

M. Besozzi

Il problema della longitudine

Breve storia di una straordinaria avventura concettuale



In copertina: un Giovilabio [1]. "...Il Giovilabio è certamente da collegare agli studi compiuti da Galileo per determinare i periodi dei satelliti di Giove, la cui scoperta era stata annunciata nel 1610 nel *Sidereus Nuncius*, e per stabilire i tempi delle loro eclissi. Galileo capì subito che le eclissi di Giove potevano consentire un metodo preciso per determinare la longitudine. Sullo strumento sono segnate le tavole per i moti medi di ognuno dei quattro satelliti. I due dischi girevoli di diverso diametro, che ruotano, collegati tra loro, grazie a un'asta mobile, permettono di ricondurre al Sole le apparenze dei satelliti osservate dalla Terra (apparenze che appaiono irregolari per via dei moti eliocentrici della Terra e di Giove). Galileo avviò lo studio sistematico dei periodi dei satelliti di Giove nel 1611, sviluppando a tale scopo un micrometro. Lo scienziato pisano produsse tavole dei periodi dei satelliti di Giove che offrì, assieme ai propri cannocchiali, prima al Re di Spagna (1611, 1612, 1616 e 1627-1628) e, poi, (1637-1641) agli Stati Generali d'Olanda. Per convincere gli interlocutori spagnoli che era possibile osservare il sistema di Giove in situazione di instabilità, come sul ponte delle navi, Galileo concepì un particolare strumento, che, per la sua foggia a forma di celata, fu definito celatone. In questa seconda proposta illustrò anche i vantaggi recati dall'applicazione del pendolo all'orologio. Nonostante l'interesse suscitato, nessuna delle proposte galileiane fu accolta..." [2].

Le immagini sono opera dell'autore o tratte da opere di pubblico dominio e quando opera di terzi vengono riportate con la licenza di distribuzione richiesta. Quest'opera è rilasciata con *Licenza Creative Commons Attribuzione-Non commerciale 4.0 Internazionale*. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

The images are the work of the author or taken from works in the public domain and when they are work of third parties are reported with the required distribution license. This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License*. To view a copy of this license visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

~~Versione 1.0 (08/11/2017)~~

~~Versione 1.1 (14/01/2018)~~

~~Versione 1.2 (19/12/2018)~~

Versione 2.0 (23/10/2024)

[1] Giovilabio, 1650-1700 circa. Sailko, Public domain, via Wikimedia Commons.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31258177>

[2] *Museo Galileo* - Museo Virtuale, Sala VII.

<https://catalogo.museogalileo.it/oggetto/Giovilabio.html>

"Guardate le stelle invece dei vostri piedi"
(Stephen Hawking)

INDICE

1.	Prologo	5
2.	Dati, informazione e conoscenza	8
3.	Deduzione, induzione e abduzione	17
4.	Magia, filosofia e scienza	23
5.	Da Anassimandro a Ipparco e Tolomeo	34
6.	Da Cristoforo Colombo a Galileo e Halley	47
7.	Gli orologi di Harrison e le mappe di Poincaré	58
8.	Dal telefono senza fili al GPS	73
9.	Epilogo	79
	Indicazioni bibliografiche	82
	Appendici	
A1.	La Risposta alla Grande Domanda	85
A2.	Datemi un punto d'appoggio...	87
A3.	Historia coelestis Britannica	90
A4.	Nautical almanac and astronomical ephemeris	103
A5.	Fondation du Bureau des Longitudes	113
A6.	La scrittura nel Fedro di Platone	118

1. Prologo

*"Considerate la vostra semenza:
fatti non foste a viver come bruti,
ma per seguir virtute e canoscenza."
(Dante Alighieri, Inferno, canto XXVI) [3]*

Il 31 marzo 2001 al Teatro Portaromana di Milano avevamo visto *"Il tempo al di là del mare"*, uno spettacolo teatrale di Annalisa Bianco interpretato da Marcello Bartoli e Dario Cantarelli e realizzato in collaborazione con l'Istituto Nazionale per la Fisica della Materia (INFM) di Genova [4].

Ecco qui, con l'originale del biglietto, una recensione [5] che aiuta a ricordare l'evento.

"Il testo dello spettacolo, curato da Annalisa Bianco e solo liberamente ispirato al best-seller Longitudine di Dava Sobel, è portato in scena dalla compagnia I fratellini. Ma i protagonisti sono proprio gli attori, Dario Cantarelli e Marcello Bartoli (anche regista), rispettivamente nei panni del reverendo Nevil Maskelyne, astronomo reale inglese della metà del Settecento e John Harrison, l'artigiano inventore del cronometro marino capace di risolvere il problema della longitudine e di permettere ai naviganti di portarsi appresso il tempo del porto di partenza. Ciò grazie a un orologio che finalmente non risentisse degli sbalzi di temperatura e di pressione o dei rollii e dei beccheggii della nave.

Il tempo al di là del mare I due, in continuo disaccordo, reciprocamente sospettosi l'uno dell'altro e dediti a punzecchiarsi a vicenda per tutto lo spettacolo, portano in primo piano con una recitazione lieve e brillante le differenze di metodo, di carattere e di concezione filosofica dei due personaggi storici.

Da un lato la concezione elitaria della conoscenza scientifica dell'astronomo, convinto sostenitore del metodo delle distanze lunari e che la chiave della soluzione al problema della longitudine si potesse trovare soltanto nell'affinamento della teoria astronomica dell'orbita del nostro satellite e nella compilazione di tabelle frutto di lunghi calcoli e che solo pochi esperti erano capaci di compiere.

Dall'altro la fiducia nella manualità e nell'ingegno proprie del semisconosciuto (e per nulla erudito)



[3] Avevo pensato alla frase di Marcel Proust *"Il vero viaggio di scoperta non consiste nel cercare nuove terre, ma nell'aver nuovi occhi"*. Per un mio puntiglio, dopo averla ritrovata per anni un po' dappertutto, ho cercato la frase in: Marcel Proust. *Alla ricerca del tempo perduto*. Edizione integrale a cura di Paolo Pinto e Giuseppe Grasso condotta sul testo critico stabilito da Jean-Yves Tadié. Newton Compton editori, Roma, 2013, ISBN 978-88-541-1634-4. Ma non sta scritta così. A pagina 1815, ne *"La prigioniera"* si legge: *"Il solo vero viaggio, il solo bagno di Giovinezza, non sarebbe quello di andare verso nuovi paesaggi, ma di avere occhi diversi, di vedere l'universo con gli occhi di un altro, di cento altri, di vedere i cento universi che ciascuno di essi vede, che ciascuno di essi è; e questo possiamo farlo con un Elstir, con un Vinteuil, con i loro pari, con i quali voliamo davvero di stella in stella"*. Elstir è un pittore, Vinteuil è un musicista. Proust si riferisce quindi a ciò che si può vedere con gli occhi dell'arte. La frase è stata ampiamente modificata, e la decontestualizzazione ne ha completamente cambiato il significato originario. Scrivo questo giusto per amore della precisione. E odio del "copia e incolla". Perché alla fine nello stendere questi appunti i nuovi occhi ho cercato di metterceli comunque.

[4] Il 7 Giugno 2003 è entrato in vigore il decreto legislativo di riordino del Consiglio Nazionale delle Ricerche (d. Lgs. 4 giugno 2003 n.127, pubblicato sulla G.U.R.I. Serie Generale n.129 del 6 Giugno 2003), in seguito al quale l'INFM è stato accorpato al CNR.

[5] Torinoscienza. *Il tempo al di là del mare*.

http://archivio.torinoscienza.it/recensioni/il_tempo_al_di_la_del_mare_20438.html

artigiano, teso a risolvere il problema racchiudendo il segreto in un orologio che fosse di uso comune, anche alla portata di viaggiatori a digiuno di approfondite conoscenze astronomiche.

Il tutto condito dal sospetto più che legittimo che l'astronomo reale si fosse avvalso della propria posizione di potere per condizionare le prove a cui era stato sottoposto l'orologio di Harrison ed accaparrarsi così il cospicuo premio di ventimila sterline (pari oggi a circa dieci milioni di euro) messo in palio dal Parlamento inglese nella speranza di risolvere l'annoso problema.

Il tempo al di là del mare In definitiva un tentativo riuscito di portare in scena una questione scientifica limitando all'essenziale l'aspetto didascalico e privilegiando il rapporto dialettico e conflittuale fra i protagonisti.

Interessanti i modelli degli strumenti scientifici utilizzati in scena, fra i quali cattura l'attenzione del pubblico il celatone, una specie di elmo dotato di un cannocchiale monocolo con cui Galileo teorizzava di riuscire a stabilire la longitudine in mare grazie all'osservazione delle eclissi dei satelliti di Giove.

A cura di Walter Riva, del 21/09/2002"

Naturale conseguenza dell'interesse suscitato dallo spettacolo teatrale fu allora l'acquisto del libro di Dava Sobel "Longitudine" [6] dal quale lo spettacolo era stato tratto, libro che narra le vicende di John Harrison, l'orologiaio autodidatta che nel '700 pose le basi per un salto di qualità (lungamente cercato) nella misura della longitudine.

Ho riletto alla distanza di una dozzina di anni il libro, e devo confermare che è ben documentato e ben scritto [7]. Ma quando ci si è resi conto che la terra è rotonda? E che è completamente circondata dal cielo? E quando e come è nato il problema della longitudine? Da chi e in che modo è stato affrontato fino all'epoca delle grandi navigazioni, e poi fino al '700? Quali sono stati fino ad allora i metodi per la misura della longitudine? Come e quando sono stati concepiti e realizzati? Da chi? E dopo Harrison, e prima del GPS, ci sono stati ulteriori progressi nella misura della longitudine? Quali sono stati? [8]

Insomma un libro è un buon libro non solo perché fornisce risposte, ma anche perché è in grado di far nascere nel lettore curiosità e domande. Ed è proprio cercando di rispondere alle domande nate leggendo il libro dei Dava Sobel che ho intrapreso un piccolo viaggio culturale. Che ha finito incredibilmente con l'attraversare i territori della filosofia, dalla filosofia greca alla moderna epistemologia; della scienza, dalla cosmologia alle scienze cognitive; della storia, dalla storia antica alla storia delle navigazioni; della tecnologia, dallo gnomone al celatone e al GPS. Che mi ha costretto, per procurarmi la documentazione originale che cercavo, a riprendere e riscoprire libri che avevo letto tempo fa e ad acquistarne altri che non possedevo, come la "Fisica" [9] e il "De Coelo" [10] di Aristotele, che non avrei mai immaginato di acquistare, e "La rivoluzione copernicana" [11] di Thomas S. Kuhn, che invece a suo tempo mi era sfuggito.

Ed ecco allora i miei appunti di viaggio [12]. Nei quali alla parte più propriamente dedicata al problema della

[6] Dava Sobel. *Longitudine. La vera storia della scoperta avventurosa che ha cambiato l'arte della navigazione*. RCS Libri, Milano, 2004, ISBN 88-17-11290-9.

[7] Nel libro della Sobel manca la parte matematica, per la quale si rimanda a Lee Nah Wong. *The Mathematics of the Longitude*. Che dichiara esplicitamente: "The main objective of this project is to write a clear mathematical supplement to the book "Longitude" by Dava Sobel".

https://www.siranah.de/manuals/The_Mathematics_of_the_Longitude.pdf

[8] Un'ottima rassegna di questi temi, si trova nel CD virtuale "Il Cielo dei Navigatori" a cura di Fabrizio Mazzucconi, Piero Ranfagni,

https://divulgazione.uai.it/index.php/Il_cielo_dei_navigatori

[9] Aristotele. *Fisica*. A cura di Roberto Radice. Bompiani/RCS Libri, Milano, 2011, ISBN 978-88-452-6921-9.

[10] Aristotele. *Il cielo*. A cura di Alberto Jori, Bompiani/RCS libri, Milano, 2015, ISBN 978-88-452-9193-7.

[11] Thomas S. Kuhn. *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Giulio Einaudi editore, Torino, 1972, ISBN 88-06-33332-1.

[12] In questi appunti le evidenze a supporto dei vari argomenti sviluppati sono rappresentate dalle citazioni testuali dei vari Autori tratte dalle fonti originali. Nel caso di libri antichi, come ad esempio l'*Almagesto* di Tolomeo, la *Geografia* di Strabone, le *Opere di Galileo* e altri che ho citato, le fonti sono rappresentate da testi originali scansionati

longitudine sono stati anteposti tre capitoli che hanno lo scopo di illustrare la complessità del percorso che è stato necessario seguire per arrivare alla sua soluzione. Un percorso che il problema della longitudine condivide con tutta la storia del pensiero umano, e con la sfida rappresentata da rompere la gabbia in cui ci tiene chiusi la mente ancestrale, per uscire alla scoperta della strada che porta alla comprensione della realtà. Per la quale credo che nulla valga di più dell'esortazione di Stephen W. Hawking: "*Guardate le stelle invece dei vostri piedi*" [13]. Così mi è piaciuto molto ricordare alcuni di coloro che hanno avuto la capacità di farlo, alcuni degli straordinari personaggi che hanno contribuito a fondare le basi culturali e metodologiche della conoscenza scientifica, basi che non possono e non devono essere date per scontate soprattutto in un'epoca contrassegnata dalla tendenza a un imbarbarimento culturale e anti-scientifico, nella quale l'ID [14] trova supporti mediatici e politici e nella quale per avere la longitudine sembra sia sufficiente premere il tasto di un GPS.

e disponibili online, come viene di volta in volta documentato. Le argomentazioni senza citazioni e le note al testo ricadono invece ovviamente sotto la mia esclusiva responsabilità.

[13] Stephen W. Hawking. *Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo*. Rizzoli Libri, Milano, 2016, ISBN 978-88-17-07975-4.

[14] Intelligent Design.

2. Dati, informazione e conoscenza

*“Dove è la sapienza che abbiamo smarrito nella conoscenza,
dove è la conoscenza che abbiamo smarrito nell’informazione,
dove è l’informazione che abbiamo smarrito nei dati,
dove sono i dati che abbiamo smarrito nel rumore.”
(Anonimo) [15]*

Letto *dall’alto verso il basso* l’*aforisma* rappresenta la metafora della modernità. Che ha rotto quell’armonico senso di unità tra corpo, mente e natura che gli antichi definivano **sapienza**. Quindi ha imposto, e sta sempre più imponendo, la necessità di suddividere l’enorme quantità di **conoscenza** globalmente disponibile in sottoinsiemi. Nasce la figura dello specialista. Tramonta definitivamente l’idea di cultura enciclopedica [16]. Ed è crisi in quanto, come ci ricorda Umberto Galimberti [17]:

“... [questo passaggio] ci mette di fronte a problemi sui quali siamo chiamati a pronunciarci senza alcuna competenza. Basti pensare, a titolo esemplificativo, al referendum sulla fecondazione assistita, o al dibattito sulle centrali nucleari, o a quello sugli organismi geneticamente modificati. In tutti questi casi si possono giudicare con competenza i termini dei problemi solo se si è rispettivamente un biologo, un fisico nucleare o un genetista. Le persone prive di queste specifiche qualifiche prenderanno posizione su basi “irrazionali”, quali sono l’appartenenza ideologica a un partito, la fascinazione per chi è maggiormente persuasivo in televisione, la simpatia per un politico...”.

Ancora, i ritmi di vita sempre più serrati e la tecnologia hanno portato a comprimere i processi di comunicazione. Il paradigma è rappresentato dalla comunicazione mediante immagini. Il processo di comunicazione aumenta in efficienza poiché per trasmettere il messaggio è necessario meno tempo, e aumenta in efficacia, grazie alla possibilità di renderlo accattivante con suoni e colori, e di fissarlo con le continue reiterazioni. Ma il messaggio veicolato mediante immagini comporta una perdita di dettaglio, e viene tendenzialmente percepito come compiuto: la società dell’immagine porta a perdere il momento della riflessione e dalla analisi critica sul suo contenuto.

La conoscenza ha ormai lasciato il posto all’**informazione**. E l’informazione fine a se stessa, l’informazione-business, si è ormai faustianamente trasformata nel grande fratello orwelliano, già presente tra noi (ma quanti se ne sono resi conto?). E c’è ancora di peggio nell’aria. Il flusso informativo è talmente imponente, rispetto al tempo dedicato (e dedicabile) alla riflessione critica su di esso da parte del singolo individuo, da rischiare di diventare semplicemente un flusso di **dati** nei quali non abbiamo più nemmeno il tempo di rimettere ordine. Lasciandoci definitivamente in balia delle derive cercate e imposte dai grandi burattinai dell’umanità.

All’alba del terzo millennio, nel pieno dell’era dei social-media, i problemi politici e sociali (inclusi i pericoli

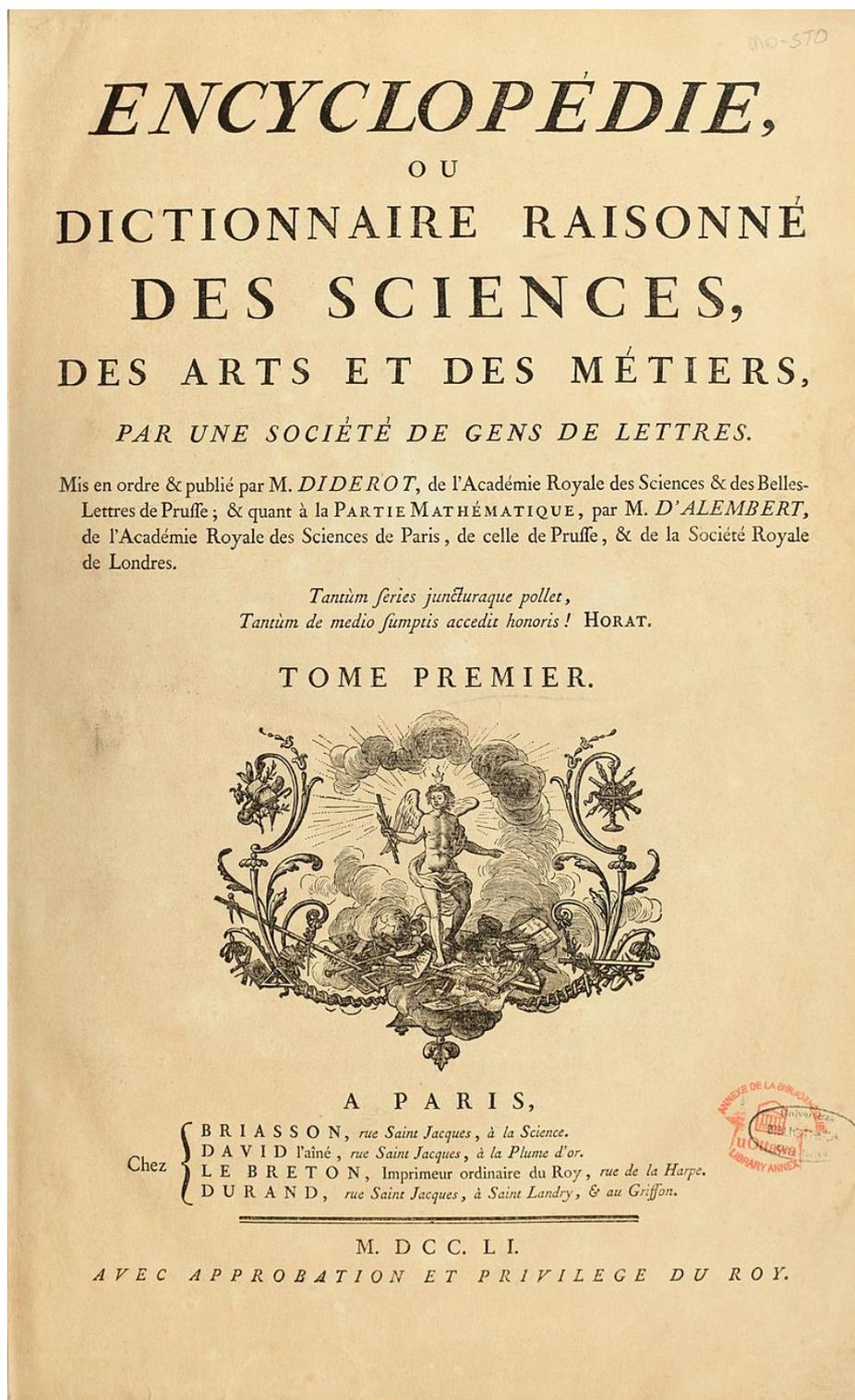
[15] Ispirato ai Cori da "The Rock" di Thomas Stearns Eliot : "*The endless cycle of idea and action, / Endless invention, endless experiment, / Brings knowledge of motion, but not of stillness... / The Eagle soars in the summit of Heaven, / The Hunter with his dogs pursues his circuit. / O perpetual revolution of configured stars, / O perpetual recurrence of determined seasons, / O world of spring and autumn, birth and dying! / The endless cycle of idea and action, / Endless invention, endless experiment, / Brings knowledge of motion, but not of stillness; / Knowledge of speech, but not of silence; / Knowledge of words, and ignorance of The Word. / All our knowledge brings us nearer to our ignorance, / All our ignorance brings us nearer to death, / But nearness to death no nearer to God. / Where is the Life we have lost in living? / **Where is the wisdom we have lost in knowledge? / Where is the knowledge we have lost in information? / The cycles of Heaven in twenty centuries / Brings us farther from God and nearer to the Dust...**".*

[16] Alla pagina seguente il colophon della *Encyclopédie* di Diderot e d’Alembert, pubblicata a Parigi a partire dal 1751. Public domain, via Wikimedia Commons.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Encyclopedie_de_D%27Alembert_et_Diderot_-_Premiere_Page_-_ENC_1-NA5.jpg

[17] Umberto Galimberti. *I miti del nostro tempo*. Giangiacomo Feltrinelli, Milano, 2012, ISBN 978-88-077-2325-4.

per la democrazia), derivanti dalla eccessiva quantità e dalla scarsa qualità dell'informazione che circola nella infosfera [18], e dalla potenza degli strumenti mediante i quali può essere manipolata e inculcata nelle menti, devono far riflettere.



Letto invece *dal basso verso l'alto* l'aforisma ci ricorda la strada seguita per affrontare il più antico e il più

[18] La globalità dello spazio delle informazioni, include sia il cyberspazio (Internet, telecomunicazioni digitali) sia i mass media classici.

basilare problema dell'uomo: comprendere la realtà. Un problema che nel corso della storia non è stato sempre affrontato con le domande giuste, come ci ricorda con geniale ironia [19] Douglas Adams [20].

In ogni caso ai fini delle considerazioni che seguiranno aiuta ricordare le definizioni dei termini dato, informazione e conoscenza [21].

Dato >> *elemento o serie di elementi accertati e verificati che possono formare oggetto di indagini, ricerche, elaborazioni o che comunque consentono di giungere a determinate conclusioni.*

Informazione >> *atto, effetto dell'informare o dell'informarsi.*

[essendo a sua volta]

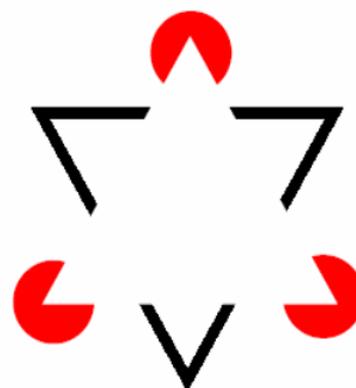
Informare >> *modellare secondo una forma.*

Conoscenza >> *facoltà, atto, modo, effetto del conoscere*

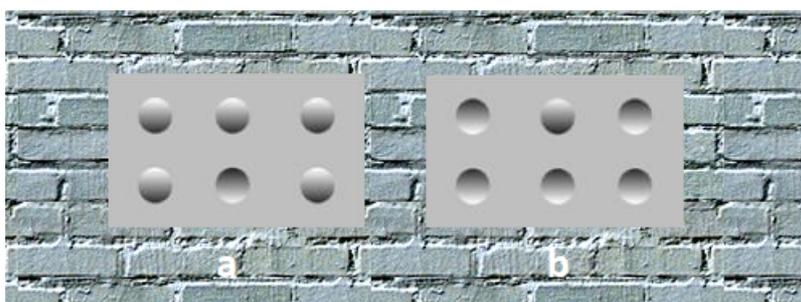
[essendo a sua volta]

Conoscere >> *prendere possesso intellettualmente o psicologicamente, specialmente con un'attività sistematica, di qualunque aspetto di quella che è considerata realtà.*

Ma attenzione. La strada che porta alla realtà [22] non è così lineare come potrebbe sembrare. Alcune immagini dimostrano come i nostri sensi possono essere ingannati. Un'illusione percettiva molto nota è il triangolo di Kanizsa (dal nome di Gaetano Kanizsa [23], lo psicologo triestino che l'ha individuata). Nella figura qui accanto i soggetti dichiarano di percepire un triangolo bianco parzialmente sovrapposto a tre cerchi rossi e a un triangolo con i bordi neri. Ma, a ben vedere, il triangolo non c'è. La sua presenza è soltanto suggerita da tre segni neri a V e da tre cerchi rossi privi di una "fetta". E' il nostro sistema percettivo a completare l'immagine interpretando segni a V e cerchi come parti di figure parzialmente nascoste (in certi casi l'illusione è così forte che alcuni soggetti dichiarano di percepire il triangolo bianco come leggermente più chiaro dello sfondo).



O ancora, si considerino le due immagini seguenti:



[19] Vedi A1 - *La Risposta alla Grande Domanda*.

[20] Douglas Noël Adams (Cambridge, 11 marzo 1952 - Santa Barbara, 11 maggio 2001).

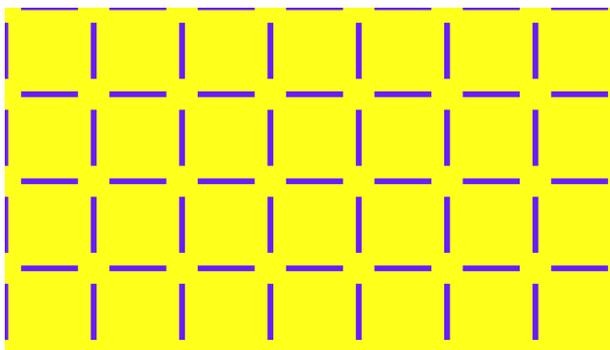
[21] *Vocabolario della lingua italiana* di Nicola Zingarelli. Zanichelli, Bologna, 1994.

[22] Ho mutuato l'espressione dal titolo di un libro di Roger Penrose che, come chiarisce lo stesso Autore, ha "... *lo scopo [di] trasmettere al lettore la capacità di apprezzare uno dei più importanti ed eccitanti viaggi di scoperta che l'umanità abbia mai intrapreso: la ricerca dei principi fondamentali che reggono il comportamento del nostro universo...*". Roger Penrose. *La strada che porta alla realtà. Le leggi fondamentali dell'universo*. R.C.S. Libri, Milano, 2005, ISBN 978-88-17-01233-1.

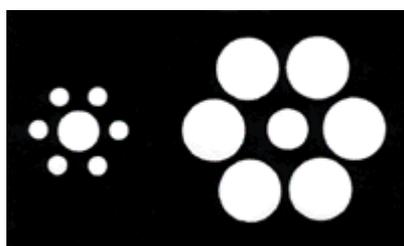
[23] Gaetano Kanizsa (Trieste, 18 agosto 1913 - Trieste, 13 marzo 1993).

Tutti diremmo che **a** raffigura cinque cerchi convessi e uno concavo, e che **b** raffigura cinque cerchi concavi e uno convesso. Tuttavia **b** non è altro che **a** capovolta. Per sincerarsene basta girare sottosopra il foglio (o girare sottosopra la testa) e constatare che ora in **a** ci sono cinque cerchi concavi e uno convesso, e in **b** cinque cerchi convessi e uno concavo [24].

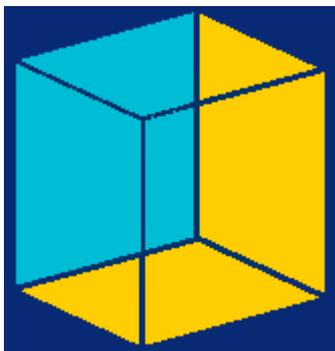
Nell'immagine che segue appaiono dei cerchi nelle aree vuote, dove dovrebbero idealmente trovarsi le intersezioni tra le righe orizzontali e le righe verticali. Si tratta di cerchi "fantasma", che in realtà non esistono, ma anche se non sono mai stati tracciati fisicamente, risultano "indubitabilmente" visibili.



Un'altra "illusione visiva" abbastanza nota è rappresentata dall'immagine nella quale un cerchio bianco centrale, circondato dai sei cerchi bianchi periferici, è rappresentato due volte, la prima con i sei cerchi periferici "piccoli", la seconda con i sei cerchi periferici "grandi". Nelle due rappresentazioni il cerchio centrale appare di diverse dimensioni, indicando una sensibilità del sistema visivo al contesto: in un contesto di cerchi più piccoli il cerchio centrale appare più grande, e viceversa.



Infine il cubo di Necker è un esempio di immagine che presenta una intrinseca ambiguità. Si può percepirlo come un cubo visto dall'alto: la faccia blu e la faccia gialla verticali sono opache, così come la parete inferiore. La faccia superiore è vista dall'esterno ed è trasparente, così come sono trasparenti le due facce anteriori, che si proiettano verso l'osservatore. Ma si può anche percepirlo come un cubo visto dal basso: a questo punto sono le facce colorate ad essere trasparenti. La faccia inferiore viene vista dall'esterno, così come le due facce anteriori, la sinistra blu, e la destra gialla. Mentre la faccia superiore e le due facce laterali che si allontanano dall'osservatore sono viste in trasparenza. Alcuni soggetti lo percepiscono la prima volta "istintivamente" in un modo, altri lo percepiscono nel modo alternativo: ma, anche se con un po' di fatica, si può imparare a passare da un modo di vederlo all'altro e ad alternarli a piacimento abbastanza rapidamente.



[24] L'illusione è determinata dall'assunto che la luce provenga dall'alto. Dato questo assunto, ne deriva che *ombra in alto = concavo* e *luce in alto = convesso*. L'assunto evidentemente è stato cablato dall'evoluzione nel nostro sistema percettivo, e per questa ragione non riusciamo a correggerlo.

La conclusione di queste brevi considerazioni? Attenzione a dire "credo solo quello che vedo!". Aristotele [25], dal vedere che un corpo lanciato verticalmente verso l'alto ricadeva nello stesso punto nel quale era stato lanciato, aveva tratto una delle prove "sperimentali" a favore del fatto che la terra è immobile: "... È dunque evidente che la terra deve trovarsi al centro [dell'universo] e rimanervi immobile: lo provano le ragioni precedentemente illustrate, come pure il fatto che i corpi pesanti lanciati con la forza verso l'alto in linea verticale ricadono al loro punto di partenza, e questo anche se la forza li avesse scagliati a un distanza infinita..." scrive nel De Coelo [26]. Quello che appare come un **dato** oggettivo ed **evidente** è un errore. Sarà necessario attendere Copernico [27], Galileo [28] e Newton [29] per superarlo.

Ecco cosa ci dice a proposito delle illusioni percettive Marcello Frixione nel suo libro "Come ragioniamo" [30], in un paragrafo che riporto in quanto (a proposito di quanto detto sopra a proposito di Aristotele) è non a caso intitolato "Saltare alle conclusioni" [31]:

"... La presenza praticamente ubiqua di forme di ragionamento non monotono [32] nella vita quotidiana è dovuta al fatto che noi siamo agenti cognitivi limitati, che hanno soltanto un accesso parziale alle informazioni che sarebbero rilevanti per i loro scopi. Da qui la necessità di saltare alle conclusioni a partire da informazioni incomplete.

Si tratta di un problema generale, il quale, oltre che l'ambito del ragionamento riguarda anche altre prestazioni cognitive. Paradigmatico è il caso della percezione visiva. Ricostruire lo stato del mondo a partire dai dati che giungono ai sensori è un classico esempio di ciò che gli ingegneri chiamano un **problema inverso mal posto**. Vediamo di cosa si tratta per mezzo di un semplice esempio. Un problema diretto è un problema che ammette una soluzione univoca, come, ad esempio, il problema di individuare il numero che si ottiene sommando 5 e 2.

$$5 + 2 = ?$$

In questo caso la risposta è determinata univocamente: il numero cercato è 7. Supponiamo ora di porci la domanda inversa: quali sono due numeri che sommati tra loro producono 7 come risultato?

$$? + ? = 7$$

Ovviamente questa domanda non ammette una sola risposta. Anche se ci si limita i numeri naturali c'è più di una coppia di numeri la cui somma è 7:

7	0
6	1
5	2
4	3
3	4
2	5
1	6
0	7

La seconda domanda costituisce un esempio di **problema inverso mal posto**. I problemi che deve risolvere il nostro sistema visivo quando ricostruisce gli stati del mondo esterno a partire dai dati percettivi assomigliano più al secondo caso che non al primo...

[25] Aristotele (Ἀριστοτέλης, Aristotélēs; Stagira, 384 o 383 a.e.v - Calcide, 322 a.e.v.).

[26] Aristotele. *Il cielo*. Pagina 317 (296b).

[27] Niccolò Copernico (Mikołaj Kopernik; Toruń, 19 febbraio 1473 - Frombork, 24 maggio 1543).

[28] Galileo Galilei (Pisa, 15 febbraio 1564 - Arcetri, 8 gennaio 1642).

[29] Isaac Newton (Woolsthorpe-by-Colsterworth, 25 dicembre 1642 - Londra, 20 marzo 1727).

[30] Marcello Frixione. *Come ragioniamo*. Gius. Laterza & Figli, 2007, ISBN 978-88-420-8312-2.

[31] Marcello Frixione. *Come ragioniamo*, pp. 115-123.

[32] Marcello Frixione. *Come ragioniamo*, pp. 102-115.

Nonostante ciò, nella stragrande maggioranza dei casi, la percezione del mondo avviene senza sforzo e senza esitazioni da parte nostra. Vale a dire, il nostro sistema visivo propone, per così dire, alla nostra coscienza una interpretazione dei dati percettivi che perlopiù risulta affidabile, e questo processo avviene in maniera veloce del tutto automatica, senza che ci costi alcuno sforzo e senza che ne siamo in alcun modo consapevoli.

Questo è reso possibile dal fatto che il sistema visivo incorpora tutta una serie di assunzioni implicite che lo aiutano interpretare i dati percettivi. Per così dire il sistema percettivo «ci aggiunge del suo» per arrivare a una plausibile ricostruzione del mondo. Ciò dipende da una serie di ipotesi che il sistema visivo stesso incorpora, ipotesi che nella maggior parte dei casi risultano attendibili, anche se talvolta in alcuni casi eccezionali inducono in errore. Le illusioni percettive ... possono essere viste come casi eccezionali, in cui queste stesse ipotesi, per così dire, di **default**, che usualmente portano sistema percettivo a generare un'interpretazione corretta della scena, inducono invece il sistema a sbagliare ... Le illusioni percettive hanno a che fare con il **vedere**, e, presumibilmente, le nostre abitudini inferenziali non vi hanno parte. È interessante sottolineare però che la percezione e il ragionamento ordinario devono affrontare problemi simili, e sono sottoposti a vincoli in qualche modo analoghi: il nostro sistema cognitivo ha un accesso limitato alle informazioni che sarebbero rilevanti per i compiti che deve risolvere, per cui si trova a dover azzardare ipotesi sulla base di dati incompleti. Ciò costituisce una caratteristica generale della cognizione."

Le illusioni visive/ottiche sono quindi in realtà solo la punta dell'iceberg. Le illusioni della ragione, molto più subdole e il più delle volte inapparenti anche alle menti più esercitate, sono la parte sommersa che solo da poco si è cominciato ad esplorare. Ecco alcuni problemi che possono aiutare ad esemplificare le trappole in agguato anche nella soluzione di problemi piuttosto semplici [33].

PROBLEMA 1

Si supponga che una moneta sia stata lanciata cinque volte, mostrando sempre testa.
Quale è la probabilità che al sesto lancio della moneta il risultato sia croce? [34]

PROBLEMA 2

Ecco quattro possibili esiti (T = testa, C = croce) di un lancio di monete, TCCTCTC, TCTTCTC, TTTTTTT, CCTTCCTC.
Quale è la sequenza meno probabile? [35]

Il problema di Monty Hall è un eccellente esempio del fatto che l'intuizione non sempre ci offre la soluzione corretta, e quindi del fatto che gli **errori cognitivi** sono sempre in agguato. Il problema è tratto dal gioco a premi americano *Let's Make a Deal*, e il nome gli deriva da quello del conduttore dello show, Monty Hall appunto. La formulazione del problema è contenuta in una lettera del 1990 di Craig F. Whitaker, indirizzata alla rubrica di Marilyn vos Savant *Ask Marilyn* nel *Paradise Magazine*. La vos Savant risolse il problema correttamente; ma alla rivista arrivarono almeno 10.000 lettere, il 92% delle quali indicavano la risposta fornita dalla vos Savant come sbagliata. Notevole scalpore fu determinato dal fatto che alcuni matematici

[33] Si tratta di problemi piuttosto semplici in relazione al fatto che sia il problema sia la domanda sono espressi in modo conciso, e senza ambiguità nelle definizioni. Nonostante ciò è frequente che si sbagli nelle risposte. Immaginarsi cosa accade sul piano della logica e della coerenza quando le domande sono generiche, non sono chiare o mancano del tutto le definizioni e le argomentazioni sono sviluppate per decine o centinaia di pagine.

[34] Poiché nel lancio di una moneta ogni singolo evento (che sia testa o croce) è indipendente, e casuale, la risposta è ovviamente: "la probabilità che al sesto lancio la moneta segni croce è del 50%". Tuttavia la tendenza a ritenere "intuitivamente" necessaria una equa distribuzione tra testa e croce è tale da indurre molti a prevedere che la probabilità che al sesto lancio esca croce sia in qualche modo superiore al 50%.

[35] Di nuovo, nel lancio di una moneta ogni singolo evento (che sia testa o croce) è indipendente, e casuale, e la sua probabilità è del 50%. La probabilità di una specifica sequenza è pari al prodotto della probabilità dei singoli eventi, quindi per le quattro sequenze riportate (tutte le sequenze indicate sono sequenze di 8 eventi) è sempre la stessa ed è pari a $0,5 \times 0,5 = 0,003906$.

accademici non riconobbero la correttezza della soluzione proposta dalla vos Savant finché questa non la spiegò nel dettaglio in un successivo articolo.

PROBLEMA 3

In un gioco a premi, il concorrente può scegliere tra tre porte, e vince il premio nascosto dietro alla porta che ha scelto.

Le regole del gioco sono le seguenti:

- dietro ciascuna di tre porte è nascosta o un'automobile o una capra (due capre e un'automobile in tutto); la probabilità che l'automobile si trovi dietro una data porta è identica per tutte le porte;
- il concorrente sceglie una delle porte, ma non viene rivelato cosa si nasconde dietro questa porta;
- il conduttore sa ciò che si nasconde dietro ciascuna porta;
- il conduttore deve aprire una delle porte non selezionate, e deve offrire al concorrente la possibilità di cambiare la sua scelta;
- il conduttore aprirà sempre una porta che nasconde una capra; ovvero, se il concorrente ha scelto una porta che nasconde una capra, il conduttore aprirà la porta che nasconde l'altra capra; se invece il concorrente ha scelto la porta che nasconde l'automobile, il conduttore sceglie a caso una delle due porte rimanenti;
- il conduttore offre al concorrente la possibilità di mantenere la scelta che ha fatto inizialmente, o di cambiare, scegliendo l'altra porta rimasta chiusa.

Le probabilità di vincere l'automobile cambiano per il concorrente se cambia la propria scelta? ^[36]

Un analogo di questo problema, presentato da Roberto Vacca, è il seguente ^[37].

PROBLEMA 4

Abbiamo tre scatole. Nella scatola 1 ci sono due palle di oro. Nella scatola 2 ci sono due palle di argento. Nella scatola 3 ci sono una palla di oro e una palla di argento. Esternamente le scatole sono indistinguibili una dall'altra. Viene scelta una scatola a caso e, senza vederne il contenuto, se ne estrae una palla: è di argento. Ovviamente la scatola non può essere la 1. Non abbiamo altri dati.

Quale è la probabilità che si tratti della scatola 2? ^[38]

Per rimanere sempre in tema di Aristotele, riporto le parole di Alberto Oliverio dal suo libro "Esplorare la mente" nel paragrafo intitolato (significativamente) "Trappole per la mente" ^[39]:

"... Prendiamo ad esempio sillogismo, la tipica argomentazione in cui, per dirla con Aristotele, "posto qualcosa come premessa, qualcos'altro ne deriva necessariamente come conclusione". Nei sillogismi si parte da due proposizioni dimostrate o assunte per arrivare a una conclusione che dovrebbe essere logica, come

[36] La risposta è sì; le probabilità di vincere l'automobile raddoppiano.

La probabilità di vincere l'automobile, scegliendo a caso una delle tre porte, è ovviamente di 1/3. E questa resta la probabilità di vincere se il concorrente decide di **non cambiare** la propria scelta.

Se il concorrente decide invece di **cambiare** la propria scelta ci sono tre possibilità:

- il concorrente ha scelto la porta dietro la quale si trova la capra numero 1. Il conduttore sceglie la porta dietro la quale si trova la capra numero 2. Cambiando la scelta, il concorrente vince l'auto;
- il concorrente ha scelto la porta dietro la quale si trova la capra numero 2. Il conduttore sceglie la porta dietro la quale si trova la capra numero 1. Cambiando la scelta, il concorrente vince l'auto;
- il concorrente ha scelto la porta dietro la quale si trova l'auto. Il conduttore sceglie la porta dietro la quale si trova una capra, non importa quale delle due. Cambiando la scelta, il concorrente trova l'altra capra.

Nei primi due casi cambiando la propria scelta il concorrente vince l'automobile; nel terzo caso il concorrente cambiando la propria scelta non vince. Pertanto **cambiare la scelta** porta la probabilità di vincere l'automobile a 2/3.

https://en.wikipedia.org/wiki/Monty_Hall_problem

[37] Roberto Vacca. *Anche tu matematico*. Garzanti, Milano, 1989, ISBN 88-11-67584-7, p. 103.

[38] La probabilità è di 2/3, dato che due delle tre palle di argento si trovano nella scatola 2.

[39] Alberto Oliverio. *Esplorare la mente. Il cervello tra filosofia e biologia*. Raffaello Cortina, Milano, 1999, ISBN 88-7078-575-0, pp. 104-107.

nella classica argomentazione secondo cui:

1) tutti gli esseri umani sono mortali, 2) Socrate è un essere umano, 3) dunque Socrate è mortale.

Questa argomentazione logica è basata su presupposti fondati. Il sillogismo, però, può anche portare a conclusioni illogiche, come nel caso seguente:

1) gli esseri umani sono mammiferi, 2) i conigli sono mammiferi, 3) dunque gli esseri umani sono conigli.

Per tutti noi è chiaro che questo sillogismo è mal posto e che la sua conclusione assurda; eppure, in molti casi sono proprio sillogismi e ragionamenti di questo tipo che possono intrappolarci, e non soltanto quando si tratta di ragionamenti fatti dagli altri per ingannarci volutamente. La nostra mente, infatti, genera spontaneamente dei sillogismi, anche se non formalizzati in evidenti passi successivi, e ne trae conclusioni che sono alla base di intuizioni illusorie o di modi scorretti di affrontare un problema. Ad esempio, tendiamo anche a credere di più a delle conclusioni credibili, piuttosto che non credibili, indipendentemente dal valore del ragionamento. In altre parole quando siamo portati o vogliamo credere a una conclusione - cioè vogliamo ingannarci in quanto essa corrobora un nostro pregiudizio o è in sintonia con qualcosa di cui siamo già convinti - prestiamo anche fede la struttura logica dell'argomentazione, malgrado essa sia irrazionale. Numerose ricerche di psicologia cognitiva (v.) indicano infatti che spesso non siamo in grado di notare subito la differenza fra sillogismi validi e invalidi e che possiamo cadere in trappola quando il sillogismo, o altri tipi di argomentazioni, si riferiscono a realtà di cui abbiamo minore conoscenza...".

Dopo avere riportato due esempi riguardanti i ragionamenti di tipo probabilistico in cui le "intuizioni", contraddicendo molto spesso le regole del calcolo della probabilità, portano a soluzioni errate, Oliverio continua:

"... Come mai compiamo questi errori e salti logici affidandoci a intuizioni inaffidabili? La risposta è che la nostra mente ha dei limiti e che pur essendo molto plastica è certamente ben meno potente, in termini di operazioni computabili, di uno dei tanti personal computer che esistono oggi ... Ciò richiede che il cervello si affidi a regole approssimative, efficaci perché i tempi di decisione siano rapidi: queste regole fanno parte del cosiddetto intuito, strategia che porta a praticare scorciatoie e a evitare controlli e riscontri. Il problema è che le decisioni intuitive sono soggetti ad errori... la nostra mente, si tratti di meccanismi percettivi o cognitivi, può presentare dei limiti in situazioni "anomale" in cui le euristiche, che sono frutto di un processo evolutivo e cui si ricorre in modo semiautomatico, si rivelano insufficienti: in questi casi, per giungere a una più approfondita e veritiera analisi della realtà la mente non può più affidarsi a quei meccanismi che sono in grado di risolvere in modo empirico quelle situazioni percettive e cognitive per cui è programmata ma deve ricorrere a strategie razionali ... lontane dall'immediatezza della percezione...".

Una di queste strategie razionali, come indicato da Oliverio [40], prevede l'utilizzo del teorema di Bayes [41] [42]. In alcune applicazioni della probabilità, come nel caso del lancio di una moneta e nel caso del lancio di un dado, il passato **deve** essere ignorato, in quanto ogni evento è casuale e indipendente dai precedenti. Ma in altre applicazioni della probabilità il passato **non deve** essere ignorato in quanto la probabilità di un evento cambia dopo avere acquisito una informazione specifica sull'evento stesso [43]. È quello che accade nei casi in cui può essere applicato il teorema di Bayes [44], che collega la probabilità a priori (cioè prima di avere acquisito una informazione specifica) alla probabilità a posteriori (cioè dopo avere acquisito una informazione specifica) di un evento. Al teorema fa riferimento anche Chris Frith in un altro libro dedicato

[40] Alberto Oliverio. *Esplorare la mente. Il cervello tra filosofia e biologia*, p. 106.

[41] Thomas Bayes (Londra, 1702 - Royal Tunbridge Wells, 17 aprile 1761).

[42] Reverend Thomas Bayes. *An essay toward solving a problem in the doctrine of chance. By the late Rev. Mr. Bayes, communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, M. A. and F. R. S.* Philo. Trans. Roy. Soc., vol. 53, 370-418, 1763.

Il saggio venne presentato e pubblicato due anni dopo la morte di Bayes dal suo amico Richard Price.

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1763.0053>

[43] Così ad esempio nel problema di Monty Hall l'informazione fornita dal conduttore aprendo una porta dietro alla quale si nasconde una capra **non deve** essere ignorata in quanto aumenta la probabilità di vincere.

[44] Per inciso il teorema di Bayes può essere impiegato per un risolvere il problema di Monty Hall.

alle scienze cognitive [45], e intorno ad esso ruota per intero un bel libro di Gerd Gigerenzer [46]. Le applicazioni del teorema di Bayes in campo medico, più specificamente nella diagnostica di laboratorio, sono state ampiamente trattate nel mio sito oggi non più mantenuto ma comunque archiviato [47].

Da quanto riportato sopra, lungo la strada che porta alla realtà le cause fondamentali degli **errori cognitivi** appartengono o al dominio delle informazioni o al dominio delle regole, e sono riconducibili a due fattori:

- mancano, sono incomplete o sono sbagliate le **informazioni** in ingresso;
- vengono ignorate, sono applicate in modo non corretto o sono sbagliate le **regole** impiegate per elaborare le informazioni.

Il primo aspetto può essere condensato lapidariamente nell'acronimo **GIGO**, da "**G**arbage **I**n, **G**arbage **O**ut". Ovvero se ci metti dentro spazzatura, ne può uscire solo spazzatura [48]. Ma dotare tutti di un pensiero critico [49] che consenta di distinguere con sicurezza il grano dal loglio nell'ambito di una infosfera oggi così inflazionata potrebbe rivelarsi un'utopia. Come dice Gérald Bronner, le soluzioni facili sono le più economiche: credere è molto più economico che ragionare [50].

Per il secondo aspetto, quello delle regole, è necessario invece un approfondimento. Lo vediamo nel prossimo capitolo.

[45] Chris Frith. *Inventare la mente. Come il cervello crea la nostra vita mentale*. Raffaello Cortina, Milano, 2009, ISBN 978-88-6030-190-1.

[46] Gerd Gigerenzer. *Quando i numeri ingannano. Imparare a vivere con l'incertezza*. Raffaello Cortina, Milano, 2003, ISBN 88-7078-843-1.

[47] *Il sito della Medicina di laboratorio*.

<https://www.bayes.it/Archivio/Bayes/bayes.html>

[48] Qui evito ovviamente di tornare sul tema dei mass media.

[49] *Pensiero Critico*.

<https://www.pensierocritico.eu/>

[50] Gérald Bronner. *La democrazia dei creduloni*. Aracne editrice int.le, Ariccia, 2016, ISBN 978-88-548-9897-4.

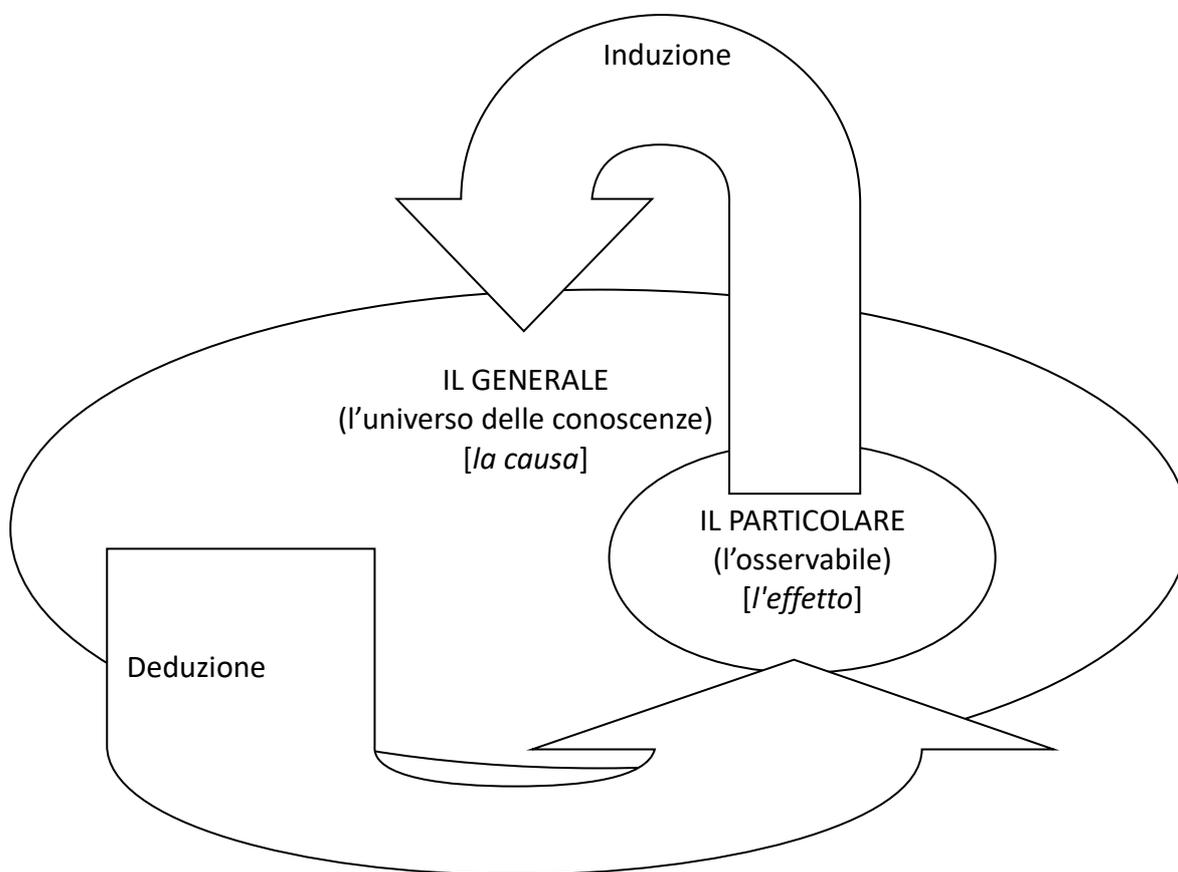
3. Deduzione, induzione e abduzione

*"L'errore nasce sempre dalla tendenza dell'uomo a dedurre la causa dalla conseguenza."
(Arthur Schopenhauer)*

*"La scienza si fa con i fatti come una casa si fa con i mattoni, ma l'accumulazione dei fatti non è scienza più di quanto un mucchio di mattoni non sia una casa."
(Henri Poincaré)*

*"L'immaginazione è più importante della conoscenza"
(Albert Einstein)*

La conoscenza scientifica non può essere basata esclusivamente sulla **deduzione** (intesa come passaggio dal generale al particolare). Ma, seguendo le critiche all'induzione di Hume [51] e di Popper [52], non può nemmeno essere basata esclusivamente sull'**induzione** (intesa come passaggio dal particolare all'universale).



Cerchiamo di riassumere questi fondamentali concetti seguendo l'impostazione data da Peirce [53], come riporta Ugo Volli [54]:

[51] David Hume (Edimburgo, 7 maggio 1711 - Edimburgo, 25 agosto 1776). La data di nascita è espressa secondo il calendario gregoriano. Secondo quello giuliano, ancora vigente a quel tempo in Scozia, la data era il 26 aprile.

[52] Karl Raimund Popper (Vienna, 28 luglio 1902 - Londra, 17 settembre 1994).

[53] Charles Sanders Peirce (Cambridge, 10 settembre 1839 - Milford, 19 aprile 1914).

[54] Ugo Volli. *Manuale di semiotica*. Gius. Laterza & Figli, Roma-Bari, 2007, ISBN 978-88-420-6919-5, pp. 138-141.

“... Secondo Peirce, tutta la conoscenza assume la forma dell’inferenza, nel senso che essa è sempre mediata da un ragionamento e non è mai semplicemente intuitiva. Questo è un altro modo per dire che non abbiamo intuizioni immediate, non abbiamo alcun accesso diretto alle cose che ci circondano, ma al contrario tutto quello che possiamo conoscere circa il mondo è frutto di un complesso ragionamento. Tale ragionamento avviene per lo più a livello inconscio e automatico: non ci rendiamo conto di compierlo. Ciò non toglie, tuttavia, che ogni volta che impariamo qualche cosa sul mondo, lo facciamo mediante una serie di operazioni concettuali complesse, le **inferenze**.

Gli elementi che possono entrare in gioco in qualsiasi processo inferenziale sono tre: un **caso** (antecedente, causa), un **risultato** (conseguente, effetto) e una **regola** che propone un legame fra i due elementi precedenti. Ad esempio, se il caso è fuoco è il risultato è fumo, la regola dice: se c’è fuoco, c’è fumo. A seconda della disposizione assunta da questi tre elementi, avremo tre diversi tipi di inferenza: la **deduzione**, l’**induzione** e l’**abduzione**.

Peirce introduce i tre tipi di inferenza attraverso un esempio ormai celebre, che chiameremo qui l’esempio dei fagioli.

Immaginiamo di essere in una stanza dove si trova un tavolo. Sul tavolo c’è un sacco di tela con su scritto fagioli bianchi. Sappiamo dunque che dentro un sacco vi sono fagioli bianchi. Di conseguenza, se estraiamo a caso una manciata di fagioli dal sacco, abbiamo la certezza che essi saranno tutti bianchi (a meno che la scritta sul sacco non ci abbia mentito). Questa è la struttura della **deduzione**:

REGOLA: Tutti i fagioli in questo sacco sono bianchi

CASO: Questi fagioli provengono da questo sacco

RISULTATO: Questi fagioli sono bianchi (sicuramente)

Come si vede, il ragionamento deduttivo non comporta alcun accrescimento del sapere. Noi sapevamo fin dall’inizio che i fagioli nel sacco erano bianchi, e ci siamo limitati a calcolare le **conseguenze logiche** di questo assunto: se estraiamo dei fagioli dal sacco, questi saranno necessariamente bianchi.

L’**induzione** procede diversamente. In questo caso noi non sappiamo ancora che cosa ci sia nel sacco (manca la scritta). Infiliamo la mano nel sacco, ed estraiamo una manciata di quello che vi troviamo dentro. Sono fagioli bianchi. Ma siamo sicuri che nel sacco non ci sia altro che fagioli bianchi? Assolutamente no. Allora ripetiamo l’operazione: ancora fagioli bianchi. Ogni volta che estraiamo una nuova manciata di fagioli bianchi, aumentiamo le possibilità che il sacco contenga solo fagioli bianchi. Ma in linea di principio, non possiamo esserne sicuri fino al momento in cui non abbiamo tirato fuori l’ultimo fagiolo bianco. La struttura logica dell’induzione sarà allora la seguente:

CASO: Questi fagioli provengono da questo sacco

RISULTATO: Questi fagioli sono bianchi

REGOLA: Tutti i fagioli di questo sacco sono bianchi (forse)

L’induzione, dice Peirce, ci consente di allargare orizzontalmente la nostra conoscenza del mondo. La sua essenza è la **generalizzazione**: noi immaginiamo che ciò che è vero per un certo campione preso a caso da un insieme sia vero anche per tutti gli altri componenti dell’insieme. Non ci vuole molta inventiva per compiere questo salto logico, che comunque è sempre passibile di errore.

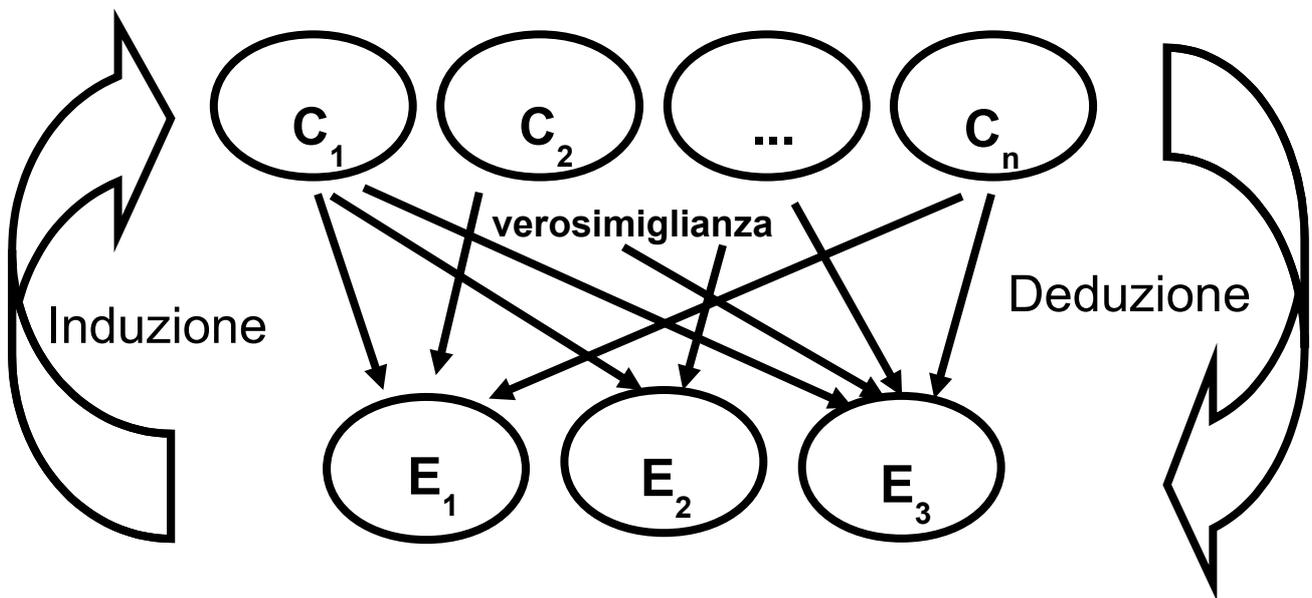
L’unico modo per penetrare più a fondo nella comprensione delle cose e delle leggi che ne regolano il funzionamento è attraverso la formulazione di ipotesi o **abduzioni**. Entriamo nella stanza e vediamo il tavolo. Sul tavolo vi sono già, sparsi, dei fagioli bianchi, ma noi non sappiamo ancora da dove provengono. Guardando in giro, scopriamo che uno dei sacchi della stanza contiene solo fagioli bianchi. Cosa facciamo? Congetturiamo (**ipotizziamo**) che i fagioli bianchi provengano da quel sacco, ossia che costituiscano un caso di questa regola generale. Ma possiamo sbagliarci. Scomponendo il ragionamento nelle sue parti costitutive

avremo:

- 1) **RISULTATO:** *Questi fagioli sono bianchi*
- 2) **REGOLA:** *Tutti i fagioli che provengono da questo sacco sono bianchi*
- 3) **CASO:** *Questi fagioli provengono da questo sacco"*

Avendo dei fagioli bianchi, e avendo a disposizione una regola in grado di spiegarlo (sappiamo che tutti i fagioli di questo sacco sono bianchi) possiamo ipotizzare che si dia il caso che questi fagioli provengano da questo sacco. In questo modo noi abbiamo accresciuto la nostra conoscenza in quanto sappiamo qualcosa di più sui fagioli: prima sapevamo solo che erano bianchi, ora possiamo anche supporre che provengano da questo sacco. L'abduzione, secondo Peirce, è l'unica forma di ragionamento suscettibile di accrescere il nostro sapere, in quanto permette di ipotizzare nuove idee, di prevedere. L'abduzione, come l'induzione, non contiene in sé la sua validità logica e deve essere confermata per via empirica.

Nello schema seguente $C_1, C_2 \dots C_n$ rappresentano le cause, E_1, E_2, E_3 rappresentano gli effetti osservabili, e le frecce dirette dalla causa all'effetto rappresentano i rapporti di causa/effetto.



La **deduzione** ci consente di passare dalle cause agli effetti. Da una serie di definizioni e da 5 assunti a priori (postulati) Euclide ^[55] deriva per via rigorosamente deduttiva la sua geometria: che è **conoscenza certa**. Sono certe le informazioni in ingresso (gli assiomi), sono certe le regole (le implicazioni logiche), *la conclusione è certa* (la dimostrazione del teorema).

Quasi XX secoli dopo, tra il '500 e il '600, la ricerca delle regole seguite da eventi come il lancio dei dadi ^[56], apre la strada al concetto moderno di probabilità ^[57]. Conoscendo tutto della causa (il dado) se ne deducono le regole secondo cui appaiono le singole facce. Ma nonostante le regole siano certe, la faccia che comparirà al prossimo lancio del dado risulta essere un evento imprevedibile. Quindi in alcuni casi anche

[55] Euclid (Εὐκλείδης, Eukleidēs, ... - ...). Fu attivo durante il regno di Tolomeo (323 - 283 a.e.v.). La totale mancanza di informazioni su luogo e data di nascita e di morte, in un periodo nel quale indicazioni biografiche sono disponibili per numerosissimi altri Autori, ha fatto ritenere ad alcuni che i suoi lavori siano stati scritti in realtà da un gruppo di matematici riuniti sotto questo pseudonimo, ma non esiste alcuna prova di ciò.

[56] Alla quale contribuì anche Galileo con lo scritto "*Considerazione sopra il giuoco dei dadi*". In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo XIV, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1855, pp. 293-296.

<https://play.google.com/store/books/details?id=ykDrIQW-ITwC>

[57] La probabilità era nota agli antichi, ma solo in termini qualitativi. Il concetto moderno di probabilità corrisponde allo studio della probabilità nei suoi aspetti quantitativi.

impiegando la **deduzione** possiamo arrivare ad avere una **conoscenza incerta**. Sono certe le informazioni in ingresso (il dado ha sei facce, con riportati i numeri da 1 a 6), sono certe le regole (in seguito al lancio del dado l'esito è rappresentato da una e solamente da una delle sei facce), *la conclusione è incerta* (non possiamo sapere quale delle sei facce sarà l'esito del prossimo lancio, possiamo solamente prevedere il comportamento collettivo di un numero infinito di lanci).

La soluzione del problema inverso, passare dagli effetti alla cause, prevede un meccanismo diverso, l'**induzione**, che è di per sè problematica, in quanto ad un effetto possono corrispondere più cause. Quindi in questo caso è possibile solamente **conoscenza incerta**. L'unico ausilio lo fornisce in **teorema di Bayes** ^[58] che consente, a partire dagli effetti osservati, di calcolare la **probabilità** delle cause.

Ma resta aperto un problema di fondo. Euclide si era comportato come un demiurgo: dall'esterno del "suo" universo geometrico aveva imposto le regole, e aveva lasciato operare la deduzione. Risultato: un universo deterministico, quello della sua geometria, fatto di certezze. La deduzione certa è però un caso particolare, una eccezione limitata alla geometria, alla matematica, alla logica, in altre parole alle discipline delle quali siamo il demiurgo, le discipline che si basano rigorosamente su assunti e deduzioni ^[59]. Ma nella strada che porta alla realtà noi siamo all'interno dell'universo che vogliamo conoscere, e men che meno ne abbiamo fissato le regole: la nostra conoscenza del mondo può essere solo incerta. Allora si tratta di capire come possiamo utilizzare osservazione e ragione per arrivare ad avere una rappresentazione del mondo, per arrivare a una teoria. Cercando di evitare la disperazione scettica della ragione, ma accettando la critica all'induzione di Home, laddove dimostra che non è possibile inferire una teoria da asserzioni osservative ^[60].

- 1) *Ho visto un cigno ed era bianco;*
- 2) *Ho visto un secondo cigno ed era bianco;*
- 3) *Ho visto un terzo cigno ed era bianco;*
- ...
- n) *Ho visto un ennesimo cigno ed era bianco.*

Conclusione [teoria] logicamente errata: i cigni sono bianchi / il prossimo cigno che vedrò sarà bianco.

Conclusione [teoria] logicamente corretta: i cigni sono bianchi [*probabilmente*] / il prossimo cigno che vedrò sarà bianco [*probabilmente*].

Inoltre anche la conclusione [teoria] che si dimostra essere *logicamente corretta* potrebbe essere smentita alla prima osservazione di un cigno nero.

Scrive a questo proposito Karl R. Popper ^[61]:

"Perché, mi domandavo, tanti scienziati credono nell'induzione? Scoprii che vi credevano perché erano convinti che la scienza della natura fosse caratterizzata dal metodo induttivo - da un metodo che ha come punto di partenza, e come fondamento, lunghe sequenze di osservazioni ed esperimenti. Essi credevano che la differenza fra la scienza genuina e la speculazione metafisica o pseudoscientifica dipendesse unicamente dall'impiego del metodo induttivo".

Ma in realtà argomenta poi Popper... ^[62]:

"... Né l'osservazione né la ragione sono delle autorità. L'intuizione e l'immaginazione intellettuali sono estremamente importanti, ma non possiamo fare affidamento su di esse: può darsi che ci mostrino cose

[58] I riferimenti al teorema di Bayes sono riportati al capitolo 2.

[59] Perché poi la matematica funzioni così bene per descrivere il mondo resta un problema aperto, sul quale sono stati versati fiumi di inchiostro. Vedi ad esempio: John Barrow. *Il mondo dentro il mondo*. Adelphi Edizioni, Milano, 1991, ISBN 978-88-459-0873-9, Cap. 5. *Perché le leggi di natura hanno forma matematica?* pp. 399-362.

[60] Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*. Il Mulino, Bologna, 1972, ISBN 978-88-15-12804-1, p. 98 e p. 102.

[61] Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*, pp. 94-95.

[62] Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*, p. 55.

molto chiaramente, ma può anche darsi che ci portino fuori strada [63]. Sono indispensabili in quanto fonti principali delle nostre teorie, ma la maggior parte delle teorie sono, in ogni caso, false. La funzione più importante dell'osservazione e del ragionamento, come pure dell'intuizione e dell'immaginazione, è quella di aiutarci a esaminare criticamente quelle congetture ardite che sono i mezzi con cui sondiamo l'ignoto".

E continua così [64]:

"... Senza attendere, passivamente, che le ripetizioni imprimano in noi, o ci impongano, delle regolarità, noi cerchiamo attivamente di imporre delle regolarità al mondo. Cerchiamo di scoprire in esso delle similarità, e di interpretarle in termini di leggi da noi inventate. Senza attendere le premesse, saltiamo alle conclusioni. Queste, in seguito, potranno dovere essere sostituite, se l'osservazione mostra che sono errate. Si trattava di una teoria del metodo per prova ed errore, per congetture e confutazioni ... Poiché dietro questo procedimento vi erano delle ragioni logiche, pensai che esso valesse anche nel campo della scienza; che le teorie scientifiche, quindi, non erano sintesi di osservazioni, bensì invenzioni - congetture audacemente avanzate per prova, da eliminarsi se contrastanti con le osservazioni. Queste osservazioni, poi, raramente erano accidentali, bensì, generalmente, venivano intraprese con la precisa intenzione di controllare una teoria, ottenendo, possibilmente, una confutazione decisiva. La convinzione che la scienza proceda dall'osservazione alla teoria è ancora così ampiamente e fermamente sostenuta che la mia negazione di questo fatto è accolta spesso con incredulità ... Tuttavia, la credenza che possiamo partire da delle pure osservazioni, senza niente di simile a una teoria, è davvero assurda..."

Ho già citato l'errore commesso da Aristotele quando nel De Coelo [65], dal vedere che un corpo lanciato verticalmente verso l'alto ricade nello stesso punto nel quale è stato lanciato, trae una delle prove "sperimentali" a favore del fatto che la terra è immobile. Questo errore è il risultato di una situazione complessa, che va contestualizzata nel mondo di XXV secoli fa. Aristotele se non è lo scopritore unico, è certamente colui che formalizza le, e il grande divulgatore delle, regole del "ben ragionare", in un'epoca nella quale capirle e applicarle rappresentava, date le condizioni di vita, un salto di qualità formidabile per (a parte qualche filosofo) lo sviluppo culturale dell'intera popolazione, e insegna a tutti, con il sillogismo, la deduzione. Una regola fondamentale, la regola per non entrare in contraddizione con se stessi, condizione minima del ben ragionare:

- tutti gli uomini sono mortali;
- Socrate è un uomo;
- Socrate è mortale.

Da due premesse "vere" (le affermazioni delle due premesse sono a tal punto confermate dalla realtà osservativa da essere "indubitabilmente vere" ergo "logicamente vere" ergo "intuitivamente vere") viene tratta una conclusione "logicamente vera".

L'errore di Aristotele è di applicare questa idea anche alla deduzione tratta all'osservazione che un corpo lanciato verticalmente verso l'alto ricade nello stesso punto nel quale è stato lanciato. Aristotele ritiene "intuitivamente vero" ergo "logicamente vero" ergo "indubitabilmente vero" che questo effetto sia causato da una Terra immobile. Dall'osservazione che un corpo lanciato verticalmente verso l'alto ricade nello stesso punto nel quale è stato lanciato deduce che la Terra è immobile. Ma così facendo ha dedotto la causa dalla conseguenza, incorrendo proprio nell'errore che Schopenhauer [66] ci ricorda causticamente nel primo degli aforismi che aprono questo capitolo. E alla fine se in Aristotele sopravvivono ancora residui del ragionamento analogico, proprio del mondo magico - il corpo non si muove (ricade nello stesso punto) ergo la Terra non si muove - comunque si dimostra che anche la sua logica deduttiva (quando applicata da sola) non lo aiuta nella dimostrazione scientifica.

[63] È esattamente quello che vedremo fra poco a proposito di Aristotele.

[64] Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*, p. 83.

[65] Aristotele. *Il cielo*, p. 317 (296b).

[66] Arthur Schopenhauer (Danzica, 22 febbraio 1788 - Francoforte sul Meno, 21 settembre 1860).

Galileo invece ha in mente una teoria, la teoria copernicana: la Terra si muove attorno al sole ruotando su sé stessa. Fa l'ipotesi che questo stesso effetto, cioè che un corpo lanciato verticalmente verso l'alto ricade nello stesso punto nel quale è stato lanciato, possa essere causato da una Terra che ruota su sé stessa. Dimostra quello che sarà il principio di relatività galileano. Finalmente le leggi della meccanica rimangono le stesse anche su una Terra che gira. Anzi su qualsiasi corpo, immobile o in moto rettilineo uniforme, i sassi che cadono nello stesso punto in cui sono stati lanciati. L'attenzione dello scienziato si sposta dalla necessità "logica" dei vari **sillogismi** dalla necessità "logica" che le **leggi di natura** rimangano invariate nei corpi in movimento. E l'universo è pieno di corpi in movimento.

Ecco allora finalmente la struttura del metodo di ricerca della scienza, nel quale risultano meglio comprensibili la frase di Poincaré [67] "*La scienza si fa con i fatti come una casa si fa con i mattoni, ma l'accumulazione dei fatti non è scienza più di quanto un mucchio di mattoni non sia una casa*" e la frase di Einstein [68] "*L'immaginazione è più importante della conoscenza*":

Al vertice del pensiero scientifico sta l'**ipotesi**, la **teoria**: che è il **valore aggiunto** che fa di un mucchio di mattoni una casa nelle parole di Poincaré, che è l'**immaginazione** nelle parole di Einstein, che è l'**abduzione** nelle parole di Peirce. È questo il fatto veramente innovativo sul piano della conoscenza. Dalla teoria sono ricavate per **deduzione** nuove previsioni, osservabili e verificabili sperimentalmente. Esperimenti che portano a risultati in accordo con la teoria ne aumentano la verosimiglianza⁶⁹, anche se non ne potranno mai asserire la verità, in quanto gli esperimenti corrispondono alla fase di generalizzazione di osservazioni particolari quindi di **induzione**. Esperimenti che portano ad osservazioni e conseguenze che non sono in accordo con la teoria, sono in grado di confutarla (falsificarla) e aprono la strada a nuove ipotesi, nuove teorie.

[67] Jules Henri Poincaré (Nancy, 29 aprile 1854 - Parigi, 17 luglio 1912).

[68] Albert Einstein (Ulm, 14 marzo 1879 – Princeton, 18 aprile 1955).

[69] Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*, pp. 406-407. Dopo avere precisato che "... *la confusione tra verosimiglianza e probabilità risale quasi alle origini della filosofia occidentale...*" Popper propone che "... *con Senofane, si torni a distinguere tra verosimiglianza e probabilità...*" sebbene lui stesso subito dopo affermi che "... *entrambi [questi concetti] sono strettamente connessi all'idea di verità, ed introducono il concetto di avvicinamento graduale ad essa...*".

4. Magia, filosofia e scienza

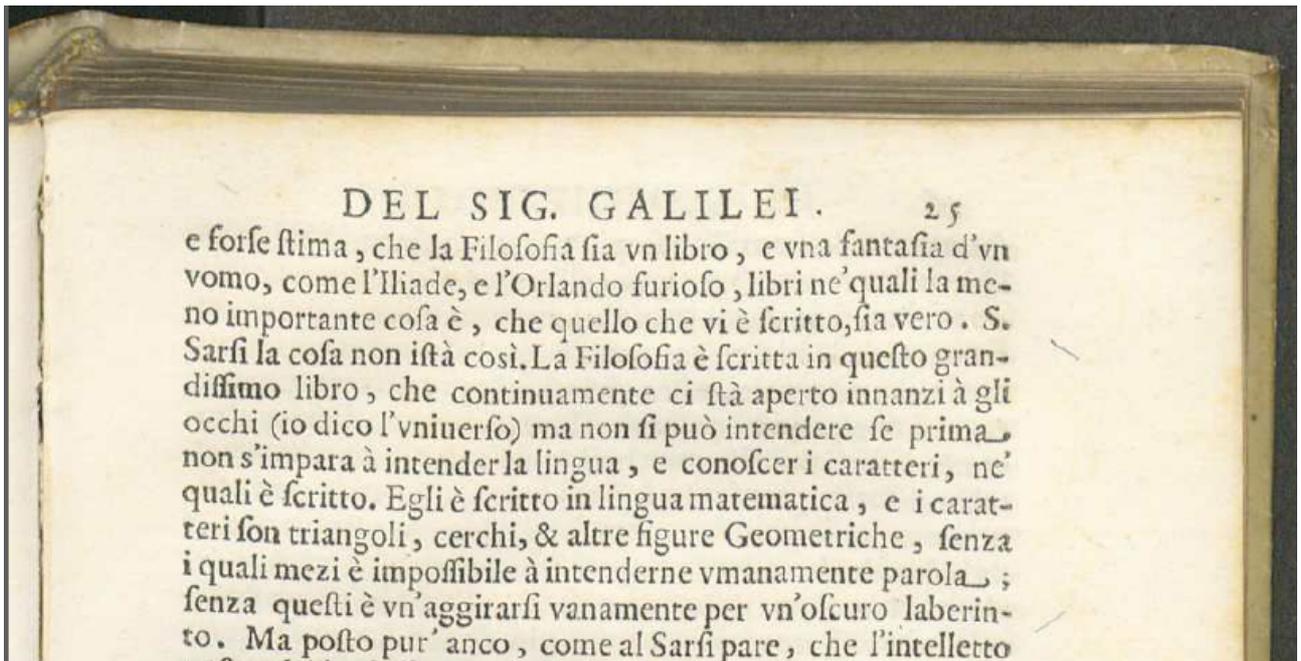
"La conoscenza degli effetti e l'ignoranza delle cause produsse l'astrologia."
(Giacomo Leopardi)

"La realtà non è come ci appare."
(Carlo Rovelli)

Il passaggio dall'interpretazione e comprensione magica e filosofica all'interpretazione e comprensione scientifica della realtà comporta due cambiamenti radicali:

- il primo è fondare il dato osservativo su misure anziché sull'intuizione;
- il secondo è dare forma matematica ai dati ottenuti dalle misure e quindi ricavarne le leggi di natura.

Dare forma [70] ai dati non è un'operazione neutra, implica delle scelte, ha un substrato ideologico. La svolta impressa da Galileo, dare ai dati **forma matematica**, è riportata ne "*Il Saggiatore*" a pagina 25 di questa edizione del 1623 [71]: "*La Filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci stà aperto innanzi à gli occhi (io dico l'Universo) ma non si può intendere se prima non s'impara à intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, & altre figure Geometriche, senza i quali mezzi è impossibile à intenderne umanamente parola; senza questi è un'aggirarsi vanamente per un'oscuro laberinto*".



Parlare poi di **leggi di natura**, checché se ne dica, ha implicazioni metafisiche. Si tratta di una rivoluzione. E questo l'avevano ben chiaro in mente coloro che costrinsero Galileo all'abiura. Ci ricorda l'evoluzione del concetto di legge di natura Mauro Dorato [72]:

"... lo stretto legame tra il modo di concepire la natura e il modo d'intendere le regolarità ha stabilito sin

[70] Diventa così forse più chiara la definizione di informazione data nel capitolo 2, come **Informazione** >> *atto, effetto dell'informare o dell'informarsi* [essendo a sua volta] **Informare** >> *modellare secondo una forma* (quindi **dare forma**).

[71] Galileo Galilei. *Il Saggiatore*. Roma, 1623. Deutsches Museum, München.

<https://astronomie-rara.ethbib.ethz.ch/demusmu/doi/10.5079/dmm-46>

[72] Mauro Dorato. *Il software dell'universo. Saggio sulle leggi di natura*. Paravia Bruno Mondadori, Milano, 2000, ISBN 88-424-9708-8, pp. 18-19.

dall'inizio della storia intellettuale umana un intreccio concettuale profondo tra una componente descrittiva e una prescrittiva del termine "legge", come ciò che necessariamente presuppone una volontà che pianifica, ordina e governa.

È proprio su tale sviluppo, e sul suo progressivo "scioglimento" storico, sfociato solo in epoca relativamente recente in una chiara separazione delle due componenti, che vogliamo concentrare la nostra attenzione ... Il fondamentale passaggio da una visione della natura e del suo ordine in cui l'aspetto descrittivo e quello normativo erano inestricabilmente connessi, a una visione "disincantata" i cui "le leggi naturali" sono considerate in modo puramente descrittivo, può essere visto come la conseguenza filosofica più importante della rivoluzione scientifica dell'età moderna".

Questo fondamentale passaggio è colto anche da Luca Guzzardi nel suo libro "Lo sguardo muto delle cose" [73], dal quale riporto pochi passaggi, utili a cogliere le anticipazioni di un pensiero scientifico moderno presenti in alcuni filosofi dell'antica Grecia [74].

La **magia** non si preoccupa di avere dati misurabili, basa il suo programma di ricerca sulla sola intuizione, ignorando qualsiasi esigenza di oggettività delle fonti della conoscenza. La ragione conta poco o nulla. Si tratta di un mondo analogico, empatico. Ma le conseguenze sono costituite da un mondo irrazionale, nel quale la realtà assume le forme più grottesche: l'uomo è in balia di dei capricciosi, di ciclopi, draghi e streghe, dell'andamento degli astri. Per di più non si riesce a trovare la pietra filosofale, e l'alchimia non porta ad alcun risultato. Con questo la magia fallisce nel suo obiettivo più ambizioso, quello di dominare, fino a poter cambiare, il mondo reale.

Con la **filosofia** l'uomo incomincia a utilizzare la ragione per dare forma alla realtà. Talete [75] pone come principio [76] delle cose l'acqua. Anassimene [77] l'aria. Anassimandro [78] un principio volutamente indefinito. Eraclito [79] il fuoco. Aristotele pone come principio terra, acqua, aria, fuoco, con l'aggiunta dell'etere per le sfere celesti:

"... Se dunque esiste un movimento semplice, e il movimento circolare è semplice, e il movimento di un corpo semplice è semplice, e il movimento semplice è proprio di un corpo semplice (anche se il corpo fosse composto, il suo movimento avverrebbe secondo la direzione determinata dal componente dominante), deve esistere un corpo semplice che in virtù della sua natura ha la proprietà di muoversi di moto circolare" [80].

"... E pare che anche il suo nome si sia tramandato fino alla nostra epoca dal tempo degli antichi. Questi avevano la stessa concezione che noi pure sosteniamo, poiché si deve ritenere che ripetendosi non una volta sola, né due, bensì un infinito numero di volte le stesse opinioni arrivino fino a noi. Perciò, considerando il corpo primo come qualcosa di diverso dalla terra, dal fuoco, dall'aria e dall'acqua, essi hanno chiamato "etere" il luogo più elevato, traendo il nome che gli hanno attribuito dal fatto che scorre sempre, per l'eternità dal tempo" [81].

I greci iniziano a concepire modelli della realtà che prevedono anche intuizioni geniali, come quella di Democrito [82], che arriva all'idea di indivisibilità dei costituenti ultimi della materia. La capacità di

[73] Luca Guzzardi. *Lo sguardo muto delle cose. Oggettività e scienza nell'età della crisi*. Raffaello Cortina, Milano, 2010, ISBN 978-88-6030-325-7.

[74] Vedi A2 - *Datemi un punto d'appoggio...*

[75] Talete di Mileto (Θαλῆς, Thalês; Mileto, 640-625 a.e.v. - 547 a.e.v. circa). Da Talete ha avvio lo studio della natura e si fa iniziare la filosofia.

[76] L'archè (ἀρχή) è per i greci l'origine, il principio da cui tutto proviene e a cui tutto tornerà.

[77] Anassimène (Ἀναξίμενης, Anaxímenes; Mileto, 586 a.e.v. circa - 528 a.e.v.).

[78] Anassimandro (Ἀναξίμανδρος, Anaxímandros; Mileto, 610 a.e.v. circa - 546 a.e.v. circa).

[79] Eraclito di Efeso (Ἡράκλειτος, Hērákleitos; Efeso, 535 a.e.v. - Efeso, 475 a.e.v.).

[80] Aristotele. *Il cielo*, p. 127 (269a).

[81] Aristotele. *Il cielo*, p. 139 (270b).

[82] Democrito (Δημόκριτος, Dēmókritos; Abdera, 460 a.e.v. - 370 a.e.v. circa).

modellizzare rappresenta un salto in avanti di importanza storica nello sviluppo della cultura umana. E alcuni risultati, come il modello di geometria realizzato da Euclide, sono arrivati ai giorni nostri. Ma appaiono piuttosto come eccezioni in un mondo che continua ad ignorare il concetto di misurabilità dei dati come strumento per renderli oggettivi, e che si fonda ancora o su assunti che spesso in quanto a essere strampalati ben poco si scostano da quelli della magia o sulla sola evidenza dei sensi, e mai sulla sperimentazione. Lo ricorda anche Kuhn [83] a proposito di Aristotele [84]:

"... Aristotele fu capace di esprimere in forma sintetica ed armonica molte nozioni naturali dell'universo, che l'uomo aveva avuto da secoli prima che egli desse loro una logica interpretazione verbale e che invece l'educazione tradizionale ha poi soppresso nel mondo degli adulti dei secoli XVIII, XIX e XX. Oggi la visione della natura che gli adulti acquisiscono dall'educazione tradizionale ha ben pochi punti di contatto importanti con quella di Aristotele, ma le idee dei bambini, dei membri di tribù primitive e dei ritardati mentali sono, con sorprendente frequenza, simili alle sue. Tali somiglianze risultano talvolta difficili da scoprire, perché sono nascoste dietro la metodologia di Aristotele e il suo glossario elaborato ed astratto. Questi elementi della dialettica aristotelica sono del tutto estranei alla mentalità dei primitivi e dei bambini. Essi costituiscono ancor oggi un modello. Ma le idee di Aristotele, nella loro sostanza, contrariamente al modo in cui egli le esprime e documenta, mostrano in effetti importanti residui primitivi e, se non sappiamo cogliere questi residui, perdiamo forse il significato e certamente la forza di parti importanti della dottrina aristotelica".

"... La visione aristotelica del mondo non fu la sola idea nell'antichità, né fu la sola a guadagnare seguaci. Ma fu molto più vicina alla primitiva concezione del mondo delle sue antiche competitori e corrispose più strettamente all'evidenza della pura e semplice percezione sensoriale. Questa è un'altra ragione per cui ebbe una così immensa influenza, particolarmente durante il tardo Medioevo" [85].

E in effetti in linea con quest'ultima osservazione Aristotele afferma che:

- "... il leggero è per sua natura portato verso l'alto e il pesante verso il basso..." [86];

- "... gli oggetti lanciati si muovono anche se chi li ha lanciati non li tocca, o, come vorrebbero alcuni, perché altre parti li spingono via prendendo il loro posto, oppure perché l'aria spinta impartisce una velocità maggiore del moto dell'oggetto scagliato il quale tende a portarlo nel suo luogo specifico..." [87];

- "... le cose che hanno maggiore tendenza a muoversi o per peso o per leggerezza, a parità delle restanti condizioni, in spazi uguali scorrono più [o meno] velocemente secondo il rapporto reciproco delle grandezze..." [88];

- "... un corpo più grande effettua la traslazione sua propria con velocità superiore..." [89].

Questa fisica aristotelica, come dice Kuhn, è basata sulla pura e semplice percezione sensoriale: è quindi [aggiungo io] puramente deduttiva, fonte di fallacie più che di conoscenza, e si regge solo su indubbie e non comuni capacità logiche e dialettiche e su una retorica persuasività. Così Aristotele è a mio parere un caso quasi unico in quanto, trovatosi al posto giusto nel momento giusto, e indiscutibilmente con le qualità giuste per incantare con i suoi sillogismi, ha visto perpetuate per due millenni circa la sue idee nel campo della fisica (non mi pare che esista nessuna caso analogo nella storia) solo grazie al fatto che una impreveduta, lunghissima e drammatica crisi di civiltà e soprattutto di cultura, passando per la crisi dell'ellenismo, la caduta dell'impero romano e il medioevo, ha bloccato per oltre quindici secoli lo sviluppo di una fisica alternativa.

La **scienza** entra finalmente in scena con Galileo. Ecco cosa scrive, in un'epoca nella quale la fisica aristotelica e la cosmologia tolemaica sono materia di insegnamento all'università, su quello che diventerà

[83] Thomas Samuel Kuhn (Cincinnati, 18 luglio 1922 - Cambridge, 17 giugno 1996).

[84] Thomas S. Kuhn. *La rivoluzione copernicana*, pp. 123-124.

[85] Thomas S. Kuhn. *La rivoluzione copernicana*, p. 127.

[86] Aristotele. *Fisica*, p. 339 (212a25).

[87] Aristotele. *Fisica*, p. 361 (215a15).

[88] Aristotele. *Fisica*, p. 367 (216a15).

[89] Aristotele. *Il cielo*, p. 273 (290a1).

noto come il "principio di relatività galileano":

"Risserratevi con qualche amico nella maggiore stanza, che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti: siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; suspendasi 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 animaletti 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 spazi passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vascello sia 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" [90].

Ecco uno dei vari interventi sul problema della "caduta dei gravi":

"Ma facciamo, sig. Rocco, per vostra maggior meraviglia l'esame di quello, che accaderà tra questi medesimi mobili in un mezzo men grave, qual sia, v. g., l'aria, della quale ponghiamo, per esempio, la pietra esser mille volte più grave e il piombo tre mila, del quale secondo la regola d'Aristotile il moto dovrebbe essere tre volte più veloce, e vediamo quel che ne darà la regola mia col supporre, che, quando si togliesse l'impedimento del mezzo corporeo (il che forse accaderebbe nel vacuo), le velocità del piombo e della pietra fussero egualissime, acciò voi possiate conoscer con qual delle due opinioni meglio s'accordi l'esperienza..." [91].

Galileo intuisce il "primo principio della dinamica" [92]:

"Salv. Parmi dunque sin qui che voi mi abbiate esplicitati gli accidenti d'un mobile sopra due diversi piani; e che nel piano inclinato il mobile grave spontaneamente scende, e va continuamente accelerandosi, e che a ritenerlo in quiete bisogna usarvi forza: ma sul piano ascendente ci vuol forza a spignervelo e anco a fermarlo, e che 'l moto impressogli va continuamente scemando, sicché finalmente si annichila. Dite ancora di più, che nell'un caso e nell'altro nasce diversità dall'esser la declività o acclività del piano maggiore o minore; si che alla maggiore inclinazione segue maggior velocità; e per l'opposito, sopra 'l piano acclive, il medesimo mobile cacciato dalla medesima forza in maggior distanza si muove, quanto l'elevazione è minore. Ora ditemi quel che accaderebbe del medesimo mobile sopra una superficie, che non fusse né acclive né declive.

Simp. Qui bisogna ch'io pensi un poco alla risposta. Non vi essendo declività, non vi può essere inclinazione naturale al moto; e non vi essendo acclività, non vi può esser resistenza all'esser mosso, talché verrebbe ad essere indifferente tra la propensione e la resistenza al moto; parmi dunque che e' dovrebbe restarvi naturalmente fermo. Ma io sono smemorato, perché non è molto che 'l signor Sagredo mi fece intender che così seguirebbe.

Salv. Così credo, quando altri ve lo posasse fermo; ma gli fusse dato impeto verso qualche parte, che seguirebbe?

Simp. Seguirebbe il muoversi verso quella parte.

Salv. Ma di che sorte di movimento, di continuamente accelerato come ne' piani declivi, o di

[90] Galileo Galilei. *Dialogo dei massimi sistemi*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo I, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1842, p. 206.

<https://play.google.com/store/books/details?id=OAYQOIzt8N8C>

[91] Galileo Galilei. *Postille di Galileo Galilei alle esercitazioni di Antonio Rocco*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo II, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1843 p. 323.

<https://play.google.com/store/books/details?id=Dv0FAAAAQAAJ>

[92] Che verrà formalizzato da Newton nei suoi "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*".

successivamente ritardato come negli acclivi?

Simp. Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non vi essendo né declività né acclività.

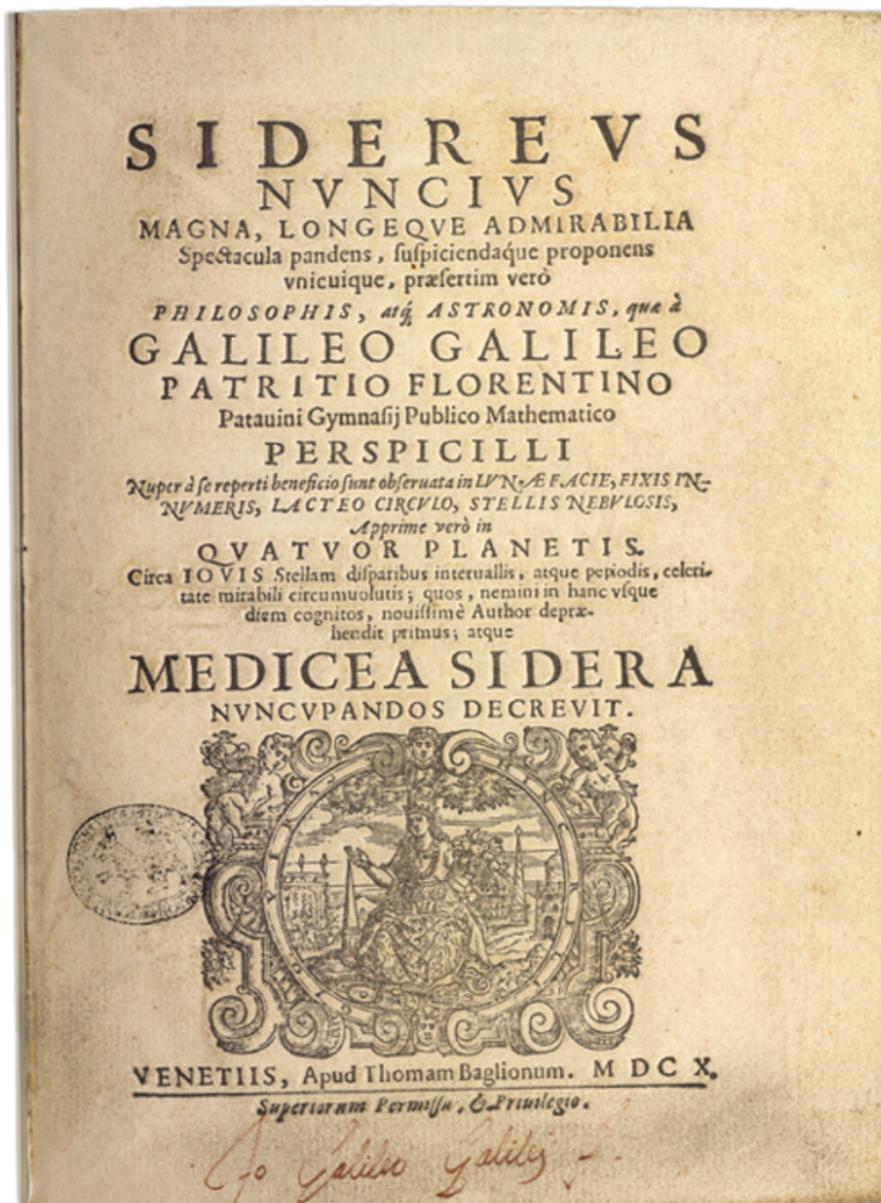
Salv. Sì: ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete. Quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?

Simp. Tanto, quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.

Salv. Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?

Simp. Farmi di sì, quando il mobile fusse di materia da durare.

Salv. Già questo si è supposto, mentre si è detto che si rimuovano tutti gl'impedimenti accidentarj ed esterni..." [93].



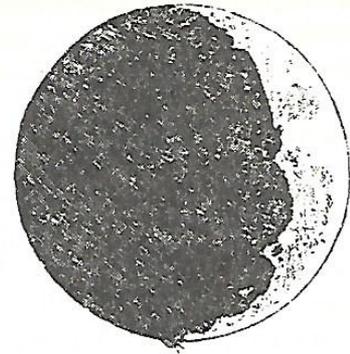
[93] Galileo Galilei. *Dialogo dei massimi sistemi*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo I, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1842, pp. 163-164.

<https://play.google.com/store/books/details?id=OAYQOIzt8N8C>

Anni prima Galileo, nel 1610, nel "*Sidereus nuncius*" [94], aveva riportato quattro straordinarie scoperte.

La prima riguarda la **Luna**, fino ad allora ritenuta completamente liscia e composta di materia celeste incorruttibile:

"... ciò che indice maggior meraviglia, nella parte tenebrosa della Luna appaiono moltissime punte lucenti, totalmente divise e staccate dalla regione illuminata, e da essa non di breve intervallo distanti; le quali a poco a poco, trascorso un certo tempo, aumentano di grandezza e di luce, poi, dopo due o tre ore, si congiungono con la restante parte lucida, già fattasi più ampia; ma intanto altre ed altre cuspidi, di qua e di là pullulanti, si accendono nella parte tenebrosa, s'ingrandiscono, e infine anch'esse si uniscono con la medesima superficie luminosa, che si è andata sempre più dilatando. E l'esempio ce lo mostra la medesima figura. Or apunto sulla terra, prima del sorgere del sole, le più alte cime dei monti non sono illuminate dai raggi solari, mentre l'ombra occupa tuttora le pianure? E di là a poco quella luce non si va dilatando, mentre s'illuminano le parti medie e più larghe dei medesimi monti; e sorto che sia il sole le illuminazioni delle pianure e dei colli non finiscono col congiungersi?" [95].



La seconda riguarda le **stelle** per le quali:

"... al di là delle stelle di sesta grandezza, si scorgerà col cannocchiale un così numeroso gregge di altre, sfuggenti alla vista naturale, che appena è credibile..." quindi, riferendosi alla costellazione di Orione, aggiunge che "... alle tre che già prima erano state notate nella cintura e alle sei nella spada, ne ho aggiunte altre ottanta..." [96].

La terza riguarda **Via Lattea e nebulose**:

"... Quel che da noi fu in terzo luogo osservato, è l'essenza, ossia la materia, della stessa VIA LATTEA, che in virtù del cannocchiale è dato scrutare tanto sensibilmente, da esserne risolta, con la certezza che è data dagli occhi, tutte le dispute che per tanti secoli tormentarono i filosofi e noi liberati da verbose discussioni. È infatti la GALASSIA nient'altro che una congerie di innumerevoli Stelle, disseminate a mucchi; ché in qualunque regione di essa di diriga il cannocchiale, subito una ingente folla di Stelle si presenta alla vista, delle quali parecchie si vedono abbastanza grandi e molto distinte, ma la moltitudine delle piccole è del tutto inesplorabile ... Inoltre (meraviglia ancor più grande) le Stelle chiamate fino ad oggi dai singoli astronomi NEBULOSE, sono greggi di piccole Stelle disseminate in modo mirabile..." [97].

La quarta riguarda l'osservazione di quattro nuovi **pianeti**, un evento clamoroso, e Galileo se ne rende subito conto:

"Abbiamo brevemente esposto quanto nei riguardi della Luna, delle Stelle fisse e della Galassia è stato finora osservato. Resta ora quello che nel presente lavoro è a nostro avviso l'argomento più importante: rivela cioè e divulgare quattro PIANETI, non mai dalle origini del mondo fino ai nostri tempi veduti ... Pertanto il giorno 7 gennaio del corrente anno 1610, alla prima ora della notte seguente, mentre guardavo gli astri celesti col cannocchiale, mi si presentò Giove; e poiché m'ero preparato uno strumento proprio eccellente, m'accorsi (ciò che prima non era affatto accaduto per la debolezza dell'altro apparecchio), che gli stavano accanto tre Stelline, piccole invero, ma pur lucentissime, le quali, per quanto fossero da me credute del numero delle fisse, tuttavia mi destarono una qualche meraviglia, per il fatto che apparivano disposte secondo un'esatta linea retta e parallela all'Eclittica, e più splendide delle altre loro pari per grandezza: e la loro disposizione sia rispetto a loro stesse che a Giove era la seguente:

[94] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*. Marsilio Editori, Venezia, 1993, ISBN 978-88-317-6619.

[95] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*, pp. 93-95.

[96] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*, p. 123.

[97] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*, p. 129.

cioè dalla parte orientale c'erano due Stelle, e una sola verso occidente" ^[98].

Galileo registra accuratamente le posizioni delle stelle per quasi due mesi. Fino al 1 marzo le chiama **Stellæ**, il giorno 2 marzo, l'ultimo giorno delle osservazioni che riporta, le chiama per la prima volta **Planetæ**. Continua Galileo:

"Queste sono le osservazioni sui quattro Pianeti Medicei, di recente e per la prima volta da me scoperti; e ... poiché ora seguono, ora precedono Giove con intervalli consimili, e da esso solo di ridottissimi allargamenti si allontanano sia verso oriente che verso occidente, e lo accompagnano nel suo moto retrogrado allo stesso modo che nel diretto, nessuno può mettere in dubbio che essi compiano i loro giri intorno ad esso, nello stesso tempo che effettuano tutti insieme i periodi dodecennali intorno al centro del mondo. Si volgono inoltre in cerchi disuguali, il che manifestamente si ricava da ciò, che nella maggiori digressioni da Giove non è mai possibile vedere due Pianeti congiunti; mentre invece in vicinanza di Giove se ne trovano riuniti due, tre, e a volte tutti insieme. Si rileva inoltre che sono più veloci i giri dei Pianeti che descrivono cerchi più stretti intorno a Giove, poiché le stelle più vicine a Giove si vedono per lo più ad oriente quando il giorno prima sia apparso ad occidente, e viceversa: ma il Pianeta che traccia l'orbita più grande, a chi esamina accuratamente i su notati ritorni, sembra avere periodi semi-mensili. Abbiamo inoltre un ottimo ed eccellente argomento per togliere di scrupolo coloro che, pur accettando con animo tranquillo nel Sistema Copernicano la rivoluzione dei Pianeti intorno al Sole, sono però così turbati dalla rotazione della sola Luna intorno alla Terra, mentre intanto ambedue compiono l'annuo giro intorno al Sole, da ritenere che si debba respingere questa struttura dell'universo come impossibile; perché ora, non più abbiamo un solo Pianeta rotante intorno ad un altro, mentre ambedue percorrono una grande orbita intorno al Sole, bensì quattro Stelle l'esperienza sensibile ci mostra erranti intorno a Giove, a somiglianza della Luna intorno alla Terra, mentre tutte insieme con Giove, nello spazio di 12 anni, tracciano un gran giro intorno al Sole." ^[99].

Le conclusioni sono ben note. Puntando il cannocchiale verso il cielo Galileo conferma la rivoluzione copernicana. E con il principio di relatività e con la legge della caduta dei gravi pone le basi della fisica moderna.

Galileo muore nel gennaio del 1642. Il giorno di Natale dello stesso anno nasce Isaac Newton, che nel 1687 pubblica in tre libri l'opera "*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*" ^[100], capolavoro della scienza e fondamento della meccanica classica.

I *Principia* si aprono con otto definizioni e tre assiomi o leggi, che rappresentano dai tre **principi della dinamica** alla base della meccanica classica:

- 1) "Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme se nessuna forza esterna interviene per cambiare tale stato" ^[101] (primo principio della dinamica, già intuito da Galileo, vedi nota [?]);
- 2) "Un corpo non vincolato, al quale si applica una forza continua e costante, si muove con moto uniformemente accelerato lungo la direzione della forza" ^[102] (secondo principio della dinamica, l'espressione in formula è: $F = ma$);

[98] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*, p. 133.

[99] Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*, pp. 171-173.

[100] Isaac Newton. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini [i.e. London], 1687. ETH-Bibliothek Zürich. <https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-440>

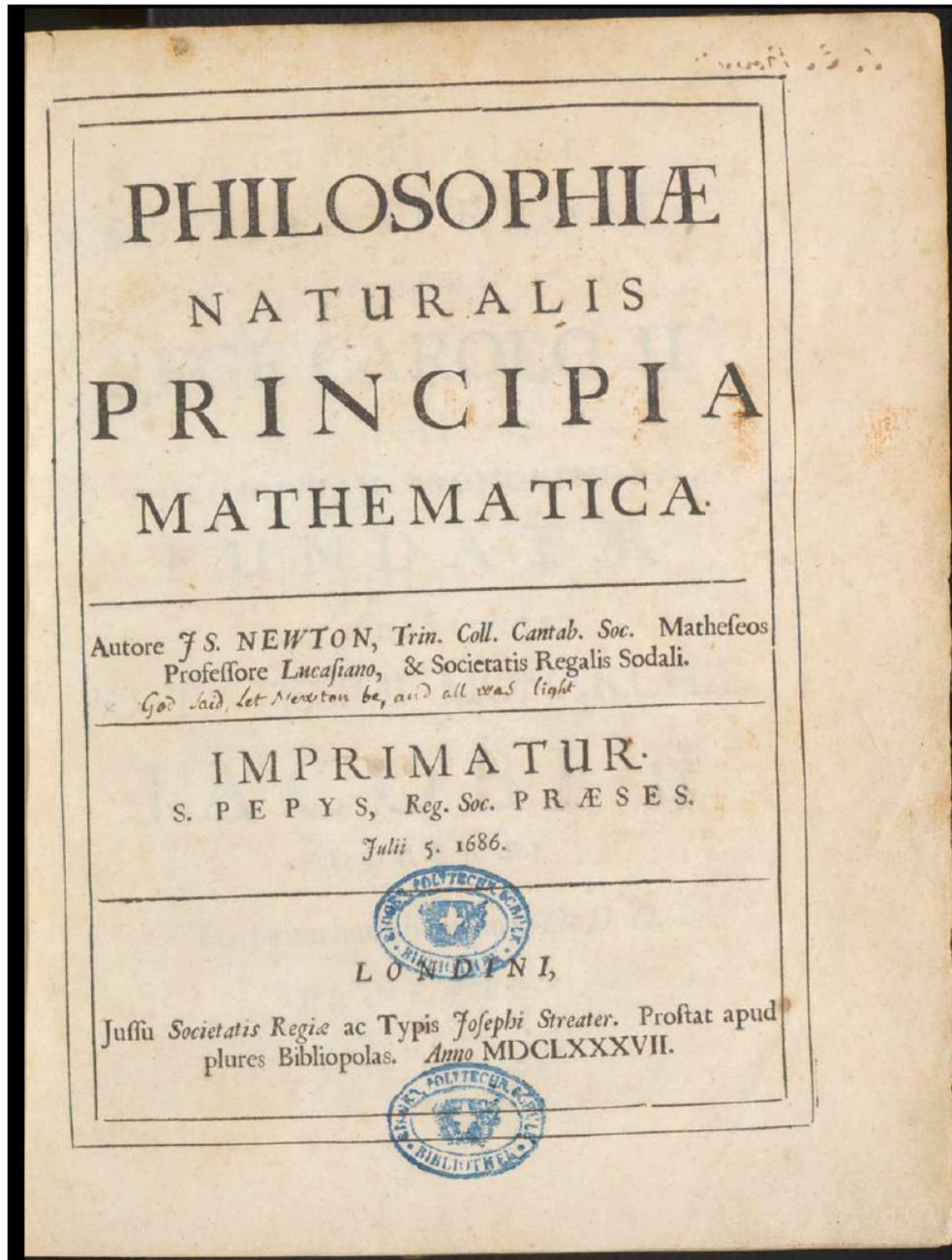
[101] "Lex I. Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare". Isaac Newton. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, p. 12.

[102] "Lex II. Mutationem motu proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur". Isaac Newton. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, p. 12.

3) "Ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria" [103] (terzo principio della dinamica).

Nel "*De motu corporum*", la prima parte dei *Principia*, suddivisa in due libri a causa della lunghezza, i principi della dinamica sono impiegati per ricavare la soluzione di una serie di problemi della meccanica.

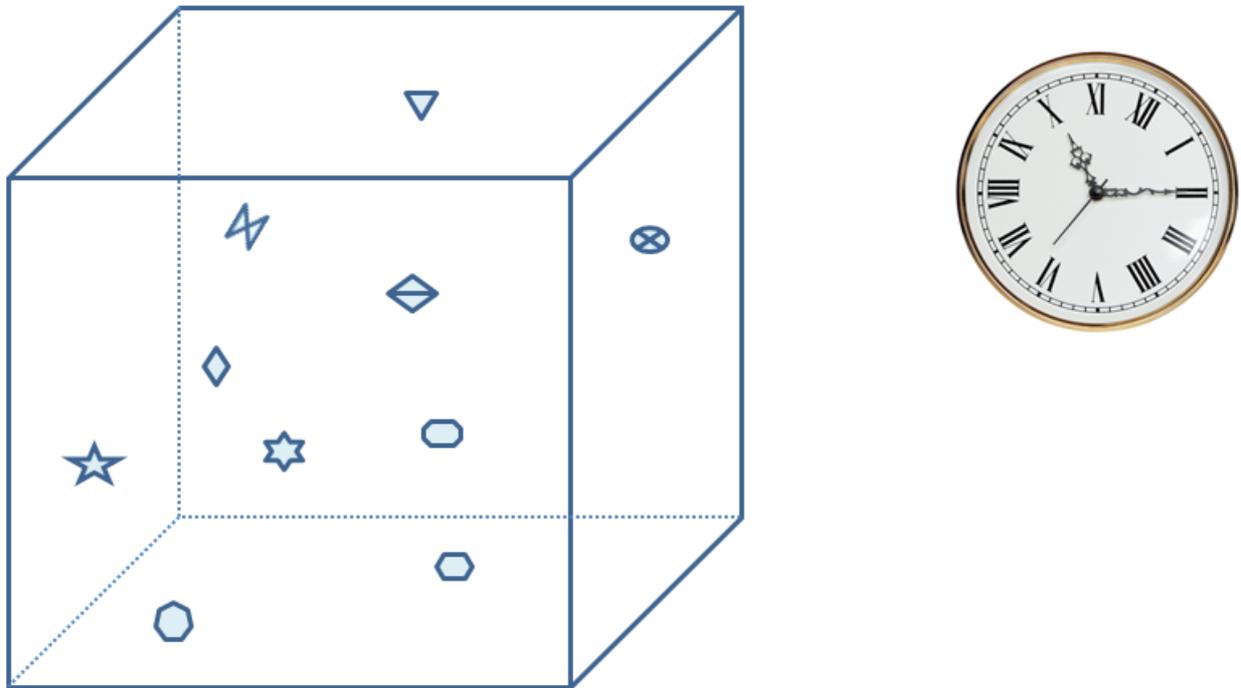
Nel "*De mundi systemate*", il terzo libro dei *Principia*, Newton espone la **legge di gravitazione universale** e, con le considerazioni e le leggi derivate dai due libri iniziali, la applica al sistema solare, ai movimenti della Luna, alle spiegazione delle leggi di Keplero, alle lune di Giove, alle comete, alle maree.



[103] "Lex III. Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contraria dirigi". Isaac Newton. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, p. 13.

Questa è l'immagine del mondo che si ricava dai *Principia*: uno spazio assoluto fa da contenitore, e un tempo assoluto consente di seguire il "destino" meccanicamente predeterminato dei corpi celesti. La cometa di Halley ^[104], come previsto dai calcoli, ritorna dopo 76 anni, il 25 dicembre del 1758. Newton è morto 31 anni prima, e non assiste al trionfo definitivo della sua meccanica celeste.

*«Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme se nessuna forza esterna interviene per cambiare tale stato»
(Sir Isaac Newton, 1642-1727)*



Tra il '700 e l'800 viene formandosi l'edificio della "fisica classica". La meccanica e l'ottica progrediscono in modo sostanziale. A loro si affiancano settori completamente nuovi: l'acustica, la termodinamica, lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici, la radioattività, che culmineranno ai primi del '900 nella scoperta dell'elettrone e della struttura dell'atomo. Fino alla nascita della "fisica quantistica". Ma qualcosa mina alla base le certezze della meccanica celeste. Nel primo principio della dinamica è presente una questione sottile: "quiete o ... moto rettilineo uniforme": sì, ma rispetto a cosa? E poi in cosa consiste la forza di gravità? Come spiegare la sua "azione a distanza" e il fatto che agisce "istantaneamente" tenendo legata la Terra al Sole, la Luna alla Terra, Deimos e Phobos a Marte, e così via? Questo fatto incomprensibile aveva già destato perplessità addirittura nello stesso Newton, perplessità che erano state superate solamente grazie al trionfo della capacità di spiegare e di prevedere della legge di gravitazione universale, ma che non avevano eliminato il problema.

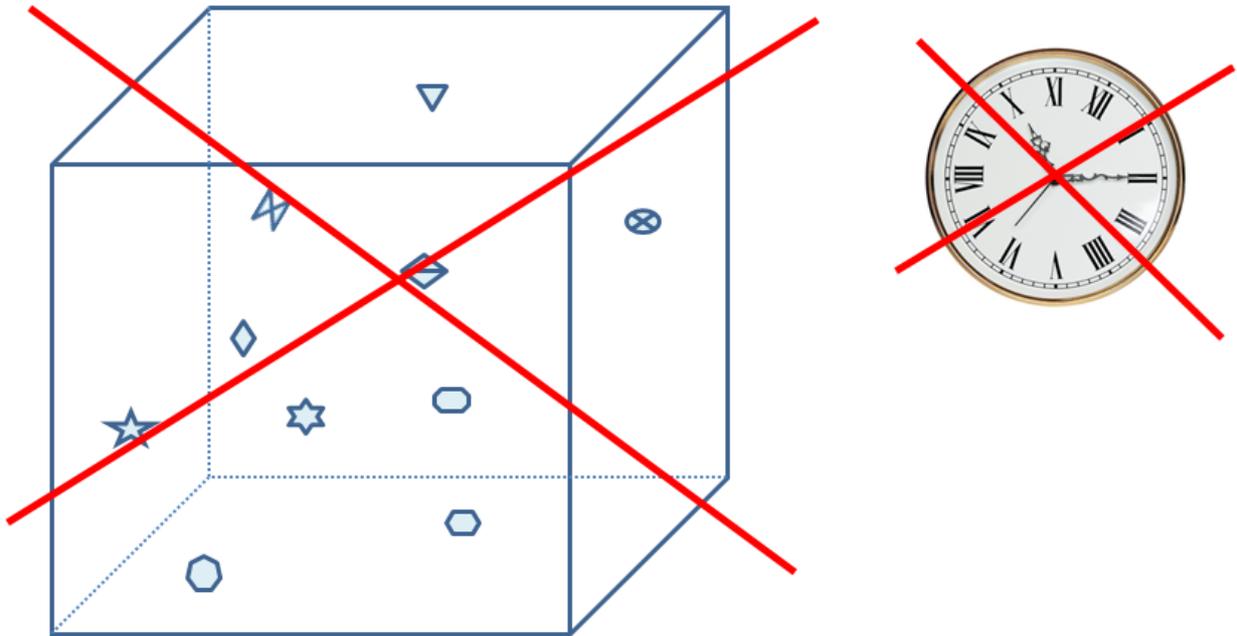
La soluzione viene fornita da A. Einstein ai primi del '900. La **relatività speciale** ridisegna il principio di relatività galileiano, che "deve" essere valido, ma che diventa un caso particolare (valido solo per velocità trascurabili) di un caso più generale (cui si applicano le trasformazioni di Lorentz). La base è il concetto di "invarianza" delle leggi di natura: perché anche la velocità della luce "deve" essere la stessa per tutti gli osservatori. Le trasformazioni di Lorentz dicono che all'aumentare della velocità di un corpo (i) aumenta la massa, (ii) diminuisce la lunghezza e (iii) rallenta il tempo: in questo modo la velocità della luce risulta la stessa per tutti gli osservatori, indipendentemente dal loro moto.

Successivamente la **relatività generale** risolve il problema della gravità. La Terra si muove attorno al Sole

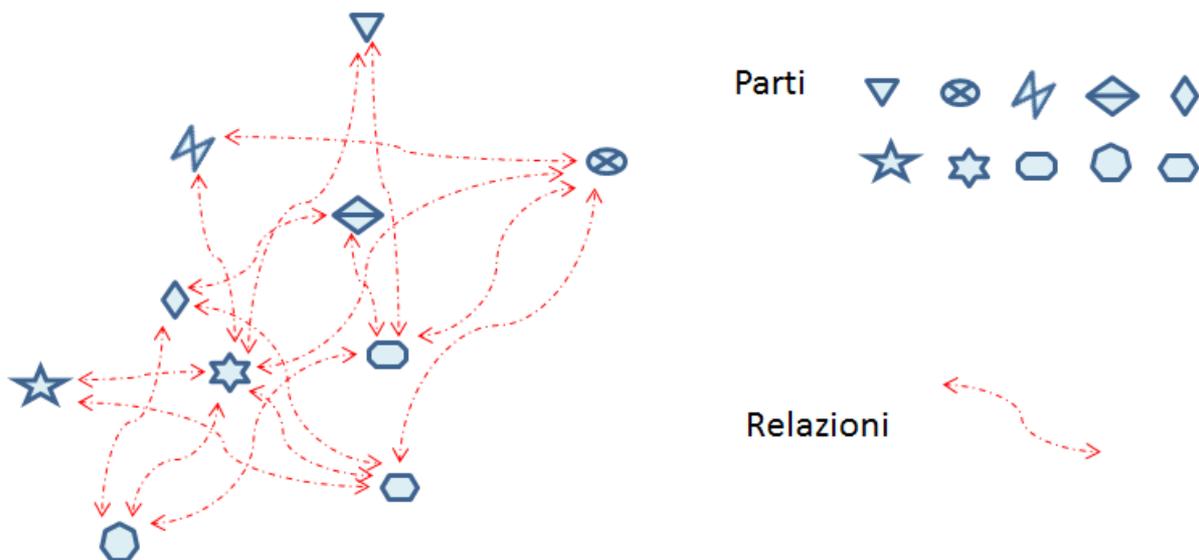
[104] Edmund Halley. *A synopsis of the astronomy of comets*. London, 1705.

non grazie a una istantanea azione a distanza, ma si muove secondo il primo principio della dinamica seguendo attorno al Sole lo spazio-tempo incurvato dalla massa di quest'ultimo. E le masse sono in grado di influenzare lo scorrere del tempo. Einstein cancella definitivamente l'idea newtoniana di spazio e di tempo assoluti, di un "regolo" e di un "orologio" con cui effettuare delle misure universali.

*«...la macchina del mondo conosce solo movimenti relativi, mentre qualsiasi "assoluto" coinciderebbe con l'Universo stesso, osservato da questo o da quel punto...»
(Ernst Mach, 1838-1916)*



Se dal punto di vista epistemologico relatività speciale e relatività generale portano alla perdita definitiva dell'ultimo fondamento che rimaneva alla scienza, cioè di un contenitore del mondo fatto di spazio e tempo assoluti, qualsiasi movimento ora può essere concepito solamente in termini di "relazione" tra oggetti. Questa è la nuova immagine del mondo che emerge.



Ed ecco infine riassunti i rapporti tra i concetti delineati negli ultimi tre capitoli.

Inferenza	Dati	Informazione	Conoscenza
Induzione	Qualitativi, non misurabili	In forma <i>intuitiva</i> , basata su un rapporto empatico con il mondo (empatia = sentire dentro), ignora il criterio di oggettività.	Magica
Deduzione, induzione	Qualitativi, non misurabili	In forma di <i>modello</i> , basato su <i>leggi qualitative</i> , con al più deboli elementi di oggettività (riscontro nelle <i>evidenze</i> fornite dalla <i>percezione sensoriale</i>).	Filosofica
Abduzione, deduzione, induzione	Quantitativi, misurabili	In forma di <i>modello</i> , basato su <i>leggi matematiche quantitative</i> che esprimono il comportamento della natura, con forti elementi di oggettività (riscontro nelle <i>evidenze</i> fornite dalle <i>misure</i> con le quali sono ottenuti i <i>dati sperimentali</i>).	Scientifica

Pensiero magico e pensiero filosofico sono stadi pre-scientifici del pensiero. Il resto sono scienza e filosofia della scienza [105].

La tesi per cui pensiero magico e pensiero filosofico sono stadi pre-scientifici del pensiero, ci condurrà tra poco ad una conclusione importante, e solo apparentemente paradossale: cioè a riconoscere nella Grecia, tra i venticinque e i venti secoli fa, in quella che per antonomasia è la patria e l'era della filosofia, la presenza di un iniziale pensiero scientifico. Che Newton chiamerà poi "*Philosophia naturalis*". Era un pensiero scientifico ancora elementare, limitato a pochi aspetti della natura, confuso nella metodologia, ignorava (tranne rare eccezioni) il ruolo chiave della sperimentazione. Per di più una nefasta sinergia tra il successo del sillogismo deduttivo aristotelico e una drammatica crisi sociale, in un contesto culturale degradato, retrivo e dogmatico¹⁰⁶, ne ha di fatto bloccato per oltre quindici secoli l'ulteriore sviluppo. Ma un iniziale pensiero scientifico nella antica Grecia e per tutto il periodo dell'ellenismo ci fu. Ed è proprio allora che nasce il problema della longitudine.

[105] Questi appunti trattano, per di più in modo molto elementare, della strada che porta alla realtà, quindi del "*cosa possiamo conoscere*" (epistemologia) e non del "*cosa esiste*" (ontologia).

[106] Come dice Carlo Rovelli "... *Il risultato della violenza antintellettuale dell'impero romano cristianizzato è di soffocare quasi ogni sviluppo del sapere razionale per secoli ... Con la conquista dell'impero da parte del cristianesimo ... la parentesi di luce e di pensiero libero accesi a Mileto nel VI secolo a.e.v. è richiusa*". Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Mondadori Education, Milano, 2001, ISBN 978-88-6184-075-1, p. 157.

5. Da Anassimandro a Ipparco e Tolomeo

*"Lo scienziato non è l'uomo che fornisce le vere risposte; è quello che pone le vere domande."
(Claude Levi Strauss)*

Per continuare è necessario ripartire dalla Grecia, varie centinaia di anni **a.e.v.** (*ante era vulgaris*) [107].

Nella ricerca delle concezioni del mondo che porteranno al concetto e alla misura [della latitudine e] della longitudine, ci aiuta Carlo Rovelli, seguendo come filo conduttore gli aspetti scientifici del mondo per i quali *"la realtà non è come ci appare"* [108]. Un libro che richiama le fallacie indotte dal credere solamente nei propri sensi delle quali abbiamo visto qualche esempio, e che con così grande difficoltà sono state superate dalla scienza nel corso non dei secoli, ma dei millenni. E che può essere ricondotto all'epistemologia di Kuhn dei cambi di paradigma [109] e della contrapposizione tra dogma e critica [110] che rappresentano il motore della crescita del pensiero scientifico nel corso della storia.

Ed è su questo filo conduttore che, in un altro suo libro, *"Che cos'è la scienza"*, Rovelli ricorda il passo straordinario che le concezioni del mondo hanno fatto grazie ai greci:

"Tutte le civiltà umane hanno sempre pensato che il mondo fosse fatto di Cielo sopra e Terra sotto. Sotto la Terra, perché non caschi, ci deve essere altra terra; oppure una grande tartaruga appoggiata su un elefante come in alcuni miti asiatici, o gigantesche colonne come quelle di cui parla la Bibbia. Questa immagine del mondo è condivisa dalle civiltà egiziane, cinese, maya, dell'antica India e dell'Africa nera, dagli Ebrei della Bibbia, dagli Indiani del Nord America, dagli antichi imperi di Babilonia e da tutte le altre culture di cui abbiamo traccia. Tutte eccetto una: la civiltà greca.

Già nel periodo classico per i Greci la terra era un sasso che galleggia dello spazio senza cadere; sotto la Terra non c'è altra terra all'infinito, né tartarughine, né colonne: c'è lo stesso cielo che vediamo sopra di noi. Come hanno fatto i Greci a comprendere presto che la Terra è sospesa sul nulla e il cielo continua sotto i nostri piedi? Chi lo ha capito e come?

L'uomo che ha compiuto questo passo gigantesco nella comprensione del mondo è Anassimandro, vissuto ventisei secoli fa Mileto, città greca sulla costa dell'odierna Turchia. Basterebbe questa scoperta per fare di Anassimandro un gigante del pensiero di tutti i tempi. Ma la sua eredità è più vasta. Egli apre la strada alla fisica, alla geografia, allo studio dei fenomeni meteorologici e alla biologia. Al di là di questi contributi, egli apre il processo di ripensamento dell'immagine del mondo: il percorso di ricerca della conoscenza basata sulla ribellione contro certezze che appaiono ovvie. In questo egli rappresenta una delle principali radici del pensiero scientifico" [111].

"Ma come ha fatto Anassimandro a capire che sotto la Terra c'è ancora cielo? È chiaro che gli indizi non mancano. Il Sole tramonta ogni sera a occidente, e ricompare il mattino oriente. Da dove passa per

[107] L'espressione "era volgare" compare per la prima volta in un'opera di Keplero del 1615: *"Joannis Kepleri Eclogae Chronicae: Ex Epistolis Doctissimorum Aliquot Virorum & Suis Mutuis, Quibus Examinantur Tempora Nobilissima: 1. Herodis Herodiadumque, 2. Baptismi & Ministerii Christi Annorum Non Plus 2 1/4, 3. Passionis, Mortis Et Resurrectionis Dn. N. Iesu Christi, Anno Aerae Nostrae Vulgaris 31. Non, Ut Vulgo 33., 4. Belli Iudaici, Quo Funerata Fuit Cum Ierosolymis & Templo Synagoga Iudaica, Sublatumque Vetus Testamentum. Inter Alia & Commentarius in Locum Epiphaniae Obscurissimum De Cyclo Veteri Iudaeorum. Francofurti, 1615"*. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 6534. Il grassetto è mio, non compare nel testo originale.

<https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-25830>

[108] Carlo Rovelli. *La realtà non è come ci appare. La struttura elementare delle cose*. Raffaello Cortina, Milano, 2014, ISBN 978-886030-641-8.

[109] Thomas S. Kuhn. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Giulio Einaudi editore, Torino, 2009, ISBN 978-88-19900-5.

[110] Thomas S. Kuhn. *Dogma contro critica. Mondi possibile nella storia della scienza*. Raffaello Cortina, Milano, 2000, ISBN 88-7078-619-6.

[111] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, pp. 1-2.

ricomparire dall'altra parte? ... Ma se era così facile perché generazioni e generazioni di uomini non ci avevano pensato? Perché innumerevoli altre civiltà hanno continuato a pensare che sotto la Terra non ci fosse che altra terra? Perché i Cinesi, nonostante lo splendore della loro millenaria civiltà, non l'avevano ancora capito quando sono arrivati i gesuiti nel XVII secolo? ... La difficoltà la difficoltà sta nel l'idea che la Terra galleggia nello spazio; essa contraddice l'immagine stessa che abbiamo del mondo. È un'idea palesemente assurda, inaudita e incredibile. La difficoltà è accettare che il mondo possa non essere come abbiamo sempre creduto che sia, che le cose possono essere diverse da come appaiono. La vera difficoltà è abbandonare un'immagine del mondo che ci è familiare. Per comprare questo passo e una civiltà dove gli uomini siano pronti a mettere in dubbio ciò che è creduto vero da tutti. La seconda difficoltà è costruire un'alternativa consistente e credibile la vecchia immagine del mondo. Il fatto che la terra voli contraddice le regole che governano il mondo: le cose cadono. Se niente reggesse la Terra, la Terra cadrebbe. Se la Terra non è appoggiata su nulla allora perché non cade?" [112][113].



[112] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, pp. 53-55.

[113] Nella foto la Terra, che galleggia nel vuoto per la gioia di Anassimandro, viene vista sorgere dalla Luna dagli astronauti a bordo dell'Apollo 8, il 24 dicembre del 1968. Foto NASA.

"La rivoluzione di Anassimandro ha molto in comune con le altre grandissimi rivoluzioni del pensiero scientifico. Si tratta di un passo simile a quello compiuto da Copernico e Galileo per fare trionfare la rivoluzione copernicana. Si muove la terra? Come fa a muoversi, se appare evidente che è ferma? No, comprende Galileo completando la rivoluzione copernicana: non esistono moto e stasi assoluti. Le cose appoggiate sulla terra sono ferme una rispetto all'altra, ma questo non significa che non possono essere, insieme, in movimento nel sistema solare. La nozione di "stasi" o "movimento" è assai più articolata e complessa di quella della nostra esperienza quotidiana" [114].

Continua Carlo Rovelli [115]:

"Ripeto qui il solo testo che plausibilmente ci resta di Anassimandro, come riportato da Simplicio:

Tutte le cose hanno l'origine l'una dall'altra e periscono l'una nell'altra, secondo necessità.

Esse si rendono l'un l'altra giustizia, e si ricompensano per l'ingiustizia, in conformità con l'ordine del tempo.

*Un'idea esplicita in queste poche righe è che il divenire continuo del mondo non avviene a caso, ma è retto dalla necessità. Cioè da una qualche forma di **legge**. Una seconda idea è che il modo in cui queste leggi si esprimono è "in conformità con l'ordine del tempo". Cioè esiste un ordine nel tempo, che stabilisce come le cose avvengono nel tempo. L'idea che espressa è che esistono leggi naturali, e che queste leggi stabiliscono il mondo in cui le cose **cambiano nel tempo**.*

La forma di queste leggi non è detta. Si ha solo un accenno abbastanza oscuro a un'analogia con la legge morale, la giustizia. Ma nessuna di queste leggi è, almeno per quanto ne sappiamo, esplicitamente enunciata.

È durante la generazione successiva con un altro grande personaggio nella storia della scienza comprende la forma che queste leggi devono avere, cioè il linguaggio in cui devono essere scritte: Pitagora. La proposta di Pitagora, nuova rispetto alla scuola di Mileto, è che il linguaggio in cui sono scritte le leggi del mondo sia la matematica. Con questa proposta, Pitagora aggiunge un ingrediente maggiore al programma di Anassimandro, dando una forma precisa l'idea di legge ancora molto vaga che è in Anassimandro ...

La grande idea pitagorica che il mondo possa essere descritto in termini matematici sarà ripresa, ampliata e possentemente propagandata da Platone, che ne farà uno dei suoi pilastri della Verità ...

*Ancora venti secoli più tardi, la scoperta galileiana delle prime leggi del moto che valgono sulla Terra, che dà inizio alla fisica matematica moderna, è direttamente motivata dalla fiducia nel programma pitagorico-platonico di cercare la verità matematica nascosta dietro le cose. Galileo fa esplicito riferimento a Platone come fonte di quest'idea. In misura non trascurabile, l'intera scienza occidentale, si può dire, è una realizzazione del programma anassimandro-pitagorico-platonico di cercare le **leggi, e in particolare le leggi matematiche**, nascoste dietro le apparenze.*

*Ma, prima di diventare legge matematica, l'idea di **legge** che governa in modo **necessario** i fenomeni naturali, del tutto assente nei secoli precedenti, nasce a Mileto e con ogni probabilità nel pensiero di Anassimandro.*

*I Greci cercano queste leggi nei secoli successivi e ne troveranno molte. Per esempio troveranno le leggi matematiche che guidano il movimento dei pianeti **nel cielo**. Galileo, motivato dalla sua fede nel programma di Anassimandro, Pitagora e Platone, cercherà e troverà anche le leggi matematiche che governano il moto dei corpi **sulla Terra**. E Newton mostrerà che le leggi del cielo e quelle sulla Terra sono le stesse."*

Tuttavia Anassimandro ritiene che la Terra abbia la forma di cilindro, lo confermano sia Rovelli [116] sia Eco e Fedriga [117]. A questo punto della storia probabilmente l'idea di latitudine e longitudine stentavano ancora

[114] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, pp. 60-61.

[115] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, pp. 72-76.

[116] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, p. 51.

[117] *Storia della filosofia*. A cura di Umberto Eco e Riccardo Fedriga. EM Publishers, Milano, 2015, Vol. 1, p. 37.

a prendere forma.

Questo è una ricostruzione dell'Ecumene come lo concepiva, pochi decenni dopo la morte di Anassimandro, Ecateo di Mileto [118].



È nel "Fedone" (che risale al 386-385 a.e.v.), che compare un'altra nuova idea, quando Platone a un certo punto fa dire a Socrate [119]:

"Io dunque ... sono convinto anzitutto di questo, che se la terra, che è sferica, è posta in mezzo all'universo, non ha bisogno di aria per non cadere, né di alcun altro mezzo di questo genere, dal momento che bastano a reggerla l'uniformità dell'universo, che è uguale a sè stesso in ogni sua parte, e l'equilibrio della terra stessa. Infatti un corpo in equilibrio posto in mezzo a un elemento uniforme, non ha da inclinarsi né tanto né poco da nessuna parte, ma trovandosi sempre nella stessa condizione, rimarrà privo di oscillazioni: dunque, in primo luogo, io mi sono convinto di questo..."

[118] Ecateo di Mileto (Ἐκαταῖος Μιλήσιος, Hekatâios Milésios; Mileto, 550 a.e.v. - 476 a.e.v.).

[119] Platone. *Tutte le opere*. Newton Compton editori, Roma, 2013, ISBN 978-88-541-1636-8, p. 211 (108e) (109a). Il grassetto è mio, non è presente nel testo originale.

Questa sembrerebbe la più antica citazione disponibile sulla sfericità della Terra. Seguita subito dopo da quella di Aristotele:

"Si è dunque trattato a sufficienza della terra e della sua situazione per quel che concerne il luogo, l'immobilità e il movimento. Quanto alla figura, è necessariamente sferica. Ogni particella di terra ha peso finché non sia giunta al centro e quella più piccola, essendo spinta da quella più grande, non può formare ondulazioni; c'è piuttosto compressione, e una parte si stringe all'altra finché non giungono al centro" [120].

"Secondo questa argomentazione, dunque, la forma della terra è necessariamente sferica, e lo è anche in quanto tutti i corpi pesanti cadendo formano degli angoli uguali, anziché descrivere traiettorie parallele. Ma questa è la forma naturale della caduta verso ciò che è sferico per natura ... Che la terra sia sferica lo si accerta anche mediante i fenomeni che cadono sotto i sensi. Diversamente le eclissi di luna non presenterebbero le sezioni che vediamo. Ebbene, in occasione delle sue fasi mensili la luna mostra tutti i tipi di divisione (viene infatti tagliata da una linea retta o diviene biconvessa o concava); al momento delle eclissi, invece, ha sempre come linea di delimitazione una linea curva. Di conseguenza, poiché l'eclissi è causata dall'interposizione della terra, è il profilo della terra a determinare tale figura, avendo forma sferica" [121].

"Alcuni astri sono visibili in Egitto o in prossimità di Cipro, e invisibili, invece, nelle regioni settentrionali. Peraltro, gli astri che nelle regioni settentrionali appaiono per tutto il tempo, nei luoghi menzionati in precedenza invece tramontano. Da queste osservazioni risulta chiaro non soltanto che la forma della terra è quella di una sfera, ma anche che si tratta di una sfera di modeste dimensioni; altrimenti, gli effetti di uno spostamento tanto piccolo non si manifesterebbero con tale rapidità" [122].

Nella frase che ho riportato in grassetto *"... tutti i corpi pesanti cadendo formano degli angoli uguali..."* significa che i corpi cadono tutti perpendicolarmente rispetto al terreno, in tutti i luoghi della Terra. Ma se così facendo descrivono traiettorie che non sono tra loro parallele *"... anziché descrivere traiettorie parallele..."* questo è a causa del fatto che la Terra non è piatta (nel qual caso le traiettorie sarebbero parallele) ma ha la forma di una sfera [123], e questo lo si può stabilire solamente confrontando tra loro le traiettorie che una pietra percorre cadendo in due località diverse, con un esperimento analogo a quello effettuato un centinaio di anni dopo da Eratostene [124] (e riportato più avanti). A questo punto è necessario notare i seguenti fatti notevoli:

- il primo è che confrontare tra loro le traiettorie implica un qualche procedimento di **misura**;
- il secondo è che il procedimento di misura è avvenuto nell'ambito di un **esperimento**;
- il terzo è che il ragionamento è avvenuto sulla base di un **modello geometrico** della Terra con il quale si volevano confrontare le misure e i dati sperimentali;
- il quarto è che l'esperimento comportava di assumere che i raggi del sole in ogni punto siano tra di loro paralleli;
- il quinto è che l'esperimento comportava misure effettuate in due località aventi la stessa longitudine e diversa latitudine (o viceversa), e che pertanto, in modo implicito o esplicito, fossero presenti nella mente dello sperimentatore queste due idee.

Non ci vuole molto per rendersi conto del fatto che nelle espressioni riportate sopra di **misura**, di **esperimento**, di **modello**, di **geometria** [e della matematica conseguente], abbiamo tutti gli ingredienti per poter dire che si tratta di scienza. Visto il resto della sua fisica, è molto probabile che qui Aristotele abbia riportato idee e soprattutto osservazioni di altri. Resta comunque il fatto che nella Grecia antica, in particolare nel periodo ellenistico, è comparso un embrione di pensiero scientifico. Come ho già avuto modo di notare era ancora in forma elementare, confuso nella metodologia. Ma che esistesse lo documenta

[120] Aristotele. *Il cielo*, p. 319 (297a).

[121] Aristotele. *Il cielo*, p. 323 (297b).

[122] Aristotele. *Il cielo*, p. 325 (297b).

[123] È notevole il contrasto tra l'acume e l'accuratezza di questa osservazione e il fatto che poche pagine prima, come già riportato in precedenza, Aristotele, dal fatto che *"... i corpi pesanti lanciati con la forza verso l'alto in linea verticale ricadono al loro punto di partenza..."*, aveva tratto una prova dell'immobilità della Terra.

[124] Eratostene di Cirene (Ερατοσθένης, Eratosthénēs; Cirene, 276 a.e.v. circa - Alessandria d'Egitto 194 a.e.v. circa).

estesamente Lucio Russo nel suo libro [125]. È interessante vedere quanto riportato nel paragrafo sulla geodesia e geografia matematica [126]:

"Erodoto attribuisce agli Egizi l'introduzione della geometria, nel senso originario di misurazione della Terra, individuandone l'origine nell'esigenza di misurare, a fini fiscali, le variazioni nell'estensione delle proprietà dovute all'erosione del Nilo. Quando la geometria greca iniziò il suo grandioso sviluppo, le applicazioni concrete da cui era nata, in particolare le tecniche di rilevamento, la planimetria e la topografia, furono fatte rientrare nell'ambito della geodesia. Purtroppo non esiste una sufficiente documentazione diretta sullo sviluppo di queste tecniche dal livello empirico, comune a molte antiche civiltà, al rilevamento e alla cartografia su basi scientifiche del periodo ellenistico.

Il principio base della triangolazione, ossia l'idea di determinare graficamente la distanza di un punto inaccessibile misurando le direzioni in cui è visto da due punti a distanza nota, era molto antico ed era presente nella matematica ellenica sin dal suo inizio. Per trasformare quest'idea in una tecnica efficiente di rilevamento occorrono però strumenti per traguardare e uno sviluppo della trigonometria. Il primo uso documentato di metodi trigonometrici risale all'opera astronomica rimastaci di Aristarco di Samo, della prima metà del III secolo a.C., i cui metodi per calcolare le distanze del Sole e della Luna appaiono chiaramente ardite estensioni su scala astronomica dei metodi di triangolazione topografica.

Gemino, nel I secolo a.C., descrive la geodesia individuando nei compiti nella determinazione di distanze e dislivelli mediante strumenti come regoli, fili a piombo, squadre e diottra attraverso cui traguardare. Vitruvio accenna appena all'utilizzo della diottra per misurare dislivelli e descrive a tale scopo un altro strumento greco: il corobate (una livella ad acqua) ...

Qualche indicazione indiretta sullo sviluppo delle tecniche di rilevamento può venire dalle realizzazioni urbanistiche. La pianificazione urbanistica risaliva in Grecia a Ippodamo di Mileto (V secolo a.C.), ma nel primo ellenismo la realizzazione delle strutture urbane di molte nuove grandi città stimolò probabilmente lo sviluppo di efficienti strumenti per il rilevamento, che sono d'altra parte necessari per progettare opere come la cittadella di Pergamo, che comportavano non solo la costruzione di singoli edifici, ma il terrazzamento della collina.

La corografia, che secondo Polibio ha per scopo la determinazione delle posizioni dei luoghi e delle loro distanze, appare un passo intermedio tra la planimetria usata nella progettazione urbanistica e la geografia matematica.

La differenza tra geografia matematica ellenistica e le opere "geografiche" della Grecia classica, di Roma e del medioevo (che sono puramente descrittive) illustra bene la differenza tra civiltà scientifiche e prescientifiche.

La geografia matematica ellenistica, quale la conosciamo da l'unica opera del genere conservata, la Geografia di Tolomeo, è altrettanto scientifica di quella moderna. Si tratta di una tipica teoria scientifica, le cui regole di corrispondenza associano a ogni luogo della terra un punto di una superficie sferica, individuato da una coppia di coordinate: latitudine e longitudine. Tolomeo conosce anche la cartografia, sa usare cioè varie proiezioni, tra le quali proiezioni coniche modificate, di cui usa le proprietà matematiche, per rappresentare la Terra su carte piane in modo da conservare tutta l'informazione relativa alla rappresentazione su una superficie sferica. Nell'opera di Tolomeo sono annotate latitudine e longitudine di ottomila località, dall'Irlanda al Sudest asiatico.

Anche la geografia matematica risaliva al primo ellenismo. La descrizione quantitativa di tutto il mondo

[125] Lucio Russo. *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Giangiacomo Feltrinelli, Milano, 2014, ISBN 978-88-07-88323-1. Il libro a mio avviso non è esente da alcune forzature, nelle quali l'Autore incorre per corroborare la sua tesi, ma questo non toglie che si tratti di un buon libro, ben documentato. Tutto sta a indicare che in epoca ellenistica una fase embrionale di sviluppo del pensiero scientifico si sia effettivamente verificata, ma che fosse troppo fragile e incerta, e che a causa di questo venne destabilizzata e abortì durante la drammatica crisi di civiltà e di cultura che seguì all'ellenismo. Il processo di gestazione ha poi dovuto attendere quasi venti secoli prima di ripartire nuovamente, questa volta più robusto e con ben diverso successo, con Galileo e con Newton, quelli che oggi consideriamo tra i principali padri fondatori della scienza (senza ignorare un numero sterminato di altri grandi e meno grandi, che hanno partecipato collettivamente alla riuscita di questa straordinaria avventura).

[126] Lucio Russo. *La rivoluzione dimenticata*, pp. 90-93.

conosciuto divenne un'esigenza particolarmente sentita in seguito all'improvviso estendersi del mondo greco dovuto alle conquiste di Alessandro. Già l'allievo di Aristotele Dicearco, verso il 300 a.C., aveva fatto il primo passo verso la costruzione della geografia matematica individuando un parallelo, elencando cioè una successione di località poste tutti alla stessa latitudine, da Gibilterra alla Persia.

Eratostene disegnò la prima carta scientifica del mondo conosciuto, che si estendeva da Gibilterra all'India e dalla Somalia al Circolo Polare Artico. La sua opera era già basata sull'uso di coordinate sferiche che ci sono familiari. La latitudine di un luogo (detta allora "clima", in cui significato originale è inclinazione) è facilmente determinabile: per esempio misurando con una meridiana l'angolo che i raggi del Sole formano con la verticale a mezzogiorno di un solstizio. Un metodo alternativo consiste nel ricavarla dal rapporto tra durata del giorno e della notte durante il solstizio. La determinazione della longitudine è sempre stato un problema molto più difficile (prima dell'invenzione dei cronometri e della radio) e non sappiamo quale metodo avesse usato Eratostene. Si può ipotizzare che avesse usato il sistema accennato da Tolomeo all'inizio della sua opera, determinando la differenza di longitudine tra due località dalla loro differenza di latitudine e da una stima dell'angolo che la congiungente forma con il meridiano. Nel caso di due città congiunte da una rotta marittima, si tratta in effetti di un dato approssimativamente noto ai marinai che la percorrono.

Il più famoso risultato di Eratostene fu la sua misura del meridiano terrestre. Le stime più antiche (riportate ad Aristotele senza accennare al metodo usato) erano valutazioni non misure. L'ammirazione per l'impresa di Eratostene fu così generale che secoli dopo Plinio ne avvertiva ancora l'eco.

Il metodo usato da Eratostene, come è descritto da Cleomede (e come riportato anche in molti manuali scolastici e libri divulgativi), è il seguente.

Si sapeva che Siene (l'odierna Assuan) era quasi sul Tropico: il Sole ve era infatti circa allo zenit a mezzogiorno del solstizio d'estate. L'angolo (misurato con una meridiana) che nello stesso momento i raggi del Sole formavano con la verticale di Alessandria poteva quindi fornire l'angolo tra le verticali delle due città. Conoscendo anche la distanza lineare tra Alessandria e Siene, se ne poteva dedurre la distanza corrispondente a un grado di cerchio massimo. La difficoltà di sapere ad Alessandria il momento in cui era mezzogiorno a Siene era superata dall'assunzione che Siene fosse esattamente a sud di Alessandria e che quindi delle due città il mezzogiorno fosse contemporaneo...

... Oggi il metodo usato da Eratostene sembra quasi banale a molti che trovano facile spiegarlo aiutandosi con un disegno. Eppure si tratta di un metro di inaccessibile alle civiltà prescientifiche e in tutta l'antichità nessuno scrittore latino riuscì mai a riferirlo in modo accettabile. La difficoltà non è evidentemente nel ragionamento geometrico, che in sé è semplicissimo, ma nel capire che ragionando su un disegno si possono trarre conclusioni valide sull'intera Terra. Chi fa propria la possibilità di viaggiare col pensiero dal disegno al mondo e viceversa usa, il più delle volte inconsapevolmente, proprio quelle regole di corrispondenza che abbiamo individuato come una caratteristica essenziale del metodo scientifico. In effetti solo rendendo esplicite tutte le ipotesi assunte (che nel caso di Eratostene sono quelle dell'ottica e della geometria, la sfericità della Terra e la piccolezza del raggio terrestre rispetto alla distanza Terra-Sole) è possibile creare un modello teorico che, essendo applicabile approssimativamente alla Terra, è allo stesso tempo schematizzabile con un disegno fornisce quindi un ponte logico tra l'una e l'altro.

La misura di Eratostene è un chiaro esempio della potenza del metodo scientifico, giacché passando dal mondo reale al modello e viceversa si ottennero informazioni anche sulla parte ignota della Terra, che nessun uomo dell'antichità aveva mai visto.

Nel II secolo a. C. la geografia matematica progredì soprattutto ad opera di Ipparco di Nicea, che in particolare criticando i metodi dei suoi predecessori, ebbe l'idea di determinare le differenze di longitudine con metodi astronomici, misurando le differenze tra i tempi locali della stessa eclissi lunare."

La **latitudine** di un punto sulla superficie terrestre è la distanza angolare del punto dall'Equatore, misurata lungo l'arco del meridiano passante per quel punto, ed espressa in gradi e frazioni di grado da 0° a 90° verso Nord o verso Sud.

La latitudine si calcola misurando l'altezza sull'orizzonte del Sole o della Stella Polare. Concettualmente nel caso più semplice si ricava da un'asticella verticale, lo **gnomone**, della quale conosciamo la lunghezza e

misuriamo, con molta precisione, la lunghezza dell'ombra a mezzogiorno. Praticamente serve un bagaglio di conoscenze astronomiche e di trigonometria, che i greci possedevano a partire da Eratostene [127], e consolidato da Ipparco [128] e da Tolomeo [129]. L'invenzione dello gnomone, utilizzato come indicatore dell'ora nella meridiana, viene attribuita ad Anassimandro [130]. Verso il II secolo a.e.v. compare l'**astrolabio** (il più antico astrolabio ritrovato è la *macchina di Anticitera*, descritto anche da Russo [131]). Nel medioevo per rilevare l'altezza del Sole o di un astro sull'orizzonte veniva impiegata la **balestriglia** (o bastone di Giacobbe).

Il problema dell'abbagliamento da parte del Sole portò all'invenzione del **quadrante di Davis** [132], che consentiva di effettuare le rilevazioni rivolgendolo le spalle al Sole. La successiva evoluzione tecnologica importante fu il **quadrante riflettente** che Isaac Newton ideò nel 1699. La descrizione dello strumento ideato da Newton venne fatta da Halley ma venne pubblicata solamente nel 1742, l'anno della morte di Halley, e questo impedì a Newton di ottenere la paternità dell'invenzione. Il quadrante riflettente di Newton era l'immediato precursore dell'**ottante**, che venne sviluppato attorno al 1730, e indipendentemente, da John Hadley, un matematico inglese, e da Thomas Godfrey, un ottico di Filadelfia. L'ottante copriva un ottavo di angolo giro quindi 45° che per il principio della doppia riflessione utilizzato dallo strumento corrispondono a 90°. Dato che peraltro in alcuni casi era necessario misurare angoli maggiori di 90°, l'ottante venne ben presto sostituito dal **sestante**, che copriva un sesto di angolo giro, quindi 60°, che per lo stesso principio corrispondono a 120°. Prima l'ottante e subito dopo il sestante sostituirono definitivamente i vecchi strumenti impiegati per la misura della latitudine.

La **longitudine** di un punto sulla superficie terrestre è la distanza angolare del punto dal meridiano fondamentale [133], misurata lungo l'arco di Equatore compreso tra il meridiano fondamentale e il meridiano passante per il punto considerato, ed espressa in gradi e frazioni di grado verso Est o verso Ovest da 0° a 180°.

La longitudine si calcola misurando la differenza tra l'ora locale nel punto considerato e l'ora del meridiano fondamentale. Concettualmente l'ora locale si determina con una meridiana, mentre l'ora del meridiano fondamentale si ricava da un orologio regolato su di esso, o dalla posizione di astri mobili che nel cielo assumono posizioni note rispetto alle stelle fisse rappresentando in tal modo l'equivalente delle lancette di un grande orologio siderale. Praticamente la cosa è particolarmente complicata in quanto:

- l'ora locale determinata mediante una **meridiana** deve essere corretta con l'equazione del tempo, che non era nota ai greci;
- per avere con sé l'ora del meridiano fondamentale è necessario disporre di un **orologio** sufficientemente accurato e stabile, che i greci non avevano e che venne realizzato per la prima volta solamente la bellezza di venti secoli dopo, nella seconda metà del 1700;
- per ricavare l'ora del meridiano fondamentale dagli astri mobili sul sfondo delle stelle fisse è necessario avere tabelle astronomiche molto dettagliate ed accurate delle loro posizioni nelle ore del giorno e nei giorni dell'anno, note come **tavole delle effemeridi**, che furono disponibile anch'esse, con un grado di accuratezza adeguato, solamente nella seconda metà del 1700.

Probabilmente è stato Dicearco, allievo di Aristotele, che definendo una sequenza di località poste tutte alla stessa latitudine [134], ha introdotto il concetto di "parallelo":

[127] Eratostene di Cirene (Ερατοσθένης, Eratosthénēs; Cirene, 276 a.e.v. circa - Alessandria d'Egitto, 194 a.e.v. circa).

[128] Ipparco di Nicea (Ιππάρχος, Hipparchos; Nicea, 200 a.e.v. - Rodi, 120 a.e.v.).

[129] Claudio Tolomeo (Κλαύδιος Πτολεμαῖος, Kláudios Ptolemáios; Pelusio, 100 circa - Alessandria d'Egitto, 175 circa).

[130] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza*, p. 36.

[131] Lucio Russo. *La rivoluzione dimenticata*, pp. 155-156.

[132] [John Davis (Sandridge, 1550 - Stretto di Malacca, 1606).

[133] Quello al quale è assegnata convenzionalmente la longitudine 0°.

[134] *I frammenti di Dicearco da Messina*. Raccolti, e illustrati dall'Avvocato D. Celidonio Errante, Palermo, 1822, Vol. II, pp. 75-87.

<https://books.google.it/books?id=kL9AAAAAcAAJ&hl=it>

"Dicearco definisce la terra non con le acque, ma con una semplice linea retta dalle colonne (di Ercole) per la Sardegna, per la Sicilia, pel Peloponneso, per la Panfilia, per la Cilicia, pel Tauro, e poi fin al monte Imao: secondo adunque i luoghi alcune terre chiama Boreali, altre Australi..." si legge, ma sembra che Dicearco cerchi di definire la longitudine dei luoghi descritti ancora mediante le distanze (esprese in stadi) ricavate da misure e stime fatte via terra e via mare.

Una delle principali fonti di informazione sul mondo ellenistico che ci sono pervenute è la "Geografia" ^[135] di Strabone ^[136], che così si apre:

"La descrizione del sito della Terra, la quale a'l presente habbiamo preso a trattare, stimiamo, che s'appartenga alla professione del Filosofo, quanto qualsivoglia altra scienza. Et che questo nostro parere non sia falso, da molti segni si può chiaramente conoscere. Uno de' quali è, che i primi che hebbero ardire di porvi mano furono Filosofi: si come Homero, Anassimandro Milesio, Hecateo della medesima patria (secondo Eratostene) Democrito, Eudosso, Dicearco, Esoro, e molt'altri. Et quelli parimente, che vennero dopo loro, Eratostene, Polibio, e Posidonio, tutti furono Filosofi ... Et primieramente dichiomo che noi e i nostri antecessori (de' quali è anco Hipparco) habbiamo dirittamente giudicato Homero essere stato il principale autore della scienza di Geografia ... Egli ... cercò di sapere i particolari luoghi di ciascuna parte del mondo, della terra, cioè, habitata, e del mare".



Ed è interessante quanto riportato poco dopo¹³⁷:

"Et Hiparco, la dove scrive ad Eratostene, insegna (e bene) che à ciascuno, o ignorante, o letterato che sia, a'l quale appartenga di trattare di Geografia, è impossibile haverne intiera cognitione, senza sapere

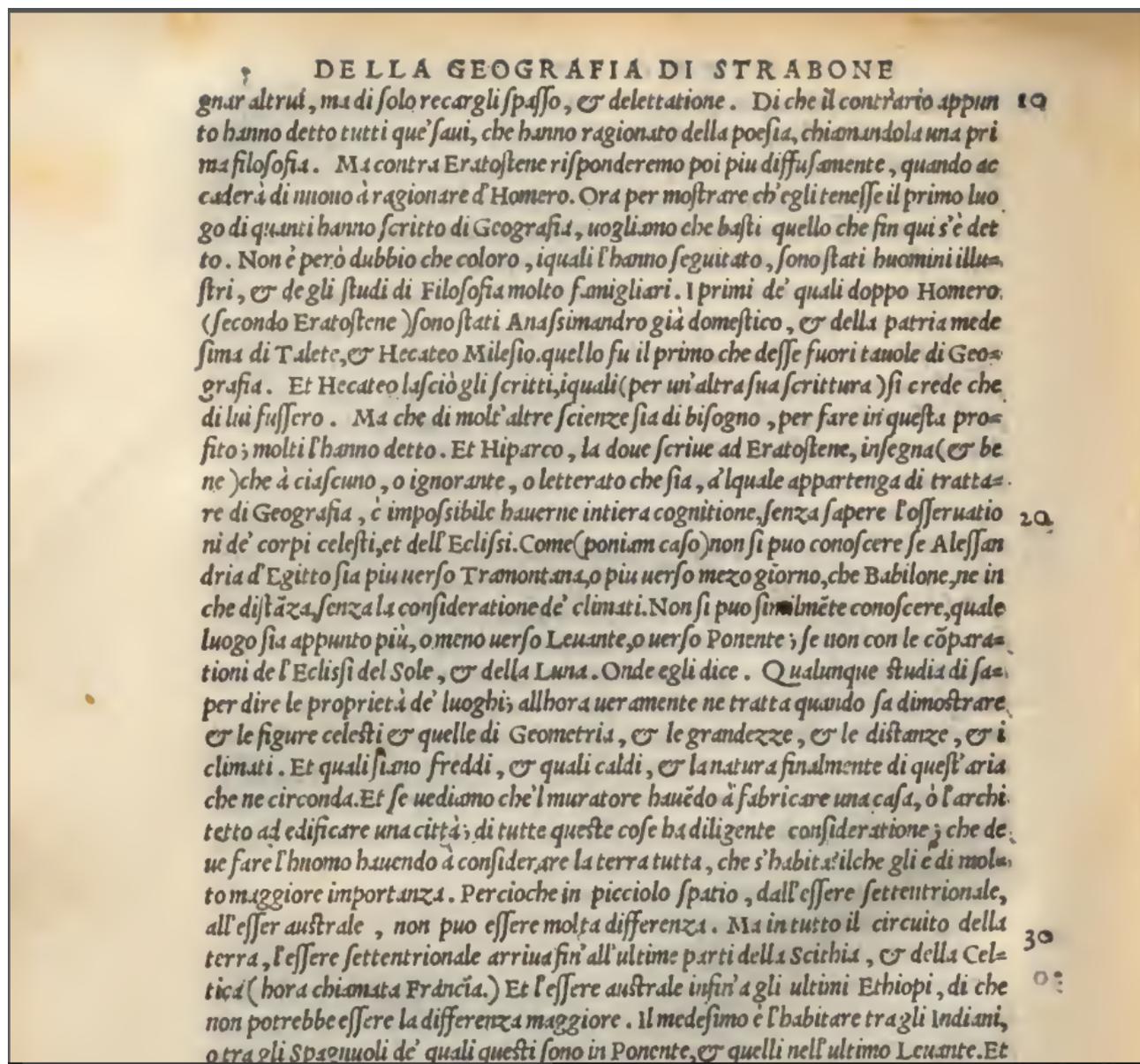
[135] *La geografia di Strabone, di greco tradotta in volgare italiano da Alfonso Buonacciuoli, con due copiosissime tavole l'una de' nomi antichi & moderni, l'altra di tutti i nomi, & cose notabili, che in questo libro si contengono.* Venezia, 1562, Libro I, p. 1.

https://play.google.com/store/books/details?id=X_qxjj00Qp8C

[136] Strabone (Στράβων, Strábôn; Amasea, prima del 60 a.e.v. - Amasea ?, 21-24 e.v.).

[137] *La geografia di Strabone, Vol. I, pagina 3b.*

l'osservazioni de' corpi celesti, et dell'Eclissi. Come (poniam caso) non si può conoscere se Alessandria d'Egitto sia piu verso Tramontana, o piu verso mezo giorno, che Babilone, ne in che distanza senza la confideratione de' climati. Non si può similmente conoscere, quale luogo sia appunto più, o meno verso Levante, o verso Ponente, se non con le coparationi de l'Eclissi del Sole, e della Luna".

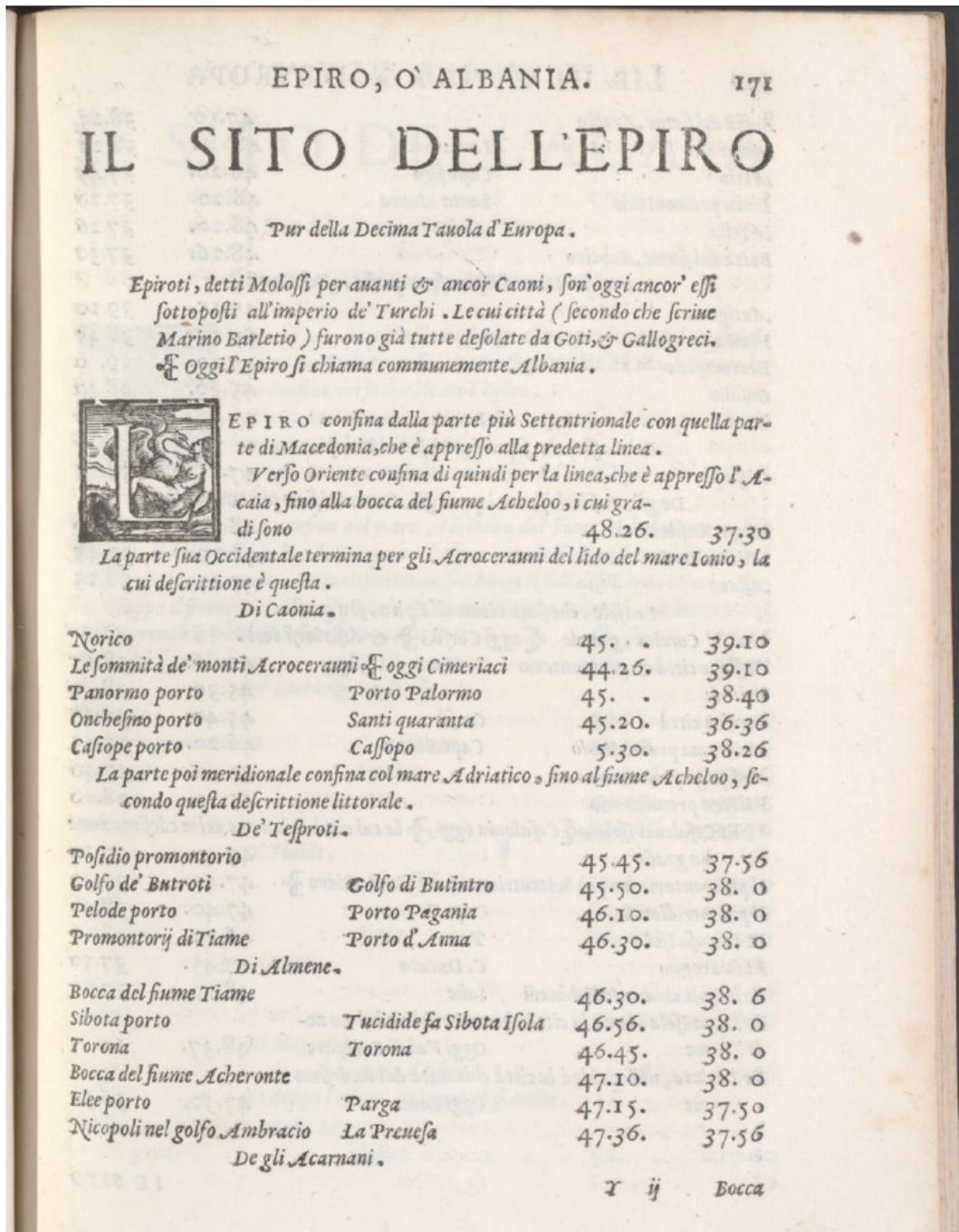


Con Ipparco è ormai acquisito il concetto di "climati", cioè di paralleli, per la misura della latitudine, e per la prima volta viene sistematizzato un metodo per determinare la longitudine: il **metodo delle eclissi lunari**. Una osservazione congiunta dell'eclissi nei due luoghi di cui si voleva misurare la longitudine rilevava a quale distanza dal mezzogiorno locale avveniva il fenomeno del contatto della Luna con l'ombra della Terra. Dalla differenza tra i tempi locali misurati nei due luoghi, si ricavava la differenza di longitudine. Ovviamente con tutti i limiti conseguenti alla rarità dei fenomeni e alla scarsa accuratezza dei metodi per la misura del tempo allora disponibili.

Nonostante questi problemi, nella "Geografia" di Tolomeo [138] sono elencate, come già detto, latitudine e

[138] *La geografia di Claudio Tolomeo Alessandrino: nuovamente tradotta di Greco in Italiano da Girolamo Ruscelli,*

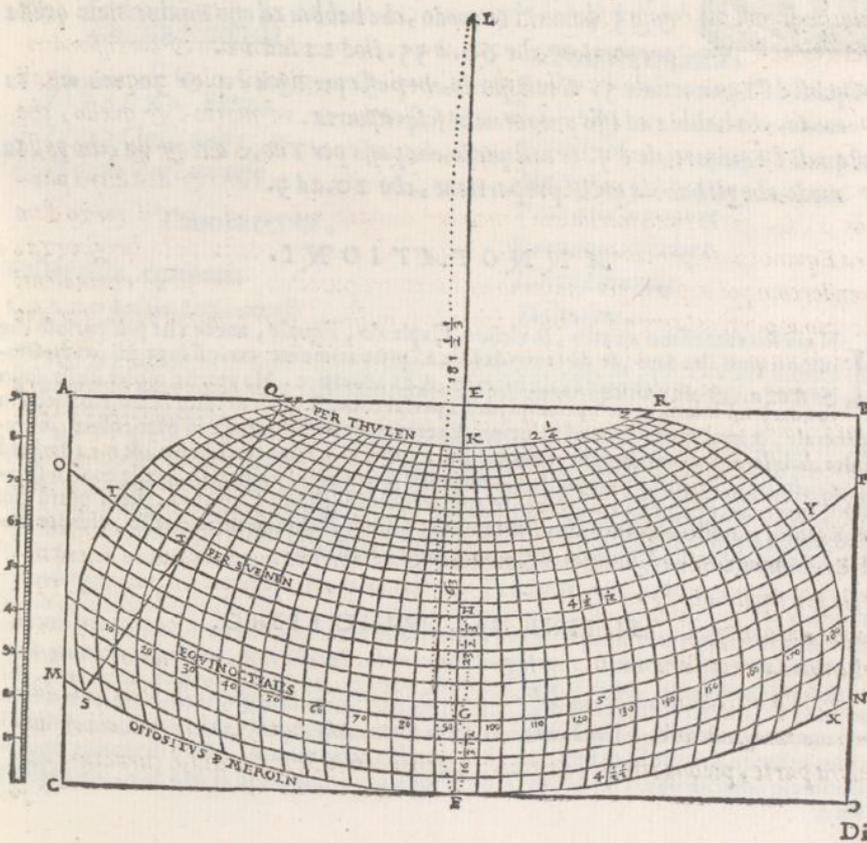
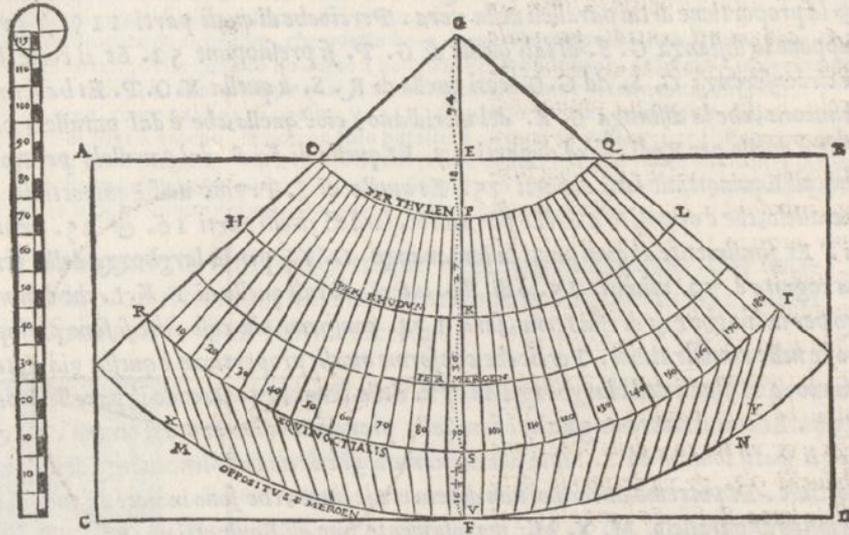
longitudine di circa 8.000 località (vedi esempio qui sotto). Ed è già presente il concetto di meridiano fondamentale, a partire dal quale si misura la longitudine, che Tolomeo pone nelle isole Fortunate, le attuali Canarie.



Tolomeo illustra ben due metodi di proiezione per rappresentare su un piano la superficie sferica della Terra (vedi schemi alla pagina seguente, il primo tratto dalla pagina 66 e il secondo tratto dalla pagina 69 della *Geografia*). E proprio grazie alla accurata descrizione che ne ha dato è stato possibile ricostruire le mappe dell'Ecumene andate perse.

con esposizioni del medesimo, particolari di luogo in luogo, & universali sopra tutto il libro, et sopra tutto la GEOGRAFIA, ò modo di far la descrizione di tutto il mondo. Venetia: Valgrisi, 1561. ETH-Bibliothek Zürich, Rar 4145. <https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-1861>

diano, porteremo sempre il lato della riga alla parte dimostrata della lunghezza, & per la diuisione fatta nella riga, arriuando noi al luogo segnato per la larghezza, segneremo & verremo in ciascuno d'essi facendo la debita annotatione nello stesso mo-



A causa delle difficoltà nel determinarle, le longitudini riportate da Tolomeo sono affette da errori macroscopici, ma il quadro concettuale generale è chiaro e definito.

Questa è una raffigurazione dell'Ecumene di Tolomeo in una incisione di Johannes Schnitzer del 1482 [139].



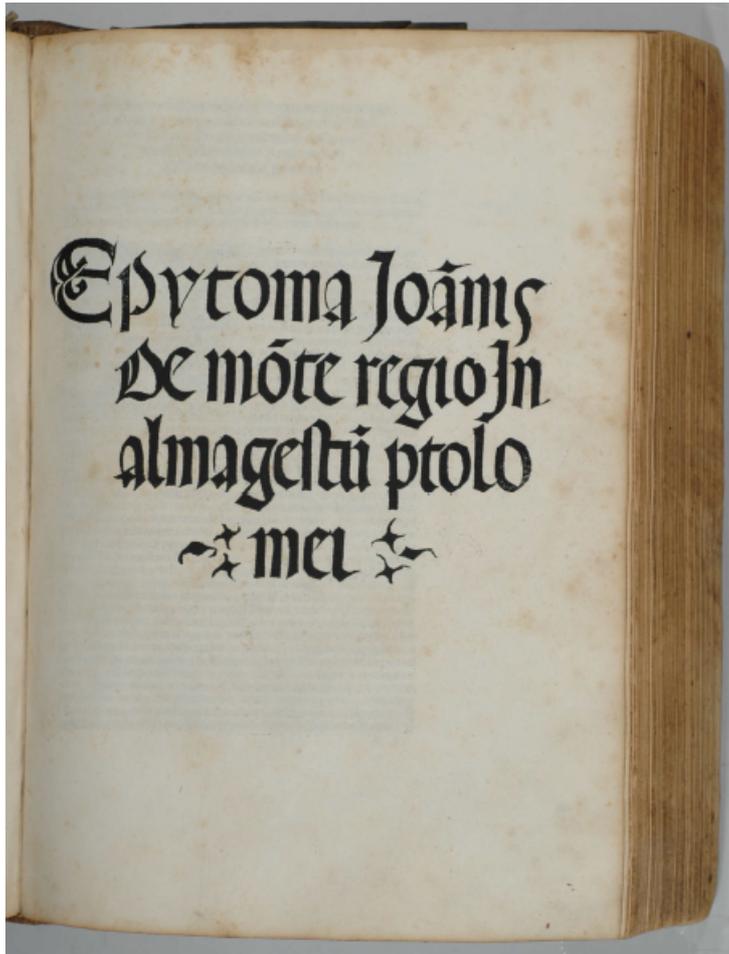
[139] By Lord Nicolas the German (Donnus Nicholas Germanus), cartographer, Johann the Blockcutter of Armsheim (Johannes Schnitzer or Johannes de Armsheim), engraver, Ptolemy Jacobus Angelus, translator, via Wikimedia Commons.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Claudius_Ptolemy-_The_World.jpg

6. Da Cristoforo Colombo a Galileo e Halley

"Nessun vento è favorevole per il marinaio che non sa dove andare."
(Lucio Anneo Seneca)

La crisi attraversata dall'Occidente tra la morte di Tolomeo e il '400 è così profonda che solamente con la stampa [140] nel 1496 degli "*Epytoma in Almagestum Ptolemei*" [141] di Johannes Müller da Königsberg, noto come il Regiomontano [142] l'astronomia europea ritorna ai livelli pre-crisi, quelli raggiunti quindici secoli prima dai greci.



Nel 1484 il Regiomontano aveva pubblicato le sue effemeridi, calcolate sulla base della meccanica celeste di Tolomeo, e che come vedremo tra poco, saranno utili, anche se in modo diverso, sia a Cristoforo Colombo sia ad Amerigo Vespucci. Siamo ancora in piena era tolemaica. Per il "*De revolutionibus orbium coelestium*" di Copernico [143] sarà necessario attendere il 1543.

[140] Nel 1455 Johannes Gensfleisch della corte di Gutenberg (Magonza, 1390-1403 circa - Magonza, 3 febbraio 1468) porta a termine le 180 copie della "*Bibbia a 42 linee*", la prima opera stampata per la quale utilizza caratteri mobili, inchiostro ad olio e torchio tipografico.

[141] Johannes Regiomontanus. *Epytoma Ioannis de Monte Regio in Almagestum Ptolemei*. Johannes Hamman, Venezia, 1496. Nella sezione "Digital books" della "Rare book collection at the Vienna University Observatory".

<https://tile.loc.gov/storage-services/service/rbc/rbc0001/2013/2013vollb40724/2013vollb40724.pdf>

[142] Johannes Müller da Königsberg o Regiomontano (Unfinden, 6 giugno 1436 - Roma, 6 luglio 1476).

[143] Niccolò Copernico (Mikołaj Kopernik; Toruń, 19 febbraio 1473 - Frombork, 24 maggio 1543).

Cristoforo Colombo salpa da Palos de la Frontera venerdì 3 agosto 1492. Ecco alcune curiosità che risultano dal suo diario di bordo ^[144]:

- lunedì 6 agosto "... *si sconficcò il timone della caravella Pinta...*". Il problema si ripresenta il giorno successivo, e Colombo fa rotta verso le isole Canarie per riparare il guasto;
- giovedì 6 settembre, dopo le riparazioni del caso, riparte "... *di buon mattino...*" dal porto dell'isola di La Gomera con le tre caravelle;
- lunedì 17 settembre "... *fecero i piloti il punto sul nord e lo segnarono, e videro che gli aghi inclinavano verso nord-est di una gran quarta, e i marinai ne erano spaventati e stavano in pena e non dicevano parola...*" ^[145];
- il 12 ottobre Colombo sbarca su "... *una isoletta ... che nella lingua degli indigeni era detta Guanahani...*", l'attuale San Salvador (o isola di Watling), nelle Bahamas;
- il 13 ottobre Colombo dice: "... *voglio andare a vedere se posso trovare l'isola di Cipango...*", in quanto è ancora convinto di essere sbarcato nei pressi di questa isola, cioè del Giappone.

Sulla base delle indicazioni tratte dalla Geografia di Tolomeo, da poco riscoperta, il matematico Paolo Dal Pozzo Toscanelli ^[146] aveva disegnato un planisfero che mostrava come raggiungere le Indie dall'Oceano Atlantico:

"E quantunque molte altre volte io abbia ragionato del brevissimo camino, che è di qua alle Indie, dove nascono le specierie, per la via del mare, il quale io tengo più breve di quel che voi fate per Guinea... ho deliberato... dimostrar detto camino per una carta... fatta e disegnata di mia mano, nella quale è dipinto tutto il fine del ponente... Dalla città di Lisbona per diritto verso ponente sono in detta carta ventisei spatii, ciascuno de' quali contien dugento cinquanta miglia [miglio romano di 1,481 chilometri - per un totale di circa 9600 km] fino alla nobilissima et gran città di Quisai [in Cina]... ^[147]"

Colombo credeva nella correttezza dei calcoli e della cartografia del Toscanelli ^[148]. Se avesse immaginato che la distanza è in realtà doppia, di circa 20.000 chilometri, non sarebbe salpato, dato che una tale distanza senza scalo era improponibile con le navi dell'epoca, e non avrebbe scoperto l'America. E se tra l'Europa e l'Asia non ci fosse stata di mezzo l'America, avrebbe dovuto prima o poi invertire la rotta o si sarebbe perso in mezzo all'oceano. L'importanza di conoscere la longitudine è evidente.

Pochi anni dopo Amerigo Vespucci durante il suo secondo viaggio tenta di determinare la sua longitudine utilizzando la congiunzione della Luna con Marte il 23 Agosto del 1500, ecco cosa scrive ^[149]:

[144] *Diario di bordo di Cristoforo Colombo*. Edizione di riferimento: *Diario del primo viaggio*, in *Gli scritti*, Einaudi, Torino, 1992.

https://www.academia.edu/37880646/Diario_di_Colombo

[145] Colombo annota qui la prima osservazione del fenomeno delle declinazione magnetica, che, come vedremo, verrà presa in considerazione da Antonio Pigafetta come un possibile metodo per il calcolo della longitudine. Come ricordato al termine di questo capitolo fu Halley, 200 anni dopo, ad effettuare una indagine approfondita sulla declinazione magnetica, che portò ad escludere la possibilità di utilizzarla per determinare la longitudine.

[146] Paolo dal Pozzo Toscanelli (Firenze, 21 aprile 1397 - Pisa, 10 maggio 1482).

[147] Da una lettera di Paolo dal Pozzo Toscanelli a Fernão Martins, 25 giugno 1474.

<https://mostre.museogalileo.it/waldseemuller/iwal.php?c%5B%5D=53008>

[148] La cartografia verrà aggiornata nel 1507 da Martin Waldseemüller (Friburgo, 11 settembre 1470 - Saint-Dié-des-Vosges, 16 marzo 1521) che scrive: "*Amerigo Vespucci... ha scoperto la quarta parte [del mondo] che non vedo perché non possa prendere il nome dal suo scopritore Amerigo, uomo di acuto ingegno, ed essere chiamata Amerige, cioè terra di Americo, o America, così come l'Europa e l'Asia che hanno preso il nome da donne*" nel suo "*Cosmographiae introductio, cum quibusdam geometriae ac astronomiae principiis ad eam rem necessariis insuper quatuor Americi Vespuccij navigationes. Universalis chosmographiae descriptio tam in solido quam plano, eis etiam insertis quae Ptholomaeo ignota a nuperis reperta sunt*". Saint-Dié, Vautrin e Nicolas Lud, 25 aprile 1507. <https://mostre.museogalileo.it/waldseemuller/iwal.php?c%5B%5D=53004>

[149] Amerigo Vespucci. *Lettera a Lorenzo de' Medici*. In: *Vita e lettere di Amerigo Vespucci, gentiluomo fiorentino, raccolte e illustrate dall'Abate Angelo Maria Bandini*. Firenze, nella stamperia all'insegna di Apollo, 1745, pp. 72-73. <https://play.google.com/store/books/details?id=nFYUAAAAQAAJ>

"Quanto alla longitudine dico, che in saperla trovai tanta difficoltà, che ebbi grandissimo travaglio in conoscer certo il camino, che avevo fatto per la via della longitudine, e tanto travagliai, che al fine non trovai miglior cosa, che era a guardare, e veder di notte le opposizioni dell'un pianeta coll'altro, e mover la Luna con gli altri pianeti; perchè il pianeta della Luna è più leggier di corso, che nessuno altro, e riscontravo con l'Almanacco di Giovanni da Monteregio, che fu composto a meridione della Città di Ferrara, accordandolo con le calcolazioni delle Tavole del Re Don Alfonso: e dipoi di molte note, che ebbi fatto sperienza, una notte infra l'altre, essendo a' ventitrè di Agosto del 1499. che fu in conjunzione della Luna con Marte, la quale secondo l'Almanacco aveva a essere a mezza notte, o mezza ora prima; trovai, che quando la Luna sali all'orizzonte nostro, che fu un'ora, e mezz. dipoi diposto il Sole, aveva passato il pianeta alla parte dell'oriente, dico, che la Luna stava più orientale, che Marte circa d'un grado, e alcun minuto più, e a mezza notte, stava più all'oriente 15. gradi, e mezz. poco più o meno, di modo che fatta la perpensione, se 24. ore mi vagliono 360. gradi, che mi varranno 5. ore, e mezz. trovo, che mi varranno 82. gradi, e mezz. , e tanto mi trovavo di longitudine del meridione della Città di Calis, che dando a ogni grado 16. leghe, mi trovavo più all'occidente, che la Città di Calis 1366. leghe, e due terzi, che sono 15466. miglia, e due terzi'. La ragione perchè io do 16. leghe e due terzi per ogni grado, perchè secondo Tolomeo, e Alfagrano la terra volge 24000., che vagliono 6000. leghe, che ripartendole per 360. gradi, avviene a ciascun grado 16. leghe, e due terzi, e questa ragione la certificai molte volte col punto de' piloti, e la trovai vera, e buona".

Sono trascorsi XVII secoli da Ipparco, e per la misura della longitudine l'unico metodo disponibile è ancora il suo **metodo delle eclissi lunari**: geniale, ma poco pratico. La difficoltà di calcolare la longitudine ("... quanto alla longitudine dico, che in saperla trovai tanta difficoltà, che ebbi grandissimo travaglio...") è evidente nelle parole di Vespucci. Mosso da questa difficoltà Vespucci con il "...veder di notte le opposizioni dell'un pianeta coll'altro, e mover la Luna con gli altri pianeti..." è il primo a tentare di utilizzare (e a documentare) un nuovo approccio per la misura della longitudine: che diverrà noto come il metodo delle distanze lunari. Vespucci si serve, per il suo calcolo della longitudine, delle effemeridi del Regiomontano (*l'Almanacco di Giovanni da Monteregio*, come lui lo chiama). Questa è la prima pagina dell'edizione del 1484 ^[150].



Se ne servirà ancora quattro anni dopo, anche se per tutt'altro scopo, Cristoforo Colombo, che allora si trovava in Giamaica. Sulla base delle effemeridi del Regiomontano, Colombo infatti predisse con successo ai

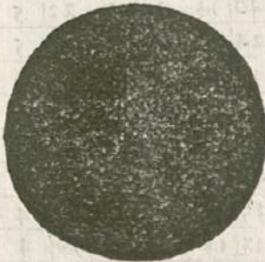
[150] Johannes Regiomontanus. *Ephemerides*. Venezia, 1484.

<https://daten.digital-e-sammlungen.de/0008/bsb00084853/images/index.html?fip=193.174.98.30>

nativi una eclissi lunare per il 29 febbraio del 1504, spaventandoli a morte e riuscendo quindi ad ottenere il rifornimento di cibo che gli era necessario. Questa è la pagina delle effemeridi in cui il Regiomontano prevede l'eclissi, anch'essa tratta dall'edizione del 1484.

Anno christi domini		1504		Ephemerides	
Bissextilis					
Aureus numerus	4	Quadragesima	25	Februarij	
Cyclus solaris	1	Pasca	7	Aprilis	
Littere dominicales	g f	Rogationes	12	Maij	
Inditio	7	Ascensio domini	16	Maij	
Intervallum	7 hebdo. 6 dies	Pentecoste	26	Maij	
Septuagesima	4 Februarij	Aduentus domini	1	Decembris.	

Eclipsis lune		
29	13	36
Februarij		
Dimidia duratio		
1	46	



Saturn ^a	ab initio ani ad 6 Martij: item a 5 Nouemb ^{ris} ad exitu anni retro.
Jupiter	a capite ani ad 19 Februarij: item a 24, Nouemb ^{ris} ad calcē ani retro.
Mars	ab initio anni ad 3 Februarij retrogradus.
Venus	ab ineunte anno ad 26 Januarij retrograda.
Mercuri ^{us}	a 5 Aprilis ad 26 eiusdem: rursus a 29 Julij ad 20 Augusti: et a 22 Nouemb ^{ris} ad 14 Decembris retrogradus

Il 20 settembre 1519 Magellano ^[151] salpa con cinque navi e oltre 200 uomini alla ricerca del passaggio a ovest verso le Indie. La prima circumnavigazione del globo terrestre ha successo, ma il 6 settembre del 1522 della spedizione di Magellano al porto di partenza rientra una sola nave con 18 uomini, gli unici superstiti (Magellano era morto durante il viaggio nel 1521). Tra questi c'è Antonio Pigafetta, dal diario del quale si rilevano le difficoltà sempre presenti nella misura della longitudine ^[152]. Nel diario si trova anche un rilievo di importanza storica che vale la pena di ricordare ^[153]:

[151] Ferdinando Magellano (Fernão de Magalhães; Sabrosa, 17 ottobre 1480 - Mactan, 27 aprile 1521).

[152] *Primo viaggio intorno al globo terracqueo ossia ragguaglio della navigazione alle Indie orientali per la via d'occidente fatta dal Cavaliere Antonio Pigafetta patrizio vicentino sulla Squadra del Capit. Magaglianes negli anni 1519-1522. Ora pubblicato per la prima volta, tratto da un Codice MS. della Biblioteca Ambrosiana di Milano e corredato di note da Carlo Amoretti Dottore del Collegio Ambrosiano con un transunto del Trattato di navigazione dello stesso Autore.* In Milano MDCCC.

https://play.google.com/store/books/details?id=_8JUAAAACAAJ

[153] Che trecentocinquanta anni dopo sarà alla base del romanzo di Giulio Verne "Il giro del mondo in ottanta giorni".

"Costretti dalla necessità estrema determinammo di prender terra alle Isole di Capo verde; e nel mercoledì, giorno nove di luglio, approdammo ad una di queste detta San Giacomo. Sapendo d'esser noi in terra nimica e fra persone sospette, nel mandar in terra il batello a far provigione di vettovaglie, commettemmo a marinai di dire ai Portoghesi che ci si era spezzato l'albero del trinchetto sotto la linea equinoziale, (quantunque questa sventura ci fosse avvenuta al Capo di Buona Speranza) e che la nostra nave era sola, perchè, mentre indugiammo a racconciarlo, il nostro Capitan generale colle altre due navi erasene andato in Ispagna. Con queste buone parole, e dando in iscambio delle nostre mercanzie, ottenemmo due batelli pieni di riso. Per vedere se avevamo tenuto un esatto conto del giorni, commettemmo a quei che andarono a terra di chiedere qual giorno della settimana correva, e lor fu detto esser giovedì pe' Portoghesi abitatori dell'isola; il che ci fu di gran maraviglia, poichè per noi non era che mercoledì. Non potevamo persuaderci d'aver errato; ed io n'era sorpreso più degli altri, poichè, essendo sempre stato sano, aveva ogni dì senza intermissione scritto il giorno che correva. Ma ci fu poi fatto avvertire non esservi errore alcuno dalla parte nostra, poichè avendo noi viaggiato sempre verso occidente, seguendo il cammin del Sole, e ritornati essendo allo stesso luogo, dovevamo aver guadagnate ventiquattr'ore, com'è chiaro a chi vi riflette ^[154]".

Nel trattato di navigazione di Pigafetta, che compare accanto al diario del primo viaggio intorno al globo terracqueo nell'opera di Carlo Amoretti, si trova un accenno all'utilizzo della declinazione magnetica per la stima della longitudine ^[155]:

"La Bussola può somministrare un metodo ancor più facile per trovare la longitudine del luogo in cui tu stai. Si sa che la Bussola, ossia l'ago calamitato che in essa sta, dirigesì a un dato punto per la tendenza che ha la calamita al polo. La ragione di questa tendenza si è perchè la calamita non trova in cielo altro altro luogo in riposo fuorchè il polo; e perciò a quello s'indirizza. E' questa una spiegazione del fenomeno che io propongo; e la credo vera finchè l'esperienza non ci faccia conoscere qualche spiegazione migliore. Per sapere colla calamita i gradi di longitudine forma un gran cerchio entro cui stia la bussola, e dividilo in 360 gradi; e avendo posto l'ago al gr. 360, ove indica il polo artico; allorchè l'ago sia in riposo, tira un filo, che dal polo artico segnato dall'ago venga all'antartico. Lascia lungo questo filo sicchè ne sopravanzi. Ciò fatto prendi il mezzodì, che conoscerai dalla maggior altezza del Sole. Gira la bussola finchè il filo che la attraversa sia nella direzione dell'ombra meridiana. Allora dal polo antartico dell'ago col filo che sopravanzava tira un altro filo, che venga al polo artico, cioè al fiore; e troverai così di quanti gradi l'ago della bussola è distante dalla linea meridiana, cioè dal vero polo. Altrettanti saranno i gradi di longitudine che avrai, incominciando dal luogo ove la bussola incammina. Pertanto, con quanto maggiore accuratezza piglierai il meridiano, tanto più giustamente potrai sapere i gradi di longitudine".

La posizione della Luna rispetto a stelle note in funzione del tempo locale può essere prevista per qualunque luogo. Quindi il tempo del meridiano di riferimento può essere calcolato misurando la distanza della Luna da stelle note. L'approccio alla misura della longitudine intuito da Vespucci e da lui tentato utilizzando le effemeridi del Regiomontano, compare nella traduzione del primo libro della *Geografia* di Tolomeo ^[156] di Johann Werner ^[157].

Ma il **metodo delle distanze lunari** viene diffuso e riconosciuto soprattutto grazie alla "*Cosmographia*" ^[158], l'opera di Pietro Apiano, qui nella edizione pubblicata ad Anversa nel 1564 ^[159]. Tuttavia resta sulla carta, dato che la mappatura del cielo stellato con una accuratezza adeguata è ancora di là da venire, e il metodo diventerà praticamente utilizzabile solo a partire dal 1767, anno in cui l'Astronomo Reale Nevil Maskelyne ^[160] iniziò la pubblicazione annuale del "*Nautical Almanac*", la tavola delle effemeridi in cui erano riportate

[154] *Primo viaggio intorno al globo terracqueo*, p. 182.

[155] *Primo viaggio intorno al globo terracqueo. Trattato di navigazione*, p. 221.

[156] Johann Werner. *Nova translatio primi libri geographiae Cl. Ptolomaei*. Stuchs, Norimberga, 1514.

<https://play.google.com/store/books/details?id=OWGjQLsxEDYC>

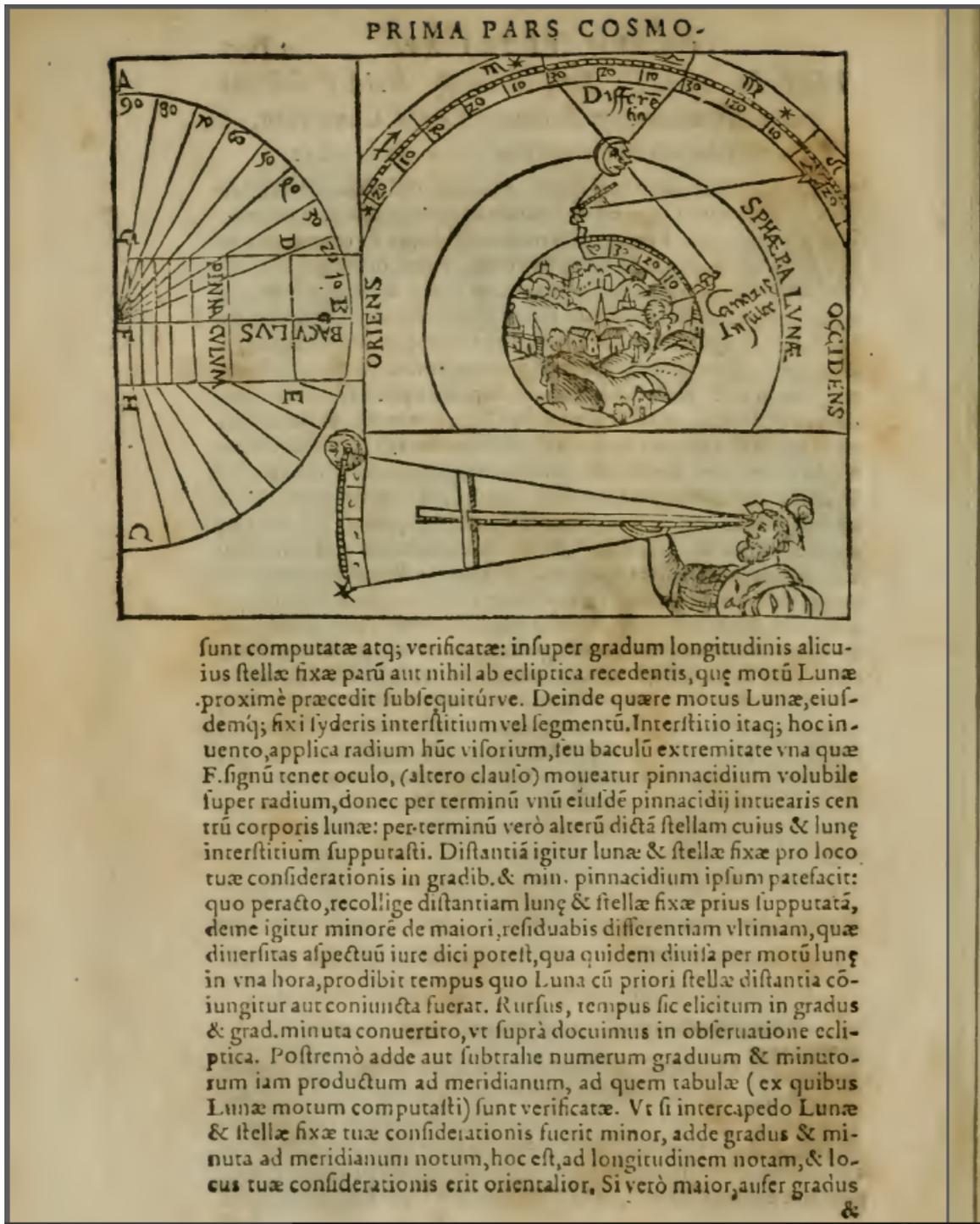
[157] Johann Werner (Norimberga, 14 febbraio 1468 - Norimberga, maggio 1522).

[158] Pietro Apiano. *Cosmographia*. Antverpiae, Apud Joannem V Vitagium, 1564.

[159] Pietro Apiano (Leisnig, 16 aprile 1495 - Ingolstadt, 21 aprile 1552).

[160] Nevil Maskelyne (Londra, 6 ottobre 1732 - Greenwich, 9 febbraio 1811) è stato il quinto astronomo reale, dal

le posizioni della Luna rispetto alle stelle fisse in funzione del tempo. Questa è una delle pagine della *Cosmografia* di Apiano nelle quali viene discusso il metodo, ed è illustrato l'uso della balestriglia per misurare l'angolo tra la Luna e le stelle fisse.



Galileo ha ben chiaro il problema della longitudine, come si ricava dal suo "*Trattato della sfera*", un'opera giovanile inedita, redatta probabilmente a scopo didattico, e pubblicata dopo la sua morte [161]:

1765 al 1811.

[161] Galileo Galilei. *Trattato della sfera o cosmografia*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa

"Prima dichiareremo quello che importino le latitudini e longitudini, e dipoi mostreremo il modo di prender l'una e l'altra. Debbesi dunque sapere, che latitudine di un luogo si dimanda quell'arco del meridiano, che è contenuto tra il zenitte del detto luogo e l'equinoziale, di maniera che esso equinoziale è come termine e principio delle latitudini, le quali si misurano verso il polo. Dimandasi poi longitudine d'un luogo a un altro l'arco dell'equinoziale intercetto tra li due meridiani dei luoghi. E qui è da notare, come della longitudine non abbiamo termine necessario e naturale, come si ha delle latitudini, delle quali, come s'è detto, il principio è l'equinoziale; e però è stato di mestiero nelle longitudini arbitrariamente costituire un principio e termine, al quale esse si riferiscano; il qual termine di comun consenso dei principali geografi è stato ricevuto che sia il meridiano che passa sopra l'Isole Canarie, dette altrimenti Fortunate, per essere questo sopra l'estreme parti occidentali dagli antichi conosciute. E così assolutamente parlando, la longitudine d'un luogo altro non importa, che la distanza del meridiano di detto luogo dal meridiano dell'Isole Fortunate misurata da occidente verso oriente nel circolo equinoziale. La cognizione di queste dimensioni serve principalmente all'intelligenza e descrizione della geografia: perciocchè sapendosi la longitudine e la latitudine di un luogo, si ritroverà il suo sito sopra la carta o globo geografico, non potendo ad altro che ad un sol punto convenire la medesima latitudine con l'istessa longitudine congiunta: ma separatamente tutte le città o altri luoghi, che saranno sotto il medesimo meridiano, averanno la medesima longitudine, e così parimente i siti collocati sotto l'istesso parallelo hanno l'istessa latitudine; ma sotto un tal meridiano e tal parallelo non è costituito altro che un sol punto; e però conosciuta la longitudine e latitudine di un luogo, sarà ritrovato il sito suo. Il modo di prendere e trovare le latitudini è facilissimo, perchè tanta è la latitudine, quanta la elevazione del polo. Del luogo dunque del quale vogliamo ritrovare la latitudine prendasi col quadrante l'elevazione del polo, che tanta sarà la distanza dal zenitte all'equinoziale. Ma per pigliare la longitudine è necessario avere qualche osservazione d'alcuna eclisse e massime lunare, fatta nel luogo del quale cerchiamo la longitudine, e nell'Isole Canarie; per chè da tale osservazione verremo in cognizione della distanza del meridiano del luogo dal primo meridiano, il che acciò meglio s'intenda, con esempio faremo manifesto. Si cerca la longitudine di Venezia; occorse questa sera l'eclisse della Luna, la quale osservata in Venezia, comincia dieci ore dopo mezzo giorno: si osserva la medesima oscurazione nell'Isole Fortunate, ed abbiamo dalle relazioni fattecì, che il suo principio fu otto ore dopo mezzo giorno: adunque il Sole arriva al nostro meridiano due ore avanti che al meridiano dell'Isole Fortunate; dal che è manifesto tali due meridiani esser fra loro distanti, quanto importa il moto di due ore. Ma perchè in 24 ore passa tutto l'equinoziale, dunque in due ore ne passeranno trenta gradi; e però nel tempo che il Sole andò da questo all'altro meridiano passeranno 30 gradi di equinoziale; tanta dunque è la longitudine di Venezia".

Siamo ancora in piena era tolemaica [162]. Ma nel 1610 Galileo pubblica il "*Sidereus nuncius*" descrivendo il moto attorno a Giove dei Pianeti Medicei, i quattro satelliti di Giove che oggi sappiamo essere Io, Europa, Callisto e Ganimede [163]. Galileo ha una immediata intuizione delle potenzialità non solo teoriche, ma anche pratiche della sua scoperta, tanto che cerca quasi subito di utilizzare le eclissi di questi satelliti dietro al loro pianeta per determinare la longitudine. Per rendere la cosa fruibile anche ai naviganti, inventa il celatone [164].

condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo III, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1843., pp. 37-38.

<https://play.google.com/store/books/details?id=HszkNFtmY8kC>

[162] Nell'AVVERTIMENTO che precede il "*Trattato della sfera*" si trova scritto: "*Se alcuno dubitasse dell'Autore dal vedere esser qui seguita la dottrina Aristotelica e Tolemaica circa il sistema del Mondo, pensi che quando Galileo dettava questo Trattato, era molto giovine, ne avea per anche fatte le sue grandi scoperte celesti, nè tanto avanzate le sue profonde meditazioni in questo proposito, e che d'altronde quasi tutti i maestri, nello spiegare la Sfera ai giovani principianti, considerano tuttavia la Terra come posta nel centro ed immobile*".

[163] Io, Europa, Callisto e Ganimede sono quattro degli otto satelliti "regolari" di Giove. Ma vi sono altre (circa) 60 lune, annoverate tra i satelliti "irregolari", in quanto considerati più che altro degli asteroidi catturati dalla gravità del gigante gassoso.

[164] Consisteva in un elmetto metallico al quale, per mezzo di un'apposita visiera, era fissato un piccolo cannocchiale. La visiera, incernierata ai lati dell'elmetto, poteva essere regolata in modo da allineare l'asse del cannocchiale con l'occhio dell'osservatore. In questo modo, essendo la testa in grado di adeguare continuamente la mira ai repentini

Galileo offre alla Spagna ^[165], e all'Olanda ^[166], in quello che viene ricordato come "il negozio della longitudine", la sua scoperta e la sua invenzione, come risulta anche in questo frammento di una sua lettera del 1630 ^[167]:

"Sono molti anni, che io feci offerta alla Maestà Cattolica di una mia invenzione, per potere in ogni tempo e luogo ritrovar la Longitudine; negozio di grandissima importanza per l'esatta descrizione di tutte le provincie del mondo, delle carte nautiche, e per la navigazione stessa; onde in ogni secolo è stato ricercato, nè sinora da alcuno ritrovato. A tale mia offerta si sono attraversate molte difficoltà, le quali hanno lungo tempo ritardato l'esserle dato orecchio, e l'essere abbracciata conforme al merito della sua grandezza; di che (per quanto ho inteso) ne è stato principal cagione l'esser nei tempi passati state proposte molte invenzioni, le quali poi accettate, e venutosi alla esperienza e all'uso, sono riuscite vane e di niuna utilità. Onde Sua Maestà già molte e molte volte defraudata, si è trovata in fine aver fatti inutilmente dispendi di grosse somme di denari, per lo che si era presa deliberazione di andar per l'avvenire molto più riservati e circospetti. Questa determinazione, e la sicurezza che io ho del mio trovato, mi ha fatto prendere risoluzione di manifestare liberamente a Sua Maestà il principal fondamento di quello, sicuro che Essa sia per gradire la mia liberalità. Il negozio dunque procede nell'infrascritta maniera. Ritrovare la Longitudine non è altro che, stando noi in qualsivoglia parte del mare o della terra, sapere quanto noi siamo lontani verso ponente o levante da un meridiano ad arbitrio nostro prefisso per termine e principio, dal quale tal Longitudine si misura. Di ciò son venuti in cognizione sino a questa età tutti gli antichi e moderni geografi solamente per mezzo degli Ecclissi Lunari, secondo che da diverse parti della Terra sono stati osservati ad altre ed altre ore della notte; imperocchè, se, v. g., il medesimo ecclissi, che in Siviglia si vide dieci ore dopo mezzo giorno, nelle Terzeire si vide otto ore dopo il loro mezzo di, chiara cosa è che nelle Terzeire il Sole arrivò a quel meridiano due ore più tardi che al meridiano di Siviglia, e che in conseguenza dette Isole sono più occidentali trenta gradi. Ora se in ciascheduna notte accadessero ecclissi, e di essi si avessero calcolati e ridotti in tavole i tempi dell' apparire in un determinato luogo, non è dubbio alcuno che in ciascheduna notte potrebbero i marinari sapere in quanta longitudine si ritrovassero; ma perchè rarissimi sono gli Ecclissi, piccolissimo e quasi nullo resta l'uso loro per le navigazioni. Ma quello che fino alla nostra età è stato occulto, è toccato a me in sorte di scoprire e ritrovare, cioè come in Cielo in ciascheduna notte accaggiono accidenti osservabili per tutto il mondo, opportuni per la investigazione della longitudine, quanto si sieno gli Ecclissi Lunari, e molto più ancora. E questo si ha dai quattro Pianeti Medicei, li quali in cerchi diversi si raggirano continuamente intorno alla stella di Giove, li quali, o col congiugnersi due di loro insieme, o coll'unirsi coll'istesso Giove, o col separarsi da esso, o coll'eclissarsi cadendo nella sua ombra, ci danno in diverse ore di ciascheduna notte uno, due, tre, ed anco talvolta quattro e cinque punti mirabili per la cognizione che ricerchiamo, e tanto più esquisiti degli Ecclissi Lunari, quanto questi sono in certo modo momentanei, sicchè poi le Longitudini vengono sapute senza errore anco di una lega. Queste stelle sono state a tutti fin ora inosservabili ed invisibili: io coll'eccellente Telescopio da me ritrovato e fabbricato le ho scoperte, e per dodici anni continui osservate: ne ho con lunghe, e laboriose vigilie ritrovati i movimenti ed i periodi, e fabbricatone le tavole, colle quali posso in ogni tempo futuro calcolare le loro congiunzioni,

movimenti della nave, il pianeta sarebbe stato costantemente inquadrato nel campo del cannocchiale. Successivamente Galileo concepì una diversa soluzione. Egli immaginò un recipiente di forma emisferica, dentro al quale si disponeva il marinaio addetto all'osservazione. Questo contenitore galleggiava sull'olio contenuto in una vasca, anch'essa di forma emisferica e di diametro di poco più grande in modo da minimizzare la quantità di olio occorrente. Il bagno d'olio, come una sospensione cardanica, avrebbe neutralizzato le oscillazioni della nave mantenendo stabile la posizione dell'osservatore.

<https://catalogo.museogalileo.it/approfondimento/Celatone.html>

[165] Galileo Galilei. *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo VI, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1847, p. XIV.

https://play.google.com/store/books/details?id=0_8FAAAAQAAJ

[166] *ibidem*, p. XVI.

[167] Galileo Galilei. *Lettere di Galileo*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo V, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1846, pp. 343-346.

<https://play.google.com/store/books/details?id=Rv3Pb7orJcUC>

ecclesi, e gli altri accidenti soprannominati, mediante i quali ogni notte, ed in ogni parte della terra e del mare, posso puntualmente sapere la mia longitudine, ogni notte, dico, che si veda la stella di Giove, il che accade per tutto l'anno, eccetto quei giorni che ella sta sotto i raggi del Sole. L'impresa è grandissima, e tale che forse poche ne sono state che avanzino questa in nobiltà; perchè ella si appoggia e fonda sopra tre grandissime maraviglie, le quali mi è bisognato investigare. La prima è stata il ritrovare uno strumento, col quale si moltiplichino la vista quaranta e cinquanta volte sopra la facoltà naturale. La seconda, ritrovare in Cielo un nuovo mondo con quattro nuovi pianeti, che intorno ad esso si vanno rigirando. Terzo, ritrovare i tempi delle conversioni di tutti quattro, sicchè per essi io possa esattamente calcolare i loro accidenti. Ecco brevemente accennato il mio progresso ben degno della Maestà Cattolica, per la cui grandezza si ritrovano nuove parti di questo basso mondo, e nuovi mondi interi si scuoprono in cielo".

CALCULI ET EPHEMERIDES AN. 1618

327

Novembris die 16, h. 5 a mer.

Dies a Radice 77.

198. 10	250. 2	276. 0	63. 47
343. 57	349. 0	351. 37	149. 31
42. 23	21. 5	10. 28	4. 29
166. 12	317. 13	121. 44	239. 35
11. 16	11. 16	11. 16	11. 16
761. 58	948. 36	771. 5	468. 38
720.	720.	720.	360.
41. 58	228. 36	51. 5	108. 38

④ 23.15 ③ 10.56 ① 3.56 ② 6.35

Die 17, h. 5 a mer.

245. 22 330. 1 101. 18 131. 7

④ 18.40 ③ 13.45 ② 4.15 ① 5.15

Respondit ad unguem.

Die 18, h. 5 a mer.

88. 46 71. 18 151. 31 152. 36

④ 11.25 ② 8.15 ③ 6.40 ① 5.45

③ accedens ad conjunctionem ①, non tamen perfecte eam assecutus fuit: ex quo colligitur rationem orbium ipsorum esse quam proxime veram.

Die 19, h. 5 a mer.

292. 10 172. 35 201. 44 174. 5

④ 2.30 ③ 1.5 ② 5.12 ① 5.22

Die 20, h. 5 a mer.

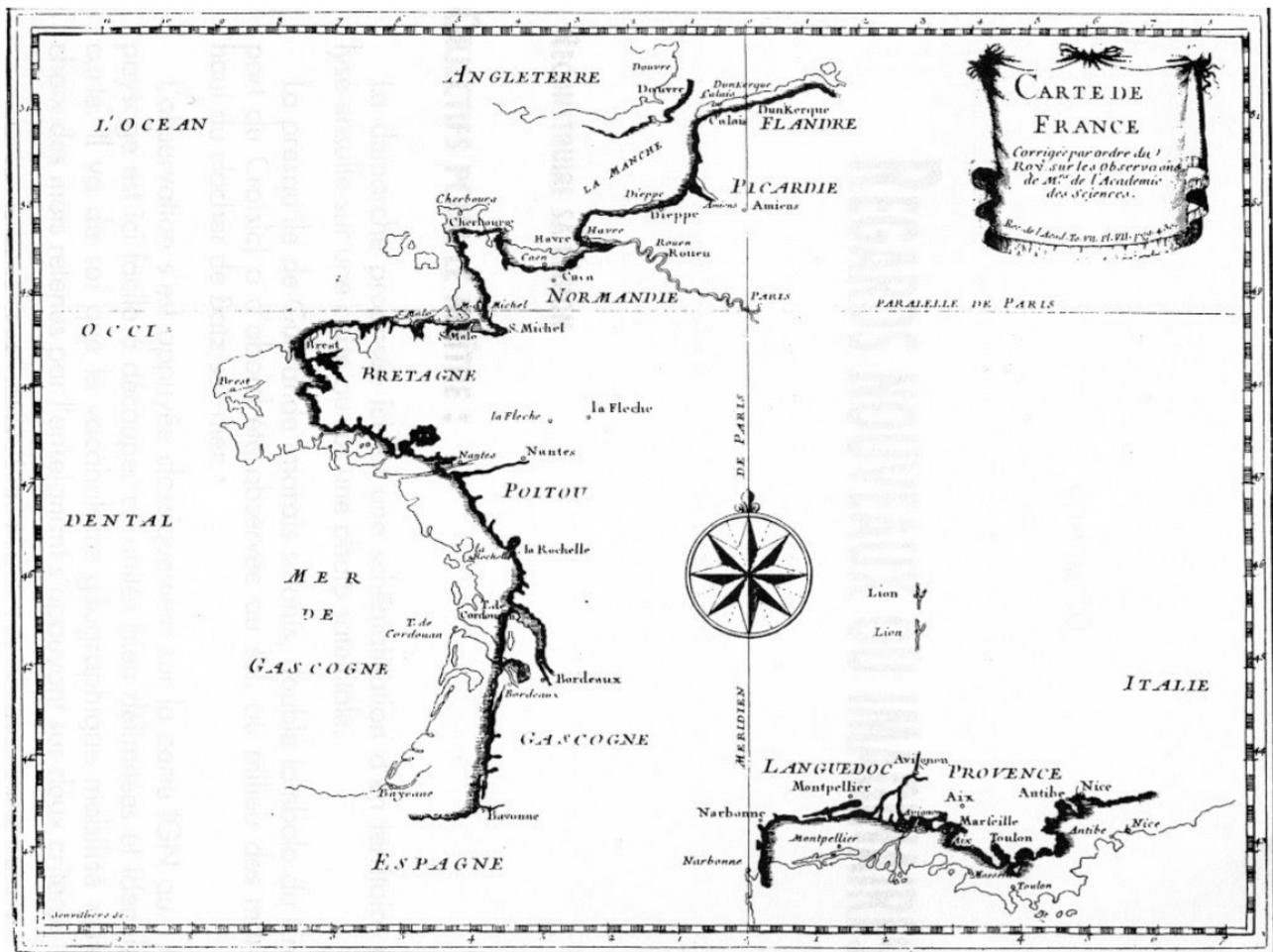
135. 24 273. 41 251. 51 195. 22

① 4.5 ② 6.30 ③ 8.43 ④ 13.17

Hora 8.8, ④ et ② conjuncti fuerunt, et ① distabat 2.8. Hinc ① bene respondet, sed ④ promovendus videtur 1.34.

Questo è un esempio delle tavole delle effemeridi dei satelliti di Giove calcolate da Galileo per l'anno 1618 [168]:Questo è un esempio delle tavole delle effemeridi dei satelliti di Giove calcolate da Galileo per l'anno 1618 [169].

Nonostante gli sforzi di Galileo e di molti altri astronomi, le tavole che prevedevano le posizioni dei satelliti di Giove non erano sufficientemente precise. Il perfezionamento del metodo basato sull'osservazione dei satelliti di Giove è merito di Giovanni Domenico Cassin [170], che pubblicò effemeridi accurate, tanto che a partire dalla fine del '600 il **metodo dei satelliti di Giove** viene usato correntemente per calcolare le longitudini necessarie per la realizzazione delle carte geografiche. Nel 1682 viene presentata all'Accademia di Francia una nuova carta della Francia, ottenuta con misure di longitudine più accurate, basate sul metodo dei satelliti di Giove. La carta, che verrà incisa e pubblicata nel 1693, rimpicciolisce il reame di 6271 leghe quadrate (con la lega equivalente a 4,45 km, una lega quadrata equivale a 19,8 km²). Quindi di 6271 x 19,8 = 121.756 km², che equivalgono a circa il 5% del territorio.



[168] Galileo Galilei. *Calculi et ephemerides*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo V, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1846, p. 327.

<https://play.google.com/store/books/details?id=Rv3Pb7orJcUC>

[169] Galileo Galilei. *Calculi et ephemerides*. In: *Le opere di Galileo Galilei*. Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti Palatini e dedicata a S.A.I. e R. Leopoldo II Granduca di Toscana. Tomo V, Firenze, Società Editrice Fiorentina, 1846, p. 327.

<https://play.google.com/store/books/details?id=Rv3Pb7orJcUC>

[170] Giovanni Domenico Cassini (Perinaldo, 8 giugno 1625 - Parigi, 14 settembre 1712).

La leggenda vuole che il Re Luigi XIV, nel vedere questa nuova carta, che correggeva i confini occidentali del regno, si sia lamentato dicendo di aver perso più terre per causa degli astronomi che non per causa dei suoi nemici. Il metodo delle eclissi dei satelliti di Giove resta il sistema principale per la misura delle longitudini a terra fino alla fine del '700, ma non avrà mai successo in mare, a causa dell'oggettiva difficoltà di misurare le posizioni dei satelliti di Giove da una nave in movimento.

Per un breve periodo, la scoperta del magnetismo terrestre sembrò aprire una nuova strada per la misura della longitudine, basata sulla misura dell'angolo (declinazione magnetica) formato dalla direzione indicata dall'ago della bussola (polo nord magnetico) con quella segnalata dalla stella polare (polo nord geografico). Abbiamo già visto l'idea di utilizzare la deviazione dell'ago della bussola per misurare la longitudine che Antonio Pigafetta aveva presentato nel suo "*Trattato di navigazione*". Halley si era interessato al problema del magnetismo terrestre e della declinazione magnetica ^[171]. Tra il 1698 e il 1701 gli venne affidato dall'Ammiragliato il comando di una nave, la "*Paramore*", con l'incarico di effettuare una campagna di rilievi della declinazione magnetica. Al suo ritorno Halley preparò, sulla base dei rilievi effettuati, le prime mappe con tracciate le linee isogoniche, le linee cioè che congiungono tutti i punti della superficie terrestre che hanno uguale declinazione magnetica ^[172]. Ma nonostante questo la determinazione della longitudine mediante la **declinazione magnetica** non trovò applicazione in quanto fu Halley stesso a concludere che il metodo non era sufficientemente affidabile.

[171] Angus Armitage. *Edmond Halley*. Thomas Nelson (Australia) Ltd, 1966, pp. 68-75.

[172] *ibidem*, pp. 138-148.

E continua la Sobel [176]:

"Nel 1660 Huygens aveva già realizzato, in base ai suoi principi, non uno ma due strumenti per calcolare il tempo in mare. Nell'arco di parecchi anni li sottopose accuratamente a varie prove, affidandoli a capitani disposti a collaborare. Al terzo esperimento, nel 1664, gli orologi di Huygens salparono la volta delle isole di Capo Verde, nell'Atlantico al largo della costa africana, e servirono a formulare un calcolo preciso della longitudine del viaggio di andata e di ritorno.

Divenuto ormai un autorità nel campo, nel 1665 Huygens pubblicò un altro libro con le sue "direttive per l'uso dei misuratori del tempo in mare". Ma i successivi viaggi misero in luce alcuni capricci di questi apparecchi. Perché funzionassero con precisione pareva che il tempo dovesse essere sempre bello. L'inclinazione della nave sulle onde durante una tempesta comprometteva la normale oscillazione del pendolo.

Per superare il problema e fissare il ritmo dell'orologio, Huygens inventò la spirale del bilanciante come alternativa al pendolo, e nel 1675 la fece brevettare in Francia ... [ma] nel meccanismo della spirale del bilanciante, Hooke [177] venne a scontrarsi con Huygens, dichiarando che l'olandese gli aveva rubato l'idea.

Il conflitto fra Hooke e Huygens sul diritto di ottenere il brevetto inglese per la molla a spirale turbò più di una riunione della Royal Society, finché dell'argomento si smise di parlare senza aver dato ragione a nessuno dei due contendenti.

La controversia non ebbe né vincitori né vinti, perché di fatto nessuno dei due geniali scienziati riuscì a produrre un efficace misuratore del tempo uso nautico. La loro sconfitta minava la speranza di poter mai risolvere per mezzo dell'orologio il problema della longitudine.

E gli altri astronomi, accanitamente intenti ad ammassare dati su dati per poter utilizzare il metodo delle distanze lunari, accolsero con entusiasmo l'idea di lasciar perdere il metodo della misurazione del tempo. A loro avviso, la risposta sarebbe venuta dai cieli, dalla grande macchina dell'universo, non da una comune pendola".

Nella notte del 22 ottobre del 1707, a causa di un errore nel calcolo della longitudine, quattro navi da guerra della flotta inglese comandate dall'ammiraglio Sir Cloudisley Shovell, che da giorni navigavano in una fitta nebbia, fecero naufragio alle isole Scilly, e ben duemila uomini persero la vita. Questo ennesimo incidente contribuì a rafforzare il movimento di opinione pubblica, fortemente sostenuto dai mercanti e dagli uomini di mare, che portò alla approvazione del "Longitude Act" [178].

Il Longitude Act era la legge che riassumeva pragmaticamente le conclusioni di una commissione consultiva di cui avevano fatto parte anche Newton (allora settanduenne) e Halley. Questa aveva analizzato il problema, ma non si era sbilanciata su alcuna delle possibili soluzioni esaminate. La raccomandazione della commissione fu semplicemente che si trovasse il modo di incentivare la proposta di soluzioni, senza un vincolo specifico sui metodi da impiegare. E i premi stanziati invogliavano davvero molto [179]:

"... emesso l'8 luglio 1714 durante il regno della regina Anna, stanziava tre premi così destinati:

- 20.000 sterline [equivalenti a milioni di euro] a chi avesse lavorato un metodo per calcolare la longitudine con un'approssimazione di mezzo grado;

- 15.000 sterline per un metodo con uno scarto di due terzi di grado;

- 10.000 sterline per un metodo che la calcolasse con l'approssimazione di un grado.

Poiché un grado di longitudine significa sessanta miglia nautiche (cioè circa centodieci chilometri), sulla superficie del globo all'Equatore, anche una frazione di grado si traduce in una ampia distanza e di conseguenza di un margine di errore notevole quando si tratta di determinare la posizione di una nave in

[176] Dava Sobel. *Longitude*, pp. 36-37.

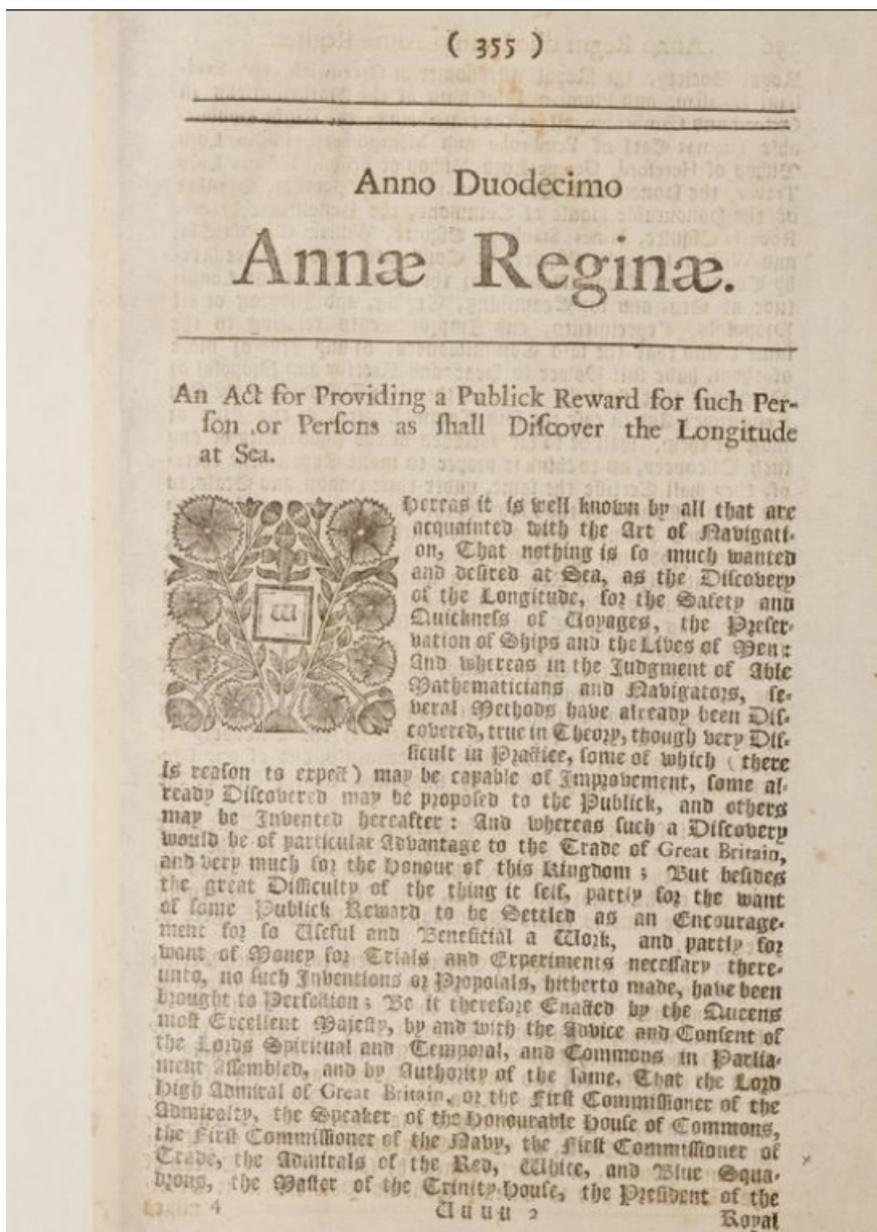
[177] Robert Hooke (Freshwater, isola di Wight, 1635 - Londra 1703). Pubblicò tra le altre cose " *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses*", un vero capolavoro dell'osservazione microscopica. Per indicare le strutture osservate in un pezzo di sughero coniò il termine " *cellula*", poi entrato nell'uso per indicare l'unità morfologica e fisiologica elementare di tutti gli organismi animali e vegetali.

[178] University of Cambridge digital library. *Board of longitude. Papers of the Board of Longitude*.

<https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-RGO-00014-00001/19>

[179] Dava Sobel. *Longitude*, pp. 48-49.

rapporto alla sua destinazione. Il fatto che il governo fosse disposto a versare le somme così ingenti per metodi "utili e praticabili" concedendo un margine di errore di molte miglia esprimeva in modo eloquente lo smarrimento di un'intera nazione per il deplorable stato della sua navigazione".



Il collegio di esperti che doveva assegnare i premi, appositamente istituito con il "Longitude Act," si trovò ben presto a dover valutare le proposte più strane [180]:

"Il Longitude Act istituiva un collegio di giudici di grandissimo prestigio, tutti insigniti dell'Ordine della Giarrettiera, che divenne noto come Commissione per la longitudine. Questo illustre consesso, composto da scienziati, ufficiali di marina, funzionari dello stato, era l'unico organismo demandato ad assegnare i premi, a propria discrezione. Membri di diritto della Commissione erano l'astronomo reale, il primo ammiraglio, il presidente della Camera dei Comuni, il primo commissario della Marina, e i professori di matematica a Oxford e a Cambridge titolari delle cattedre dette Savilian, Lucasian e Plumian. (Newton, professore a Cambridge, aveva occupato la cattedra Lucasian per trent'anni, e dal 1714 fu presidente della Royal Society.)

[180] Dava Sobel. *Longitude*, pp. 49-54.

La Commissione, stando al dettato legislativo, poteva assegnare premi di incentivazione per aiutare gli inventori poveri a formulare idee promettenti. Il potere di stringere o allargare cordoni della borsa conferito alla Commissione, la rende fosse il primo ente nella storia preposto alla ricerca e allo sviluppo scientifico. (Sebbene nessuno avesse potuto prevederlo al momento della sua istituzione, la Commissione restò in vita per più di un secolo. Nel 1828, quando fu sciolta, aveva speso più di 100.000 sterline.)

Per stabilire l'effettiva efficacia di ogni proposta, il metodo descritto sarebbe stato messo alla prova su una nave di Sua Maestà che doveva navigare "sull'oceano dalla Gran Bretagna a un porto qualsiasi delle Indie Occidentali, scelto dai membri della Commissione... senza perdere la longitudine oltre i limiti indicati".

Già prima che la legge entrasse in vigore, di presunte soluzioni al problema se ne potevano trovare a dozzine. Dopo il 1714, con l'aumento esponenziale del valore potenziale di ogni metodo, tali proposte proliferarono. La Commissione fu letteralmente assediata da gente, in buona in malafede, che, venuta a conoscenza del premio, voleva aggiudicarselo. Alcuni ambiziosi contendenti si eccitarono talmente alla prospettiva dei quattrini che non si soffermarono neppure per un attimo a considerare il regolamento della gara. E la Commissione si trovò a esaminare progetti per migliorare il timone della nave, per rendere potabile l'acqua in alto mare, per perfezionare vele speciali da usare nelle tempeste. Nel corso della sua lunga storia la Commissione subissata da progetti di macchine a moto perpetuo, dopo proste per quadrare il cerchio, e metodi per arrivare al valore preciso di pi greco.

Sulla scia di questa, legge il concetto di "calcolo della longitudine" divenne sinonimo di impresa impossibile. La longitudine era tema di conversazione comune - e anche oggetto di battute - fino a entrare nella letteratura dell'epoca. Nei viaggi di Gulliver, per esempio, quando al buon capitano Lemuel Gulliver viene chiesto di mettersi nei panni di uno degli immortali struldbrugg, e gli pregusta la gioia di essere testimone del ritorno di varie comete, ti ridurre i grossi fiumi a rivi poco profondi e di arrivare alla "scoperta della longitudine, del moto perpetuo, del farmaco universale, e molte altre grandi invenzioni portate al massimo della perfezione".

Una parte del divertimento nell'applicarsi al problema della longitudine consisteva nel mettere in ridicolo gli altri partecipanti alla gara. Un libellista che si fermava "R.B." diceva di Whiston ^[181], che aveva proposto il metodo delle palle di cannone: "Se ha una cosa che si chiama cervello, fa davvero acqua".

Sicuramente a liquidare i concorrenti nel modo più acuto e conciso fu la pena di Jeremy Thacker di Beverly, Inghilterra. Avendo sentito parlare delle assurde proposte di trovare la longitudine tramite il fragore dei cannoni, gli aghi della bussola scaldati dal fuoco, il moto della luna, l'altezza del sole e chissà che altro, Thacker sviluppò nuovo orologio sottovuoto dichiarandolo il migliore di tutti: "In breve sono soddisfatto se chi mi legge cominciare a pensare che i fonometri, i pirometri, i selenometri, gli eliometri e tutti gli altri "metri" non sono degni di essere paragonati al mio cronometro".

Questo arguto neologismo di Thacker costituisce la prima comparsa della parola "cronometro". L'espressione da lui cognata nel 1714, probabilmente per scherzo, finì con l'essere accettata come la perfetta denominazione del misuratore di tempo in mare. Ancora oggi lo strumento si chiama il cronometro. Ma il cronometro di Thacker non era all'altezza del suo nome. Va detto a suo merito che l'orologio vantava due importanti progressi. Uno era la campana di vetro, una calotta sotto vuoto che proteggeva il cronometro dalle variazioni di pressione atmosferica e umidità che avrebbero potuto comprometterne il funzionamento. L'altro consisteva in una serie di aste di caricamento ingegnosamente appaiate, sistemate in modo che il congegno continuasse a funzionare mentre veniva caricato. Fino a quando Thacker non introdusse la sua "capacità di mantenimento", gli orologi azionati a molla si fermavano e perdevano il conteggio del tempo durante la fase di carica. Thacker aveva anche avuto l'accortezza di mettere su sospensioni cardaniche l'intero meccanismo, come si faceva con le bussole, per venire che venisse sbalottato qua e là durante i fortunali.

Per l'orologio di Thacker tuttavia rimaneva impossibile adeguarsi alle variazioni di temperatura. Sebbene la calotta sottovuoto fosse un minimo di isolamento contro gli effetti del caldo e del freddo, era ben lungi dalla perfezione, e Thacker lo sapeva.

[181] William Whiston, Humphry Ditton. *A new method for discovering the Longitude both at Sea and Land, humbly proposed to the consideration of the publick.* London, 1715.

<https://play.google.com/store/books/details?id=wol5AAAAcAAJ>

La temperatura ambientale esercita una forte influenza sul funzionamento di tutti i congegni segnatempo. Con il calore le aste del pendolo si dilatavano e con il freddo si restringevano, e col variare della temperatura scandivano i secondi a ritmo diverso. Nello stesso modo la molla a spirale del bilanciere si allentava e indeboliva con il calore; si irrigidiva e irrobustiva con il freddo. Thacker aveva studiato a lungo il problema quando aveva cominciato a sperimentare il suo cronometro. La proposta che egli sottopose al giudizio della Commissione conteneva una serie di dati precisi sul ritmo del cronometro alle diverse temperature insieme a una scala con il margine di errore che ci si può poteva aspettare in corrispondenza di una data temperatura. Il navigante che avesse usato il cronometro doveva confrontare l'ora segnata sul quadrante dell'orologio con l'altezza della colonnina di mercurio nel termometro e fare gli opportuni calcoli. Ed è qui che il metodo mostrava le sue pecche: qualcuno doveva tenere continuamente d'occhio il cronometro, notando tutte le variazioni di temperatura e valutandole ai fini della lettura della longitudine. Thacker ammetteva che il suo cronometro, anche in circostanze ideali, di tanto in tanto sgarra va fino a sei secondi al giorno.

Sei secondi sembrano nulla a paragone dei 15 minuti che normalmente perdevano i primi orologi. Perché voler spaccare il capello in quattro?

Per via delle conseguenze - e dei soldi - che c'erano di mezzo.

Per dimostrare di meritare il premio di 20.000 sterline, un orologio doveva essere in grado di indicare la longitudine con uno scarto di mezzo grado. Il che voleva dire che non poteva andare avanti e indietro di più di tre secondi in ventiquattro ore. È l'aritmetica a fare i conti: mezzo grado di longitudine equivale a due minuti di un'ora, il massimo margine di errore tollerabile su una rotta di sei settimane dall'Inghilterra ai Caraibi. Un errore di soli tre secondi accumulato quotidianamente per quaranta giorni di navigazione portava a uno scarto di due minuti alla fine del viaggio.

L'opuscolo di Thacker, il migliore fra quelli esaminati dal collegio giudicante nel primo anno di attività, non dava grandi speranze. Restava molto da fare, e ben poco si era fatto nel frattempo.

L'impazienza di Newton cresceva. Era chiaro ormai che l'unica speranza di risolvere il problema stava nelle stelle. Il [metodo della distanza Terra-Luna] ^[182], proposto parecchie volte nel corso dei secoli precedenti, acquistava credibilità e consensi a mano a mano che la scienza astronomica migliorava. Grazie ai tentativi di Newton di formulare la legge della gravitazione universale, i moti della Luna erano più comprensibile e in certa misura più prevedibili. Ma il mondo era ancora in attesa che Flamsteed ^[183] completasse il suo rilevamento del cielo stellato. Flamsteed, fin troppo meticoloso, aveva trascorso quarant'anni e tracciare la mappa dei cieli, non aveva ancora pubblicati i dati raccolti. Li teneva, ben sigillati, a Greenwich. Newton e Halley riuscirono a mettere le mani su gran parte dei documenti di Flamsteed, e nel 1712 pubblicarono un'edizione pirata del suo catalogo delle stelle. Flamsteed si vendicò facendo incetta di trecento delle quattrocento copie stampate e bruciandole.

"Le diedi alle fiamme circa quindici giorni fa" scrisse Flamsteed al suo ex assistente, Abraham Sharp. "Non so se Sir I. N. se ne rende conto, ma io ho fatto una grande gentilezza sia a lui sia il dottor Halley." In altre parole i dati pubblicati, non sufficientemente provati come erano, potevano soltanto screditare la reputazione di un astronomo.

Malgrado la bandiera bianca issata sul prematuro catalogo delle stelle, Newton continuò a credere che sarebbero stati i moti regolari del grande universo meccanico a guidare le navi attraverso gli oceani. Un orologio costruito dall'uomo sarebbe stato senz'altro senz'altro un utile accessorio ai calcoli astronomici ma non avrebbe mai potuto sostituirli. Nel 1721, dopo 7 anni di servizio della Commissione, in una lettera a Josiah Burchett, segretario dell'Ammiragliato, così scrisse:

"Un buon orologio può essere utile per tenere l'orientamento in mare per qualche giorno e per conoscere l'ora di un osservazione celeste, e a tal fine può bastare un buon orologio montato su rubini, finché non se ne troverà uno migliore. Ma se in mare si perde la longitudine, non la si ritrova con nessuno orologio".

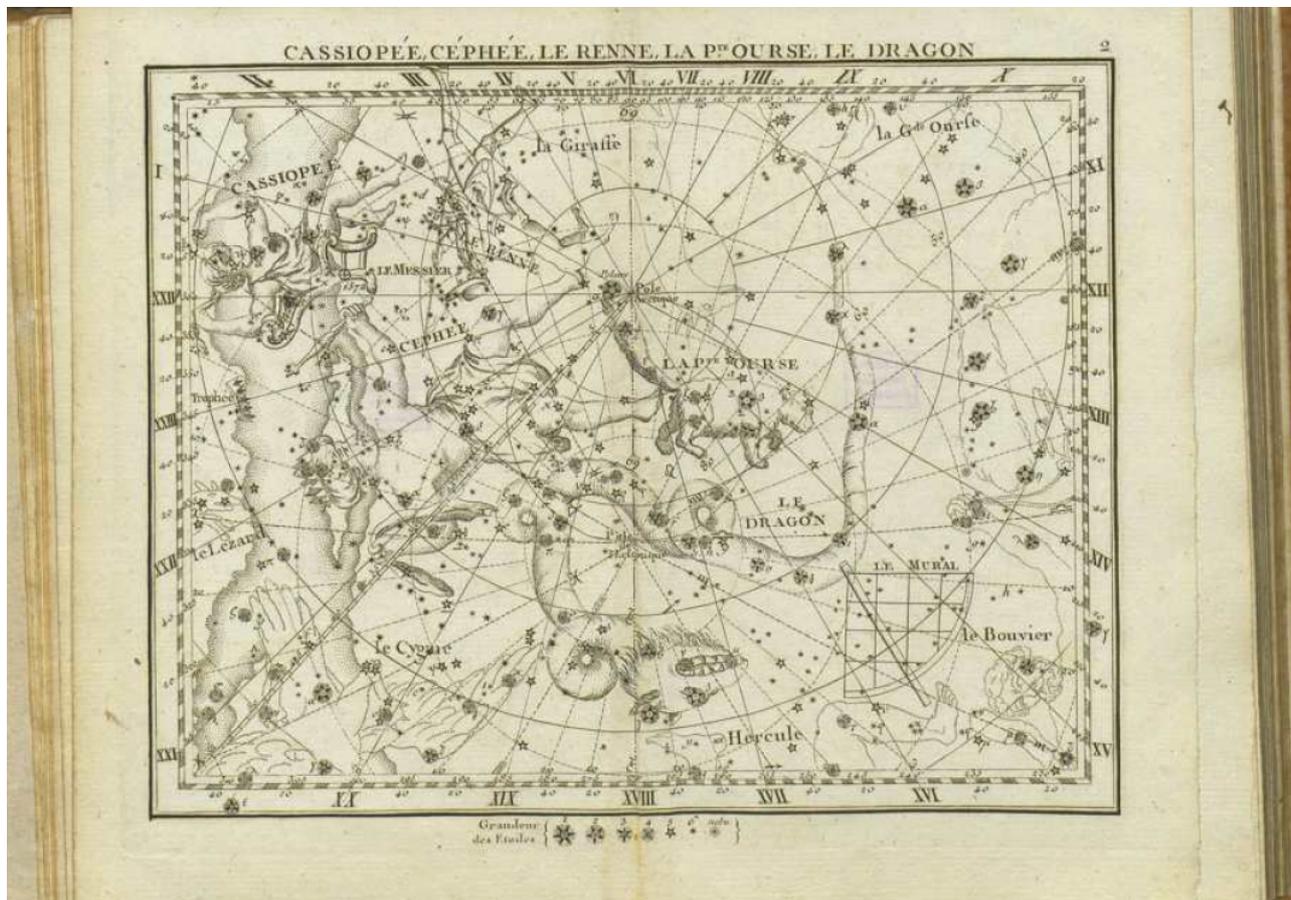
Newton morì nel 1727, e quindi non era presente quando, quattro decenni più tardi, il cospicuo premio finalmente fu assegnato al costruttore autodidatta di un orologio da tasca di proporzioni superiori al

[182] Nella parentesi quadra è inserito il testo originale presente nella mia edizione del libro della Sobel. Ma si tratta evidentemente di un refuso. Si deve infatti intendere, ovviamente, "metodo delle distanze lunari".

[183] John Flamsteed (Denby, 19 agosto 1646 - Greenwich, 12 gennaio 1719). Fu il primo "Astronomo reale" e nel 1675 posò la prima pietra dell'Osservatorio Reale di Greenwich.

normale".

La monumentale opera di Flamsteed, "*Historia Coelestis*", in tre volumi¹⁸⁴, venne completata dal suo assistente Joseph Crosthwait, coadiuvato da Abraham Sharp, e pubblicata postuma nel 1725. Il terzo volume include un catalogo con le posizioni di tremila stelle fisse riferite al 1689. Nel 1729 viene pubblicato postumo il catalogo delle stelle di Flamsteed, che verrà rieditato in una versione spettacolare nel 1776 da J. Fortin¹⁸⁵.



Escludendo le innumerevoli baggianate che la Commissione per la longitudine si trovò a giudicare, sono tre le strategie di attacco al problema della longitudine che risultano valide all'epoca:

- il metodo delle distanze lunari;
- il metodo dei satelliti di Giove;
- un orologio in grado di mantenere il tempo del meridiano di riferimento.

Tuttavia su una nave in movimento solo la prima e la terza risultarono applicabili. In particolare il metodo delle distanze lunari è concettualmente semplice, ma richiede che siano soddisfatte tre condizioni:

- 1) deve essere nota la posizione delle stelle sullo sfondo delle quali si muove la Luna;

[184] John Flamsteed. *Historia coelestis Britannica, complectens stellarum fixarum nec non planetarum omnium observationes sextante, micrometro, etc. peractas. Quibus subjuncta sunt planetarum loca ab iisdem observationibus deducta*, Londra, 1725. URL consultati il 07/10/2017:

Volume 1 <https://books.google.be/books?vid=GENT900000146522>

Volume 2 <https://books.google.be/books?vid=GENT900000146523>

Volume 3 <https://books.google.be/books?vid=GENT900000146524>

[185] John Flamsteed. *Atlas Céleste de Flamstéed* / publ. en 1776, par J. Fortin, ingénieur-mécanicien pour les globes & sphères. Deutsches Museum, München, 3000/1929 A 2932.

<https://astronomie-rara.ethbib.ethz.ch/demusmu/doi/10.5079/dmm-28>

- 2) si debbono poter costruire delle tabelle (effemeridi) che prevedano il moto della Luna in cielo, con la stessa precisione;
- 3) devono esistere e devono essere facilmente utilizzabili in mare gli strumenti di misura.

Il punto (1) appare oramai a portata di mano con la pubblicazione della "*Historia coelestis Britannica*" di Flamsteed nel 1725 ^[186].

Il problema del punto (3), quello degli strumenti di misura, è superato nel 1731 quando compare il quadrante di Hadely o ottante (che rapidamente evolve nel sestante) che consente, oltre che la misura della latitudine, anche la misura in generale della distanza tra due astri.

Il problema del punto (2) è superato finalmente a metà del secolo quando Johann Tobias Mayer¹⁸⁷, astronomo di Gottinga, pubblica nel 1753 un insieme di tavole da cui si può ricavare la posizione della Luna con un margine di errore inferiore a 2' e generalmente pari a 1' 15". Queste tavole, riviste da Mayer e sottoposte ad approfondite verifiche da parte della Commissione per la longitudine ^[188], diventano la base per il "*Nautical almanac and astronomical ephemeris*", che inizia nel 1766 la pubblicazione annuale con il volume per l'anno 1767, sotto la direzione di Nevil Maskelyne, quinto astronomo reale ^[189].

Ma nel frattempo la possibilità di realizzare un orologio in grado di mantenere con un grado di accuratezza adeguato il tempo del meridiano di riferimento si sta facendo concreta, e diventa un temibile concorrente del metodo delle distanze lunari, con un orologiaio autodidatta di nome John Harrison ^[190]:

"Quando nell'estate del 1730, John Harrison arrivò a Londra, gli si presentò il problema di trovare la Commissione per la longitudine: sebbene questa augusta istituzione esistesse da più di 15 anni, non aveva una sede ufficiale. In effetti la Commissione non si era mai riunita.

Le proposte avanzate fino a quel momento si erano rivelate talmente insignificanti e mediocri che i singoli membri, senza consultarsi con gli altri, avevano inviato lettere di rifiuto ai fiduciosi inventori. Non una delle soluzioni suggerite era stata abbastanza promettente da incuriosire uno dei cinque commissari - il numero minimo richiesto dal Longitude Act per costituire un collegio di valutazione - sicché non era mai capitato che i membri si fossero presa la briga di riunirsi per una seria discussione sui meriti di un dato metodo-

Ma Harrison, che conosceva il nome di uno dei più famosi componenti della Commissione. il grande dottor Edmond Halley, andò dritto dritto a cercarlo al Royal Observatory di Greenwich

Halley era substrato ha John Flamsteed nella carica di astronomo reale nel 1720, dopo la morte di questi. Il puritano Flamsteed aveva buoni motivi per rivoltarsi nella tomba a quella nomina, dopo che in vita aveva denunciato Halley di bere cognac e di bestemmiare come un turco. E naturalmente non aveva mai perdonato né a lui né al suo complice Newton di aver stampato un'edizione pirata del suo catalogo delle stelle e di averlo pubblicato contro la sua volontà.

Benvoluto dai più, alla mano con i suoi sottoposti, Halley dirigeva l'osservatorio con ironica bonarietà, e accrebbe in modo straordinario il prestigio dell'Istituto con le sue osservazioni sulla Luna e la scoperta del moto proprio delle stelle ... Halley ricevette Harrison con cortesia, considero attentamente l'idea di un orologio marino, rimase colpito dai disegni e lo disse. Sapeva Però che la Commissione avrebbe accolto a denti stretti una risposta meccanica a un problema che si considerava astronomico. La commissione - si ricorderà - annoverava astronomi, matematici e navigatori. Halley stesso stesso passava buona parte dei suoi giorni e delle sue notti calcolando il moto della Luna allo scopo di trovare la longitudine affinando il metodo basato sulla distanza lunare. Ma era uomo di larghe vedute.

Invece di mandare Harrison allo sbaraglio nella gabbia dei leoni, Halley lo indirizzò il famoso orologiaio

[186] Vedi A3 - *Historia coelestis Britannica*.

[187] Tobias Mayer (Marbach am Neckar, 17 febbraio 1723 - Gottinga, 20 febbraio 1762).

[188] Per tale risultato la vedova di Mayer ricevette un premio di 3.000 sterline. Contemporaneamente nel 1765 a John Harrison venne assegnato un premio di 10.000 sterline (la metà del primo premio stabilito del Longitude act) per il suo cronometro marino che, dopo essere stato trasformato dagli orologiai in uno strumento affidabile e dai costi accessibili, diventerà lo strumento preferito dai marinai per determinare la longitudine.

[189] Nevil Maskelyne (Londra, 6 ottobre 1732 - Greenwich, 9 febbraio 1811), il quinto astronomo reale dal 1765 al 1811. Come si deduce dalle vicende descritte nel libro della Sobel, ebbe in odio John Harrison.

[190] John Harrison (Foulby, 24 marzo 1693 - Londra, 24 marzo 1776).

George Graham. Il "probo" George Graham, come fui seguito chiamato, sarebbe stato l'uomo più adatto a giudicare l'orologio marino che Harrison proponeva di costruire: avrebbe perlomeno compreso le sottigliezze del progetto.

Harrison temeva che Graham gli rubasse l'idea, tuttavia seguì il consiglio di Halley. Che altro poteva fare?

Al termine di una lunga giornata passata insieme, Graham, che aveva circa 20 anni più di Harrison, ne divenne il mecenate e il paladino. Così Harrison descrisse il loro primo incontro nella sua inimitabile prosa: "Il signor Graham cominciò in un modo che mi parve assai burbero, al che anch'io anch'io rischiavo di diventare burbero, ma rompemmo il ghiaccio ... e invero alla fin fine si mostrò assai sorpreso delle idee o dei metodi che gli avevo illustrato".

Harrison andò da Graham alle dieci del mattino, e alla otto erano ancora lì a confabulare. Graham, il principale costruttore di strumenti scientifici dell'epoca e membro della Royal Society, invitò a cena Harrison, semplice falegname di provincia. Quando la fine si accomiatarono, Graham salutò Harrison, che se ne tornava a Barrow, dopo averlo incoraggiato in ogni modo, compresa la concessione di un prestito generoso da restituirsì senza fretta e senza interessi.

Harrison trascorse i successivi cinque anni a montare pezzo dopo pezzo il primo orologio marino, che finì per chiamarsi il Numero 1 di Harrison - H-1 per brevità - perché costituì il primo di una serie di tentativi. Il fratello James l'aiutò, ma stranamente nessuno dei due firmò l'invenzione. Il sistema di ingranaggi si muoveva su ruote di legno, come nei precedenti manufatti. Ma nell'insieme non assomigliava nessun altro orologio che si fosse mai visto prima o che si sarebbe visto in seguito.

Costruito di lucentissimo ottone, con aste e bilancieri che sporgevano formando angoli bizzarri, aveva una base larga e altri aggetti che evocavano la sagoma di un qualche antico vascello mai esistito, un incrocio fra una garlea e un galeone una poppa ornata e allungata in avanti, due torreggianti alberi maestri senza vele, e remi di ottone a pomelli, azionati da schiere di rematori invisibili. Sembrava il modellino di una nave sgusciata fuori dalla sua bottiglia, galleggiante sul mare del tempo.

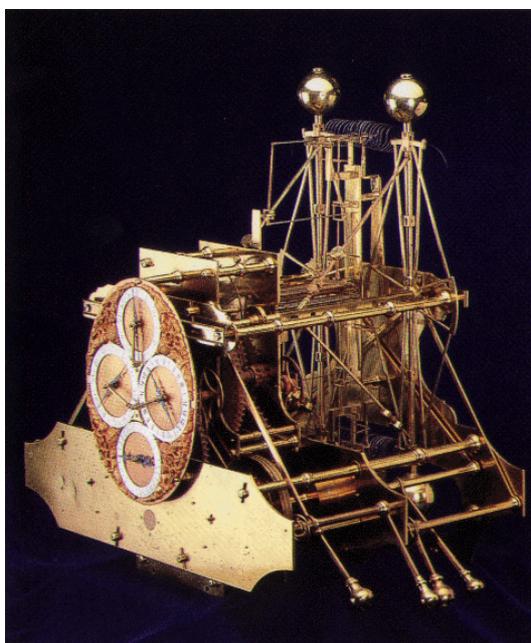
I quadranti numerati sulla superficie dell'H-1 uno sono tutti ovviamente predisposti all'indicazione del tempo: uno segna le ore, un altro conta i minuti, un terzo scandisce i secondi, e l'ultimo numera i giorni del mese.

... I due fratelli Harrison sistemarono l'H-1 ^[191], pesante circa trentaquattro chili, in un cubo di vetro smerigliato di un metro e trenta centimetri circa di lato. Forse la teca nascondeva il meccanismo rotatorio del congegno segnatempo; forse dall'esterno si vedeva soltanto il quadrante con i suoi quattro riquadri circondati da otto cherubini e quattro corone in un groviglio di corde attorcigliate o in un intreccio di rami spogli. La teca, però, come anche le calotte dei precedenti orologi di Harrison, è andata perduta, sì che il meccanismo è visibile. L'H-1 vive in una campana di vetro a prova di proiettile al National Maritime Museum di Greenwich, dove arditamente continua a funzionare (con carica quotidiana) per la gioia dei visitatori, gloriosamente libero da ogni attrito.

... Fin dagli inizi della sua lunga vita, l'H-1 è stato un modello di contraddizioni. Apparteneva la sua epoca ma era in anticipo sui tempi, e quando fu proposto al mondo, ormai tutti erano annoiati dall'attesa. Sebbene adempisse lo scopo per il quale era stato costruito, eseguiva suo compito in modo così singolare da suscitare grande perplessità.

I fratelli Harrison sperimentarono l'H-1 su una chiatte lungo il fiume Humber. Nel 1735 John lo portò a Londra e lo consegnò, come promesso, a George Graham.

Assai compiaciuto Graham presentò lo straordinario orologio marino non alla Commissione per la



[191] Nell'immagine a fianco l'H-1. Da: "Il Cielo dei Navigatori", a cura di Fabrizio Mazzucconi, Piero Ranfagni.

https://divulgazione.uai.it/index.php/Il_cielo_dei_navigatori

longitudine ma alla Royal Society che lo accolse con grandi onori. D'accordo con il dottor Halley e altri tre membri della prestigiosa associazione, rimasti altrettanto affascinati, Graham così avallò l'H1 e il suo costruttore:

"John Harrison ha con molta fatica e spesa concepito e costruito una macchina per misurare il tempo in alto mare, basandosi su principi che ci sembra promettono un grado di precisione elevato e sufficiente. Siamo dell'opinione che meriti grandemente l'incoraggiamento pubblico perché possa mettere a prova e migliorare i diversi congegni che impediranno quelle irregolarità nel computo del tempo che per natura derivano dai diversi gradi di caldo e di freddo, dall'umidità e secchezza dell'aria. e del vario movimento della nave".

Malgrado questi encomi, l'Ammiragliato ciscischiò per un anno prima di avviare un esame formale dell'invenzione. Poi, invece di mandare l'H-1 nelle Indie Occidentali, come richiedeva il Longitude Act, gli Ammiragli ordinarono ad Harrison di portare il suo orologio a Spithead a bordo del Centurion, diretto a Lisbona. Il 14 maggio 1736 il primo lord dell'Ammiragliato, Sir Charles Wager, inviò la seguente lettera di presentazione al capitano Proctor, comandante del Centurion:

"Signore, lo strumento che avete a bordo della vostra ha ricevuto l'approvazione di tutti i matematici in città che l'hanno visto (e sono pochi quelli che non l'hanno visto) ed è stato ritenuto il migliore che ci sia mai stato fatto per misurare il tempo. Come funzionerà il mare sarete voi a giudicare; io ho scritto a Sir John Norris per esprimergli il desiderio che rimandi indietro lo strumento e il suo costruttore (che penso sia lì con voi) con la prima nave... Si dice da quelli che lo conoscono bene che sia uomo molto ingegnoso, sobrio e in grado di scoprire, se sarà incoraggiato, altre cose oltre a quelle che ha già scoperto, spero quindi che sia trattato con cortesia e che sarete con lui il più possibile generoso".

Il capitano Proctor rispose immediatamente:

"Lo strumento è collocato nella mia cabina affinché l'inventore abbia un viaggio per condurre le sue osservazioni. Mi sembra persona davvero assennate, industriosissima e anche assai modesta, perciò non posso che fargli i miei migliori auguri, ma la difficoltà di misura davvero il Tempo - misurazione contrastata da sussulti e movimenti irregolari - crea in me preoccupazione per questo uomo onesto e mi fa temere che gli abbia tentato l'impossibile; tuttavia, signore, gli farò tutto il bene e gli darò tutto l'aiuto che sta in me e lo renderò partecipe del vostro interesse circa la sua riuscita e della vostra sollecitudine a che sia ben trattato...".

... forti venti sospinsero il Centurion rapidamente a Lisbona in una settimana [ma] il buon capitano Proctor morì all'improvviso non appena la nave entrò nel porto, prima che avesse scritto un resoconto sul giornale di bordo. Soltanto quattro giorni più tardi Roger Wills, capitano della nave di sua maestà Oxford, ricevette l'ordine di riportare Harrison in Inghilterra.

Le condizioni atmosferiche descritte da Wills come "assai variabili con l'alternarsi di tempeste e calme", fecero sì che il viaggio durasse un mese. Quando alla fine si vide terra, Wills ritenne che ci si trattasse di Start, un promontorio ben noto sulla costa meridionale attorno a Dartmouth. Era lì che doveva trovarsi la nave secondo i suoi calcoli. Harrison, però, regolandosi sul suo orologio marino, obiettò che la terra avvistata era invece Lizard sulla penisola di Penzance, più di 60 miglia ad ovest di Start, Ed era così.

La collezione di Harrison fece grande impressione al capitano Wills. in seguito agli amici con dichiarazione giurata il proprio errore e riconobbe la precisione dell'orologio.

Wills consegnò tale attestazione datata 24 giugno 1737 ad Harrison: una specie di pacca sulla spalla, benevola e ufficiale. Fu l'inizio di una settimana trionfale per Harrison perché, il 30 dello stesso mese, la Commissione per la longitudine si riunì per la prima volta - ventitré anni dopo la sua istituzione: l'occasione era data dalla splendida macchina di Harrison.

Harrison si presentò con il suo H-1 davanti agli otto commissari riuniti in consesso per giudicare il suo lavoro. Fra loro riconobbe molte facce amiche. Oltre al dottor Halley, già suo sostenitore, vide Sir Charles Wager dell'Ammiragliato, che alla vigilia del viaggio di battesimo del congegno aveva scritto a Proctor la lettera in cui manifestava la sua preoccupazione e raccomandava che Harrison fosse trattato bene. E c'era l'ammiraglio Norris, capo della flotta Lisbona, che aveva comunicato ad Harrison l'ordine di ripartire. Appoggiavano Harrison anche i due accademici, il dottor Robert Smith, professore di astronomia a Cambridge, titolare della cattedra Plumian, e il dottor James Bradley, professore di astronomia a Oxford, titolare della cattedra Savilian, altrettanto prestigiosa: entrambi avevano firmato la lettera di avallo che

Graham aveva scritto per conto della Royal Society. Il dottor Smith, che fra l'altro condivideva l'interesse di Harrison per la musica, aveva anche lui le sue idee sulla scala musicale. E a completa la rappresentanza scientifica c'era Sir Hans Sloane, presidente della Royal Society. Gli altri due membri della Commissione, sconosciuti ad Harrison, erano Arthur Onslow, presidente della Camera dei Comuni, e lo Lord Monson, segretario dell'ente Lands and Plantations, che rappresentavano l'elemento politico della Commissione.

Harrison aveva tutto da guadagnare. Se ne stava lì con la sua celebrata invenzione, davanti a un gruppo di esperti e di politici, soddisfatti di quello che aveva fatto per il re e per la patria. Aveva tutto il diritto di esigere che la sua macchina venisse sperimentato sulla rotta delle Indie Occidentali, dimostrando così di meritare il premio di 20.000 sterline stanziato dalla legge. Ma era troppo perfezionista per azzardarsi a chiedere tanto.

Sottolineò, invece, i difetti dell'H-1. Fu l'unico in quella sala a criticare l'orologio marino, che nel viaggio dimostrativo a Lisbona e ritorno non aveva sgarrato più di qualche secondo in ventiquattro ore. Harrison disse che il congegno mostrava alcune imprecisioni che andavano eliminate; dichiarò che aveva bisogno di lavorare ancora un po' sul meccanismo e che sarebbe riuscito a costruire una versione molto più piccola. Se la Commissione avesse approvato uno stanziamento anticipato di fondi per continuare la ricerca, entro due anni lui avrebbe prodotto un altro orologio. Anzi, un orologio migliore. Allora sarebbe ritornato davanti alla Commissione chiedendo una sperimentazione ufficiale sulla rotta delle Indie Occidentali. Ma non in quel momento.

La Commissione diede la sua piena approvazione a un'offerta che non aveva motivo di rifiutare. Quanto alle 500 sterline che Harrison chiedeva come anticipo, metà della somma sarebbe stata versata subito. Harrison avrebbe potuto riscuotere l'altra metà una volta che avesse consegnato il prodotto finito al capitano di una nave della Royal Navy, pronto a un esperimento pratico. Allora, stando all'accordo riportato nel verbale della seduta, Harrison avrebbe portato il nuovo orologio di persona fino alle Indie Occidentali, oppure avrebbe nominato "una persona adatta" al proprio posto. (Forse i commissari, avuta notizia del suo mal di mare, già ne tenevano il debito conto).

Un'ultima clausola perfezionava d'accordo. Una volta che il secondo orologio fosse tornato dall'esperimento, Harrison lo avrebbe ceduto, insieme all'H-1, "a beneficio del pubblico".

Un uomo d'affari più scaltro probabilmente si sarebbe tirato indietro a questo punto. Harrison avrebbe potuto obiettare che se la Commissione poteva reclamare la seconda macchina, in forza del finanziamento concesso, non aveva però nessun diritto ad avere la prima, da lui costruita proprio spese. Ma preferì non cavillare sulla questione dei diritti: era convinto che l'interesse della Commissione a rivendicare la proprietà fosse un incentivo, e ne dedusse di essere al suo servizio, non diversamente da un artista che riceve l'incarico di creare una grande opera per la corona. Pensava anche che sarebbe stato regalmente ricompensato.

Harrison espose e questa sua convinzione a chiare lettere, anzi con un pizzico di pomposità, sulla superficie del secondo orologio, non appena l'ebbe completato. Sopra il quadrante disadorno e austero di H-2, su una targa d'argento in mezzo a ghirigori e arzigogoli, si legge la seguente iscrizione: "Fatto per Sua Maestà Giorgio II, su ordine della Commissione riunita al 30 giugno 1737".

Se mai nutrì illusioni di grandezza sull'H-2, Harrison le liquidò in breve tempo. Prima ancora di presentarlo al collegio giudicante nel gennaio del 1741, egli ne era già insoddisfatto. Davanti ai commissari ripeté la scena della volta precedente: tutto ciò che voleva, disse, era che gli concedessero di tornare a casa e riprovare. Il risultato fu che l'H-2 non salì mai su una nave.

Il secondo orologio, un aggeggio di ottone pesante quasi trentanove chilogrammi (sebbene stesso in un contenitore più piccolo, come promesso), era straordinario quanto il primo in ogni sua parte. Racchiudeva parecchie migliorie - fra queste un meccanismo che garantiva una trasmissione uniforme del movimento e uno strumento più sensibile per la compensazione della temperatura - ciascuna delle quali rappresentava una piccola rivoluzione di precisione. L'intera macchina, a sua volta, superò trionfalmente varie prove rigorose. Il rapporto redatto dalla Royal Society fa il 1741 e il 1742 annovera tra le prove cui l'H-2 era stato sottoposto quelle di raffreddamento, di scuotimento "per molte ore con maggior violenza di quella che avrebbe subito su una nave durante una tempesta".

L'H-2 non soltanto superò queste prove ma si conquistò il pieno appoggio della Royal Society:

"E il risultato di questi esperimenti è il seguente: che (per quanto lo si può accertare senza fare un viaggio per mare) il movimento è sufficientemente regolare ed esatto per calcolare la longitudine di una nave entro

i limiti massimi proposti dal Parlamento e probabilmente con un'approssimazione ancora maggiore". Ma non bastava per Harrison. La stessa tenace determinazione che lo aveva portato a escogitare sottili innovazioni - seguendo le proprie linee di pensiero, incurante dell'opinione altrui - lo rendeva sordo al plauso. Che gli importava di ciò che pensava la Royal Society dell'H-2, se lui non ne era soddisfatto? Harrison, ora quarantottenne e residente a Londra, languiva nel suo laboratorio e di lui si parlò ben poco nei successivi vent'anni circa che egli dedicò al completamento di H-3, la "strana terza macchina" come la chiamava. Si faceva vivo di tanto in tanto per chiedere a riscuotere 500 sterline, mentre sgobbava per risolvere le difficoltà di trasformare i bilancieri a barra dei primi due orologi nelle ruote di compensazione circolari che migliorarono il terzo" [192].

Harrison aveva impiegato sette anni, dal 1728 al 1735, per realizzare l'H-1 (peso trentaquattro chilogrammi); aveva impiegato tre anni, dal 1737 al 1740 per realizzare l'H-2 (peso trentanove chilogrammi); e aveva impiegato 19 anni, dal 1740 al 1759, per realizzare l'H-3 (peso ventisette chilogrammi). Ma ecco il colpo di scena: "Tra il completamento e il collaudo dell'H-3, Harrison presentò orgogliosamente alla Commissione per la longitudine il suo capolavoro, l'H-4. Era l'estate del 1760 [193]".

Nell'estate del 1760 Harrison, che all'età di 37 anni aveva proposto la costruzione dell'H-1 a Halley, ha oramai 67 anni: ma è in dirittura d'arrivo. Ha ben due soluzioni da mettere alla prova: l'H-3 e l'H-4. L'H-3 è una evoluzione dei precedenti H-1 e H-2. Invece l'H-4 [194] non ha niente a che vedere con questi: ha le fattezze di un orologio da tasca, anche se più ingombrante e più pesante del normale (pesa circa un chilogrammo e mezzo). E Harrison lo considera il suo capolavoro.



Ma nell'estate del 1760 anche Nevil Maskelyne, che nel 1765 diventerà il quinto astronomo reale, è in dirittura d'arrivo, con il metodo delle distanze lunari. E purtroppo per Harrison a Nevil Maskelyne viene affidata la valutazione delle prestazioni degli orologi di Harrison contestualmente alla verifica del suo metodo delle distanze lunari. Il palese conflitto di interessi di Maskelyne metterà a dura prova Harrison. Dopo una serie interminabile di vicissitudini, ben descritte nel libro di Dava Sobel, e la dimostrazione che con l'H-4 è possibile determinare la longitudine con una precisione migliore di quella richiesta dal Longitude Act, nell'autunno del 1765 Harrison riceve 10.000 sterline, la metà del primo premio che gli spetterebbe. Ma l'accanimento di Maskelyne nei suoi confronti non cessa, fino a quando nel 1772 William, il figlio di Harrison, scrive direttamente a re Giorgio III dei difficili rapporti con la Commissione per la longitudine e con l'osservatorio di Greenwich (leggi Maskelyne). In seguito all'intervento diretto del re l'anno successivo il Parlamento assegna ad Harrison, oramai ottantenne, 8.750 sterline, qualcosa meno delle 10.000 corrispondenti alla seconda metà del primo premio che gli spettava, ma **non riceve** formalmente il premio. Ovvio soluzione politica di compromesso, necessaria da un lato per risarcire Harrison per il trattamento cui è stato sottoposto, e dall'altro per non delegittimare Maskelyne che, oltre ad essere "astronomo reale", ha peraltro portato a compimento il metodo delle distanze lunari con la pubblicazione del "*Nautical almanac and astronomical ephemeris*", la cui pubblicazione continuerà fino al 1959 [sic!] [195].

[192] Dava Sobel. *Longitudine*, pp. 65-75.

[193] Dava Sobel. *Longitudine*, p. 99.

[194] Nell'immagine a fianco l'H-4. Da: "*Il Cielo dei Navigatori*", a cura di Fabrizio Mazzucconi, Piero Ranfagni. https://divulgazione.uai.it/index.php/Il_cielo_dei_navigatori

[195] Vedi A4 - *Nautical almanac and astronomical ephemeris*.

La conferma, ammesso che ce ne sia bisogno, dell'importanza strategica della conoscenza della longitudine, e quindi dei metodi per la sua determinazione, viene alla fine del '700 dalla Francia, con la creazione del "Bureau des longitudes". Come viene descritto nel sito ad esso dedicato, nella pagina che ne riassume sinteticamente la storia ^[196]:

"Dopo aver ascoltato una relazione letta da padre Gregorio ^[197], il Bureau des Longitudes è stato creato da una legge della Convenzione Nazionale il 7 Messidoro dell'anno III (25 giugno 1795).

Si trattava di riprendere "il controllo dei mari agli inglesi", grazie al miglioramento della determinazione della longitudine in mare. Incaricato della redazione della Conoscenza dei tempi e del perfezionamento delle tavole astronomiche, [il Bureau des Longitudes] aveva sotto la sua responsabilità l'Osservatorio di Parigi, l'Osservatorio della Scuola Militare e tutti gli strumenti di astronomia che appartenevano alla Nazione.

I dieci membri fondatori sono stati: Joseph-Louis Lagrange, Pierre-Simon Laplace, Jerome Lalande, Jean Baptiste Joseph Delambre, Pierre-François-André Méchain, Jean-Dominique Cassini, Louis-Antoine de Bougainville, Jean-Charles de Borda, Jean-Nicolas Buache e Noël-Simon Caroché.

Con il decreto del 30 gennaio 1854, il Bureau des Longitudes è stato incaricato di una missione più ampia, che lo ha condotto, oltre alla realizzazione delle effemeridi attraverso il suo "Servizio dei calcoli" creato nel 1802, a organizzare diverse grandi spedizioni scientifiche: misure geodetiche, osservazioni di eclissi solari, osservazioni del passaggio di Venere davanti al Sole, lavori che sono stati pubblicati negli Annali del Bureau des Longitudes, tra il 1877 e il 1949".

Siamo alla fine del '700 e come ci ricorda Peter Galison ^[198]:

"Gli sforzi per costruire orologi affidabili trasportabili continuarono per tutto il XIX e il XX secolo. A lungo gli astronomi si arrovellano per progettare un metodo preciso di usare il moto della Luna rispetto alle stelle fisse come una sorta di gigantesco orologio leggibile da qualunque parte. Tuttavia, determinare matematicamente la posizione della Luna era compito arduo; misurarla in mezzo a un campo o su una nave era assai difficile, eccetto che nei rari momenti in cui la Luna passava davanti a una stella o un Pianeta.

La misurazione più agognata dai topografi americani riguardava la differenza di longitudine tra il Nuovo e il Vecchio Mondo. I cartografi, però, non riuscivano a raggiungere un accordo. Uno dei tanti disperati tentativi cominciò nell'agosto 1849, con sette spedizioni transatlantiche in ogni direzione, ciascuna delle quali portava con sé dodici cronometri di precisione. La speranza era che questo carico temporale avrebbe alla fine mostrato la reale differenza d'ora, e dunque di longitudine, sussistente da una parte all'altra dell'Atlantico. Nel 1851, approfittando di cinque traversate da Liverpool e di due da Cambridge (Massachusetts), vennero caricati a bordo trentasette cronometri. Dopo aver spedito per mare novantatré orologi, gli astronomi ottimisticamente annunciarono di aver determinato la differenza d'ora da costa a costa con un margine di errore di un ventesimo di secondo.

La vantata precisione si rivelò ben presto illusoria. Nonostante gli addetti agli orologi fossero sulle navi sempre più attenti a proteggere il ticchettante carico, lo scarto misurato dagli Stati Uniti all'Inghilterra risultava diverso da quello misurato dall'Inghilterra agli Stati Uniti, il che era ovviamente assurdo ... I controlli, i calcoli e le interpolazioni non furono di molto aiuto. Il riempire le navi di supervisor, di migliori impianti di condizionamento della temperatura e di orologi di qualità superiore non fece che produrre nuovi dati in conflitto tra loro ...

Per secoli, i disegnatori di mappe avevano solo potuto sognare di essere in grado di inviare un segnale di simultaneità per fissare la longitudine. Il telegrafo risolse il problema.

Su distanze enormi, una corrente elettrica avrebbe fatto viaggiare un segnale attraverso i cavi a una velocità tale che la trasmissione e la ricezione sarebbero apparse praticamente istantanee. Nell'estate 1848 gli astronomi dell'osservatorio di Harvard e del Coast Survey misero alla prova questa nuova funzione del telegrafo. Una persona avrebbe premuto sul tasto, mentre dall'altro capo del filo un'altra avrebbe rilevato il segnale. Ciascuna battuta a distanza avrebbe lasciato un segno su una striscia di carta che scorreva nel

[196] Vedi Bureau des longitudes alla pagina Histoire.

<https://site.bdlg.fr/histoire>

[197] Vedi A5 - Fondation du Bureau des Longitudes.

[198] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*. Raffaello Cortina Editore, Milano, 2004, ISBN 88-7078.910.1.

dispositivo di stampa del ricevente. Una sera, uno dei cartografi, Sears Walker, si chiese ad alta voce se non sarebbe stato possibile osservare direttamente una stella passante per il Nord e trasmettere questa osservazione. Bond replicò: perché non far agire lo scappamento di un orologio come il tasto di un telegrafo in modo da poterne sentire i battiti in qualsiasi punto della linea telegrafica? E perché non far sì che il segnale inviato dall'orologio lasciasse un segno su un cilindro rotante situato lontano da quell'orologio? Esaminando la posizione dei segni lasciati da un orologio regolato sull'ora locale è quella dei segni lasciati da segnali inviati a ore sconosciute da un orologio distante, i topografi potevano confrontare accuratamente l'ora locale e quella distante ...

Alla fine del 1851 i cavi telegrafici si stendevano da Cambridge (Massachusetts) a Bangor (Maine); da qui il segnale temporale saltava, in una seconda trasmissione, da Bangor fino a Halifax (Nuova Scozia). Quando cominciarono a reclamizzare i loro trasmettitori elettrici del tempo, gli scienziati americani trovarono in Europa un pubblico preparato. Bond notava: "È una circostanza gratificante che in Inghilterra si conosca quest'invenzione e se ne parli come del "metodo americano" e che l'Astronomo Reale abbia predisposto i cavi a Greenwich per introdurla anche lì" [199].

"I topografi si volsero poi all'oceano. Lo fecero quasi per disperazione, poiché nonostante gli sforzi compiuti, la convergenza su una precisa differenza di longitudine tra Europa e Stati Uniti continuava a rivelarsi irritantemente elusiva. Ricontrollarono le combinazioni della Luna, ristudiarono i dati sull'occultamento di stelle e pianeti, analizzarono con pazienza i vecchi risultati cronometrici. Ma il riesame dei dati precedenti non era sufficiente: "Dai risultati, che di per sé sembrerebbero del tutto affidabili, emerge una discordanza di oltre quattro secondi; e quanto più recenti sono le stime, o più accuratamente sembrano fatte, tanto maggiore è lo scarto. Né si può dire che il Coast Survey abbia fatto economia di lavoro, impegno e fondi nelle sue spedizioni cronometriche, giacché la determinazione più accurata possibile della longitudine transatlantica era richiesta per legge". Inoltre, tra gli ultimi studi cronometrici e i migliori studi astronomici vi era un'imbarazzante e ineliminabile differenza di tre secondi e mezzo ...

Solo i cavi elettrici sottomarini permisero di uscire dall'impasse. A partire dall'agosto 1857, svariate missioni si erano avventurate per il Nord Atlantico allo scopo di costruire una linea telegrafica. I cavi si spezzavano di continuo; nel giugno 1858, la flotta salpò per l'ennesima volta da Plymouth (Inghilterra), con il suo pesante carico. Dopo appena tre giorni di navigazione in mare aperto, una tempesta si accanì sulle navi per 9 giorni di seguito. Una delle navi venne seriamente danneggiata (e per lo shock un marinaio perse il lume della ragione); ma ciò non arrestò il cablaggio. Il 6 agosto 1858, i primi segnali attraversarono finalmente il cavo. Ma poco dopo questo si ruppe, e lo scopo della guerra civile pose fine all'impresa. Nel luglio 1865, il *Great Eastern*, una nave gigantesca, cinque volte più grande di qualsiasi altra, salpò da Valencia Island (Irlanda sud-occidentale), con l'intento di tirare un cavo fino a Terranova. Ma dopo duecento miglia, sia il cavo sia il montacarichi della nave erano affondati. La missione era fallita. Nel 1866 ci provò un altro equipaggio, questa volta con l'obiettivo di stendere un cavo molto più perfezionato da Heart's Content (Terranova), un minuscolo villaggio di pescatori sul lato orientale della Trinity Bay, a novanta miglia circa da St. John, fino a Valencia. Ebbe successo. La comunicazione iniziò il 27 luglio 1866 ...

Una volta cablato l'Atlantico per stabilire la simultaneità, la mappa elettrica del mondo doveva estendersi sempre più velocemente ...

Nella primavera del 1873, su istigazione dei suoi superiori, il tenente della marina statunitense, il comandante e Francis Green, aveva cominciato a inviare segnali orari transoceanici per le mappe delle Indie Occidentali e dell'America Centrale. Solcando il mare sul battello a ruote *The Gettysburg*, l'equipe di Green riuscì a stabilire con precisione le longitudine di Panama, Cuba, Giamaica, Porto Rico e di molte altre isole ... La rete planetaria dei cavi e segnali orari francesi si irradiava a est, a ovest, a nord e a sud di Parigi. Gli astronomi ne plasmarono gran parte del carattere; di contro, la macchina delle longitudini trasformò i loro osservatori. Si consideri, per esempio, il quarto volume degli *Annales du Bureau des Longitudes*, che nel 1890 si apriva con un resoconto dell'Osservatorio di Bordeaux. Quali che fossero i risultati delle ricerche, chiariva il rapporto, l'Osservatorio non era stato costruito né per esplorare nuovi fenomeni né per trovare il posto dell'uomo nel cosmo. No, la città di Bordeaux, come tantissime altre, si era dotata di un osservatorio per regolare i cronometri delle navi, in modo che queste potessero determinare la loro longitudine in mare.

[199] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, pp. 96-98.

Ciò significa che il compito primario dell'Osservatorio era di stabilire la propria longitudine - cosa che fece il 19 novembre 1881, tramite lo scambio di segnali orari telegrafici con Parigi, e che gli permise di collocarsi 11 minuti e 26,444 secondi a ovest della capitale - più o meno un ottomillesimo di secondo.

Città dopo città, paese dopo paese, il Bureau des Longitudes estese la propria rete di punti fissi longitudinali, dapprima alla nazione, tirando cavi telegrafici da Parigi alle più distanti località francesi, poi alle remote colonie, tramite una miriade di cavi sottomarini. Nel 1880 riposavano sul fondo dell'oceano novantamila miglia di cavi per lo più britannici, una macchina da novanta milioni di sterline che collegava tutti i continenti abitanti, tagliando per il Giappone, la Nuova Zelanda, l'India, attraverso le Indie Occidentali, le Indie Orientali, l'Egeo ...

Più le mappe si fondevano, più cresceva il consenso sulla necessità di un meridiano fondamentale universalmente riconosciuto ...

Poiché molti paesi producevano mappe in cui le loro capitali occupavano il punto zero di longitudine, era sotto a una nuova questione: era possibile ricondurre tutti questi punti di riferimento a una singola e unica linea meridiana fondamentale? Una latitudine fondamentale - l'equatore - era individuata in maniera naturale dalla rotazione terrestre. Ma la "natura" non aveva scelto alcun meridiano fondamentale ... la scelta del meridiano fondamentale era necessariamente arbitraria e dunque soggetta a ragioni "puramente pratiche e convenzionali" ... " [200].

Nell'ottobre del 1884 a Washington si tiene una conferenza internazionale per stabilire una convenzione sul meridiano di riferimento. I francesi, forti del successo del metro, definito nel 1791 come "la decimilionesima parte del semi-meridiano terrestre passante per Parigi", del quale conservano la barra di platino-irido cui il mondo intero fa riferimento al fine di garantire l'accuratezza e la universale confrontabilità nelle misure di lunghezza, vorrebbero fissarlo a Parigi. Ma prevale un approccio "pragmatico", che porta a stabilire che dal 1 gennaio 1885 il meridiano di riferimento, quello a 0° di longitudine, sarà quello di Greenwich [201]:

"The question was then put on the adoption of the resolution offered by the Delegate of the United States, Mr. Rutherford, as follows:

"That the Conference proposes to the Governments here represented the adoption of the meridian passing through the transit instrument at the Observatory of Greenwich as the initial meridian for longitude."

In the affirmative—

Austria, Mexico,

Chili, Netherlands,

Costa Rica, Paraguay,

Columbia, Russia,

Germany, Spain,

Great Britain, Sweden,

Guatemala, Switzerland,

Hawaii, Turkey,

Italy, Venezuela,

Japan, United States.

Liberia,

In the negative—

San Domingo.

[200] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, pp. 128-141.

[201] *International conference held at Washington for the purpose of fixing a prime meridian and a universal day, October 1884. Protocols of the proceedings*, pp. 98-99.

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=nyp.33433034339345&seq=1>

*Abstaining from voting—
Brazil,
France.*

*The result was then announced, as follows:
Ayes, 21; noes, 1; abstaining from voting, 2".*

8. Dal telefono senza fili al GPS

"La scienza è sempre imperfetta. Ogni volta che risolve un problema, ne crea almeno dieci nuovi."
(George Bernard Shaw)

Nel 1864 Maxwell [202] pubblica "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" [203] e dimostra che il campo elettrico e magnetico si propagano attraverso lo spazio sotto forma di onde elettromagnetiche alla velocità (costante) della luce.

Nel 1888 Hertz [204] descrive come produrre con un suo oscillatore le onde elettromagnetiche predette da Maxwell. Nel dicembre del 1895 Guglielmo Marconi [205] riesce a trasmettere un segnale radio che supera la collina dietro Villa Griffone, la residenza di famiglia. E nel giugno del 1896 brevetta un sistema di telegrafia senza fili mediante il quale nel dicembre del 1901 trasmette segnali che attraversano l'Atlantico (a Marconi e a Karl Ferdinand Braun [206] verrà assegnato nel 1909 il premio Nobel per la fisica "in riconoscimento del loro contributo allo sviluppo della telegrafia senza fili" [207]).

Come ci ricorda Galison è l'inizio di una nuova era:

"La marina americana comincio a fare esperimenti ... nell'agosto 1904. Il tempo di radiotrasmissione non era una faccenda esclusivamente americana. Nel 1904 via un'intensa attività che circondava i sistemi di coordinazione radio sia in Svizzera sia in Francia, mentre i tecnici controllavano, sviluppavano e cominciavano mettere in funzione nuovi metodi di trasmissione. Lo stesso direttore della rivista francese La Nature paese in mano la penna per dare un resoconto dei nuovi sviluppi nella distribuzione del tempo mediante dispositivi senza fili. Riferendo di esperimenti condotti all'Osservatorio di Parigi, notò che, con l'aiuto di un cronografo, la sincronizzazione a distanza appariva ora possibile con un margine di errore di due o tre centesimi di secondo. Le tecnologie senza fili promettevano di distribuire l'ora esatta in ogni angolo di Parigi e nei suoi sobborghi, soppiantando non solo il vecchio sistema avapore, ma anche le ingombranti linee di terra che appesantiscono la comunicazione elettrica del tempo via telegrafo. La radio

[202] James Clerk Maxwell (Edimburgo, 13 giugno 1831 - Cambridge, 5 novembre 1879).

[203] J. Clerk Maxwell, F. R. S. VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1865 **155**, 459-512.

[204] Heinrich Rudolf Hertz (Amburgo, 22 febbraio 1857 - Bonn, 1 gennaio 1894).

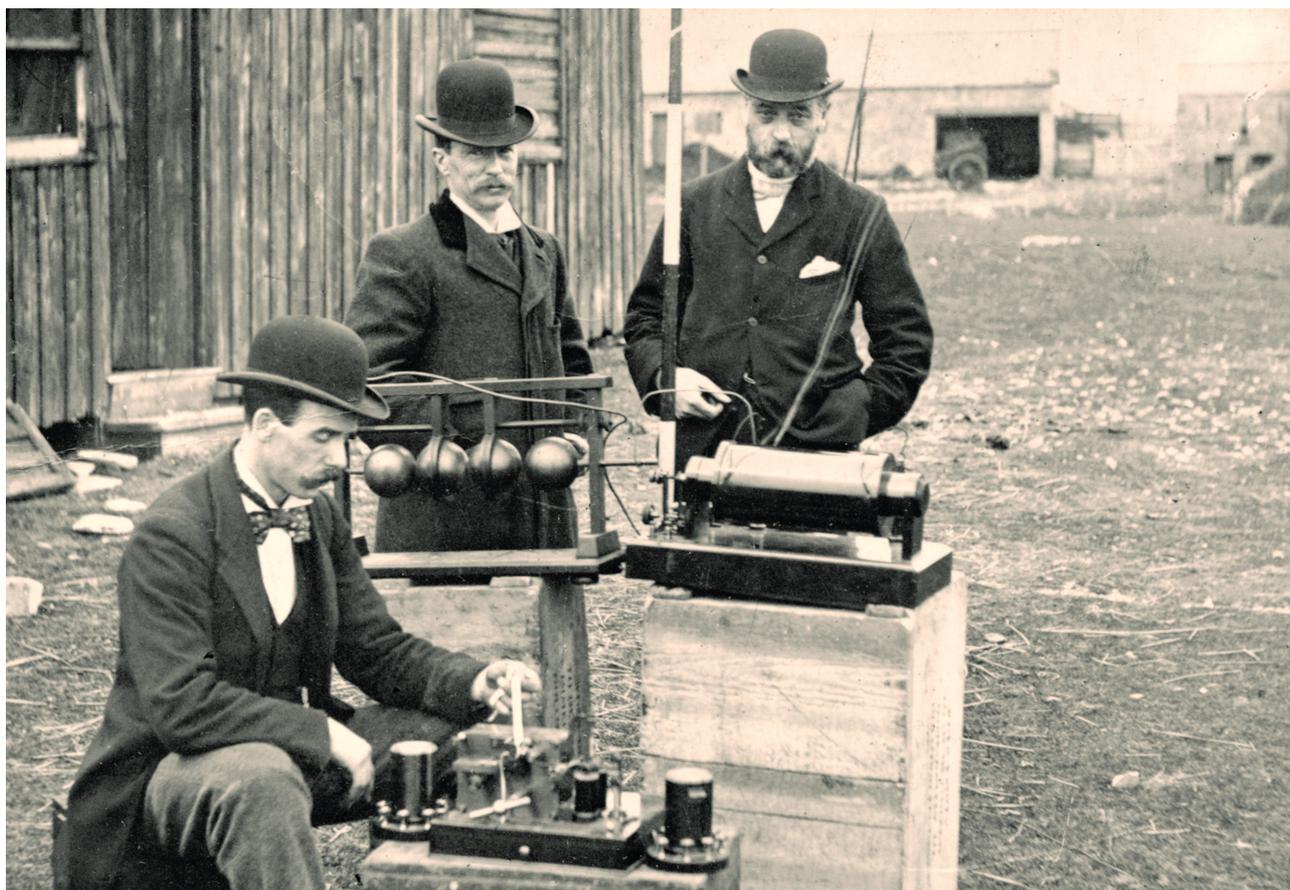
[205] Guglielmo Giovanni Maria Marconi (Bologna, 25 aprile 1874 - Roma, 20 luglio 1937).

[206] Karl Ferdinand Braun (Fulda, 6 giugno 1850 - New York, 20 aprile 1918).

[207] *"Nella foto ingegneri delle Poste Britanniche esaminano le apparecchiature di telegrafia senza fili (radio) di Guglielmo Marconi, durante una manifestazione sull'isola di Flat Holm, il 13 maggio 1897. Questa è stata la prima dimostrazione della trasmissione di segnali radio sul mare aperto tra Lavernock Point e l'isola di Flat Holm, una distanza di 3 miglia. Sullo sfondo è il trasmettitore a scintilla, una bobina di induzione (a destra) che genera impulsi ad alta tensione che creano scintille tra le palle di un oscillatore a quattro sfere e tre scintille di Righi (a sinistra), che genera correnti oscillanti in un'antenna di filo sospesa al vertice dal polo visto al centro, irradiando onde radio. Le informazioni vengono trasmesse attivando e disattivando velocemente il trasmettitore utilizzando un interruttore chiamato tasto telegrafico (non visibile), con il quale i messaggi di testo sono convertiti nel codice Morse. In primo piano è il ricevitore. Quando si riceve dalla stazione di Lavernock, la tensione oscillante proveniente dall'antenna viene applicata a un coesore; un rivelatore primitivo di onde radio costituito da un piccolo tubo contenente due elettrodi con interposta polvere metallica. Quando un'onda radio proveniente da un trasmettitore distante colpisce l'antenna e viene applicata al coesore, la polvere si aggrega a collegare i due elettrodi, conducendo l'elettricità. Un secondo circuito è collegato al coesore, ed è costituito da una batteria che gestisce un relè (oggetti cilindrici a fianco), che a sua volta invia un impulso di corrente ad un registratore a nastro Morse (al centro). Quando un'onda radio attiva il coesore, questo invia un impulso al registratore, che traccia un segno su un nastro di carta. Il messaggio di codice Morse dal trasmettitore remoto può essere letto dal nastro, come sta facendo l'uomo seduto. I relè sono contenuti all'interno di scudi metallici cilindrici per evitare che le loro scintille interferiscano con il coesore".*

Cardiff Council Flat Holm Project, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Post_Office_Engineers.jpg

aveva fatto progredire la scienza attraverso determinazioni più precise della longitudine; ora liberava il tempo dal fardello fisico dei cavi" [208].



"In cerca di siti sempre più elevati su cui collegare le antenne, i promotori del nascente servizio radio francese erano già cominciati a guardare alla Torre Eiffel, il cui destino, nel 1903, era ancora assai incerto. Eleuthère Mascart scrisse a Poincaré dall'ufficio meteorologico pregandolo di aiutarlo a convincere il ministro della guerra a salvare la Torre (e dunque la stazione annessa) dallo smantellamento. La grande torre era, a suo dire, una risorsa militare non solo per la telegrafia ottica, ma anche per le nuove sperimentazioni sulla trasmissione senza fili che erano già state avviate. Sicuramente il ministro avrebbe prestato ascolto a Poincaré - avrebbe, dunque, provato a salvare la torre il nome della sua importanza per la difesa nazionale? ... nel 1904 riuscirono a fare in modo che la torre fosse destinata a stazione del servizio radio francese. Per la sua posizione al Bureau des Longitudes, nella comunità scientifica ormai anche all'interno della più ampia élite intellettuale francese, le ambizioni di Poincaré per la torre, nell'era della radio, avevano un certo peso. Grazie soprattutto al suo intervento, nel maggio 1908 il Bureau esortò a stabilire un segnale orario che partisse dalla Torre Eiffel e potesse essere usato per la determinazione della longitudine ovunque fosse ricevibile ... Se fosse stati operatori radio in una delle colonie, desiderosi di stabilire con precisione la vostra relazione di longitudine con Parigi, ecco cosa avreste fatto una volta sintonizzati con la capitale. La stazione della Torre Eiffel avrebbe messo un segnale una volta ogni 1,01 secondi; vi sareste messi in ascolto prima di mezzanotte, ora di Parigi, in attesa degli impulsi in arrivo via radio. Al contempo, avreste regolato il vostro orologio locale che emette un breve il segnale acustico a ogni secondo (ora locale). Per convenzione, sapevate che segnali sarebbero partiti da Torre Eiffel a mezzanotte, ora di Parigi, e dunque alle 12.00.00.00, 12.00.01.01, 12.00.02.02, e così via. Contando il numero di segnali trascorsi prima di udire contemporaneamente il bip locale e quello della Torre Eiffel, potevate sincronizzare gli orologi. Per esempio, se il vostro primo bip locale fosse coinciso con il decimo segnale acustico emesso

[208] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, p. 274.

dalla Torre Eiffel, avreste allora saputo che alla Torre Eiffel era mezzanotte più dieci segnali (12.00.10.10). Per conoscere l'ora locale che corrispondeva al battito con coincidente con quello della Torre vi sarebbe bastato guardare il volto orologio. Potevate così sottrarre l'ora della Torre Eiffel (12.00.10.10) dalla vostra ora locale e ottenere la differenza di longitudine tra la vostra stazione radio il grande simbolo della modernità parigina. Entro il marzo del 1909, la commissione aveva in mano un progetto di per trasmettere senza fili orario di precisione..." [209].

"Ancora prima che la stazione della Torre Eiffel fosse inaugurata gli uomini della longitudine francesi avevano cominciato a usare i segnali radio per correggere le loro mappe, a cominciare da Montsouris, Brest e Bizerte..." [210].

Nel 1905 Albert Einstein pubblica "L'elettrodinamica dei corpi in movimento" [211].

891

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen; ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Mag-

Einstein deve riconciliare tra loro due aspetti della fisica. Il principio di relatività galileano, che dice che le leggi della fisica **devono** essere le stesse per tutti gli osservatori, indipendentemente dal moto [lineare uniforme] relativo. E l'elettrodinamica di Maxwell, che dice che la velocità della luce nel vuoto [in quanto legge fisica] **deve** essere la stessa per tutti gli osservatori.

Come ci ricorda Vittorio Silvestrini [212]:

"... Nel caso della fisica classica le leggi che ci dicevano come uno stesso fenomeno viene visto da due sistemi di riferimento in movimento l'uno rispetto all'altro, erano le trasformazioni di Galileo. Secondo le trasformazioni di Galileo, passando da un sistema di riferimento a un altro che si muova, cambia la posizione degli oggetti, e anche la loro velocità; ma non cambia il tempo". Einstein dimostra che se la velocità della luce nel vuoto [in quanto legge fisica] **deve** essere la stessa per tutti gli osservatori, invece delle trasformazioni di Galileo (che rimangono approssimazioni valide per le velocità cui siamo abituati nella vita quotidiana) "... bisogna applicare le trasformazioni del fisico olandese Hendrik Lorentz (1853-1928), secondo le quali non solo cambia la posizione degli oggetti, ma cambia anche il tempo"²¹³. È la teoria della relatività speciale.

[209] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, pp. 277-279.

[210] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, p. 282.

[211] Albert Einstein. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*. Ann. d. Phys. 17, 891-921 (1905).

[212] Vittorio Silvestrini. *Guida alla teoria della relatività*. Editori Riuniti university press, Roma, 2011, ISBN 978-88-6473-071-4, p. 60.

[213] ibidem

Nel 1916 Albert Einstein pubblica "I fondamenti della teoria della relatività generale" [214].

1916.

Nº 7.

ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 49.

1. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie;* *von A. Einstein.*

Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als „Relativitätstheorie“ bezeichneten Theorie; die letztere nenne ich im folgenden zur Unterscheidung von der ersteren „spezielle Relativitätstheorie“ und setze sie als bekannt voraus. Die

Come ci ricorda ancora Silvestrini [215]:

"L'esigenza che ha portato Einstein a sviluppare questa teoria deriva da una osservazione che anche noi abbiamo fatto già nel primo capitolo: e cioè che i mondi che esistono nell'universo, e in particolare il nostro pianeta Terra che ruota attorno al Sole e inoltre su se stesso, non sono a rigore sistemi inerziali. Fra i vari corpi celesti, e in particolare fra i pianeti e le stelle, si esercitano infatti delle forze cosiddette gravitazionali. In conseguenza di queste forze il loro movimento non è rettilineo e uniforme. Si pone dunque il problema di studiare come uno stesso fenomeno appaia quando venga osservato da due sistemi di riferimento che si muovono l'uno rispetto all'altro non di moto rettilineo uniforme, ma di moto accelerato: cioè il problema di estendere i concetti della relatività ristretta anche ai sistemi cosiddetti non inerziali. Il motivo per cui i mondi, nell'universo, si comportano come sistemi di riferimento non inerziali è l'attrazione gravitazionale che ogni corpo celeste esercita sugli altri. Ed è quindi evidente che la teoria della relatività generale, affrontando il problema dei sistemi di riferimento non inerziali, necessariamente deve anche studiare e capire fino in fondo la natura delle forze gravitazionali".

Einstein risolve il problema della gravità. La Terra si muove attorno al Sole non grazie alla istantanea azione a distanza determinata dalla forza di gravità, un'idea in fondo "metafisica", ma si muove secondo il primo principio della dinamica seguendo attorno al Sole lo spazio-tempo incurvato dalla massa di quest'ultimo. E le masse sono in grado di influenzare lo scorrere del tempo. Einstein cancella definitivamente l'idea newtoniana di spazio e di tempo assoluti, di un "regolo" e di un "orologio" con cui effettuare delle misure universali. Cosa hanno a che vedere con la longitudine la teoria della relatività speciale e la teoria della relatività generale? Moltissimo. Come vedremo tra poco, consentono di calcolare la correzione da applicare agli orologi installati nei satelliti del sistema GPS, correzione indispensabile per assicurarne il corretto funzionamento, e per avere una stima accurata della longitudine (e della latitudine).

[214] Albert Einstein. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Ann. d. Phys. 49, 769-822 (1916).

[215] Vittorio Silvestrini. *Guida alla teoria della relatività*, p. 98.

"Le macchine collegano sempre più strettamente mappe e orologi. All'inizio della Seconda Guerra Mondiale gli scienziati del MIT perfezionarono le procedure di coordinazione del tempo per sviluppare il sistema Long Range Aid to Navigation (LORAN) che guidava le navi alleate attraverso il Pacifico. Nel dopoguerra la marina e l'aviazione americane sfornarono un progetto dopo l'altro con nomi come "Transit" e "Progetto 612b". Con l'intensificarsi della guerra fredda, l'esercito americano richiese sistemi di determinazione della posizione sempre più precisi per correggere la mira dei missili balistici intercontinentali e per guidare i soldati attraverso la giungla inesplorata del Sud-Est asiatico. Durante gli anni Sessanta del Novecento i progettisti della difesa americana trasformarono i satelliti in stazioni radio in grado di trasmettere segnali orari alla Terra. Questi trasmettitori orbitanti erano guidati da orologi più accurati e stabili, che segnalavano l'ora esatta leggendola dapprima dai cristalli di quarzo e poi dalle oscillazioni del cesio di orologi atomici spaziali. Quando il sistema Global Positioning System (GPS) entra in funzione degli anni Novanta del Novecento, i suoi ventiquattro orologi sincronizzati via satellite battevano il tempo con una precisione che Poincaré non avrebbe potuto realisticamente immaginare ... : 50 miliardesimi di secondo al giorno, che significava una risoluzione sulla superficie della Terra di poco più di quindici metri. Per certi versi, il sistema ricordava quello della Torre Eiffel: anche il GPS usava una specie di metodo di coincidenza per sincronizzare gli orologi. Ma ora il satellite trasmette una stringa di numeri pseudo-random (cioè sufficientemente random per i suoi scopi) lunga sei mila miliardi di cifre. Il ricevitore confrontava questa stringa con quella, identica, che aveva registrato nella memoria interna. Determinando lo scarto tra le due successioni, i circuiti logici del ricevitore potevano stabilire la differenza oraria, e conoscendo la velocità della luce, la distanza del ricevitore dal satellite. Se il ricevitore era già sincronizzato, bastavano solo tre satelliti per fissare la sua posizione nello spazio a tre dimensioni ma, dato che un ricevitore mobile normalmente non disponeva dell'ora esatta, era necessario un quarto satellite (per regolare l'ora). Nell'interscambio tra ingegneria, filosofia e fisica la relatività era diventata una tecnologia destinata a spodestare rapidamente i tradizionali strumenti di rilevazione. Di fatto, elaborano i dati a posteriori, e usando le misurazioni (ottenute con il GPS) di una posizione nota per identificare errori transitori, i fisici erano in grado di impiegare il sistema GPS per determinare una seconda locazione sconosciuta con un margine di errore di millimetri. Il sistema era diventato così accurato da rivelare persino che parti "fisse" delle terre emerse del nostro Pianeta erano, in realtà, in movimento; che vi era una interminabile deriva dei continenti sulla superficie del Globo in prossimità delle tettoniche a zolle ... Al posto dei "continenti assoluti", i geologi chiedevano un nuovo sistema universale di coordinate che non fosse ancorato a una qualsiasi delle caratteristiche particolari della superficie terrestre, bensì ruotasse, visto con l'occhio immaginativo della scienza, in silente coordinazione con l'interno del Pianeta. Il GPS fu ben presto in grado di fare atterrare gli aeroplani, guidare i missili, indicare la strada agli elefanti e dispensare consigli ai guidatori di automobili familiari. La coordinazione relativistica del tempo era di estrema importanza per tutti questi scopi. Secondo la relatività, gli orologi dei satelliti che orbitano intorno alla Terra a 12.500 miglia all'ora ^[216] erano rallentati di 7 milionesimi di secondo al giorno. Persino la teoria della relatività generale (la teoria della gravitazione di Einstein) dovesse essere programmata nel sistema. A dodicimila miglia di distanza nello spazio, dove orbitavano i satelliti, la relatività generale prevedeva che il campo gravitazionale più debole avrebbe fatto andare gli orologi più veloci (relativamente alla superficie della Terra) di 45 milionesimi di secondo al giorno. Prese insieme, le due correzioni ammontavano alla sbalorditiva correzione complessiva di 38 milionesimi di secondo (ovvero 38.000 miliardesimi di secondo) al giorno in un sistema GPS il grado di precisione doveva arrivare fino a 50 miliardesimi di secondo al giorno. Prima che nel giugno 1977 venisse varato il primo orologio atomico al Cesio alcuni ingegneri esperti del sistema GPS nutrivano tali dubbi circa questi enormi effetti relativistici da insistere che l'orologio del satellite trasmettesse i propri segnali in forma "grezza". Il meccanismo di correzione relativistica che si trovava a bordo rimase inattivo. Arrivò quindi il segnale, che durante le prime ventiquattro ore aveva già quasi guadagnati i 38.000 miliardesimi di secondo predetti. Dopo venti giorni in cui l'orologio continuava a correre in questo modo, il controllore di Terra ordinò che i sintetizzatore di frequenza fossero riattivati, per correggere il segnale radiotrasmesso. Senza la correzione relativistica ci sarebbero voluti meno di due minuti perché il sistema GPS superasse il margine d'errore consentito. Dopo un solo giorno, i satelliti avrebbero fatto piovere sulla Terra posizioni erronee, con

[216] C'è un problema nel dato riportato, i satelliti del GPS si muovono alle velocità di circa 14.000 km/ora.

una deviazione di quasi sei miglia. Automobili, bombe, aeroplani e navi avrebbero naturalmente cominciato a cambiare selvaggiamente direzione. La relatività - o meglio, le relatività (speciale e generale) - erano entrate in un apparato che stendevo una rete invisibile sul Pianeta. Le teorie si erano fatte le macchine" [217].

Un spiegazione più concisa degli effetti relativistici si trova in Intini [218]:

"In accordo con la teoria della relatività speciale, un orologio in moto con una certa velocità appare ad un osservatore procedere più lentamente di uno identico che sia invece fermo rispetto a questi; questo effetto è noto con il nome di dilatazione degli intervalli temporali.

Un rallentamento del ritmo con cui segnato il tempo è previsto anche nell'ambito della teoria della relatività generale per un orologio che sia immerso in un campo gravitazionale che ne subisca l'effetto, ed esso è tanto più manifesto quanto più intenso è il campo gravitazionale. Nel caso in esame, sia gli orologi delle stazioni a terra che quelli sui satelliti del GPS subiscono un rallentamento ad opera del campo gravitazionale terrestre, ma l'effetto risulta maggiore per gli orologi che sono a terra e minore per quelli che sono in orbita. Tenendo conto del fatto che i satelliti del GPS orbita intorno alla Terra ad un'altitudine di 20.184 km e con una velocità di 3,87 km/s, in riferimento al primo effetto un orologio bordo di un satellite mostra un ritardo di 7 microsecondi al giorno se paragonato con uno a terra. In riferimento all'effetto gravitazionale l'orologio sul satellite appare procedere più velocemente di uno a terra e mostra un anticipo rispetto adesso di 45 microsecondi al giorno. L'effetto netto è un anticipo del tempo segnato dall'orologio sul satellite rispetto a quello della stazione a terra di 38 microsecondi ogni giorno ... Per ovviare a questo inconveniente agli orologi viene fornita ... una "controvelocità" di bilanciamento In modo tale che appaiono procedere con lo stesso ritmo di quelli delle stazioni a terra".

Con il GPS si chiude il problema della longitudine e si riapre il problema del tempo.

[217] Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*, pp. 287-291.

[218] Francesca Intini. *Il tempo sui satelliti del GPS e l'effetto Sagnac*. In: Franco Selleri (a cura di), *La natura del tempo*. Edizioni Dedalo, Bari, 2002, ISBN 978-88-220-6251-2.

9. Epilogo

*Il senno di poi è una scienza esatta.
(Arthur Bloch)*

C'è una bella espressione in informatica: "*bootstrap*". Che deriva dal detto "*to pull yourself up by your own bootstrap*", cioè letteralmente "*tirarsi su per i propri lacci delle scarpe*".

Il calcolatore è una macchina che esegue dei processi. Quando un calcolatore spento, quindi non funzionante, viene acceso, per iniziare a funzionare deve eseguire un processo: che un calcolatore appena acceso, non ancora funzionante, ovviamente non è in grado di eseguire. Si esce da questa situazione circolare e paralizzante mediante l'operazione di "*bootstrap*", con la quale il calcolatore (**hardware**) si tira letteralmente su per i propri lacci delle scarpe partendo da un processo "cablato" nel calcolatore (all'interno del **firmware**) che attiva a sua volta una serie di processi a cascata che lo portano a caricare il **sistema operativo** e a iniziare a funzionare (sarà poi il **software** a fargli svolgere le specifiche funzioni di volta in volta da noi richieste).

È evidente che nello sviluppo della **conoscenza** del mondo, della strada che porta alla realtà, anche la nostra specie (modello dell'hardware: Homo sapiens - Linnaeus, 1758) deve tirarsi su per i propri lacci delle scarpe. Il firmware (cioè le funzioni base necessarie per entrare in contatto con il mondo garantendo la sopravvivenza della specie) è stato cablato nel nostro cervello da madre natura. E il bootstrap procede mediante passaggi diversi, e una molteplicità di processi interagenti tra loro che si dipanano nella storia.

Un primo passaggio è stato quello dalla vita di raccoglitore-cacciatore a quella di agricoltore-allevatore: questo ha consentito di creare il valore aggiunto materiale, in termini di surplus di risorse, alimentari e non, che ha permesso ad alcuni (pochi) di (finalmente) fermarsi a pensare e a creare valore con il pensiero. Questo passaggio dura circa diecimila anni. Parte dalla rivoluzione agricola del neolitico, trae beneficio dallo sviluppo di tecnologie manifatturiere come la metallurgia e la tessitura, e culmina con la prima grande rivoluzione nelle tecnologie di comunicazione: la scrittura [219].

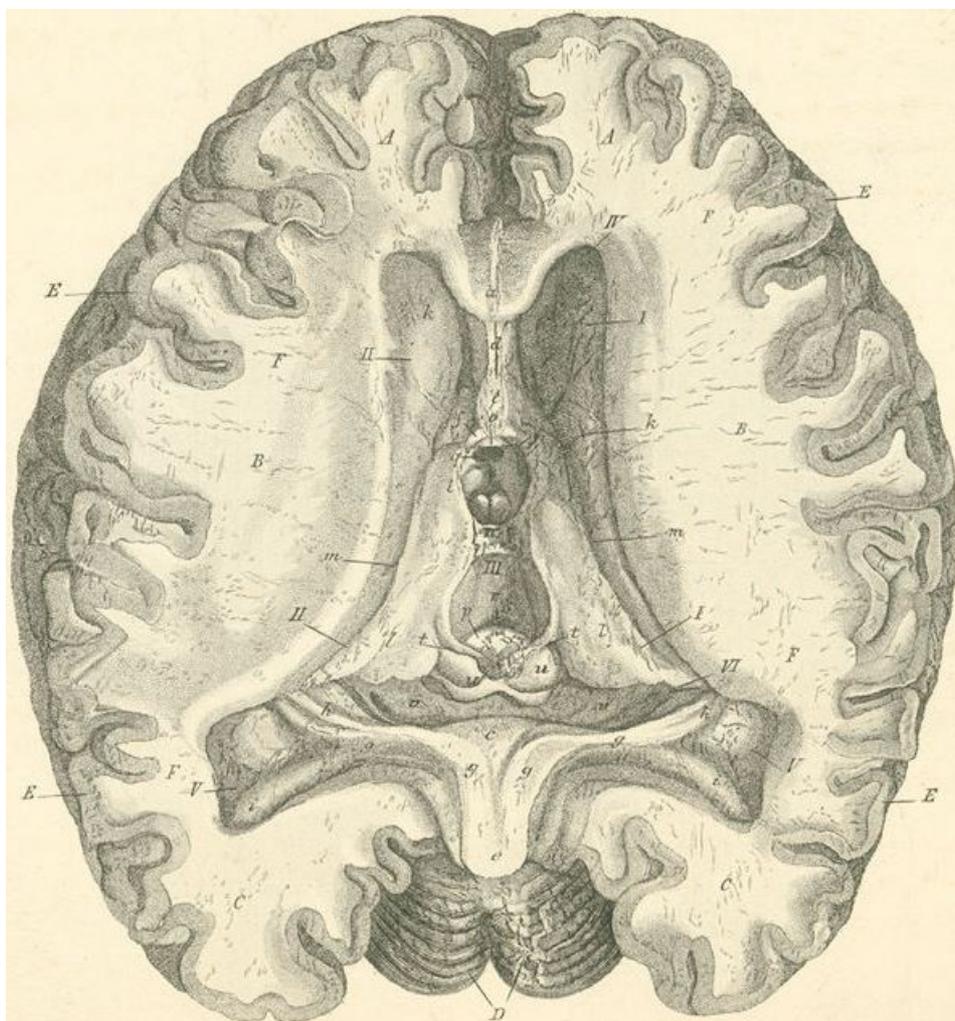
Un secondo passaggio, strettamente legato a questo, è stata la messa in comune, oggi diremmo in rete, dei risultati del pensiero e della creatività, che ha condotto a un fenomeno di accumulo e di ampliamento inizialmente molto lento, ma da un certo punto in avanti in accelerazione progressiva, della conoscenza. Mettere in rete la conoscenza significa resilienza (cioè robustezza) nella sua conservazione, in modo che non si debba in caso di gravi crisi ripartire da zero. Ma la rete della conoscenza va anche costituendo una "meta-mente", che supera i limiti della conoscenza possibile al singolo (e valorizza e favorisce lo sviluppo di individui con conoscenze molto approfondite in campi molto ristretti, un fenomeno cui stiamo assistendo attualmente) amplificandola e creando ulteriore valore aggiunto, con fenomeni esplosivi di potenziamento della conoscenza legati all'inserimento in rete di nodi (che per analogia definirei "meta-neuroni") rappresentati dalle menti dei geni che hanno cambiato il mondo, dalla letteratura alla musica, dalla filosofia alla scienza. Questo secondo passaggio dura circa duemila e cinquecento anni. Parte dalla scrittura, e trae beneficio dalla fondazione e dallo sviluppo di centri del sapere, le università, e da una serie di rivoluzioni tecnologiche che si susseguono a un ritmo sempre più accelerato: l'invenzione della stampa a caratteri mobili, la capacità di produrre lavoro mediante le macchine, che porta alla produzione e diffusione dei testi scritti in quantità mai immaginata, la trasmissione e la fruibilità a distanza dell'informazione prima sotto forma di suoni e poi anche sotto forma di immagini, e infine lo sviluppo del world wide web in grado potenzialmente di mettere in rete tutta l'informazione e tutta la conoscenza umana [220].

[219] In realtà Platone non condivideva questo entusiasmo, era contrario alla scrittura, come fa dire a Socrate nel Fedro. Vedi A6: *La scrittura nel Fedro di Platone*.

[220] E purtroppo anche la stupidità.

A fronte di tutto questo ci si potrebbe domandare quale è il fattore limitante che ha impedito uno sviluppo più veloce della conoscenza, perché non abbiamo compreso prima che era utile sapere leggere e scrivere, inventando scrittura e libri, che non servivano le processioni e le giaculatorie ma che servivano i sistemi fognari e l'igiene pubblica per sconfiggere la peste bubbonica, che con la vaccinazione sarebbe scomparso il vaiolo, che è la Terra che gira attorno al Sole, e non viceversa, che al di là dell'Atlantico ci stava l'America e non la Cina, che una piuma e un martello lasciati cadere dalla stessa altezza toccano terra insieme (e se non lo fanno è solo a causa di un fattore confondente, un "accidente", rappresentato dall'attrito), e così via.

Ebbene, la lentezza nello sviluppo della conoscenza del mondo è stata e resta legata a un fattore soggiacente, che sta finalmente emergendo: la gabbia in cui la mente umana è stata costretta dal suo naturale sviluppo biologico di mente animale [221]. Perché avendo il 98,5% del DNA in comune con lo scimpanzé, che consideriamo un animale, è difficile pensare che noi siamo qualcosa di diverso. L'evoluzione ha cablato nella mente umana fenomeni di reattività elementare, quelli necessari a garantire la sopravvivenza fino alla riproduzione. Null'altro serviva e serve in natura. Lo sviluppo di una corteccia cerebrale che ci ha fatto compiere un salto di qualità evolutivo, si è sovrapposto, ma non ha ovviamente potuto annullare la base ancestrale, che permane soggiacente svolgendo sempre le sue funzioni essenziali per la sopravvivenza, e che fa sentire la sua presenza a tutti i livelli, incluso quello cognitivo.



Le illusioni percettive sono state la punta dell'iceberg dalla quale si è partiti per esplorare le illusioni della

[221]Giorgio Vallortigara. *Da Euclide ai neuroni. La geometria del cervello*. Lit Edizioni, 2017, ISBN 978-88-3282-186-4.

ragione, che ingabbiano la mente, con metodi che hanno finalmente assunto una connotazione scientifica, come quelli delle neuroscienze.

Un terzo passaggio si rende quindi necessario perché la conoscenza del mondo riesca nel paradosso di tirarsi su con i propri lacci delle scarpe: rompere la gabbia in cui ci tiene chiusi la mente ancestrale. E in questo il ruolo fondamentale lo svolge la cultura scientifica. Aristotele aveva commesso un errore: pensare che il sillogismo, inteso come "ben ragionare", fosse sufficiente da solo per dedurre dalla pura e semplice percezione sensoriale quanto necessario per capire il mondo. La scienza invece è controintuitiva. Come immaginare che il tempo in vetta al Monte Bianco scorre più velocemente che nel fondovalle? Eppure la differenza può oggi essere misurata con due orologi. Ma per arrivare a questo sono stati necessari logica, immaginazione, sperimentazione, coraggio di rimettere in discussione il sapere. Come dice Rovelli [222]:

" Questa mi sembra la caratteristica centrale del pensiero scientifico. Ciò che più ci appare ovvio del mondo può essere falso. Il pensiero scientifico è un'esplorazione continua di modi nuovi per concettualizzare il mondo. La conoscenza nasce da un atto di ribellione, rispettosa ma profonda, contro sapere del presente. Questa è anche la più ricca eredità che l'Occidente ha portato in dono alla civiltà mondiale che oggi sta formandosi, il suo contributo migliore.

Questa ribellione è una sfida, lanciata da Talete e Anassimandro: liberare la comprensione del mondo dal pensiero mitico-religioso che ha strutturato per millenni il pensiero dell'umanità. Considerare la possibilità che il mondo sia comprensibile senza appoggiare questa comprensione su uno più déi. È una possibilità nuova per l'umanità che dopo ventisei secoli, alla maggioranza degli uomini e delle donne di questo piccolo pianeta che galleggia nello spazio, fa ancora paura.

La strada di rilettura del mondo aperta da Anassimandro un'avventura nuova. Il lato temibile, ma affascinante, di questa avventura è riconoscere assumere la nostra ignoranza. Penso che accettare la nostra incertezza non sia solo la strada maestra verso la conoscenza, ma anche la scelta più onesta è più bella. La nostra conoscenza, come la Terra, è sospesa sul nulla. La provvisorietà e il vuoto che ne derivano non rendono la vita più insensata, la rendono più preziosa.

Dove porti questa avventura non lo sappiamo, ma il pensiero scientifico, nel senso di revisione critica del sapere convenzionale, apertura verso la possibilità di ribellarsi ogni credenza forte, capacità di esplorare nuove visioni del mondo e crearne di più efficaci, rappresenta un capitolo maggiore nella lenta evoluzione della storia della civiltà umana. È un capitolo che si apre con Anassimandro e in cui siamo ancora immersi, curiosi di vedere dove stiamo andando".

Il problema della longitudine si era aperto con Anassimandro, e con lui si chiude, attraversando duemila e cinquecento anni di storia, intersecando piani diversi, dalla fisica all'astronomia, dalla storia della navigazione alle scienze cognitive, dalla filosofia alla tecnologia, e fornendo uno spaccato della grande storia dell'uomo alla ricerca della comprensione del mondo.

[222] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza*, pp. 182-183.

Indicazioni bibliografiche

Aristotele. *Fisica*. A cura di Roberto Radice. Bompiani/RCS Libri, Milano, 2011, ISBN 978-88-452-6921-9.

Aristotele. *Il cielo*. A cura di Alberto Jori, Bompiani/RCS libri, Milano, 2015, ISBN 978-88-452-9193-7.

John Barrow. *Il mondo dentro il mondo*. Adelphi Edizioni, Milano, 1991, ISBN 978-88-459-0873-9.

Giovanni Boniolo, Paolo Vidali. *Introduzione alla filosofia della scienza*. Pearson Paravia Bruno Mondadori, Milano, 2003, ISBN 88-424-9549-2.

Gérald Bronner. *La democrazia dei creduloni*. Aracne editrice int.le, Ariccia, 2016, ISBN 978-88-548-9897-4.

Paul Davies. *I misteri del tempo. L'universo dopo Einstein*. Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1997, ISBN 978-88-04-42736-0.

Mauro Dorato. *Il software dell'universo. Saggio sulle leggi di natura*. Paravia Bruno Mondadori, Milano, 2000, ISBN 88-424-9708-8.

Chris Frith. *Inventare la mente. Come il cervello crea la nostra vita mentale*. Raffaello Cortina, Milano, 2009, ISBN 978-88-6030-190-1.

Marcello Frixione. *Come ragioniamo*. Gius. Laterza & Figli, 2007, ISBN 978-88-420-8312-2.

Galileo Galilei. *Sidereus Nuncius*. Marsilio Editori SpA, Venezia, 1993, ISBN 978-88-317-6619.

Umberto Galimberti. *I miti del nostro tempo*. Giangiacomo Feltrinelli, Milano, 2012, ISBN 978-88-077-2325-4.

Peter Galison. *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré. Imperi del tempo*. Raffaello Cortina Editore, Milano, 2004, ISBN 88-7078.910.1.

Gerd Gigerenzer. *Quando i numeri ingannano. Imparare a vivere con l'incertezza*. Raffaello Cortina, Milano, 2003, ISBN 88-7078-843-1.

Luca Guzzardi. *Lo sguardo muto delle cose. Oggettività e scienza nell'età della crisi*. Raffaello Cortina, Milano, 2010, ISBN 978-88-6030-325-7.

Stephen W. Hawking. *Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo*. Rizzoli Libri, Milano, 2016, ISBN 978-88-17-07975-4.

Francesca Intini. *Il tempo sui satelliti del GPS e l'effetto Sagnac*. In: Franco Selleri (a cura di), *La natura del tempo*. Edizioni Dedalo, Bari, 2002, ISBN 978-88-220-6251-2.

Thomas S. Kuhn. *Dogma contro critica. Mondi possibile nella storia della scienza*. Raffaello Cortina, Milano, 2000, ISBN 88-7078-619-6.

Thomas S. Kuhn. *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Giulio Einaudi editore, Torino, 1972, ISBN 88-06-33332-1.

- Thomas S. Kuhn. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*. Giulio Einaudi editore, Torino, 2009, ISBN 978-88-19900-5.
- Alberto Oliverio. *Esplorare la mente. Il cervello tra filosofia e biologia*. Raffaello Cortina, Milano, 1999, ISBN 88-7078-575-0.
- Roger Penrose. *La strada che porta alla realtà. Le leggi fondamentali dell'universo*. R.C.S. Libri, Milano, 2005, ISBN 978-88-17-01233-1.
- Platone. *Tutte le opere*. Newton Compton editori, Roma, 2013, ISBN 978-88-541-1636-8.
- Jules-Henri Poincaré. *La scienza e l'ipotesi*. Bompiani/RSC Libri, Milano, 2012, ISBN 978-88-452-9236-1.
- Karl R. Popper. *Congetture e confutazioni*. Il Mulino, Bologna, 1972, ISBN 978-88-15-12804-1.
- Ilya Prigogine. *La fine delle certezze. Il tempo, il caos e le leggi della natura*. Bollati Boringhieri editore, Torino, 1997, ISBN 978-88-339-1030-7.
- Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Mondadori Education, Milano, 2001, ISBN 978-88-6184-075-1.
- Carlo Rovelli. *La realtà non è come ci appare. La struttura elementare delle cose*. Raffaello Cortina, Milano, 2014, ISBN 978-886030-641.8.
- Lucio Russo. *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Giangiacomo Feltrinelli, Milano, 2014, ISBN 978-88-07-88323-1.
- Vittorio Silvestrini. *Guida alla teoria della relatività*. Editori Riuniti university press, Roma, 2011, ISBN 978-88-6473-071-4.
- Dava Sobel. *Longitudine. La vera storia della scoperta avventurosa che ha cambiato l'arte della navigazione*. RCS Libri SpA, Milano, 2004, ISBN 88-17-11290-9.
- Paolo Taroni. *Filosofie del tempo. Il concetto di tempo nella storia del pensiero occidentale*. Mimesis Edizioni, Milano - Udine, 2012. ISBN 978-88-5751-453-6.
- Roberto Vacca. *Anche tu matematico*. Garzanti, Milano, 1989, ISBN 88-11-67584-7.
- Giorgio Vallortigara. *Da Euclide ai neuroni. La geometria del cervello*. Lit Edizioni, 2017, ISBN 978-88-3282-186-4.
- Ugo Volli. *Manuale di semiotica*. Gius. Laterza & Figli, Roma-Bari, 2007, ISBN 978-88-420-6919-5.
-

APPENDICI

A1. La Risposta alla Grande Domanda²²³

“Se hai trovato una risposta a tutte le tue domande, vuol dire che le domande che ti sei posto non erano giuste.”

(Oscar Wilde)

“I due programmatori si diedero un'occhiata, stringendosi nelle spalle. Fook assunse un'aria di grande compostezza.

– O Computer Pensiero Profondo – disse – il compito per il quale ti abbiamo progettato è questo. Vogliamo che tu ci dia la Risposta!

– La Risposta? – disse Pensiero Profondo. – La Risposta a cosa?

– Alla vita! – esclamò Fook.

– All'Universo! – disse Lunkwill.

– A tutto! – esclamarono all'unisono.

Pensiero Profondo fece una pausa per riflettere.

– Difficile – disse alla fine.

– Ma ce la puoi fare?

Il computer fece un'altra pausa significativa.

– Sì – disse. – Ce la posso fare.

– C'è una risposta? – chiese Fook col fiato sospeso.

– Una risposta semplice? – puntualizzò Lunkwill.

– Sì – disse Pensiero Profondo. – La Vita, l'Universo, e Tutto. Sì, c'è una risposta. Ma devo rifletterci su [...]

Ma mi ci vorrà un po' di tempo per elaborare la risposta.

Fook guardò con impazienza il suo orologio.

– Quanto?

– Sette milioni e mezzo di anni – rispose Pensiero Profondo.

Lunkwill e Fook si guardarono increduli.

Sette milioni e mezzo di anni...! – esclamarono all'unisono.

Si – ribadì enfatico Pensiero Profondo. – Vi avevo detto che ci avrei dovuto riflettere su, no? E mi viene in mente che varare un programma come questo creerà per forza un'immensa pubblicità a tutto il campo della filosofia in generale. Tutti si faranno le loro teorie sulla possibile risposta che io darò alla fine, e chi meglio di voi filosofi potrà sfruttare a suo vantaggio il giro di fantastiliardi dei mass media? Finché continuerete a beccarvi l'un l'altro e a lanciaarvi reciproci insulti dalle pagine dei giornali ad alta tiratura, e finché avrete agenti abili, potete spassarvela senza fare un cacchio per tutta la vita. Cosa ne pensate?

I due filosofi erano rimasti a bocca aperta.

– Perdio – disse Majikthise. – Questo sì che si chiama avere testa! Ehi, Vroomfondel, perché non ci abbiamo pensato prima?

– Non lo so – disse Vroomfondel, sgomento. – Forse i nostri cervelli sono troppo specializzati, Majikthise.

Così dicendo, i due girarono i tacchi e uscirono dalla stanza, pregustando una vita molto più bella di quella che avessero mai osato sognare anche nei loro sogni più pazzi.

.....
– O voi che aspettate all'ombra di Pensiero Profondo! – gridò l'uomo. – Onorevoli Discendenti di Vroomfondel e Majikthise, i più Grandi e più Veracemente Interessanti Pandit che l'Universo abbia mai conosciuto... Il Tempo dell'Attesa è finito!

La folla esplose in grida di gioia, lanciando fischi e alzando bandiere e pennoni. Le strade più strette sembravano, tant'erano affollate, dei cento piedi rovesciati sul dorso che agitassero freneticamente in aria le zampe.

– Sette milioni e mezzo di anni ha aspettato la nostra razza questo grande giorno, il Giorno della Speranza e dell'Illuminazione! – gridò l'allegro leader. – Il Giorno della Risposta!

[223] Douglas Adams. *Guida galattica per gli autostoppisti*. Mondadori, Milano, 1999, ISBN 978-88-04-46463-1.

La folla entusiasta levò un coro di urrà.

– Mai più – gridò l'uomo – mai più ci sveglieremo la mattina pensando Chi sono io? Qual è lo scopo della mia vita? Dal punto di vista cosmico ha veramente importanza se non mi alzo per andare a lavorare? Non avremo più questi problemi perché oggi finalmente sapremo una volta per tutte la chiara, semplice risposta a tutte le seccanti domande sulla Vita, l'Universo e Tutto!

Ci furono alcuni attimi di ansiosa attesa, mentre i pannelli sul davanti della consolle si animavano a poco a poco. Le spie luminose si accesero e spensero, per poi stabilizzarsi. Dal canale di comunicazione provenne un basso e sommesso ronzio.

– Buongiorno – disse finalmente Pensiero Profondo.

– Ehm... Buongiorno, o Pensiero Profondo – disse nervoso Loonquawl. – Hai... ehm, cioè...

– Una risposta per voi? – disse solenne Pensiero Profondo. – Sì. Ce l'ho.

I due uomini rabbrivirono. La lunghissima attesa non era dunque stata vana.

– C'è davvero una risposta? – sussurrò Phouchg.

– C'è davvero una risposta – confermò Pensiero Profondo.

– A Tutto? Alla grande Domanda sulla Vita, l'Universo e Tutto?

– Sì.

Sia Loonquawl sia Phouchg si erano preparati per tutta la vita a quel momento, erano stati selezionati fin dalla nascita come persone più adatte ad assistere a quel memorabile avvenimento, e tuttavia si ritrovarono a boccheggiare e a stare sulle spine come bambini eccitati.

– E sei pronto a darci la Risposta? – disse ansioso Loonquawl.

– Sì.

– Adesso?

– Adesso – disse Pensiero Profondo.

I due s'umettarono le labbra.

– Anche se penso che non vi piacerà – disse Pensiero Profondo.

– Non importa! – disse Phouchg. – Dobbiamo saperla! Adesso!

– Adesso? – chiese Pensiero Profondo.

– Sì! Adesso...

– Va bene – disse il computer, e tacque. I due uomini si misero a giocherellare con le dita. La tensione era insopportabile.

– Non vi piacerà davvero – disse dopo un attimo Pensiero Profondo.

– Diccela!

– D'accordo – disse Pensiero Profondo. – La Risposta alla Grande Domanda...

– Su..?

– Sulla Vita, l'Universo e Tutto... – disse Pensiero Profondo.

– Sì...?

– È... – disse Pensiero Profondo, e fece una pausa.

– Sì...?

– È...

– Sì...???

– Quarantadue – disse Pensiero Profondo, con infinita calma e solennità.

.....
– È stato un duro compito – disse pacato Pensiero Profondo.

– Quarantadue! – urlò Loonquawl. – È tutto quello che hai da dirci dopo sette milioni e mezzo di anni di lavoro?

– Ho controllato con grande minuziosità – disse il computer – e questa è la risposta veramente definitiva. Credo che, se devo essere franco, il problema stia nel fatto che voi non avete mai realmente saputo quale fosse la domanda".

A2. Datemi un punto d'appoggio...

Datemi un punto d'appoggio e solleverò il mondo.

(Archimede di Siracusa, 287-212 A.C.)

L'interpretazione della frase pronunciata da Archimede, vista nel contesto rappresentato dalle sue scoperte nel campo della meccanica, non può che essere letterale: con una leva, dato un punto d'appoggio (il fulcro), è possibile sollevare qualsiasi cosa. Difficile, se non impossibile, dire se Archimede intendesse spingersi oltre, e se la frase vada interpretata non alla lettera ma piuttosto in senso metaforico, come espressione della consapevolezza dell'Archimede scienziato del fatto che, arrivato al "fondamento", trovato il punto d'appoggio, sarebbe stato in grado, con la sua scienza, di spiegare il "come" e il "perché" di tutto.

Già prima di Archimede, e ancor più da lui in poi, generazioni e generazioni di filosofi si sono avvicinate nella "ricerca del fondamento", del punto d'appoggio definitivo sul quale edificare la Risposta alla Grande Domanda, come l'ha definita Douglas Adams²²⁴. Lasciando a ciascuno il giudizio sui singoli filosofi e sui risultati globali della ricerca del fondamento, certo è che da David Hume in poi si è progressivamente fatta strada una visione della realtà che ha portato a un ribaltamento della prospettiva: dalla "ricerca del fondamento" alla scoperta della "mancanza del fondamento". Sto parlando di "fondamento" nella spiegazione scientifica. È a questo che si riferisce il libro di Guzzardi²²⁵.



Nel primo capitolo della prima parte del libro, dal titolo "Riforma della fisica e forma dello spazio", Guzzardi prende lo spunto dalla "nuova formulazione" dei fondamenti della fisica proposta dallo scienziato tedesco Ernst Mach²²⁶ nella seconda metà del 1800. "La fisica newtoniana si reggeva su grandezze irrelative che

[224] Vedi A1 - *La Risposta alla Grande Domanda*.

[225] Luca Guzzardi. *Lo sguardo muto delle cose - Oggettività e scienza nell'età della crisi*. Raffaello Cortina Editore, Milano, 2010, ISBN 978-88-6030-325-7.

[226] Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach (Brno, 18 febbraio 1838 - Haar, 19 febbraio 1916).

definivano tutte le altre, chiudendole in un unico sistema di riferimento: spazio assoluto, tempo assoluto. Ora, Mach proponeva di abbandonare qualsiasi nozione assolutistica e di definire tutti i termini in maniera relazionale (operativa), misurandoli gli uni con gli altri; in breve, di utilizzare i corpi come veri e propri sistemi di riferimento gli uni per gli altri, anziché come "contenuti" di un unico sistema. Non diversamente dalla statica antica, la meccanica newtoniana aveva bisogno di un punto d'appoggio per reggere il mondo ... invece, a parere di Mach, poteva benissimo darsi che il mondo si reggesse da sé!"

Carl Gottfried Neumann²²⁷ aveva un proposito di riforma non meno ambizioso di quello di Mach: e che era, come dice Guzzardi *"...la ricerca per via matematica dell'unità di misura del Cosmo – una sorta di gnomone universale, un metro di paragone in base a cui effettuare tutte le misure possibili, in modo da calcolare gli infiniti moti dell'Universo. A esso e a nient'altro si sarebbe dovuto riferire, volta per volta, ogni sistema di riferimento relativo"*. E continua Guzzardi, citando Neumann: *"... Come primo principio della teoria di Galilei-Newton bisognerebbe imporre il seguente enunciato: in un qualsiasi luogo sconosciuto dell'Universo è presente un corpo - e precisamente un corpo assolutamente rigido; un corpo la cui figura e le cui dimensioni sono immutabili per tutti i tempi. Mi sia concesso di designare in breve questo corpo come corpo alfa. Bisognerebbe pure aggiungere che per moto di un punto non si deve intendere il suo cambiamento di posizione rispetto alla Terra o al Sole, bensì il suo cambiamento di posizione nei confronti di tale corpo alfa"*.

Aristotele nella sua *"Fisica"* asseriva che lo stato naturale dei corpi è la quiete, ossia l'assenza di moto, e che qualsiasi oggetto in movimento tende a rallentare fino a fermarsi, a meno che non venga spinto a continuare il suo movimento.

Isaac Newton nei suoi *"Philosophiae Naturalis Principia Mathematica"* pone alla base delle leggi del movimento tre assiomi, il primo dei quali, il principio di inerzia, recita: *"Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme se nessuna forza esterna interviene per cambiare tale stato"*. È il ribaltamento logico rispetto ad Aristotele. E sta alla base della straordinaria capacità descrittiva e predittiva della rivoluzione della fisica (meccanica) introdotta da Newton. Ma nel XIX secolo qualcosa comincia a scricchiolare. Mach e Neumann partono dallo stesso identico problema: il principio di inerzia. Nel quale è implicito un termine di paragone, un sistema di riferimento sulla cui base misurare lo stato di moto degli oggetti: **stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, sì, ma rispetto a cosa?** Sembra una domanda innocente, ma porta uno sconquasso nella fisica. Mach e Neumann arrivano a conclusioni diametralmente opposte. Neumann ritiene che *"...o tutto il moto è assoluto [cioè riferibile a un tempo e a uno spazio assoluti], oppure la nostra legge d'inerzia è espressa in maniera erronea..."*. E la difficoltà a rinunciare a questa idea di spazio e tempo come contenitori della realtà, come riferimenti eterni e assoluti, è testimoniata dalla sua sopravvivenza nel concetto di etere, un mezzo che permea il cosmo, il riferimento assoluto che dava ragione a Neumann e che, insieme a molte altre congetture, entra nel dibattito sui fondamenti della fisica, che si sta preparando a una straordinaria rivoluzione. Per Mach invece il problema va affrontato (sarà poi Einstein a risolverlo) in modo diametralmente opposto: *"... l'assenza di un sistema di riferimento non è altro che la conseguenza di una concezione rigidamente deterministica: ogni corpo è condizionato da tutti i corpi, che, vincolati gli uni agli altri, compongono un sistema autoreferenziale di relazioni interdipendenti ... la macchina del mondo conosce solo movimenti relativi, mentre qualsiasi "assoluto" coinciderebbe con l'Universo stesso, osservato da questo o da quel punto..."*.

Nella seconda parte del libro il tema epistemologico riprende fin dal titolo del primo capitolo *"Il come e il perché"* e dalla citazione di John von Neumann che lo apre: *"Anzitutto, dobbiamo sottolineare un'affermazione che sono certo avere già sentita altre volte, ma che non bisogna stancarsi di ripetere. E cioè che le scienze non cercano di spiegare e nemmeno di interpretare, ma si preoccupano soprattutto di elaborare modelli. Per modello si intende una costruzione matematica che, con l'aggiunta di alcune interpretazione verbali, descrive i fenomeni osservati..."*. E la citazione di von Neumann consente a Guzzardi di entrare nel tema centrale del libro, che ne occupa tutta la seconda parte, e che Guzzardi sviluppa con

[227] Carl Gottfried Neumann (Königsberg, 7 maggio 1832 - Lipsia, 27 marzo 1925).

chiarezza esemplare. Spiegare o descrivere? “... ma che differenza c'è tra le due attività? Descrivere dovrebbe significare, grosso modo, dire come stanno le cose, mentre una spiegazione dovrebbe aggiungere i motivi per cui le cose stanno così, riportando uno stato di cose a un altro, in qualche modo più fondamentale o più chiaro”. Continua Guzzardi: “... In realtà, come aveva visto Kant, per ottenere una spiegazione totale del mondo – un spiegazione che non lasci “residui” d'inspiegabilità – bisognerebbe afferrare un fondamento o una struttura fondamentale che, dispiegandosi quasi per cerchi concentrici nella realtà e riempiendosi così di contenuti, venisse a coincidere, appunto, con il mondo. Venuta meno, però, l'idea dell'unicità del sistema di riferimento e riconosciuta la radicale indistinguibilità di assoluto e relativo, come ricondurre ogni cerchio a un centro presunto comune? ... “Spiegare” significherà allora riportare un centro all'altro – senza che vi sia a priori la certezza kantiana (o neokantiana) che da qualche parte si annidi un centro più definitivo degli altri”.

Che chiarisce Guzzardi: “Dal punto di vista della totalità dei fenomeni, per dirla con Mach, non bisogna illudersi di trovare teorie che costituiscano il fondamento o una parte della realtà cioè che risalgono al perché ... Le teorie definiscono aspetti della realtà, nessuno dei quali è prioritario (altrimenti, sarebbe un fondamento)”.

Questo conduce anche a rivedere la nozione tradizionale di legge di natura. “Dal punto di vista della descrizione, sosteneva il chimico Wilhelm Ostwald, “non è lecito interpretare una legge di natura come un comando [Befehl], bensì solo come un resoconto [Bericht]; essa non comanda [befiehlt] cosa deve accadere, ma rende conto [berichtet] di quello che di fatto accade. Le metafora della legge, come è stato spesso notato, è di per sé fuorviante. Se la si interpreta come un comando, la si reputa qualcosa che precede i fenomeni in una sterminata anteriorità logica, che dice loro come comportarsi. La legge stabilirebbe l'unica struttura possibile degli eventi naturali con la voce ... del fondamento”.

Ma non è così. La scienza spiega il come, senza potere spiegare il perché. Ma non per questo funziona meno bene.

Su queste basi negli ultimi due capitoli Guzzardi sviluppa la tesi del libro fino alle conclusioni finali: “Perché opporre, come ho fatto sin dalle prime pagine di questo libro, la ricerca di sistemi di riferimento privilegiati ... all'elaborazione di descrizioni sulla base di analogie, ovvero all'elaborazione di modelli? In fondo, prendendo in considerazione la possibilità di dare descrizioni equivalenti del mondo non si approda a granché, se non ad assodare che è legittimo “dire i fenomeni con altre parole”. Perché, allora, preferire un'immagine della scienza come descrizione a una - forse più usuale, certo meno problematica - come spiegazione attraverso rapporti di causa-effetto, in grado di risalire, sia pure come idea limite, a una struttura a priori definitiva? Perché preferire a una sana ricerca di poche cause da cui far sgorgare la molteplicità del reale un atteggiamento modellistico ove, quasi per partito preso, si ammette che fra le cose ci possono sì essere analogie, ma non una radice comune a monte di tutte le analogie?”.

La risposta di Guzzardi a questa domanda, che lascio alla lettura del libro, è chiara, e porta un contributo fondamentale alla comprensione della capacità della scienza di evolvere in un continuo rinnovamento, sempre collegata all'inesauribile bisogno dell'uomo di cogliere i molteplici aspetti del mondo. E comunque, come direbbe Anassimandro²²⁸, se il punto d'appoggio per sollevare la Terra non lo si trova, è perché la Terra galleggia nello spazio...

[228] Carlo Rovelli. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, p. 49.

**HISTORIÆ COELESTIS
BRITANNICÆ
VOLUMEN TERTIUM.**

Complectens

PRÆFATIONEM spatiosam (sive in Stellarum
Fixarum Catalogum PROLEGOMENA) quæ brevem
ASTRONOMIÆ *Historiam* præbet, atque Descrip-
tionem *Observationum* peractarum, & *Organorum*
adhibitorum tum a pristinis *Astronomis*, tum

In OBSERVATORIO Regio GRENVICENSIS.

Deinceps

FIXARUM *Catalogum* a *Ptolemæo*, *Uleg Beig*, *Tychone*
Brabæo, *Gulielmo Hessiæ Landtgravio*, ac *Hevelio* constructum.

Demum

Novum ac amplissimum CATALOGUM, *Reclarum Ad-*
scensionum, *Distantiarum a Polo*, *Longitudinum*, *Latitudinum*, &
Stellarum *Fixarum Magnitudinum*: una cum *Variationibus*
Reclarum Adscensionum, & *Polarium Distantiarum*, dum suas
mutant *Longitudines* uno Gradu.

Quibus adnexus est

FIXARUM quarundam *Australium* Catalogus, in nostro *Hemisphærio*
non adspectabilem.

Denique

TABULÆ amplissimæ ad inveniendas FIXARUM, & PLANETARUM
Longitudines, & *Latitudines* per *Inspectionem*, *Datis*, duntaxat,
earum *Reclis Adscensionibus*, ac *Distantiis* a POLO.

A JOANNE FLAMSTEEDIO, A. R.

LONDINI: Typis H. MEERE. MDCCXXV.

CLAUDII PTOLEMÆI

Regularis Dispositio Constellationum Coelestium:

S I V E,

FIXARUM CATALOGUS.

E Græco Sermonè in Latinum Redditus, &
Collatione facta cum M.S. *Oxonienfi* editisq; Versio-
nibus Trapezuntii, Gaurici, Copernici & Clavii;
& cum ipsis Cælis, pluribus in Locis Emendatus.
Cui etiam adjicitur *Ulugh Beighi* Catalogus.

A JOHANNE FLAMSTEEDIO, M.R.

A

Flamsteed riporta qui i dati di Claudio Tolomeo con l'aggiunta dei dati di Ulug Bek (Mīrzā Mohammed Taragai bin Shāhrukh; Soltaniyeh, 22 marzo 1394 - 27 ottobre 1449).

2

Ptolemai & Ulugh Beighi.

In Constellatione URSAE MINORIS.														
Urbe	STELLARUM Denominatio.	Superf. Cae.	Ptole.		Ul. Beig.		Magnitud.							
			Longit.	Latit.	Longit.	Latit.								
			s	b	o	o								
1	Quae in Extremitate Caudae, <i>Polaris</i> —————	α	11	0	10	66	00	B	11	20	19	66	27	B
2	Poſthanc in Cauda —————	β	2	30	70	00			22	25	70	00		
3	Ante Eduſionem Caudae —————	γ	16	00	74	0		⊙	0	55	73	45		
4	Australis praecedentis lateris quadrilateri —————	γ	29	20	75	40			17	13	75	36		
5	Ejufdem lateris Borea —————	β	3	40	77	40			24	15	78	00		
6	Australis fequentis lateris □' —————	π	17	20	72	50			5	25	73	00		
7	Ejufdem lateris Borea —————	ζ	26	10	74	50			13	55	75	9		
8	Circa URSAM Informis —————	α	13	00	71	10			0	55	71	45		
In Constellatione URSAE MAJORIS.														
1	Quae in Roſtro —————	α	11	25	20	39	50	B	⊙	14	55	40	15	B
2	Illarum inter duos Oculos praecedens —————	A	25	50	43	0			15	43	43	48		
3	fequens —————	π	26	20	43	0			16	34	43	45		
4	In Fronte duarum praecedens —————	p	26	10	47	10			16	25	47	54		
5	fequens —————	σ	27	40	47	0			17	43	47	51		
6	In Extremitate Auris praecedentis —————	d	28	10	50	30			18	25	51	18		
7	Duarum in Collo praecedens —————	τ	⊙	0	30	43	50		19	43	44	42		
8	fequens —————	b	2	30	44	20			22	49	44	54		
9	Duarum in Pectore Boreali —————	v	9	04	44	0			5	1	19	38		
10	Australior —————	⊙	11	04	42	0			⊙	28	31	42	39	
11	In ſiniſtro Genu —————	β	10	40	35	0			29	22	34	45		
12	In ſiniſtro praecedente Pede Borea —————	i	5	30	29	20			24	55	29	21		
13	Auftrina —————	κ	6	20	28	20			25	43	29	0		
14	Supra Genu dextrum —————	e	5	40	36	0			25	16	30	0		
15	Infra Genu dextrum —————	f	5	50	32	20			25	25	33	21		
16	In □' ſuper coſtis, vel in Humero —————	l	17	40	49	0			7	25	49	24		
17	Ad latus, vel in Ventre —————	⊙	22	10	44	30			11	37	45	9		
18	In Eduſione Caudae —————	δ	3	10	51	0			23	25	51	30		
19	Reliqua in ſiniſtro poſteriore Femore —————	γ	3	04	6	30			22	31	47	15		
20	Duarum in ſiniſtro poſteriore Pede, praecedens —————	λ	⊙	22	40	29	20		11	40	29	45		
21	fequens —————	μ	24	10	28	15			13	7	28	42		
22	In Poplite ſiniſtro —————	ν	1	40	35	15			20	46	35	15		
23	In dextro poſteriore Pede Borea —————	ν	9	50	25	50			17	0	7	26		
24	Auftrina —————	ξ	10	20	25	0			0	25	24	45		
25	Trium in Cauda ab Eduſione prima —————	η	12	10	53	30			0	31	54	9		
26	media —————	ζ	18	05	5	40			8	45	6	12		
27	In Extremitate Caudae tertia —————	η	29	50	54	0			19	10	54	9		
Circa URSAM MAJOREM Informes.														
1	Quae ſub Cauda ad Auſtrum ab ea diſtat —————	δ	27	50	39	45	B		16	55	40	15	B	
2	Hanc praecedat obſcurior —————		20	10	41	20			10	44	39			
3	Inter Pedes priores Ursa & Caput Leonis, Auftrina —————	⊙	15	0	17	15			4	1	17	33		
4	Hac borealior —————		13	20	19	10			2	37	19	42		
5	Reliquarum trium obſcuriorum fequens —————		16	10	20	0			5	40	20	18	obf.	
6	hanc praedit —————		12	10	22	50			5	10	23	45	obf.	
7	Hanc adhuc praedit —————		11	10	23	0			⊙	29	31	29	15	
8	Inter Pedes priores & Geminos —————	⊙	22	15					19	31	23	0	obf.	

In Constellatione PISCIS AUSTRINI						
Ordo	STELLARUM Denominatio.	Ptol. Longit.	Ptol. Latit.	Ul. Beighi		Magnitudo
				Longit.	Latit.	
	<i>Informes.</i>					
1	Quæ Trium Lucidarum præcedentium Piscem antecedens	8 0 22	20 A			
2	media	11 10 22	10			
3	sequens	14 0 21	10			
4	Hanc præcedit obscura	12 0 20	50			
5	Duarum Reliquarum Septentrion. versus, Australior	13 50 17	0			
6	Borealior	13 50 14	50			

TYCHONIS BRAHÆI
Catalogus Fixarum Stellarum,
 Ad ANNUM completum 1600.
 Cui etiam adjicitur,
Principis HASSIÆ
Catalogus Stellarum Fixarum,
 Ad ANNUM 1593.

In Constellatione ARIETIS.							
STELLARUM Denominatio.	Bayeri Char.	TYCHONIS.		Magnitudo	PRINC. HASS.		Magnitudo
		Longitudo	Latitudo		Longitudo	Latitudo.	
Australis in præcedente Cornu	γ	27 37	7 8½ B	4	27 30 20	7 5 40 B	3
Borealis ac sequens in eodem Cornu	β	28 23	8 29	4	28 17 30	8 25 0	3
Lucida in Vertice Capitis	α	2 6	9 57	3	2 1 58 12	9 54 12	2
In ridu duarum Borea	π	2 34	7 23	6			
Quæ magis ad Austrum	θ	3 20	5 42½	6			
Quæ in Cervice	ι	27 57	5 24	5			

Flamsteed riporta qui i dati di Tycho Brahe (Knutstorp, 14 dicembre 1546 - Praga, 24 ottobre 1601) e di Guglielmo IV langravio di Assia-Cassel (Cassel 1532 - ivi 1592).

FIXARUM CATALOGI.

29

In Constellatione SAGITTARII.							
STELLARUM Denominatio.	Signi Char.	TYCHONIS.			PRINC. HASS.		
		Longitudo	Latitudo	Magnitudo	Longitudo	Latitudo	Magnitudo
		S O / " "	O / " "	B	S O / " "	O / " "	B
Obscura in inferiori contactu ad Ortum	f	W 19 24	1 25	B 6			
Obscura in dextro cubito	b	16 26	3 8	A 6			
In Constellatione CAPRICORNI.							
Borealis trium in Cornu præcedente	ξ	W 28 18	7 2½	B 3	W 28 10 15	7 1 0	B 3
Media	α	28 51	6 53	6			
Australis	β	28 31	4 41	3	28 22 30	4 39 30	3
Nebulosa superius Cornu præcedens		27 8	7 16	6			
Nebulosa Occident. basis Δ in Fronte	π	28 57	0 48½	Neb			
Nebulosa Orientalis	ο	29 41	0 28	Neb			
Suprema in eodem Triangulo	ρ	29 37	1 20	6			
Nebulosa præcedens in Fronte	σ	27 13	0 24	Neb			
In Cervice duarum Borea	τ	2 49	3 25	6			
Australis	υ	2 6	0 15	6			
Præcedens in dextro Genu obscura	↓	1 47	6 58	A 6			
Sequens in sinistro Genu	ω	2 28	9 2	6			
In sinistro Armo	δ	6 13	8 8	6			
Infima in Ventre	ζ	11 24½	6 56	5			
Sequens Borea duarum, contig. sub Alvo	η	12 0	6 29	6			
Trium in medio Ventre Orientalior	φ	9 23	4 35	6			
Infima earum	χ	7 31	4 27	6			
Septentrionalis trium	π	7 18	3 1	5			
Duarum in Dorso anterior	θ	8 21	0 29	5			
Sequens earundem in Dorso	ι	12 7	1 16½	5			
Antecedens duarum ad illa	ε	14 25	4 48	4			
Sequens earundem	κ	16 6	4 49	5			
Duarum lucidarum in Cauda præcedens	μ	16 14	2 26	3	16 4 36	2 29 48	A 3
Sequens	ν	18 0	2 29	3	17 50 50	2 30 24	3
Antecedens in Cauda superiori	λ	18 14	2 22	B 5			
Reliquarum in superiori Cauda Australis	μ	20 27	0 14½	A 5			
Præcedens hanc ad Septentrionem	δ	20 16	0 10	6			
Borea in Extremo Cauda	ι ad c	19 54	4 17	B 6			
In Constellatione AQUARII.							
In Capite	δ	22 6½	15 23	B 6			
In Humero dextro Clarior	α	27 49½	10 42	3	27 41	10 40 30	A 3
Obscurior & Australior	ο	26 35	9 11½	5			
In Humero sinistro	β	17 51	8 42	3	17 44 30	8 38 0	B 3
Quæ in Dorso sub Axilla	ε	18 38	6 0½	5			
Sequens & inferior, trium in sinistra Manu	γ	10 51	4 50	5			
Media	μ	7 28 30	8 19 0	B 5			
Antecedens lucidior	ε	6 12 0	8 10 0	4			
In Cubito dextro	γ	1 10 0	8 17 30	3	1 3 24	8 14 12	B 3
In dextra Manu Boreali	π	3 4 30	10 31 0	5	2 58 10	10 29 10	3
Reliquarum duarum Aust. præcedens	ζ	3 23 0	8 52 30	4	3 15 0	8 51 6	3
Sequens	η	4 53 0	8 10 0	4	4 45 0	8 8 20	3
In Cotyla dextra duarum præcedens	θ	27 45 0	2 46 0	4			
Sequens	ρ	28 31 0	2 29 30	6			
In dextro Femore	σ	29 53 0	1 10 0	A 5			
Quæ est ad Clunes	ι	23 13 0	2 0 0	4			
Australis in dextra Tibia, <i>Sebat</i>	δ	3 22 0	8 10 0	3	3 11 15	8 10 12	A 3
Borea, seu quæ ad Genu est	τ	3 5 0	5 37 0	5	2 55 40	5 28 26	4

H

Flamsteed riporta qui i dati di Giovanni EVELIO (Danzica, 26 gennaio 1611 - 1687).

CATALOGUS FIXARUM 45							
In Constellatione CENTAURI.							
STELLARUM Denominatio.	Regr. Star.	TICHONIS		Magnitud.	PRINC. HASS.		Magnitud.
		Longitudo	Latitudo		Longitudo	Latitudo	
		s o. ' "	o ' "		s o. ' "	o ' "	
In Capite de quatuor Australiana	III	1 27	0 21 49	0 5			
Quæ magis in Boream		0 59	0 19 8	0 5			
Inter mediarum duarum præcedens		0 12	0 20 51	0 5			
Sequens & Reliqua de quatuor		1 3	0 20 12	0 5			

JOHANNIS HEVELII

CATALOGUS

STELLARUM

FIXARUM

Ad

ANNUM CHRISTI

1660

completum.

In Constellatione ARIETIS.							
Ordo	STELLARUM Denominatio.	Regr. Star.	Ascensio Recta	Distantia a Polo B	Longitudo	Latitudo.	Mag. Hæc.
Tychon.							
	Ante Collum superior		21 4 47	71 23 38	26 26 55	9 0 41	6
	Ante Collum inferior		22 28 39	74 41 38	26 27 15	5 27 3	6
1	Prima Arietis	γ	23 44 33	72 22 0	28 27 3	7 10 2	4
2	Secunda Arietis	β	24 0 1	70 51 29	29 14 27	8 28 45	3
6	In Collo sub Cornu	ι	24 42 23	73 50 20	28 46 17	5 27 33	
	Supra Vert. inter utrumq; Cornu præced.	λ	24 44 45	68 2 50	0 57	210 50 3	

M



STELLARUM
 INERRANTIUM
CATALOGUS BRITANNICUS,
 Ad Annum Christi Completum, 1689.
 Ab Observationibus GRENOVICI in OBSERVATORIO Regio habitis.
 Assiduis Vigiljs, Cura, & Studio
JOHANNIS FLAMSTEEDII, Astronom. Reg.
 Deducatus & Supputatus.

In Constellatione ARIETIS.

ORDO	STELLARUM Denominatio.	Ascensio Recta.	Distantia à Polo B.	Longitudo.	Latitudo.	Variatio.		Magnitudo
						Ase. R.	D. à P.	
Procl.	Tycho.	0' "	0' "	0' "	0' "	" "	" "	
		20 46 06	17 15	26 58 25	11 4 58 B	58	7 22	5 7. 5
		21 25 45	15 25	26 48 15	9 1 26 B	57	52 22	19 7. 6
		22 26 15	10 55	26 36 18	5 57 3 B	57	31 22	12 6
		22 51 15	74 36 55	26 49 4	5 23 59 B	57	28 22	07 7. 6
1	Quæ in Cornu duarum præcedens	24 8 30	71 14 45	28 51 C	7 8 58 B	58	02 21	55 4
2	Sequens & Borea est	24 23 30	70 43 55	29 37 59	8 28 16 B	58	22 21	50 3
		24 39 45	67 57 45	28 54 20	10 57 12 B	58	57 21	49 tel.
5	In Cervice	25 7 07	43 15	29 10 57	5 26 12 B	57	54 21	44 6
6	In Vertice	25 11 07	56 25	29 12 15	10 47 47 B	59	00 21	44 5
		26 32 30	65 33 5	3 26 14	12 31 52 B	59	45 21	29 6. 7
		27 19 30	65 48 15	4 2 12	12 4 2 B	59	48 21	20 6
	Intra Lucidam	27 19 30	68 51 5	2 55 8	9 13 29 B	59	10 21	21 6. 5
Inf. 1	Infor. sup. Caput, Lucida γ	27 26 30	68 1 45	3 19 18	9 57 12 B	59	22 21	20 2
		27 57 30	65 33 15	4 40 46	12 5 32 B	59	50 21	12 6
		28 22 30	71 58 45	2 43 49	5 56 58 B	58	30 21	08 6
		28 24 45	65 32 40	5 4 33	11 57 0 B	60	4 21	08 8
3	In Rostro duarum Borea	28 52 30	70 16 15	3 46 50	7 22 45 B	59	21 21	02 6
4		28 58 45	71 33 15	3 25 14	6 8 45 B	58	46 21	00 7

STELLARUM INERRANTIUM.

In Constellatione CAPRICORNII.																				
ORDO	STELLARUM Denominatio.	Bayer Char.	Ascensio Recta		Distantia a Polo B		Longitudo			Latitudo			Varia. Afc. R.	Varia. D. a P.	Magnitud.					
			0.	'	0.	'	8	0	'	0	'	'				"				
14	Quæ Duarum contiguarum sub Ventre præcedens	s	317	13	45	113	43	5	12	36	49	6	57	36	A	62	18	17	23	5
			317	24	30	112	29	45	13	8	8	5	50	27			61	51	17	27
15	Duarum sub Ventre sequens	b	317	45	16	113	7	5	13	15	26	6	31	45		62	0	17	32	6
			319	21	10	111	26	15	15	10	57	5	22	15		61	15	17	59	6
			319	21	45	111	35	35	15	8	37	5	31	19		61	13	17	59	6
21	Duarum in Australi pinna præcedens	a	319	55	30	110	49	25	15	52	52	4	56	36		61	0	18	10	4
23	Duarum in educatione Caudæ præcedens	y	320	43	30	108	1	45	17	27	42	2	31	18		60	3	18	23	4
22	De quatuor in Borea parte Caudæ	1 ad d	321	4	10	114	37	45	15	42	16	8	53	38		62	5	18	27	6
			321	10	10	105	24	0	18	40	49	0	9	13		59	14	18	29	6
22	Duarum in Australi pinna sequens	x	321	20	0	110	14	55	17	19	5	4	48	36		60	39	18	32	5
25	De quatuor in extrema Caudæ, Borea	2 ad c	321	32	10	105	47	5	18	53	46	0	37	44		59	18	18	35	6
			321	46	10	106	8	5	19	0	0	1	1	54		59	23	18	39	6
28	De quatuor in extrema Caudæ, Borea	1 ad c	322	6	40	100	28	55	21	5	31	4	13	51	B	57	47	18	44	6
27	De quatuor in Borea parte Caudæ Media	2 ad c	322	25	40	100	40	50	21	19	31	3	56	38		57	51	18	49	6
			322	27	0	102	46	5	20	41	4	1	57	24		58	23	18	49	5
24	Duarum in educatione Caudæ sequens	d	322	29	0	107	29	45	19	13	14	2	32	19	A	59	42	18	51	3
26	De quatuor in Borea parte Caudæ Australi	u	322	29	10	103	5	25	20	36	58	1	38	24	B	58	29	18	48	6
			324	5	30	104	59	5	21	29	12	0	39	10	A	58	52	19	15	5
In Constellatione AQUARII.																				
8	Quæ est Trium super Vestimento Martis sinistra præcedens	e	305	53	0	90	34	35	8	6	58	18	16	36	B	55	15	13	52	6
			307	43	0	100	36	5	7	24	6	8	6	41		58	36	14	29	5
			307	50	10	96	7	55	8	38	46	12	24	42		57	9	14	30	5
7	Media	u	308	44	30	96	45	20	9	22	28	11	34	51		57	18	14	48	6
			308	55	0	96	38	25	9	34	34	11	38	54		57	15	14	51	6
			308	58	40	100	7	5	8	44	13	8	16	10		58	24	14	54	5
			310	1	15	100	51	5	9	32	59	7	17	53		58	35	15	13	6
6	Trium dictarum sequens	i	310	42	45	104	13	35	9	19	20	3	51	52		59	44	15	27	6
			311	0	10	104	42	30	9	28	11	3	19	30		59	52	15	32	6
			311	1	15	96	39	30	11	37	44	11	5	6		57	12	15	34	6
6			311	2	40	95	53	35	11	51	38	11	49	0		56	56	15	33	6
			311	54	40	97	0	55	12	23	54	10	30	14		57	16	15	49	6
			313	10	10	102	35	45	12	4	13	4	47	48		59	0	16	13	5
6			314	54	30	100	28	20	14	18	30	6	21	43		58	13	16	44	6
			315	28	10	95	47	5	16	12	10	10	41	41		56	48	16	54	6
			316	12	0	95	51	5	16	53	23	10	25	12		56	46	17	6	6
6			316	34	15	100	36	35	15	50	33	5	45	41		58	10	17	15	6
			316	48	10	104	10	30	15	1	16	2	17	3		59	16	17	16	6
			317	7	40	101	2	15	16	14	35	5	11	33		58	16	17	23	6
			317	10	0	94	42	0	18	10	20	11	14	10		56	25	17	24	6

CATALOGUS BRITANNICUS

In Constellatione PISCIIUM.

ORDO		STELLARUM Denominatio.	Bayer. Char.	Ascensio Recta.		Distantia à Polo B.		Longitudo.			Latitudo.			Varia. Varia. Asc. R. D. à P.		Magnitudo.					
Post.	Trid.			o	'	"	o	'	o	'	"	o	'	"	'		"				
32	32	Quæ Duarum in Ventre Piscis borei, Borea est	v	15	36	50	64	22	55	24	27	10	17	26	56	B	58	0	23	5	5
	35			16	0	30	62	53	50	25	25	21	18	39	53	B	58	14	23	0	6
23	23	Borea Trium ordine jacen- tium in Lino boreo & in extrema Cauda	p	16	47	30	73	48	45	21	40	54	8	20	43	B	56	55	22	58	7
				17	24	0	72	27	40	22	45	12	9	22	3	B	57	10	22	52	5
				17	30	10	72	23	10	22	52	27	9	23	58	B	57	13	22	52	5
				17	54	10	86	15	15	17	56	0	3	34	52	A	55	27	22	49	7
16	16	Trium post flexum Lini præcedens Trium media in Lino boreo	μ	18	13	30	84	19	50	18	57	55	1	54	52	A	55	43	22	45	6.7
				18	17	40	73	15	55	23	14	23	8	17	49	B	57	10	22	45	6.7
				18	29	30	85	28	25	18	46	40	3	4	25	A	55	36	22	43	5
22	22			18	44	30	76	16	20	22	29	20	5	21	7	B	56	47	22	42	4
				19	36	30	79	2	30	22	13	38	2	28	5	B	56	28	22	35	6
21	21	Trium dictarum Austrina	π	19	48	0	76	56	20	23	11	35	4	20	47	B	56	48	22	32	6
				20	10	40	79	27	45	22	35	18	1	52	5	B	56	29	22	31	5
				20	38	30	74	58	20	24	41	29	5	51	46	B	57	12	22	26	8.7
17	17	Trium post Flexum Media	ι	20	40	0	77	19	15	23	50	6	3	40	32	B	56	45	22	26	6.7
				20	45	0	75	11	30	24	42	32	5	37	12	B	57	11	22	24	6.7
				21	20	10	86	6	5	21	10	37	4	43	12	A	55	36	22	20	5
				21	25	10	71	15	30	26	47	42	9	1	34	B	57	50	22	20	6.7
				22	0	30	68	28	10	28	22	53	11	24	8	B	58	25	22	14	6
				22	1	0	71	29	0	27	14	27	8	36	20	B	57	52	22	15	8
20	20	In Lino boreo a connexu præcedens Trium post Flexum sequens	o	22	16	30	82	25	25	23	24	40	1	38	58	A	56	12	22	13	5
				24	23	30	88	22	0	23	11	18	7	55	45	A	55	16	21	50	6
				26	1	0	88	24	35	24	42	5	8	35	5	A	55	19	21	34	6.7
19	19	In Nodo duorum Linorum	α	26	30	45	88	45	20	25	2	23	9	5	10	A	55	14	21	30	3

FIXARUM
IN
CONSTELLATIONIBUS
EXTRA
Zodiacum ad Austrum Sitis.

In Constellatione CETI.

ORDO		STELLARUM Denominatio.	Bayer. Char.	Ascensio Recta.		Distantia à Polo B.		Longitudo.			Latitudo.			Varia. Varia. Asc. R. D. à P.		Magnitudo.					
Post.	Trid.			o	'	"	o	'	o	'	"	o	'	"	'		"				
Inf.	1	Quæ est	ε	355	20	30	107	33	55	18	37	9	14	14	25	A	55	43	23	48	6
				356	57	30	109	3	55	19	25	37	16	14	22		55	33	23	51	4.5
				357	9	30	102	14	10	22	28	40	10	5	0		55	20	23	52	0

CATALOGUS BRITANNICUS

In Constellatione CASSIOPEÆ.									
ORDO	STELLARUM Denominatio.	Ascensio. Recta.	Distantia à Polo B.	Longitudo.	Latitudo.	Varia. Afc. R.	Varia. D. d P.	Magnitud.	
Pos.		o ' "	o ' "	o ' "	o ' "	' " "	' " "		
13 13	Quæ In summitate Sedis	354 46 30	34 13 0	26 46 24	51 9 17 B	51 37	23 45	6	
10 10	In dextro Cubito	355 53 6	35 57 40	25 50 41	49 23 50	52 28	23 50	6	
		357 9 0	29 26 0	3 28 59	53 57 10	52 39	23 50	6	
12 12	In medio Sedis	357 41 0	27 31 10	6 4 35	55 10 6	52 45	23 52	6	
		358 14 0	32 33 20	0 48 6	51 13 50	53 33	23 52	6	
		2 1 0	29 52 50	5 59 15	52 1 20	56 10	23 50	6	
22		3 32 30	25 11 45	12 9 24	55 1 40	57 43	23 52	6	
11 11	Supra Scabellum Throni	3 43 30	37 11 10	0 22 23	45 38 50	56 45	23 47	5	
		3 58 0	28 46 40	8 20 19	52 14 40	57 38	23 47	4	
1 1	In Capite	4 13 0	24 57 50	12 47 47	54 59 48	58 17	23 50	6	
2 2	In Pectore Schedæ	5 0 0	37 47 50	0 47 38	44 42 13	57 26	23 50	4	
24 26	In Virga, Penultima est Extrema	5 49 0	35 9 45	3 30 22	46 35 53	58 9	23 46	3	
		6 12 45	41 11 40	29 10 44	25 50	57 44	23 47	6	
		6 36 0	44 40 30	27 6 18	38 19 0	57 35	23 46	6	
		6 39 0	16 43 20	25 15 54	59 53 43	63 23	23 47	6	
25		6 55 0	43 24 30	28 10 25	39 17 45	57 50	23 44	6	
3 3	In Cingulo	7 11 30	16 51 40	25 14 30	59 41 10	64 3	23 40	6	
		7 40 30	33 50 10	5 52 56	47 4 19	59 25	23 41	4	
23		7 51 0	40 43 30	0 41 50	41 16 5	58 33	23 41	5	
4 4	In Coxis	9 29 30	32 42 30	8 2 23	47 24 44	60 47	23 36	7	
		9 35 30	30 57 20	9 39 54	47 56	61 17	23 35	3	
21		9 38 30	32 29 40	8 19 26	47 32 30	60 57	23 34	6	
9 9	In sinistro Brachio	11 29 0	26 38 0	14 55 6	51 39 20	63 58	23 26	6	
			36 36 20					5	
8 8	In sinistro Brachio infra Anconem	12 32 30	22 53 0	19 30 36	54 13 40	66 38	23 20	6	
		13 0 0	26 38 0	15 46 12	51 13 50	65 11	23 19	6	
		13 8 30	36 31 30	-7 28 29	43 5 15	62 4	23 18	4	
22		15 14 30	33 24 30	11 13 16	45 4 7	64 11	23 6	7	
		15 26 10	26 38 20					6	
15 17	In Genibus	16 10 0	23 30 0	20 39 40	52 49 50	69 40	22 59	5.6	
		16 30 0	31 23 0	13 37 15	46 23 26	65 43	22 57	3	
		17 15 0	21 23 0	23 28 44	54 11 20	72 20	22 52	6	
13		18 31 30	32 22 10	14 8 54	58 55	66 35	22 44	6	
		18 41 0	18 33 30	27 23 27	55 58 51	76 51	22 46	6	
		19 56 0	18 57 50	27 26 30	55 24 40	77 43	22 33	6	
18		19 57 30	20 58 10	25 12 4	53 52 19	75 27	22 33	6	
		20 1 0	23 33 10	22 34 53	51 50 12	73 3	22 31	6	
		20 42 30	31 1 40	16 31 55	45 30 16	68 3	22 26	6	
6 6	In Crure	23 7 0	27 52 20	20 26 48	47 31 50	72 12	22 4 3		
		23 10 0	22 51 50	24 51 8	51 38 50	76 32	22 2 6		
		24 0 0	14 14 30	4 49 7	58 6 56	91 40	21 56 5		
		24 20 0	20 36 5	27 38 26	53 12 7	80 16	21 52 5		
		24 24 0	15 24 56	3 28 12	57 11 10	89 20	21 53 6		
		24 29 0	19 6 26	29 15 53	54 21 4	82 32	21 50 4.5		
		24 55 0	16 56 0	1 51 18	55 56 45	86 50	21 48 6		
		25 4 0	27 7 20	22 10 15	47 40 34	74 12	21 47 7		
		25 7 30	26 37 20	22 56 15	48 5 0	74 40	21 46 7		
		25 52 0	19 56 40	29 0 43	52 24 15	82 40	21 38 6		
		27 40 0	24 57 50	25 21 24	48 53 6 B	78 8	21 18 6		
In Constellatione ANDROMEDÆ.									
23	Quæ extra præcedit tres in Manu dextra	341 55 30	40 19 30	3 29 27	43 45 38 B	48 34	22 41 3.4		
		342 6 0	48 53 30	3 57 22	44 3 8	48 23	22 43 6		

STELLARUM INERRANTIUM.

In Constellatione PISCIS AUSTRINI.

ORDO	STELLARUM Denominatio.	Ascensio Recta.	Distantia à Polo B.	Longitudo.			Latitudo.			Varia. Asc. R.	Varia. D. d. P.	Magnitudo.		
				o	'	"	o	'	"					
	Quæ est	310 31 20	123 25 30	4	5	10	14	37	12	67	12	15	22	4
		311 34 20	123 32 40	4	55	26	14	58	20	67	21	15	40	6
		313 34 00	118 50 40	7	56	28	10	55	40	64	41	15	20	6
		314 44 30	123 25 20	7	35	20	15	36	7	66	26	16	40	4.5
		317 34 00	122 32 10	9	56	05	15	22	36	65	30	17	23	6
		318 20 00	125 15 50	9	57	40	18	15	14	66	26	17	42	6
		319 29 45	124 23 20	11	12	10	17	43	27	65	49	17	58	6
		319 30 30	117 31 00	13	26	18	11	12	5	62	15	18	24	5
		321 34 30	124 23 30	12	54	28	18	17	15	65	24	18	35	4
11	Trium in Pinna borea præced.													
10	Media est	322 20 30	122 17 40	14	19	30	16	21	18	64	22	18	47	4
9	Sequens	325 24 45	119 54 20	17	57	48	14	21	20	62	42	19	36	6
		325 42 30	119 54 20	17	55	20	15	13	40	62	55	19	38	5
6	In Australi Pinna super Costis	326 35 15	121 22 10	18	8	10	16	51	45	63	13	19	49	6
		327 31 40	124 27 40	17	45	56	20	2	0	64	2	20	3	4
		327 57 00	124 1 50	18	16	36	19	45	20	63	47	20	8	5.6
	2 ^a in Ventre præcedens	329 8 40	119 16 30	21	3	20	15	40	40	62	3	20	25	4.5
	3 ^a in Australi ambitu Capitis præcedens	333 25 15	123 53 20	22	49	55	21	18	30	62	21	21	15	3
5	Ad Branchiam	335 50 10	118 38 00	26	58	40	17	14	18	60	29	21	43	3.4
		336 14 15	120 57 10	26	22	50	19	30	50	60	58	21	48	5
		337 5 30	116 50 20	28	45	50	16	0	10	59	52	21	56	6
		338 31 20	121 8 00	28	13	16	20	26	36	60	27	22	18	6
		338 46 00	124 29 20	26	58	06	23	36	10	61	7	22	12	5
		339 38 30	124 10 00	27	50	15	23	36	7	60	48	22	19	5
		340 5 00	121 14 45	29	29	02	1	4	56	60	7	22	24	1

FIXARUM
IN
CONSTELLATIONIBUS
EXTRA
Zodiacum ad Septentrionem Sitis.

In Constellatione CASSIOPEÆ.

ORDO	STELLARUM Denominatio.	Ascensio Recta.	Distantia à Polo B.	Longitudo.			Latitudo.			Varia. Asc. R.	Varia. D. d. P.	Magnitudo.		
				o	'	"	o	'	"					
	Quæ est	343 25 00	32 14 20	21	6	45	56	46	0	44	4	22	48	6
		344 7 30	32 20 00	21	29	16	56	26	10	44	32	22	55	7
		347 37 00	33 1 30	23	5	5	54	38	32	46	57	23	20	6
		347 49 30	29 24 30	27	42	49	57	10	12	45	53	23	17	5
		353 1 30	33 3 30	26	46	31	52	39	50	50	21	28	40	5
		353 31 00	29 29 50	1	9	40	55	7	45	50	1	28	43	6

CATALOGUS BRITANNICUS

In Constellatione CASSIOPEE.

ORDO	STELLARUM Denominatio.	Ascensio. Retra.	Distantia à Polo B.	Longitudo.			Latitudo.			Varia. Afc. R.	Varia. D. a P.	Magnitudo.
				o	'	"	o	'	"			
13 10	Quæ In summitate Sedis In dextro Cubito	β	354 46 30	34 13 0	26 46 24	51 9 17	17 B	51 37 23	45 6			6
		α	355 52 0	35 57 40	25 50 41	49 23 50		52 28 23	50 6			6
		γ	357 9 0	29 26 0	3 28 59	53 57 10		52 39 23	50 6			6
12 12	In medio Sedis	β	357 41 0	27 31 10	6 4	55 10 6		52 49 23	52 6			6
		α	358 14 0	32 33 20	0 48	51 13 50		53 33 23	52 3-2			6
		γ	2 1 0	29 52 50	5 59 15	52 1 20		56 10 23	50 6			6
22 11	Supra Scabellum Throni	λ	3 32 30	25 11 45	12 9 24	55 1 40		57 43 23	52 6			6
		μ	3 43 30	37 11 10	0 22	33 45 38 50		56 45 23	47 5			5
		κ	3 58 0	28 46 40	8 20 19	52 14 40		57 38 23	47 4			4
1 2	In Capite In Pectore Schedæ	ζ	4 13 0	24 57 50	12 47 47	54 59 48		58 17 23	50 6			6
		α	5 0 0	37 47 50	0 47	38 44 42 13		57 26 23	50 4			4
		ε	5 49 0	35 9 45	3 30 23	46 35 53		58 9 23	46 3			3
24 26	In Virga, Penultima est Extrema	ε	6 13 45	41 11 40	29 10	44 25 50		57 44 23	47 6			6
		τ	6 36 0	44 40 30	27 6	18 38 19 0		57 35 23	46 6			6
		σ	6 39 0	16 43 20	25 15	54 59 53 43		63 23 23	47 6			6
25 3	In Cingulo	ο	6 55 0	43 24 30	28 10	25 39 17 45		57 50 23	44 6			6
		η	7 11 30	16 51 40	25 14	30 59 41 10		64 3 23	40 6			6
		θ	7 40 30	33 50 10	5 52	56 47 4 19		59 25 23	41 4			4
23 4	In Coxis	ι	7 51 0	40 43 30	0 41	50 41 16 5		58 33 23	41 5			5
		υ	9 29 30	32 42 30	8 2	23 47 24 44		60 47 23	36 7			7
		ϕ	9 35 30	30 57 20	9 39	5 48 47 56		61 17 23	35 3			3
21 9	In sinistro Brachio	χ	9 38 30	32 29 40	8 19	26 47 32 20		60 57 23	34 6			6
		ψ	11 29 0	26 38 0	14 55	51 39 20		63 58 23	26 6			6
		μ		36 36 20								5
8 20	In sinistro Brachio infra Anconem	ν	12 32 30	22 53 0	19 30	36 54 13 40		66 38 23	20 6			6
		ξ	13 0 0	26 38 0	15 46	12 51 13 50		65 11 23	19 6			6
		ο	13 8 30	36 31 30	-7 28	29 43 5 15		62 4 23	18 4			4
15 5	In Genibus	π	15 14 30	33 24 30	11 13	16 45 4 7		64 11 23	6 6			6
		ρ	15 26 30	26 38 20								7
		σ	16 10 0	23 30 0	20 39	40 52 49 50		69 40 22	59 5-6			6
17 13		τ	16 30 0	31 23 0	13 37	15 46 23 26		65 43 22	57 3			3
		υ	17 15 0	21 23 0	23 28	44 54 11 20		72 20 22	52 6			6
		φ	18 31 30	32 22 10	14 8	54 58 55		66 35 22	44 6			6
18 6	In Crure	χ	18 41 0	18 33 30	27 23	27 55 58 51		76 51 22	46 6			6
		ψ	19 56 0	18 57 50	27 26	30 55 24 40		77 43 22	33 6			6
		ω	19 57 30	20 58 10	25 12	45 53 52 19		75 27 22	33 6			6
6 6		α	20 1 0	23 33 10	22 34	53 51 50 12		73 3 22	32 6			6
		β	20 42 30	31 1 40	16 31	55 45 30 16		68 3 22	26 6			6
		γ	23 7 0	27 52 20	20 26	48 47 31 50		72 12 22	4 3			3
24 24		δ	23 10 0	22 51 50	24 51	8 51 38 50		76 32 22	2 6			6
		ε	24 0 0	14 14 30	II 4 49	7 58 6 56		91 40 21	56 5			5
		ζ	24 20 0	20 36 5	27 38	26 53 12 7		80 16 21	52 5			5
25 25		η	24 24 0	15 24 50	II 3 28	12 57 11 10		89 20 21	53 6			6
		θ	24 29 0	19 6 28	29 15	53 54 21 4		82 32 21	50 4-5			5
		ι	24 55 0	16 56 0	II 1 51	18 55 56 45		86 5 21	48 6			6
26 25		κ	25 4 0	27 7 20	22 10	15 47 40 34		74 12 21	47 7			7
		λ	25 7 30	26 37 20	22 36	15 48 5 0		74 40 21	46 7			7
		μ	25 52 0	19 56 40	29 0	43 53 24 15		82 48 21	38 6			6
27 27		ν	27 40 0	24 57 50	25 21	24 48 53 6 B		78 8 21	18 6			6

In Constellatione ANDROMEDÆ.

23	Quæ extra præceditres in Manu dextra	ο	341 55 30	40 19 30	3 29 27	43 45 38 B	48 34 22	41 3-4				6
		κ	342 6 0	48 53 30	3 57 22	44 3 8	48 32 22	43 6				6

F I X A R U M

Quas LUNA aut PLANETÆ ZODIACUM percur-
rentes vel tegere possint, vel adpropinquare

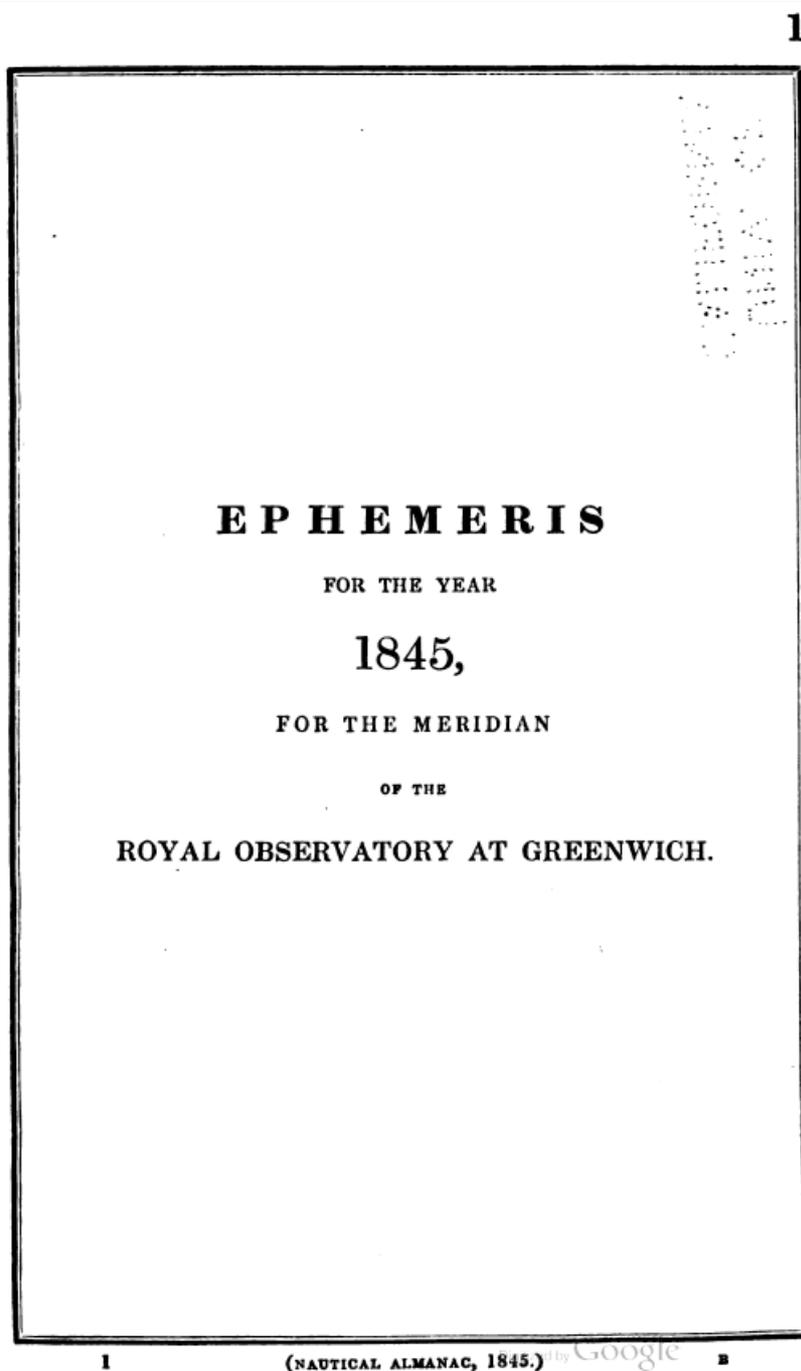
LONGITUDINES & LATITUDINES

Ad Annum incuntem, 1690.

In Constell.	Significatio	Longitudo.			Magnitudo.	In Constell.	Significatio	Longitudo.			Magnitudo.
		s	o	"				s	o	"	
Ceti	γ	0	59	7	6	Pisium	γ	15	32	53	6
		1	45	50	6			15	43	21	6
		2	5	16	6			16	23	26	6
Pisium		2	16	10	6		μ	17	56	0	7
Ceti		2	18	26	6			18	46	40	7
Pisium		2	26	23	6			18	52	15	5
		2	37	16	6			18	57	53	6.7
		2	45	8	6			21	10	37	5
		3	11	38	6			21	40	54	7
		3	39	13	6			22	13	38	6
Ceti	d	3	56	51	6			22	29	20	4
		4	13	26	6			22	35	18	5
Pisium		4	36	55	6			22	45	12	5
		5	49	21	6			22	52	27	5
		6	9	48	6			22	11	18	6
Ceti		7	25	18	6			23	11	35	6
Pisium		9	12	22	6			23	14	23	6.7
		9	37	31	6			23	24	40	5
Ceti	δ	9	49	17	4			23	50	6	6.7
Pisium		10	0	38	7			24	41	39	8.7
		11	8	49	7			24	42	5	6.7
Ceti		11	22	38	6			24	42	32	6.7
		11	56	19	6			25	2	23	3
		12	7	17	6	Ceti	α	25	24	42	6
		12	23	25	6	Arietis		26	36	18	6
		12	23	56	6			26	48	15	7.6
Pisium		12	26	42	6			26	49	4	7.6
Ceti		12	32	10	6	Pisium		27	14	27	8
Pisium		12	41	48	6	Arietis	γ	28	51	0	4
		12	46	46	6			29	10	57	6
Ceti		12	53	10	6	Ceti		29	15	5	6
Pisium		13	1	40	6	Arietis	β	29	37	59	3
		13	12	11	4	Ceti	ι ad ε	29	42	36	6
Ceti		13	21	58	6						6
Pisium		13	36	45	5	Arietis	δ	1	49	50	6.7
Ceti		13	54	25	6			2	43	49	6
		14	34	28	6			2	55	8	6.3
Pisium	f	15	0	4	6			3	0	49	6
	ζ	15	22	12	4	Ceti	2 ad x	3	7	35	6
											6.7

A4. Nautical almanac and astronomical ephemeris²²⁹

Estratto di alcune pagine dell'almanacco nautico e delle effemeridi per il 1845, che testimonia da un lato il grande lavoro degli astronomi, dall'altro le complicazioni per i naviganti, derivanti prima dalla delicatezza delle osservazioni da fare e poi dai complessi e lunghi (alcune ore) calcoli da effettuare per fare il punto nave.



[229] *The nautical almanac and astronomical ephemeris for the year 1845. Published by the order of the Lords Commissioners of the Admiralty.* London, John Murray, 1841.

<https://play.google.com/store/books/details?id=Emw7AQAIAAJ>

MEAN TIME.									
Day of the Month.	THE SUN'S <i>Apparent</i>			Logarithm of the Radius Vector of the Earth.	THE MOON'S				
	Longitude.		Latitude.		Semidiameter.		Horizontal Parallax.		
	°	'	"		Noon.	Midnight.	Noon.	Midnight.	
					Noon.	Midnight.	Noon.	Midnight.	
1	281	1	1' 5"	S. 0' 56"	9.9926525	15 43' 9"	15 50' 4"	57 43' 7"	58 7' 6"
2	282	2	11' 8"	0' 46"	9.9926580	15 57' 0"	16 3' 7"	58 32' 0"	58 56' 4"
3	283	3	22' 3"	0' 35"	9.9926656	16 10' 1"	16 16' 3"	59 20' 0"	59 42' 7"
4	284	4	32' 9"	0' 23"	9.9926751	16 22' 0"	16 27' 2"	60 3' 8"	60 22' 7"
5	285	5	43' 5"	S. 0' 09"	9.9926865	16 31' 6"	16 35' 0"	60 38' 8"	60 51' 3"
6	286	6	54' 2"	N. 0' 04"	9.9926996	16 37' 3"	16 38' 4"	60 59' 8"	61 4' 0"
7	287	8	4' 7"	0' 16"	9.9927145	16 38' 3"	16 36' 9"	61 3' 6"	60 58' 4"
8	288	9	15' 1"	0' 26"	9.9927311	16 34' 2"	16 30' 5"	60 48' 6"	60 34' 7"
9	289	10	25' 2"	0' 34"	9.9927492	16 25' 5"	16 19' 6"	60 16' 5"	59 54' 9"
10	290	11	34' 9"	0' 40"	9.9927690	16 13' 0"	16 5' 7"	59 30' 5"	59 4' 0"
11	291	12	44' 1"	0' 42"	9.9927905	15 58' 1"	15 50' 2"	58 35' 8"	58 7' 0"
12	292	13	52' 6"	0' 42"	9.9928137	15 42' 3"	15 34' 6"	57 38' 1"	57 9' 7"
13	293	15	0' 6"	0' 39"	9.9928388	15 27' 1"	15 20' 1"	56 42' 1"	56 16' 5"
14	294	16	7' 8"	0' 34"	9.9928657	15 13' 6"	15 7' 5"	55 52' 5"	55 30' 4"
15	295	17	14' 1"	0' 25"	9.9928947	15 2' 2"	14 57' 5"	55 10' 8"	54 53' 5"
16	296	18	19' 7"	0' 14"	9.9929258	14 53' 5"	14 50' 1"	54 38' 8"	54 26' 6"
17	297	19	24' 4"	N. 0' 01"	9.9929591	14 47' 6"	14 45' 5"	54 17' 1"	54 9' 7"
18	298	20	28' 1"	S. 0' 12"	9.9929949	14 44' 2"	14 43' 4"	54 4' 6"	54 1' 8"
19	299	21	31' 0"	0' 26"	9.9930331	14 43' 2"	14 43' 5"	54 1' 2"	54 2' 3"
20	300	22	32' 9"	0' 38"	9.9930738	14 44' 4"	14 45' 6"	54 5' 5"	54 10' 0"
21	301	23	34' 0"	0' 50"	9.9931172	14 47' 3"	14 49' 3"	54 16' 1"	54 23' 5"
22	302	24	34' 1"	0' 60"	9.9931633	14 51' 6"	14 54' 3"	54 32' 1"	54 41' 8"
23	303	25	33' 5"	0' 68"	9.9932122	14 57' 2"	15 0' 3"	54 52' 4"	55 3' 9"
24	304	26	32' 0"	0' 73"	9.9932637	15 3' 7"	15 7' 2"	55 16' 2"	55 29' 1"
25	305	27	29' 7"	0' 74"	9.9933178	15 10' 9"	15 14' 7"	55 42' 7"	55 56' 7"
26	306	28	26' 6"	0' 74"	9.9933744	15 18' 7"	15 22' 8"	56 11' 3"	56 26' 4"
27	307	29	22' 8"	0' 70"	9.9934335	15 27' 0"	15 31' 4"	56 41' 9"	56 57' 9"
28	308	30	18' 2"	0' 62"	9.9934951	15 35' 9"	15 40' 4"	57 14' 4"	57 31' 1"
29	309	31	12' 9"	0' 53"	9.9935589	15 45' 0"	15 49' 7"	57 48' 0"	58 5' 2"
30	310	32	6' 9"	0' 42"	9.9936247	15 54' 5"	15 59' 2"	58 22' 6"	58 39' 9"
31	311	33	0' 0"	0' 29"	9.9936925	16 3' 8"	16 8' 2"	58 56' 8"	59 13' 0"
32	312	33	52' 3"	S. 0' 16"	9.9937622	16 12' 3"	16 16' 2"	59 28' 2"	59 42' 3"

MEAN TIME.							
THE MOON'S RIGHT ASCENSION AND DECLINATION.							
Hour.	Right Ascension.	Declination.	Diff. Dec. for 10 ^m .	Hour.	Right Ascension.	Declination.	Diff. Dec. for 10 ^m .
<i>WEDNESDAY 1.</i>				<i>FRIDAY 3.</i>			
0	12 27 20.13	S. 7 35 42.3	116.60	0	14 14 49.62	S. 16 4 36.9	89.83
1	12 29 27.17	7 47 21.9	116.38	1	14 17 12.64	16 13 35.9	88.92
2	12 31 34.47	7 58 59.9	116.05	2	14 19 36.04	16 22 29.4	88.02
3	12 33 42.04	8 10 36.2	115.78	3	14 21 59.82	16 31 17.5	87.10
4	12 35 49.88	8 22 10.9	115.47	4	14 24 23.98	16 40 0.1	86.15
5	12 37 57.99	8 33 43.7	115.17	5	14 26 48.52	16 48 37.0	85.18
6	12 40 6.37	8 45 14.7	114.85	6	14 29 13.44	16 57 8.1	84.22
7	12 42 15.04	8 56 43.8	114.52	7	14 31 38.75	17 5 33.4	83.23
8	12 44 23.99	9 8 10.9	114.18	8	14 34 4.43	17 13 52.8	82.23
9	12 46 33.22	9 19 36.0	113.82	9	14 36 30.50	17 22 6.2	81.22
10	12 48 42.75	9 30 58.9	113.45	10	14 38 56.94	17 30 13.5	80.18
11	12 50 52.57	9 42 19.6	113.07	11	14 41 23.77	17 38 14.6	79.15
12	12 53 2.68	9 53 38.0	112.68	12	14 43 50.97	17 46 9.5	78.08
13	12 55 13.10	10 4 54.1	112.28	13	14 46 18.55	17 53 58.0	77.00
14	12 57 23.82	10 16 7.8	111.85	14	14 48 46.51	18 1 40.0	75.92
15	12 59 34.85	10 27 18.9	111.43	15	14 51 14.84	18 9 15.5	74.82
16	13 1 46.19	10 38 27.5	111.00	16	14 53 43.54	18 16 44.4	73.70
17	13 3 57.84	10 49 33.5	110.55	17	14 56 12.62	18 24 6.6	72.55
18	13 6 9.81	11 0 36.8	110.07	18	14 58 42.06	18 31 21.9	71.40
19	13 8 22.10	11 11 37.2	109.60	19	15 1 11.87	18 38 30.3	70.25
20	13 10 34.72	11 22 34.8	109.12	20	15 3 42.05	18 45 31.8	69.07
21	13 12 47.65	11 33 29.5	108.58	21	15 6 12.59	18 52 26.2	67.88
22	13 15 0.92	11 44 21.0	108.08	22	15 8 43.48	18 59 13.5	66.67
23	13 17 14.52	S. 11 55 9.5	107.55	23	15 11 14.73	S. 19 5 53.5	65.45
<i>THURSDAY 2.</i>				<i>SATURDAY 4.</i>			
0	13 19 28.45	S. 12 5 54.8	107.02	0	15 13 46.34	S. 19 12 26.2	64.22
1	13 21 42.73	12 16 36.9	106.47	1	15 16 18.30	19 18 51.5	62.97
2	13 23 57.34	12 27 15.7	105.88	2	15 18 50.61	19 25 9.3	61.70
3	13 26 12.30	12 37 51.0	105.32	3	15 21 23.26	19 31 19.5	60.43
4	13 28 27.61	12 48 22.9	104.70	4	15 23 56.26	19 37 22.1	59.13
5	13 30 43.27	12 58 51.1	104.10	5	15 26 29.59	19 43 16.9	57.83
6	13 32 59.28	13 9 15.7	103.48	6	15 29 3.26	19 49 3.9	56.53
7	13 35 15.64	13 19 36.6	102.83	7	15 31 37.26	19 54 43.1	55.18
8	13 37 32.35	13 29 53.6	102.20	8	15 34 11.58	20 0 14.2	53.85
9	13 39 49.42	13 40 6.8	101.52	9	15 36 46.23	20 5 37.3	52.50
10	13 42 6.85	13 50 15.9	100.85	10	15 39 21.19	20 10 52.3	51.13
11	13 44 24.64	14 0 21.0	100.15	11	15 41 56.47	20 15 59.1	49.75
12	13 46 42.80	14 10 21.9	99.45	12	15 44 32.05	20 20 57.6	48.37
13	13 49 1.32	14 20 18.6	98.72	13	15 47 7.94	20 25 47.8	46.97
14	13 51 20.21	14 30 10.9	97.98	14	15 49 44.12	20 30 29.6	45.53
15	13 53 39.47	14 39 58.8	97.23	15	15 52 20.60	20 35 2.8	44.12
16	13 55 59.10	14 49 42.2	96.47	16	15 54 57.36	20 39 27.5	42.68
17	13 58 19.10	14 59 21.0	95.70	17	15 57 34.40	20 43 43.6	41.23
18	14 0 39.48	15 8 55.2	94.88	18	16 0 11.72	20 47 51.0	39.77
19	14 3 0.22	15 18 24.5	94.08	19	16 2 49.31	20 51 49.6	38.28
20	14 5 21.35	15 27 49.0	93.27	20	16 5 27.16	20 55 39.3	36.82
21	14 7 42.85	15 37 8.6	92.43	21	16 8 5.27	20 59 20.2	35.32
22	14 10 4.73	15 46 23.2	91.57	22	16 10 43.62	21 2 52.1	33.83
23	14 12 26.98	15 55 32.6	90.72	23	16 13 22.22	21 6 15.1	32.30
24	14 14 49.62	S. 16 4 36.9		24	16 16 1.06	S. 21 9 28.9	

MEAN TIME.																	
LUNAR DISTANCES.																	
Day of the Month.	Star's Name and Position.	Noon.			P.L. of diff.	III ^b .			P.L. of diff.	VI ^b .			P.L. of diff.	IX ^b .			P.L. of diff.
		°	'	"		°	'	"		°	'	"		°	'	"	
1	Pollux W.	78	48	44	2593	80	27	49	2577	82	7	15	2562	83	47	2	2546
	Regulus W.	41	49	42	2564	43	29	26	2546	45	9	35	2529	46	50	8	2511
	Mars E.	38	52	49	2736	37	16	57	2721	35	40	45	2707	34	4	14	2691
	Antares E.	58	7	47	2540	56	27	29	2526	54	46	52	2512	53	5	55	2498
	Venus E.	59	14	53	2934	57	43	17	2916	56	11	19	2901	54	39	1	2884
SUN E.	91	43	56	2867	90	10	55	2850	88	37	32	2835	87	3	49	2818	
2	Pollux W.	92	11	20	2469	93	53	17	2455	95	35	34	2439	97	18	13	2424
	Regulus W.	55	18	52	2427	57	1	49	2410	58	45	9	2394	60	28	52	2378
	Antares E.	44	36	19	2429	42	53	26	2416	41	10	14	2403	39	26	43	2391
	Venus E.	46	52	9	2800	45	17	41	2783	43	42	51	2766	42	7	39	2750
	SUN E.	79	9	54	2736	77	34	2	2720	75	57	49	2703	74	21	13	2687
3	Regulus W.	69	13	18	2298	70	59	21	2283	72	45	45	2268	74	32	32	2253
	Spica π W.	15	10	36	2296	16	56	42	2276	18	43	17	2259	20	30	17	2241
	Antares E.	30	44	57	2338	28	59	53	2330	27	14	37	2325	25	29	14	2322
	Venus E.	34	6	6	2666	32	28	41	2650	30	50	54	2635	29	12	46	2618
	SUN E.	66	12	48	2607	64	34	2	2591	62	54	55	2575	61	15	26	2560
4	Regulus W.	83	31	49	2184	85	20	41	2171	87	9	53	2158	88	59	24	2146
	Spica π W.	29	31	15	2168	31	20	31	2155	33	10	7	2141	35	0	3	2129
	Venus E.	20	56	50	2544	19	16	38	2531	17	36	8	2517	15	55	19	2505
	SUN E.	52	52	57	2489	51	11	28	2477	49	29	42	2464	47	47	38	2452
5	Spica π W.	44	14	9	2075	46	5	47	2066	47	57	39	2057	49	49	45	2049
	SUN E.	39	13	21	2401	37	29	48	2394	35	46	4	2387	34	2	10	2380
10	SUN W.	30	37	43	2594	32	16	46	2610	33	55	27	2627	35	33	46	2643
	Jupiter E.	38	27	52	2353	36	43	9	2375	34	58	58	2398	33	15	21	2424
	α Arietis E.	74	26	38	2283	72	40	14	2300	70	54	15	2318	69	8	42	2337
	Aldebaran E.	107	32	0	2262	105	45	4	2278	103	58	32	2295	102	12	25	2311
11	SUN W.	43	39	30	2734	45	15	25	2753	46	50	54	2772	48	25	58	2792
	α Arietis E.	60	27	50	2434	58	45	4	2455	57	2	47	2476	55	21	0	2497
	Aldebaran E.	93	28	9	2401	91	44	36	2420	90	1	30	2438	88	18	50	2457
12	SUN W.	56	14	50	2892	57	47	19	2913	59	19	22	2931	60	51	1	2952
	α Arietis E.	46	59	35	2607	45	20	50	2630	43	42	36	2655	42	4	55	2678
	Aldebaran E.	79	52	13	2553	78	12	13	2572	76	32	39	2591	74	53	31	2610
13	SUN W.	68	23	3	3049	69	52	15	3067	71	21	5	3087	72	49	31	3104
	α Arietis E.	34	4	43	2808	32	30	26	2837	30	56	46	2869	29	23	47	2901
	Aldebaran E.	66	44	13	2702	65	7	35	2720	63	31	22	2738	61	55	32	2755
	Pollux E.	108	45	55	2762	107	10	37	2778	105	35	40	2794	104	1	4	2810
14	SUN W.	80	6	22	3191	81	32	42	3207	82	58	43	3222	84	24	26	3238
	Fomalhaut W.	48	43	5	3718	49	59	36	3689	51	16	35	3666	52	33	58	3647
	α Pegasi W.	27	18	3	3543	28	37	40	3487	29	58	19	3442	31	19	48	3405
	Jupiter W.	16	5	47	3161	17	32	43	3131	19	0	15	3110	20	28	13	3096
	Aldebaran E.	54	2	1	2838	52	28	23	2855	50	55	7	2871	49	22	11	2887
Pollux E.	96	13	7	2886	94	40	30	2900	93	8	11	2915	91	36	11	2929	
15	SUN W.	91	28	36	3308	92	52	38	3321	94	16	25	3333	95	39	58	3345
	Fomalhaut W.	59	5	18	3581	60	24	13	3573	61	43	17	3566	63	2	28	3560
	α Pegasi W.	38	15	42	3295	39	39	59	3283	41	4	30	3274	42	29	12	3266

CONFIGURATIONS OF THE SATELLITES OF JUPITER, At 6 ^h 30 ^m , MEAN TIME.	
Day of the Month.	West. East.
1	·3 ·2 ○ 1· ·4
2	·1 ● ○ ·3 ·2 ·4
3	1· ² ○ ·3 ·4
4	·2 ○ ·1 3· 4·
5	1· ○ 3· ·2 4·
6	3· ○ 1· 2· 4·
7	·3 ^{2·} ·1 ○ 4·
8	·3 ·2 ○ 4· 1·
9	4· ·1 ○ ·3 ·2
10	1·○ 4· ○ 2· ·3
11	4· ·2 ○ ·1 3·
12	4· 1· ○ 3· ● ·2
13	·4 3· ○ ·1 2·
14	·4 ·3 ·1 2· ○
15	·4 ·3 ·2 ○ 1·
16	·4 ·1 ○ ·3 ·2
17	○ 1· ^{2·} ·4 ·3
18	·1 ● 2· ○ ^{3·} ·4
19	·2 ● 1· ○ 3· ·4
20	3· ○ ·1 2· ·4
21	3· 1· 2· ○ 4·
22	·3 ·2 ○ 1· 4·
23	·1 ·3 ·2 4·
24	○ 1· 2· ^{4·} ·3
25	2· ^{4·} ○ ·1 3·
26	4· ^{1·} ·2 ○ 3·
27	4· 3· ○ ·1 2·
28	4· 3· 1· ○ ○ 2·
29	·4 ·3 ·2 ○ 1·
30	·4 ·1 ·3 ○ ·2
31	·4 ○ 1· 2· ·3

This Table represents, at 6^h 30^m after Mean Noon of each day of the month, the relative positions of the images of Jupiter and his Satellites, as they would appear (disregarding their latitudes) in an inverting telescope. Jupiter is indicated by the white circles (○) in the centre of the page; the Satellites by points. The numerals 1, 2, 3, and 4, annexed to the points, serve to distinguish the Satellites from each other; and their positions are such as to indicate the directions of the Satellites' motions, which are in all cases to be considered as *towards the numerals*. When a Satellite is at its greatest elongation, the point is placed above or below the centre of the numeral. A white circle (○) at the left or right hand of the page, denotes that the Satellite placed by the side of it is *on* the disc of Jupiter, and a black circle (●) that it is either *behind* the disc, or in the shadow, of Jupiter.

ECLIPSES OF THE SATELLITES OF JUPITER.				
SATELLITE.	Day of the Month.	Mean Time.	Sidereal Time.	PHASE as seen in an inverting Telescope.
		h m s	h m s	
I.	2*	9 34 10.3	4 23 40.1	Em.
	4†	4 3 11.7	22 59 40.2	Em.
	5	22 32 7.8	17 35 35.0	Em.
	7	17 1 10.0	12 11 35.9	Em.
	9	11 30 4.0	6 47 28.7	Em.
	11*	5 59 4.3	1 23 27.7	Em.
	13	0 27 59.6	19 59 21.7	Em.
	14	18 57 0.6	14 35 21.5	Em.
	16	13 25 53.9	9 11 13.5	Em.
	18*	7 54 53.2	3 47 11.6	Em.
	20	2 23 47.4	22 23 4.5	Em.
	21	20 52 47.3	16 59 3.1	Em.
	23	15 21 39.6	11 34 54.1	Em.
	25	9 50 37.6	6 10 50.8	Em.
	27	4 19 30.8	0 46 42.8	Em.
	28	22 48 29.3	19 22 40.0	Em.
	30	17 17 20.3	13 58 29.7	Em.
II.	1	14 19 29.3	9 5 49.3	Im.
	1	16 49 49.3	11 36 34.0	Em.
	5*	6 7 56.9	1 8 42.4	Em.
	8	19 26 6.2	14 40 52.5	Em.
	12*	8 44 15.9	4 13 3.0	Em.
	15	22 2 28.5	17 45 16.4	Em.
	19	11 20 40.4	7 17 29.1	Em.
	23	0 38 56.9	20 49 46.4	Em.
	26	13 57 10.6	10 22 0.9	Em.
	30	3 15 31.0	23 54 22.2	Em.
	III.	1	23 34 56.4	18 22 47.7
2		2 19 16.5	21 7 34.8	Em.
9		3 37 38.9	22 53 46.0	Im.
9*		6 20 55.9	1 37 29.8	Em.
16*		7 40 16.3	3 24 39.1	Im.
16		10 22 29.8	6 7 19.3	Em.
23		11 42 57.5	7 55 36.1	Im.
23		14 24 7.6	10 37 12.7	Em.
30		15 46 9.3	12 27 3.7	Im.
30		18 26 17.2	15 7 37.9	Em.

APPROXIMATE SIDEREAL TIMES
OF THE
OCCULTATIONS OF JUPITER'S SATELLITES BY JUPITER,
AND OF THE
TRANSITS OF THE SATELLITES AND THEIR SHADOWS
OVER THE DISC OF THE PLANET.

Satellite.	OCCULTATIONS.			TRANSITS OF SATELLITES.				TRANSITS OF SHADOWS.			
	Immersion.	Emersion.		Ingress.	Egress.			Ingress.	Egress.		
	d h m	d h m		d h m	d h m	d h m	d h m	d h m	d h m	d h m	d h m
I.	2* 0 51			1* 3 29	1 5 46			1* 4 49	1 7 4		
	4 19 28			3 22 5	3* 0 22			3† 23 25	3* 1 40		
	5 14 4			4 16 42	4 18 59			4 18 0	5 20 16		
	7 8 41			6 11 18	6 13 35			6 12 36	6 14 51		
	9* 3 18			8 5 55	8 8 12			8 7 12	8 9 27		
	11 21 55		In	10* 0 32	10* 2 49			10* 1 48	10* 4 3		
	12 16 31			11 19 8	12 21 25			12 20 24	12 22 39		
	14 11 8			13 13 45	13 16 2			13 15 0	13 17 15		
	16† 5 45		the	15 8 22	15 10 39			15 9 35	15 11 51		
	18† 0 22			17* 2 59	17† 5 16			17* 4 11	17 6 26		
	19 18 59			19 21 35	19 23 52			19 22 47	19† 1 2		
	21 13 36		Shadow.	20 16 12	20 18 29			20 17 23	20 19 38		
	23 8 13			22 10 49	22 13 6			22 11 59	22 14 14		
	25* 2 50			24† 5 26	24 7 43			24 6 35	24 8 50		
	27 21 27			26 0 3	26* 2 20			26† 1 10	26* 3 26		
	28 16 5			27 18 40	28 20 57			27 19 46	28 22 1		
30 10 42			29 13 17	29 15 34			29 14 22	29 16 37			
			31 7 55	31 10 12			31 8 58	31 11 13			
II.	1 6 24	1 9 6		3* 1 32	3* 4 14			3* 4 9	3 6 46		
	5 19 59			6 15 8	6 17 49			6 17 42	7 20 19		
	8 9 34			10* 4 44	10 7 26			10 7 16	10 9 52		
	12 23 9		In	13 18 20	14 21 2			14 20 49	14 23 25		
	15 12 45			17 7 58	17 10 39			17 10 23	17 12 59		
	19* 2 21		the	21 21 35	21 0 16			21 23 66	21* 2 31		
	22 15 58			24 11 13	24 13 54			24 13 29	24 16 5		
	26† 5 35		Shadow.	28 0 50	28* 3 31			28* 3 2	28† 5 38		
	29 19 12			31 14 29	31 17 10			31 16 36	31 19 11		
III.	1 12 50	1 16 4		5* 3 12	5 6 26			5 8 33	5 11 30		
	8 17 31	9 20 45		12 7 55	12 11 8			12 13 4	12 16 0		
	16 22 16	16* 1 29		19 12 42	19 15 55			19 17 35	20 20 31		
	23* 3 4	23 6 17		26 17 31	27 20 43			27 22 6	27 1 0		
	30 7 55	30 11 7									
IV.	16 17 4	17 19 51		8 8 20	8 11 12						
				25† 5 14	25 7 56						

Digitized by Google

JANUARY, 1845.							
MEAN TIME.							
Day of the Month.	Geocentric.				Heliocentric.		
	Apparent Right Ascension.	Apparent Declination.	Log. of True Dist. from the Earth.	Meridian Passage.	Longitude.	Latitude.	Log. of Rad. Vect.
	Noon.	Noon.	Noon.		Noon.	Noon.	Noon.
	h m s	° ' "		h m	° ' "	° ' "	
1	16 27 10.56	S. 20 12 33.3	0.1187929	21 44.3	200 47 39.5	N. 2 45 40.8	9.8583583
2	16 32 21.02	20 26 2.8	.1206268	21 45.5	202 24 15.2	2 42 17.6	.8584373
3	16 37 32.51	20 38 58.5	.1224421	21 46.8	204 0 48.3	2 38 46.9	.8585168
4	16 42 45.01	20 51 19.9	.1242389	21 48.1	205 37 18.6	2 35 8.7	.8585970
5	16 47 58.47	21 3 6.4	.1260174	21 49.4	207 13 46.3	2 31 23.3	.8586778
6	16 53 12.86	21 14 17.3	.1277777	21 50.7	208 50 11.2	2 27 30.8	.8587590
7	16 58 28.14	21 24 52.2	.1295199	21 52.0	210 26 33.4	2 23 31.5	.8588407
8	17 3 44.28	21 34 50.4	.1312441	21 53.4	212 2 52.8	2 19 25.5	.8589227
9	17 9 1.23	21 44 11.6	.1329507	21 54.7	213 39 9.5	2 15 13.1	.8590049
10	17 14 18.94	21 52 55.2	.1346398	21 56.1	215 15 23.5	2 10 54.4	.8590874
11	17 19 37.36	22 1 0.7	.1363117	21 57.4	216 51 34.7	2 6 29.7	.8591701
12	17 24 56.46	22 8 27.8	.1379667	21 58.8	218 27 43.1	2 1 59.1	.8592528
13	17 30 16.17	22 15 16.1	.1396049	22 0.2	220 3 48.8	1 57 22.9	.8593356
14	17 35 36.46	22 21 25.2	.1412266	22 1.6	221 39 51.8	1 52 41.3	.8594183
15	17 40 57.26	22 26 54.7	.1428321	22 3.0	223 15 52.0	1 47 54.6	.8595010
16	17 46 18.54	22 31 44.4	.1444215	22 4.5	224 51 49.5	1 43 2.9	.8595835
17	17 51 40.23	22 35 53.9	.1459950	22 5.9	226 27 44.4	1 38 6.6	.8596658
18	17 57 2.29	22 39 23.1	.1475529	22 7.3	228 3 36.6	1 33 5.7	.8597478
19	18 2 24.66	22 42 11.6	.1490953	22 8.8	229 39 26.2	1 28 0.7	.8598295
20	18 7 47.29	22 44 19.3	.1506224	22 10.2	231 15 13.2	1 22 51.6	.8599107
21	18 13 10.13	22 45 46.1	.1521344	22 11.7	232 50 57.7	1 17 38.9	.8599915
22	18 18 33.12	22 46 31.8	.1536313	22 13.1	234 26 39.6	1 12 22.6	.8600717
23	18 23 56.21	22 46 36.3	.1551133	22 14.6	236 2 19.0	1 7 3.1	.8601513
24	18 29 19.34	22 45 59.5	.1565804	22 16.0	237 37 56.0	1 1 40.6	.8602303
25	18 34 42.45	22 44 41.5	.1580328	22 17.5	239 13 30.5	0 56 15.4	.8603085
26	18 40 5.48	22 42 42.1	.1594704	22 18.9	240 49 2.8	0 50 47.7	.8603859
27	18 45 28.39	22 40 1.4	.1608934	22 20.4	242 24 32.7	0 45 17.8	.8604625
28	18 50 51.12	22 36 39.5	.1623017	22 21.8	244 0 0.4	0 39 45.9	.8605382
29	18 56 13.61	22 32 36.4	.1636955	22 23.2	245 35 25.8	0 34 12.3	.8606129
30	19 1 35.80	22 27 52.3	.1650746	22 24.6	247 10 49.2	0 28 37.1	.8606867
31	19 6 57.64	22 22 27.4	.1664392	22 26.0	248 46 10.4	0 23 0.8	.8607593
32	19 12 19.07	S. 22 16 21.9	0.1677893	22 27.4	250 21 29.6	N. 0 17 23.4	9.8608308

APPARENT PLACES OF THE PRINCIPAL FIXED STARS, FOR THE UPPER TRANSIT AT GREENWICH.						
Day of the Month.	α ANDROMEDÆ.		γ PEGAS. (Algenib)		β Hydri.	
	R. A.	Dec. North.	R. A.	Dec. North.	R. A.	Dec. South.
	h m	° ' "	h m	° ' "	h m	° ' "
	0 0	28 14	0 5	14 19	0 17	78 7
Jan. 1	24 ^s 06 ^s 0 ^s .14	19 ^s 8 ^s 1 ^s .0	16 ^s 45 ^s 0 ^s .11	27 ^s 5 ^s 0 ^s .9	29 ^s 51 ^s 0 ^s .94	58 ^s 4 ^s 1 ^s .1
11	23 ^s 92 ^s 0 ^s .13	18 ^s 8 ^s 1 ^s .3	16 ^s 34 ^s 0 ^s .12	26 ^s 6 ^s 1 ^s .0	28 ^s 57 ^s 0 ^s .87	57 ^s 3 ^s 1 ^s .7
21	23 ^s 79 ^s 0 ^s .12	17 ^s 5 ^s 1 ^s .4	16 ^s 22 ^s 0 ^s .10	25 ^s 6 ^s 1 ^s .1	27 ^s 70 ^s 0 ^s .78	55 ^s 6 ^s 2 ^s .3
31	23 ^s 67 ^s 0 ^s .10	16 ^s 1 ^s 1 ^s .6	16 ^s 12 ^s 0 ^s .08	24 ^s 5 ^s 1 ^s .0	26 ^s 92 ^s 0 ^s .67	53 ^s 3 ^s 2 ^s .7
Feb. 10	23 ^s 57 ^s 0 ^s .07	14 ^s 5 ^s 1 ^s .7	16 ^s 04 ^s 0 ^s .06	23 ^s 5 ^s 1 ^s .1	26 ^s 25 ^s 0 ^s .55	50 ^s 6 ^s 3 ^s .0
20	23 ^s 50 ^s 0 ^s .03	12 ^s 8 ^s 1 ^s .6	15 ^s 98 ^s 0 ^s .03	22 ^s 4 ^s 0 ^s .9	25 ^s 70 ^s 0 ^s .40	47 ^s 6 ^s 3 ^s .4
Mar. 2	23 ^s 47 ^s 0 ^s .01	11 ^s 2 ^s 1 ^s .6	15 ^s 95 ^s 0 ^s .00	21 ^s 5 ^s 0 ^s .8	25 ^s 30 ^s 0 ^s .26	44 ^s 2 ^s 3 ^s .6
12	23 ^s 46 ^s 0 ^s .08	9 ^s 6 ^s 1 ^s .4	15 ^s 95 ^s 0 ^s .04	20 ^s 7 ^s 0 ^s .6	25 ^s 04 ^s 0 ^s .09	40 ^s 6 ^s 3 ^s .8
22	23 ^s 51 ^s 0 ^s .09	8 ^s 2 ^s 1 ^s .2	15 ^s 99 ^s 0 ^s .08	20 ^s 1 ^s 0 ^s .4	24 ^s 95 ^s 0 ^s .08	36 ^s 8 ^s 4 ^s .1
Apr. 1	23 ^s 60 ^s 0 ^s .14	7 ^s 0 ^s 0 ^s .9	16 ^s 07 ^s 0 ^s .12	19 ^s 7 ^s 0 ^s .1	25 ^s 03 ^s 0 ^s .24	32 ^s 7 ^s 3 ^s .8
11	23 ^s 74 ^s 0 ^s .18	6 ^s 1 ^s 0 ^s .4	16 ^s 19 ^s 0 ^s .16	19 ^s 6 ^s 0 ^s .3	25 ^s 27 ^s 0 ^s .40	28 ^s 9 ^s 3 ^s .6
21	23 ^s 92 ^s 0 ^s .22	5 ^s 7 ^s 0 ^s .1	16 ^s 35 ^s 0 ^s .20	19 ^s 9 ^s 0 ^s .6	25 ^s 67 ^s 0 ^s .54	25 ^s 3 ^s 3 ^s .4
May 1	24 ^s 14 ^s 0 ^s .26	5 ^s 6 ^s 0 ^s .3	16 ^s 55 ^s 0 ^s .24	20 ^s 5 ^s 0 ^s .9	26 ^s 21 ^s 0 ^s .69	21 ^s 9 ^s 3 ^s .2
11	24 ^s 40 ^s 0 ^s .29	5 ^s 9 ^s 0 ^s .6	16 ^s 79 ^s 0 ^s .27	21 ^s 4 ^s 1 ^s .1	26 ^s 90 ^s 0 ^s .82	18 ^s 7 ^s 2 ^s .8
21	24 ^s 69 ^s 0 ^s .32	6 ^s 5 ^s 1 ^s .1	17 ^s 06 ^s 0 ^s .29	22 ^s 5 ^s 1 ^s .5	27 ^s 72 ^s 0 ^s .92	15 ^s 9 ^s 2 ^s .4
31	25 ^s 01 ^s 0 ^s .34	7 ^s 6 ^s 1 ^s .4	17 ^s 35 ^s 0 ^s .31	24 ^s 0 ^s 1 ^s .7	28 ^s 64 ^s 1 ^s .00	13 ^s 5 ^s 2 ^s .0
June 10	25 ^s 35 ^s 0 ^s .34	9 ^s 0 ^s 1 ^s .7	17 ^s 66 ^s 0 ^s .32	25 ^s 7 ^s 1 ^s .9	29 ^s 64 ^s 1 ^s .07	11 ^s 5 ^s 1 ^s .6
20	25 ^s 69 ^s 0 ^s .38	10 ^s 7 ^s 1 ^s .9	17 ^s 98 ^s 0 ^s .32	27 ^s 6 ^s 2 ^s .0	30 ^s 71 ^s 1 ^s .10	10 ^s 0 ^s 0 ^s .9
30	26 ^s 02 ^s 0 ^s .33	12 ^s 6 ^s 2 ^s .2	18 ^s 30 ^s 0 ^s .30	29 ^s 6 ^s 2 ^s .1	31 ^s 81 ^s 1 ^s .10	9 ^s 1 ^s 0 ^s .8
July 10	26 ^s 35 ^s 0 ^s .31	14 ^s 8 ^s 2 ^s .4	18 ^s 60 ^s 0 ^s .29	31 ^s 7 ^s 2 ^s .2	32 ^s 91 ^s 1 ^s .07	8 ^s 8 ^s 0 ^s .2
20	26 ^s 66 ^s 0 ^s .28	17 ^s 2 ^s 2 ^s .4	18 ^s 89 ^s 0 ^s .27	33 ^s 9 ^s 2 ^s .0	33 ^s 98 ^s 1 ^s .01	9 ^s 0 ^s 0 ^s .8
30	26 ^s 94 ^s 0 ^s .25	19 ^s 6 ^s 2 ^s .6	19 ^s 16 ^s 0 ^s .24	35 ^s 9 ^s 2 ^s .1	34 ^s 99 ^s 0 ^s .93	9 ^s 8 ^s 1 ^s .3
Aug. 9	27 ^s 19 ^s 0 ^s .21	22 ^s 1 ^s 2 ^s .5	19 ^s 40 ^s 0 ^s .21	38 ^s 0 ^s 1 ^s .9	35 ^s 92 ^s 0 ^s .80	11 ^s 1 ^s 1 ^s .8
19	27 ^s 40 ^s 0 ^s .18	24 ^s 6 ^s 2 ^s .4	19 ^s 61 ^s 0 ^s .17	39 ^s 9 ^s 1 ^s .8	36 ^s 72 ^s 0 ^s .65	12 ^s 9 ^s 2 ^s .3
29	27 ^s 58 ^s 0 ^s .13	27 ^s 0 ^s 2 ^s .3	19 ^s 78 ^s 0 ^s .13	41 ^s 7 ^s 1 ^s .6	37 ^s 37 ^s 0 ^s .49	15 ^s 2 ^s 2 ^s .7
Sept. 8	27 ^s 71 ^s 0 ^s .09	29 ^s 3 ^s 2 ^s .1	19 ^s 91 ^s 0 ^s .09	43 ^s 3 ^s 1 ^s .4	37 ^s 86 ^s 0 ^s .30	17 ^s 9 ^s 2 ^s .9
18	27 ^s 80 ^s 0 ^s .05	31 ^s 4 ^s 2 ^s .0	20 ^s 00 ^s 0 ^s .06	44 ^s 7 ^s 1 ^s .1	38 ^s 16 ^s 0 ^s .11	20 ^s 8 ^s 3 ^s .0
28	27 ^s 85 ^s 0 ^s .02	33 ^s 4 ^s 1 ^s .7	20 ^s 06 ^s 0 ^s .02	45 ^s 8 ^s 1 ^s .0	38 ^s 27 ^s 0 ^s .08	23 ^s 8 ^s 3 ^s .1
Oct. 8	27 ^s 87 ^s 0 ^s .02	35 ^s 1 ^s 1 ^s .6	20 ^s 08 ^s 0 ^s .01	46 ^s 8 ^s 0 ^s .7	38 ^s 19 ^s 0 ^s .28	26 ^s 9 ^s 3 ^s .1
18	27 ^s 85 ^s 0 ^s .06	36 ^s 6 ^s 1 ^s .3	20 ^s 07 ^s 0 ^s .04	47 ^s 5 ^s 0 ^s .5	37 ^s 91 ^s 0 ^s .45	30 ^s 0 ^s 2 ^s .8
28	27 ^s 79 ^s 0 ^s .07	37 ^s 9 ^s 0 ^s .9	20 ^s 03 ^s 0 ^s .07	48 ^s 0 ^s 0 ^s .2	37 ^s 46 ^s 0 ^s .62	32 ^s 8 ^s 2 ^s .5
Nov. 7	27 ^s 72 ^s 0 ^s .10	38 ^s 8 ^s 0 ^s .7	19 ^s 96 ^s 0 ^s .08	48 ^s 2 ^s 0 ^s .1	36 ^s 84 ^s 0 ^s .75	35 ^s 3 ^s 2 ^s .1
17	27 ^s 62 ^s 0 ^s .12	39 ^s 5 ^s 0 ^s .3	19 ^s 88 ^s 0 ^s .10	48 ^s 3 ^s 0 ^s .2	36 ^s 09 ^s 0 ^s .85	37 ^s 4 ^s 1 ^s .7
27	27 ^s 50 ^s 0 ^s .13	39 ^s 8 ^s 0 ^s .0	19 ^s 78 ^s 0 ^s .11	48 ^s 1 ^s 0 ^s .3	35 ^s 24 ^s 0 ^s .94	39 ^s 1 ^s 1 ^s .0
Dec. 7	27 ^s 37 ^s 0 ^s .14	39 ^s 8 ^s 0 ^s .3	19 ^s 67 ^s 0 ^s .12	47 ^s 8 ^s 0 ^s .6	34 ^s 30 ^s 0 ^s .97	40 ^s 1 ^s 0 ^s .5
17	27 ^s 23 ^s 0 ^s .14	39 ^s 5 ^s 0 ^s .6	19 ^s 55 ^s 0 ^s .12	47 ^s 2 ^s 0 ^s .7	33 ^s 33 ^s 0 ^s .98	40 ^s 6 ^s 0 ^s .2
27	27 ^s 09 ^s 0 ^s .15	38 ^s 9 ^s 0 ^s .9	19 ^s 43 ^s 0 ^s .13	46 ^s 5 ^s 0 ^s .9	32 ^s 35 ^s 0 ^s .96	40 ^s 4 ^s 0 ^s .9
37	26 ^s 94 ^s 0 ^s .15	38 ^s 0 ^s 0 ^s .9	19 ^s 30 ^s 0 ^s .13	45 ^s 6 ^s 0 ^s .9	31 ^s 39 ^s 0 ^s .96	39 ^s 5 ^s 0 ^s .9

ELEMENTS							
for facilitating the Computation of Occultations of certain Stars by the Moon.							
Day of the Month.	Star's Name.	Magnitude.	Greenwich Mean Time of Apparent δ in R. A. of ζ and \ast .	At Greenwich Mean Time of δ			Limiting Parallels.
				Apparent R. A. of ζ and \ast .	Apparent Declination of \ast .	Diff. of Apparent Dec. of ζ and \ast .	
			h m s	h m s	$^{\circ}$ ' "	$^{\circ}$ ' "	Latitude.
Jan. 1	ι Virginis -	5	23 35 20	13 18 33.34	S. 11 53 56.3	S. 7 34	26 N. 45 S.
4	κ Libræ -	5	7 32 55	15 33 1.89	19 10 10.9	47 35	21 S. 90 S.
4	λ Libræ -	5	11 55 43	15 44 20.92	19 41 50.0	38 47	13 S. 86 S.
4	ω^1 Scorpii -	4.5	17 4 7	15 57 45.19	S. 20 14 32.1	S. 29 29	5 S. 70 S.
4	ω^2 Scorpii -	4.5	17 17 16	15 58 19.63	S. 20 26 32.9	S. 18 23	4 N. 57 S.
5	ω Ophiuchi	5	2 36 53	16 22 57.46	21 7 37.1	9 35	10 N. 47 S.
5	VENUS -	-	13 1 49	16 50 49.06	21 9 15.0	28 7	9 S. 69 S.
5	ρ Ophiuchi	4.5	20 46 56	17 11 42.75	S. 20 56 15.2	S. 44 50	25 S. 90 S.
10	ξ Aquarii -	5	1 58 39	21 29 29.60	S. 8 32 40.4	S. 59 45	23 S. 90 S.
10	c^1 Capricorni	6	5 9 41	21 36 43.39	S. 9 47 16.8	N. 53 9	80 N. 13 N.
12	κ^1 Piscium -	5.6	4 40 7	23 18 59.69	N. 0 24 35.1	30 44	72 N. 9 S.
12	κ^2 Piscium -	6	4 49 15	23 19 18.55	N. 0 16 30.7	N. 40 41	90 N. 1 N.
12	ι^6 Piscium -	6	9 16 47	23 28 29.39	N. 1 14 45.0	N. 36 56	82 N. 2 S.
16	π Arietis -	5	8 37 46	2 40 40.83	16 49 3.4	41 57	90 N. 15 N.
16	ρ^2 Arietis -	6	12 4 31	2 47 43.12	17 24 13.2	N. 29 19	74 N. 2 N.
16	δ Arietis -	4	19 25 57	3 2 48.14	N. 19 8 16.4	S. 29 57	7 N. 59 S.
17	Δ^1 Tauri -	5	20 52 53	3 55 34.39	N. 21 39 17.1	S. 62 54	39 S. 68 S.
19	ϵ Tauri -	4.5	0 33 49	4 53 52.47	21 21 47.7	N. 13 33	53 N. 3 S.
19	σ Tauri -	5	12 6 49	5 18 22.16	21 47 54.5	S. 10 26	26 N. 26 S.
19	ζ Tauri -	3.4	16 50 58	5 28 25.51	N. 21 2 31.6	N. 31 56	81 N. 16 N.
20	χ^3 Orionis -	5	5 15 5	5 54 45.51	N. 20 8 7.2	N. 67 45	90 N. 64 N.
20	ν Geminor.	5	17 4 7	6 19 48.17	20 18 11.4	25 42	69 N. 5 N.
22	ι Cancri -	6	11 18 24	7 48 13.42	16 11 52.3	49 33	90 N. 23 N.
23	α^1 Cancri -	6	16 18 44	8 47 29.92	N. 12 12 40.0	N. 50 1	90 N. 19 N.
23	α^2 Cancri -	5	17 34 20	8 50 2.80	N. 12 27 3.2	N. 23 56	65 N. 9 S.
25	π Leonis -	4.5	0 30 41	9 52 3.67	N. 8 46 53.9	S. 71 11	46 S. 81 S.
26	e Leonis -	4.5	21 47 2	11 22 25.93	S. 2 9 7.3	N. 60 51	88 N. 25 N.
29	i Virginis -	5	5 22 30	13 18 34.25	S. 11 54 1.8	N. 6 40	40 N. 31 S.
31	κ Libræ -	5	15 1 26	15 33 2.76	S. 19 10 14.1	S. 35 12	9 S. 80 S.
31	λ Libræ -	5	19 34 16	15 44 21.78	19 41 53.0	26 42	2 S. 67 S.
Feb. 1	β^1 Scorpii -	2	0 23 15	15 56 26.99	19 22 33.4	67 39	48 S. 90 S.
1	ω^1 Scorpii -	4.5	0 54 37	15 57 46.07	S. 20 14 34.9	S. 17 47	5 N. 56 S.
1	ω^2 Scorpii -	4.5	1 8 17	15 58 20.51	S. 20 26 35.6	S. 6 43	15 N. 44 S.
1	ω Ophiuchi	5	10 49 49	16 22 58.29	21 7 39.3	N. 1 18	20 N. 36 S.
1	MARS -	-	11 42 23	16 25 12.88	21 14 0.4	N. 5 19	23 N. 32 S.
2	ρ Ophiuchi	4.5	5 41 56	17 11 43.52	S. 20 56 16.7	S. 35 43	17 S. 81 S.

A5. Fondation du Bureau des Longitudes²³⁰

"Rapport fait à la Convention nationale dans sa séance du 7 messidor an III (25 juin 1795), par le Représentant du peuple GRÉGOIRE, sur l'établissement du Bureau des Longitudes:

"Je viens, au nom de vos Comités de Marine, des Finances et d'Instruction publique, vous proposer l'établissement d'un Bureau des Longitudes.

L'exposé des raisons qui motivent cette demande, prouvera l'indispensable nécessité de ce moyen pour faire fleurir notre Marine.

Thémistocle disait : "Quiconque est maître de la mer, l'est de la Terre".

Un de nos poètes exprimait la même idée à sa manière en disant : "Le trident de Neptune est le sceptre du monde."

Les succès des Anglais à diverses époques, et spécialement dans la guerre de 1761, n'ont que trop prouvé que la supériorité de la marine décide souvent des résultats de la guerre.

Une des mesures les plus efficaces pour étouffer la tyrannie britannique, c'est de rivaliser dans l'emploi des moyens par lesquels cet État, qui ne devait jouer qu'un rôle secondaire dans l'ordre politique, est devenu une puissance colossale.

Or les Anglais, bien convaincus que sans Astronomie on n'avait ni commerce, ni marine, ont fait des dépenses incroyables pour pousser cette science vers le point de perfection.

Si j'avais à rappeler tous les bienfaits de l'Astronomie, je dirais que, sans elle, les hommes n'auraient jamais eu la véritable mesure du temps. L'ignorant sait-il que l'exactitude de son calendrier résulte des observations les plus profondes sur l'état du ciel ?

L'Astronomie a débrouillé le chaos des âges; sans elle, plusieurs écrivains anciens eussent été incompréhensibles. On sait combien elle a prêté de secours aux auteurs de l'Art de vérifier les dates, l'un des meilleurs ouvrages de notre siècle, et quel jour Pingré a jeté sur l'histoire par la chronologie des éclipses, fondée sur l'ordre invariable du mouvement des corps célestes.

À côté de la Halle-au-Bled, un monument existe encore; il atteste la superstition d'une femme qui croyait à l'astrologie et qui ne croyait point à la vertu.*

Les météores, les aurores boréales et les comètes ont conservé, presque jusqu'à nos jours, le privilège d'effrayer la terre.

Les efforts de Bayle et d'autres philosophes, pour guérir ces maladies de l'esprit humain, ne furent pas un petit service rendu à la société, si l'on considère combien il importe de la sortir de l'enfance, et combien les rêveries astrologiques ont influé sur le sort des nations.

Enfin, sans l'Astronomie, la Géographie serait encore au berceau; c'est en rapprochant les observations célestes, les expériences faites à divers degrés du méridien, qu'on a déterminé la figure de la Terre et révélé le vrai système du monde.

Mais le point de vue sous lequel il nous importe surtout de considérer l'Astronomie, c'est relativement à son influence sur la marine et le commerce, qui firent la gloire et la richesse de la Phénicie, de Rhodes et de Carthage. À son aide, des flottes marchandes cinglèrent d'Asiongaber à Ophyr. Hannon, dans une course de vingt-six jours, poussa jusque vers le Sénégal, et consigna son voyage dans le Périple, dont il nous reste l'abrégé.

Un astronome qui, le premier, distingua les climats par les différentes longueurs des jours et des nuits, et qui fut le plus hardi navigateur de l'antiquité, était né parmi nous.

Il y a vingt-deux siècles que Pythéas (de Marseille) passa le détroit de Gibraltar, et parvint jusqu'à l'Islande; dans un second voyage, il entra dans la Manche, passa le Sund et pénétra dans la Baltique. Cependant, les plus célèbres marins de l'Antiquité ne furent guère que d'excellents caboteurs, parce que l'audace des entreprises était subordonnée à la mesure peu étendue de leurs connaissances astronomiques : à peine osaient-ils perdre de vue les côtes. La mer Atlantique et l'océan Pacifique n'avaient pas vu de citadelles

[230] Bureau des longitudes - Histoire.

<https://site.bdlg.fr/histoire>

flottantes sur leurs eaux, jusqu'à l'époque où, par le moyen de la boussole et de nouvelles observations astronomiques, de nouveaux Pythéas s'aventurèrent au large, doublèrent le cap des Tempêtes, et ouvrirent au commerce de nouvelles routes.

Alors les productions naturelles et industrielles de tous les pays circulèrent dans le globe; alors s'accrut l'horizon de la pensée, un grand pas fut fait vers la civilisation générale. De nouvelles branches de la famille humaine apprirent à se connaître; elles purent étendre, les unes vers les autres, les bras de la fraternité, et dans les communications d'une amitié réciproque, puiser des jouissances nouvelles.

Mais la déclinaison de l'aiguille aimantée varie, comme tout le monde sait, suivant les lieux et les temps, et partant les cartes magnétiques seront toujours insuffisantes. Le compas de route ni le loch n'indiquent pas si la marche du vaisseau a été accélérée ou retardée, s'il a été détourné par la dérive ou par quelque courant. Avec ces instruments, le navigateur ne peut se passer de l'Astronomie; l'Astronomie pourrait absolument se passer d'eux. La découverte des satellites de Jupiter, en perfectionnant les cartes marines, a suffi pour produire une révolution dans l'esprit humain et dans les relations commerciales et diplomatiques.

La découverte la plus importante, qui avait d'abord été considérée comme une chimère, et qui a beaucoup exercé les mathématiciens des deux derniers siècles, est la détermination des longitudes en mer. Le problème est ceci : connaissant l'heure du vaisseau, savoir l'heure du premier méridien convenu, ou du lieu du départ; la différence des heures réduites en parties de l'équateur donne la longitude du navire, en la rapportant au méridien choisi pour terme de comparaison. On compte sur l'équateur quinze degrés pour une heure, et conséquemment quatre minutes pour un degré.

Ce problème a été l'objet des méditations et des recherches d'une Société célèbre, dont les travaux sont devenus la propriété de tous les peuples éclairés, de l'Académie des Sciences de Paris.

Presque toutes les nations qui fréquentent la mer, ont ouvert des concours relatifs aux longitudes, mais rien n'égale ce qu'a fait l'Angleterre à cet égard. En 1714, à Londres, fut formé un comité auquel on appela les plus grands hommes de cette contrée, Newton était du nombre. C'est là, dit Fleurieu, qu'on fixa les limites de l'erreur; et d'après la délibération du comité, le parlement publia un bill solennel pour inviter les savants et les artistes de toutes les nations à s'occuper du problème des longitudes : un prix de vingt mille livres sterling fut proposé pour celui qui trouverait la longitude à un demi- degré près.

D'autres sommes moins considérables furent assignées, tant pour les Tables solaires et lunaires, que pour des découvertes moins importantes.

L'Horlogerie, la Mécanique, la Géométrie, l'Astronomie se sont disputé la gloire de résoudre ce problème, toutes se sont assurés des droits à la gratitude des nations. Tandis que l'Astronomie perfectionnait ses méthodes pour mesurer les distances de la Lune au Soleil et aux étoiles, ce qui lui donne la différence des méridiens, l'Horlogerie exécutait les montres marines, dont l'idée n'était pas neuve, mais dont l'application l'était.

Le gouvernement anglais accorda des sommes exorbitantes, soit pour faire imprimer les nouvelles méthodes, soit pour récompenser Bird, Ramsden et surtout Harrison, dont les montres furent essayées avec succès dans divers voyages aux Barbades et à la Jamaïque.

En France, deux rivaux illustres entrèrent en lice : l'un était Leroi, fils de Julien Leroi, frère de celui à qui Voltaire disait : "Votre père et Maurice de Saxe ont battu les Anglais ", l'autre était Ferdinand Berthoud, à qui nous devons savoir gré d'avoir adopté la France pour sa seconde patrie.

A diverses reprises, le gouvernement arma à grands frais des corvettes et des frégates, pour soumettre à l'examen, dans des voyages de long cours, les nouveaux moyens présentés pour déterminer les longitudes en mer. Ces expéditions rappellent avec intérêt les noms de Courtanveaux, Verdun, Borda, Fleurieu, Pingré, Rochon et Chappe; le neveu de ce dernier est auteur du télégraphe dont Amontons avait donné l'idée.

Il résulte de ces expériences que, malgré l'agitation du vaisseau, la variation des frottements, la différence de température et les autres causes accidentelles, ces montres marines, surtout celles de Ferdinand Berthoud, conservèrent une justesse que l'art n'avait pas encore atteinte.

Après une traversée de six semaines, la somme des écarts n'excédait pas deux minutes de temps, ou un demi- degré en longitude. Ce demi- degré équivaut à dix lieues, sous l'équateur; à huit lieues deux tiers, sous le parallèle de trente degrés; à sept, sous celui de quarante-cinq, et à cinq, sous celui de soixante. Nos collègues Faure et Tréhouard ont constaté (et ce fait est précieux à recueillir) que, dans une dernière sortie de trente sept jours, la montre de Berthoud a donné la longitude à trois lieues près.

Si ce n'est point encore le dernier terme de la perfection, c'est jusqu'à présent le dernier effort de la sagacité des savants et des artistes; et certes, ils sont les bienfaiteurs de la société. Ils ont épargné à l'humanité des regrets et des larmes, en diminuant de beaucoup les chances malheureuses des expéditions nautiques.

Au retour d'un voyage dans l'Amérique méridionale, en 1735, don Ulloa imprimait encore à Madrid, que la différence de deux et même trois degrés sur la longitude en mer, n'était pas réputée une erreur bien considérable (1); et, plus heureuses que les expéditions de La Peyrouse et de d'Entrecasteaux, les corvettes expédiées en 1789, sont rentrées récemment dans les ports de l'Espagne, devenue notre ennemie, c'est peut-être au génie français qu'elle doit cet avantage; car le génie, par ses bienfaits, est un cosmopolite; ses découvertes sont l'héritage du genre humain, et les travaux de ces hommes occupés à défricher les routes de la science, à prendre la nature sur le fait, suivant l'expression de Fontenelle, préparent en silence, et assurent le destin des nations.

L'envoi d'un aviso en temps de guerre, peut compromettre le succès d'une bataille et le salut d'une colonie, si l'ignorance du pilote fait manquer sa route et retarde son arrivée. C'est faute de lumières que plusieurs bâtiments allant atterrir à l'île Rodrigues pour gagner le vent, au lieu de se porter directement aux îles de France ou de la Réunion, ont été capturés par des croiseurs anglais (2). Par suite d'une ignorance semblable, n'a-t-on pas vu un vaisseau, destiné pour l'île de France aborder à la côte de Malabar ?

On se rappelle le trait de l'amiral Anson, dont l'incertitude sur la position de l'île Juan-Fernandez, en l'obligeant à tenir la mer plus longtemps, coûta la vie à soixante-dix ou quatre-vingts hommes de son équipage.

La prospérité du commerce, la sûreté de nos vaisseaux vous intéressent; la vie des marins vous est chère, et vous ne voulez pas qu'elle soit abandonnée aux erreurs d'hommes qui, incapables de s'assurer du lieu du vaisseau à chaque instant du jour et de la nuit, de connaître la longitude et la latitude des points de relâche, le gisement des côtes, iraient se briser contre des écueils.

Vous avez quelques officiers, quelques pilotes très éclairés : il faut en accroître le nombre si l'on veut faire oublier les naufrages qui ont affligé la marine française.

Il faut leur donner des règles sûres et applicables dans toutes les circonstances. Il faut, en quelque sorte, vulgariser la science en leur communiquant des méthodes promptes et faciles, pour simplifier les calculs, et par là même dompter les fureurs de la mer, et tromper les caprices de cet élément.

Depuis 1767 les Anglais publient leur Nautical Almanac, dont l'idée est due aux Français; car lorsque Maskelyne, revenu de Sainte-Hélène, le proposa, il ne fit qu'adopter l'idée présentée, en 1755, par La Caille. Cet ouvrage, devenu le Manuel de leurs marins, paraît cinq et même six ans à l'avance, tandis que chez nous, à l'époque actuelle, la Connaissance des Temps n'est imprimée que pour l'année courante, et vous seriez dans l'impossibilité de donner cet ouvrage indispensable à des marins, si dans ce moment on entreprenait quelque voyage de long cours.

Mais aussi la confection du Nautical Almanac est confiée à un établissement pour lequel les Anglais n'ont rien épargné, à un Bureau des Longitudes, tel que celui dont vos Comités vous proposent la formation.

Ce Bureau fera, chaque année, un cours public d'Astronomie; il vérifiera tous les instruments nautiques destinés pour notre marine, il sera chargé de rédiger la Connaissance des Temps, de manière qu'on ait toujours plusieurs années à l'avance; il perfectionnera les Tables astronomiques et les méthodes des longitudes, les cartes magnétiques et surtout les cartes hydrographiques, dont un grand nombre sont encore très vicieuses, celles surtout de la Méditerranée, ce qui intéresse essentiellement votre commerce du Levant.

Telle est leur imperfection, que pour l'Anacharsis de Barthélemy, les cartes ont été faites d'après des plans levés à la boussole. La mer Caspienne, avec le pays adjacent, est encore si peu connue, que quelques géographes ont varié de cinq degrés sur sa position. Le citoyen Beauchamps, qui a laissé son Observatoire à Bagdad, et qui est nommé consul à Mascate, espère rectifier ces erreurs dans le cours d'un voyage, dont le commerce et l'Astronomie se promettent de grands avantages.

Le Bureau des Longitudes s'occupera également de la Météorologie, science peu avancée, et cependant les résultats de cette branche des connaissances humaines importent singulièrement à l'Agriculture. On sait avec quel succès ils ont été appliqués par Duhamel à la Botanique, par Malouin à la Médecine, par Deluc à mesurer la hauteur des montagnes.

L'Observatoire de Paris, le plus beau monument élevé à l'astronomie, est presque désorganisé. Plusieurs des

membres sont en Belgique à mesurer des triangles, tandis que pour compléter l'arc de neuf degrés et demi, dont la mesure est commencée, Delambre va reprendre les opérations géodésiques depuis Orléans, en continuant vers les Pyrénées; et, des Pyrénées, Méchain s'avancera vers lui en continuant les travaux du même genre. Par l'établissement du Bureau des Longitudes, l'Observatoire se trouve réorganisé.

Dans divers départements, vous avez vu des Observatoires. A Lyon, Dijon, Montauban, Marseille, Toulouse, etc...; et de bons observateurs, tels que Jacques, Darquier, Duc-la-Chapelle, Le Roy et autres. Le Bureau proposera les Observatoires qui doivent être conservés.

Et certes, dans ce nombre, ne seront point oubliés les ports de Brest et de Toulon, qui sont les principaux arsenaux des forces maritimes de la République, où les besoins de la marine commandent impérieusement l'établissement d'Observatoires.

A Brest, le local et les instruments n'attendent qu'une légère dépense pour la bâtisse, et là vous avez pour astronome un homme dont le nom appelle la confiance, le citoyen Rochon.

Sans doute vous favoriserez également l'établissement d'un atelier pour la fabrication des lunettes à Brest, où l'on peut presque toujours se procurer par des prises anglaises le flint-glass nécessaire à leur confection. D'ailleurs les lunettes de Paris, quoique excellentes et fabriquées par des artistes très habiles, ne conviennent pas toujours à la marine, parce que ceux qui observent à terre n'ont pas à redouter l'inconvénient qui résulte des roulis et du tangage des vaisseaux, et que l'horizon sur mer présente un aspect différent de celui de terre.

Si l'on accorde à Ferdinand Berthoud un logement au Louvre, où cet artiste puisse déployer son atelier, il se propose de rendre de nouveaux services à la patrie, en formant gratuitement des élèves pour la construction des horloges marines; alors les moyens de perfectionner la science seront réunis et tandis qu'en ouvrant des canaux vous créez la navigation intérieure, le Bureau des Longitudes, par ses travaux, ses observations et la correspondance avec les savants, tant nationaux qu'étrangers, rassemblera en un faisceau toutes les lumières propres à éclairer et à diriger la navigation extérieure.

Il est instant de réparer le gnomon de Tonnerre, ce qui peut se faire avec très peu de frais.

Vous réaliserez le projet d'un télescope à la manière d'Herschel, ayant 60 pieds de long, sur 6 pieds de diamètre.

La royauté avait souillé tout, la République purifiera tout. Depuis la fin du seizième siècle, toutes les nations ont emprunté à des Français l'usage de marquer le nord par une fleur de lys, tant sur les compas de route, que sur toutes les cartes hydrographiques et même sur les cartes géographiques qui embrassent trop peu d'espace pour qu'on puisse y tracer les méridiens et les parallèles. On ne connaît guère d'exception à cet usage que dans les nouvelles cartes du Kattégat, de la Baltique et du golfe de Finlande, par Nordenankars. Des emblèmes plus convenables à la liberté remplaceront les insignes du despotisme.

Le moment n'est pas éloigné, sans doute, où les nations, abjurant les puérités de l'orgueil, adopteront pour méridien commun, celui que Ptolémée avait fixé à la plus occidentale des îles Canaries.

Le Bureau des Longitudes est, à Londres, composé au moins de dix-huit membres, dont six sont les lords de l'amirauté; celui de Paris sera moins nombreux: dix membres et quatre adjoints; vos Comités vous proposent des hommes que l'Europe nous envie, qui sont créanciers de la postérité, et dont le choix sera une réparation éclatante des outrages faits par les barbares, les contre-révolutionnaires que soldait l'étranger, aux sciences et à ceux qui les cultivent.

Quant aux dépenses, nous ne rappellerons pas celles qu'ont faites les autres peuples, et même les Chinois, pour l'érection d'un magnifique Observatoire; ce qu'ont fait deux tyrans de la France pour l'avancement de l'Astronomie. Sous Louis XIV, la méridienne et la perpendiculaire furent tracées. Sous Louis XV, des colonies de savants se partagèrent en quelque sorte le globe pour observer le passage de Vénus et pour mesurer des degrés terrestres; les uns à l'île Rodrigue, au cap de Bonne-Espérance, en Californie, les autres en Laponie, au Pérou.

Il faut défalquer sur les dépenses nouvelles qu'occasionnera cet établissement, celles qu'entraînait l'Observatoire, puisqu'il sera désormais dans son attribution.

D'ailleurs nous vous dirons qu'en fait d'économie dépenser à propos c'est épargner. On objectera peut-être que, dans les lois organiques relatives à la partie de la Constitution qui a pour objet l'instruction publique, cet article trouvera sa place; il l'y trouvera sans doute, et même notre projet est conçu de manière à être casé dans ce plan; mais le moment où, d'après les bases constitutionnelles, le Bureau des Longitudes

pourrait être organisé, est encore lointain, tandis qu'il s'agit d'une chose urgente. Si vous pensez que l'ajournement soit nécessaire à la discussion, qu'au moins il soit prochain. N'ajournons pas indéfiniment les moyens de prospérité de la République; vous accroîtrez ces moyens propres à hâter le bonheur de la race humaine, et vous léguerez ce dépôt aux générations qui nous suivront et qui nous jugeront. Nous finirons par ces paroles d'un savant, qui, après avoir siégé parmi les législateurs fut assassiné sous le régime de la tyrannie.

"En astronomie, il reste, a dit Bailly, un grand nombre de questions à décider; ce sera l'ouvre du temps et la moisson de la postérité (3)."

** il s'agit de la Tour de l'Horoscope, adossée à l'actuelle Bourse du Commerce, à Paris.*

(1) Relacion historica del viage a la America meridionale, por Juan y Ulloa (tome I, page 119).

(2) En 1779, Trémignon, capitaine de vaisseau, fut expédié de Brest sur le Bizarre de 64 pour se rendre à l'île de France. L'équipage et l'état-major éprouvèrent une maladie si contagieuse, qu'à son arrivée à False Bay, les débris du convoi de M. Duchillaud furent obligés de lui envoyer du monde pour serrer ses voiles et s'amarrer. Après une relâche assez longue, on lui forma un nouvel équipage aux dépens du convoi, avec lequel il partit pour se rendre à sa destination. Mais les hommes sains et robustes qu'on lui avait donnés, ayant été atteints de la maladie dont le germe était resté à bord du vaisseau, il se détermina à se séparer du convoi, et Malavois, élève de Lalande, qui allait en qualité d'ingénieur dans l'Inde, au moyen des observations de longitude, le fit atterrir droit sur l'île de France; au lieu d'aller prendre connaissance de Rodrigues, comme cela se pratique encore aujourd'hui, quoique cette île soit à cent lieues au vent de l'autre. Le Bizarre gagna huit jours par ce moyen sur le convoi; combien d'hommes, dans cet intervalle de temps, eussent péri, quoique la maladie ne fut pas à sa dernière période, elle les moissonnait par centaine chaque jour. (Note communiquée par FAURE [de la Creuse], représentant du peuple.)

(3) Histoire de l'Astronomie ancienne, Paris, Debure, 1775, 4°, Discours préliminaire, p. III."



A6. La scrittura nel Fedro di Platone²³¹

*"La verità passa per tre gradini: viene ridicolizzata, viene contrastata, viene accettata come ovvia."
(Arthur Schopenhauer)*

"SOCRATE: Rimane la questione della convenienza e della non convenienza della scrittura, quando essa vada bene e quando invece sia sconveniente. O no?"

FEDRO: Sì.

SOCRATE: Sai allora come, nell'ambito dei discorsi, potrai acquistarti il massimo favore di un dio con le tue azioni e le tue parole?

FEDRO: Per niente. E tu?

SOCRATE: Io posso raccontarti una storia tramandata dagli antichi; il vero essi lo sanno. E se noi lo trovassimo da soli, ci importerebbe ancora qualcosa delle opinioni degli uomini?

FEDRO: Hai fatto una domanda ridicola! Ma racconta ciò che dici di aver udito.

SOCRATE: Ho sentito dunque raccontare che presso Naucrati, in Egitto, c'era uno degli antichi dèi del luogo, al quale era sacro l'uccello che chiamano ibis; il nome della divinità era Theuth. Questi inventò dapprima i numeri, il calcolo, la geometria e l'astronomia, poi il gioco della scacchiera e dei dadi, infine anche la scrittura. Re di tutto l'Egitto era allora Thamus e abitava nella grande città della regione superiore che i Greci chiamano Tebe Egizia, mentre chiamano il suo dio Ammone. Theuth, recatosi dal re, gli mostrò le sue arti e disse che dovevano essere trasmesse agli altri Egizi; Thamus gli chiese quale fosse l'utilità di ciascuna di esse, e mentre Theuth le passava in rassegna, a seconda che gli sembrasse parlare bene oppure no, ora disapprovava, ora lodava. Molti, a quanto si racconta, furono i pareri che Thamus esprime nell'uno e nell'altro senso a Theuth su ciascuna arte, e sarebbe troppo lungo ripercorrerli; quando poi fu alla scrittura, Theuth disse: «Questa conoscenza, o re, renderà gli Egizi più sapienti e più capaci di ricordare, poiché con essa è stato trovato il farmaco della memoria e della sapienza». Allora il re rispose: «Ingegnosissimo Theuth, c'è chi sa partorire le arti e chi sa giudicare quale danno o quale vantaggio sono destinate ad arrecare a chi intende servirsene. Ora tu, padre della scrittura, per benevolenza hai detto il contrario di quello che essa vale. Questa scoperta infatti, per la mancanza di esercizio della memoria, produrrà nell'anima di coloro che la impareranno la dimenticanza, perché fidandosi della scrittura ricorderanno dal di fuori mediante caratteri estranei, non dal di dentro e da se stessi; perciò tu hai scoperto il farmaco non della memoria, ma del richiamare alla memoria. Della sapienza tu procuri ai tuoi discepoli l'apparenza, non la verità: ascoltando per tuo tramite molte cose senza insegnamento, crederanno di conoscere molte cose, mentre per lo più le ignorano, e la loro compagnia sarà molesta, poiché sono divenuti portatori di opinione anziché sapienti».

FEDRO: Socrate, tu pronunci con facilità discorsi egizi e di qualsiasi paese tu voglia!

SOCRATE: E pensa che alcuni, mio caro, hanno asserito che i primi discorsi profetici nel tempio di Zeus a Dodona venivano da una quercia! Agli uomini di allora, dato che non erano sapienti come voi giovani, bastava, nella loro semplicità, ascoltare una quercia o una roccia, purché dicessero il vero; ma forse per te fa differenza chi è colui che parla e da dove viene. Non miri infatti solamente a questo, se le cose stanno così o diversamente?

FEDRO: Hai colto nel segno, e mi sembra che riguardo alla scrittura le cose stiano come dice il re di Tebe.

SOCRATE: Allora chi crede di tramandare un'arte con la scrittura, e chi a sua volta la riceve nella convinzione che dalla scrittura deriverà qualcosa di chiaro e di saldo, dev'essere ricolmo di molta ingenuità e ignorare realmente il vaticinio di Ammone, se pensa che i discorsi scritti siano qualcosa in più del riportare alla memoria di chi già sa ciò su cui verte lo scritto.

FEDRO: Giustissimo.

SOCRATE: Poiché la scrittura, Fedro, ha questo di potente, e, per la verità, di simile alla pittura. Le creazioni della pittura ti stanno di fronte come cose vive, ma se tu rivolgi loro qualche domanda, restano in venerando silenzio. La medesima cosa vale anche per i discorsi: tu potresti anche credere che parlino come se avessero

[231] Platone. *Tutte le opere - Fedro*, pp. 983-985.

qualche pensiero loro proprio, ma se domandi loro qualcosa di ciò che dicono coll'intenzione di apprenderla, questo qualcosa suona sempre e solo identico. E, una volta che è scritto, tutto quanto il discorso rotola per ogni dove, finendo tra le mani di chi è competente così come tra quelle di chi non ha niente da spartire con esso, e non sa a chi deve parlare e a chi no. Se poi viene offeso e oltraggiato ingiustamente ha sempre bisogno dell'aiuto del padre, poiché non è capace né di difendersi da sé né di venire in aiuto a se stesso.
FEDRO: Anche queste tue parole sono giustissime".
