

STORIA DELLA SCIENZA
PROF. MARCO BRESADOLA

DISPENSE CON TESTI DEGLI AUTORI – I PARTE*

* NB I riferimenti di pagina e capitolo con l'indicazione Rossi rimandano al manuale del corso: P. Rossi, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Roma-Bari, Laterza, 1997 ed ediz. Succ.

LA NASCITA DELLA SCIENZA MODERNA (XVI-XVII SECOLO): UNA VISIONE D'INSIEME

- Il carattere europeo
- I luoghi
- Il contesto sociale e politico
- Le novità principali rispetto alla scienza precedente:
 - La fisica
 - Caduta dei corpi
 - La velocità di caduta
 - Il moto e la quiete dei corpi

“La scienza moderna non è nata sul terreno della generalizzazione di osservazioni empiriche, ma su quello di un’analisi capace di astrazioni” (Rossi, p. 7)

- La cosmologia e l’astronomia
 - La forma dell’universo
 - Le due regioni dell’universo: natura, materia e moto
 - Cosmologia aristotelica, astronomia tolemaica e filosofia scolastica
- Il valore della tecnica
 - Arti meccaniche e arti liberali (scienza e opinione)
 - La concezione del sapiente
 - La rivalutazione della tecnica: Giorgio Agricola e il cannocchiale di Galileo

“Alla radice della grande rivoluzione scientifica del Seicento sta quella compenetrazione fra tecnica e scienza che ha segnato (nel bene e nel male) l’intera civiltà dell’Occidente” (Rossi, p. 13)

Georg Bauer (Giorgio Agricola) e la promozione della tecnica

GEORGIUS AGRICOLA (1494-1555) fu un uomo di vasta cultura e di molteplici interessi. Nativo di Glauchau, in Sassonia, studio' medicina a Bologna, con Berengario da Carpi, a Ferrara e a Padova, e tra il 1525 e il 1526 fu a Venezia, presso la stamperia di Aldo Manunzio, dove collaboro' all'edizione dell'opera di Galeno. Agricola conobbe Erasmo da Rotterdam, consulente editoriale dei fratelli Froben, noti stampatori e suoi futuri editori. Al suo ritorno in Patria, sul finire del 1526, si stabilì a St: Joachimsthal, dove assunse la carica di medico e farmacista. La ricchezza mineraria del nativo Erzgebirge fece nascere in lui un forte desiderio di approfondire la conoscenza dei minerali utilizzati come medicinali, e quindi si dedico' con grande passione allo studio diretto dei minerali, delle tecniche minerarie e della lavorazione dei metalli, di cui divenne insuperato maestro. Le sue conoscenze in gran parte ricavate dall'esperienza e dall'osservazione diretta degli oggetti naturali e degli impianti tecnici, sono esposte in maniera brillante in due opere, il "Bermannus" ed il "De re metallica". Il "Bermannus" (1530) e' la prima opera importante di Agricola ed e' dedicata all'identificazione dei minerali citati dagli antichi, confrontandoli con quelli rinvenuti nelle numerose miniere che egli aveva visitato. Scritta in latino sotto forma di dialogo, l'opera puo' essere considerata una sorta di esercizio preparatorio alla monumentale edizione del "De re metallica". Il "De re metallica" (1556) e' l'opera che ha reso noto Agricola in tutto il mondo, e puo' essere considerato come il primo trattato nel campo delle miniere e della metallurgia. L'opera e' particolarmente nota sia per il suo valore culturale, preminente nell'ambito della storia della scienza e della tecnica del XVI secolo, sia per la spettacolare presenza di oltre 290 xilografie, che illustrano lo sviluppo delle tecniche minerarie e metallurgiche raggiunto in quei tempi in Europa. Nel "De re metallica" Agricola espone in maniera sistematica le proprie osservazioni sui giacimenti minerari, le tecniche per la loro ricerca, la coltivazione ed il trattamento metallurgico dei minerali prodotti; senza porsi come inventore di nuovi procedimenti e dispositivi, Agricola illustra il macchinario particolarmente progredito in uso nelle miniere dell'Erzgebirge, dalle macchine per l'eduzione delle acque e per l'estrazione del minerale ai sistemi di ventilazione, dai procedimenti e dalle tecniche dell'arricchimento dei minerali alle attrezzature e le metodologie metallurgiche e di raffinazione dei metalli preziosi.

2. *Giorgio Agricola: difesa dell'arte dei metalli.*

Molti pensano che l'arte dei metalli si fondi esclusivamente sul caso e che sia qualcosa di vile o almeno un'attività per cui si richieda più fatica che abilità tecnica e perizia. A me tuttavia, non appena ne esamino le varie parti che la compongono e vi rifletto sopra, sembra che le cose stiano in modo completamente diverso. Poiché è necessario che colui che si occupa dei metalli sia esperitissimo del suo lavoro onde sappia, prima di tutto, quale monte o quale colle o quale luogo di una valle o di un campo possa essere scavato con utilità. Inoltre gli devono essere note le vene, le fibre e le connesure dei minerali. Deve conoscere a fondo le molteplici e varie specie di terre, di liquidi, di pietre preziose, di pietre comuni, di marmi, di sassi, dei metalli e dei vari composti: in seguito dovrà aver presente ogni metodo per guidare e attuare qualsiasi tipo di lavoro sottoterra. Egli deve essere in possesso infine delle varie tecniche per procurarsi i vari materiali, per riconoscerli mediante esperimenti e per prepararli alla cottura che è diversa da caso a caso. L'oro e l'argento infatti vogliono un tipo di cottura, il bronzo un altro tipo e un altro tipo ancora l'argento vivo oppure il ferro o il piombo e anche in quest'ultimo caso le cotture sono diverse a seconda che esso sia bianco e color cenere oppure nero [...] E la cottura di nuovo non è semplice, infatti un tipo di cottura richiede il sale, un altro il salnitro, un altro l'allume, un altro il vetriolo nero, un altro lo zolfo e un altro ancora il bitume.

Il perito metallico inoltre deve essere esperto di molte arti e discipline. Innanzi tutto di filosofia affinché conosca il sorgere, le cause e la natura dei fenomeni e delle

cose che stanno sotto terra; così infatti potrà giungere a scavare le vene attraverso una via più facile e comoda e dai materiali estratti potrà ricavare un frutto maggiore. In secondo luogo deve essere esperto in medicina, affinché possa provvedere a che scavatori e altri operai non cadano ammalati di quelle malattie che per loro, più delle altre, sono facili a prendersi: oppure in modo che egli stesso li curi qualora si ammalinino, o si preoccupi che li curino i medici nel modo dovuto. In terzo luogo deve essere esperto di astronomia per poter conoscere le parti del cielo e da esse giudicare l'estensione delle vene. In quarto luogo deve conoscere la disciplina delle misure per poter misurare a quale profondità vada scavato il pozzo [...] Deve intendersi anche della disciplina dei numeri per poter calcolare le spese che richiedono i macchinari e gli scavi. Poi deve intendersi di architettura per poter fabbricare egli stesso le diverse macchine e le costruzioni sotterranee o piuttosto per poter spiegare ad altri il modo di costruirle. Poi di pittura per poter formare modelli di macchine. Infine è necessario sia esperto di diritto, soprattutto di diritto delle miniere affinché non sottragga nulla agli altri e chieda per sé il giusto e si assuma il compito di dare agli altri secondo diritto. Pertanto è necessario che a coloro cui piacciono i fermi metodi e i sicuri principî dell'arte dei metalli leggano diligentemente e con attenzione questo ed altri nostri libri [...]

LA NATURA DEL SAPERE: SEGRETO O PUBBLICO?

- **Il sapere come iniziazione**
 - **La cultura antica**
 - **La cultura della prima età moderna:**
 - **I libri di segreti (medicinali, alchemici, tecnici)**
 - **L'ermetismo (Marsilio Ficino)**
 - **La cultura magico-alchemica (Cornelio Agrippa)**
 - **L'influenza della cultura magico-alchemica sui protagonisti della scienza moderna**
 - **Il carattere pubblico del sapere e la nuova immagine del sapiente**
- “Una forte opposizione al sapere segreto dei maghi e degli alchimisti emerge, prima ancora che dal mondo dei filosofi, da quello degli ingegneri e dei meccanici” (Rossi, p. 25)**

Enrico Cornelio Agrippa von Nettesheim e il sapere magico-ermetico

Enrico Cornelio Agrippa von Nettesheim nacque a Colonia nel 1486 e visse una vita errabonda, che lo portò a girare tutta l'Europa, a causa delle continue denunce di magia ed eresia che lo perseguitavano. Conclusi gli studi umanistici, si interessò di astrologia; recatosi alla corte di Margherita d'Austria, dovette fuggire per i potenti nemici che si era fatto per il suo carattere battagliero e la sua lingua pungente.

Andò a Parigi, a Londra, a Venezia, sbarcando a fatica il lunario con l'insegnamento di teologia.

Morì a Grenoble nel 1535, in estrema povertà.

Il De occulta philosophia è l'opera principale di Agrippa, pubblicata in tre libri nel 1533; una sintesi di alchimia, cabala, magia e filosofia naturale, in cui il mago viene definito "uomo saggio, sacerdote e profeta, non individuo superstizioso e demoniaco", in quanto studioso di magia, una scienza sperimentale i cui fenomeni non sono affatto trascendenti.

Cornelio Agrippa, De occulta philosophia libri tres (1531-1533), in Opera, Lugduni, s.d., I, pp. 498-99

Cfr. Rossi, cap. 2

Sul frontespizio della prima edizione dell'opera è riportato il seguente versetto del Vangelo di Matteo: "Nihil est opertum quod non reveletur, / et occultum quod non sciatur" (Non v'è nulla di nascosto che non debba essere svelato, e di segreto che non debba essere rivelato), Matteo 10, 26.

2. Agrippa: la filosofia occulta¹.

Abbiamo trasmesso quest'arte in modo che essa non rimanga occulta agli uomini prudenti e intelligenti, ma anche in modo che non ammetta ai suoi arcani i malvagi e gli increduli così che essi restino a mani vuote sotto la meschina ombra dell'ignoranza e della disperazione.

Solo per voi, figli della dottrina e della sapienza, abbiamo scritto quest'opera. Scrutate il libro, raccogliete in esso il sapere che abbiamo disperso e collocato in più luoghi. Ciò che abbiamo occultato in un luogo, l'abbiamo manifestato in un altro, affinché possa essere compreso dalla vostra saggezza. Non abbiamo scritto che per voi, che avete lo spirito puro e atto a condurre un ordine retto di vita, la cui mente è casta e pudica, di cui la fede illibata teme e riverisce Iddio, le mani sono monde di peccati e di delitti, i costumi integri. Voi soli troverete la dottrina che solo a voi abbiamo riservato. Gli arcani velati, dai molti enigmi non possono essere resi trasparenti senza l'intelligenza occulta. Se voi conseguirete questa intelligenza, allora l'intera scienza magica penetrerà in voi e a voi si manifesteranno quelle virtù già acquisite da Ermete, da Zoroastro, da Apollonio e dagli altri operatori di cose meravigliose. [...]²

Nessuno si adiri se abbiamo ritenuto opportuno nascondere la verità del nostro sapere sotto l'ambiguità

degli enigmi e disperderla qua e là nel corso dell'opera. Noi non l'abbiamo nascosta ai saggi, ma agli spiriti perversi e disonesti. Per questo abbiamo fatto uso di uno stile atto a confondere lo stolto e a pervenire facilmente all'intelletto illuminato³.

NUOVI PROTAGONISTI E NUOVI LUOGHI DEL SAPERE

- **L'invenzione della stampa e la letteratura tecnica**

- **Biringuccio e la polvere da sparo**
- **Tecnica, società e potere**

“I procedimenti degli artigiani, degli artisti, degli ingegneri hanno valore ai fini del progresso del sapere. A essi va riconosciuta la dignità di fatti culturali” (Rossi, p. 37)

- **L'ambiente delle botteghe e l'opera di Leonardo**
- **Arte e scienza nel Cinquecento: l'opera di Vesalio**

- **La riunificazione di teoria e pratica**
- **La critica al principio d'autorità**

“Nel corso del Cinquecento [avviene] uno straordinario e rapido passaggio dalle illustrazioni che hanno per oggetto il testo e sono interamente costruite su di esso a quelle che hanno per oggetto la natura” (Rossi, p. 64)

- **I viaggi d'esplorazione e il nuovo mondo (Montaigne e Acosta)**

- **Dibattito sull'origine e i caratteri dei popoli della terra**
- **Ampliamento del mondo conosciuto**
- **Limiti del sapere antico e carattere progressivo della conoscenza (vs Umanesimo)**

Vannoccio Biringuccio e la tecnica della polvere da sparo



Studioso e meccanico, Biringuccio (Siena 1480 – 1539 ca.) viaggiò in Italia e in Germania, esercitando l'arte di fonditore e di tecnico minerario. Nel 1529 fu al servizio della repubblica di Firenze, per la quale fuse il famoso cannone Liofante, e successivamente si recò a Roma, quale maestro della fonderia apostolica e dell'artiglieria papale. Nella Pirotechnia, che è uno dei maggiori testi cinquecenteschi sulla tecnica (pubblicata nel 1540, ha due edizioni latine, tre francesi e quattro italiane), per la prima volta Biringuccio fornisce una dettagliata descrizione delle principali operazioni di chimica metallurgica: dalla lavorazione dei metalli e dei minerali, alle operazioni di assaggio dell'oro e dell'argento, dalla forgiatura, alla distillazione e alla costruzione di specchi e ceramiche.

1. *Biringuccio: l'artiglieria imita il fulmine.*

Grandissima et incomparabil considerazione è, se dalli Demonii o pur a caso fu l'invenzion di colui il qual trovò di comporre la polvere che si adopra alle artiglierie. Perché a tal invenzione tutti li uomini di ogni età, dalla creazion del mondo infino a quel giorno che dal proprio inventor fu messa in luce, di gran lunga ha, col suo intelletto, li altri nocivi istromenti sopravanzato. Là ove tanti dottissimi, anzi divini intelletti d'ogni sapere et potere abili, sonsi ritrovati che (per ben ch'abbino con lor vigilie non solo risuscitato et trovato nuove scienze et arti) hanno ancora avuto notizia di tutte le cose naturali che sono state et sono al mondo comprensibili, decrescendo al centro della terra et sagliendo insino alla forma del cielo, alli angeli et insino a Dio con loro ingegni sono trasportati, et vi hanno havuto quella vera et certa cognizione, come se per tutto corporalmente stati fussero: fra quali cerchisi pur, non si trova che tanta grandezza d'effetto como questa dimostri, né ancho pur di gran lunga ch'a questa certamente sian accostati¹. Atteso che con l'operazione di essa si rappresentano li più formidabili effetti del cielo con li quali ben spesso (con

eccessivo danno et offesa delli uomini) si provano², come se in quelli fussero repentini folgori o spaventosi terremoti. Perché (come si vede) con le loro forze percuotensi gli edifici che di artificiose strutture fatti sono per resistere a ogni violenza, et con questo mezzo finalmente senza repugnanza sottopongono. Et ancho li monti al voler delli uomini con tal mezzo non solo s'aprono, ma voltano le radici sottosopra: tal che nissuna cosa terrena è che dal potente vigore di questa vinta o grandemente offesa non sia. Per il che (come ogni giorno si vede) per questa or si piglia causa³ di far varie machine di metalli et altre cose d'adoperarla rinchiusa, et or cave sotterranee (non per altro che per poter meglio li suoi nocivi effetti a destruzioni delli uomini et delle lor cose adoprare) tal che, chi ben considera, vedrà esser più nociva alla vita delli uomini questa fatta dall'arte, che li mortiferi veneni in tanti animali, et erbe, et in tant'altre cose dalla natura prodotte.



Leonardo e l'ambiente delle botteghe

Nato a Vinci (Firenze) nel 1452, figlio naturale del notaio Piero e di una contadina, fu accolto in casa del padre che non aveva avuto figli legittimi dai primi due matrimoni. Dal 1467 al 1476 approfondì la sua formazione artistica presso la bottega del Verrocchio a Firenze, interessandosi anche di matematica, meccanica e ingegneria. Nel 1482 fu chiamato a Milano da Ludovico il Moro come scultore e fonditore; durante il soggiorno milanese si occupò degli allestimenti scenici per gli spettacoli teatrali della corte, oltre a dipingere alcuni dei suoi capolavori (la Vergine delle rocce e l'Ultima cena). Dopo la caduta di Ludovico nel 1499, Leonardo lavorò presso varie corti italiane in qualità di ingegnere militare: Mantova, Venezia, Firenze, Roma. Durante questi anni dipinse capolavori come la Gioconda. Nel 1517 accettò l'invito di Francesco I a lavorare per la corte francese. Gli fu assegnato il maniero di Clos-Lucé vicino alla reggia di Amboise; trascorse gli ultimi anni come ingegnere, architetto e meccanico, immerso negli studi e tra gli onori della corte. Morì nel 1519.

Oltre agli appunti tecnici e ai progetti di trattati, Leonardo scrisse anche numerosi apologhi, aforismi e favole che testimoniano un gusto arguto e uno stile vivace. Giunto a noi grazie alla compilazione dell'allievo Francesco Melzi, che si basò sui materiali del maestro, il Trattato della pittura è la sua unica opera organica. Si tratta di un grandioso tentativo di coordinare ogni scienza, ogni filosofia, ogni riflessione sulla scienza e sulla vita all'interno dell'ottica e delle esigenze del pittore.

Leonardo, Aforismi

Cfr. Rossi, cap. 3

Matematica ed esperienza

A ciascuno strumento si richiede esser fatto colla esperienza. Ciascuno strumento per sé debbe essere operato colla esperienza ond'esso è nato.

Fuggi i precetti di quelli speculatori che le loro ragioni non son confermate dalla esperienza. ... O studianti, studiate le matematiche, e non edificate senza fondamenti.

Chi biasima la somma certezza delle matematiche si pasce di confusione, e mai porrà silenzio alle contraddizioni delle sofistiche scienze, colle quali s'impara uno eterno gridore.

Non mi legga chi non è matematico nelli mia principi.

Il ricorso all'autorità

Chi disputa allegando l'autorità, non adopra lo 'ngegno, ma più tosto la memoria.

È da essere giudicati e non altrimenti stimati li omini inventori e 'nterpreti tra la natura e gli uomini, a comparazione de' recitatori e trombetti delle altrui opere, quant'è dall'obbietto fori dello specchio alla similitudine d'esso obbietto apparente nello specchio, che l'uno per sé è qualcosa, e l'altro è niente. Gente poco obrigate alla natura, perché sono sol d'accidental vestiti, e senza il quale potrei accompagnarli in fra li armenti delle bestie.

Il libro della natura

Il moto è causa d'ogni vita.

Natura non rompe sua legge.

La natura è costretta dalla ragione della sua legge, che in lei infusamente vive.

E questa sperienza si faccia più volte, acciò che qualche accidente non impedissi o falsassi tal prova, che le sperienza fussi falsa, e ch'ella ingannassi o no il suo speculatore.

Chi nega la ragion delle cose, pubblica la sua ignoranza.

Come è più difficile a 'ntendere l'opere di natura che un libro d'un poeta.

Scienza e pratica

Quando tu metti insieme la Scienza de' moti dell'acqua, ricordati di mettere, di sotto a ciascuna proposizione, li suoi giovamenti, a ciò che tale scienza non sia inutile.

Quelli che s'innamorano di pratica senza scienza son come 'l nocchier ch'entra in navilio senza timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada.

Studia prima la scienza, e poi seguita la pratica nata da essa scienza.

Leonardo, Trattato della pittura (condotto sul Cod. Vaticano Urbinate 1270)

Quale scienza è piú utile, ed in che consiste la sua utilità.

Quella scienza è piú utile della quale il frutto è piú comunicabile, e cosí per contrario è meno utile quella ch'è meno comunicabile. La pittura ha il suo fine comunicabile a tutte le generazioni dell'universo, perché il suo fine è subietto della virtù visiva, e non passa per l'orecchio al senso comune col medesimo modo che vi passa per il vedere. Adunque questa non ha bisogno d'interpreti di diverse lingue, come hanno le lettere, e subito ha satisfatto all'umana specie, non altrimenti che si facciano le cose prodotte dalla natura. E non che alla specie umana, ma agli altri animali, come si è manifestato in una pittura imitata da un padre di famiglia, alla quale facean carezze i piccioli figliuoli, che ancora erano nelle fasce, e similmente il cane e la gatta della medesima casa, ch'era cosa maravigliosa a considerare tale spettacolo.

La pittura rappresenta al senso con piú verità e certezza le opere di natura, che non fanno le parole o le lettere, ma le lettere rappresentano con piú verità le parole al senso, che non fa la pittura. Ma dicemmo essere piú mirabile quella scienza che rappresenta le opere di natura, che quella che rappresenta le opere dell'operatore, cioè le opere degli uomini, che sono le parole, com'è la poesia, e simili, che passano per la umana lingua.

Andrea Vesalio e la nascita dell'anatomia moderna

Una biografia di Andrea Vesalio (Andreas van Wessel):

1514 nasce a Bruxelles in una famiglia di medici

Studia a Lovanio, Montpellier, Parigi e poi di nuovo a Lovanio

Si trasferisce a Padova, dove si laurea nel 1537

1537 lettore di chirurgia e anatomia a Padova

1538 pubblica a Venezia le *Tabulae anatomicae sex*

1540 tiene una funzione pubblica di anatomia a Bologna

1543 pubblica a Basilea il *De humani corporis fabrica libri septem* e l'*Epitome*

Lascia l'insegnamento per il posto di medico personale di Carlo V e poi di suo figlio Filippo II di Spagna

1562 lascia l'incarico di medico personale per ritornare a insegnare a Padova

1564 Muore a Zante mentre torna a Padova da Gerusalemme

A. Vesalio, *De humani corporis fabrica libri septem*, Basilea, 1543

Prefazione

Cfr. Rossi, cap. 3-4

Ma ora mi sovviene del giudizio di alcuni che condannano aspramente il fatto che si presentino ai naturalisti disegni, sia pure estremamente precisi, non solo di erbe ma anche di parti del corpo umano, dato che queste devono essere studiate non sui disegni ma con diligente opera di resezione e controllando le cose con i propri occhi: quasi che io avessi unito al testo dei disegni esattissimi e curati nella veste tipografica allo scopo di scoraggiare dalla sezione cadaverica e non piuttosto per esortare in ogni modo possibile, come Galeno, i candidati ad affrontare di propria mano la sezione. E, certo, se fino ad oggi si fosse continuata l'abitudine degli antichi, che esercitavano in casa i ragazzi a eseguire sezioni e a illustrare gli elementi della lezione, tollererei di fare a meno non solo dei disegni ma anche di tutti i commenti, come facevano appunto gli antichi: coloro che allora cominciarono a scrivere sul modo di eseguire la sezione, ritennero lodevole comunicare l'arte non solo ai figli, ma anche ad altri esperti. Non appena gli allievi si disabituaronο dall'esercizio dissettorio, accadde di necessità che impararono l'anatomia senza frutto, poichè era stato abolito l'esercizio che solevano incominciare sin dai primi passi: al punto che, essendo decaduta l'arte nella famiglia degli Asclepiadi e volgendo al peggio nel corso di molti secoli, ci fu bisogno di libri che conservassero i risultati dell'osservazione. Non vi è persona che non abbia sperimentato nella geometria e nelle altre scienze matematiche quanto le figure riescano utili e come esse risultino

più evidenti di un discorso anche particolareggiatissimo: a parte il fatto che i nostri disegni saranno di grande diletto per chi non abbia sempre la possibilità di eseguire sezioni, o, se pure ce l'ha, sia di costituzione tanto delicata e inadatta a un medico che, anche se avvinto dalla conoscenza bellissima del corpo umano, che attesta la saggezza dell'immenso Creatore delle cose, tuttavia non sappia decidersi ad assistere alfine a una sezione. Comunque sia, in tutta la mia opera ho cercato solo di essere utile al maggior numero possibile di persone in una impresa molto oscura e non meno ardua, per trattare nel modo più esatto e completo la descrizione dell'umana struttura, composta non da dieci o da dodici (come potrebbe apparire a prima vista) ma da alcune migliaia di parti, e per portare a chi impara la medicina una messe non spregevole per la comprensione dei libri di Galeno, conservati ancora ai posteri, e a chi ricerca fra gli altri monumenti di quell'uomo divino l'opera del maestro. E non mi nascondo tuttavia che il tentativo, a causa della mia età (non ho ancora passati i ventotto anni), sarà poco autorevole e non rimarrà certo senza critiche, per la frequente denuncia di assiomi galenici non rispondenti al vero, da parte di coloro che non mi hanno aiutato nell'insegnamento dell'anatomia e non l'hanno affrontato da soli con serietà, ma hanno inventato in un primo momento vari argomenti per difendere Galeno. A meno che la mia opera non esca protetta, come di uso, dall'autorevole appoggio di qualche nume.



I viaggiatori e l'esplorazione del nuovo mondo: Michel de Montaigne e José Acosta

Michel de Montaigne nacque il 23 febbraio 1533 nel castello di Montaigne nel Périgord in Francia. Educato dal padre con un metodo che escludeva ogni costrizione o rigore, imparò il latino come lingua materna da un precettore che non conosceva il francese. Studiò diritto e divenne consigliere nel parlamento di Bordeaux (1557). Il suo primo lavoro letterario fu la traduzione di un'opera del teologo catalano Raimondo di Sabunda (morto a Tolosa nel 1436): il *Libro delle creature* o *Teologia naturale*, un libro di apologetica che cercava di dimostrare la verità della fede cattolica mediante lo studio delle creature e dell'uomo, più che con l'appoggio dei testi sacri e dei dottori della chiesa. Nel 1571 si ritirò nel suo castello per dedicarsi agli studi. I primi frutti del suo lavoro (*Saggi*, I, 2-20, 32-38, 40-48) sono semplici collezioni di fatti o di sentenze, desunte da scrittori diversi antichi e moderni, nelle quali non ancora compare la personalità dell'autore. Ma in seguito questa stessa personalità comincia ad essere il vero centro della meditazione di Montaigne, la quale assume il carattere di una «dipintura dell'io» (I, 26, 31; II, 7, 10, 17, 37). Nel 1580 egli pubblicò i primi due libri dei *Saggi*. Nello stesso anno Montaigne lasciò la Francia e viaggiò in Svizzera, in Germania e in Italia dove, a Roma, trascorse l'inverno 1580-1581. Nominato sindaco di Bordeaux, ritornò in patria, ma le cure della carica non gli impedirono di attendere allo studio e alla meditazione. Nel 1582 pubblicava una seconda edizione dei *Saggi* arricchita di alcune aggiunte; ed un'altra ne pubblicava nel 1588, che conteneva numerose aggiunte ai primi due libri ed un terzo libro. Montaigne attendeva ad una nuova edizione della sua opera con ulteriori arricchimenti, quando morì nel suo castello il 13 settembre 1592.

“La riflessione di Montaigne si colloca in un momento di profondi rivolgimenti nella cultura e nella storia europea, ed egli può dirsi testimone per eccellenza della crisi dei valori e del sistema di conoscenze scientifiche e filosofiche avvertita nell'Europa della seconda metà del Cinquecento: da un lato, la caduta del geocentrismo, la critica ai principi di Aristotele, le innovazioni mediche dimostravano la provvisorietà di ogni acquisizione umana nelle scienze; dall'altro, la scoperta del continente americano imponeva la riflessione su valori morali fino ad allora giudicati eterni e immutabili per tutti gli uomini. Lo sconvolgimento dell'orizzonte culturale convince Montaigne che il cambiamento non è uno stato provvisorio cui possa succedere un assestamento definitivo del mondo umano: la mutevolezza si rivela infatti espressione tipica della condizione umana, impossibilitata a raggiungere verità e certezze definitive; di qui ha origine lo scetticismo montaignano, la critica alla ragione stoica che, fiduciosa nella propria capacità di essere il veicolo della liberazione umana, non si accorge di essere a sua volta determinata da consuetudini, influenze geografiche e storiche” [Enciclopedia Garzanti di Filosofia].

José de Acosta nasce a Medina del Campo, in Spagna, nel 1540. A 13 anni entra a far parte dell'ordine dei gesuiti e successivamente viene nominato lettore di teologia a Ocana, in Spagna. Nel 1569 fu mandato a Lima, in Perù, dove i gesuiti si erano stabiliti l'anno precedente, per insegnarvi teologia. Viaggiò in molti luoghi dell'America centrale e fu eletto padre provinciale per il Perù nel 1576. Nel 1585 si recò in Messico e poi fece ritorno in Spagna dove divenne rettore del collegio di Salamanca. Morì in quest'ultima città nel 1600. La *Historia natural y moral de las Indias*, frutto della sua esperienza nel nuovo mondo, fu pubblicata a Siviglia nel 1590.

Cfr. Rossi, pp. 75-78

M. de Montaigne, Essais, 1580

Montaigne non viaggia in Brasile, ma ricava le sue osservazioni dall'incontro, avvenuto a Rouen nel 1562, con alcuni brasiliani che erano stati portati in Francia per essere mostrati al re.

5. *Montaigne: ognuno chiama barbarie quello che non è nei suoi usi.*

Ognuno chiama barbarie quello che non è nei suoi usi; sembra infatti che noi non abbiamo altro punto di riferimento per la verità e la ragione che l'esempio e l'idea delle opinioni e degli usi del paese in cui siamo. Ivi è sempre la perfetta religione, il perfetto governo, l'uso perfetto e compiuto di ogni cosa. Essi sono selvaggi allo stesso modo che noi chiamiamo selvatici i frutti che la natura ha prodotto da sé nel suo naturale sviluppo: laddove, in verità, sono quelli che col nostro artificio abbiamo alterati e distorti dall'ordine generale che dovremmo piuttosto chiamare selvatici. In quelli sono vive e vigorose le vere e più utili e naturali virtù e proprietà, che invece noi abbiamo imbastardite in questi, soltanto per adattare al piacere del nostro gusto corrotto [...]

Quei popoli dunque mi sembrano barbari in quanto sono stati in scarsa misura modellati dallo spirito umano, e sono ancora molto vicini alla loro semplicità originaria. Li governano sempre le leggi naturali, non ancora troppo imbastardite dalle nostre; ma con tale purezza, che talvolta mi dispiace che non se ne sia avuta nozione prima, quando c'erano uomini che avrebbero saputo giudicarne meglio di noi. Mi dispiace che Licurgo e Platone non ne abbiano avuto conoscenza; perché mi sembra che quello che noi vediamo per esperienza in quei popoli oltrepassi non solo tutte le descrizioni con cui la poesia ha abbellito l'età dell'oro, e tutte le sue immagini atte a raffigurare una felice condizione umana, ma anche la concezione e il desiderio medesimo della filosofia.

J. Acosta, *Historia natural y moral de las Indias*, 1590

6. Acosta: *l'origine degli Indiani del Nuovo Mondo*.

È meglio confutare ciò che è falso circa l'origine degli Indiani piuttosto che cercare di determinare la verità, poiché tra gli Indiani non vi è alcuna scrittura né sicura tradizione e memoria circa i loro primi fondatori. D'altra parte, nei libri di coloro che conoscono l'uso delle lettere, non si trova alcun riferimento al Nuovo Mondo, poiché molti degli antichi erano del parere che in questi luoghi non vi fossero né uomini, né terra, né cielo. Così non può sfuggire all'accusa di essere un temerario e un pazzo colui che osi spingersi a promettere la verità circa la prima origine degli indiani e dei primi uomini che popolarono le Indie. Ma *grosso modo*, onde potersi orientare nella questione, possiamo affermare che la stirpe degli uomini venne passando progressivamente fino al Nuovo mondo ricevendo in ciò aiuto sia dalla continuità o vicinanza delle terre, sia da episodiche navigazioni; e possiamo concludere anche che questo fu il modo in cui questi uomini arrivarono nelle Indie [occidentali], senza organizzare una spedizione di proposito, e senza giungervi a causa di un grande naufragio. Per quanto in definitiva anche ciò possa aver avuto luogo dato che, essendo quelle regioni molto ampie e composte di innumerevoli nazioni, possiamo ben credere che un popolo da una parte, un altro da un'altra le abbiano popolate. In conclusione, il fatto che le terre delle Indie fossero unite con quelle del nostro mondo, o almeno fossero molto vicine ad esso, è stata la principale e più vera ragione per cui le Indie sono state popolate. Ritengo che gli uomini abitino il Nuovo mondo e le Indie occidentali da non molte migliaia di anni e che i primi che vi giunsero fossero più uomini selvaggi e cacciatori che non gente che vivesse unita e conoscesse il vivere civile e le sue leggi. Ritengo infine che essi giunsero nel Nuovo mondo per essersi spersi dalla loro terra o perché – costretti e spinti da necessità a trovare nuova terra – avendola trovata cominciarono a poco a poco a popolarla non avendo altra legge che un po' di luce naturale anche se molto offuscata e portando dalla loro patria di origine

alcuni costumi che poi rimasero loro. Non è dunque incredibile pensare che da qualsiasi luogo civile e ben governato provenissero, si siano dimenticati tutto col passare del tempo e col poco uso. È infatti noto che in Spagna e in Italia vi sono tutt'ora greggi di uomini che di umano posseggono soltanto il gesto e la figura. Per questa strada gli abitatori del Nuovo mondo giunsero ad essere di una barbarie senza fine. [...]

LA NUOVA ASTRONOMIA

- **Il *De revolutionibus orbium caelestium* di Copernico (1543)**
 - **La critica all'astronomia tolemaica (contraddizione, confusione, imprecisione)**
 - **Il carattere ipotetico del moto della terra e le sue conseguenze astronomiche**
 - **Tradizione e innovazione nel sistema copernicano**
 - **Il mutamento di paradigma**

“L'ammissione del moto terrestre e l'accettazione del nuovo sistema comportavano non solo un rovesciamento dell'astronomia e della fisica e la necessità di una loro ristrutturazione, ma anche una modificazione delle idee sul mondo, una valutazione nuova della natura e del posto dell'uomo nella natura” (Rossi, p. 84-85)

- **Le reazioni al *De revolutionibus* di Copernico: religiose, filosofiche, astronomiche**
 - **Giordano Bruno e la pluralità dei mondi**
 - **Tyge (Tycho) Brahe e un terzo sistema del mondo**
- **L'opera di Johannes Kepler**
 - **L'armonia geometrica dell'universo**
 - **Le prime due leggi di Keplero: vs circolarità e uniformità dei moti planetari**

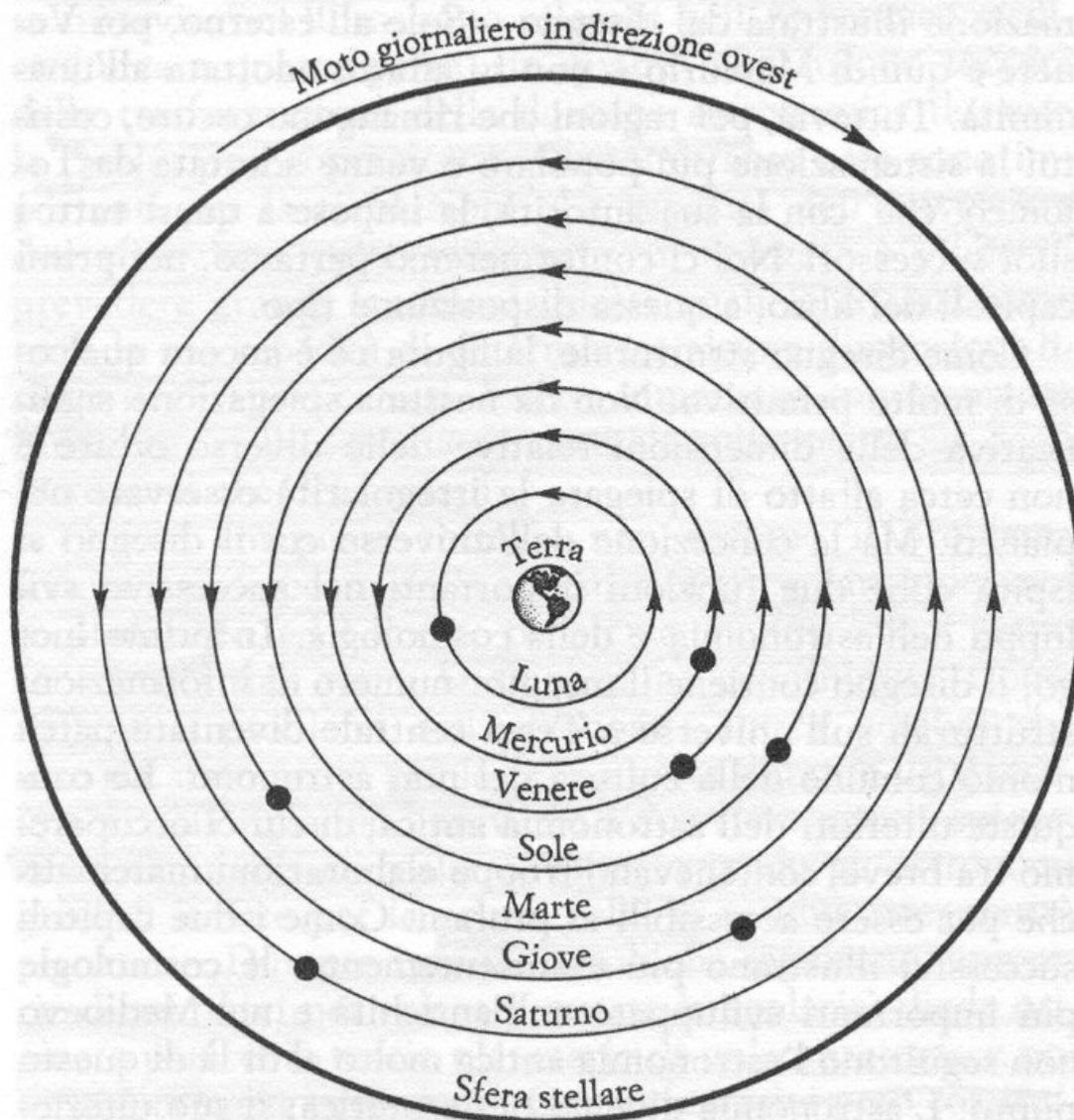
“Il sistema astronomico copernicano ereditato dalla scienza moderna è il prodotto congiunto dell'opera di Kepler e Copernico” (Kuhn, p. 272)

- **Il sole come “anima motrix”**
- **Keplero tra misticismo e modernità**

“Il misticismo di Keplero è associato a una convinzione precisa: che la verità sia avvicinabile non mediante i simboli e i geroglifici, ma attraverso le dimostrazioni matematiche” (Rossi, p. 104)

Figura 16.

Le orbite planetarie approssimative nell'Universo a due sfere. Il circolo piú esterno è una sezione trasversale della sfera stellare sul piano dell'eclittica.



Copernico e la nuova astronomia

Note biografiche su NIKLAS KOPERNIGK (NICCOLO' COPERNICO):

1473 19 febbraio. Nasce a Torun, in Polonia

1491 studia all'Università di Cracovia, dove segue i corsi della facoltà di arti (compresa l'astronomia)

1496 interrompe gli studi per recarsi all'Università di Bologna, dove rimane per circa 3 anni e diventa assistente dell'astronomo ferrarese Domenico Maria da Novara

1500 è a Roma come impiegato nella Cancelleria pontificia

1501 si reca a Frombork/Frauenburg (nella Prussia orientale) per assumere la carica di canonico, assegnatagli 4 anni prima grazie allo zio vescovo

1501/2 torna in Italia, prima a Padova, dove studia diritto e medicina, poi a Ferrara, dove si laurea in diritto canonico il 31 maggio del 1503

1506 rientra a Frombork, dove rimarrà sostanzialmente per il resto della vita

1513 su richiesta del Concilio laterano compila una proposta di riforma del calendario che invia (?) a Roma

1530 ca. termina la redazione del *De revolutionibus*, che però fa circolare in forma manoscritta e ridotta tra gli amici con il titolo *De hypothesibus motum caelestium a se constitutis Commentariolus*

1533 a Roma viene esposto al papa il nuovo sistema planetario di Copernico, probabilmente sulla base del *Commentariolus*

1536 il cardinale di Capua, Nicola Schönberg, incita Copernico a pubblicare la sua opera astronomica (vedi lettera)

1539 Georg Joachim Retico, giovane professore dell'Università di Wittemberg, si reca a Frombork, dove comincia a lavorare con Copernico alla stesura definitiva del *De revolutionibus*

1540 viene stampata a Danzica la *Narratio prima*, un riassunto del *De revolutionibus* preparato da Retico, che ha un immediato successo

1543 esce a Norimberga il *De revolutionibus orbium caelestium libri sex*, a cura di Retico e Andrea Osiander, teologo luterano eterodosso e amico di Retico. Copernico muore il 21 o 24 maggio, avendo forse visto una copia della sua opera

N. Copernico, De revolutionibus orbium caelestium libri sex, Norimberga, 1543

Lettera dedicatoria a Paolo III

Cfr. Rossi, pp. 79-91

3. Copernico: la dedica del «*De revolutionibus*» a Paolo III.

Forse la Santità Vostra¹ non si stupirà del fatto che io abbia osato dare alla luce i frutti del mio lavoro – dopo aver speso tanta fatica nell'elaborarli – e decidere di far stampare i miei pensieri sul moto della Terra; quanto piuttosto si aspetterà di udire da me come mi sia venuto in mente di osare di immaginarmi un movimento della terra, che è contrario all'opinione ormai accettata dai matematici e che contrasta col comune modo di considerare le cose. Non voglio nascondere alla Santità Vostra che nient'altro mi ha spinto a pensare ad un nuovo modo di considerare i moti delle sfere del mondo, se non il fatto che giunsi a comprendere che i matematici stessi non si trovano d'accordo nelle loro indagini. Prima di tutto infatti sono a tal punto insicuri circa il moto del Sole e della Luna, che non sono in grado di dimostrare in modo efficace la durata costante dell'anno stagionale².

In secondo luogo, allorché stabiliscono i movimenti sia del Sole e della Luna sia degli altri cinque pianeti, non fanno ricorso ai medesimi principî e assunzioni, né alle stesse dimostrazioni adottati per le rivoluzioni e i moti apparenti: in tal modo gli uni ricorrono soltanto alle sfere omocentriche [che hanno la Terra come centro comune], gli altri agli eccentrici e agli epicicli, senza però riuscire ad ottenere ciò che è richiesto³.

Ora, mentre meditavo a lungo tra me circa l'incertezza delle tradizioni matematiche nella determinazione dei moti delle sfere dell'orbe, cominciai ad essere turbato

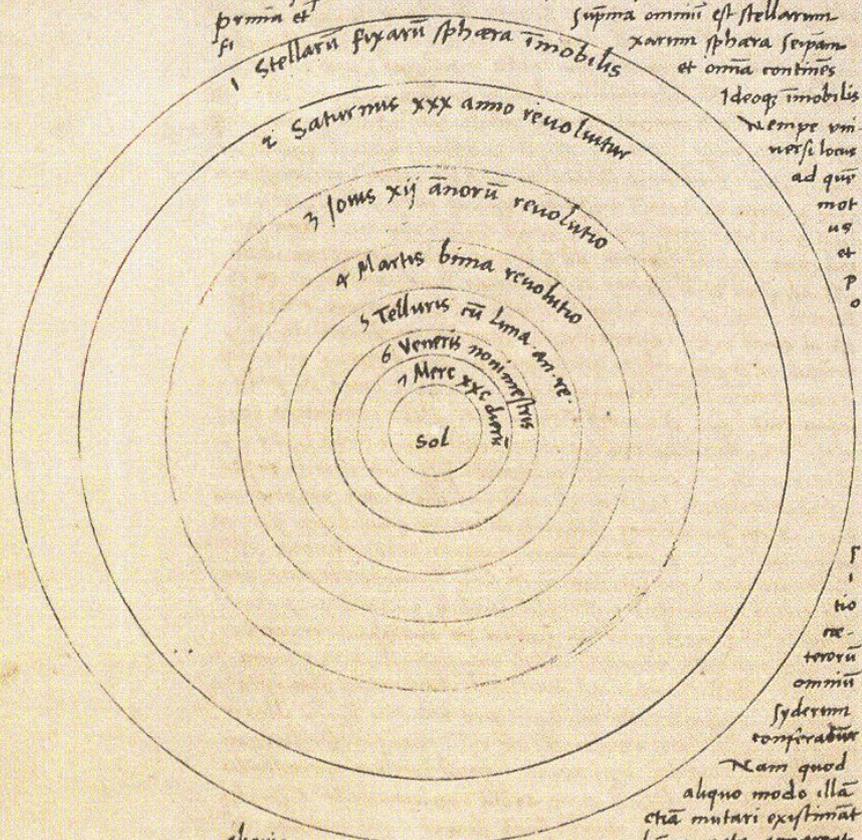
dal fatto che a filosofi che svolgevano le proprie indagini in modo tanto accurato, con rispetto dei più minuti fenomeni dell'universo, non fosse nota alcuna sicura spiegazione dei moti della macchina del mondo che per noi venne fondato dall'Artefice che è bontà e ordine supremo. Per la qual cosa mi assunsi l'impegno di rileggere i libri di tutti i filosofi di cui potessi disporre, allo scopo di indagare se qualcuno mai avesse pensato che i moti delle sfere del mondo fossero diversi da quelli stabiliti da coloro che nelle scuole insegnano matematica. E trovai allora presso Cicerone che per primo Niceta⁵ ebbe l'intuizione che la terra si muovesse. Poi anche presso Plutarco trovai che anche alcuni altri erano di tale opinione, e affinché le sue parole siano presenti a tutti ho voluto trascriverle qui di seguito: «Ma anche altri pensano che la Terra si muova così Filolao il pitagorico sostiene che essa si muove intorno al fuoco centrale in cerchi obliqui come accade per il Sole e la Luna. Eraclito pontico e Ecfanto il pitagorico invece non fanno viaggiare la Terra, ma la lasciano muovere come una ruota intorno al suo proprio centro da occidente ad oriente»⁶.

Quindi, incontrata l'occasione, presi anch'io a pensare alla mobilità della Terra. E per quanto l'opinione sembrasse assurda, tuttavia poiché sapevo che ad altri prima di me era stata concessa la libertà di immaginare circoli per dimostrare i fenomeni degli astri, ritenni che anche a me si potesse facilmente concedere di ricercare se, supposto un certo movimento della Terra, potessero

essere trovate nelle rivoluzioni degli orbi celesti, dimostrazioni più ferme di quelle degli antichi.

E così io, dopo aver considerato che la Terra si muovesse secondo i movimenti che più avanti le assegno nel testo, trovai infine, dopo una lunga e attenta indagine, che se si rapportano al circuito della Terra i movimenti degli altri astri erranti calcolati secondo la rivoluzione di ciascuna stella, non solo ne conseguono i loro movimenti e fasi, ma anche l'ordine e la grandezza delle stelle e di tutti gli orbi e lo stesso cielo diventa un tutto così collegato che in nessuna parte di esso si può spostare qualcosa senza crear confusione delle restanti parti e di tutto l'insieme⁷.

ratione salua mente, nemo em̄ conuentiore allegabit
 q̄ ut magnitudinis orbium multitudine t̄p̄s metiatur, ordo sphae-
 rarum sequitur in hunc modū: a summo capientes incipimus.
 prima et si



aliqui:
 in deductione motus terrestris assignabimus causam. Sequitur
 errantium primus Saturnus: qui xxx anno suū complet circuitū
 itā post hunc Iupiter duodecimale reuolutione mobilis. Tertius
 Mars velle qui biennio circuit. Quartū in ordine annua reuolu-
 tio locum optinet: in quo terra cum orbe Lunari tamq̄ epicyclo
 contineri diximus. Quinto loco Venus nonno mense reuoluitur

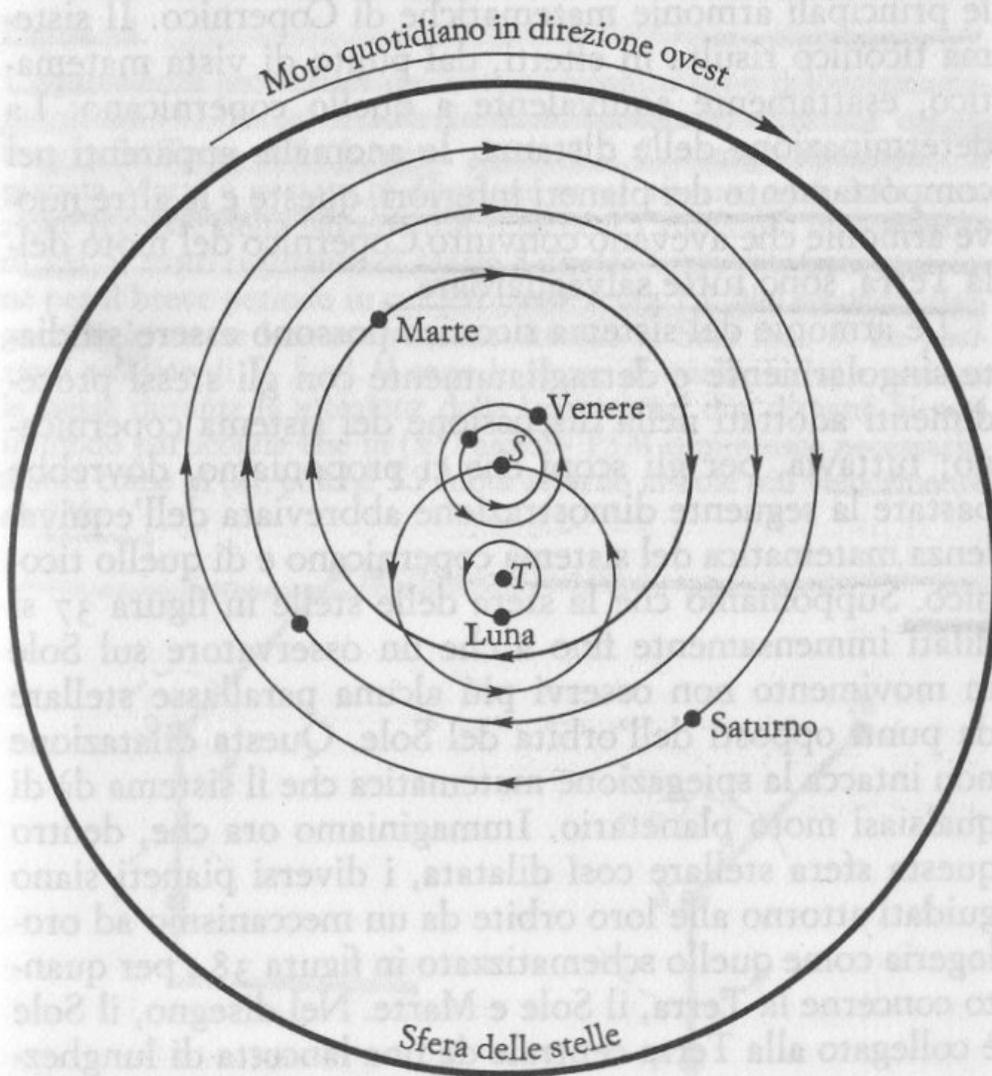
suprema omnis est stellarum
 fixarum sphaera separata
 et omnia continens
 Ideoq; immobilis
 nempe un-
 uersi loci
 ad quos
 motus
 us
 et
 p
 o
 f
 i
 tio
 re-
 torū
 omniū
 syderum
 conspirabit
 Nam quod
 aliquo modo illā
 ctā mutari existimat
 nos alia, cur ita apparat

Manuscript of Copernicus' De Revolutionibus, showing the heliocentric model of the universe.

L'UNIVERSO COPERNICANO

Figura 37.

Il sistema ticonico. La Terra è di nuovo nel centro di una sfera stellare in rotazione, e la Luna e il Sole si muovono nelle loro vecchie orbite tolemaiche. Gli altri pianeti invece son fissati su epicicli, il cui centro comune è il Sole.



Johannes Kepler e il copernicanesimo

*Keplero nasce a Weil (Germania) nel 1571, in una famiglia luterana. Frequenta l'università di Tubinga, dove diviene allievo dell'astronomo Michael Mastlin, che lo introduce alla teoria copernicana. Nel 1594 è nominato insegnante di matematica al seminario protestante di Graz, in Austria, mentre nel 1596 pubblica il *Mysterium cosmographicum*, al quale collabora anche Mastlin. Keplero invia l'opera a Brahe, che la apprezza molto e invita l'autore a divenire suo assistente nell'incarico di matematico imperiale a Praga. Qui Keplero si occupa di stendere delle nuove tavole astronomiche, che saranno poi pubblicate nel 1627 col titolo di *Tabulae Rudolphinae* (in onore dell'imperatore Rodolfo II). Alla morte di Brahe, nel 1601, Keplero gli subentra nel ruolo di matematico imperiale e ha a disposizione i calcoli e le osservazioni astronomiche del danese. In questi anni Keplero continua la stesura di oroscopi e pubblica, oltre ad almanacchi e pronostici, una serie di trattati di fisica e astronomia, tra i quali l'*Astronomia nova*, seu *Physica caelestis* (1609). Nel 1612, dopo l'abdicazione di Rodolfo II, Keplero lascia Praga e si trasferisce a Linz, dove rimane per 14 anni. Dal 1617 al 1621 pubblica l'*Epitome astronomiae copernicanae*, opera in più volumi che intendeva porsi come una *summa* della nuova astronomia e un manuale per l'insegnamento del sistema copernicano. Lasciata Linz, Keplero lavora presso vari mecenati, giungendo infine a Ratisbona, dove muore nel 1630.*

Cfr. Rossi, pp. 94-105

J. Kepler, *Mysterium cosmographicum*, 1596

Prodromo

3. *Keplero: le ipotesi di Copernico sono « vere » e consonone alla natura.*

È cosa pia considerare subito, all'inizio di questa disputa sulla natura, se vengano dette cose contrarie alla Sacra Scrittura. Considero tuttavia intempestivo iniziare qui questa controversia, anzi tempo e affrettatamente. Questo, in genere, prometto: che non dirò nulla che sia contrario alla Sacra Scrittura. Questo fu sempre il mio atteggiamento, da quando cominciai a conoscere il libro di Copernico.

A questo proposito, non avendo nessun motivo religioso che mi impedisse di ascoltare Copernico allorché diceva cose giuste, la perfetta concordanza dei fenomeni celesti con le opinioni copernicane, suscitò in me una immediata fiducia. Copernico infatti non solo riusciva a dimostrare i moti trascorsi che risalivano alla lontana antichità, ma anche quelli futuri, se non in modo certissimo, almeno in maniera più sicura di quanto facessero Tolomeo, Alfonso ed altri. E ancora di più egli solo riuscì in questo: a dar ragione in modo perfetto di quei fenomeni che gli altri ci avevano insegnato a riguardare con stupore, togliendo così ogni motivo di meraviglia che sta sempre nell'ignoranza delle cause.

[...]

Ciò comprese il grandissimo Tycho Brahe, astronomo più grande di ogni possibile sua celebrazione. Pur dissentendo completamente da Copernico circa la collocazione della terra, egli ha accettato da Copernico ciò in grazia del quale conosciamo ora le cause di cose finora sconosciute: che cioè il Sole è il centro [dei movimenti] di cinque pianeti. Che il Sole sia immobile al centro è infatti un termine medio troppo angusto per spiegare le retrogradazioni. Basta affermare che il Sole è al centro di cinque pianeti. Altre sono le cause per le quali Copernico assunse la specie al posto del genere e collocò il Sole al centro del mondo e la Terra mobile intorno ad esso. Infatti per passare adesso dall'astronomia alla fisica, o cosmografia, queste ipotesi di Copernico non solo non sbagliano nei confronti della natura, ma anzi le sono assai più consone. La natura infatti ama la semplicità e l'unità; in essa non vi è nulla di inutile o superfluo e assai spesso una sola cosa è destinata da essa a molti effetti. Presso le consuete ipotesi [dell'astronomia tradizionale] non v'è fine nella finzione di sempre nuove sfere: presso Copernico molti movimenti conseguono da pochissimi orbi. Per tacere adesso del reciproco attraversamento degli orbi di Venere e Mercurio e di altre cose cui l'antica astronomia, con tutta la sua libertà di fingere gli orbi, stenta tutt'ora a trovare una soluzione. E così quest'uomo non solo liberò la natura da quell'oneroso e inutile apparato di tanto numerose sfere, ma ci svelò anche il tesoro inesauribile di calcoli divini circa le meravigliose proprietà di tutti i corpi e dell'intero universo. E non esito ad affermare che ciò che Copernico scoprì *a posteriori* e dimostrò con l'osservazione, se fosse vissuto (come spesso si augura Rheticus) avrebbe potuto dimostrarlo *a priori*, senza fatica, mediante assiomi geometrici, come testimonia lo stesso Aristotele.

[...]

Trascrivo ora, nella forma in cui allora lo concepì e scrissi, il mio enunciato: «L'orbe della Terra è la misura di tutti gli altri orbi. Circoscrivi ad essa un dodecaedro, la sfera che a sua volta lo circoscrive è quella di Marte. Alla sfera di Marte circoscrivi un tetraedro, la sfera che lo contiene è la sfera di Giove. Alla sfera di Giove circoscrivi un cubo, la sfera che lo racchiude sarà quella di Saturno. Nell'orbe della Terra inscrivi un icosaedro, la sfera inscritta in esso è quella di Venere. A Venere inscrivi un ottaedro, in esso sarà inscritta la sfera di Mercurio»⁶. Qui trovi la ragione del numero dei pianeti.

J. Kepler, *Astronomia nova*, Praga, 1609

Scopo principale della presente opera è di correggere la dottrina astronomica (particolarmente per ciò che attiene al moto di Marte) in tutte tre queste sue forme,

di modo che i dati che calcoliamo dalle tavole² corrispondano ai dati ricavabili dall'osservazione dei fenomeni celesti. Il che, fino a questo momento non si è potuto fare in modo soddisfacente. [...] Mentre realizzo felicemente questo scopo, entro anche nella metafisica di Aristotele o meglio nella *fisica celeste* e svolgo un'indagine sulle *cause naturali dei moti celesti*. Da questa indagine risultano chiari argomenti che ci convincono che soltanto la dottrina di Copernico è vera e che le altre due dottrine [di Tolomeo e di Tycho Brahe] sono false.

Attraverso dimostrazioni molto laboriose e servendomi dei risultati di moltissime osservazioni, giunsi finalmente a stabilire che la traiettoria del pianeta in cielo non è circolare, ma è una traiettoria ovale perfettamente ellittica. Dalla geometria appresi che una tale traiettoria viene descritta se si assegna al motore proprio dei pianeti la funzione di far oscillare il corpo lungo la linea retta che termina nel Sole. [...] La mia costruzione fu infine terminata con l'aggiunta del tetto quando dimostrai che questa oscillazione [librazione] deve essere prodotta da una facoltà magnetica corporea. I motori che sono propri dei pianeti appaiono in tal modo essere, con ogni probabilità, affezioni degli stessi corpi planetari, simili a quell'affezione che è nel magnete che tende verso il polo e attrae il ferro. In tal modo tutto il sistema dei

movimenti celesti è governato da facoltà meramente corporee, ossia magnetiche. Fa eccezione solo la rotazione locale del corpo del Sole, per spiegare la quale sembra sia necessaria la forza proveniente da un'anima.

Figura 42.

L'applicazione pratica data da Kepler ai cinque solidi regolari. Il disegno (a) mostra i solidi stessi. Essi sono, da sinistra a destra: il cubo, il tetraedro, il dodecaedro, l'icosaedro e l'ottaedro. Il loro ordine è quello che Kepler ha elaborato per giustificare le dimensioni delle sfere planetarie. Il disegno (b) mostra i solidi in questa loro applicazione. La sfera di Saturno è circoscritta al cubo, mentre la sfera di Giove è inscritta in esso. Il tetraedro è inscritto nella sfera di Giove e così via.

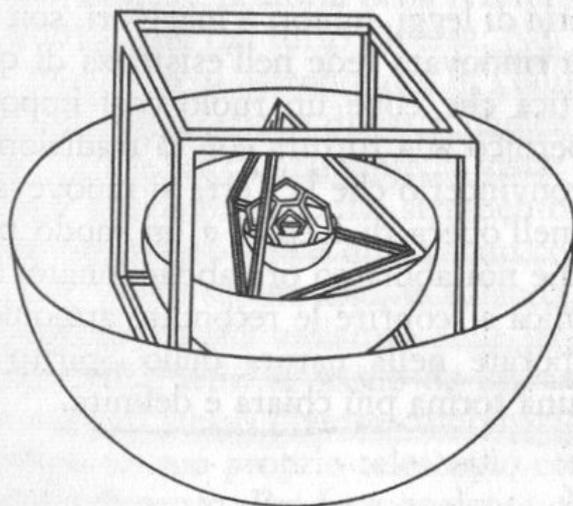
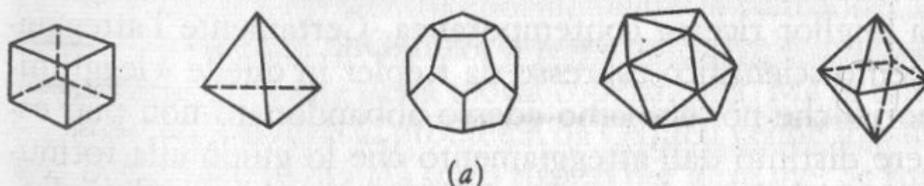
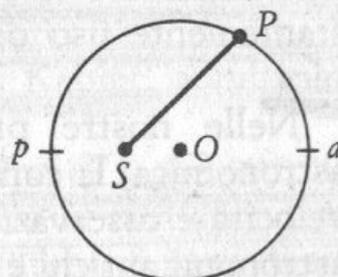
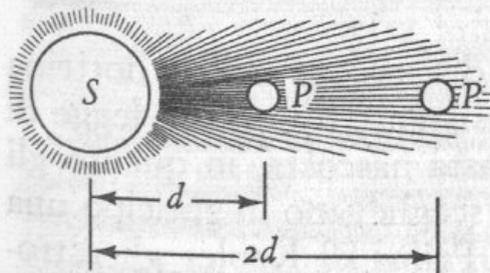


Figura 41.

La legge della velocità di Kepler nella sua formulazione piú antica. Il disegno (a), che mostra i tipici raggi dell'*anima motrix* che emanano dal Sole, illustra la teoria fisica da cui Kepler derivò la legge. Il disegno (b) mostra come la legge potesse applicarsi ad un pianeta in movimento su di un circolo eccentrico.



GALILEO E IL COPERNICANESIMO

- La formazione di Galileo: matematica, fisica e tecnica
- Il *Sidereus nuncius* (1610)

- Le nuove osservazioni sulla luna, le stelle e Giove
- L'invenzione del cannocchiale e il suo significato nella storia della scienza

“Vedere, nella scienza del nostro tempo, vuol dire, quasi esclusivamente, interpretare segni generati da strumenti. Alle origini di ciò che oggi vediamo nei cieli c'è un iniziale, solitario gesto di coraggio intellettuale” (Rossi, p. 16)

- Le nuove osservazioni e l'astronomia

“Il telescopio non provò in effetti la validità dello schema concettuale di Copernico, ma fornì per la battaglia [dei copernicani come Galileo] un'arma estremamente efficiente. Non fu uno strumento di prova, ma fu uno strumento di propaganda” (Kuhn, p. 287)

- La reazioni al *Sidereus* e la condanna del copernicanesimo (1616)

“La saldatura tra teologia e filosofia naturale, che da secoli sembrava garantire alla Chiesa la sua funzione di guida delle coscienze e della cultura, apparve a molti irrimediabilmente spezzata” (Rossi, p. 116)

Galileo Galilei: le nuove osservazioni astronomiche

Galileo Galilei nacque a Pisa il 15 febbraio 1564. Nel 1581 fu avviato dal padre agli studi di medicina presso l'Università di Pisa, dove vi rimase quattro anni senza conseguire alcun titolo accademico. Dal 1585 si dedicò completamente alla matematica e alla fisica. Nel 1583 scoprì l'isocronismo delle oscillazioni pendolari. Nel 1586 lo studio di Archimede lo condusse alla realizzazione della «bilancetta», una stadera idrostatica per la determinazione dei pesi specifici. La fama crescente che Galilei venne guadagnando nel mondo accademico gli consentì di conseguire una cattedra di matematica a Pisa, che occupò dal 1589 al 1592, durante i quali compì importanti ricerche nel campo della meccanica, scoprendo, tra l'altro, la legge di caduta dei gravi. Nel 1592 ottenne la cattedra di matematica all'università di Padova, dove vi rimase fino all'estate 1610. Con la reinvenzione del telescopio (estate 1609), si aprì la serie delle grandi scoperte astronomiche, di cui diede notizia nel Sidereus Nuncius (marzo 1610): l'esistenza di rilievi lunari, la natura stellare della Via Lattea, i satelliti di Giove; seguirono, nello stesso anno, le osservazioni delle fasi di Venere e delle macchie solari (alle quali dedicherà, nel 1612, l'istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari). Queste scoperte, che gli valsero il ritorno a Pisa in qualità di «Matematico e Filosofo del Granduca di Toscana», lo portarono ad attaccare pubblicamente le dottrine fisiche e astronomiche degli aristotelici e a sostenere apertamente le tesi copernicane (che egli condivideva almeno dal 1597). Tuttavia, l'interdizione del copernicanesimo da parte della Chiesa romana (1616) fece sì che Galileo venisse ammonito dal cardinale Bellarmino a non sostenere ulteriormente le tesi eliocentriche. Nonostante la sconfitta, Galileo non rinunciò ad attaccare i gesuiti, nel 1623, con il Saggiatore, considerato il suo capolavoro polemico, in cui si scagliava contro il principio d'autorità e i procedimenti metodologici della cultura tradizionale. Sull'onda del successo del Saggiatore, Galilei cominciò a lavorare al Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, che pubblicò nel 1632: in esso sono confrontati il sistema tolemaico e quello copernicano, ma è quest'ultimo ad uscire chiaramente vincitore da tale confronto. L'opera venne immediatamente sequestrata e vietata dalle autorità ecclesiastiche e Galileo venne processato l'anno seguente a Roma: il processo si concluse con l'abiura del pisano e la condanna al carcere a vita. La pena gli venne ben presto commutata in confino obbligato, cosicché Galilei riuscì a trascorrere gli ultimi anni della vita nella sua villa ad Arcetri, assistito dalle amorevole cure della figlia suor Maria Celeste. Ad Arcetri Galileo scrisse la sua più importante opera di meccanica, in cui confluirono i risultati delle ricerche compiute nel periodo pisano e padovano: i Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze (che sono la teoria della resistenza dei materiali e la dinamica). Il testo fu fatto uscire clandestinamente dall'Italia e venne pubblicato in Olanda nel 1638. Galilei, ormai cieco, morì quattro anni dopo, l'8 gennaio 1642.

Cfr. Rossi, pp. 67-70, cap. 6

Galilei, *Sidereus nuncius*, Venezia, 1610

2. *Galilei: il cannocchiale.*

Bellissima cosa e oltremodo a vedersi attraente è il poter rimirare il corpo lunare, da noi remoto per quasi

sessanta semidiametri terrestri, così da vicino, come se distasse di due soltanto di dette misure; sicché il suo diametro apparisca quasi trenta volte maggiore, la superficie quasi novecento, il volume poi approssimativamente ventisettemila volte più grande di quando sia veduto ad occhio nudo; e quindi, con la certezza che è data dall'esperienza sensibile, si possa apprendere non essere affatto la Luna rivestita di superficie liscia e levigata, ma scabra e ineguale, e allo stesso modo della faccia della Terra, presentarsi ricoperta in ogni parte di grandi prominenze, di profonde valli e di anfratti.

Di più, l'aver rimosse le controversie riguardo alla Galassia o Via Lattea, con l'aver manifestato al senso, oltre che all'intelletto, l'essenza sua, non è da ritenersi, mi pare, cosa di poco conto; come anche il mostrare direttamente, essere la sostanza di quelle Stelle, che fin qui gli Astronomi hanno chiamato Nebulose, di gran lunga diversa da quel che fu creduto finora, sarà cosa molto bella e interessante.

Ma quello che supera di gran lunga ogni immaginazione, e che principalmente ci ha spinto a farne avvertiti tutti gli Astronomi e i Filosofi, è l'aver noi appunto scoperto quattro Stelle erranti¹, da nessun altro prima di noi conosciute né osservate, le quali, a somiglianza di Venere e di Mercurio intorno al Sole, hanno lor propri periodi intorno a una certa Stella principale del numero di quelle conosciute, e ora la precedono, or la seguono, senza mai allontanarsi da essa fuor dei loro limiti determinati. Le quali cose furono tutte da me ritrovate e osservate or

non è molto, mediante un occhiale che io escogitai, illuminato prima dalla divina grazia.

Altre cose forse più importanti saranno col tempo o da me o da altri scoperte con l'aiuto di un simile strumento, la cui forma e struttura, come anche l'occasione d'inventarlo, esporrò prima brevemente, e dopo racconterò la storia delle mie osservazioni.

Circa dieci mesi fa giunse alle nostre orecchie la voce che un certo Fiammingo aveva fabbricato un occhiale, mediante il quale gli oggetti visibili, per quanto molto distanti dall'occhio dell'osservatore, si vedevano distintamente come fossero vicini; e di questo effetto, davvero mirabile, si raccontavano alcune esperienze, alle quali chi prestava fede, chi la negava. La medesima cosa pochi giorni dopo mi fu confermata per lettera da un nobile Francese, Jacopo Badovere², da Parigi; il che fu infine il motivo che mi spinse ad applicarmi tutto a ricercarne le ragioni, e ad escogitare i mezzi, per i quali io potessi giungere all'invenzione di un simile strumento; invenzione che conseguì poco dopo, fondandomi sulla dottrina delle rifrazioni. E prima di tutto mi preparai un tubo di piombo, alle cui estremità applicai due lenti, ambedue piane da una parte, dall'altra invece una convessa e una concava; accostando poi l'occhio alla concava, scorsi gli oggetti abbastanza grandi e vicini, poiché apparivano tre volte più vicini e nove volte più grandi di quando si guardavano con la sola vista naturale. Dopo me ne preparai un altro più esatto, che rappresentava gli oggetti più di sessanta volte maggiori. Finalmente, non risparmiando fatica né spesa alcuna, sono giunto a tanto, da costruirmi uno strumento così eccellente, che le

cose vedute per mezzo di esso appariscano quasi mille volte più grandi e più di trenta volte più vicine che se si guardino con la sola facoltà naturale. Quanti e quali siano i vantaggi di questo strumento, così per terra come per mare, sarebbe del tutto superfluo enumerare. Ma io, lasciando le cose terrene, mi rivolsi alla speculazione delle celesti; e prima mirai la Luna così da vicino, come se fosse distante appena due semidiametri terrestri. Dopo questa, osservai più volte con incredibile godimento dell'animo le Stelle, tanto fisse che erranti; e vedendole tanto fitte, cominciai a pensare sul modo con cui potessi misurare le loro distanze; e finalmente lo trovai. Del che conviene siano preavvertiti tutti coloro che vogliono intraprendere osservazioni di tal natura. Poiché è necessario in primo luogo che si procurino un cannocchiale perfettissimo, il quale rappresenti gli oggetti chiari, distinti e sgombri d'ogni caligine, e che li ingrandisca almeno di quattrocento volte, poiché allora li farà apparire venti volte più vicini; che se tale non sarà lo strumento, invano si tenterà di osservare tutte quelle cose che da noi furono viste nel cielo e che più oltre saranno enumerate.

(Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius* [1610], traduzione di Maria Timpanaro Cardini [Firenze, Sansoni, 1948]. Il testo latino in *Opere di Galileo Galilei*, III, pp. 58-61).

GALILEO E LA DISTRUZIONE DELL'ARISTOTELISMO

- **Il Saggiatore (1623)**

- La distinzione tra qualità primarie e secondarie e l'inganno dei sensi
- La concezione corpuscolare della materia

“Il mondo reale è dunque contesto di dati quantitativi e misurabili, di spazio e di “corpicelli minimi” che si muovono nello spazio. Il sapere scientifico è in grado di distinguere ciò che nel mondo è obiettivo e reale e ciò che è invece soggettivo e relativo alla percezione dei sensi” (Rossi, p. 123)

- Il libro della natura e il linguaggio matematico

- **Il Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo (1632)**

- La confutazione della separazione tra terra e cielo
- Il carattere progressivo della conoscenza
- Il principio della relatività dei movimenti e la confutazione della fisica aristotelica
- I limiti della meccanica galileiana

“La unificazione della fisica e dell'astronomia, che è la grande imperitura conquista di Galilei, avveniva sulla base del concetto di inerzialità dei moti circolari. La cosmologia che si richiamava, da millenni, ai perfettissimi moti delle sfere celesti continuava a esercitare un peso decisivo sulla fisica galileiana” (Rossi, p. 135)

- Le maree come prova fisica del moto della terra

- **La condanna di Galilei (1633)**

“La condanna ... dava un colpo mortale anche alle speranze di quanti, all'interno della Chiesa, avevano creduto non solo alle verità della nuova astronomia, ma anche alla possibilità, per la stessa Chiesa, di esercitare una funzione positiva nel mondo della cultura” (Rossi, p. 139-40)

Galilei, Il Saggiatore, 1623

“E tornando al primo mio proposito in questo luogo, avendo già veduto come molte affezioni, che sono reputate qualità risidenti ne' soggetti esterni, non hanno veramente altra essistenza che in noi, e fuor di noi non sono altro che nomi, dico che inclino assai a credere che il calore sia di questo genere, e che quelle materie che in noi producono e fanno sentire il caldo, le quali noi chiamiamo con nome generale *fuoco*, siano una moltitudine di corpicelli minimi, in tal e tal modo figurati, mossi con tanta e tanta velocità; li quali, incontrando il nostro corpo, lo penetrino con la lor somma sottilità, e che il lor toccoamento, fatto nel lor passaggio per la nostra sostanza e sentito da noi, sia l'affezione che noi chiamiamo *caldo*, grato o molesto secondo la moltitudine e velocità minore o maggiore d'essi minimi che ci vanno pungendo e penetrando, sì che grata sia quella penetrazione per la quale si agevola la nostra necessaria insensibil traspirazione, molesta quella per la quale si fa troppo gran divisione e risoluzione nella nostra sostanza: sì che in somma l'operazion del fuoco per la parte sua non sia altro che, movendosi, penetrare colla sua massima sottilità tutti i corpi, dissolvendogli più presto o più tardi secondo la moltitudine e velocità degl'ignicoli e la densità o rarità della materia d'essi corpi; de' quali corpi molti ve ne sono de' quali, nel lor disfacimento, la maggior parte trapassa in altri minimi ignei, e va seguitando la risoluzione fin che incontra materie risolubili. Ma che oltre alla figura, moltitudine, moto, penetrazione e toccoamento, sia nel fuoco altra qualità, e che questa sia caldo, io non lo credo altrimenti; e stimo che questo sia talmente nostro, che, rimosso il corpo animato e sensitivo, il calore non resti altro che un semplice vocabolo.

[...]

La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i

caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto.”

Galilei, Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano, 1632

13. Galilei: distruzione della cosmologia aristotelica.

Salviati [...] All'ultimo detto del signor Simplicio, che il contendere se le parti del Sole o della Luna o di altro corpo celeste, separate dal suo tutto, ritornassero naturalmente a quello, sia una vanità, per essere il caso im-

possibile, essendo manifesto, per dimostrazioni di Aristotile, che i corpi celesti sono impassibili, impenetrabili, impartibili, etc., rispondo, niuna delle condizioni per le quali Aristotile fa differire i corpi celesti da gli elementari avere altra sussistenza che quella ch'ei deduce dalla diversità de i moti naturali di quelli e di questi; in modo che, negato che il moto circolare sia solo de i corpi celesti, ed affermato ch'ei convenga a tutti i corpi naturali mobili, bisogna per necessaria conseguenza dire che gli attributi di generabile o ingenerabile, alterabile o inalterabile, partibile o impartibile, etc. egualmente e comunemente convengano a tutti i corpi mondani, cioè tanto a i celesti quanto a gli elementari, o che malamente e con errore abbia Aristotile dedotti dal moto circolare quelli che ha assegnati a i corpi celesti.

Simplicio. Questo modo di filosofare tende alla sovversione di tutta la filosofia naturale, ed al disordinare e mettere in conquasso il cielo e la Terra e tutto l'universo. Ma io credo che i fondamenti de i Peripatetici sien tali, che non ci sia da temere che con la rovina loro si possano costruire nuove scienze.

Salviati. Non vi pigliate già pensiero del cielo né della Terra, né temiate la lor sovversione, come né anco della filosofia; perché, quanto al cielo, in vano è che voi temiate di quello che voi medesimo repute inalterabile e impassibile; quanto alla Terra, noi cerchiamo di nobilitarla e perfezionarla, mentre procuriamo di farla simile a i corpi celesti e in certo modo metterla quasi in cielo, di dove i vostri filosofi l'hanno bandita. La filosofia medesima non può se non ricever beneficio dalle nostre dispute, perché se i nostri pensieri saranno veri, nuovi acquisti si saranno fatti, se falsi, col ributtargli,

maggiormente verranno confermate le prime dottrine. Pigliatevi più tosto pensiero di alcuni filosofi, e vedete di aiutargli e sostenergli, ché quanto alla scienza stessa, ella non può se non avanzarsi. [...]

15. *Galilei: la difesa del moto della Terra: il principio della relatività dei movimenti.*

Salviati. [...] Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vada versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando

ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi soltanto passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso la poppa che verso la prua, benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso poppa, che se voi fuste situati per

l'opposito; le gocciole cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne pur una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella lor acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente

verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parte che riguarda la poppa, quasi che fossero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo trattenendosi per aria, saranno state separate; e se abbruciando alcuna lagrima d'incenso si farà un poco di fumo, vedrassi ascender in alto ed a guisa di nugoletta trattenervisi, e indifferentemente muoversi non più verso questa che quella parte. E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che per ciò dissi io che si stesse sotto coverta; ché quando si stesse di sopra e nell'aria aperta e non seguace del corso della nave, differenze più e men notabili si vedrebbero in alcuni de' gli effetti nominati: e non è dubbio che il fumo resterebbe in dietro, quanto l'aria stessa; le mosche parimente e le farfalle, impedita dall'aria, non potrebbero seguir il moto della nave, quando da essa per spazio assai notevole si separassero; ma trattenendovisi vicine, perché la nave stessa, come di fabbrica anfrattuosa, porta seco parte dell'aria sua prossima, senza intoppo o fatica seguirebbon la nave, e per simil cagione veggiamo tal volta, nel correr la posta, le mosche importune e i tafani seguir i cavalli, volandogli ora in questa ed ora in quella parte del corpo; ma nelle gocciole cadenti pochissima sarebbe la differenza, e ne i salti e ne i proietti gravi, del tutto impercettibile.

GALILEO E LA NUOVA FISICA

- **I Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze (1638)**
 - Il fondamento teorico dell'ingegneria e della scienza delle costruzioni
 - La caduta dei gravi e il moto uniformemente accelerato
 - Il moto dei proiettili
- **Le radici del pensiero di Galileo e il suo ruolo nella nascita della scienza moderna**
“L'idealismo matematico, combinato con l'eredità del 'divino Archimede' e con una concezione di tipo corpuscolare, era destinato ad avere, nella storia dell'Occidente, una forza esplosiva” (Rossi, p. 127)