte di ricerca con il tempo si è ampliato, le domande si sono moltiplicate, e l'uomo rimane sempre colui che sa (e che vuole) cercare le risposte.

Riprendendo la domanda iniziale di questo percorso (che partiva dalla *Canzone Ad Angelo Mai*), riporto le opinioni di alcuni scienziati che hanno continuato ad indagare le misteriose leggi che governano la realtà.

Niccolò Copernico, *De revolutionibus orbium coelestium*

“Fra i molti e diversi studi delle lettere e delle arti, di cui si nutrono le menti degli uomini, stimo si debbano coltivare soprattutto, applicandovisi con grande passione, quelli che concernono le cose più belle e più degne di essere conosciute. E tali sono quelli che trattano delle divine rivoluzioni del mondo e del corso delle stelle, delle grandezze, delle distanze, del sorgere e del tramontare e delle cause degli altri fenomeni celesti, e che, alla

fine, ne spiegano l'ordinamento. **E cosa mai c'è più bello del cielo, che contiene sicuramente tutte le cose belle?"**

Planck, *La conoscenza del mondo fisico*

"La decisione di dedicarmi alla scienza fu conseguenza diretta di una scoperta, che non ha mai cessato di riempirmi di entusiasmo fin dalla prima giovinezza: **le leggi del pensiero umano coincidono con le leggi che regolano le successione delle impressioni che riceviamo dal mondo intorno a noi**, sì che la logica pura può permetterci di penetrare nel meccanismo di quest'ultimo. A questo proposito è di fondamentale importanza che il mondo esterno sia qualcosa di indipendente dall'uomo, qualcosa di assoluto. La ricerca delle leggi che si applicano a questo assoluto mi parve lo scopo scientifico più alto della vita."

Einstein, *Lettres à Mautice Solovine*

"Trovi sorprendente che io pensi alla comprensibilità del mondo come a un miracolo o a un eterno mistero. **A priori, tutto sommato, ci si potrebbe aspettare un mondo caotico del tutto inafferrabile da parte del pensiero.** Ci si potrebbe attendere che il mondo si manifesti come soggetto alle leggi solo a condizione che noi operiamo un intervento ordinatore. Questo tipo di ordinamento sarebbe simile all'ordine alfabetico delle parole di una lingua. **Al contrario, il tipo d'ordine che, per esempio, è stato creato dalla teoria della gravitazione di Newton è di carattere completamente diverso:** anche se gli assiomi della teoria sono posti dall'uomo, il successo di una tale impresa **presuppone un alto grado d'ordine nel mondo oggettivo, che non era affatto giustificato prevedere a priori.** È qui che compare il sentimento del "miracoloso", che cresce sempre più con lo sviluppo della nostra conoscenza."

CONCLUSIONE

Einstein propone una prospettiva nuova di conoscenza e di ricerca rispetto a quella esplicitata da Leopardi nella canzone *Ad Angelo Mai*, riportata nell'introduzione di questo lavoro: non un progredire verso il nulla, ma la scoperta del "sentimento del miracoloso" che genera stupore nei confronti della realtà.

Questa posizione rispetto alla conoscenza è possibile solo se si concepisce l'uomo come punto centrale di consapevolezza dell'universo, cioè, come dice Medi, "più grande delle stelle".