

DALLE NUOVE COSMOLOGIE ALLA COSMOGONIA KANTIANA¹

Incipit

Con questo intervento vorrei mostrare come si può preparare un percorso fin dall'inizio d'anno, con la collaborazione, beninteso, del Consiglio di classe.

L'idea è quella di far emergere la transdisciplinarietà più che l'interdisciplinarietà. Fino ad oggi il percorso di aggiornamento didattico ha puntato su tematiche interdisciplinari, cioè su contenuti analizzati da punti di vista diversi; ciò che si vorrebbe con la transdisciplinarietà è la movimentazione di quelle capacità-abilità che sono trasversali rispetto ai contenuti specifici. Oggi, infatti, si parla molto di recupero metodologico più che di recupero disciplinare ed allora, perché non misurare le nostre competenze di docenti in questo ambito?

L'esempio che segue, che è una relazione tenuta al Convegno di Venezia del 29/30 settembre del corrente anno, è solo un primo banco di prova che necessiterebbe di affinamenti ulteriori derivanti proprio dal coinvolgimento con i docenti di Fisica. Prima di addentrarmi nel percorso didattico assegnatomi, mi sento di dover procedere ad una precisazione intorno ai fruitori del percorso; sono gli studenti, ma l'uditorio al quale mi rivolgo è costituito dai docenti di Fisica e Filosofia. Pertanto il lavoro dovrebbe essere concordato nel Consiglio di classe con la suddivisione del lavoro tra i docenti coinvolti.

Come metodologia applicativa non mi sentirei di analizzare i singoli filosofi-scienziati, uno per uno, come esposto nel materiale didattico successivo alla mappa, in quanto gli studenti verrebbero a trovarsi in difficoltà, mancando loro un quadro organico complessivo che dovrebbe essere costruito all'indomani delle singole analisi da ognuno di loro.

Si potrebbe allora impostare il lavoro attorno a due percorsi intersecantisi, uno che proceda unitariamente attraverso la storia delle interpretazioni, l'altro che tenda a far emergere i concetti fondamentali da problematizzare; nei due casi il lavoro in classe, basandosi sui documenti testuali, potrebbe essere strutturato secondo una metodologia cara alla didattica breve che fin dal primo momento mostrasse agli studenti la mappa del territorio che si andrà poi a percorrere; in effetti è più semplice per lo studente avere fin dal primo momento il mosaico, che in un secondo tempo costui analizzerà (dalla sincretismo all'analisi), piuttosto che iniziare *ex abrupto* con una serie di analisi difficili poi da rimettere assieme in un quadro coerente.

Considero perciò migliore un itinerario che raggruppi per categorie i vari filosofi, così da dare agli studenti un'impressione di maggiore unità, come più avanti verrà esposto.

Premessa

Il problema cosmologico, nato con l'origine della stessa riflessione filosofica, si pone innanzitutto come esigenza dell'uomo di individuare le costanti del movimento; si pensi alle dispute tra eleati e parmenidei sulla realtà del movimento; sfocia così nella ricerca della natura dell'essere, e cioè di ciò che rimane fisso e costante, nonostante il movimento. Vista in quest'ottica l'astronomia dell'epoca moderna può essere letta come una ricerca di ciò che rimane immutato in questo grande scenario nel quale si ripetono queste costanti, che si chiameranno poi, leggi.

¹ in «Comunicazione filosofica» N. 6, XI 1999. Relazione presentata al Convegno del 29/30 settembre – Venezia “Le rivoluzioni scientifiche (1600-1750): nuovi saperi e nuovi linguaggi”.

Buridano, Cusano, Leonardo, Gassendi individuano i primi aspetti del principio d'inerzia nel moto dei corpi isolati che poi Galileo approfondirà per quanto attiene la fenomenologia terrestre e Newton per quanto concerne quella celeste.

La novità sta nel fatto che si oppone un unico concetto di natura, unitario, all'antico concetto di natura che continuava a dibattere il tema del dualismo tra sfere celesti, regolari nella loro invariabilità, e mondo sublunare, regno del molteplice mutante. L'astronomia fa da collante per questo passaggio di mentalità.

La storia della cosmologia è contrappuntata da una difficile ricerca di autonomia; in essa si intersecano continue interferenze con la metafisica o incessanti contaminazioni con presupposti religiosi.

Il termine cosmologia, inteso come studio dell'insieme dei corpi, ossia del mondo nella sua totalità, per la prima volta viene usato da Wolf nel XVIII secolo; in precedenza si parlava di *filosofia della natura* o di *scienza della natura* (come ad esempio nel mondo greco) intendendo con ciò la ricerca dei principi che rendono intelligibile l'ente fisico nella sua natura e nelle sue proprietà.

Usando il termine nella sua accezione più ampia, si può invece dire che il problema cosmologico sia nato con l'origine stessa della riflessione filosofica quando l'uomo ha sentito l'esigenza di precisare alcune grandezze invariabili presenti nella natura; si pensi alle dispute tra eleati e parmenidei sulla realtà del movimento, alla ricerca della natura dell'essere (cioè di ciò che rimane fisso al di sotto del mutamento).

Visto in quest'ottica, il problema cosmologico perviene anche nell'epoca moderna come ricerca di quelle costanti, cioè di ciò che rimane immutato in questo grande scenario, che permangono; pur nella varietà di comportamento, infatti, vi sono alcune ricorrenze che si ripetono stabilmente.

Una delle novità dell'epoca moderna sta nel porre un nuovo concetto di natura, unitario, all'antico concetto di natura, dualisticamente intesa, che vedeva le sfere celesti, regolari nella loro invariabilità, contrapposte al mondo sublunare, regno del molteplice mutante; è proprio l'astronomia in questo passaggio di mentalità a fungere da collante.

Kant alla fine del XVIII secolo, riprendendo il termine di Wolf, riesce ad innalzarlo a terminologia che inserisce nel vocabolario filosofico; infatti egli lo tratta in due modi, sia come cosmologia razionale, che ha per oggetto tutti i fenomeni del mondo, sia come cosmologia critica, che ha di mira la determinazione delle condizioni a priori dell'ente fisico. A questa ricerca filosofica egli associa poi anche la sua ipotesi cosmogonica, utilizzando i concetti fondamentali di moto introdotti da Newton.

La mappa del lavoro in classe potrebbero essere così espresse:

La mappa:

1. *Il mondo come essere vivente*
2. *Dalla filosofia come strumento aprioristico della cosmologia alla osservazione dei fenomeni*
3. *Il mondo come meccanismo*
4. *Dalla cosmologia alla cosmogonia*
5. *Concetti coinvolti*
6. *Riflessioni di tipo problematico*
 1. *Il mondo come essere vivente; oscillazione tra un'interpretazione filosofica, non ancora abbandonata, ed un approccio scientifico, non ancora raggiunto.*
 1. È il caso dell'epoca umanistico-rinascimentale con la sua varietà di spiegazioni: le cosiddette interpretazioni animistiche della natura:
 1. come il panpsichismo di Telesio (*De rerum natura juxta propria principia*)
 2. come il pansensismo di Campanella (*De sensu rerum* libro II c. 32)
 3. l'anima del mondo in Bruno (*Cena delle ceneri* dialogo III)

Si possono mettere in evidenza le nuove spinte pseudoscientifiche verso:

2. alchimia
 3. astrologia
 4. magia
 5. iatrochimia
 6. pratiche occulte
1. *Dalla filosofia come strumento aprioristico della cosmologia alla osservazione dei fenomeni:*
 1. Copernico, che non è un osservatore vero e proprio, ma, pur con strumenti modestissimi, mostra la validità della funzione dell'ipotesi teorica
 2. Con Galilei si ha uno spostamento dal piano teologico a quello naturalistico nel quale si possono scoprire i principi che dovranno poi essere sottoposti al procedimento sperimentale di cui la matematica è linguaggio privilegiato.
 1. si ha una definizione di scienza che scompiglia la precedente mentalità;
 2. si passa dal *perché* delle cose al *come* delle cose;
 3. inevitabilmente si prendono le distanze dalla cosmologia, in quanto a questa manca la sperimentabilità delle sue leggi; il concetto di sperimentabilità rischia di misconoscerla e di perderla come scienza.
 3. Con le osservazioni minuziose di Ticho Brahe compiute per 20 anni vengono corrette le tavole astronomiche precedenti; si fa costruire da Federico II addirittura un osservatorio astronomico in Danimarca dotato di strumenti all'avanguardia.
 2. *Il mondo come meccanismo:*
 1. Con Cartesio il mondo è regolato da leggi matematiche così come lo ha voluto Dio, realizzandolo geometricamente; noi abbiamo conoscenza certa ed evidente attraverso le idee chiare e distinte che ce lo mostrano materiale ed esteso nello spazio.
 2. Keplero; le novità:
 1. il concetto di *forza* sostituisce quello di *fine*,
 2. la *matematica* è uno strumento di conoscenza per tutte le leggi che Dio ha geometrizzato (cfr. Cartesio),
 3. la *conoscenza empirica* ha più senso di quella metafisica,
 4. il mondo è un *meccanismo*, un *orologio* lo chiama Keplero, non più un essere vivente.
 3. Newton:
 1. Il metodo è *induttivo*, dalla osservazione alla legge che serve a dare giustificazione generale del sistema mondo;
 2. procede per *generalizzazione*; la legge della gravitazione è ottenuta dalla generalizzazione della tendenza di tutti i corpi a cadere verso il basso;
 3. viene cassato il concetto di *luogo naturale* dei corpi, quello che aveva condotto Aristotele a fare della fisica dipendente dalla metafisica;
 4. si passa dal *perché* delle cose al *come* delle cose; (cfr. Galilei)
 5. non si libera totalmente della metafisica, si pensi alla concezione di Dio come garante dell'ordine universale.
 4. *Il permanere di alcuni canoni di tipo filosofico pur in questo nuovo atteggiamento scientifico:*
 1. il concetto di *nobiltà* della quiete,
 2. il concetto di *perfezione* della sfericità,
 3. l'universo possiede un *ordine*, è ordinato,
 4. c'è un'*armonia* che regola le leggi dell'universo.
 3. *Dalla cosmologia alla cosmogonia:*

1. Kant: La cosmologia è ai suoi occhi quasi una metafisica della natura, cioè come una dottrina delle determinazioni a priori degli oggetti fisici (elemento aprioristico sono i rapporti matematici e l'elemento fenomenico sono le grandezze naturali misurabili) La scienza della natura si ferma alla meccanica, ossia alla dottrina del movimento di un punto di massa, trattata nei *Primi principi metafisici della scienza della natura* e su questa i cui punti salienti sono:
 1. lo studio del movimento puro, al di là di ogni sua qualità;
 2. lo studio del concetto di materia e di forza;
 3. la legge del reale, cioè il principio di inerzia non più inteso come potenza insita nei corpi, ma alla luce delle leggi newtoniane;
 4. in quale modo si debbano concepire lo spazio e il movimento assoluti e relativi.

Kant immaginò, quindi un processo di formazione del mondo (comogonia) secondo leggi puramente meccaniche. Due presupposti sono sufficienti per spiegare la formazione delle masse dei pianeti, il loro movimento in un'orbita ellittica, la conservazione dei moti orbitali secondo la legge dell'inverso dei quadrati:

- l'attrazione gravitazionale tra corpuscoli elementari della materia,
 - il moto vorticoso di una nebulosa originaria.
 1. Laplace:
 1. la nebulosa primitiva occupava l'attuale posizione del sistema solare,
 2. era costituita da un nucleo centrale fortemente condensato, ad altissima temperatura,
 3. ruotava vorticosamente attorno ad un asse immaginario centrale;
 4. all'esterno si raffredda dando luogo sul piano equatoriale ad uno sfrangiamento a mo' di anelli;
 5. il centro è occupato dunque da un Sole infuocato;
 6. la periferia da corpi che, condensandosi, prendono la forma dei pianeti.
 7. L'anello di Saturno in piccolo riproduce ciò che è avvenuto nel sistema solare.
5. *Concetti che inevitabilmente vengono a trovarsi coinvolti:*
 1. Definizione della terminologia (cosmologia, metafisica, scienza):
 2. verifica delle connessioni tra cosmologia e metafisica; (la cosmologia ne riceve i principi generali, ne adotta il criterio esplicativo)
 3. verifica delle connessioni tra cosmologia e scienza. (leggi fisiche, verificabilità, ipoteticità, teoricità)
 4. corporeità,
 1. corpi:
 1. corpi in movimento o fermi?
 2. moto assoluto o relativo?
 3. fisico o geometrico?
 4. mondi finiti o infiniti?
 2. i corpi si muovono in un tempo:
 1. finito o infinito?
 2. reale o ideale?
 5. estensione,
 1. sua divisibilità: limitata o senza limiti?
 2. quantità discreta o continua?
 3. quale è il modo di essere dell'esteso?

6. estensione nello spazio; lo spazio è:
 1. finito o infinito?
 1. se finito si ha un mondo chiuso,
 2. se infinito si ha un mondo aperto:
 1. circonferenza e centro si possono convertire (pancentrismo bruniano)
 2. reale o ideale?
 3. euclideo o no?
6. *Riflessioni di tipo problematico* (con ricadute nella transdisciplinarietà):
 1. differenza di atteggiamento tra conservazione/innovazione (si vedano campi diversi da quello cosmologico)
 2. differenze tra aristotelismo, teologismo, scienza
 3. il concetto di verità che viene mosso dipende da un *a priori* che precede la stessa ricerca:
 1. se la verità sia un *ante rem* (valore forte della metafisica o dell'aspetto religioso)
 2. o se essa insista nell'*in re* (valore forte del concetto scientifico della ricerca)
 4. il valore della metodologia empirica in cosmologia
 5. dal concetto di "luogo naturale" alla formulazione di ipotesi
 6. il valore della metodologia ipotetico-teorica in cosmologia
 7. il valore dell'ipotesi filosofica e di quella scientifica
 8. meccanicismo/finalismo; determinismo/libertà
 9. il concetto di armonia che permane in molti degli stessi scienziati matematici

MATERIALE CONCETTUALE DIDATTICO:

Intorno a Cusano (1401-1464):

Potremmo prendere a prestito le parole di Nicola da Cusa, il Cusano, per iniziare il nostro percorso didattico laddove egli afferma (*De docta ignorantia*, l. II, cap. XI, p. 102 della edizione di Hoffmann-Klibansky, *Opera omnia*, Lipsia 1932):

E poiché noi non possiamo osservare il movimento se non in comparazione ad alcunché di fisso, ai poli od ai centri, li presupponiamo nelle misurazioni dei moti: donde ci avvediamo di sbagliare in tutte le cose procedendo per congetture e ci stupiamo allorché la posizione delle stelle non si accorda con le regole degli antichi, poiché crediamo che essi avessero concepito in maniera giusta i centri, i poli e le misurazioni.

Nell'analisi di questo passo invertiamo pure l'ordine e partendo dall'affermazione

1. *ci stupiamo allorché la posizione delle stelle non si accorda con le regole degli antichi;*

segue che:

- 1.1. i contemporanei di Cusano non rinunciavano ad osservare la posizione dei corpi celesti;
- 1.2. le loro osservazioni non si accordavano con quelle regole che gli antichi avevano fissato;
- 1.3. gli antichi, per riprendere un motto shakespeariano, erano uomini d'onore;
 - 1.3.1. infatti, diamo per buono *che essi avessero concepito in maniera giusta i centri, i poli e le misurazioni;*
- 1.4. da questa differenza tra osservazione nuova e regole antiche nasce un senso di stupore in quanto gli antichi forse erravano;
- 1.5. ma nasce anche il desiderio di cercare un nuovo modo di guardare al cielo in quanto, *procedendo per congetture*, cioè per supposizioni, *ci avvediamo di sbagliare.*

1.5.1. Infatti siccome il movimento non possiamo percepirlo indipendentemente da qualche cosa che sia fermo, allora presupponiamo che questo punto ci sia; ecco la nascita dei poli e del centro come punti fermi a cui comparare il movimento; ma questi punti fermi esistono o sono frutto di nostre presupposizioni? (tralasciamo pure per il momento il fatto che compare una concezione dello spazio di tipo relativistico, in quanto ora ci interessa meno; qualora però lo si volesse affrontare, invece di operare con la categoria della 'anticipazione', che produrrebbe la caduta in un hegelismo dove il prima è la preparazione di ciò che avverrà dopo, si potrebbe operare con il confronto tra ciò che ha detto Cusano e quanto dall'antichità ci viene. Ad esempio Virgilio dice "*Provehimur portu Terraeque urbesque recedunt*" e Cusano "*Poiché se qualcuno, stando su una nave in mezzo ad una corrente, ignorasse che l'acqua scorre e non vedesse le rive, come potrebbe sapere che la nave si muove?*" p. 103)

Dall'atteggiamento di crisi per l'evidente messa in discussione del sapere degli antichi alla spinta verso una nuova concezione del cielo il passo è breve. Poli e centro li abbiamo inventati noi come punti di riferimento che non hanno senso di per sé presi isolatamente (*non vi sono in cielo poli immobili e fissi*, p. 101); il loro senso sta nel considerarli rispetto a un luogo che potrebbe essere quello nel quale ci troviamo noi. L'universo, da ciò, potremmo concepirlo come infinito, o meglio, per usare l'aggettivo di Cusano come indeterminato (*indeterminatum*) poiché *manca di confini fra i quali venir racchiuso* (p. 100). Se poi spostassimo il centro scopriremmo che ogni punto può diventarlo a seconda del riferimento arbitrario che viene preso e perciò centro e periferia coinciderebbero (*coincidentia oppositorum*) così come in un cerchio infinitamente grande la circonferenza coincide con la tangente e in un cerchio infinitamente piccolo la circonferenza coincide con il diametro.

Che cosa ci resta da fare per Cusano? Rifugiarsi nella *docta ignorantia* che gli antichi non avevano
Combina dunque queste diverse immagini, così che il centro sia lo zenith e viceversa, e allora vedrai con l'intelletto, al quale solo la docta ignorantia viene in aiuto, che né il mondo, né il suo moto, né la sua figura possono essere compresi (p. 102) *Gli antichi non colsero le cose già dette poiché mancavano della docta ignorantia* (p. 103)

Forse Cusano non si rese conto dei problemi di ordine teologico che faceva sorgere; sarà poi il Concilio di Trento a riscontrarli e ad imputarli a Giordano Bruno e a Galilei.

Con Cusano l'uomo conquista la Terra che non è più il polo centrale attorno a cui ruota tutto; essa perde anche il suo valore simbolico-teologico di contrapposizione tra cielo-bontà e Terra-valle di lacrime o cielo, sede dell'essere immutabile e Terra regno della corruzione e del mutamento; la Terra e il Cielo si presentano agli uomini del XV secolo come oggetti tra oggetti.

Non si pensi che con Cusano non permangano alcune di quelle concezioni aprioristiche proprie dell'astronomia aristotelica; infatti egli accetta che il *moto più perfetto è quello circolare* anche se, data la imperfezione dei corpi in quanto finiti, essi possono solo avvicinarsi alla sfericità, ma mai coincidervi pienamente.

Intorno a Copernico (1473-1543):

A Copernico manca l'apparato teorico fisico che Galilei possiede per cui nella elaborazione del nuovo sistema con Copernico permangono concezioni aprioristiche di derivazione metafisico-teologica o dovute a concezioni di ordine estetico:

1. il concetto di nobiltà della quiete;

lo stato di quiete è considerato più nobile e divino del mutamento e dell'instabilità, la quale ultima conviene perciò più alla Terra che all'universo (De revolutionibus orbium coelestium, l. I, cap. VIII)

2. il concetto di perfezione della sfericità (NB: tale concezione del moto circolare viene letta da Copernico più alla luce del platonismo che dell'aristotelismo: non dipende dalla nobiltà della sostanza che compone la sfera, come afferma Aristotele, ma dalla purezza della forma, come aveva interpretato Platone, tesi lasciata poi in eredità anche ad Aristotele);

il mondo è sferico sia perché questa fra tutte le forme è la più perfetta ... sia perché tra le forme è ... quella massimamente adatta a racchiudere e conservare tutte le cose sia perché di tutte le parti separate del mondo, cioè il sole, la luna e le stelle, noi possiamo vedere che hanno tale forma (l. I, cap. I)

la mobilità della sfera consiste nel girare in circolo: con questo atto, mentre si muove per gli stessi punti, essa esprime la sua forma nel corpo più semplice, in cui non è possibile trovare principio, né fine, né distinguere l'uno dall'altro (De Revolutionibus orbium celestium, a cura di Barone, Utet, Torino 1979, p. 187)

3. è ancora un mondo finito, anche se ha un carattere di immensità (*immensum*), cioè non è misurabile, ma non è ancora infinito; noi non possiamo conoscere la dimensione del mondo.

La prima e suprema di tutte le sfere è quella delle stelle fisse, contenente se stessa e tutte le cose, e perciò immobile. Essa è infatti il luogo dell'universo al quale si riferiscono il moto e la posizione di tutte le altre stelle... Prima fra le stelle mobili viene Saturno che compie la propria orbita in trent'anni. Dopo questo Giove, che si muove con un periodo di dodici anni. Indi Marte, che gira in un biennio. Il quarto posto ...la Terra con l'orbe lunare come epiciclo. Nel quinto posto si muove in nove mesi Venere. Mercurio infine occupa il sesto, che in ottanta dì conchiude il suo giro nello spazio. Ma in mezzo a tutti sta il sole. Chi in tale bellissimo tempio metterebbe codesta lampada in un luogo diverso o migliore di quello donde possa tutto insieme illuminare?...come assiso su un trono regale, il sole governa la famiglia degli astri che gli ruotano attorno.

4. l'universo possiede un ordine, è ordinato; toglie la Terra dal centro dell'universo, la colloca in un'orbita intorno al sole, la fornisce di un moto di rotazione intorno al proprio asse e di uno di declinazione che consisterebbe in un movimento dell'asse di rotazione.

L'operazione copernicana non sarebbe nata se alla base della formazione di Copernico non ci fosse stata una posizione filosofica di tipo realista nei confronti della descrittività della natura, nonostante la presentazione immaginifica che ne fa quando parla di trono regale occupato dal sole. Era convinto che la fenomenologia dei pianeti visti dalla Terra risulta proprio quella che effettivamente si constata con la misurazione del periodo sinodico (il tempo che il pianeta impiega ad attraversare la linea che congiunge Sole e Terra per cui i tre corpi sono allineati) e del periodo siderale (il tempo che impiega un pianeta tra il primo e il secondo passaggio davanti ad una stella fissa presa come stella di riferimento). Il primo passo lo compie proprio nell'ambiente padovano, ai primi del 1550, confortato in tale concezione realista che si associa alla convinzione che la natura sia intrinsecamente semplice e un modello descrittivo può rifletterla oggettivamente se rispetta sia le esigenze di osservazione e quelle di semplicità. Il secondo passo lo compie nella misurazione della distanza dal Sole con un teorema geometrico che permette di conoscere un lato di un triangolo conoscendo due angoli e il lato compreso di un qualsiasi triangolo (l'angolo Terra-Sole è misurabile, quello Sole-Pianeta x è calcolabile, la distanza Terra-Sole è il lato tra i due angoli; da conoscere è il lato opposto all'angolo Terra-Sole).

Forse è poco noto che questo modello fu corredato di tavole astronomiche che lo resero maneggevole soprattutto per scopi pratici, di magia e di oroscopi.

Trovò la critica del protestantesimo che si oppose scagliandosi contro coloro che volevano la Terra mobile attorno al Sole.

Trovò anche chi, come il teologo Osiander (1498-1552), incaricato di curare la pubblicazione de *De Revolutionibus*, premise una prefazione non firmata, così che poteva sembrare di Copernico, nella quale scrisse:

non è necessario che queste ipotesi siano vere e persino nemmeno verosimili, ma è sufficiente solo che mostrino un calcolo congruente alle osservazioni...Poiché talvolta si offrono varie ipotesi di un dato moto, l'astronomo preferirà quella più facile da comprendere. Il filosofo magari richiederà la verisimiglianza. Nessuno tuttavia potrà comprendere o insegnare alcunché di certo se non ciò che gli è stato rivelato da Dio.

Con questa prefazione si voleva ricondurre nell'alveo della tradizione teologica anche la rappresentatività sostanziale di Copernico tramutandola in una descrittività formale.

Per una uscita interdisciplinare:

Leggere nelle primissime pagine (pp. 10-13 ed. Mondadori, Mi 1965) del *Fu Mattia Pascal* come Pirandello dipinse il copernicanesimo interpretandolo come l'origine della crisi dell'uomo contemporaneo.

Una digressione: il calendario gregoriano (1582):

Il calendario giuliano, istituito da Giulio Cesare nel 47 a.C. e che era stato adottato dal Concilio di Nicea nel 325, si fondava su 365 giorni e sei ore e stabiliva ogni quattro anni un anno bisestile. Gregorio XIII nella bolla *Inter gravissimos* corresse l'errore che si era accumulato nei secoli a causa del fatto che le sei ore non erano sei, ma dovevano essere, secondo una commissione nata dopo che Leone X aveva fatto chiedere consiglio a Copernico, cinque ore, 49 minuti e 12 secondi; dal 3 ottobre 1582 decise di passare, il giorno seguente, al 15 ottobre. Per sopprimere definitivamente l'accumulo di errore si sarebbero dovuti contare tre anni bisestili ogni 400 anni.

Fu inaugurata la regola che gli anni secolari sarebbero stati non bisestili a meno che le prime due cifre non fossero divisibili per quattro; ecco che il 1600 e il 2000 sono bisestili, mentre il 1700, 1800, 1900 no.

Intorno a Bernardino Telesio (1509-1588):

Interessante è considerare la posizione di Bernardino Telesio che nel *De rerum natura iuxta propria principia* sostiene l'autonomia della ricerca scientifica da ogni ingerenza filosofica o religiosa convinto che la natura sia analizzabile nella sua profondità attraverso il senso.

Egli ha voluto aprire la strada ad una indagine del mondo culturale che non partisse da ipotesi o figurazioni pregiudiziali ma accogliesse e registrasse ciò che il mondo stesso rivela all'esperienza umana. Il titolo della sua opera *De rerum natura iuxta propria principia* esprime appunto l'esigenza fondamentale che il filosofo prescriveva alla scienza: quella di intendere e spiegare i fenomeni naturali nei loro originari rapporti e non in rapporto ad un immaginato o supposto principio teologico. La fisica telesiana non ebbe certo molta durata anche perché pochi anni dopo Galilei diede vita a nuove ricerche che, però, per la loro richiesta di libertà da qualsivoglia presupposto dogmatico, si ispirarono probabilmente alla posizione di Telesio. La concezione dominante nella astronomia teologica medioevale sembrava aver fatto della natura un semplice strumento dell'ordine provvidenziale di Dio, e, perciò, poteva essere intesa e spiegata soltanto in questa sua subordinazione. L'indagine obiettiva e disinteressata del mondo naturale, così come la proponeva

Telesio, che poteva sembrare insensata, era invece una rivendicazione del valore fondamentale della libertà d'indagine.

Intorno a Giordano Bruno (1548-1600):

Contro la dogmatica religiosa si pose anche Giordano Bruno che, richiamando Cusano, si pose contro l'immobilità della Terra ritenendo altresì il Sole come una delle tante stelle distribuite in un universo, questa volta sì, infinito. Cusano si era fermato a definirlo *indeterminato*, Copernico *immenso*, Bruno *infinito*.

Il suo mondo, dice Lovejoy (ne *La grande catena dell'essere*) "Giordano Bruno deve considerarsi il rappresentante principale della dottrina di un universo decentrato, infinito ed infinitamente popolato".

Non è possibile giammai di trovar ragione semiprobabile per la quale sia margine di questo universo corporale e, per conseguenza ancora li astri, che nel suo spacio si contengono, siino di numero finito. (La cena delle ceneri, dialogo terzo)

Anche se permangono letture di tipo religioso laddove Bruno parla dello spazio, nell'affermazione di questa infinità è spinto ad andare oltre la religione, nella filosofia che gli dice non esserci ragione che gli astri siano in numero finito.

Pe lo spazio il suo ragionamento è circa questo: lo spazio è pieno di essere, non è vuoto in nessun luogo perché un vuoto senza nulla che lo riempisse dimostrerebbe un limite dell'azione creatrice di Dio da una parte, e dall'altra un peccato contro la ragion sufficiente. Anzi proprio perché l'azione di Dio è infinita Egli si deve *esplicare* ed *esprimersi* in un mondo infinitamente esteso; *non si glorifica Dio in un sole, ma in soli innumerevoli, non in una terra, un mondo, ma in duecento mila, dico in infiniti (De l'infinito universo e mondi, epistola dedicatoria)*. Ecco data la risposta agli scolastici medievali che negavano la possibilità di una creatura infinita proprio perché creatura (mi riferisco alla *quaestio disputata* se Dio avesse potuto creare un mondo infinito).

Circa il peccato contro la ragion sufficiente si può dire che pensando a due spazi, uno interno al nostro universo ed uno esterno, questi dovranno essere i medesimi perché è impossibile che Dio abbia trattato lo spazio interno in maniera diversa da come ha trattato quello esterno.

Possiamo più facilmente argumentare che infinito spacio sia simile a questo che veggiamo, che argumentare che sia tale quale non lo veggiamo. (De l'infinito universo e mondi)

Metodologicamente Bruno rifiuta il sensismo telesiano ed anche i rilevamenti copernicani perché la conoscenza sensibile può portare a delle conclusioni erronee in quanto essa stessa è limitata al finito e non potrebbe mai cogliere l'infinito; questo infinito va colto con l'intelletto; il concetto di infinito è proprio della sua indole, non gli è estraneo. Per questa ragione il suo prodotto non ha basi né matematiche né analisi esperienziali. Lo potremmo ravvicinare più alla tradizione magica che a quella scientifica; i suoi pianeti, infatti, dice Koyré "sono esseri animati che si muovono liberamente ed armonicamente nello spazio, come quelli di Platone e Patrizzi".

Intorno a Giovanni Keplero (1571-1631):

In bilico tra inclinazione medievale e fiducia nella scienza, lo spirito di Keplero fa prender forma ai movimenti dei pianeti per ognuno di questi sia trovando delle precise leggi matematiche formulate e codificate sia ipotizzando particolari forme geometriche nelle quali fossero iscritte le orbite dei pianeti (ottaedro per Mercurio; icosaedro per Venere; dodecaedro per la Terra; tetraedro per Marte; cubo per Giove) sia accettando la rotazione del Sole come prodotto dell'*impetus* datogli da Dio nel momento della creazione sia postulando che i movimenti dei pianeti era imputabile a cause materiali.

Non è fuori dallo spirito medievale in quanto ancora troppo legato ai concetti di 'ordine' e di 'armonia', principi che lo spingono a ricercare questo equilibrio celeste; non ne è fuori perché, come dimostra la sua vita, egli pratica gli oroscopi, attività più legata al magico che alla scienza, ne è fuori quando, assistente di Tycho Brahe, gli succede nella direzione dell'osservatorio astronomico. In lui convivono due ere che gli fanno negare l'infinità dell'universo utilizzando la stessa metodologia filosofico-metafisica che aveva indotto Bruno ad affermarla. Per Bruno era di derivazione religiosa, cioè, siccome l'azione di Dio deve essere infinita, la sua *esplicazione* deve evidenziarsi in un mondo infinitamente esteso retto dal principio di ragion sufficiente; per Keplero l'ordine e l'armonia matematica devono esplicitarsi per lo stesso principio di ragion sufficiente in un mondo finito. Infatti, posto il cielo delle stelle fisse come limite della finitudine del cielo, al di sotto di esse c'è un mondo che rappresenta uno schema geometrico; che senso avrebbe porre delle stelle al di là in un mondo infinito privo di geometria? Per il principio di ragion sufficiente non c'è ragione che Dio faccia distinzione di luoghi, trattandoli con geometrie diverse e per di più se lo spazio è infinito, per lo stesso principio di ragion sufficiente, le stesse stelle fisse nell'universo devono essere distribuite in modo uniforme ed infinito. Ma Keplero è anche uomo di scienza e quindi, rifiutando la posizione bruniana circa l'appartenenza dell'infinito al mondo intelligibile e non a quello legato all'osservazione che si ferma alla constatazione del finito, abbraccia invece il carattere empirico della astronomia come scienza, saltando quindi da una astronomia come filosofia religiosa o metafisica ad una legata alla osservabilità e alla misurabilità.

Sebbene non si possa negare la possibile esistenza di molte stelle che, sia per piccolezza, sia per la grandissima distanza, non sono scorte, tuttavia a loro cagione non può essere ottenuto uno spazio infinito. Infatti se ciascuna di esse è di grandezza finita, è opportuno che tutte insieme siano finite di numero...Così ogni numero di cose è di fatto finito proprio in quanto numero; perciò un numero finito di corpi infiniti non pone uno spazio infinito, come se fosse un coacervo prodotto dalla moltiplicazione di una moltitudine di spazi finiti ... Se lo spazio esiste a causa dei corpi collocativi... non è necessario che lo spazio, a causa dei corpi collocativi, sia infinito. E non può esservi tra due corpi neppure una linea infinita in atto. Infatti è contraddittorio essere infinito in atto ed essere limitato da due singoli corpi finiti. (Epitome astronomiae copernicanae, libro I, par.II)

Come si vede c'è in Keplero una reminiscenza della tradizione aristotelica *non può esservi tra due corpi neppure una linea infinita in atto. Infatti è contraddittorio essere infinito in atto ed essere limitato da due singoli corpi finiti*. Lo spazio in sé non è, è un non-essere che è nel momento in cui esistono i corpi ivi collocati. Eppure, poi, studia matematicamente il movimento dei pianeti trovandovi delle costanti che gli permettono anche di riconsiderare la circolarità del moto dei pianeti attorno al Sole per risolverla nell'ellisse con perielio e afelio per i pianeti e con uno dei due fuochi per il Sole.

Come in Copernico il concetto di perfezione del moto circolare viene letto alla luce del platonismo, così in Keplero la forza motrice del sole (*anima motrix* la chiama) ha una reminiscenza di metafisica platonica dove non è tanto quella che sarà la legge gravitazionale di Newton a coinvolgere nel movimento i pianeti, quanto il Sole con i suoi raggi che attraggono i pianeti.

Le novità:

- il concetto di forza sostituisce quello di fine
- la matematica è uno strumento di conoscenza per tutte le leggi che Dio ha geometrizzato
- la conoscenza empirica ha più senso di quella metafisica
- il mondo è un meccanismo, un orologio lo chiama Keplero, non più un essere vivente, animato

Intorno a Galileo Galilei (1564-1642):

Non insisterei sulle vicende personali di Galilei introno alle quali esiste una densa bibliografia, ma sul fatto che in campo cosmologico è ancora un uomo tradizionale, nel senso che allo stesso modo come gli derivava dalla tradizione ritenne i moti circolari attorno al Sole come moti naturali che non erano toccati cioè dalla legge di inerzia sulla quale ben aveva perso notti intere. Un uomo che dimostrò di non aver compreso appieno in campo astronomico come potesse essere difeso il sistema copernicano tanto che portò come prova inconfutabile il fenomeno delle maree, dovuto, a suo giudizio, dalla combinazione della velocità del moto di rivoluzione e di rotazione che si sottraggono o si sommano nel corso delle 24 ore, opponendosi a Keplero per il quale, invece, le maree derivavano dall'influsso attrattivo da parte della Luna. Per Galilei l'influsso attrattivo era meccanicamente incomprensibile.

Non mi voglio soffermare neppure sulla disputa procurata dalle quattro "lettere copernicane" (due a mons. Pietro Dini, una a don Benedetto Castelli, una alla granduchessa Cristina di Lorena) nelle quali sosteneva che i fenomeni naturali non sono questione *de fide* per cui la Sacra Scrittura, occupandosi di Dio e non della natura, non poteva essere considerata depositaria di interpretazione scientifica, ma vorrei mettere in evidenza come il problema della struttura cosmica non toccasse gli ordini religiosi (francescani, domenicani, gesuiti) essendo essi più interessati a considerare Dio come Padre degli uomini che come Creatore dell'universo; i problemi quindi che gli ordini religiosi trattavano erano più rivolti al rapporto uomo-Dio che al rapporto Cielo-Terra.

Un rilievo di contorno su cui meditare è la posizione del cardinale Bellarmino che riprese quella di Osiander nel presentare la visione di Copernico; per il cardinale la cosmologia copernicana poteva anche essere ammessa come pura ipotesi o congettura con la sola finalità di semplificazione dei calcoli astronomici, anche se sembrerebbe che fosse andato un po' al di là quando in una lettera al padre carmelitano Foscarini il cardinale Bellarmino scrisse: "dico che quando fusse vera dimostrazione che il Sole non circonda la Terra ma la Terra circonda il Sole, allora bisognerebbe andar con molta considerazione in esplicar le scritture che paiono contrarie e piuttosto dire che non l'intendiamo, che dire che sia falso quello che si dimostra". Che è, poi, la posizione ermeneutica di S. Agostino.

Un rilievo che mette in evidenza la mentalità filosofica di Galilei è la ripresa del rasoio di Ockam quando Salviati dice:

"chi vorrà credere che la natura (che pur, per comune consenso, non opera con l'intervento di molte cose quel che può fare col mezzo di poche) abbia eletto far muovere un numero infinito di corpi vastissimi e con velocità inestimabile per conseguire quello che col movimento mediocre di uno solo intorno al proprio corpo centro poteva ottenersi".

Anche se non ammette la limitazione del firmamento all'interno della sfera delle stelle fisse, e quindi propenderebbe per un universo infinito, egli non prende posizione circa la finitezza o infinità dell'universo, parendogli insolubile dal punto di vista scientifico e restando essa ancorata all'interno di una posizione prettamente filosofica; infatti:

"E non sapete voi ch'è ancora indeciso (e credo che sarà sempre tra le scienze umane) se l'universo sia finito o infinito?"

*"è tanto dubbio sapersi che né voi né altri **lo proverà** mai in eterno; e stando **su'l conietturale** e **su'l probabile**, io dirò che ... "* (lettera a Francesco Ingoli).

"Ma questa... è una di quelle questioni per avventura inesplicabili dai discorsi umani, simile fore alla predestinazione, al libero arbitrio, et ad altre, nelle quali le Sacre Pagine e le divine asserzioni sole piamente ci possono quietare" (lettera a Fortunio Liceti)

Occorre uscire dalle congetture e provarle scientificamente, oppure fermare il proprio discorso se non si hanno appoggi sperimentali.

Intorno a Cartesio (1596-1650):

Il mondo di Cartesio non è un mondo naturale, quello che cade sotto la nostra quotidianità, ma è il mondo matematico così come lo ha voluto Dio, realizzato geometricamente, del quale noi abbiamo conoscenza certa ed evidente attraverso le idee chiare e distinte. Esso è esteso nello spazio e materiale; questo spazio distinto dalla materia è un'astrazione:

Lo spazio, o il luogo interno, e il corpo che è compreso in questo spazio non differiscono che per opera del nostro pensiero (Principia philosophiae, parte II § 10); le parole luogo e spazio non significano nulla che differisca veramente dal corpo che noi diciamo essere in qualche luogo e ci indicano solamente la sua grandezza, la sua figura e come è situato tra gli altri corpi (§ 13).

In conclusione, tolto lo spazio e tolto il luogo non esiste neppure il vuoto (nega l'esistenza del vuoto come la negavano prima Aristotele poi Bruno, quindi Keplero) in quanto il vuoto è una contraddizione in termini, cioè un nulla che esisterebbe come estensione:

cioè uno spazio nel quale non c'è sostanza; è evidente che non c'è spazio nell'universo che sia tale poiché l'estensione dello spazio e del luogo interiore non è diversa dall'estensione del corpo ... e poiché non è possibile che quello che non è nulla abbia estensione, dobbiamo concludere lo stesso dello spazio che si suppone vuoto: cioè che, poiché c'è in esso estensione, c'è necessariamente anche della sostanza. (§ 16)

Il mondo non è, allora, una molteplicità di corpi separati, ma una unità (cfr. le aporie kantiane) nella quale (a mo' di Bruno) esiste un numero infinito di sistemi interconnessi. Poste così le basi dell'astronomia non ha più senso discutere di quisquillie, se cioè le stelle siano grandi o piccole, vicine o lontane; questo è un problema pratico di calcoli di osservazione partendo dal fatto che, tolto lo spazio vuoto, le stelle stanno una accanto all'altra senza fine, e perciò il mondo può dirsi *indefinito* più che infinito, ciò coinvolgerebbe questioni di ordine metafisico (la materia non può essere infinita)

Noi sapremo anche che questo mondo, o la materia estesa che compone l'universo, non ha limiti, poiché, in qualunque luogo vogliamo fingerne, possiamo ancora immaginare al di là spazi indefinitamente estesi, che non immaginiamo solamente, ma che concepiamo essere tali, in effetti, quali li immaginiamo; sì che essi contengono un corpo indefinitamente esteso, poiché l'idea dell'estensione che noi concepiamo in qualsiasi spazio, è la vera idea che dobbiamo avere del corpo. (§21).

...non bisogna cercare di comprendere l'infinito, ma solo pensare che tutto ciò in cui non troviamo nessun limite è indefinito. (§26)

Ponendo l'universo *indefinito*, Cartesio evita le discussioni sul tema di Keplero intorno alla distanza infinita tra noi e le stelle. Tutto il mondo è sostenuto da Dio che ci permette di cogliere le caratteristiche dell'universo attraverso le idee chiare e distinte; queste ultime ci confermano che il sistema planetario-solare si muove non già di un moto rettilineouniforme, come avrebbe dovuto avere per la legge d'inerzia, ma di un moto circolare a causa dei *vortici* di materia eterea (ricompare l'etere o quintessenza di Aristotele) che originano tale moto.

Lo stesso movimento viene da Cartesio rifiutato nella duplice lettura fatta e da Aristotele (come passaggio da potenza ad atto) e dai fisici (come correlazione tra spazio e tempo impiegato per percorrerlo), ma viene concepito come una prosecuzione del concetto di estensione; in effetti che cosa resta dopo aver tolto lo spazio e definito il tempo come un modo soggettivo

dell'essere? resta appunto l'estensione della materia che si muove perché Dio le diede riposo e movimento ed essa:

resta nello stato in cui è fino a che nulla la cambi (prima legge della natura); continuando a mantenere il suo movimento in linea retta (seconda legge); fino a quando non incontra un altro corpo più debole che essa possa muovere, perdendo, in questo caso, parte del suo movimento, tanto quanto ne cede (terza legge).

A Cartesio si può associare Spinoza sia per la negazione dello spazio vuoto, sia per il binomio estensione-materia, anche se fa una distinzione tra come essa è percepita dai sensi e come è rappresentata dall'intelletto. Con la sensazione cogliamo la molteplicità dei *modi* mutevoli e finiti, con l'intelletto ne cogliamo l'infinità indivisibile.

Intorno a Isaac Newton (1642-1727):

Il lavoro incominciato da Galilei intorno alle leggi generali riscontrate sulla terra, con Newton si consolida in quanto queste diventano uguali. Ciò che è fondamentalmente nuovo è un nuovo strumento, la teoria.

Fino a questo momento a partire dalla antichità lo strumento fondamentale era di natura materiale, lo gnomone con Eratostene, l'astrolabio, il cannocchiale; ora il nuovo strumento è la teoria, cioè la formulazione di un principio evidente da cui dedurre conseguenze di tipo logico (nulla di più di quanto non avesse fatto Aristotele?), a cui va legata la matematica che interpreta i dati, inserendoli in un quadro organico e generale. Ad esempio possiamo portare il principio del moto rettilineo uniforme che è verificabile nella Terra e che viene esteso a tutto l'universo; c'è un salto dall'esperienza diretta alla teorizzazione senza possibilità di verifica sperimentale per cui si interpreta la fenomenologia del cosmo secondo una nuova metodologia. È per merito di questa estrapolazione che Newton sottopone alle forze anche il moto copernicano circolare dei pianeti a cui Galilei non aveva potuto prestar fede perché non era sperimentabile e che Keplero aveva suggerito con le sue orbite ellittiche. E Newton spiegò la forza attrattiva non in termine di armonia dell'universo (cfr. Keplero) ma in termine di quantità di materia di un corpo celeste; maggiore è la quantità di materia, più forte è la sua forza attrattiva. Viene accettata, dunque, una azione a distanza che fa nascere il concetto di gravità, fenomeno che unifica cielo e Terra.

Da questa presupposizione nasce la convinzione che lo spazio in cui si muovono i corpi celesti non è né pieno di etere, né retto dai vortici cartesiani, ma è vuoto tanto che i corpi si attraggono tra loro in proporzione diretta alla loro quantità di materia e in proporzione inversa al quadrato della loro distanza. Questa teoria che riunisce sotto una sola legge cosmica tutti i fenomeni che sembrano tanto diversi (maree, traiettorie dei proiettili, moti dei pianeti, delle comete) mostra la presenza di canoni filosofici aprioristici quali unità, semplicità, generalità ed un metodo, non fare ipotesi che poi debbano essere spiegate con la metafisica.

I filosofi più recenti bandiscono la considerazione di tale causa (sta parlando della gravità causata dalla densità di materia) dalla filosofia naturale, immaginando ipotesi per spiegare tutte le cose meccanicamente, e riferendo le altre cause alla metafisica; mentre il compito principale della filosofia naturale è argomentare dei fenomeni senza immaginare ipotesi, e dedurre le cause dagli effetti, finché arriviamo alla vera Causa Prima, che certamente non è meccanica. (Ottica, libro III, questione 20)

Le qualità dei corpi non si conoscono altrimenti che per mezzo di esperimenti;...contro il progresso continuo degli esperimenti non devono essere inventati sconsideratamente dei sogni, né ci si deve allontanare dalla analogia

della natura, dato che essa suole essere semplice e sempre conforme a se stessa...Se per mezzo di esperimenti e di osservazioni astronomiche, risultasse che tutti i corpi che girano intorno alla Terra sono pesanti (e ciò in relazione alla quantità di materia in ciascuno di essi), che la Luna è pesante verso la Terra in relazione alla propria quantità di materia, e il nostro mare, a sua volta, è pesante verso la Luna, e che tutti i pianeti sono pesanti l'uno rispetto all'altro, e che la pesantezza delle comete verso il Sole è identica, allora si dovrà dire che per questa regola tutti i corpi gravitano vicendevolmente l'uno verso l'altro. (Principi matematici, Utet, pp.605-606)

Lo spazio interplanetario deve essere vuoto perché se si ammettesse il *plenum*, non si avrebbe movimento; se si ammettesse l'*etere*, esso stesso, per quanto rarefatto fosse, sarebbe sottoposto alla stessa legge di gravitazione (anche, se a dire il vero, Newton non lo rifiutò all'interno del sistema solare facendolo passare come un gas estremamente rarefatto ed elastico). Ammettendo il *plenum*, il movimento di un corpo sarebbe (cfr. Cartesio) discernibile, come moto, solo se riferito ad un punto fisso, il cielo delle stelle fisse, ma sarebbe altresì obbligato a portarsi dietro tutti i vari altri corpi esistenti nello spazio; togliendo questo *plenum*, si avrebbe la nascita di un concetto nuovo, il moto assoluto, che si accosterebbe a quello relativo:

Il moto veramente circolare di un qualsiasi corpo rotante è unico, e corrisponde a quel solo sforzo di allontanamento dall'asse del movimento, come al proprio ed adeguato effetto; i moti relativi sono invece innumerevoli conformemente alle svariate relazioni con le cose esterne...Per conseguenza, anche nel sistema di coloro che vogliono che il nostro cielo ruoti sotto il cielo delle stelle fisse, portandosi dietro i pianeti, le singole parti del cielo... si muovono di moto vero. Infatti, ...trasportati insieme con i cieli, ...tentano di allontanarsi dai loro assi. (Principi matematici, Utet, p.110)

Il moto circolare diventa un movimento *relativo* allo spazio *assoluto* per cui non è più un moto *uniforme* (così come lo avrebbe descritto la legge d'inerzia), ma diventa un moto *uniformemente accelerato*.

- Il metodo è *induttivo*, dalla osservazione alla legge, la quale serve per dare giustificazione generale del sistema mondo;
- procede per *generalizzazione*; la legge della gravitazione è ottenuta dalla generalizzazione della tendenza di tutti i corpi a cadere verso il basso;
- viene cassato il concetto di *luogo naturale* dei corpi, quello che aveva condotto Aristotele a fare della fisica dipendente dalla metafisica;
- si passa dal *perché* delle cose al *come* delle cose;
- non si libera totalmente della metafisica, si pensi alla concezione di Dio come garante dell'ordine universale.

Meccanica celeste (1700):

Eulero (1707-1783), D'Alembert (1717-1783), Lagrange (1736-1813), Laplace (1749-1827), Kant (1724-1804) con le loro opere assunsero la scienza meccanica come la vera rappresentante della struttura cosmica che inverava la fenomenologia dei corpi celesti.

Se Tommaso e Dante nel XIII secolo avevano dato una visione generale dell'universo, così avveniva nel XVIII secolo per opera dei grandi pensatori che, partendo dalla considerazione che il sapere deve essere fondato sulla scientificità, assunsero le leggi generali della meccanica come il fondamento della struttura dell'universo, per cui quest'ultimo è deterministicamente organizzato. E se Kant propose una teoria meccanica della stessa origine del cosmo, Laplace la completò

tenendo come base la rotazione della nebulosa madre. Il concetto di evoluzione faceva capolino in questo secolo e si affermerà maturo solo dopo un secolo.

Ma se in questo secolo si risolve la struttura del sistema del cosmo, contemporaneamente si riduce il sistema della conoscenza a fenomenicità, togliendole quella valenza veritativa che sia il secolo di Dante sia il secolo di D'Alembert pensavano di aver dato al mondo. Fu proprio un uomo del XVIII secolo a porre in crisi tale concezione veritativa, Kant per il quale il mondo esterno era inconoscibile come 'cosa in sé'. Per di più alcuni concetti, dibattuti nel corso dei secoli che vanno da Cusano a Newton, come finito-infinito, in quanto antinomici, precludono non solo alla filosofia, ma anche alla scienza, ogni possibilità di conoscenza dell'universo nella sua totalità. Da ciò derivava il fatto che ogni base referenziale vera della concezione del cosmo veniva a perdere di credibilità, tramutando così ogni *ipotesi* in *modello* di riferimento, utile ma non vero; aprendo così la strada alla revisione del criterio di verità e alla crisi dello stesso quinto postulato di Euclide.

Interessante è leggere Laplace, *Esposizione del sistema del mondo*, alle pagine 618-627, laddove si sofferma a fare la storia della cosmologia da Copernico a Newton; il capitolo VI e ultimo del secondo tomo, che si intitola *Considerazioni sul sistema del mondo e sui progressi futuri dell'astronomia*, contiene in brevi pagine la sua ipotesi cosmogonica:

- la nebulosa primitiva occupava l'attuale posizione del sistema solare,
- era costituita da un nucleo centrale fortemente condensato, ad altissima temperatura,
- ruotava vorticosamente attorno ad un asse immaginario centrale;
- all'esterno si raffredda dando luogo sul piano equatoriale ad uno sfrangiamento a mo' di anelli;
- il centro è occupato dunque da un Sole infuocato;
- la periferia da corpi che, condensandosi, prendono la forma dei pianeti.
- L'anello di Saturno in piccolo riproduce ciò che è avvenuto nel sistema solare.

Immanuel Kant (1724-1804):

Nella *Dissertazione* del 1770 il cui titolo suona *De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principiis*, Kant espone la sua teoria sul mondo e sulla conoscenza; mi fermerei solo sulla prima parte, che solitamente nelle classi non si affronta, perché la seconda è di ordinaria amministrazione didattica.

Nella prima sezione si trova l'esposizione della nozione *mondo*, cioè della totalità dei fenomeni, le cui parti elementari formano il concetto di materia. La materia non è né continua, né infinita; se ciò fosse, la loro spiegazione non porterebbe avvenire in quanto soggetta ad un procedimento all'infinito che va al di là della capacità della conoscenza sensibile umana. Ma non si può esprimere neppure la totalità dell'universo perché noi cogliamo solo ciò che appare e non l'in sé, per cui l'intima costituzione ci sfugge. La scienza della natura si ferma alla meccanica, ossia la dottrina del movimento di un punto di massa, trattata nei *Primi principi metafisici della scienza della natura* i cui punti salienti sono:

- lo studio del movimento puro, al di là di ogni sua qualità;
- lo studio del concetto di materia e di forza;
- la legge del reale, cioè il principio di inerzia non più inteso come potenza insita nei corpi, ma alla luce delle leggi newtoniane;
- in quale modo si debbano concepire lo spazio e il movimento assoluti e relativi.

Kant immaginò, quindi un processo di formazione del mondo (comogonia) secondo leggi puramente meccaniche. Nella sua *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* del 1775 fonda due presupposti che sono sufficienti per spiegare la formazione delle masse dei pianeti, il loro movimento in un'orbita ellittica, la conservazione dei moti orbitali secondo la legge dell'inverso dei quadrati:

1. l'attrazione gravitazionale tra corpuscoli elementari della materia,

2. il moto vorticoso di una nebulosa originaria

Viene così eliminato ogni apparato religioso-mistico-teosofico (il Dio geometra) dal problema cosmo, anche se, naturalmente, la formulazione cosmogonica di Kant non deriva da studi matematici, ma da pure intuizioni.

Da queste due congetture kantiane Laplace prenderà le mosse per formulare, in chiave meccanicistica, una teoria fisico-matematica sulla formazione del sistema solare a partire da quella nebulosa originaria kantiana.

La figura dei corpi celesti, la meccanica con cui si muovono formando un sistema del mondo, nonché i numerosi mutamenti a cui è sottoposta nel corso del tempo la loro posizione, tutto ciò è diventato una parte della scienza della natura di tale evidenza e certezza che non si potrebbe indicare nessun'altra prospettiva la quale spieghi un oggetto naturale (che sia anche solo in qualche misura accostabile a questo per complicazione) in maniera così indubitabilmente esatta e con tale chiarezza. Se si prende in considerazione ciò, non si è forse indotti a supporre che lo stato della natura in cui questa struttura ebbe inizio, e le furono per la prima volta impressi i movimenti che oggi perdurano secondo leggi così semplici e comprensibili, doveva apparire appunto assai più semplice ed essere più facilmente comprensibile della maggior parte delle cose di cui cerchiamo in natura l'origine? I motivi che rendono accettabile questa supposizione sono evidenti. Tutti questi corpi celesti sono masse sferiche e - a quanto se ne sa - prive di organizzazione e di una segreta costituzione artificiale. La forza dalla quale sono attratti è, con ogni verosimiglianza, una forza fondamentale propria della materia, e quindi non si deve né si può spiegarla. Il moto di proiezione secondo il quale essi seguono la loro traiettoria e la direzione nella quale questo impulso è stato loro comunicato costituiscono, insieme con la formazione delle loro masse, l'elemento più importante, ed anzi il solo, del quale si debba cercare le cause naturali prime. Si tratta di operazioni semplici e certamente non così complicate come la maggior parte delle altre operazioni della natura, le leggi del cui accadimento non sono di solito note con esattezza matematica, poiché esse sono invece qui dinanzi ai nostri occhi nel modo più comprensibile. Nulla può ostacolare la prospettiva di un felice successo quanto l'impressione di grandezza sconcertante che incute una porzione dell'universo quale il sistema solare, dove le cause naturali sono tutte sospette poiché la loro insufficienza sembra essere troppo rilevante e minacciare il diritto di creazione del supremo creatore. Ma non si potrebbe dir questo anche della meccanica con la quale una grande struttura del mondo, una volta formata, conserva i propri moti? Tutta la sua conservazione si riduce infatti alla medesima legge per la quale una pietra, scagliata in aria, traccia la sua traiettoria: una legge semplice, ricca degli effetti più regolari, e degna che le venga affidata la conservazione dell'intera struttura del mondo.

D'altra parte - si dirà - non si è in grado di porre in luce le cause naturali mediante cui il più comune filo d'erba viene prodotto in base a leggi meccaniche del tutto comprensibili, e ci si azzarda a dare una spiegazione dell'origine di un sistema del mondo nel suo complesso. Quale filosofo è stato mai in grado di illustrare e di esprimere in forma matematica le leggi con cui avviene la crescita e il movimento di una pianta già esistente, con la medesima certezza con cui viene posta in luce la legge alla quale si conformano tutti i moti dei corpi celesti? La natura degli oggetti è qui del tutto differente. Il grande, lo stupefacente è infinitamente più

comprensibile di ciò che è piccolo e mirabile; la formazione di un pianeta, insieme alla causa dell'impulso da cui è guidato nella sua traiettoria, si lascia spiegare, con ogni verosimiglianza, in modo molto più semplice e chiaro di un solo fiocco di neve, nel quale la disposizione regolare di una stella esagonale è assai più precisa - a quanto pare - della curva che i pianeti percorrono, e nel quale i raggi si rapportano a una superficie in maniera più precisa di quanto le orbite dei corpi celesti non facciano rispetto al loro comune piano di rotazione.

Farò qui un tentativo di spiegazione dell'origine della struttura del mondo in base a leggi meccaniche generali... E presupporrò qui la gravitazione universale della materia, seguendo Newton e i suoi successori...

I sei pianeti, insieme con i loro satelliti, si muovono in orbite che si discostano appena da un piano comune, vale a dire dal piano equatoriale prolungato del sole. Le comete percorrono invece traiettorie che se ne distaccano molto, allontanandosi in tutti i lati da questo piano di riferimento. Se ora, in luogo di così pochi pianeti o così poche comete, ve ne fossero a migliaia nel nostro sistema solare, la fascia dello zodiaco apparirebbe come una zona illuminata da innumerevoli stelle, oppure come una striscia che si perde in pallido chiarore, e in cui alcuni pianeti più prossimi brillano di una discreta luminosità, mentre i più distanti hanno, a causa della loro quantità e dell'opacità della luce, l'aspetto di una nebulosa. Infatti nel moto circolare che tutti insieme percorrono intorno al sole ve ne sarebbe, in ogni momento, qualcuno da ogni parte dello zodiaco, anche se gli altri avessero cambiato di posizione. Le comete coprirebbero invece le regioni poste da entrambi i lati di questa striscia luminosa, nel più completo disordine. Se ora, preparati da questa visione (in cui non abbiamo fatto nient'altro che moltiplicare con il pensiero la quantità dei corpi del nostro sistema planetario), volgiamo i nostri occhi verso il più vasto ambito dell'universo, possiamo realmente vedere una zona luminosa nella quale le stelle, che sono con ogni verosimiglianza a distanze molto disparate da noi, sono però ammassate su un medesimo piano assai più che altrove, mentre le regioni del cielo dai due lati sono disseminate di stelle di ogni genere. La Via Lattea, alla quale alludo, ha infatti la forma esatta di un grande cerchio - una caratteristica degna di ogni attenzione, e in base alla quale si può comprendere come il nostro sole e noi con esso ci troviamo a far parte della stessa schiera di stelle che si ammassa su un certo piano di rotazione comune. L'analogia costituisce qui un ottimo motivo per ritenere che questi soli, al cui novero appartiene anche il nostro, costituiscano un sistema del mondo che è ordinato in grande secondo leggi analoghe a quelle che regolano in piccolo il nostro sistema planetario; che tutti questi soli, insieme con i loro pianeti, abbiano un qualche centro delle loro orbite comuni e che, se non sembrano mutar luogo (anche se si è osservato realmente qualche lieve spostamento delle loro posizioni), ciò sia dovuto solamente alla loro immensa distanza e alla lunga durata delle loro traiettorie; che le orbite di questi grandi corpi celesti si svolgano anch'esse su un piano comune, dal quale non si discostano, e che le stesse le quali occupano le altre regioni del cielo in numero assai più ridotto siano simili in questo alle comete del nostro sistema solare.

In base a tale concetto, che a mio avviso presenta la massima verosimiglianza, si può supporre che, se esistono altri ordini del mondo superiori a quello cui appartiene il nostro sole - e che produce, per chi è posto al suo interno, il fenomeno della Via Lattea - alcuni di questi si dovrebbero scorgere nella

profondità dello spazio cosmico sotto forma di punti debolmente luminosi; e, se il piano di riferimento di uno di questi sistemi di stelle fisse si trovasse in una posizione obliqua rispetto a noi, ci apparirebbe come una figura ellittica che formerebbe in un piccolo spazio, ma da maggior distanza, un sistema solare come quello della nostra Via lattea. In realtà, l'astronomia ha già scoperto da tempo questi punti luminosi, anche se l'opinione che di essi ci si è fatta è molto diversa...

Vorrei che questa ipotesi fosse considerata con qual che attenzione; e non soltanto perché il concetto che da essa si ricava della creazione è straordinariamente più imponente di ogni altro (in quanto un'innunerevole schiera di soli simili al nostro forma un sistema, i cui elementi sono connessi insieme da orbite curvilinee, ma questi sistemi che sono probabilmente innumerevoli, e di cui possiamo però scorgerne soltanto alcuni, sono forse elementi di un ordine più ampio), ma anche perché l'osservazione delle stelle fisse a noi prossime, o meglio dei soli che ruotano lentamente, può forse - diretta da un tale concetto - rivelarci qualcosa che sfugge all'attenzione, in assenza di un preciso criterio di ricerca.

I pianeti si muovono intorno al nostro sole, tutti in una medesima direzione e con una deviazione minima da un piano di riferimento comune - che è l'eclittica - proprio come farebbero dei corpi trascinati da una materia che, riempiendo l'intero spazio, formasse un grande vortice intorno al proprio asse. I pianeti gravitano tutti verso il sole; e se dovessero muoversi in orbite circolari, la misura della loro proiezione tangenziale dovrebbe essere una grandezza misurata con precisione, ma dal momento che non ci si può attendere da una siffatta operazione meccanica un'esattezza geometrica, tutte le orbite deviano, anche se non di molto, da una traiettoria circolare. I pianeti sono costituiti di materie che - secondo i calcoli di Newton - hanno una densità tanto minore quanto più si allontanano dal sole, così come ognuno troverebbe naturale qualora essi si fossero formati nello spazio in cui ruotano da una materia cosmica in esso diffusa. In considerazione della tendenza per cui tutto gravita verso il sole, le materie di maggiore densità' devono avvicinarsi al sole e ammassarsi intorno ad esso più di quelle leggere, la cui caduta è ritardata a causa della loro minore densità'. Ma la materia del sole ha - secondo l'osservazione di Buffon - una densità all'incirca pari alla massa di tutti i pianeti sommati insieme; e ciò concorda con l'ipotesi della formazione meccanica, secondo cui i pianeti si sono formati a differenti altezze, da diverse specie di elementi, mentre tutti gli elementi residui che riempiono lo spazio sono precipitati, mescolati tra loro, verso il loro centro comune, ossia verso il sole.

Chi volesse attribuire questa struttura immediatamente alla mano di Dio, senza nulla concedere alle leggi meccaniche, sarebbe costretto a giustificare perché trova qui necessario qualcosa che non ammette facilmente altrove nella teoria della natura. Egli non può addurre alcuno scopo per il quale sarebbe meglio che i pianeti ruotino in circolo in una sola direzione anziché in diverse, su un solo piano di riferimento anziché su diversi piani. Lo spazio celeste è ora vuoto, e i pianeti non subirebbero alcun disturbo da tutto questo movimento. Concedo volentieri che possano esserci scopi riposti, i quali non possono essere conseguiti dalla comune meccanica e che nessun uomo scorge; ma a nessuno è lecito presupporre siffatti scopi quando egli voglia fondarvi sopra un'opinione senza però saperli

indicare. Se Dio avesse immediatamente comunicato al pianeti la loro forza impulsiva e stabilito le loro orbite, è da supporre che non recherebbero il segno dell'imperfezione e della deviazione, che si trova in ogni prodotto della natura. Se era bene che i pianeti fossero situati su un medesimo piano, si deve supporre che Dio avrebbe stabilito con esattezza le loro orbite; se era bene che avessero movimenti circolari, si può ritenere che la loro traiettoria sarebbe stata esattamente circolare - e non si può fare a meno di chiedersi perché debbano rimanere delle eccezioni rispetto alla precisione più rigorosa, in ciò che dovrebbe essere un'immediata operazione divina...

In tutte le produzioni naturali, nella misura in cui presentano armonia, ordine e utilità, si mostrano certamente alcune conformità alle intenzioni divine; ma si mostrano anche dei segni della loro origine da leggi generali, le cui conseguenze si estendono molto al di là del caso singolo; e in ogni effetto si mostrano tracce di una combinazione di leggi tali che non erano dirette semplicemente a questo singolo prodotto. Per questo motivo si trovano anche deviazioni rispetto alla massima esattezza possibile, rispetto a uno scopo particolare. Invece un atto immediatamente soprannaturale, proprio perché la sua realizzazione non presuppone le conseguenze da leggi generali della materia... si atterrebbe al disegno con la maggiore esattezza possibile...

Le considerazioni ora recate in favore di un'origine meccanica sono così importanti che anche solo alcune di esse hanno da lungo tempo indotto tutti gli scienziati naturali a cercare la causa delle orbite dei pianeti in forze motrici naturali; e ciò principalmente perché i pianeti percorrono le loro orbite nella medesima direzione in cui il sole si muove intorno al proprio asse, e le loro traiettorie giacciono così prossime al suo piano equatoriale. Newton è stato il grande distruttore di tutti i vortici... Le prove sicure e convincenti della concezione newtoniana del mondo mostravano con evidenza che nel cielo non si trova niente di simile ai vortici che dovrebbero trascinare i pianeti e che in questi spazi non c'è traccia di correnti fluide, e che perfino le code delle comete proseguono il loro movimento indisturbato trasversalmente a tutte queste orbite. Da ciò si poteva concludere con certezza che, essendo lo spazio celeste oggi vuoto o infinitamente rado, non si potrebbe trovare alcuna causa meccanica che imprima ai pianeti il loro movimento circolare. Ma saltare subito tutte le leggi meccaniche e lasciare a Dio - con un'ipotesi ardita - di immettere immediatamente i pianeti nelle loro orbite, di modo che essi si muovessero in circolo legati tra loro dalla forza di gravità, era un passo troppo lungo per poter rimanere entro l'ambito della conoscenza scientifica del mondo. Salta agli occhi che c'è ancora un caso in cui sono possibili cause meccaniche del perché di questa costituzione: se cioè lo spazio interplanetario, che oggi è vuoto, fosse stato pieno in origine, in maniera da dar luogo a un'azione reciproca delle forze motrici in tutte le parti di quest'ambito, nel quale domina l'attrazione del nostro sole.

E qui posso mostrare quale fosse quella costituzione - che è l'unica possibile - in cui si ha una causa meccanica dei moti celesti: il che è una circostanza di rilievo per la giustificazione di un'ipotesi, una circostanza della quale ci si può vantare raramente. Poiché gli spazi celesti sono ora vuoti, un tempo debbono essere stati pieni; altrimenti non avrebbe mai potuto dispiegarsi un'azione diffusa delle forze motrici che trascinano i pianeti nelle loro orbite. E questa materia diffusa dev'essersi poi raccolta nei corpi celesti; vale a dire - a considerar meglio la cosa -

questi corpi celesti stessi debbono essersi formati dalla materia originaria diffusa negli spazi del sistema solare, e il movimento che animava le particelle nello stato di separazione è rimasto loro impresso dopo l'unificazione in masse separate. Da allora questi spazi sono rimasti vuoti. Essi non contengono alcuna materia capace di comunicare l'impulso orbitale tra questi corpi celesti. Ma essi non sono stati sempre così, e noi ci rendiamo conto di movimenti di cui non si possono trovare cause naturali attuali, ma che sono il residuo dell'originario stato bruto della natura.

Pierre Simon Laplace (1749-1827):

Estende la legge fondamentale della meccanica celeste a tutti i fenomeni del sistema solare che è concepito ora come una enorme macchina celeste che non ha bisogno né di un principio metafisico né dell'intervento divino (nel *Traité de la mécanique céleste*) e progetta un'ipotesi sull'origine del mondo nella *Exposition du système du monde* che risente di una concezione deterministica come fondamento filosofico della stessa ipotesi. La sua posizione si può così descrivere:

se si conoscono le leggi fisiche che governano un sistema e contemporaneamente si conoscono le sue condizioni iniziali in un ben determinato istante, se ne possono dedurre storia passata e futura.

È chiaro che questa possibilità era solo teorica in quanto tutte le leggi che governano l'universo non sono in nostro possesso e, come dirà più avanti Heisenberg, vi sono delle relazioni di indeterminazione che non ci permettono di determinare con esattezza quanto prospettato da Laplace. Ma un bel quadro delle precedenti teorie ci è stato lasciato da Laplace:

Dopo aver mostrato attraverso quali fatiche lo spirito amano è giunto alla scoperta delle leggi dei movimenti celesti, devo ancora mostrare come si sia elevato al principio generale da cui quelle derivano.

Descartes per primo tentò di riportare alla meccanica la causa di quei movimenti. Egli immaginò dei vortici di materia sottile, al centro dei quali collocò il sole e i pianeti. I vortici dei pianeti avrebbero trascinato i satelliti e il vortice del sole i pianeti, i satelliti e i loro vortici. I movimenti delle comete, diretti in ogni senso, hanno fatto sparire questi vari vortici, come già avevano distrutto i cieli solidi e tutto l'apparato dei cerchi immaginati dagli antichi astronomi. Descartes non ebbe perciò nella meccanica celeste più fortuna di quanta ne avesse avuta Tolomeo nell'astronomia; ma i loro lavori concernenti queste scienze non sono stati inutili.

(qui si può innestare il problema della capacità dei posteri di vedere più lontano degli antichi perché stanno sulle spalle dei giganti che li hanno preceduti).

Tolomeo ci ha trasmesso, attraverso quattordici secoli d'ignoranza, le verità astronomiche trovate dagli antichi e da lui accresciute. Quando venne Descartes, il rinnovamento ad opera della scoperta della stampa e del nuovo mondo, ad opera delle rivoluzioni religiose e del sistema di Copernico, rendeva gli intelletti avidi di novità. Descartes sostituì a vecchi errori più seducenti, sostenuti dall'autorità dei suoi lavori di geometria, abbatté l'impero di Aristotile, che un filosofo più saggio difficilmente avrebbe scosso. I suoi vortici, accolti dapprima con entusiasmo, contribuirono a far accettare i movimenti della terra e dei pianeti attorno al sole, poiché su essi si fondavano. Ma, ponendo come principio che si dovesse dubitare di tutto prima di cominciare, Descartes prescrisse egli

stesso di sottoporre le sue opinioni ad un severo controllo. Il suo sistema astronomico fu ben presto distrutto dalle scoperte posteriori, che, unite alle sue, a quelle di Keplero, di Galileo, e alle idee filosofiche che ci si formò allora su tutti gli oggetti, hanno fatto del suo secolo, celebre anche per i numerosi capolavori di letteratura e di arti figurative, l'epoca più rilevante nella storia dello spirito umano.

A Newton era riservato l'onore di farci conoscere il principio generale dei movimenti celesti. La natura, dotandolo di un genio profondo, ebbe anche cura di collocarlo nelle circostanze più favorevoli....

Nel 1666 Newton, che si era ritirato in campagna, s'interessò per la prima volta di problemi riguardanti il sistema del mondo. Il peso dei corpi press'a poco eguale sulla cima delle più alte montagne e alla superficie della terra gli fece pensare che la gravità si estendesse fino alla luna, e che, combinandosi con il movimento di proiezione di quel satellite, facesse descrivere a quest'ultimo un'orbita ellittica intorno alla terra. Per verificare l'ipotesi era necessario conoscere la legge di diminuzione del peso. Newton pensò che, se la pesantezza terrestre trattiene la luna nella sua orbita, allo stesso modo i pianeti dovevano essere mantenuti nelle loro orbite dalla loro pesantezza verso il sole, e lo dimostrò attraverso la legge delle aree proporzionali ai tempi; ora risulta dal rapporto costante trovato da Keplero tra i quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti e i cubi degli assi maggiori delle loro orbite, che la loro forza centrifuga, e perciò il loro tendere verso il sole diminuisce in ragione del quadrato delle loro distanze dal centro del sole; Newton suppose dunque la stessa legge di diminuzione per la pesantezza d'un Corpo, man mano che esso s'eleva al disopra della superficie terrestre. Valendosi degli esperimenti di Galileo sulla caduta dei gravi determinò l'altezza da cui la luna, abbandonata a se stessa, scenderebbe verso la terra in un breve intervallo di tempo. Quest'altezza è il complemento dell'arco descritto dalla luna nello stesso intervallo, e che la parallasse lunare dà in parti del raggio terrestre; per confrontare con l'osservazione la legge della gravitazione Inversamente proporzionale al quadrato delle distanze, era, insomma, necessario conoscere la grandezza di quel raggio. Ma Newton, avendo allora una misura erronea del meridiano terrestre, giunse a un risultato diverso da quello che si aspettava e, immaginando che forze ignote si aggiungessero alla gravitazione della luna, abbandonò le sue idee. Alcuni anni dopo una lettera del dottor Hooke lo spinse a ricercare la natura della curva descritta dai proiettili attorno al centro della terra. Picard aveva misurato in Francia un grado di meridiano; Newton, da questa misura, dedusse che la luna era trattenuta nella sua orbita dal solo potere della gravitazione, supposta inversamente proporzionale al quadrato delle distanze. Dopo di che trovò che la linea descritta dai corpi nella loro caduta è un'ellisse, nella quale la terra occupa uno dei fuochi.

Meditando quindi sul fatto che Keplero aveva notato, in base alle osservazioni, che le orbite dei pianeti sono anch'esse delle ellissi il cui fuoco è occupato dal centro del sole, ebbe il piacere di vedere che la soluzione alla quale la sua curiosità lo aveva indotto s'applicava ai più grandi oggetti della natura...

Newton era giunto alla legge della gravitazione in base al rapporto tra i quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti e i cubi degli assi delle loro orbite, supposte circolari; dimostrò poi che questo rapporto ha generalmente luogo nelle orbite ellittiche e che indica un'uguale gravitazione dei pianeti verso il sole, se li si

suppone collocati alla stessa distanza dal suo centro. La stessa eguaglianza di gravitazione verso il pianeta principale esiste in tutti i sistemi di satelliti, e Newton la verificò sui corpi terrestri con esperimenti molto precisi, che, ripetuti più volte, dimostrano che lo sviluppo dei gas, dell'elettricità, del calore e delle affinità, nel miscuglio di più sostanze contenute in un vaso chiuso, non altera il peso del sistema né durante né dopo il miscuglio.

Generalizzando ancor più le sue scoperte, Newton fece vedere che un proiettile può muoversi lungo una qualsiasi sezione conica, in virtù di una forza diretta verso il suo fuoco e inversamente proporzionale al quadrato delle distanze; sviluppò le diverse caratteristiche del movimento in questo genere di curve; determinò le condizioni necessarie perché la curva sia un cerchio, un'ellisse, una parabola o un'iperbole, condizioni che dipendono soltanto dalla velocità e dalla posizione primitiva del corpo. Di qualsiasi valore siano la velocità, la posizione e la direzione iniziale del movimento, Newton stabilì quale sezione conica il corpo può descrivere, ossia quella lungo la quale deve di conseguenza muoversi; il che risponde al rimprovero, che gli mosse Giovanni Bernoulli, di non aver dimostrato che le sezioni coniche sono le uniche curve che possono essere descritte da un corpo sollecitato da una forza inversamente proporzionale al quadrato delle distanze. Queste ricerche, applicate al movimento delle comete, gli fecero vedere che tali astri si muovono intorno al sole secondo le leggi che sono valide per i pianeti, con la sola differenza che le loro ellissi sono molto allungate; egli diede il metodo per determinare gli elementi di quelle ellissi.

Il confronto della grandezza delle orbite dei satelliti e della durata delle loro rivoluzioni con le stesse quantità relative ai pianeti, gli fece conoscere le masse e le densità rispettive del sole e dei pianeti accompagnati dai satelliti e l'intensità della gravitazione alla loro superficie.

Osservando che i satelliti si muovono attorno ai loro pianeti press'a poco come se questi fossero immobili, trovò che tutti questi corpi obbediscono alla stessa gravitazione verso il sole. Dall'eguaglianza tra azione e reazione concluse che il sole pesa verso i pianeti, i pianeti verso i satelliti, e che anche la terra è attirata da tutti i corpi che pesano sopra di essa. Estese poi tale proprietà a tutte le parti della materia e stabilì come principio che ogni molecola di materia attira tutte le altre in ragione della sua massa e inversamente al quadrato della sua distanza dalla molecola attirata...

Giunto a questo principio, Newton ne vide derivare i grandi fenomeni del sistema del mondo. Considerando la gravitazione alla superficie dei corpi celesti come la risultante delle attrazioni delle singole molecole, trovò una notevole e caratteristica proprietà della legge d'attrazione inversa al quadrato delle distanze: due sfere formate da strati concentrici e di densità variabile secondo una qualsiasi legge, s'attraggono reciprocamente come se le loro masse fossero riunite ai loro centri; i corpi del sistema solare agiscono, perciò, press'a poco come altrettanti centri di attrazione gli uni sugli altri, e anche sui corpi collocati alla loro superficie, risultato che contribuisce alla regolarità dei loro movimenti e che fece riconoscere all'illustre geometra la gravità terrestre nella forza mediante la quale la luna è trattenuta nella sua orbita. Dimostrò che il movimento di rotazione della terra ha dovuto appiattirla ai suoi poli e determinò le leggi della variazione dei gradi dei meridiani e della gravitazione alla sua superficie. Vide che le attrazioni del sole e della luna fanno nascere e conservare nell'oceano le

oscillazioni che si osservano sotto il nome di flusso e riflusso del mare. Riconobbe che molte ineguaglianze della luna e il movimento retrogrado dei suoi nodi sono dovuti all'azione del sole. Considerando poi il rigonfiamento dello sferoide terrestre all'equatore come un sistema di satelliti aderenti alla sua superficie, trovò che le azioni combinate del sole e della luna tendono a far retrocedere i nodi dei cerchi che descrivono attorno all'asse della terra, e che tutte queste tendenze, comunicandosi alla massa intera di essa, devono produrre nell'intersezione del suo equatore con l'eclittica la lenta retrogradazione che si dice precessione degli equinozi. La causa di questo fenomeno, dovuto all'appiattimento della terra e al movimento retrogrado impresso dall'azione del sole ai nodi dei satelliti, cose che Newton per primo fece conoscere, non poteva perciò essere prima immaginata. Lo stesso Keplero, spinto da una vivace immaginazione a spiegare tutto con ipotesi, s'era trovato costretto a confessare a questo proposito la vanità dei suoi sforzi.

Ma, eccettuato ciò che concerne il movimento ellittico dei pianeti e delle comete, l'attrazione dei corpi sferici, il rapporto delle masse dei pianeti accompagnati da satelliti con quella del sole, tutte queste scoperte sono state soltanto abbozzate da Newton. La sua teoria della figura dei pianeti è limitata dall'ipotesi della loro omogeneità. La sua soluzione del problema della precessione degli equinozi, per quanto molto ingegnosa, e malgrado l'apparente accordo del suo risultato con le osservazioni, è difettosa sotto molti punti di vista. Tra le numerose perturbazioni dei movimenti celesti Newton ha preso in esame solo quelle lunari, e anzi la maggiore di essere, l'evezione, è sfuggita alle sue ricerche. Egli ha ben stabilito l'esistenza del principio che ha scoperto; ma lo sviluppo delle conseguenze e dei vantaggi che se ne traggono è stato opera dei suoi successori. L'imperfezione del calcolo infinitesimale, allora appena iniziato, non gli ha permesso di risolvere completamente i difficili problemi che presenta la teoria del sistema del mondo, ed è stato spesso costretto a dare soltanto delle indicazioni, sempre incerte sin quando non siano verificate da un'analisi rigorosa. Tuttavia, nonostante questi inevitabili difetti, l'importanza e la generalità delle scoperte circa il sistema del mondo e circa i punti più interessanti della fisica matematica, un gran numero di intuizioni originali e profonde che sono state il germe delle più brillanti teorie dei geometri dell'ultimo secolo, tutto questo, presentato con molta eleganza, assicura ai Principi la superiorità sulle altre produzioni dello spirito umano.

Per la scienza non è come per la letteratura. Quest'ultima ha dei limiti che un uomo di genio può raggiungere quando adopera una lingua perfezionata. Lo si legge con lo stesso interesse a qualsiasi epoca, e la sua fama, lungi dal diminuire col passare del tempo, aumenta in seguito ai vani sforzi di coloro che cercano di eguagliarlo. Le scienze, invece, sono senza limiti come la natura; si accrescono all'infinito per i lavori di generazioni successive; l'opera più perfetta, elevandole a un'altezza da cui ormai non possono più scendere, dà nascita a nuove scoperte e prepara così opere che dovranno farla dimenticare. Altre opere presenteranno sotto un punto di vista più generale e più semplice le teorie esposte nei Principi e tutte le verità che essi hanno fatto scaturire; tuttavia essi resteranno come monumento della profondità del genio che ci ha rivelato la massima legge dell'universo.

I Principi e la non meno originale Ottica dello stesso autore uniscono al merito delle scoperte quello di essere i migliori modelli che ci si possa proporre nelle

scienze e nell'arte delicata di fare gli esperimenti e di sottoporli al calcolo. Vi si vedono le più felici applicazioni del metodo che consiste nell'elevarsi attraverso una serie d'induzioni, dai fenomeni alle cause, e nel ridiscendere poi dalle cause ai fenomeni in tutti i loro dettagli.

Le leggi generali sono impresse in tutti i casi particolari; ma sono complicate in essi da tante circostanze estranee che spesso è necessaria l'abilità più sottile per scoprirle. Bisogna scegliere o far scaturire i fenomeni più adatti al proprio scopo, moltiplicarli variando le circostanze ed osservare ciò che hanno di comune. Ci si eleva così a rapporti sempre più ampi e si giunge infine alle leggi generali la cui verifica si ottiene sia attraverso prove o esperienze dirette, quando ciò è possibile, sia esaminando se esse soddisfano a tutti i fenomeni noti.

Questo è il metodo più sicuro che possa guidarci nella scoperta della verità.

(Problema del metodo)

Nessun filosofo gli è stato più fedele di Newton; nessuno ha posseduto ad un grado più alto quel felice intuito, che, facendo discernere negli oggetti i principi generali che essi celano, costituisce il vero genio delle scienze: intuito che gli fece riconoscere nella caduta d'un corpo il principio della gravitazione universale. (Esposizione del sistema del mondo, V, v, in Opere, pp. 618-19, 620-21, 622-23, 624-27)

Bibliografia:

- Alexandre Koyré, *Dal mondo chiuso all'universo infinito*, Feltrinelli, Milano 1970;
Alberto Masani, *La cosmologia nella storia*, La Scuola, Brescia 1996;
Antonino La Russa, *Dal cielo antico all'universo macchina*, Canova, Treviso 1994 (Antologia di passi con presentazione ed esercizi);
Clementina Ferrandi, *Filosofia e scienza*, vol 2°, Il capitulo, Torino 1991 (Antologia di passi con presentazione e con proposte di riflessione, nonché discussione dei concetti);
Paolo Casini, *Filosofia e fisica da Newton a Kant*, Loescher, Torino (letture e presentazioni concise);
Dario Rei, *La rivoluzione scientifica*, SEI, Torino 1973 (anche se è una vecchia antologia di passi scelti, essa è utile per il numero di documenti che presenta).