# Le origini del Metodo Scientifico

*a cura del laboratorio FormaScienza*

## Introduzione

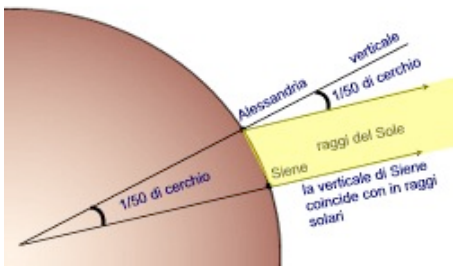
Scopo di questo breve scritto è di ripercorrere la storia delle idee che hanno portato all'assunzione del metodo sperimentale. Insieme agli aspetti metodologici si vogliono evidenziare i tratti distintivi del sapere cosiddetto scientifico.

Ipotesi, esperimento e tesi costituiscono in sintesi il metodo delle scienze sperimentali. Attraverso un viaggio nel tempo che ci porta a "vedere" con gli occhi degli uomini vissuti prima di noi, vivremo le necessità intellettuali che hanno portato all'assunzione di tale metodo e scopriremo quali sono le caratteristiche che distinguono il sapere *scientifico* dagli altri tipi di sapere.

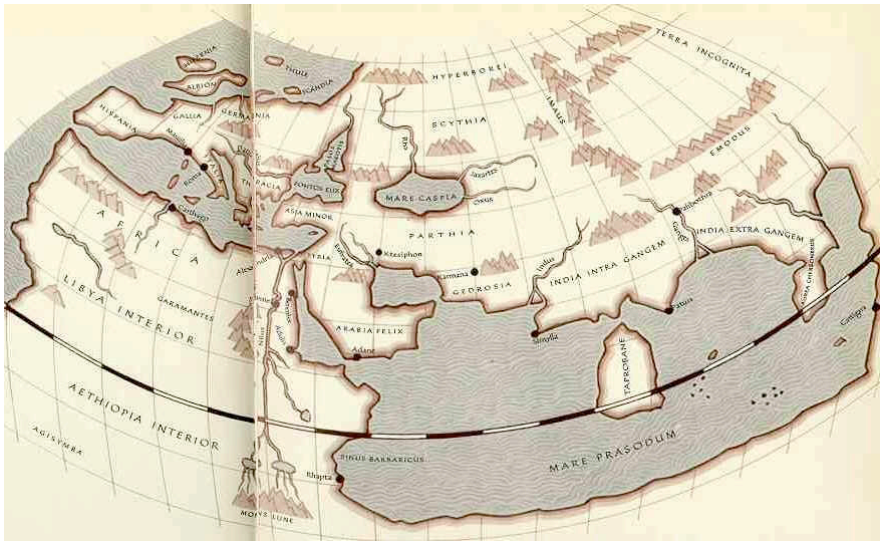
## La Terra è piatta o è tonda?

Per gli antichi Egizi la Terra è piatta, anzi è un ovale allungato attorno al Nilo. Questa è l'idea, ragionevole, che suggeriscono i sensi a chi si trova su una pianura estesa che si perde nel deserto. Saremmo in grado di convincere un antico Egizio che la Terra è tonda? Per noi la rotondità della Terra è scontata: abbiamo una certa confidenza con il mappamondo e le foto dai satelliti non lasciano dubbi.
Una storiografia distorta ha creato la leggenda di una idea consolidata che la Terra fosse piatta, contro cui Cristoforo Colombo dovette combattere anche in ambiente colto (i dotti dell'Università di Salamanca incaricati divalutare la fattibilità del suo progetto). In realtà l'idea che la Terra fosse sferica risale alla cultura greca. Anassimandro (600 a.C.) e Pitagora (500 a.C.) già esprimono l'idea che la Terra sia sferica.
Ma come hanno fatto i Greci a capirlo? Sicuramente i Greci, che erano navigatori, si erano accorti che le navi che si allontanavano sembravano scendere dietro l'orizzonte. Questo è un fenomeno che possiamo osservare anche noi. Per esempio quando facciamo un viaggio in nave all'arrivo si può vedere 'emergere' la Terra (o il faro o la torre di avvistamento).
Un altro indizio può essere la variazione delle ombre con la latitudine. Se siamo nella zona tropicale, per esempio all'equatore, ci sono dei giorni dell'anno in cui l'ombra dei paletti svanisce a mezzodì, perché il sole è a picco, mentre se ci troviamo nei pressi del polo nord, il sole è sempre basso sull'orizzonte, i raggi arrivano a Terra obliqui e i paletti hanno sempre un'ombra! Ancora, se si pianta un paletto ad Alessandria e uno a Siene, che si trova più a sud, e si misura l'ombra nello stesso momento, a Siene l'ombra apparirà più corta. E proprio sfruttando la differenza delle ombre dei paletti, Eratostene provò con successo a calcolare il diametro della Terra (240 a.C.).

A-S 5000 stadi



In effetti questa differenza di ombre potrebbe essere anche spiegata con una Terra piatta e un sole più vicino, come succede, per esempio, se osserviamo l'ombra di una lampada su una scrivania. Se facciamo scorrere un oggetto sulla scrivania, la sua ombra si allunga o si accorcia in base alla lontananza dalla lampada, fino a sparire del tutto se l'oggetto si trova proprio sotto la lampada. In effetti la distanza effettiva del sole fu stimata abbastanza correttamente solo nel 1672, da Cassini.
I Greci si convinsero che la Terra fosse tonda sulla base di argomenti astronomici. Aristotele nel *De Coelo, libro III* (circa 350 a.C.) osserva che, nelle eclissi di luna, il bordo dell'ombra è sempre curvo e, poiché è l'interposizione della Terra che produce l'eclisse, la forma di quella linea sarà prodotta dalla forma della superficie della Terra, che è quindi sferica.
Un ulteriore argomento, a sostegno della rotondità della Terra, compare nello stesso passo:
*'Ancora, l'osservazione delle stelle rende evidente non solo che essa è sferica, ma anche che non è di grandi dimensioni. Infatti un piccolo cambiamento di posizione verso sud o nord provoca una manifesta alterazione dell'orizzonte. Intendo che c'è un grande cambiamento nelle stelle che abbiamo sopra: le stelle sono viste in posizioni differenti, muovendosi a sud e a nord. Inoltre ci sono stelle visibili in Egitto o vicino a Cipro, che non sono viste nelle regioni settentrionali, e stelle, che nel nord sono sempre visibili, che nelle regioni meridionali sorgono e tramontano. Tutto ciò va nel senso di mostrare non solo che la Terra è di forma circolare, ma anche che è una sfera di non grandi dimensioni; sennò l'effetto di un piccolo cambio in posizione non sarebbe così evidente. Quindi non è così incredibile ciò che alcuni affermano, che vi sia continuità tra le colonne d'Ercole e l'India e che via sia un unico Oceano.'*



Carta Geografica di Tolomeo

Anche se oggi sappiamo che la Terra è rotonda continuiamo a usare cartine stradali piatte. Qual è la via più breve per andare da Roma a Napoli? La retta via sarà la più breve. Se invece devo andare da Roma a Boston, sapendo che Boston si trova esattamente a ovest di Roma (grossomodo sullo stesso parallelo), quale strada sarà la più breve? Se rappresentiamo il mondo su un piano saremmo tentati di congiungere Roma e Boston con un segmento rettilineo. Però le rotte aeree, per fare questa tratta, passano da nord. E, venti a parte, si tratta proprio della via più breve! Per rendersene conto basta tendere un elastico su un mappamondo. In effetti, su distanze così grandi non possiamo trascurare la rotondità della Terra.
Terra piatta e Terra sferica sono due **modelli** (la Terra non è neanche esattamente sferica), ognuno con un proprio **ambito di validità**. Anche se il modello 'Terra piatta' è superato, esso rimane utile nel suo ambito, e infatti potrò continuare a usare le cartine stradali piatte per brevi distanze, per esempio per andare da Roma a Napoli.

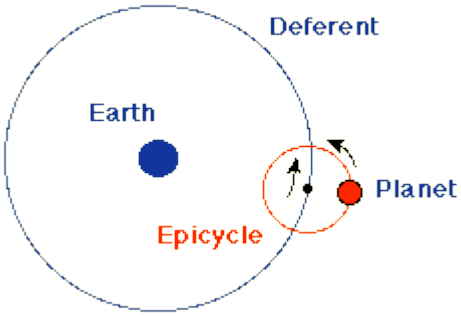
## Il cosmo Aristotelico-Tolemaico

Adesso che sappiamo che la Terra è rotonda, tenendo i piedi (e la testa) a terra, guardiamo il cielo. Come si muovono il Sole e la Luna? E le stelle? A queste domande i sensi suggerivano risposte semplici: il Sole e la Luna girano attorno alla Terra, le stelle sono punti luminosi infissi su una sfera. Questa sfera, con i suoi punti incastonati, sembra ruotare intorno a noi da est verso ovest.

La sfera celeste ruota da est verso ovest, attorno a un asse ideale, detto asse del mondo. Il punto che appare fisso è detto Polo Nord Celeste ed è il punto in cui l'asse del mondo sembra toccare la sfera celeste.

Si nota che alcuni dei punti luminosi si muovono rispetto alla maggioranza delle stelle, che invece rimangono fisse sulla sfera, e formano percorsi strani.
Si tratta dei pianeti, che significa 'stelle erranti': oggi sappiamo che essi girano intorno al sole, ma da Terra le loro traiettorie appaiono complicate. Dopo secoli di osservazione, gli antichi greci, fini speculatori e abili matematici, vollero dare una descrizione geometrica di tale moto. Bisogna dire che essi volevano che i moti celesti fossero circolari (Aristolele), e inventarono, in particolare, un modello costituito da composizione di moti circolari, il modello detto 'degli epicicli'. Si tratta di un sistema in cui ogni pianeta si muove su un cerchio (detto appunto *epiciclo*) il cui centro si muove a sua volta su un altro cerchio (*deferente*) il cui centro coincide col centro della Terra. Tolomeo, nel II sec. d.C., perfeziona e adotta questo modello, con la Terra immobile al centro dell'Universo e la *sfere celes*ti che le ruotano attorno.

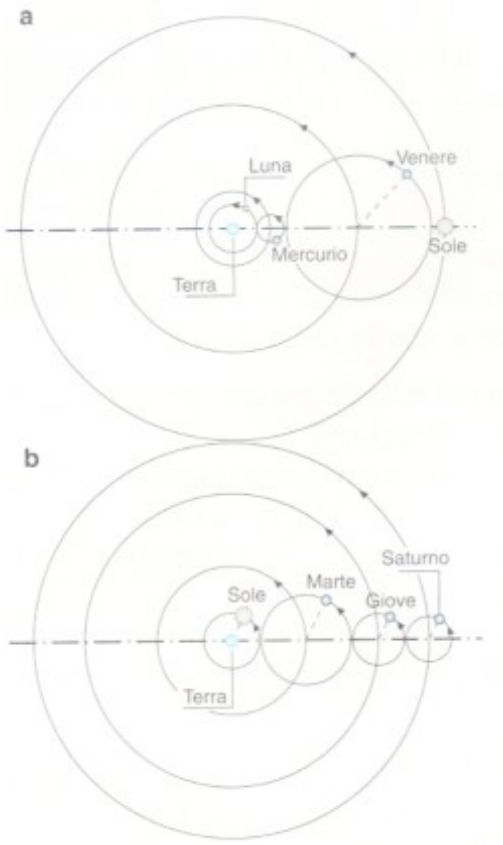
Posizioni successive di un pianeta



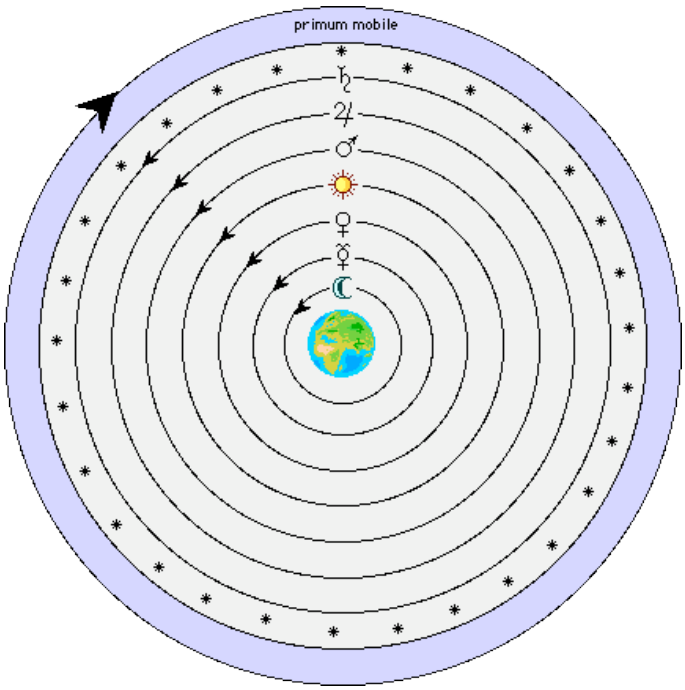

Questo sistema, detto **Aristotelico-Tolemaico**, è stato accettato da tutti e studiato per più di dodici secoli (nessun'altra teoria scientifica è stata così longeva). Era considerato una certezza come oggi consideriamo una

certezza che la Terra sia rotonda. Ma  a cosa si deve il successo del sistema Tolemaico? Il punto è che il sistema Tolemaico non è solo una visione del mondo ma è un vero e proprio modello matematico che permetteva di **prevedere** le posizioni dei pianeti.

Modello Tolemaico




Modello Aristotelico




## Previsioni, modelli, limiti di validità

Una teoria scientifica ha l'obiettivo di fare **previsioni** su eventi della realtà non ancora avvenuti. Questa è la caratteristica che distingue il sapere cosiddetto scientifico dagli altri tipi di sapere. Fare previsioni vuol dire anche semplicemente dire cosa avviene se facciamo un certo esperimento: quando affermiamo che un liquido è acqua, facciamo la previsione che bollirà a 100°C (in condizioni 'normali'). Per fare previsioni lo scienziato elabora un **modello** (per esempio il modello planetario tolemaico, o i modelli di Terra 'Terra piatta' e 'Terra sferica'). Il modello è costituito dall'ipotesi (o dalle ipotesi, perché possono essere più d'una). Dalle ipotesi si traggono alcune conclusioni, e se le conclusioni sono controllabili, cioè se si può produrre un esperimento per verificarle, si parla di previsioni. Se la previsione è confermata dagli esperimenti noi abbiamo più fiducia nel nostro modello. Il modello funziona entro certi **limiti di validità:** le carte stellari di Tolomeo possono essere usate ancora oggi per orientarsi di notte, anche se le stelle non sono 'realmente' infisse su una sfera, così come le cartine geografiche piatte sono utili per viaggi brevi. Fuori da questi limiti, invece, il modello può non funzionare, cioè le previsioni che produce vengono falsificate dagli esperimenti (per esempio il modello Terra-piatta non va bene per viaggi lunghi, dove mi fa fare strade più lunghe). Una teoria scientifica non è dunque una descrizione della realtà ma è un **modello**  che fa **previsioni** entro un certi **limiti di validità**.

## La rivoluzione Copernicana

Col perfezionarsi delle osservazioni, in epoca araba, il modello Tolemaico si differenziò in una dozzina di modelli diversi, ciascuno costituito da un complesso di più di 40 "sfere". Erano modelli matematici, che risolvevano le irregolarità dei moti aumentando il numero di epicicli e con un sistema di "ipotesi ad hoc".
Il cumularsi di secoli di osservazioni mostrava la difficoltà di spiegare i fatti se non a prezzo di un castello artificioso di moti. Arriviamo così al 1500. Il monaco (astronomo) Niccolò Copernico si propone di ottenere un metodo sicuro e univoco di calcolo delle posizioni. La sua posizione iniziale è "matematica", non filosofica.
Sebbene pochi aspetti del pensiero occidentale siano rimasti immuni dalle conseguenze dell'opera di Copernico, il *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543) era in se stessa un'opera strettamente tecnica e professionale. Era l'astronomia planetaria, non la cosmologia o la filosofia, che Copernico trovava mostruosa e fu la riforma dell'astronomia matematica che, sola, lo spinse a far muovere la Terra. E l'assunzione del Sole come centro dei moti era presentato come un puro 'trucco' matematico. Almeno così si legge nella prefazione al *De Revolutionibus*. In effetti il sospetto è che fu la paura di reazioni della Chiesa a dettare tale posizione (tra l'altro la prefazione al *De Revolutionibus* fu scritta non da Copernico, ma da un monaco olandese che convinse lo schivo Copernico a pubblicare la sua opera). E in effetti, immediatamente, nello stesso anno di pubblicazione, il libro fu messo all'Indice dalla Chiesa Cattolica (per dovere di cronaca ricordiamo che anche la Chiesa Protestante si scagliò contro la visione Copernicana).

> In Copernico l'ipotesi del moto della Terra nascerebbe come risultato collaterale del tentativo di un astronomo "matematico" di roformare le tecniche usate nel calcolo della posizione dei pianeti.
> "*Avendo meditato a lungo su questa incertezza della tradizione matematica nel determinare i moti del mondo delle sfere, cominciò a turbarmi il fatto che i filosofi non potessero fissarsi su nessuna teoria sicura del moto del meccanismo di un universo* " …creato da Dio che è .. *"ordine supremo, sebbene facessero osservazioni così accurate ...sui minimi dettagli di quell'universo . Per questo mi sono assunto il compito di cercare se qualcuno avesse mai pensato che le sfere potessero muoversi secondo moti diversi da quelli che propongono gli insegnanti di matematica nelle scuole*".
> Citati filosofi greci (Aristarco, Iceta, Filolao, Eraclito), che avevano ipotizzato il moto e la rotazione della Terra, prosegue: "*…pensai che anche a me sarebbe stato concesso di ricercare se, assunto per ipotesi un certo moto della Terra, fosse possibile trovare dimostrazioni della rivoluzione delle sfere celesti più sicure delle loro".* [1]
> Come mai, se Copernico non fu il primo a formulare l'ipotesi eliocentrica, noi chiamiamo 'Copernicano' il sistema eliocentrico? Ovvero, come mai si deve aspettare Copernico perché si imponga l'ipotesi eliocentrica? Il punto è che i filosofi greci avevano sostenuto l'ipotesi eliocentrica ma non avevano formulato una *teoria scientifica*, cioè non avevano fornito un modo per prevedere la posizione dei pianeti – mentre il modello Tolemaico (geocentrico) poteva farlo; fu Copernico, invece, a sviluppare il primo modello con ipotesi eliocentrica che forniva previsioni (anche più precise di quanto facesse il sistema Tolemaico). Fu per questo che la nuova teoria poté sostituirsi a quella tolemaica. Naturalmente questa sostituzione non fu accettata subito – abbiamo detto che la Chiesa Cattolica mise il libro all'indice, e chi sostenne la teoria Copernicana non ebbe vita facile…

## Galileo Galilei

L'anno di pubblicazione e messa all'indice del De Revolutionibus di Copernico, anno anche della morte di Copernico, il **1543**, è l'anno in cui si fa iniziare la cosiddetta **Rivoluzione Scientifica**. Pochi anni dopo nasce infatti **Galileo Galilei**, che è considerato il fondatore del metodo sperimentale. Galilei è il primo a puntare il cannocchiale verso il cielo, e vede cose che nessuno prima di lui aveva visto...

Per introdurre Galileo proponiamo una lettura dall'opera del drammaturgo Bertolt Brecht sulla vita del grande scienziato[2]. Galileo ha appena osservato con il cannocchiale i satelliti di Giove e si accinge a mostrare la sua scoperta ai 'sapienti'.

> GALILEO: Altezza, sono felice di poter informare alla vostra presenza, i dottori della vostra Università in merito alle mie scoperte. [...] Come certamente è noto a Vostra Altezza, da un po' di tempo noi astronomi incontriamo gravi difficoltà nei nostri calcoli. Essi sono fondati su un sistema molto antico, che è bensì suffragato dalla filosofia, ma, a quel che pare, non lo è altrettanto dai fatti. Secondo questo antico sistema – il Tolemaico – i moti che si suppone vengano compiuti dagli astri, risultano assai complicati. Per esempio, il pianeta Venere dovrebbe compiere un moto di questo genere *(disegna su una lavagna l'orbita epiciclica di Venere secondo la teoria Tolemaica)*. Ma, anche ammettendo cotesti movimenti complicati, noi non siamo in grado di calcolare in anticipo l'esatta posizione degli astri: cioè, non li troviamo mai nei punti dove dovrebbero essere. A questo si aggiunga che di altri spostamenti, il sistema Tolemaico non riesce assolutamente a fornire una spiegazione; tali sono, a mio avviso, i movimenti che compiono alcune piccole stelle rotanti

[1] Adattato da Kuhn, *La rivoluzione Copernicana*, Einaudi.
[2] da Bertolt Brecht, *Vita di Galileo*, Einaudi.

attorno al pianeta Giove. Se lor signori sono d'accordo, potremmo incominciare con l'osservazione dei satelliti di Giove, le nuove stelle medicee?
ANDREA: Sedete qui, prego.
FILOSOFO: Grazie, figliuolo. Ma ho paura che non sia una faccenda tanto semplice. Prima di far uso del vostro celebre occhiale, signor Galilei, gradiremmo la cortesia di una disputa sul tema se questi pianeti possano realmente esistere.
MATEMATICO: Una disputa secondo le regole.
GALILEO: Permettetemi un consiglio: cominciate col dare un'occhiata: vi convincerete subito.
ANDREA: Qui, prego.
MATEMATICO: Certo, certo... naturalmente voi sapete che, secondo le teorie degli antichi, è impossibile che esistano stelle ruotanti attorno a un punto centrale diverso dalla Terra, nonché stelle mancanti di un sostegno fisso nel cielo?
GALILEO: Sì.
FILOSOFO: E, a prescindere dalla possibilità che tali stelle esistono, possibilità che il matematico sembra porre in dubbio, potrei io, nella mia modesta qualità di filosofo, rivolgervi un'altra domanda, e cioè: sono queste stelle necessarie? *Aristotelis divini universum...*
GALILEO: Non potremmo parlare la lingua di tutti i giorni? Il mio collega Federzoni non conosce il latino.
FILOSOFO: È importante che egli ci capisca?
GALILEO: Sì.
FILOSOFO: Perdonate. Credevo che fosse il vostro meccanico.
ANDREA: Il signor Federzoni, oltre che meccanico, è anche uno scienziato.
FILOSOFO: Grazie, figliuolo. Se proprio il signor Federzoni insiste...
GALILEO: Sono io che insisto.
FILOSOFO: La citazione perderà il suo profumo, ma, dato che siamo in casa vostra... "L'universo del divino Aristotele, con le sue sfere misticamente canore e il moto circolare dei suoi corpi celesti e l'obliquo angolo del corso del sole e i misteri delle tavole dei satelliti e le innumerevoli stelle del catalogo dell'emisfero australe e illuminata architettura del corpo celeste, forma una costruzione di sì grande ordine e bellezza, che dovremmo sentirci esitanti al pensiero di turbare tanta armonia".
GALILEO: E che avverrebbe se Vostra Altezza potesse ora osservare quelle stelle impossibili e non necessarie per mezzo di questo occhiale?
MATEMATICO: Si potrebbe essere tentati di rispondere che un occhiale che ci mostra cose poco probabili non può essere che un occhiale poco attendibile, nevvero?
GALILEO: Che intendete dire?
MATEMATICO: Che sarebbe molto più utile alla discussione, signor Galilei, se voi ci esponeste gli argomenti da cui siete indotto a supporre che che, nella suprema sfera dell'immutabile cielo, possano darsi stelle ruotanti liberamente.
FILOSOFO: Argomenti, signor Galilei: argomenti!
GALILEO: Ma che argomenti? Se per accertarsi del fenomeno basta dare un'occhiata a quelle stelle e ai miei rilievi! Signor mio, questa disputa sta perdendo ogni senso.
MATEMATICO: Se fossi sicuro di non irritarvi ancor più, mi permetterei di affacciare la possibilità che ciò che si vede attraverso l'occhiale sia ben diverso da ciò che è nel cielo. [...]
GALILEO: Mi accusate di frode?
FILOSOFO: Ohibò! Come potremmo? In presenza di Sua Altezza! [...]
GALILEO: Dunque, signori, volete guardare o no?
FILOSOFO: Certamente, certamente.
MATEMATICO: Certamente.

Pur se in maniera teatrale, questo dialogo ci illustra bene il modo di pensare dei 'sapienti' dell'epoca di Galileo. Partendo dall'uso di uno **strumento**, il cannocchiale, egli fonda un metodo conoscitivo assolutamente nuovo.
Per Galileo il discorso scientifico si qualifica in quanto procede in base a **sensate esperienze** e **necessarie dimostrazioni**.
La sensata esperienza è l'esperimento. La scienza di Galileo è dunque scienza sperimentale. Attraverso l'esperimento gli scienziati tendono, per Galileo, all'ottenimento di 'proposizioni vere sul mondo'.

Galileo distingue nei corpi qualità primarie (oggettive) e secondarie (soggettive), sostiene che la deve essere oggettiva, deve occuparsi delle qualità primarie (oggettive) dei corpi, ossia delle **qualità quantificabili e misurabili**. Colori, odori, sapori sono qualità soggettive, non esistono nell'oggetto ma solo nel soggetto senziente. La scienza non deve occuparsi di queste qualità. Ma la scienza non vuol neanche tentare di spiegare le 'essernze' dei corpi. La scienza si occupa invece di 'venire in notizia di alcune affezioni' dei corpi. Di fronte a una sostanza naturale Galileo si chiede se è *'terminata e figurata di questa o quella figura'*, se è *'grande o piccola rispetto ad altri corpi'*, se è *'in questo o quel luogo'*, *'in questo o in quel tempo'*, se *'si muove o sta ferma'*, se '*tocca o non tocca un altro corpo* [3]*'*. Questi sono, per Galileo, esempi di qualità oggettive. Naturalmente i sensi ci aiutano: senza le qualità soggettive non potremmo percepire i corpi, inoltre i sensi suggeriscono all'immaginazione (o alla ragione) le ipotesi sulle qualità oggettive. Ma per raggiungere l'oggettività la scienza deve eliminare l'uomo da se stessa, e riferirsi solo alle qualità oggettive, determinabili quantitativamente, cioè misurabili.

Il metodo esige immaginazione e creatività di ipotesi ma anche il pubblico controllo di queste immaginazioni. **La scienza è pubblica** per questioni di metodo. Riferendosi a quantità misurabili la scienza consente di controllare

[3] da *Il Saggiatore*, Galileo Galilei.

pubblicamente le sue affermazioni. Gli esperimenti devono essere ripetibili da tutti. La scienza di Galileo è dunque metodologicamente regolata e pubblicamente controllata. Il sapere scientifico non è più un sapere privato, ma è **la scienza di tutti**.

E sempre sulla base del metodo sperimentale si fonda l'autonomia della scienza: questa trova le sue verità indipendentemente da filosofia e fede.

In particolare, **crolla il principio di autorità**. La scienza mira a una descrizione della realtà attraverso un metodo che non elemosina garanzie al di fuori di se stesso.
*'E quale cosa è più vergognosa che il sentir nelle pubbliche dispute , mentre si tratta di conclusioni dimostrabili, uscir uno di traverso con un testo, e bene spesso scritto in altro proposito, e con esso serrar la bocca all'avversario?[…]Però, signor Simplicio, venite pure con le ragioni e le dimostrazioni, vostre o di Aristotele, e non con testi e nude autorità, perché i discorsi nostri hanno a essere intorno al mondo sensibile, e non sopra un mondo di carta.'*[4]
Naturalmente Galileo non vuol dire che la tradizione sia dannosa. Ma a fidarsi ciecamente si fanno due torti: uno a se stessi e uno all'autorità. Infatti, prendendo per vero acriticamente tutto quello che dice Aristotele non ci si impegna più a comprendere la forza delle dimostrazioni che aveva addotto a sostegno delle sue tesi.

Il metodo delle scientifico procede in base a sensate esperienze e dimostrazioni necessarie, Le une e le altre integrandosi e correggendosi a vicenda danno origine all'esperienza scientifica, che non consiste né nella nuda e passiva osservazione né nella vuota teoria. L'esperienza scientifica è l'**esperimento**.
Anche Aristotele teneva in gran conto l'osservazione. Galileo stesso afferma che Aristotele *'antepone le sensate esperienze a tutti i discorsi'*. Infatti, *'mentre egli scrive di stimare i cieli inalterabili, perché niuna cosa nuova si è veduta generarvisi o dissolversi delle vecchie, viene implicitamente a lasciarsi intendere che quando egli avesse veduto uno di tali accidenti, avrebbe stimato il contrario e anteposto, come conviene, la sensata esperienza al natural discorso'*. Ma l'esperimento Galileiano è profondamente diverso dall'osservazione Aristotelica. L'osservazione Aristotelica è vicina all'esperienza del senso comune, mentre l'esperimento Galileiano è il metodico interrogare la natura, che presuppone un linguaggio in cui formulare le domande e un vocabolario per leggere e interpretare le risposte. (Per Galileo il linguaggio nel quale è scritto il libro della natura è il linguaggio matematico). L'esperienza scientifica Galileiana è una sintesi di osservazione organizzata e ragionamento rigoroso. Nell'esperimento Galileiano **la mente non è passiva**: fa delle supposizioni, ne estrae con rigore delle conseguenze e poi va a vedere se queste si danno o meno nella realtà. La mente non subisce un'esperienza scientifica, la fa, la progetta. E l'effettua per vedere se una sua supposizione è vera. La sensata esperienza è il frutto di un'esperimento programmato, è un tentar di costringere la natura a rispondere.

Una caratteristica fondamentale della Rivoluzione Scientifica è la formazione di un sapere che, a differenza del sapere medievale, riunisce scienza e tecnica, **teoria e pratica**. Nasce una nuova figura di dotto. Sarà diverso sia dall'umanista e dal mago depositari di un sapere privato, sia dall'artigiano e dall'artista. Il nuovo dotto non è più il pensatore contemplativo medioevale, non è dedito esclusivamente alle nobili 'arti liberali'. L'esperimento comporta un lavoro manuale, e il nuovo dotto deve 'sporcarsi le mani' con gli esperimenti, deve praticare le arti meccaniche, considerate meno nobili e riservate agli artigiani o, al più, agli artisti. Deve quindi comunicare con chi si occupa di arti liberali, e non è un caso che Galileo scriva in italiano! Brecht fa dire a Galileo: *'il mio collega oltre a essere un meccanico è anche uno scienziato'*. E all'Università di Padova, vicino al suo studio, Galileo istituì il primo laboratorio della storia.
L'esperimento deve essere reso sempre più rigoroso dall'uso di **strumenti di misura**. Lo strumento ha infatti lo scopo di potenziare i sensi e, soprattutto, di conferire maggiore oggettività. Naturalmente bisogna stare attenti a che l'uso dello strumento non perturbi l'oggetto. Brecht fa dire al matematico che si potrebbe sospettare che il cannocchiale Galileiano mostri qualcosa che in cielo non c'è. In effetti questa obiezione non è infondata, in generale, e bisogna stare attenti, quando si usa uno strumento, ad assicurarsi che non perturbi l'oggetto sotto indagine.

## Il metodo scientifico oggi

La scienza di Galileo mira all'oggettività. Oggi questa posizione appare ingenua. La posizione di Copernico, anche se probabilmente dettata dalla paura, è molto più moderna, perché Copernico distingue il modello dalla realtà. In effetti il dibattito sul metodo della scienza non si esaurisce con Galileo e oggi è più che mai attuale e aperto, a causa anche dell'avvento di scienze come l'astrofisica e la cosmologia (che studia la struttura e l'evoluzione dell'universo), scienze per cui non si possono produrre esperimenti. Per queste scienze il ruolo dell'esperimento è

[4] Dal *Dialogo sui due massimi sistemi del mondo,* Galileo Galilei.

giocato dall'osservazione. Ma l'osservazione non è, neanche qui, quella 'passiva' aristotelica, ma è attiva. Dalle ipotesi devo trarre conclusioni e previsioni che poi devo poter osservare[5].

Proponiamo una lettura[6] da un racconto scritto da un chimico (più noto come scrittore che come scienziato: il suo nome è Primo Levi) che immagina come ipotetici abitanti della luna vedano il pianeta Terra. Il fantasioso e divertente 'rapporto' degli scienziati lunari è molto esemplificativo di come lavora la scienza moderna.

> [...] CITTÀ. Per la descrizione, nomenclatura e collocazione delle principali Città e Porti, si rimanda al precedente Rapporto n. 8, del 15 gennaio 1876. Grazie al recente miglioramento del potere risolvente dei nostri mezzi ottici, si è osservato che la maggior parte delle città è in fase di rapido accrescimento, e che l'atmosfera che le sovrasta tende a diventare sempre più opaca, ricca di pulviscolo, di ossido di carbonio e di anidride solforosa e solforica.
> Si è inoltre potuto stabilire che esse non sono semplici aree di colore diverso dal terreno circostante. Abbiamo osservato in molte di esse una "fine struttura": alcune, ad esempio Parigi, Tokyo, Milano, posseggono un centro ben definito da cui irradiano sottili filamenti; altri filamenti cirdondano il centro a diverse distanze, con andamento circolare o poligonale. Altre Città, e fra queste tutti o quasi i Porti, presentano invece una struttura reticolare, costituita da filamenti tendenzialmente rettilinei ed ortogonali che suddividono l'area urbana in rettangoli o quadrati. [...]
> ACCRESCIMENTO. Come accennato, molte Città appaiono in attivo accrescimento. Esso, in generale, rispetta la struttura del reticolo preesistente: le Città raggiate si accrescono lungo i raggi, le Città reticolari si accrescono con nuovi strati a reticolo ortogonale. L'analogia con l'accrescimento cristallino è evidente, e lascia supporre che le Città siano vaste zone della superficie terrestre caratterizzate da pronunciata cristallinità: del resto, ne abbiamo un esempio sulla Luna, nelle imponenti formazioni di ortoclasio ben cristallizzato che ricoprono vari ettari di terreno entro il circo di Aristarco. L'ipotesi della natura cristallina delle Città è rafforzata dalla recente scoperta di strutture di forma regolare, da ascriversi apparentemente al sistema trimetrico, che si innalzano per varie centinaia di metri al di sopra del piano-città. Esse sono agevolmente osservabili durante i crepuscoli grazie alla loro ombra: hanno sezione rettangolare o quadrata, e in qualche caso è stato possibile assistere alla loro formazione, che avviene alla velocità di 10-20 metri al mese lungo l'asse verticale. È assai raro che esse si presentino al di fuori delle aree urbane. Alcune, in condizioni geometriche opportune, riflettono specularmente la luce solare, il che ha reso agevole la misura delle costanti cristallografiche. [...]
> PERIODICITÀ NON ASTRONOMICHE. Un certo numero di fenomeni osservati sulla terra segue un ritmo di sette giorni. [...] Non si tratta certamente di un ritmo astronomico: come è noto, né il mese (sinodico o sidereo) né l'anno (solare o sidereo) terrestre contengono un numero di giorni multiplo di sette.
> Il ritmo settimanale è estremamente rigido. I fenomieni che chiameremo DSG (Del Settimo Giorno), e che interessano principalmente le città e i loro dintorni immediati, hanno luogo simultaneamente su tutta la superficie terrestre: al netto, beninteso, delle differenze di ora locale. Il fatto non è spiegato, né sono state proposte iptesi veramente soddisfacenti: a titolo di curiosità segnaliamo che da alcuni osservatori è stata formulata la supposizione di un ritmo biologico. [...]
> CRATERI ELLITTICI. L'esistenza di crateri ellittici (più raramente circolari o semicircolari) entro alcune Città o nelle immediate vicinanze era già stata segnalata in rapporti precedenti. Essi si formarono lentamente (nel corso di cinque fino a quindici anni) in tempi anche molto antichi presso diverse Città della zona mediterranea; ma non risulta che siano stati osservati prima dell'ottavo secolo a.C. [...] Negli ultimi sessant'anni numerosi altri crateri si sono formati con grande regolarità entro o presso tutte le Città di estensione superiore ai 30-50 ettari: le Città maggiori ne posseggono spesso due o più. Non appaiono mai sui pendii, ed hanno forma e dimensioni molto uniformi. Piuttosto che a pianta propriamente ellittica, essi consistono di un rettangolo di circa 160 per 200 metri, completato sui due lati brevi da due semicirconferenze. La loro orientazione appare casuale, sia rispetto al reticolo urbano, sia rispetto ai punti cardinali. Che si tratti di crateri, è stato chiaramente riconosciuto dal profilo delle ombre crepuscolari: il loro bordo è alto 12-20 metri rispetto al suolo, scende a picco verso l'esterno, e verso l'interno con una pendenza del 50 per cento circa. Alcuni di essi, nella stagione estiva, emettono talvolta una lieve luminosità nelle prime ore della notte.
> La loro origine vulcanica è ritenuta probabile, ma è oscuro il loro rapporto con le formazioni urbane. Altrettanto misterioso è il ritmo settimanale a cui i crateri stessi appaiono tipicamente soggetti, e che descriviamo nel punto seguente. [...]
> ATTIVITÀ DSG DEI CRATERI. [...] Ogni sette giorni il loro contorno, che normalmente è biancastrom, diviene grigio o nero nel giro cdi poche ore (generalmente nelle prime ore pomeridiane): conserva questa colorazione oscura per due ore circa, per riassumere poi in 15-20 minuti la tinta biancastra primitiva. Solo eccezionalmente il fenomeno è stato osservato in giorni diversi dal settimo. L'area interna dei crateri non presenta variazioni di colore apprezabili.
> ALTRE ATTIVITÀ DSG. Nelle prime ore diurne dei settimi giorni i filamenti urbani periferici (radiali) appaiono lievemente più scuri. Nelle prime ore notturne successive, soprattutto nella stagione estiva, essi appaiono invece debolmente luminosi anche al di fuori del perimetro urbano: in particolari condizioni di angolatura, questa luminosità appare sdoppiata in due filamenti paralleli e contigui, uno di luce bianca ed uno di luce rossa.
> Anche alcune porzioni di litorale marino sono soggette ad oscuramento DSG. Esso è stato osservato su litorali di peculiare colore giallastro, non troppo lontani da Città e non soggetti a grosse maree: ha luogo solo nelle stagioni e nelle località di maggiore insolazione e dura da 2-4 ore dopo l'alba fino al tramonto locale. Su alcune delle spiagge in questione l'oscuramento, oltre che al settimo giorno, si osserva quotidianamente, per un periodo di 15-30 giorni che ha inizio un mese circa dopo il solstizio d'estate.

[5] Per esempio: ho fatto un modello di evoluzione stellare. Per controllare se può essere considerato attendibile devo inventarmi un osservabile, ovvero una quantità che posso misurare in una osservazione. Mi accorgo che con il mio modello posso prevedere quante stelle di colore, per esempio, rosso devono trovarsi in un campione di stelle. Per verificare la previsione, allora, posso 'contare' il numero di stelle di quel colore si trovano in un campione di stelle che osservo in cielo – anche qui la statistica è essenziale…

[6] da *Vizio di Forma*, Primo Levi, Einaudi. Ripubblicato sempre da Einaudi nel volume *Tutti i racconti*.

ANOMALIE DSG. In questi ultimi mesi è stato dimostrato che in alcune zone dell'Africa settentrionale, dell'Asia meridionale e dell'Arcipelago Malese i fenomeni DSG avvengono con due giorni di anticiopo rispetto al resto della Terra, e con un solo giorno d'anticipo in una stretta striscia dell'istmo che congiunge l'Asia con l'Africa. [...]

**Schema riassuntivo:**

Il sapere scientifico si distingue dagli altri tipi di sapere perché può fare **previsioni**. Per fare previsioni la scienza elabora **modelli**, che non coincidono con la realtà. Un modello superato non è un modello sbagliato. Ogni modello ha un **ambito di validità** entro cui le previsioni sono verificate, e fuori dal quale non funziona più. Capita spesso che l'invenzione di strumenti più accurati porti a scoprire limiti di validità di un modello. Oltre questi limiti il modello va sostituito o modificato. Questo vale per tutti i modelli, da quelli astronomici a quelli atomici.

**Bibliografia**

*La rivoluzione dimenticata*, Lucio Russo, Feltrinelli.
*La rivoluzione copernicana*, Thomas Kuhn, Einaudi.
*Il pensiero occidentale dalle origini ad oggi*, vol.2 G. Reale, D. Antiseri, editrice La Scuola.