

A disgombrar tuoi dubbj /
 Se possa o no rotar l'eterea volta,
 / Così m'udisti argomentar, nè
 intendo / Asseverar perciò che il
 ciel si mova, / Qual sembra a te
 che fai quaggiù soggiorno. /
 Da questo basso suol locò sí
 lunge / I cieli e dagli umani
 infermi sensi / Quel gran Fattor,
 perché, se umano sguardo / Gir
 presume lassù, niun frutto colga,
 / E si pasca d'error. Non potria
 forse / Centro dell'universo esse-
 re il Sole, / E l'altre stelle da sua
 forza attratte / E dalla propria
 loro in un sospinte / Muoversi a
 lui d'intorno in varj giri? /
 Tu vedi sei di lor ch'or alto or
 basso / Ed or innanzi ed or
 indietro vanno, / Or s'arrestano,
 or celansi; e la Terra, / Benchè
 immota ti sembri all'aere in
 seno, / Settima unirsi non potria
 con esse, / E con moto tergemino
 diverso, / Nascosto a' sensi tuoi,
 rotarsi anch'ella? / Forza allor
 non saria che a tante sfere /
 In parti opposte obbliquamente
 spinte / Tu quei giri ascrivessi:
 ecco del Sole / Cessato allor il
 faticoso corso, / E del primo
 invisibile grand'orbe / Che al di
 sopra d'ogn'astro, il moto imprime
 / A tutto il firmamento e sí la
 ruota / Della notte e del dí per-
 petuo gira, / Più non hai d'uo-
 po: ecco sí lunghe vie / Finger
 non dei, se vèr le piagge Eoe /
 A ricercar per sè medesma il
 giorno / Si volge allor sollecita la
 Terra, / E mentre una sua parte
 al Sole opposta / Via via coperta
 è dal notturno velo, / L'altro
 emisfero suo del pari incontro /
 Va del grand'astro ai raggi.

John Milton (1608-1674), "Il Paradiso Perduto", libro VIII

Non sta, si svolge e gira
 Quanto nel ciel e sott' il ciel si mira.
 Ogni cosa discorre, or alto or basso,
 Benchè sie'n lungo o'n breve,
 O sia grave o sia leve;
 E forse tutto va al medesimo passo
 Ed al medesimo punto.

Giordano Bruno (1548-1600), "De l'infinito, universo e mondi"

Parte seconda

Dal Rinascimento alla sintesi di Newton

«Ma», disse il nano, «questo globo è così malcostrutto, è così irregolare e di una forma che mi sembra ridicola! Tutto qui sembra essere in un caos: non vedete quei piccoli ruscelli, di cui nessuno va diritto; quegli stagni che non sono rotondi nè quadrati nè ovali nè di un'altra forma regolare; tutti quei granellini appuntiti di cui è irta questa palla e che mi hanno scorticato i piedi? (Voleva parlare delle montagne.) Notate anche la forma di tutto il globo, come è piatto ai poli, come gira intorno al Sole in un modo maldestro, così che le zone dei poli restano per forza senza vegetazione. Proprio, quello che mi fa pensare che qui non ci sia nessuno, è che mi sembra che gente di buon senso non ci vorrebbe stare».

Voltaire (1694-1778), "Micromega"

La rivoluzione copernicana fu possibile in europa e non nell'Islam proprio grazie al clima culturale del rinascimento ed al primo passo nella direzione dell'accertamento che molto altro e diverso conteneva il mondo reale rispetto a quanto descritto dai testi antichi, compiutosi con il ritorno a Palos delle caravelle. Dopo Colombo la fiducia di poter andar oltre rispetto alla cultura classica permeò le arti e le scienze e si assistè ad una piú puntigliosa descrizione del fatti nelle varie discipline scientifiche e ad una unione di un raffinato gusto estetico con un naturalismo sempre piú realistico nelle arti figurative. Crebbe una stretta collaborazione tra scienziati ed artisti specie nei trattati di medicina e scienze naturali mentre il fiorire del pensiero critico trovava terreno fertile nell'introduzione in europa della stampa, tecnica con la quale la diffusione delle idee uscì dalle biblioteche delle abbazie per raggiungere anche gli strati laici della popolazione. L'effetto della diffusione delle tirature a stampa delle opere antiche e contemporanee fu una accelerazione mai vista del progresso, e la percezione di questo progresso, in un clima quasi euforico, da parte dei contemporanei.

La prima influenza dei tempi provenne a Nicolò Copernico (1473-1543) dai suoi studi iniziali all'Università di Cracovia, principalmente dal suo professore di filosofia e astronomia Alberto di Brudzewo il quale dichiarava¹:

¹«Tutti i pianeti nei loro movimenti hanno una comunicazione con il movimento del Sole». In: Eugeniusz Rybka: On the origin and development of the copernican cosmology before Newton. In AA.VV.: Copernico e la cosmologia moderna. Atti del Convegno Internazionale omonimo, Roma 3-5 maggio 1973, Accademia Nazionale dei Lincei, Quaderno N.216, Roma, 1975.

Omnes planetæ in motibus suis habent communicationem cum motu Solis.

Ma ascoltava frasi di questo tenore anche da Joannes Schelling da Glogow¹:

Sol est dignissimus planeta ergo etiam eius influentia est nobilior Ille planeta est dignior qui omnes planetarum motus regit, dirigit et mensurat.

Si ergo (cælum) ex omni parte terminat terram, necesse est cælum immobilem esse et fixum.

Il giovane Copernico che aveva vissuto da studente a Bologna, e si era laureato in diritto canonico a Ferrara, due delle piú vivaci università, era pienamente partecipe di questo clima di euforia. Un clima che alcuni pensano sia stato vivacizzato dalla venuta in Ferrara di alcuni sapienti greci per il concilio ecumenico del 1438, i quali avrebbero esposto le idee degli antichi greci Iceta, Ecfanto ed Aristarco sulla mobilità della Terra². I personaggi che si trovò a frequentare furono tutti personalità dai toni piú o meno critici nei confronti del sapere tradizionale. Domenico Maria Ploti da Novara (1454-1504) ipotizzava spostamenti delle latitudini e possiamo immaginare che altre idee precorritrici siano state contenute nelle sue opere di astronomia andate sfortunatamente perdute³. Il canonico Celio Calcagnini (1449-1541), letterato scienziato e filosofo ferrarese, affermava il movimento diurno della Terra nella sua opera del 1518 *Quod caelum stet, terra moveantur, vel de perenni motu terrae*⁴. Scrive Calcagnini nella sua opera⁵:

Avevo detto a te poco fa, nella lettera di dedica al Pistofilo, che questa volta del cielo, che tu credi si muova con indicibile velocità, questo Sole, questi astri che stimi essere trascinati con rapidità in un'unica rotazione, sono immobili e godono di perpetua quiete. Questa Terra invece, che tu credi fissa e immobile (così infatti ti inganna la tua vista), nè resta ferma, nè giace sopra elementi piú grandi, come ritiene con sicurezza la massima parte dei mortali. Anzi è essa che, con incomparabile velocità e continua rotazione gira e fa girar noi mortali con le nostre case e città, monti e fiumi, senza che ce ne accorgiamo.

[... ..]

Ma mentre io venivo esponendo queste che son cose alquanto lontane dall'opinione del volgo, tu spesso contraddicevi e ti appellavi alla testimonianza degli occhi: come se fosse cosa

¹«Il Sole è il pianeta piú degno e pertanto anche il suo influsso è piú importante...E' piú degno quel pianeta il quale regola, dirige e misura i movimenti dei pianeti.....Se pertanto (il cielo) delimita da ogni parte la terra, è necessario che il cielo sia immobile e fisso.» Ivi.

²Alessandro Visconti: La Storia dell'Università di Ferrara (1391-1950). Parte I, Cap.VI. Zanichelli, Bologna, 1950.

³Fabrizio Bönoli, C. Colavita e C. Mataix: L'ambiente culturale bolognese del quattrocento attraverso Domenico Maria Novara e la sua influenza in Nicolò Copernico. Memorie Società Astronomica Italiana, vol. 66°, n°4, p.871, 1995.

⁴Tommaso Guido Calcagnini: Della vita e degli scritti di Monsignor Celio Calcagnini Protonotario Apostolico. Stamperia De Romanis, Roma, 1818. Per un'altra biografia si veda: Alfonso Lazzari: Un Enciclopedico del Secolo XVI, Celio Calcagnini. In: Atti e Memorie della Deputazione Ferrarese di Storia Patria, Vol. XXX, p.84-164. Premiata Tipografia Sociale, Ferrara, 1936.

⁵Celio Calcagnini: Il Cielo sta fermo e la Terra si muove, ossia del perenne moto della Terra. Traduzione e nota introduttiva di Virgilio Mattioli. In: Atti e Memorie della Deputazione Ferrarese di Storia Patria, Vol. XXX, p.166-192. Premiata Tipografia Sociale, Ferrara, 1936.

stolta e non lontana dalla pazzia non avvertire che, dall'oriente all'occidente e di nuovo dall'occidente all'oriente, il cielo e gli astri che vi sono disposti ad arco, girano e conservano questa vicenda con continuità. E io invano spesso ti consigliavo a staccarti una volta dagli occhi e a considerare teco stesso quel detto del poeta: «Usciamo dal porto, terre e città si allontanano». Chi vi è infatti che, viaggiando su una nave, quantunque sappia ed avverta di essere trasportato, e, chiuso nei tanto ristretti limiti di essa, da ogni parte veda il suo mezzo di trasporto, se tuttavia un po' attentamente fissa lo sguardo sulle rupi più vicine e sui boschi lungo le rive, non creda di trovarsi in un luogo immobile e che le rive e i boschi si muovano? Quanto meno strano deve sembrare se, posti noi su così grande mole, siamo presi e trasportati per nostra sorte, inconsi della nostra umana condizione? Infatti la grandezza della Terra impedisce che i sensi giungano a percepirne il movimento: ci inganna la grandezza della mole, la quale rende nulla la percezione della velocità.

In quelle cose dunque, nelle quali i sensi non possono del tutto adempiere il loro ufficio, o vengono impediti da qualche ostacolo o limitati dalla distanza dei luoghi, niente giova di più, per la ricerca della verità, che appellarsi alla ragione e vagliare gli argomenti che testimoniano di una cosa dubbia.

È vecchio l'adagio di Gorgia, secondo Platone, che il filosofo deve porre attenzione non agli occhi, ma alla ragione.

Calcagnini era contemporaneo del Cardinale Nicola Cusano che nella *Dotta Ignoranza* già parlava di mobilità della Terra, ed uno scambio epistolare intercorse tra loro¹.

L'imperante neoplatonismo percepiva inappropriato il sistema tolemaico a causa dei molteplici centri intorno a cui dovevano ruotare deferenti ed epicicli, e i diversi espedienti che rendevano irregolari tali moti. Si assistè quindi ad una rinascita di interesse per il sistema delle sfere omocentriche che godevano della benvista proprietà di muoversi di moti circolari uniformi e concentrici². Girolamo Fracastoro (1478-1553), medico e astronomo veronese, nel 1538 dette alle stampe la sua *Homocentrica*, opera che tenta la riforma dell'*Almagesto* tolemaico ritornando alle sfere omocentriche, di cui dovette elevare il numero a 79 per meglio accordare teoria e dati³. Analoghi propositi riformatori ebbero Alessandro Achillini (1463-1512) nel suo libro *De Orbitas* e il cosentino di stanza a Bologna Giovanni Battista Amico (1511-1538) nel *De Motibus Corporum Celestium*. Achillini oltre ad occuparsi di astronomia, era lettore di medicina e anatomia all'u-

¹Ivi. Il Costanzi tende a svalutare il contributo di Calcagnini a favore di quello di Nicola Cusano, a me sembra a torto. A mio giudizio Cusano è molto più vago sull'argomento dei moti terrestri a cui dedica pochi scarni brani inseriti in un più generale schema filosofico, mentre il Calcagnini dedica all'argomento uno specifico trattato in cui più argomenti, benchè semplici, vengono portati a sostegno della tesi. Il tenore degli argomenti di Calcagnini sembra talmente diverso da quello di Copernico che può escludersi con sicurezza una derivazione del testo dell'italiano da fonti di seconda mano sul lavoro in preparazione di Copernico, tantopiù che il ferrarese tratta solamente del moto di rotazione diurno. Una rivalutazione del testo di Calcagnini sarebbe auspicabile.

²Enrico Peruzzi: Un contemporaneo di Telesio: il cosentino Giovan Battista Amico e la teoria delle sfere omocentriche. In: Atti del Convegno «Bernardino Telesio e la Cultura Napoletana», Guida Editori, Napoli, 1990.

³Fracastoro risulta essere anche l'inventore, un secolo prima dell'olandese Jansen e dell'uso fattone da Galilei, del canocchiale. Nel *Homocentrica* scrive: «Si quis per duo specilla ocularia prospiciat, altero alteri superposito, maiora multo et propinquiora videbit omnia». Cit. in Costanzi, Op.cit. Parte II, Cap. II. È probabile che abbia fatto uso di questo apparecchio nelle sue osservazioni astronomiche.

niversità bolognese (il primo ad eseguire autopsie didattiche), e sappiamo che Copernico si intendeva di questa disciplina; è molto probabile quindi che sia entrato in contatto anche con le idee di questo docente¹. Si conserva memoria che l'orologio della torre di Bologna raffigurasse il mondo con il fuoco centrale e la Terra orbitante secondo le concezioni di Filolao². Tuttavia un ulteriore impulso alla formazione di Copernico provenne dal suo soggiorno romano, dove poté incontrare Giovanni Muller (1436-1476), detto Regiomontano, morto prematuramente, che era già sulla strada di quella riforma astronomica che solo il polacco avrebbe portato a termine. Molte proposizioni dell'opera maggiore di Copernico corrispondono a proposizioni dell'opera *Dei triangoli piani e sferici* di Regiomontano³. Alcune fonti narrano anche che degli appunti sul moto della Terra del matematico cosentino Girolamo Tagliavia (1414-1445)⁴ sarebbero pervenuti al polacco durante il suo soggiorno romano⁵, cosa non improbabile dato il luogo di provenienza dove anticamente erano fiorite le idee pitagoriche.

Copernico aveva anche una grande cultura umanistico-letteraria, e si sa che nella sua biblioteca erano presenti le opere del letterato e poeta napoletano Giovanni Gioviano Pontano (1422-1503) su argomenti astronomici e astrologici (*De rebus caelestibus*, *Urania sive de stellis*, *Meteorum liber*), i cui versi (da *Urania*) lo stesso Retico⁶ cita nella sua Narratio Prima quando parla della posizione centrale del Sole⁷:

[... ...]

at medios caeli tractus, medii aetheris oram
fons lucis Sol auricomus, Sol igneus ambit,
Sol, qui terrarum flammis opera omnia lustrat;
ipse idem superum princeps ductorque choreae
ad cuius numeros et di moveantur et orbis⁸
accipiat leges praescriptaque foedera servet
agnoscant aerae imperii, maria alta tremiscant
audiet et longe tellus fatalia iussa,

¹Bronislaw Bilinski: "La vita di Copernico" di Bernardino Baldi dell'anno 1588 alla luce dei ritrovati manoscritti delle "Vite dei matematici". Accademia Polacca delle Scienze, Biblioteca e Centro di Studi a Roma, Conferenze, Fascicolo 61. Ossolineum, Warszawa, pp.109, 1973.

²Calcaterra, C.: Alma Mater Studiorum, l'Università di Bologna nella storia della cultura e della civiltà. Zanichelli, Bologna, 1948.

³Costanzi, Op.cit. Parte II, Cap.IV.

⁴Da molti riportato come Tallavia, ma che a Cosenza è ricordato come Tagliavia. Sembra che abbia subito un processo come eretico.

⁵Alessandro Visconti: Op. cit. Ivi. Anche in Costanzi, Op.cit. Parte II, Cap.IV.

⁶Retico era il soprannome di Georg Joachim von Lauchen (1514-1576), di madre italiana (De Porris, equivalente di von Lauchen), il cui cognome paterno era stato interdetto dopo la decapitazione del padre per stregoneria.

⁷"... ... ma intorno agli spazi intermedi del cielo, alla regione centrale dell'etere / gira la fonte della luce, il Sole dalle chiome d'oro, il Sole infuocato / il Sole, che illumina con le fiamme tutte le opere della terra; / è insieme principe degli astri e guida del movimento circolare / cosicchè secondo la sua cadenza gli dei si muovono / il mondo riceve le leggi e sorveglia che gli spazi del suo dominio / riconoscano i patti stabiliti, i profondi mari tremano / e la Terra lontano ascolterà gli ordini fatali / Il padre delle cose, proprio perchè non mancasse in un'opera così grande / nessun ornamento, lo mise a capo della luce affinché/ irradiasse i raggi splendenti, perchè illuminasse l'Olimpo / e nello stesso tempo le terre e le grandi regioni del limpido aere" Cit.in Bilinski op.cit.

⁸Questo ed il successivo sono i due versi citati da Retico ne De Libris Revolutionum Narratio Prima.

atque hunc, ne qua opere in tanto decor ulla abesset,
praefecit luci rerum pater, ipse nitentes
spargeret ut radios, ipse ut lustraret Olympum
et terras simul et magnas liquidi aeris oras
[... ...]

Fu forse tutto questo stuolo di maestri italiani, diretti o indiretti, che fece scrivere a Tommaso Campanella in una lettera del 1614 indirizzata a Galilei¹:

Scriva nel principio che questa filosofia è d'Italia [della rotazione della Terra intorno al Sole] da Filolao a Timeo in parte, e che Copernico la Rubbò dai nostri predetti e dal Francesco Ferrarese suo maestro; perché è gran vergogna che ci vincan d'intelletto le nazioni che noi avemmo di selvaggie fatte domestiche.

Ma anche bisogna considerare che nella sua opera Copernico adotta forme di ragionamento e di confutazione degli argomenti aristotelici avversi ai moti terrestri che seguono fedelmente Buridano ed Oresme, un fatto che lascia intuire come egli fosse profondo conoscitore, anche dal pensiero critico sviluppatosi in Inghilterra e Francia nel tardo medioevo. Giovanni Buridano (1300-1358) fu forse il più incisivo sull'argomento e certo il più influente sulla successiva rivoluzione astronomica. Nel passo che riportiamo vengono menzionate dispute con gli esperti di astronomia che aprono uno spiraglio su quelle che dovevano essere le discussioni reali e su quelle libertà che si riservavano legittimamente gli astronomi che aprirono la strada alla più ampia libertà cui si sentiva legittimato Copernico. Scrive Buridano²:

C'è anche un quarto dubbio, ed è se, ponendo che la terra si muova circolarmente intorno al suo centro e sui suoi propri poli, si potrebbero salvare tutti i fenomeni che ci appaiono. [... ...]

Bisogna dunque sapere che molti considerarono probabile e non contraddittorio con le apparenze il moto circolare della Terra nel modo predetto [... ...]. In tal caso è necessario ammettere che la sfera stellata sia in quiete, e mediante quel moto della Terra avremmo la notte e il giorno, cosicchè quel moto della Terra sarebbe un moto diurno. E di ciò potete avere un esem-

¹Cit.in Bilinski op.cit. Nel brano è citato Francesco Ferrarese che in realtà dovrebbe essere Celio Calcagnini di Ferrara, citato male a memoria da Campanella. Di questo errore parla Edward Rosen in: Copernicus and his relation to Italian science. In AA.VV.: Copernico e la cosmologia moderna. Atti del Convegno Internazionale omonimo, Roma 3-5 maggio 1973, Accademia Nazionale dei Lincei, Quaderno N.216, Roma, 1975. Rosen è però convinto che lo spurio Francesco Ferrarese debba identificarsi con Domenico Maria da Novara, sulla base di un brano di Campanella nel suo Apologia pro Galileo. Rosen non fa menzione nè di Calcagnini nè del suo trattato sul moto della Terra nè del fatto che Copernico si addottorò in diritto canonico a Ferrara dove esiste ancora il suo diploma di laurea, tutte cose che fanno propendere per l'identificazione in Calcagnini. Un Francesco da Ferrara di cui poco si conosce non sembra essersi occupato di moti terrestri.

²Giovanni Buridano: Questioni sui quattro libri sul cielo e il mondo di Aristotele. Libro II, questione XXII. In Marshall Clagett: La scienza della meccanica nel medioevo. Documento 10.1. Con testo latino e traduzione di Libero Sosio. 2ª ediz. Feltrinelli, Milano, 1981. Oppure in Giovanni Buridano: Il Cielo e il Mondo. Commento al trattato «Del cielo» di Aristotele. Introduzione, traduzione, sommario e note di Alessandro Ghisalberti. Centro di Ricerche di Metafisica dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano, Rusconi, Milano, 1983.

pio; se infatti qualcuno si trovasse su una nave in movimento, ed immaginasse di trovarsi in quiete, e vedesse un'altra nave, in realtà immobile, gli apparirebbe che sia quell'altra nave a muoversi; poiché il suo occhio sarà rispetto a quell'altra nave esattamente come sarebbe anche nel caso contrario. Analogamente poniamo che la sfera del Sole sia del tutto in quiete e che la Terra vada in giro trasportandoci con sé; se immaginiamo di essere in quiete, così come l'uomo che si trova sulla nave che si muove velocemente, il quale non percepisce il moto suo né quello della nave, allora è certo che per noi il Sole prima sorgerà e poi tramonterà esattamente come fa ora quando è lui a muoversi e noi a restare immobili.

È vero tuttavia che, se la sfera stellata è in quiete, è necessario concedere che le sfere dei pianeti sono in moto; poiché altrimenti i pianeti non muterebbero posizione tra loro né rispetto alle stelle fisse. Perciò secondo quest'opinione ciascuna sfera planetaria si muove come la Terra, ossia da occidente a oriente; ma poiché la Terra ha un cerchio minore, perciò compie la sua rotazione in un tempo minore, e conseguentemente la Luna in un tempo minore rispetto al Sole, e così in generale, compiendo la Terra la sua rotazione in un giorno, la Luna in un mese, e il Sole in un anno, ecc.

È indubitabilmente vero che se le cose stessero così come si pone in questa ipotesi, i fenomeni celesti non sarebbero diversi da come ora ci appaiono.

[... ...]

Ma tuttavia questa opinione non è accettabile, in primo luogo perché è contraria all'autorità di Aristotele e di tutti gli astronomi. Ma quelli ribattono che l'autorità non è una dimostrazione, e che agli astronomi è sufficiente trovare un modo per salvare i fenomeni, indipendentemente dal fatto che le loro teorie abbiano o no un contenuto reale. In entrambi i casi esse possono infatti salvare i fenomeni; perciò gli astronomi possono adottare le teorie che preferiscono.

Sappiamo che i trattati inglesi e francesi di critica scolastica di Occam (?-1349), Oresme (1325-1382), Buridano (1300-≈1358) furono, fra il '300 ed il '400, immediatamente conosciuti e insegnati nelle università italiane, principalmente a Padova, seguita da Bologna, Pavia, Ferrara, da ingegni come Biagio Pelacani, Messinus (Masino Codronchi), Giovanni da Casale, Francesco da Ferrara, Angelo da Fossambruno, Jacopo da Forlì. Proprio nei territori che funsero da fertile terreno prima per Copernico e poi per Galilei. Tutto questo a testimonianza dell'inestricabile legame di idee che in filosofia, nelle lettere, nelle arti, andava lentamente maturando, sfumando dal medioevo al rinascimento, a favore di quel profondo innovamento che nelle scienze astronomiche fu colto, per merito della sua interdisciplinare competenza, da Copernico.

Gli astronomi del suo tempo avevano bisogno di metodi di calcolo sempre più perfezionati per predire la posizione dei corpi celesti e questi metodi raffinati erano forniti dall'Almagesto, la più importante opera di Tolomeo (100-178 d.C.), e dai suoi numerosi perfezionamenti. D'altra parte il metodo dei deferenti ed epicicli era poco soddisfacente per chi aveva cultura solo umanistica e badava solo all'aspetto estetico del problema. Alfonso X il Savio (1252-1284), re di Castiglia, che incoraggiò la stesura di nuove tavole astronomiche (Tavole Alfonsine), rimase sbalordito di fronte al complicato intrecciarsi di epicicli e deferenti, «Se Dio mi avesse interpellato, - disse -, le cose avrebbero avuto un ordine migliore».

L'insistere sull'argomentazione estetica è dovuto semplicemente al fatto

che la rivoluzione Copernicana era imbevuta di estetica neoplatonica e si imperniò prevalentemente sull'antagonismo tra due concezioni estetiche: quella di Copernico che considerava addirittura mostruoso (ed effettivamente lo era) l'apparato tecnico sviluppato da Tolomeo e successori, che per di più negava al Sole il posto centrale che meritava (il Sole non era nemmeno sull'orbe centrale, il quarto), e quella della cultura non iniziata ai problemi tecnici dell'astronomia, dei poeti, dei letterati, che giudicava meravigliosa (ed effettivamente lo era), nonostante le numerose sue contraddizioni, la cosmologia Aristotelica. Il concetto che i pianeti siano posti in involucri sferici ruotanti concentrici con la Terra rimase fino all'inizio del secolo XVII una parte accettata del pensiero cosmologico. Le sfere cristalline di "etere" escogitate da Aristotele per i pianeti rimasero una struttura del tutto superflua; accettate tuttavia per i loro agganci con le credenze religiose e con l'ambiente culturale e artistico in generale, esse determinarono unitamente ad eventi di carattere storico il forte ritardo (tredici secoli) con cui maturò la rivoluzione Copernicana¹.

Il metodo dell'epiciclo centrato su un deferente concentrico con la Terra comportava continui adattamenti per accordare sempre più teoria ed osservazioni con conseguente complicazione ed appesantimento dell'intera struttura quale prezzo pagato per una maggiore precisione. Una delle ragioni principali di tale ricerca di perfezione fu, strano a dirsi, uno scopo del tutto irrazionale: la compilazione degli oroscopi, di cui si faceva largo uso nei secoli vicini alla nascita di Cristo e nel tardo medioevo. Il metodo degli epicicli e deferenti si rivelò fecondo di risultati e molto malleabile; se un pianeta sottoposto a osservazione non risultava essere nella posizione attesa, si poteva sempre aggiungere un altro piccolo epiciclo centrato su quello più grande che spiegasse l'irregolarità almeno fino a che rilevazioni ancora più precise non avessero richiesto altre aggiunte del tipo epiciclo su epiciclo. Si giunse così a sistemi che impiegavano più di una dozzina di epicicli²: incomincia a delinearsi l'abnormità del sistema Tolemaico. Tale mancanza di economia deve essere stata in qualche modo avvertita se si cercò di ottenere gli stessi risultati con mezzi alternativi più semplici, cadendo però sempre più verso la mancanza di realtà fisica. Uno dei metodi alternativi conosciuti sin dall'antichità è quello degli eccentrici cioè un deferente non concentrico alla Terra abbinato sempre ad alcuni epicicli. Un altro consiste nel far ruotare il centro dell'eccentrico su un piccolo deferente o addirittura su un altro piccolo eccentrico, tutto combinato con più epicicli con piani di rotazione variamente inclinati per spiegare le deviazioni dall'eclittica. Un altro ancora: l'equante; il pianeta si muove su un normale deferente, però il suo moto è vincolato dal fatto che il suo raggio vettore spiccato da un punto distinto dal centro della Terra (l'equante) deve percorrere angoli uguali in tempi uguali. Già tutti questi ritrovati avrebbero potuto produrre una crisi di credibilità per la teoria

¹Thomas Kuhn: *La rivoluzione Copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Einaudi, Torino, 1972.

²Thomas Kuhn: *Op.cit.* Einaudi, Torino, 1972.

tolemaica eppure non fu così. L'Universo di Tolomeo resistè fino al XVII secolo ben oltre la pubblicazione del lavoro di Copernico che avvenne nel 1543. In ogni caso tutti questi espedienti sempre piú complicati e le teorie riformatrici (ma ancora geocentriche) del sistema tolemaico di Fracastoro, Achillini, Amico, che Copernico conobbe in Italia dovettero convincerlo profondamente che era vero quello che affermava Buridano: «perciò gli astronomi possono adottare le teorie che preferiscono», e lo ribadì nella introduzione del *De Revolutionibus*¹:

E sebbene l'opinione [il moto della Terra] potesse sembrare assurda, tuttavia, poiché sapevo che prima di me ad altri era stata concessa questa libertà, cioè di immaginare qualsivoglia cerchio per spiegare i fenomeni celesti, ritenni che anche a me senza difficoltà fosse concesso di cercare se, ammesso un qualche movimento della Terra, si potessero trovare spiegazioni piú sicure delle loro sulla rivoluzione delle sfere celesti.

Naturalmente non fu soltanto il trovar poco attraenti i metodi antichi che condusse Copernico a introdurre ipotesi nuove; egli credeva nella realtà dell'ipotesi della non centralità della Terra e nel Sole come nuovo riferimento. E tali idee aleggiavano già da tempo negli ambienti di piú alta cultura. L'idea del Sole come centro del mondo si trova ricorrentemente in scritti dei secoli immediatamente precedenti Copernico; nel '200 persino in opere che esponevano il sistema aristotelico al Sole veniva attribuito un posto centrale, ma intendendo per centro l'orbe del Sole che si trovava tra quello di Venere e quello di Marte. Per esempio ne *La composizione del Mondo* (1282) di Frà Restoro d'Arezzo si legge²:

E cum ciò sia cosa che 'l mezzo sia trovato piú nobele de tutte l'altre parti, e lo Sole sia nello mezzo de tutti li planeti, potremmo dire per rascione secondo questa via che 'l Sole colla sua spera sia piú nobele de ciascheduno planeta colla sua spera, emperciò ch'elli è nello mezzo. Adonqua, quanto lo planeta colla sua spera sarà piú presso al mezzo, tanto sarà piú nobele; e quanto ne sarà piú delogne, tanto sarà meno nobele.

Questo potè forse costituire un ulteriore passo verso la collocazione del Sole in posizione davvero centrale e stabile. Venne formandosi, grazie specialmente a Ficino e alla sua accademia neoplatonica, un effettivo culto del Sole che ne faceva sempre in misura crescente il corpo celeste piú carico di significati filosofici e cosmologici, culto che attraversò tutto il rinascimento e che ritroviamo anche nella città ideale di Campanella.

Era ormai chiaro che gli oggetti terrestri cadono verso il suolo come gli oggetti sulla Luna cadono verso il suolo lunare. Si aveva perfino sentore preciso della forza di gravità (per ora localizzata solo nelle vicinanze della terra) come forza simile (ma secondo Buridano con proprietà ben distinte) a quella magnetica, preludio alla generalizzazione compiuta da

¹Nicola Copernico: Opere. De Revolutionibus. La lettera prefazione "Al Santissimo Signore Paolo III". A cura di Francesco Barone. UTET, Torino, 1979.

²Restoro D'Arezzo: Op.cit. II-8-10(7).

Newton. Come esempio si leggano questi passi, dagli scritti di Leonardo da Vinci (1452,1519)¹:

...tal Luna è vestita dè sua elementi, cioè acqua, aria e foco, e cosí in sè per sè si sostenga in quello spazio, come fa la nostra terra coi sua elementi in quest'altro spazio, e che tale ofizio facino le cose gravi nè sua elementi, qual fanno l'altre cose gravi nelli elementi nostri.

...la terra non è nel mezzo del cerchio del Sole né nel mezzo del mondo, ma è ben nel mezzo dè sua elementi, compagni e uniti con lei;...

Ma di questo [la gravità] non veggo nello umano ingegno modo di darne scienza, che a dire, come si dice della calamita che tira il ferro, cioè che tal virtù è occulta proprietà, delle quali n'è infinite in natura.

Ma dovremmo forse riflettere anche sulle ragioni pratiche della rivoluzione copernicana cosí come vengono dichiarate dal suo protagonista. Copernico si interessò vivamente dei problemi dell'astronomia a causa dei gravi sfasamenti tra calendario Giuliano e cicli astronomici². La strada del polacco sembra proseguire idealmente quella aperta dal Cardinale Nicola da Cusa che dedicò un trattatello al problema della riforma calendariale³, *De Emendatione Kalendarii*, e che a questo scopo sembra si fosse interessato personalmente di astronomia, allestendo un suo piccolo osservatorio. Copernico indirizzò il suo studio ed il suo libro alla risoluzione del problema, dichiarandolo esplicitamente nella lettera dedicatoria a Paolo III. Espliciti inviti epistolari perché collaborassero alla riforma del calendario erano stati inviati nel 1516 dall'astronomo Paolo di Middelburg (capo della commissione vaticana per il nuovo calendario) a molti esperti europei, tra cui Copernico, suo conoscente ed amico. In uno di questi messaggi indirizzati al polacco si legge⁴:

... [invitava Copernico] che intorno a questo negozio volesse affatigarsi, nè solamente intorno al moto del Sole stavano perplessi gli astrologi e teologi radunatisi nel sopradetto concilio, ma del moto della Luna non erano esquisitamente certi ...

Gran parte del *De Revolutionibus* tratta degli elementi (precessione equinozi, anno tropico e sidereo) utili per la costruzione di un nuovo calendario. Per questa urgenza infatti, sebbene il libro segua nei capitoli assai strettamente lo stesso ordine degli argomenti dell'Almagesto, il paragrafo dedicato agli equinozi è anticipato al libro III. I problemi piú grossi erano sull'anno tropico la cui incostanza, secondo Copernico, aveva impedito che già il Concilio Lateranense del 1512-1517 varasse il nuovo calendario. Dopo la compilazione di nuove tavole astronomiche basate soprat-

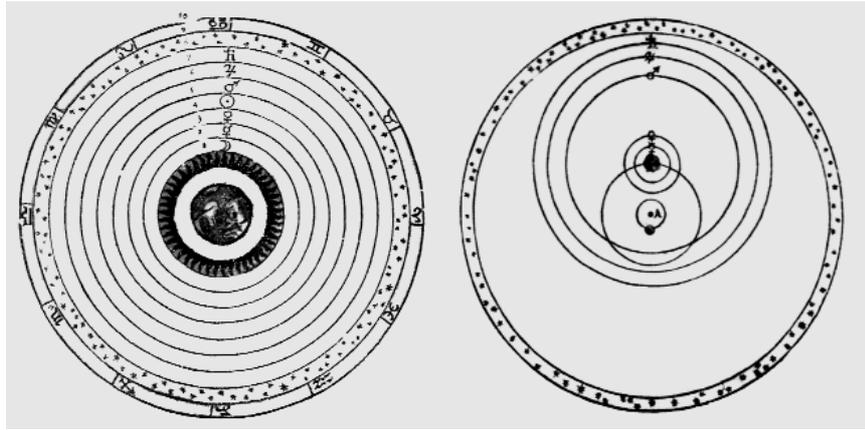
¹Leonardo da Vinci: Scritti, VII-VIII. Con un proemio di Luca Beltrami. Istituto Editoriale Italiano, Milano, s.i.di anno.

²Francesco Maiello: Storia del calendario; la misurazione del tempo, 1450-1800. Cap.IV(2). Einaudi, Torino.1996. Anche si veda Bilinski op.cit.

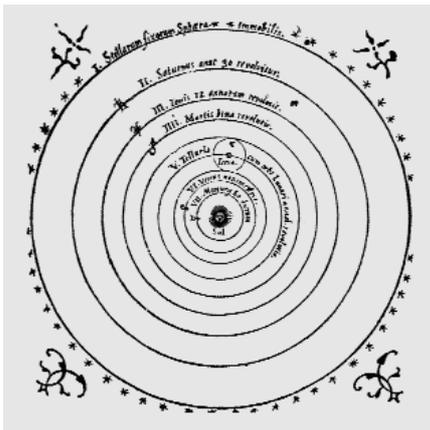
³Enrico Costanzi: La Chiesa e le dottrine copernicane, note e considerazioni storiche. 2ª ediz. Parte I, Cap.II. Biblioteca del clero, Tip. Edit. S.Bernardino, Siena, 1897. Il trattato fu presentato al concilio di Basilea.

⁴Cit.in Bilinski op.cit.

Il sistema tolemaico come tutte le teorie scientifiche aveva contenuti realistici insieme a contenuti determinati dal contesto culturale dell'epoca. Tolomeo si avvicinava al vero riconoscendo l'esistenza degli astri e la sfericità della Terra, ma era influenzato dalle filosofie dominanti per quanto riguarda il geocentrismo.



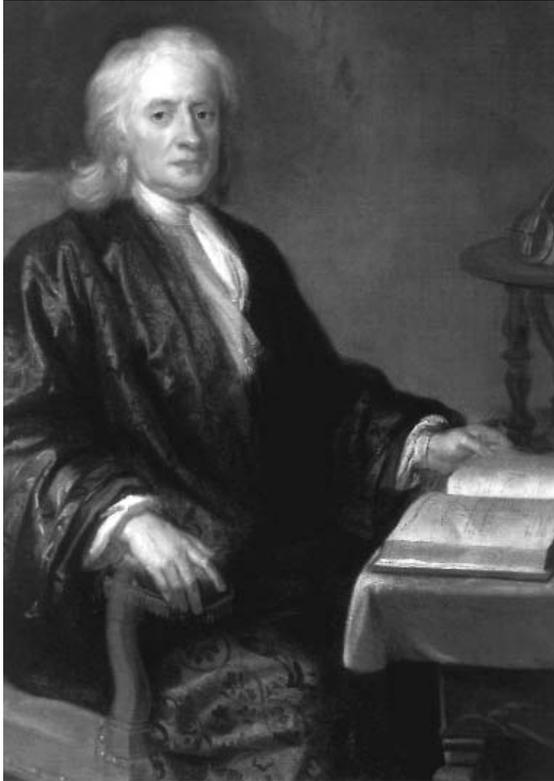
Le influenze del sistema aristotelico non si spensero facilmente e Ticho Brahe cercò di mediare tra i sistemi astronomici rivali conservando la centralità della Terra, ma ponendo tutti gli altri pianeti in moto attorno al Sole.



Il sistema copernicano nacque dai forti influssi filosofici rinascimentali incontrati da Copernico in Italia.

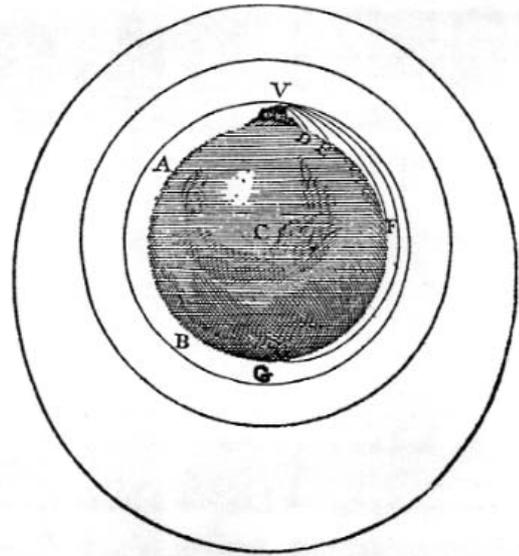


Nicolò Copernico riuscì nella sua impresa di riproporre l'eliocentrismo di Aristarco di Samo grazie alle sue profonde conoscenze interdisciplinari ed alla favorevole occasione della necessità di riformare il calendario.

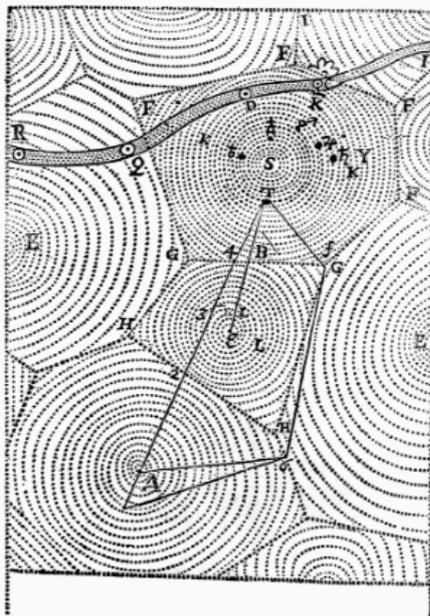


Isacco Newton unificò pienamente la fisica celeste con quella terrestre e si lasciò per sempre alle spalle il neoplatonismo delle forme geometriche

perfette. La forma della Terra divenne non più sferica ma schiacciata ai poli, e le orbite planetarie, perturbate dagli altri pianeti, non più ellittiche.



La forza di gravità per Newton agiva con continuità nei pressi della superficie terrestre ed a qualunque distanza da essa. Un oggetto scagliato orizzontalmente poteva non solo ricadere per terra ma, se scagliato a velocità sufficiente, non ricadere più e compiere un'orbita chiusa periodica.



I vortici del sistema del mondo di Descartes avrebbero dovuto muovere i pianeti ed i loro satelliti intorno al loro asse ed intorno al Sole, ed avrebbero reso la Terra oblunga lungo il proprio asse di rotazione.



René Descartes fu educato presso un collegio della Società di Gesù dove assimilò i classici di Aristotele. Il sistema del mondo di Descartes vuole superare quello aristotelico basandosi sul vaglio della ragione sul-

l'esperienza, ma di fatto rimase un sistema che per mantenersi consistente faceva ricorso ad enti non osservabili quali i famosi vortici, che non riuscivano ad unificare la fisica terrestre con quella celeste.

tutto sui dati di Copernico, l'operazione di correzione del calendario fu imposta, non senza problemi anche di ordine pubblico e di numerosi rifiuti ad adeguarvisi, da papa Gregorio XIII con la soppressione di dieci giorni, saltando dal 4 al 15 ottobre 1582 (in Italia). I paesi protestanti, per ragioni politiche, seguirono il vecchio sistema giuliano fino al '700. Secondo Keplero per loro era meglio «esser in disaccordo con le stelle che in accordo col papa».

Il risultato fu una chiesa che aveva adottato per la sua riforma del tempo i dettami di un libro, autore un esponente stesso della chiesa, che sarà in seguito messo all'indice; una contraddizione che forse spiega la posizione ambigua delle gerarchie ecclesiastiche e l'azione poco incisiva con cui fu combattuta in seguito la diffusione delle nuove idee eliocentriche.

Per concludere bisogna dire che il personaggio Copernico, troppe volte descritto come un genio di cui indagare il percorso delle idee, non deve essere distaccato dal contesto storico, filosofico e culturale in cui si venne a trovare, in diversi luoghi in diversi tempi della sua vita, in luoghi in cui avevano confluato profonde influenze culturali da tempi e regioni differenti. Se la scolastica parigina aveva reso acuto e critico il pensiero delle università italiane dell'Emilia e del Veneto, da mai dimenticate origini pitagoriche provenivano gli innesti dell'Amico, cosentino, e il pensiero del suo concittadino Tagliavia, ambedue figli di quella Magna Grecia meridionale dalla quale ben più noti frutti sarebbero ancora venuti con le opere di Telesio, Campanella, Foscarini e Bruno. Se è vero allora che il polacco raccolse i semi provenienti da disparate latitudini europee, e dal profondo storico di diverse sue epoche, forse, come in altri casi nella storia della scienza, non dovremmo più parlare di rivoluzione, bensì di sintesi copernicana.

Esperimenti ideali e reali

Come abbiamo visto nel precedente passo di Buridano, già nel '300 si trovano modi di ragionare corretti intorno alla mancanza di effetti del moto diurno terrestre sugli oggetti in moto, ma essi erano proposti e sinceramente sentiti come semplici esercizi intellettuali, modelli da discutere ma senza potere probante conclusivo, ribadendo poi chiaramente che si credeva all'immobilità della Terra. Per esempio Nicola Oresme (1325-1382) di poco posteriore a Buridano scrive¹:

[... ..] così come a un uomo che si trova su un'imbarcazione in movimento sembra che siano gli alberi fuori a muoversi. Analogamente, se un uomo fosse in cielo, supponendo che si

¹ Cit.in: Antonio La Russa: Dal cielo antico all'universo macchina. Edizioni Canova, Treviso, 1994; anche con testo francese in Clagett, M.: La scienza della meccanica nel medioevo. Documento 10.2: Oresme: Libro sul cielo e il mondo, Libro I, cap. 25. Traduzione di Libero Sosio. 2ª ediz. Feltrinelli, Milano, 1981.

muovesse con moto diurno gli sembrerebbe che la Terra fosse mossa di moto diurno così come noi sulla Terra sembra che faccia il cielo. Analogamente, se la Terra fosse mossa di moto diurno e il cielo no, a noi sembrerebbe che la Terra fosse in quiete e il cielo in moto, [... ...].

Ma alla fine del suo trattato *Livre du Ciel et du Monde* (1377) scrive, riferendosi al cielo: «Nondimeno tutti credono, e anch'io lo credo, che il cielo sia mosso così e non la Terra»¹. Questo atteggiamento mentale di svalutazione del potere di vaglio della ragione umana tipico della scuola francese e inglese fu ricordato con l'attribuzione a Buridano della favola dell'asinino che muore indeciso tra la biada e la secchia di acqua². In realtà non bisogna sottovalutare il ruolo dirompente che queste sottili modellizzazioni ebbero nell'abitare la cultura ad affrontare i problemi da diversi punti di vista, ad accettare come legittime opinioni lontane dalle tradizionali³.

Anche Nicola Cusano (Nicola di Kues) nella sua *De docta ignorantia*, nel 1440, un secolo prima di Copernico, aveva affermato che «Terra est stella mobilis» inserendo questo concetto in un arditissimo universo infinito e quindi senza centro e circonferenza ripreso poi da Bruno. Scrive il Cusano⁴:

Ma a noi ormai è chiaro che codesta Terra si muove veramente, anche se non ne avvertiamo il movimento. Non riusciamo ad accorgerci del moto che in relazione a qualcosa di fisso. Se uno non sapesse che l'acqua scorre e non guardasse alle rive stando sulla barca in mezzo al fiume, come saprebbe che la barca si muove? Per questo, poiché a ciascuno, si trovi egli sulla Terra, sul Sole o su un'altra stella, sembra sempre di stare in un centro immobile e che tutto il resto invece si muova, egli immaginerebbe continuamente poli diversi stando sul Sole, sulla Luna o su Marte, e via dicendo. La macchina del mondo avrà il centro dovunque, e la circonferenza in nessun luogo, poiché il suo centro e la sua circonferenza sono Dio, che è dappertutto e in nessun luogo. [... ...]

Nel circolo il principio coincide con la fine. Il moto più perfetto è dunque quello circolare e, perciò, la figura circolare più perfetta è la sfera.

[... ...]

La figura della Terra è dunque nobile e sferica, il suo movimento è circolare, ma lo potrebbe essere in modo più perfetto.

Ambedue questi predecessori di Copernico, Oresme e Cusano, e con loro Calcagnini, non parlano mai del moto orbitale della Terra intorno al Sole e nel consolidamento di questo ulteriore passo (che già si trova in Buridano) consiste la rivoluzione copernicana.

¹Nicola Oresme: *Le livre du ciel et du monde*. Libro I, capitolo XXV. In Marshall Clagett: *La scienza della meccanica nel medioevo*. Documento 10.2. Con testo francese e traduzione di Libero Sosio. 2ª ediz. Feltrinelli, Milano, 1981.

²Tuttavia non bisogna sottovalutare il ruolo che può avere avuto in questa indecisione, reale o apparente, il clima religioso dogmatico del tempo. Non era permesso, senza incorrere in problemi anche gravi con i teologi, contraddire ciò che le sacre scritture affermavano letteralmente anche in brevi brani. Controprova di questo atteggiamento conformistico limitante era il fatto che i problemi di cui la bibbia non trattava, erano discussi ampiamente senza infingimenti e su di loro si potevano assumere posizioni diverse. Si veda capitolo su Terra piatta o sferica e su geocentro.

³Rolf Schönberger: *La scolastica medievale, cenni per una definizione*. Edizioni Vita e Pensiero, Milano, 1997.

⁴Nicola Cusano: *La docta ignorantia - Le congetture*. p.174. Rusconi, Milano, 1988.

L'argomento del moto relativo nave-terraferma è trattato da Copernico insieme ad altre sue confutazioni nel *De Revolutionibus*¹:

[... ..] quando una nave viaggia nella bonaccia, i naviganti vedono tutte le cose che son fuori di essa muoversi ad immagine del suo movimento e, inversamente, credono sè stessi e tutto ciò che hanno con sè in riposo. Così di certo può accadere anche per il movimento della Terra, in modo che si creda che tutto quanto il mondo giri intorno ad essa. Ma che potremo dire, dunque, delle nubi e di tutte le altre cose sospese nell'aria, sia di quelle che tendono al basso come di quelle che, invece, volgono verso l'alto? Niente altro se non che non solo la Terra con l'elemento acqueo che le è unito si muove in tal modo, bensì anche una parte non trascurabile dell'aria e tutto ciò che, nello stesso modo, ha un rapporto con la Terra, sia che l'aria vicina, mescolata di materia terrea e acquosa, segua lo stesso comportamento naturale della Terra, sia che il moto dell'aria sia un movimento acquisito che l'aria, essendo vicina alla Terra, prende da essa senza resistenza e con perpetua rivoluzione.

Giordano Bruno (1548-1600), l'uomo che oltre al mondo infinito e non piú bisognoso di un centro accettò il sistema copernicano, si esprime nella *Cena delle Ceneri* (1584) già a confutazione dell'argomento della pietra lasciata cadere dalla cima di un albero di imbarcazione²:

[... contro l'argomento] che fusse vero la terra muoversi verso il lato che chiamiamo oriente, necessario sarebbe che le nuvole del aria sempre apparissero discorrere verso l'occidente, per ragione del velocissimo et rapidissimo moto di questo globo, che in spacio di vintiquattro ore deve aver compito sí gran giro [... ..]. Se dunque saranno dui, de quali l'uno si trova dentro la nave che corre, et l'altro fuori di quella: de quali tanto l'uno quanto l'altro abbia la mano circa il medesimo punto de l'aria; et da quel medesimo loco nel medesimo tempo ancora, l'uno lascie scorrere una pietra, et l'altro un'altra, senza che gli donino spinta alcuna: quella del primo senza perdere punto, nè deviar dalla sua linea, verrà al prefisso loco: et quella del secondo si troverà tralasciata a dietro. Il che non procede da altro, eccetto che la pietra che esce dalla mano del uno che è sustentato da la nave, et per conseguenza si muove secondo il moto di quella, ha virtù impressa quale non ha l'altra che procede da la mano di quello che n'è fuora.

Quanto all'inizio del '600 fosse forte l'influsso della fisica aristotelica su delle menti che vi erano abituate ed in assenza ancora di una fisica nuova rigorosamente espressa, si evince proprio dalla notevole perplessità che circondava il comportamento dell'atmosfera. Il gesuita Giovanni Botero (1540-1617) nelle sue *Riflessioni Universali*, compilazione geografica, attribuiva la causa del vento costante diretto verso ponente che si pensava spirasse ai tropici alla rotazione del primum mobile. Ed anche un copernicano come il domenicano Paolo Antonio Foscarini (che, vedremo nel seguito, fu ammonito parallelamente a Galileo) pensava che quelle brezze fossero una prova del moto diurno terrestre, seguendo idee essenzialmente

¹Nicola Copernico: Opere. De Revolutionibus. La lettera prefazione "Al Santissimo Signore Paolo III". A cura di Francesco Barone. UTET, Torino, 1979.

²Giordano Bruno: La Cena delle Ceneri. Dialogo III, p.73. A cura di Augusto Guzzo, introduzione di Antonio Riccardi e note di Romano Amerio. Ricciardi-Mondadori, Milano, 1995.

aristoteliche. In un carteggio con Galilei scriveva¹:

ho giudicato questo accidente di vento perpetuo orientale sotto la linea equinottiale non essere altro che un poco di resistenza dell'aere, che fa egli incontra il moto della Terra, la quale, dentro di lui e da lui concordata, si muove dall'occidente all'oriente, facendo la notte e il giorno.

Ed ancora, con argomenti sempre meno rigorosi, a causa dell'assenza del concetto di relatività del moto, mischiava le nuove concezioni con la vecchia fisica, traendone grande confusione²

Ma se l'aere che contiene le nubi si muove dell'istesso moto della Terra, per che cagione anco le nubi non si muovono dell'istesso moto? E se mi adduce per cagione il vento, io dirò che è maggiore l'impeto che porta il natural moto dell'aere insieme con la Terra, che non è qualsivoglia impeto di vento: poichè essendo la circonferenza dell'aere più ampia di quella della Terra, se la Terra fa ottocento miglia l'hora o più, l'aere ne farà forse mille e cinquecento; alla quale velocità nissun vento, per impetuoso che sia, può arrivare.

Sebbene Galilei non abbia mai fatto esperimenti in proprio sulla rivelazione degli effetti del moto della Terra, il suo *Dialogo* del 1632, nella parte in cui lungamente si confutano gli argomenti geocentrici degli aristotelici, contengono molti esperimenti mentali che guideranno poi i tentativi pratici di studiosi successivi. Per esempio il personaggio Salviati descrive nella Giornata Seconda, gli argomenti dei tradizionalisti³:

Per la più gagliarda ragione si produce da tutti quella dei corpi gravi, che cadendo da alto a basso vengono per una linea retta e perpendicolare alla superficie della Terra, argomento stimato irrefragabile che la Terra stia immobile: perché, quando essa avesse la conversione diurna, una torre, dalla sommità della quale si lasciasse cadere un sasso, venendo portata dalla vertigine della Terra, nel tempo che 'l sasso consuma nel suo cadere scorrerebbe molte centinaia di braccia verso oriente, e per tanto spazio dovrebbe il sasso perquotere in terra lontano dalla radice della torre. Il quale effetto confermano con un'altra esperienza, cioè col lasciare cadere una palla di piombo dalla cima dell'albero di una nave che stia ferma, notando il segno dove ella batte, che è vicino al pie' dell'albero; ma se dal medesimo luogo si lascerà cadere la medesima palla quando la nave cammini, la sua percossa sarà lontana dall'altra per tanto spazio, quanto la nave sarà scorsa innanzi nel tempo della caduta del piombo, e questo non per altro se non perché il movimento naturale della palla posta in sua libertà è per linea retta verso il centro della Terra.

E poi continua con altri due argomenti che gli aristotelici danno come sicuri, fondandosi su una fisica dell'impetus qualitativa e sbagliata⁴:

¹Cit.in Stefano Caroti: Un sostenitore napoletano della mobilità della Terra: il padre Paolo Antonio Foscarini. In: Lomonaco, F. e Torrini, M. (editori): Galileo e Napoli. Atti del convegno omonimo, Napoli 12-14 aprile 1984, Guida Editori, Napoli, 1987.

²Cit.in Stefano Caroti, Op.cit.

³Galileo Galilei: Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano. Giornata II, p.155. A cura, con introduzione e note di Libero Sosio. Einaudi, Torino, 1970.

⁴Ivi, p.156.

Fortificasi tal argomento con l'esperienza d'un proietto tirato in alto per grandissima distanza, qual sarebbe una palla cacciata da una artiglieria drizzata a perpendicolo sopra l'orizzonte, la quale nella salita e nel ritorno consuma tanto tempo che nel nostro parallelo l'artiglieria e noi insieme saremmo per molte miglia portati dalla Terra verso levante, talchè la palla cadendo non potrebbe mai tornare appresso al pezzo, ma tanto lontana verso occidente quanto la Terra fosse scorsa avanti. Aggiungono di più la terza e molto efficace esperienza, che è: tirandosi con una colubrina una palla di volata verso levante, e poi un'altra con ugual carica ed alla medesima elevazione verso ponente, il tiro verso ponente riuscirebbe estremamente maggiore dell'altro verso levante; [... ...] ma l'esperienza mostra i tiri essere eguali; adunque l'artiglieria sta immobile, e per conseguenza la Terra ancora.

Salviati confuta il primo argomento¹:

SALV. [... ...] Ma la conversione diurna si dà per moto proprio e naturale al globo terrestre, ed in conseguenza a tutte le sue parti, e come impresso dalla natura è in loro indelebile; e però quel sasso che è in cima della torre ha per suo primario istinto l'andare intorno al centro del suo tutto in ventiquattr'ore, e questo natural talento esercita egli eternamente, sia pur posto in qualsivoglia stato. [... ...]

[... ...]

SALV. [... ...] Voi dite: perché, quando la nave sta ferma, il sasso cade al piè dell'albero, e quando ell'è in moto cade lontano dal piede, adunque, per il converso, dal cadere il sasso al piede si inferisce la nave star ferma, e dal caderne lontano s'argumenta la nave muoversi; e perché quello che occorre della nave deve parimente accader della Terra, però dal cader della pietra al piè della torre si inferisce di necessità l'immobilità del globo terrestre. Non è questo il vostro discorso?

[... ...]

SALV. Or ditemi: se la pietra lasciata dalla cima dell'albero quando la nave cammina con gran velocità cadesse precisamente nel medesimo luogo della nave, nella quale casca quando la nave sta ferma, qual servizio vi presterebber queste cadute circa l'assicurarvi se 'l vascello sta fermo o pur se cammina?

SIMPL. Assolutamente nissuno [... ...]

SALV. Benissimo; avete voi mai fatta l'esperienza della nave?

SIMPL. Non l'ho fatta; ma ben credo che quegli autori che la producono l'abbiano diligentemente osservata; oltre che si conosce tanto apertamente la causa della disparità che non lascia luogo di dubitare.

SALV. Che possa esser che quegli autori la portino senza averla fatta, voi stesso ne sete un buon testimonio, che senza averla fatta la recate per sicura, e ve ne rimettete a buona fede al detto loro; siccome è poi non solo possibile, ma necessario che abbiano fatto essi ancora, dico, di rimettersi ai suoi antecessori, senza arrivare mai a uno che l'abbia fatta; perché chiunque la farà troverà l'esperienza mostrar tutto 'l contrario di quel che viene scritto: cioè mostrerà che la pietra casca sempre nel medesimo luogo della nave, stia ella ferma o muovasi con qualsivoglia velocità. Onde, per esser la medesima ragione della Terra che della nave, dal cader la pietra a perpendicolo al piè della torre non si può inferir nulla del moto o della quiete della Terra.

Anche Galilei ricade nella cattiva abitudine degli aristotelici e non esistono prove sicure che abbia eseguito l'esperienza proposta, dandola per

¹Ivi, p.173,174,176.

scontata. Meriterebbe un approfondimento questa contraddizione tra il Galilei “uomo copernicano” non piú meditativo che vive a stretto contatto con architetti, artisti, artigiani, lui stesso allestitore di una officina in cui si costruiscono strumenti, e questo dare per scontato esperienze fondamentali che in seguito altri porteranno a buon fine. Forse residui inconsapevoli della mentalità medievale permangono in Galilei, che svolge la sua opera di demolizione delle antiche concezioni essenzialmente con nuove osservazioni astronomiche assistite da nuova strumentazione autocostruita, ma che ancora non è entrato pienamente nella mentalità sperimentale moderna, se non per la misura dei tempi di percorso delle sferette su un piano inclinato, di cui è rimasta precisa documentazione.

La prova della caduta della pietra dall'albero di una nave fu eseguita con successo nel 1634 da Jean Baptiste Morin (1583-1656) e poi con spettacolo pubblico dal filosofo naturalista Pierre Gassendi (1592-1655) nel 1640 a Marsiglia, su una galera spinta alla massima velocità, con il patrocinio del principe d'Alais, e si vide che la massa cadeva sempre al piede dell'albero maestro. Gli errori in questo tipo di prove erano grandi e dovuti a varie cause: in una esperienza di Jean Gallè (?-1630) del 1628 si trovò una deviazione spuria verso poppa ancora citata come significativa agli inizi dell'800.

I processi alle nuove concezioni

La filosofia aristotelica, la sua Fisica e la struttura del mondo del *De Caelo* facevano parte ormai di un modo comune di pensare, di immaginarsi, senza sperimentare, i fenomeni piú comuni. Era quella filosofia del senso comune che pervadeva anche i sacri testi: l'alto, il basso, i cieli, la terra, gli inferi, il “movimento” degli astri, trovava una collocazione spaziale precisa, ed una spiegazione fisica nelle immagini proposte da Aristotele. Se nella Bibbia il “Padre” era nei cieli rispetto a noi che siamo sull'infima terra (e molti altri casi simili), il negare ogni centro al mondo, come nel pensiero di Nicola Cusano e Giordano Bruno (1548-1600), costituiva l'introduzione di una stridente contraddizione con il dogma, il non saper piú dove collocare gli oggetti, a volte solo mentali, di cui si ragionava. L'inferno doveva essere al centro del mondo; dove porlo ora? In quel Sole a cui le nuove concezioni attribuivano invece veste simile alla divina? Al momento del giudizio universale il Sole doveva fermarsi ad Oriente e la Luna ad Occidente, seguendo il momento deciso dalla divinità; come poteva il volere di dio dipendere dal momento in cui la Ecumene presenta, secondo la rotazione della Terra, la posizione giusta rispetto a Sole e Luna, e poi quale Ecumene, ormai distribuita su una Terra sferica, può rispettare questa condizione per ogni longitudine? Esistevano altri mondi abitati? Ma come potevano discendere da Adamo? E dove si trova l'angelo che dovrebbe spingere il nostro pianeta? Non solo i fedeli meno istruiti, ma

persino gli scienziati provavano l'angoscia dell'incognito, dell'infinito, della perdita della centralità di Adamo. Tycho Brahe aveva quantizzato le distanze nel sistema eliocentrico, e trovava ripugnante l'enorme spazio vuoto tra Saturno e le stelle fisse. Per quale ragione Dio avrebbe dovuto creare una tale immensità di inutile spazio vuoto? Questa distesa sterminata era in contraddizione con le armonie e le proporzioni platoniche.

Keplero stesso rifiutò le nuove concezioni bruniane¹:

Se vi sono in cielo globi simili alla nostra Terra, forse dovremo venire in gara con essi per sapere chi tenga il posto migliore nell'universo? Se infatti i globi di quei pianeti fossero più nobili, non saremmo più noi le più nobili fra tutte le creature razionali. E come allora possono essere tutte le cose per l'uomo? E come possiamo essere noi i signori delle opere di Dio?

Così tutta la cultura delle classi istruite doveva essere sottoposta a radicale revisione. Fontenelle dà una descrizione che possiamo considerare realistica degli stati d'animo diffusi ai suoi giorni nel celebre dialogo con la Marchesa nelle sue *Conversazioni sulla pluralità dei mondi* (1686)²:

«Non mi sbagliavo, prevedendo dove volevate condurmi! - disse la marchesa -. Adesso mi direte: Le stelle fisse sono altrettanti soli, il nostro sole è il centro di un vortice che gira intorno a lui; perché ogni stella fissa non potrebbe essere il centro di un vortice con lo stesso movimento? Il nostro sole illumina un certo numero di pianeti; perché le stelle non potrebbero avere i loro pianeti da illuminare?»

«Non mi resta che rispondervi - le dissi - come rispose Fedro a Enone: Sei tu che l'hai detto.»

«Per me oramai l'universo è diventato così grande - riprese lei - che mi ci perdo; non so più dove sono, non sono più nulla. Ma come, tutto è diviso in vortici gettati alla rinfusa gli uni fra gli altri? Ogni stella è il centro di un vortice, che può essere grande quanto quello in cui ci troviamo! Tutto l'immenso spazio che comprende il nostro sole e i nostri pianeti, è solo una particella dell'universo? Ci sono altrettanti spazi per ogni stella fissa? Tutto questo mi confonde, mi turba e mi spaventa.»

Ecco la causa dell'obiettivo disordine di idee in cui il mondo cattolico venne a trovarsi fra '500 e '600 ed il tentativo di almeno difendere la posizione che la scienza si occupasse di "ipotesi", visto che l'adesione alle nuove idee diveniva sempre più incontenibile anche per gli stessi appartenenti alle gerarchie ecclesiastiche.

Si produsse in sostanza nell'arco di pochi secoli, non senza drammatici aspetti, tra roghi, ammonizioni ed estorsioni di abiure, l'occidentalizzazione di quel cattolicesimo nato ed importato dall'oriente, mistico e senza bisogno di conoscenze terrene, sorto in territori lontani dal pensiero razionale greco e quindi da sempre, per i suoi presupposti filosofici, in opposizione alla scienza la cui fame di sapere giudicava peccaminosa. «Per noi

¹Cit.in: Paolo Rossi; Sulle origini dell'idea di progresso. in Evandro Agazzi (a cura): Il concetto di progresso nella scienza. Feltrinelli, Milano, 1976.

²Bernard le Bovier De Fontenelle: *Conversazioni sulla pluralità dei mondi*. Serata V. A cura e con introduzione di Corrado Rosso. Traduzione di Elisabetta Cocanari. Edizioni Theoria, Roma-Napoli. 1984.

non c'è curiosità dopo Gesù Cristo, nè ricerca dopo l'Evangelo», recita Tertulliano.

Due delle molte posizioni eretiche contestate al Bruno durante il suo triste processo erano l'infinità dei mondi ed il moto della Terra, in profondo contrasto in realtà non solo con le sacre scritture, ma con il sistema filosofico-scientifico aristotelico, del quale bastava confutare solo una parte per invalidarlo tutto. Una delle basi principali del sistema, posta all'inizio del *De Cælo* è l'unicità del mondo, legata strettamente a tutta la fisica dei moti planetari, centralità e immobilità della Terra e moto degli oggetti sulla sua superficie. Aristotele dichiara più volte questo punto fondamentale¹:

Passiamo ora a dire che non solo [il cielo] è uno, ma è anche impossibile che vengano mai ad esservene più d'uno, e ancora come, essendo incorruttibile ed ingenerato, è eterno [...].

[...]. Nondimeno, non ne viene alcuna necessità che per questo debbano esserci molti mondi; anzi, è inammissibile che possano essercene molti, se è vero che questo mondo è formato di tutta la materia esistente, come è vero. [...]

[...] Ora, il cielo appartiene bensì agli individuali ed a quanto è fatto di materia; tuttavia, se esso è formato non da una parte della materia, ma da tutta, è vero bensì che per esso altro è l'essere il cielo ed altro l'essere questo cielo qui, ma è vero anche che non ce ne sarà un altro, nè si può ammettere che abbiano ad essercene molti, in quanto questo cielo qui comprende in sé tutta la materia.

[...] È evidente dunque da quanto esposto che al di fuori del cielo non c'è, nè è ammissibile che venga ad essere, alcuna mole corporea; il mondo nella sua totalità è dunque formato di tutta la materia propria ad esso: perché materia di esso abbiamo visto essere il corpo naturale sensibile. Cosicché nè ora vi sono più cieli, nè vi furono, nè è ammissibile che abbiano mai a sorgere: questo cielo è uno, e solo, e perfetto.

È insieme evidente anche che fuori del cielo non c'è nè luogo, nè vuoto, nè tempo.

A questo ritornello quasi ossessivo rispose Tommaso Campanella (1568-1639) nel *Il senso delle cose*²:

Vuole Aristotele che fuor dal mondo non ci sia luogo pieno, nè vacuo, nè tempo, nè moto, ma niente. Anzi Alessandro, e molti suoi seco, dicono che Dio non possa altro fuori produrre, e che la prima sfera non sia in luogo, perché non ha chi la circondi, ma si mova in giro sempre in sé. Et è opinione di tutti che il mondo stia fermo, senza moto retto, benchè Democrito et Epicuro infiniti mondi fuor del nostro sistema dicano essere.

Io certo non credo che Dio abbia finita la sua possanza in questa picciola palla, benchè a Copernico paia senza comparazione maggiore che agli altri; ma stimo altre cose poter essere fuori, e Dio infiniti mondi poter fare di varie forme. Ma se ci sieno non si può sapere, se Dio non lo rivela, il quale dentro e fuori s'intende essere, e non come in luogo, ma come infinito ente in cui ogni cosa s'appoggi. E l'argomento che se fusse uno nell'ottava sfera, e fuori tirasse una lancia, convince che, se non ci va, ci sia corpo resistente, e se ci va ci sia spazio e corpo molle. [...]

¹Aristotele: Opere vol. III. Del cielo, Libro I (A), 9. A cura di Gabriele Giannantoni. Traduzione di Oddone Longo. Laterza, Bari, 1991.

²Tommaso Campanella: *Il senso delle cose e la magia*. Libro I, Cap. XIII. A cura e con introduzione di Antonio Bruers. I Dioscuri, Genova. 1987.

[...] Dirò pure che non si può sapere se il mondo si muove di moto retto, perché chi sta dentro la nave coperto, non sa s'ella camina; [...] non si può sapere se si mova in giro la sfera stellata o la Terra, per la vista, poiché il medesimo è che si mova il viso o il visibile all'apparenza; [...].

Campanella non fu comunque mai un pieno copernicano, la sua posizione rimase per alcuni aspetti simile a quella di Oresme, che non crede nel potere discernitivo della ragione umana.

La confutazione più piena proviene invece da Giordano Bruno (1548-1600) che affermò vera l'infinità dei mondi in diverse sue opere¹:

Or ecco quello, ch'ha varcato l'aria, penetrato il cielo, discorse le stelle, trapassati gli margini del mondo, fatte svanir le fantastiche muraglia de le prime, ottave, none, decime ed altre, che vi s'avesser potuto aggiungere, sfere, per relazione de vani matematici e cieco veder di filosofi volgari; [... ...]

A questo modo sappiamo che, si noi fussimo ne la luna o in altre stelle, non sarreimo in loco molto dissimile a questo, e forse in peggiore; come possono esser altri corpi cossí buoni, ed anco migliori per se stessi, e per maggior felicità de' propri animali. Cossí conoscemo tante stelle, tanti astri, tanti numi, che son quelle tante centinaia de migliaia, ch'assistono al ministero e contemplazione del primo, universale, infinito ed eterno efficiente. Non è più imprigionata la nostra ragione coi ceppi de' fantastici mobili e motori otto, nove e diece.

E ancora²:

[... ...] e diciamo che son terre infinite, son soli infiniti, è etere infinito; o secondo il dir di Democrito ed Epicuro, è pieno e vacuo infinito; l'uno insito ne l'altro. E son diverse specie finite, le une comprese da le altre, e le une ordinate a le altre. Le quali specie diverse tutte se hanno come concorrenti a fare un intiero universo infinito, e come ancora infinite parti de l'infinito, in quanto che da infinite terre simili a questa proviene in atto terra infinita, non come un solo continuo, ma come un compreso dalla innumerabile moltitudine di quelle.

La chiesa, dopo il concilio di Trento, aveva incluso anche la scienza tra i prodotti pagani derivati dai testi greci, ma superato il momento di maggiore rigidità, nel quale autodafè ed esecuzioni pubbliche furono numerosissime ai danni di svariate categorie di dissidenti³, era già in una fase in cui preferiva non estremizzare il conflitto e comminare solo pene detentive o forti ammonizioni, in cambio di una formale abiura, la quale in tempi non molto precedenti non sarebbe stata sufficiente ad ottener salva la vita. Fu forse la forte personalità di Bruno, o la sua consapevolezza che lo scandaloso sacrificio di un personaggio noto avrebbe accelerato i tempi dell'ammorbidente delle persecuzioni per gli altri a determinare lo sfortunato esito del procedimento a suo carico, il quale

¹ Giordano Bruno: La Cena delle Ceneri. Dialogo I, p.22. A cura di Augusto Guzzo, introduzione di Antonio Ricciardi e note di Romano Amerio. Ricciardi-Mondadori, Milano, 1995.

² Giordano Bruno: De l'infinito, universo e mondi. Dialogo II, p.411. In Dialoghi italiani, metafisici e morali. 3ª edizione a cura di Giovanni Aquilecchia con note di Giovanni Gentile. Sansoni, Firenze, 1972.

³ Carlo de Frede: Autodafè ed esecuzioni di eretici a Roma nella seconda metà del Cinquecento. Atti della Accademia Pontaniana, Nuova Serie Vol.XXXVIII, p.271-311. Giannini Editore, Napoli, 1990.

d'altra parte si incentrò su interpretazioni eretiche del filosofo di alcuni dogmi fondamentali della dottrina cristiana. Diversa sorte ebbero Tommaso Campanella (1568-1639), incarcerato poco dopo con Bruno, autore della celebre *Città del Sole* e della *Apologia pro Galilaeo*¹, che se la cavò con... qualche lustro di carcere...; Paolo Antonio Foscarini (1580-1616) che con la sua *Lettera della Mobilità della Terra e Stabilità del Sole*² del 1515 si vide denunciato alla congregazione dell'Indice, la sua opera condannata ed emendata dei paragrafi più sospetti, e formalmente biasimato per il cattivo uso del suo talento. Galilei dovette abiurare l'eliocentrismo ed accettare forme blande di carcerazione domiciliare. Questi ultimi due autori erano anche propositori di una lettura delle scritture sacre non in senso strettamente letterale ma come espressione di un modo semplice di esprimersi di dio allo scopo di farsi capire da uomini comuni secondo la loro percezione quotidiana. Una posizione critica che già molti anni prima aveva espresso Nicola Oresme (1325-1382) nel suo *Le livre du ciel et du monde*³:

Al sesto [...] argomento, desunto dalla sacra Scrittura, la quale dice che il Sole ruota, ecc., si potrebbe rispondere che essa si conforma in questa parte al modo di parlare comune degli uomini così come fa in molti altri luoghi, come ad esempio là dove è scritto che Dio si pentì e che si adirò e rappacificò e altre cose che non sono affatto come suona la lettera. Leggiamo anche, cosa più vicina al nostro proposito, che Dio coprì il cielo di nubi, e tuttavia, secondo verità, è il cielo che copre le nuvole.

Foscarini dopo aver criticato fortemente il sistema tolemaico⁴:

Ma perché il commune Sistema del Mondo dichiarato da Tolomeo, non ha dato mai a pieno soddisfazione a i dotti, si è sempre sospettato anco da gl'istessi, che lo seguirono, che qualche altro fusse il più vero: perciocchè con questo comune, quantunque si salvino tutti i Fenomeni, e le apparenze, che risultano da corpi Celesti, nondimeno si salvano con innumerabili difficoltà, e rappezzamenti di Orbi (e questi di varie forme, e figure) di Epicicli, di Equanti, di Deferenti, di Eccentrici, e di mille altre imaginazioni, e Chimere, che hanno più tosto del puro ipotizzare, che realtà alcuna, tra le quali imaginazioni vi è quella del moto ratto, della quale non so se si può ritrovare cosa meno fondata, e più controvertibile, e facile ad oppugnarsi, e a confutarsi, e così quella di varij Cieli senza stelle, che muovano gl'inferiori.

dichiara di voler dimostrare la conciliabilità di eliocentrismo e sacre scritture⁵:

¹Tommaso Campanella: *Apologia di Galileo*. A cura, traduzione e note di Luigi Firpo. UTET, Torino, 1968.

²Paolo Antonio Foscarini: *Lettera sopra l'opinione de' Pittagorici, e del Copernico: Della mobilità della Terra e stabilità del Sole e del nuovo Pittagorico Sistema del Mondo*. p.8 e seg.. Ristampa anastatica dall'originale stampato in Napoli da Lazaro Scoriggio nel 1615. A cura e con introduzione di Luciano Romeo. Grafiche Aloise, Montalto Uffugo (Cosenza), 1992.

³Nicola Oresme: *Le livre du ciel et du monde*. Libro I, capitolo XXV. In Marshall Claggett: *La scienza della meccanica nel medioevo*. Documento 10.2. Con testo francese e traduzione di Libero Sosio. 2ª ediz. Feltrinelli, Milano, 1981.

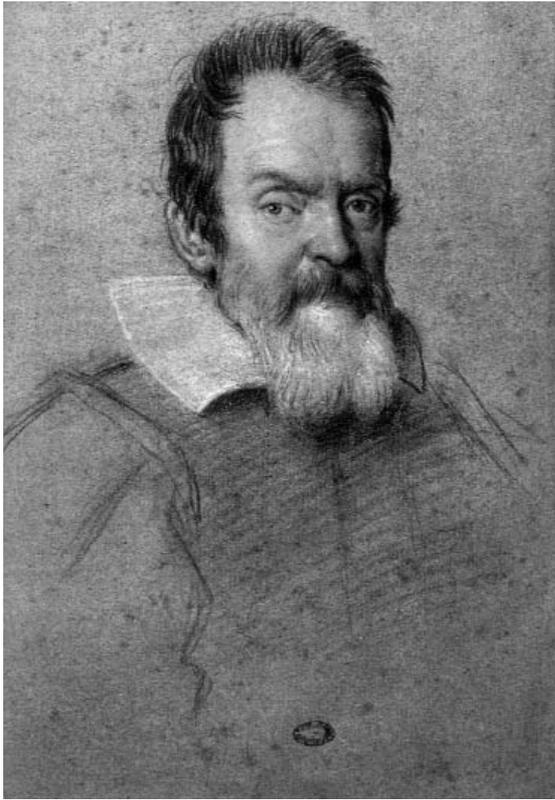
⁴Paolo Antonio Foscarini: *Op.cit.* p.8 e seg.

⁵Paolo Antonio Foscarini: *Op.cit.* p.12 e seg.



Galileo Galilei in un famoso ritratto di Ottavio Leoni (1575-1628). Galilei, come i suoi contemporanei Cesi e Foscarini, credeva nella possibilità di interpretare in modo non letterale le sacre scritture.

Cesi fu il fondatore della Accademia dei Lincei e provò anche lui in fitte corrispondenze a convincere altri esponenti delle gerarchie ecclesiastiche che le espressioni relative ai fenomeni naturali che si trovavano nei testi biblici non erano altro che metafore.



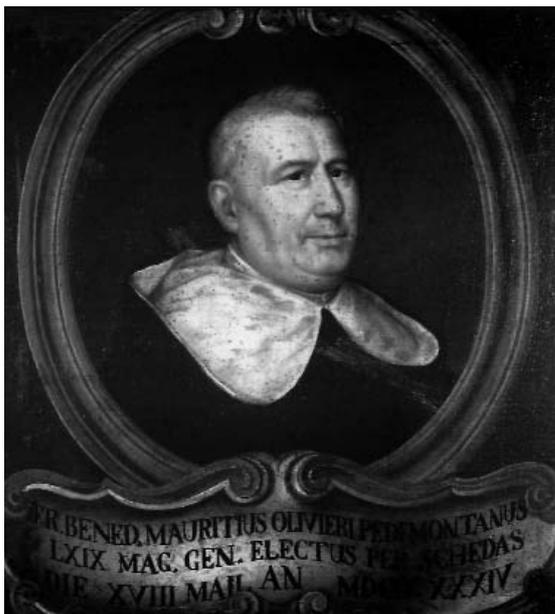
Il frontespizio della "Lettera della mobilità della Terra e stabilità del Sole" di Foscarini. La condanna alla correzione e cancellazione delle proposizioni sospette, e l'ammonizione rivolta nel 1616 dal Sant'Uffizio

all'autore di adoperare meglio il proprio ingegno ebbero probabilmente un ruolo nella improvvisa morte di Foscarini in quello stesso anno. La "Lettera" fu comunque diffusa in tutta Europa in traduzione latina.



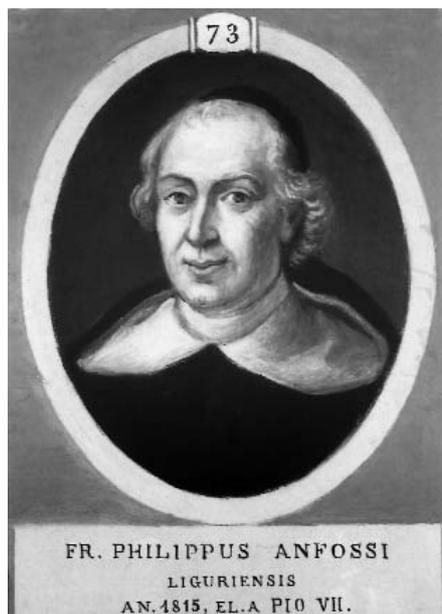
Il Cardinale Roberto Bellarmino fu un gesuita di grande cultura ed è a torto popolarmente considerato il persecutore di Galilei. In realtà Bellarmino fu coinvolto nella disputa che portò alla ammonizione di Galilei e Foscarini ed alla promulgazione del decreto di messa all'indice dei testi copernicani del 1616. In un clima decisamente controriformista, Bellarmino

e più in generale i Gesuiti, quali cultori delle scienze, cercarono di non acuire i contrasti tra chiesa e scienza proponendo, in assenza di prove certe, la formula del "parlar per ipotesi". Morì nel 1621, molti anni prima della furiosa polemica sui Dialoghi galileiani che portò alla condanna dello scienziato, all'abiura ed agli arresti domiciliari.



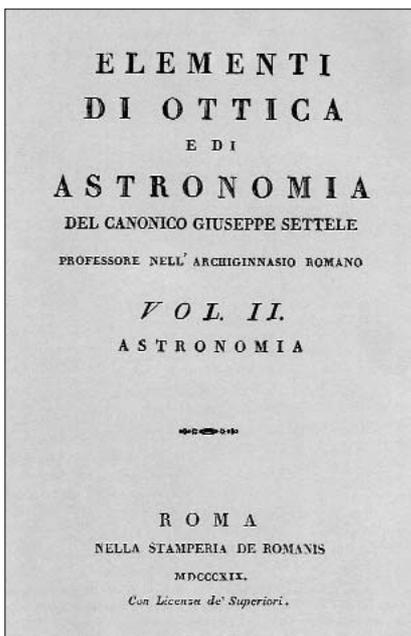
Il domenicano Maurizio Olivieri fu uno strenuo difensore del canonico Giuseppe Settele nelle disavventure che incontrò nel pubblicare la sua "Astronomia". Scrisse lun-

ghe e i più stretti rapporti favorevoli alla abolizione dall'Indice delle opere copernicane, ed entrò in polemica con Anfossi, il severissimo Maestro del Sacro Palazzo (il Sant'Uffizio).

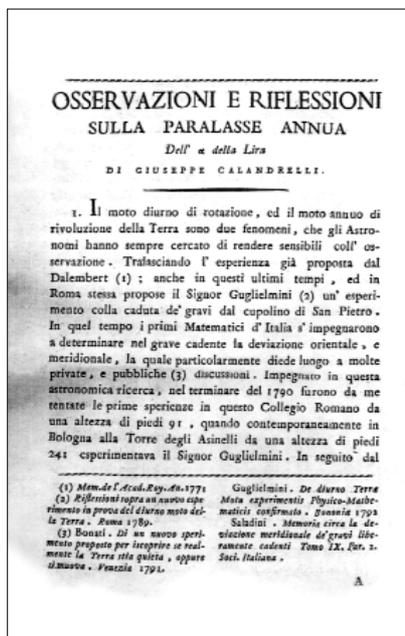


Padre Filippo Anfossi, Responsabile dell'Indice dei libri proibiti, non accettò mai di contraddire il decreto di censura dei testi favorevoli a Copernico del 1616, che in

realtà era già caduto in disuso. Solo un preciso controdecreto papale del 1822 riuscì a risolvere definitivamente la controversia del caso Settele.



Il frontespizio delle lezioni di astronomia di Giuseppe Settele. Con la autorizzazione papale alla sua pubblicazione si chiuse una fase del lento processo di riabilitazione di Galilei.



Già parecchi anni prima del caso Settele era andato in pubblicazione, con tanto di dedica al Papa, l'opuscolo di Giuseppe Calandrelli sulla presunta osservazione della parallasse stellare annua. L'osservazione era solo frutto di effetti spuri; ma se fosse stata vera, l'osservazione della parallasse stellare sarebbe stata quella prova del moto orbitale terrestre vanamente cercata fin dall'antichità. Il fascicolo non venne messo all'indice come favorevole alle tesi copernicane.

Se [l'ipotesi eliocentrica, detta pitagorica, n.d.A.] è vera, poco importa, che contraddica a tutti i Filosofi, e gli Astrologi del mondo, e che per seguirla, e praticarla s'habbia da fare una nuova Filosofia, e Astrologia dependente da i nuovi principij, e hipotesi, che questa pone. Quello che appartiene alle scritture sacre, ne anco gli nuocerà, perciocchè una verità non è contraria all'altra; Se dunque è vera l'opinione Pittagorica, senza dubbio Iddio havrà talmente dettate le parole della Scrittura Sacra, che possano ricevere senso accomodo a quell'opinione, e conciliamento con essa. Questo è il motivo, che m'indusse a considerare, a cercare ... il modo, e la strada di accordare molti luoghi della Scrittura Sacra con essa, e interpretarli (non senza fondamenti Theologici, e Fisici) in modo tale, che non gli contradicano affatto; [... ..].

Elenca poi i sei punti fondamentali delle Scritture contrari all'eliocentrismo: 1) brani sulla stabilità della Terra; 2) brani sulla mobilità del Sole, fra i quali quello famoso di Giosuè; 3) brani sull'essere il Cielo in alto e la Terra in basso; 4) brani sull'inferno situato al centro del mondo; 5) brani sulla contrapposizione tra Cielo e Terra e viceversa; 6) brani sul doversi fermare il Sole a oriente e la Luna a occidente al momento del Giudizio Universale¹.

Per ognuno di questi punti Foscarini trova il modo di conciliare sacro e profano, ma di diversa opinione furono i suoi giudici che lo condannarono il 13 marzo del 1616. Forse per il dispiacere subito Foscarini morì poco tempo dopo, ma la sua *Lettera* fu tradotta da David Lotaeus in latino e circolò diffusamente in tutta europa. Foscarini presentando la condanna scrisse una *Defensio* in forma di missiva indirizzata al Bellarmino, in cui prendeva posizione ancora più radicalmente a favore dell'indipendenza della scienza dalla teologia²:

Quod sententiam de mobilitate terrae ex qua apparet nullum Catholicae fidei (ut ego idem arbitrator can.) resultat incommodum, Theologiae aliquando, amicorum suasu et ne nihil agerem per lusum defendendam susceperim plerisque eo nomine displicuisse comperi, quod temerariae (ut ipse vocat) opinioni nimium favere eique viam sternere visus sim, ut deinceps tamquam Sacrae Scripturae minime dissentiens ab omnibus promiscue recipi possit. Sed et illud etiam plerosque movit, quod et plurimum accusatos esse intelligo, quod Scripturas Sacras aliter quam Sancti Patres interpretati sint exposuerim. Atque haec omnium quae mihi obiiciuntur summa. Ego vero qui

¹Paolo Antonio Foscarini: Op.cit.

²«Poiché, per esortazione degli amici e perché non mi occupo di nulla per passatempo, mi sono assunto da difendere la teoria sulla mobilità della terra, in base alla quale non risulta nessun danno alla fede Cattolica (come anch'io penso), se mai alla Teologia, sono venuto a sapere di aver scontentato parecchi per questo motivo, perché è sembrato che abbia sostenuto troppo un'opinione temeraria (come lei stesso la chiama) e aprire ad essa la via, affinché possa in seguito essere accolta da tutti indistintamente come non discordante affatto dalla Sacra Scrittura. Ma anche questa cosa turba parecchi, poiché vedo che sono stato accusato moltissimo di aver esposto le Sacre Scritture diversamente da come le hanno interpretate i Santi Padri. E ciò è il sunto delle accuse che mi sono state rivolte. Io in verità, che ho voluto che la via cui un tempo ho rivolto il mio pensiero fosse sempre sottoposta al giudizio della Santa Madre Chiesa, non volendo permettere che infine in questa cosa io sia ingannato, con tutta l'umiltà che possiedo, con riverenza e di cuore supplico quanto più è possibile il Cardinale Bellarmino, illustre decoro e la personalità più notevole del Sacrosanto Senato della Chiesa Militante di Cristo che, dopo aver esaminato sia queste asserzioni, che sono state rese note da quella mia epistola scritta in italiano, sia queste, che ora ricaverò dai teologi in uno scritto redatto in fretta, esprima la sua opinione in questa questione, perché io non sembri aver fiducia in me stesso più di quanto è conveniente, o voler attribuire alle doti del mio ingegno più di quanto è giusto.» Cit.in Stefano Caroti: Un sostenitore napoletano della mobilità della Terra: il padre Paolo Antonio Foscarini. In: Lomonaco, F. e Torrini, M. (editori): Galileo e Napoli. Atti del convegno omonimo, Napoli 12-14 aprile 1984. Guida Editori, Napoli, 1987.

Sanctae Matris Ecclesiae iudicio viam quae aliquando sum meditatus semper subiectam esse volui, nolens permittere hac demum in re decipi me jilautia serio iamte Militantis Christi Ecclesiae Sacrosanti Senatus praeclarum decus ac columnen Cardinalis Bellarmine amplissime omni qua teneor Humilitate ac reverentia obvi (?) ac ex animo deprecor ut perspectum tum his quae mea illa epistula italice impressa a me in medium allata sunt, tum his quae hic tumultuaria scriptione vicioque ex theologicis depromam, tuam in hacde resententiam aperias ne mihi ipsi plus quam decet credere, aut ingenii mei viribus plus qua par est deferre velle videar.

La risposta personale del 12 dicembre 1615 del cardinale Roberto Bellarmino (1542-1621) all'opuscolo di Foscarini ed alla *Defensio* fu¹:

Al Molto Reverendo Priore Paolo Antonio Foscarini [... ..]

Dico che mi pare che V.P. [Foscarini] et il Sig. Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlare ex suppositione e non assolutamente, come io ho sempre creduto che habbia parlato il Copernico. Perché il dire, che supposto che la Terra si muova et il Sole stia fermo si salvano tutte l'apparenze meglio che con porre gli eccentrici et epicicli, è benissimo detto, e non ha pericolo nessuno; e questo basta al mathematico: ma volere affermare che realmente il Sole stia nel centro del mondo, e solo si rivolti in se stesso senza correre dall'oriente all'occidente, e che la Terra stia nel 3° cielo e giri con somma velocità intorno al Sole, è cosa pericolosa non solo d'irritare tutti i filosofi e theologi scholastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede con rendere false le Scritture Sante.

Nel 1616 Galilei fu solo ammonito, ma il decreto della inquisizione con cui si proibivano i testi aderenti al copernicanesimo rimase ufficialmente in vigore fino all'inizio dell'800, e fu dichiarato decaduto solo in seguito al caso Settele. Il decreto, che ebbe causa scatenante la *Lettera* di Foscarini, ma la cui causa vera fu il clima di rigore postconciliare con la pubblicazione del primo *Index librorum prohibitorum* nel 1557, suonava così²:

Et quia etiam ad notitiam praefatae Sacrae Congregationis pervenit, falsam illam doctrinam Pithagoricam, divinaeque Scripturae omnino adversantem, de mobilitate terrae et immobilitate

¹Cit.in Paolo Rossi (curatore): Il pensiero di Galileo Galilei. Antologia di scritti. Loescher Editore, Torino, 1982.

²«E poiché anche è giunta a conoscenza della suddetta Sacra Congregazione che è già divulgata ed è da molti accolta quella falsa dottrina pitagorica, in totale contraddizione con la divina Scrittura, riguardante la mobilità della Terra e l'immobilità del Sole, che insegnano anche Nicolò Copernico nel "De revolutionibus orbium coelestium" e Didacus Astunica nel "Commento a Giobbe"; così come è possibile vedere da una Epistola scritta da un Padre Carmelitano, che ha titolo: "Lettera del R. Padre Maestro Paolo Antonio Foscarini Carmelitano, sopra l'opinione de' Pittagorici e del Copernico della mobilità della Terra e stabilità del Sole, et il nuovo Pittagorico sistema del mondo. In Napoli, per Lazaro Scoriggio, 1615", nella quale il suddetto Padre cerca di dimostrare che la dottrina sull'immobilità del Sole nel centro del mondo e sulla mobilità della Terra è consona alla verità e non è in contraddizione con la Sacra Scrittura; perciò perché non si insinui ulteriormente a discapito della verità Cattolica un'opinione di tal genere, ha stabilito che i suddetti Nicolò Copernico "De revolutionibus orbium" e Didacus Astunica "Commento a Giobbe" debbano essere sospesi finché non vengano corretti; che il libro del padre Carmelitano Paolo Antonio Foscarini debba essere proibito e condannato sotto ogni aspetto; e che tutti gli altri libri, che insegnano ugualmente il medesimo concetto, debbano essere proibiti: con il presente decreto proibisce, condanna e sospende tutti in maniera retroattiva. A prova dell'autenticità di ciò il presente decreto è stato firmato e impresso dalla mano e dal sigillo dell'illustrissimo e reverendissimo Cardinale di S. Cecilia, il Vescovo di Albano, il giorno 5 Marzo 1616.» Cit.in Sergio Pagano (curatore) e Antonio Luciani: I documenti del processo di Galileo Galilei. Documento XXII. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia (53) & Collectanea Archivi Vaticani (21), Città del Vaticano, 1984.

solis, quam Nicolaus Copernicus De revolutionibus orbium coelestium, et Didacus Astunica in Job, etiam docent, iam divulgari et a multis recipi; sicuti videre est ex quadam Epistola impressa cuiusdam Patris Carmelitae, cui titulus: "Lettera del R. Padre Maestro Paolo Antonio Foscarini Carmelitano, sopra l'opinione de' Pittagorici e del Copernico della mobilità della terra e stabilità del sole, et il nuovo Pittagorico sistema del mondo. In Napoli, per Lazaro Scoriggio, 1615", in qua dictus Pater ostendit conatur praefatam doctrinam de immobilitate solis in centro mundi et mobilitate terrae consonam esse veritati et non adversari Sacrae Scripturae; ideo, ne ulterius huiusmodi opinio in perniciem Catholicae veritatis serpat, censuit, dictos Nicolaum Copernicum De revolutionibus orbium, et Didacum Astunica in Job, suspendendos esse, donec corrigantur; librum vero patris Pauli Antonii Foscarini Carmelitae omnino prohibendum atque damnandum; aliosque omnes libros, pariter idem docentes, prohibendos: prout praesenti Decreto omnes respective prohibet, damnat atque suspendit. In quorum fidem praesens Decretum manu et sigillo Illustrissimi et Reverendissimi D. Cardinalis S. Caeciliae, Episcopi Albanensis, signatum et munitum fuit, die 5 Martii 1616.

Il decreto non poteva spegnere il favore e l'entusiasmo che le nuove concezioni incontravano sempre di più. La parte più illuminata della chiesa accolse con freddezza l'editto e solo per dovere di obbedienza vi si uniformò. Un esempio di come il decreto veniva percepito non del tutto opportuno è contenuto nel testo di un parere chiesto dalla Serenissima nel maggio 1616 al suo frate consultatore Paolo Sarpi (1552-1623), celebre per la sua *Istoria del Concilio Tridentino*, intorno all'estensione ai territori veneziani della proibizione (il decreto del 1616) di alcuni libri messi all'indice¹:

Serenissimo Principe

Veduto il decreto della congregazione di Roma sopra l'indice de libri, portato nell'eccellentissimo collegio dall'illustrissimo signor conte dal Zaffo savio assistente all'eresia, essequendo il comandamento di vostra Serenità dirò reverentemente che quel decreto contiene due parti.

La prima è la proibizione di cinque libri de autori protestanti, già poco tempo stampati de là da' monti, de' quali doi non contengono altro che dottrina eretica e contraria alla santa fede: gl'altri 3, se ben non trattano principalmente di religione, hanno nondimeno per dentro sparsa molta dottrina eretica, laonde si può tener per fermo che il proibirli sia per servizio de Dio e conservazione della purità della santa religione.

La seconda parte del decreto è la sospensione di un libro di Nicolò Copernico celebre astronomo, et in conseguenza di un altro autore che segue la sua dottrina con la proibizione d'una lettera stampata in Napoli nella medesima materia.

Nicolò Copernico fu un prete catolico, publico lettor nello Studio di Roma, e molto familiare della santa memoria di papa Paulo III mentre era cardinale, et anco doppo creato papa; et il suo libro è stato stampato già poco meno di 100 anni, veduto e letto da tutta Europa con stima che quell'autore sia stato il più dotto nella professione di astronomia che il mondo abbia mai avuto, anzi che sopra la dottrina di quello è fondata la correzione dell'anno, fatta da papa Gregorio XIII. Per queste cause la sospensione del libro non è per riuscire senza che sia ammirata questa

¹ Paolo Sarpi: Opere. Tomo I. Sopra un decreto della Congregazione in Roma. p.603 e seg. A cura, note introduttive e apparati di note di Gaetano Cozzi e Luisa Cozzi. Classici Ricciardi - Mondadori, Milano-Napoli, 1997.

nova introduzione di sospendere un libro vecchio, veduto da tutto il mondo, e per il passato non censurato nè al concilio di Trento nè in Roma; con tutto ciò, considerando dall'altra parte che questa sorte di dottrina non tocca in alcun modo la potestà de principi nè la favorisce, e l'autorità temporale non può riceverne beneficio alcuno, nè meno questo tocca l'arte della stampa di questo Stato, essendo cosa certa che nessuno di questi libri è mai stato stampato in Venezia, ma sí bene il libro de Didaco Astunica sopra Iob fu già stampato in Spagna con approvazione del regio consiglio, e dedicato a Filippo II, e poi fu dedicato a papa Gregorio XIV e ristampato in Roma: che quando fossero stati in alcun tempo stampati qui con le debite licenze, averei gran considerazione sopra il permettere proibizione per molti importanti rispetti, essendo anco pochissime le persone ch'attendono alla professione d'astronomia, non si può manco temer che possi nascer scandalo, pertanto stimerei che il conceder la proibizione e sospensione anco de questi tre libri non possi esser di alcun pregiudicio publico.

Come dire che Copernico non merita proibizione, soprattutto a causa della riforma calendariale su di lui fondata, ma, se la ragion di stato impone il provvedimento, ci si consoli con lo scarso numero di astronomi che subirebbero l'applicazione del decreto nella repubblica della Serenissima. Sarpi stesso dovette subire diversi fastidi per la pubblicazione (sotto pseudonimo) della sua *Istoria del Concilio Tridentino*, molto realista sui veri intenti inconcilianti e restauratori di un concilio propagandato invece come pacificatore ed anticismatico.

La schermaglia fra laici illuminati e gerarchie della chiesa continuò in toni smussati (per non incorrere in altre tragedie) nel tentativo di mutare anche di poco, e riavvicinarle, le relative posizioni. Federico Cesi (1585-1630), il grande amico di Galilei e fondatore dell'Accademia dei Lincei, ebbe un intenso scambio epistolare proprio con Bellarmino, in cui si legge¹:

A chi potrebbero non sembrare complesse le numerose discussioni che si sono avute nelle "scuole" per le nuove scoperte del Galileo? Uno potrebbe giustamente dire che il Certame Olimpico è stato restaurato, o meglio instaurato all'interno delle "scuole" filosofiche. Ma niente è gravoso, niente è arduo, tutto è agevole, se tu mi inciti a farlo. Allorchè tu volesti ascoltare la mia opinione e non solo approvasti la mia ipotesi di un cielo unico, sottile, cedevole e penetrabile, e l'eliminazione dalla natura - che è semplice e pura - di tanta e tanto confusa congerie di "cerchi" e "cerchietti", ma anche affermasti che così era per tua stessa opinione e che l'ipotesi concordava benissimo con le affermazioni della Sacra Scrittura, allora veramente io m'inflammiai a compier l'impresa, e allora soprattutto mi dispiacquero gli indugi frapposti ad essa dalle noie degli affari; e tanto più mi alletta la fatica oggi intrapresa e, ora che mi sono ritirato per compierla in questi miei monti umbri, mi riesce più gradita e più dolce, per quanto così a lungo procrastinata da quelle moleste occupazioni cui prima accennavo.

[... ...]

Secondo la testimonianza della Sacra Scrittura, in cui "movimento", "giro", "corso", sono riferiti proprio agli astri, non alle sfere celesti, delle quali, nelle Sacre Scritture, non c'è alcuna menzione, così come non c'è alcun indizio, alcuna manifestazione fisica di questo fenomeno.

¹Federico Cesi: De caeli unitate, tenuitate fusaque et pervia stellarum motibus natura ex sacris litteris epistola. In Maria Luisa Altieri Biagi e Bruno Basile (curatori): Scienziati del seicento. Riccardo Ricciardi Editore, Milano-Napoli, 1980.

Abbiamo anche, nei tempi andati, la precisissima osservazione di sant'Agostino, che tutti i fenomeni si spiegano ottimamente non con il movimento del cielo, ma soltanto con quello delle stelle; e ciò è stato sempre più esattamente provato, recentemente, dalle osservazioni astronomiche. Così, il fatto che il cielo è immobile e che le stelle che lo percorrono non sono affatto incastonate in lui, che è cedente, non solo lo riconoscono, ma lo affermano con estrema determinazione san Giovanni Crisostomo, Giustino martire, Diodoro di Tarso, Eusebio di Emesa, Origene, Procopio di Gaza, Teodoreto di Tiro, Teofilatto, Lattanzio, Filastro e altri.

La risposta del cardinale Roberto Bellarmino (1542-1621) è al solito quella di un uomo profondamente consapevole dei problemi con addirittura spunti di creatività sull'argomento¹:

Ma quello ch'io desideravo da V. E. non è sapere che la Sacra Scrittura e li Santi Padri tengano che il Cielo stia fermo e le stelle si movino, et anco che il Cielo non sia duro et imprene-trabile come il ferro, ma molle e facilissimo a penetrarsi come l'aria, che queste cose già sapevo, ma desideravo di imparare da V. E. come si salvino li moti del Sole e delle stelle, e massime delle stelle fisse, che sempre vanno insieme e fanno i loro circoli più grandi o più piccoli, secondo che sono più lontane o più vicine al polo, che questa è la causa che li filosofi et astrologi danno alli sette pianeti sette cieli et a tutte le stelle fisse un Cielo solo, e principalmente desideravo intendere come si salvino li diversi moti in un'istessa stella, se non vi è se non un Cielo, e quello immobile.

Io quando ero giovane procuravo di salvar il moto de' pianeti da occidente a oriente, contrario al moto dell'istessi da oriente ad occidente, con dire che il moto loro dall'oriente all'occidente non era in tutti di ventiquattr'hore, ma del Sole era di 24 hore, della Luna era di 24 hore et un quarto, e però pareva che la Luna con il proprio moto fusse tornata alquanto in dietro, e così pian piano si discostasse e poi si accostasse al Sole. Quanto al moto delli pianeti dal mezzo giorno al settentrione, procuravo salvarlo con dire che il moto de' pianeti non era un perfetto circolo, ma una spira, e così pian piano passassero dal mezzo giorno al settentrione, e poi ritornassero per la medesima via. Ma questa mia inventionione non satisfaceva in tutti li pianeti: nè anco nelle stelle del firmamento, che con far e' moti nel circolo meridiano longhissimi, pare che evidentemente dimostrino che siano portate dal Cielo, e però nel mezzo faccino li circoli longhissimi, nelli estremi brevissimi. Queste e simili cose desideravo imparare da V. E. e se forse lei avesse fatte considerationi particolari intorno al salvare talmente li moti delle stelle che si potesse insieme salvare l'opinione delli santi Padri, che mette il Cielo immobile e le stelle mobili.

Lo spettacolo suggestivo dei pianetini di Giove fu la prova finale, "dall'esterno" che esistevano altri centri intorno a cui i corpi celesti ruotavano. La Luna ruotava, come previsto anche da Tolomeo, intorno alla Terra; il Sole altrettanto sul suo epiciclo; solo quei quattro piccoli corpi celesti, osservabili da un sistema esterno al loro, risultavano ruotare inequivocabilmente intorno ad un centro nè terrestre nè solare; la realtà andava oltre Copernico, era più vicina a Bruno, il Sole poteva ben essere il nostro centro. Francesco Bacone (1561-1626) nel 39° aforisma del II° libro del

¹ Roberto Bellarmino: All'illustrissimo et eccellentissimo Sig. Federico Cesi. In Maria Luisa Altieri Biagi e Bruno Basile (curatori): *Scienziati del seicento*. Riccardo Ricciardi Editore, Milano-Napoli, 1980.

Novum Organum, esprime una opinione che ci fa comprendere come le scoperte astronomiche trainassero subito quelle filosofiche¹:

Per loro mezzo [i cannocchiali] sappiamo che la Via Lattea non è che un gruppo o un agglomerato di piccole stelle, distinte per numero e natura; cosa che gli antichi sospettavano a mala pena. Per loro mezzo sembra dimostrato che gli spazi dei cosiddetti mondi planetari non sono del tutto vuoti di altre stelle, ma che il cielo comincia a riempirsi di stelle già prima dello stesso cielo stellato; sebbene si tratti di stelle minori, invisibili senza codesti specchietti. Per loro mezzo si può scorgere il moto rotatorio delle piccole stelle attorno al pianeta Giove, da cui si può arguire che vi siano più centri di movimenti stellari.

Inoltre il moto delle macchie solari osservate da Galilei provava che i corpi celesti ruotavano su sé stessi, e quindi poteva esser ben vera l'ipotesi di Copernico che la Terra ruotasse in virtù della sua forma². La cosmologia copernicana, ancora medievalmente chiusa, e la sua estensione bruniana nell'infinito, con i moti diurno ed orbitale del nostro pianeta che implicavano, erano incompatibili con la fisica aristotelica: in questa un corpo scagliato verticalmente avrebbe dovuto, se la Terra ruotava, rimanere indietro allontanandosi verso ovest. Inoltre porre la Terra in moto tra gli altri pianeti significava già che le due fisiche distinte, sopralunare e sublunare, dovevano essere superate. Fu questa incompatibilità che arrovellò le più vivaci menti dell'epoca e che trovò soluzione solo nella nuova fisica proposta da Galileo Galilei in quel completamento della rivoluzione del *De Revolutionibus* che fu il suo *Discorsi intorno a due nuove scienze*.

Il processo fu comunque abbastanza lento, ed ancora rimasugli delle dottrine aristoteliche si trovano in Goffried Wilhelm Leibniz (1646-1716), che adottò un miscuglio di concezioni in cui se da una parte non si mette più in dubbio la mobilità della Terra, dall'altra conservava dubbi sul limite dell'universo, una sorta di ottava sfera in cui collocare anime ed entità divine³:

D'altra parte, poiché non v'è alcun motivo di credere che vi siano stelle dappertutto, non è forse possibile che al di là della regione delle stelle vi sia un grande spazio? Sia esso o meno il cielo empireo, questo immenso spazio che circonda tutta la regione stellare potrà, in ogni caso, essere pieno di felicità e gloria.

Galilei fu costretto a difendersi nuovamente nel 1633 dalla accusa di

¹Francesco Bacone: Nuovo Organo, o veri indizi dell'interpretazione della natura. Libro II, aforisma XXXIX. A cura, traduzione e con una introduzione di Enrico De Mas. Laterza, Bari, 1968.

²Bacone fu evidentemente uno dei primi ad aver superato la profonda diffidenza nei confronti del senso della vista che aveva permeato tutta la cultura classica. Per gli antichi, constatato il gran numero di inganni visivi (specchi, miraggi, rifrazioni, giochi di prestidigitazione), era di gran lunga preferibile la verifica tattile dei fenomeni, di cui rimane testimonianza nell'episodio di San Tommaso Evangelista nel nuovo testamento. Fu difficilissimo superare questa abitudine mentale. Si veda sull'argomento Vasco Ronchi: Storia del cannocchiale. Miscellanea Galileiana vol.III, Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia (27), Città del Vaticano, 1964.

³Goffried Wilhelm Leibniz: Saggi di Teodicea. Sulla bontà di Dio, la libertà dell'uomo, e l'origine del male. Parte I, 19. Introduzione di Gianfranco Cantelli, traduzione e note storico-bibliografiche di Massimo Marilli. Rizzoli, Milano, 1997.

difendere la teoria della stabilità del Sole e mobilità della Terra dopo la pubblicazione dei *Dialoghi* e le reazioni che questi suscitarono. È triste immaginare lo strazio che deve essere costato a Galilei il dovere pronunciare parole ipocrite contrarie ai propri convincimenti in uno dei suoi interrogatori il 30 aprile 1633¹:

Nel far io piú giorni continova e fissa riflessione sopra gli interrogatorii fattomi sotto il dí 16 del presente, et in particolare sopra quello se mi era stata fatta prohibitione sedici anni fa, d'ordine del Santo Officio, di non tener, difendere o insegnar quovis modo l'opinione pur all'hora dannata della mobilità della Terra e stabilitá del Sole, mi cadde il pensiero di rileggere il mio Dialogo sampato, il quale da tre anni in qua non havevo piú riveduto, per diligentemente osservare se contro alla mia purissima intentione, per mia inavvertenza, mi fusse uscito dalla penna cosa per la quale il lettore o superiori potessero arguire in me non solamente alcuna macchia di inobedienza, ma ancora altri particolari per i quali si potesse formar di me concetto di contraveniente a gli ordini di Santa Chiesa; e trovandomi, per benigno assenso dei superiori, in libertá di mandar attorno un mio servitore, procurai di haver un dei miei libri, et havutolo mi posi con somma intentione a leggerlo et a minutissimamente considerarlo. E giungendomi esso, per il lungo disuso, quasi come scrittura nova e di altro autore liberamente confesso ch'ella mi si rappresentò in piú luoghi distesa in tal forma che il lettore, non consapevole dell'intrinseco mio, harebbe havuto cagione di formarsi concetto che gli argomenti portati per la parte falsa, e ch'io intendevo confutare, fussero in tal guisa pronunciati, che piú tosto per la loro efficacia fussero potenti a stringere, che facili ad esser sciolti: e due in particolare, presi uno dalle macchie solari e l'altro dal flusso e riflusso del mare, vengono veramente, con attributi di forti e di gagliardi, avalorati all'orecchie del lettore piú di quello che pareva convenirsi ad uno che li tenesse per inconcludenti e che li volesse confutare, come pur io internamente e veramente per non concludenti e per confutabili li stimavo e stimo. E per iscusá di me stesso, appresso me medesimo, d'esser incorso in un errore tanto alieno dalla mia intentione, non mi appagando interamente col dire che nel recitar gli argomenti della parte avversa, quando s'intende di volergli confutare, si debbono portare (e massime scrivendo in dialogo) nella piú stretta maniera, e non pagliarli a disavvantaggio dell'avversario, non mi appagando, dico, di tal scusa, ricorvevo a quella della natural compiacenza che ciascheduno ha delle proprie sottigliezze, e del mostrarsi piú arguto del comune de gli huomini in trovare, anco per le proposizioni false, ingegnosi et apparenti discorsi di probabilità. [...] se io havessi a scriver adesso le medesime ragioni, non è dubbio ch'io le snerverei in maniera ch'elle non potrebbero fare aparente mostra di quella forza della quale essenzialmente e realmente son prive. È stato dunque l'error mio, e lo confesso, di una vana ambitione e di pura ignoranza et inavvertenza. E questo è quanto m'occorre dire in questo particolare che mi è occorso nel rilegger il mio libro.

All'inizio del '700 la situazione censoria in Italia per quel che riguardava le opere copernicane era piú grave che nel resto d'Europa, dove anzi v'erano isole felici. Lì i *Dialoghi*, la *Lettera* di Foscarini le opere bruniane e di Campanella circolavano senza molte difficoltà. Divenne un caso nazionale di grande significato culturale una edizione clandestina del *Dialogo*

¹Cit.in Sergio Pagano (curatore) e Antonio Luciani: I documenti del processo di Galileo Galilei. Documento XXXVIII. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia (53) & Collectanea Archivi Vaticani (21), Città del Vaticano, 1984.

intorno ai due massimi sistemi di Galilei stampata a Napoli dall'avvocato progressista Lorenzo Ciccarelli nel 1710, che fu in breve un *best-seller*¹. Come qui da noi la situazione fosse pesante può essere evinto dalle frasi ironiche dell'abate naturalista Celestino Galiani (1681-1753) nella sua corrispondenza con scienziati dell'epoca²:

E se la Terra non si muove come spiegheremmo quell'altro fenomeno dei pendoli che ritarda sotto l'equatore, ma ciò sia per non detto perché qui l'inquisizione vuole che la Terra quieti senza che si vada scrivendo altro.

Ed anche³:

Vi è chi stima che il moto della Terra oramai non debba aversi per semplici ipotesi, ma per cosa del tutto certa. Ma appresso a noi siffatte ragioni non devono essere di alcun peso perché ci basta il sol decreto dell'inquisizione per trarci dalla mente ogni dubbio.

Ruggero Giuseppe Boscovich (1711-1787) fu a Roma per la sua formazione di gesuita, a partire dal 1723 fino al 1760, presso il Collegio Romano. Data la sua posizione di ecclesiastico, fu costretto ad assumere una posizione particolare rispetto alla fisica newtoniana, che all'epoca per uno



Ruggero Boscovich era italiano solo di adozione. Il suo paese di origine, la Croazia, lo ha ritratto su una delle sue banconote

scienziato era impossibile non conoscere e maneggiare⁴. La stessa Compagnia di Gesù, nel 1730, aveva decretato che sebbene bisognasse preferire l'aristotelismo per l'insegnamento della teologia, era permesso usare autori più moderni, Copernico e Newton, per i corsi di fisica, come d'altronde è noto già facevano i missionari gesuiti in Cina e Giappone a partire dalla fine del '600. Per di più il nuovo Papa Benedetto XIV nel 1757

¹Vincenzo Ferrone: *Scienza, natura, religione. Mondo newtoniano e cultura italiana nel primo settecento*. Cap.II, 3. Jovene Editore, Napoli, 1982.

²Cit.in Vincenzo Ferrone: *Op.cit.* p. 102.

³Ivi.

⁴Bossi, M. e Tucci, P. (editori): *Bicentennial commemoration of R.G. Boscovich. Proceedings of the conference "Two hundred years of stars: Boscovich 1787-1987" held in Milano, September 15-18, 1987*. Unicopli, Milano, 1988.

(su interessamento di Leibniz e di Boscovich) aveva rimosso dalla lista dell'*Indice* il libro di Copernico. Boscovich per rimanere fedele al decreto del 1616 dichiarava che¹:

Quam nobis hic Romæ olim a sacra auctoritate damnatam amplecti non licet Telluris quies ut in sacris literis revelata admitti omnino debet.

e con un ardito compromesso affermava che in uno spazio “assoluto” la Terra era ferma e tutto funzionava secondo il sistema solare di Tycho, mentre la fisica newtoniana era valida per movimenti relativi. Questa posizione compromissoria dovette costare molto al gesuita che è ricordato in fisica come il primo che abbia tentato di superare il newtonismo in direzione di una teoria unificata delle forze. I punti materiali di Boscovich si organizzavano in solidi cristallini grazie ad una modifica della legge dell'inverso del quadrato della distanza che diveniva repulsiva per piccole distanze, permettendo posizioni di equilibrio.

Piú in là, a metà del '700 e oltre, il barnabita Paolo Frisi (1718-1799), scienziato e filosofo, grande propagandatore delle teorie newtoniane, pubblicò malgrado il divieto del suo ordine la *Disquisizio mathematica in causam physicam figurae et magnitudinis telluris nostrae* e per questo si vide redarguire dai superiori per il fatto di non «premettere alcuna protesta per il moto che attribuisce alla Terra», cioè di non parlar piú di “ipotesi”. Frisi fu anche autore di altri saggi sul moto diurno della Terra e di una *Cosmografia* di fama europea.

Voltaire, grande interprete dei suoi tempi, negli ultimi anni della sua vita compose i poco noti *Dialoghi di Evemero* in cui con la sua consueta lapidarietà fa pronunciare ad uno dei suoi personaggi²:

EVEMERO: Pretendevano [gli ecclesiastici] che spettasse soltanto ai druidi [preti] ammaestrare gli uomini, e Leoliga [anagramma di Galileo] lo faceva senza essere druido: sono cose che non si perdonano. Il furore druidico è arrivato al colmo soprattutto quando le verità affermate dal grande Leoliga sono state dimostrate in modo visivo in una repubblica vicina.

[... ..]

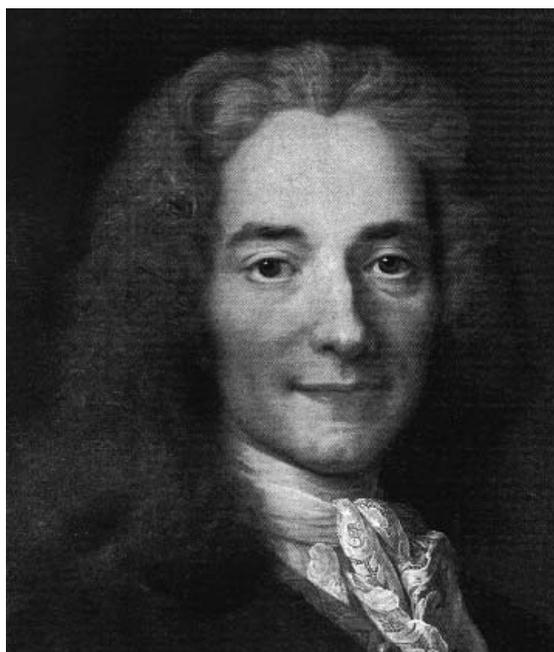
Leoliga ha avuto il piacere di mostrare ai saggi dello Stato tutto il meccanismo celeste. È stato l'interprete di Dio presso gli uomini piú degni di questa terra. Questa scena si è svolta sulla piattaforma di una torre che domina l'Adriatico. È stato lo spettacolo piú bello che si possa dare. Vi si rappresentava la natura ...

[... ..]

Cosa hanno fatto allora i druidi? Hanno fatto condannare il vecchio filosofo a digiunare a pane ed acqua e a recitare ogni giorno qualche riga che s'insegna ai bambini, per espiare le verità che aveva dimostrato.

¹«E non ci è lecito abbracciare quella teoria in quanto condannata un tempo qui a Roma dalla sacra autorità... .. La quiete della Terra in quanto rivelata nelle sacre scritture deve essere completamente accolta.» Cit.in Maffei, P. 1987: Giuseppe Settele, il suo diario e la questione galileiana. Edizioni dell'Arquata, Foligno, pp. 580.

²François-Marie Arouet detto Voltaire: Dialoghi di Evemero. Dialogo VII, p.55-56. Traduzione e note di Gigliola Pasquinelli. SE Srl, Milano, 1989.



Voltaire, qui in un ritratto giovanile, fu un instancabile poligrafo i cui temi toccarono moltissimi aspetti del dibattito filosofico scientifico dell'epoca, quando ancora il divario tra le "due culture" non era accentuato come ai nostri tempi.

Infine, tra fine '700 ed inizio '800, con la stragrande maggioranza di scienziati cattolici ed ecclesiastici che aderivano al sistema eliocentrico, il Vaticano era divenuto piú permissivo, ed un occhio era chiuso su molte pubblicazioni scientifiche. Nel 1789, Giambattista Guglielmini (1760-1817) pubblicò senza problemi a Roma il calcolo teorico della deviazione orientale della caduta dei gravi causata dal moto diurno della Terra, nell'opuscolo *Riflessioni sopra un nuovo esperimento in prova del diurno moto della Terra*, che si rivelò anche prova di come la chiesa all'epoca lasciasse correre sulla questione copernicana, dato che il clero ne aveva ormai abbracciato i principi.

Ma ufficialmente la Congregazione dell'indice aveva ancora precise istruzioni e il decreto del 1616 non era stato abrogato o superato. Trovò così ancora resistenze ad ottenere l'imprimatur il canonico Prof. Giuseppe Settele, professore di astronomia alla Sapienza di Roma, per un suo trattato di astronomia: dal suo diario, al 3 di gennaio del 1820 risulta¹:

Nei cartolari, che ho dato ultimamente allo stampatore parlo apertamente del moto della Terra; ma prima di scrivere queste cose, ho domandato al P. Olivieri Professore in Sapienza, Domenicano, e addetto all'inquisizione, se potevo apertamente asserire il moto della Terra, ed egli mi disse di sí, perché è un uomo spregiudicato, ed ha delle cognizioni; ma il Maestro del Sagro Palazzo non ha voluto approvare i miei scritti; fece vedere allo stampatore de Romanis, che cercò di capacitarlo, una posizione del 1616 [era scritto erroneamente 1606, N.d.A.], in cui trattandosi in Roma di stampare un libro che asseriva questo moto, fatto rivedere il libro, fu deciso, che era una proposizione erronea, ed ereticale; lo stampatore replicò, che quello era un affare troppo antico, ma il P. Maestro rispose, che la Religione non si era cambiata, che la Bibbia è

¹Cit.in Paolo Maffei (a cura, introduzione e note): Giuseppe Settele, il suo diario e la questione galileiana. Documento I, il diario, p.285. Edizioni dell'Arquata, Foligno, 1987.

sempre la stessa, che Terra autem in aeternum stat, Sol ne movearis in Gabaon.

Il P. Olivieri, a cui ho raccontato queste cose, mi disse di non cedere, che faccia memoriale alla congregazione del S. Offizio, che lui avrebbe veduto di rimediare la cosa, perché negli Indici moderni de' libri proibiti non v'è più la regola, come v'era negli antichi, di dover proibire i libri che trattano del moto della Terra. Io però ho voluto sentirme prima il Rettore Mons. Cristaldi, questo, non intendente di tali cose, non seppe bene cosa dirmi, mi disse, che si ricordava, che quando andava alla scuola si trattava ipoteticamente del moto della Terra, io gli dissi, che pochi anni fa, Calandrelli stampò un opuscolo sulla parallasse delle fisse, che è appunto una prova del moto della Terra, e che lo ha dedicato al Papa, allora il Rettore mi disse di portargli questo libro, che col libro alla mano ne avrebbe parlato col Papa.

La questione Settele andò avanti per molti mesi, con prelati divisi in due partiti, degli illuminati e dei contrari, con articoli sulla stampa straniera, un opuscolo anonimo (di P. Filippo Anfossi, Maestro del Sacro Palazzo, l'Inquisizione), ed una prima decisione del S. Uffizio dell'agosto 1820 in favore di Settele. Fu il Padre domenicano Maurizio Benedetto Olivieri, per il S. Uffizio, a pubblicare una dissertazione sulla non più contrarietà del copernicanesimo alle tesi religiose, a confutazione delle ragioni di Anfossi. Si legge in questo opuscolo¹:

Abbiamo veduto come le antiche falsità, e assurdità filosofiche, le quali accompagnavano il sistema della Terra mobile, sono state, specialmente per la scoperta della gravità dell'aria [sistema newtoniano, N.d.A.], corrette.

Seguí il rifiuto di Anfossi di adeguarvisi, l'imprimatur concesso solo dal Vicereggente nel dicembre dello stesso anno e la pubblicazione nel gennaio seguente della *Astronomia* di Settele seguita immediatamente da un opuscolo di Anfossi con le sue ragioni. Anfossi ne fece una questione personale e nel 1822 decretò che nessuno stampatore potesse pubblicare senza il suo imprimatur. Alchè la vicenda ebbe un buon fine e con essa la questione dell'eliocentrismo, ma non della riabilitazione di Galileo, con un controdecreto del S. Uffizio del novembre 1822, approvato pochi giorni dopo dal pontefice Pio VII, che ordinava al Maestro del Sacro Palazzo di permettere da allora in poi la pubblicazione dei libri sul moto della Terra. Infine l'anno dopo un allievo di Settele, Sebastiano Purgotti pubblicò un libretto di confutazione degli argomenti anticopernicani basato principalmente su prove dinamiche. Dai diari di Settele sappiamo che i decreti di liberalizzazione delle opere copernicane furono poi usati per dissipare gli ultimi dubbi avanzati da vescovati stranieri²:

20 marzo 1829, venerdì

Mi ha raccontato il P. Olivieri, commissario del S. Offizio, che non è molto tempo, che un Vescovo della Spagna ha consultato il S. Offizio, se si poteva sostenere il Sistema Copernicano, e che la congregazione gli ha trasmessi i Decreti emanati allora per mio motivo contro il P.

¹Opuscolo riportato interamente in Paolo Maffei: Op.cit. Il brano citato è a p. 507.

²Cit.in Paolo Maffei: Op.cit. Il brano citato è a p. 421.

Anfossi, e che gli è stata mandata anche la mia Nota, che dovetti mettere nella mia Astronomia in difesa del S. Offizio, e che così questa cosa acquista della pubblicità. Ed io intanto con questa gloria sto senza quadrini, [... ...]

Dopo la morte di Anfossi lo stesso Papa rideva di gusto su tutta la vicenda¹:

23 luglio 1833, martedì

[... ...] poi passò il Papa nel salone delle premiazioni, sedeva in trono, alla destra gli sedeva il Card. Zurla, venivano i professori a bagiarli il piede, ed a tutti diceva qualche scherzo, a me disse, gira la testa o gira la Terra? alludeva alla questione che io ebbi col P. Anfossi, io risposi, la testa non gira, ma lui ridendo disse, girano purtroppo le teste; [... ...]

Il tempo trascorre e dopo tutte queste vicende si respira già un'aria molto diversa nella seconda metà dell'800 nello scritto di Padre Francesco Saverio Patrizi (1797-1881), professore di Sacra Scrittura al Collegio Romano²:

... sarebbe fare ingiuria alla santità ed alla verità, epperò allo stesso Spirito Santo, ripugnare d'accogliere le vere e manifeste conclusioni delle scienze naturali, per timore che sieno contrarie a ciò ch'essi s'immaginano di leggere nella Bibbia. Imperrochè questo non sarebbe altro che non capire la mente dello scrittore ispirato; e chi sospettasse potersi dare tale contrarietà, farebbe Iddio, che è l'autore delle scritture, nemico della verità e gli farebbe gravissima ingiuria, non che prestare riverenza a Lui ed ai Libri santi. Laddove, a contrario, quanto più fermamente alcuno crede la Bibbia essere opera divina, con tanto maggiore fiducia e tranquillità d'animo nell'interpretare i sacri testi tiene conto della verità dimostrata dalla scienza; tanta è la sicurezza ond'egli presuppone nulla di falso potersi ritrovare nella Bibbia.

L'astronomia osservativa prova il moto della Terra

Sin dall'antichità si riconobbe che il moto orbitale della Terra avrebbe dovuto avere come effetto osservabile un lieve cambiamento prospettico della mutua posizione delle stelle, effetto massimo ad una loro osservazione ripetuta dopo sei mesi. Si attribuiscono ad Aristarco di Samo (III sec. a.C.) e poi ad Ipparco di Nicea (194-120 a.C.) i primi vani tentativi di rivelarlo. Una volta accettato il sistema Copernicano, ma soprattutto la sua estensione Bruniana, nel Seicento e nel Settecento il problema si ripropose con maggiore urgenza, per quanto la sua inosservabilità venisse ora correttamente interpretata non come confutazione dell'eliocentrismo, ma come

¹Ivi.

²Carlo Bricarelli: Galileo Galilei, l'opera, il metodo, le peripezie. Cap.V, p.125. La Civiltà Cattolica, Roma, 1931.

inadeguatezza dei mezzi tecnici a disposizione a fronte di una distanza delle stelle superiore alle aspettative.

Una delle prime campagne moderne di ricerca di questo fenomeno, chiamato parallasse annua, fu quella condotta da Galileo Galilei con le sue osservazioni dell'esplosione della nova del 1604. In tre lezioni all'università di Padova egli spiegò che non osservandosi spostamento della posizione della nova rispetto alle stelle fisse, ciò ne indicava la grande distanza e dimostrava inoltre che la regione oltre la Luna non era incorruttibile come insegnavano gli aristotelici ma anch'essa soggetta a mutamenti, anche violenti. Il fenomeno ed il risultato nullo delle osservazioni è ricordato nel suo dialogo¹:

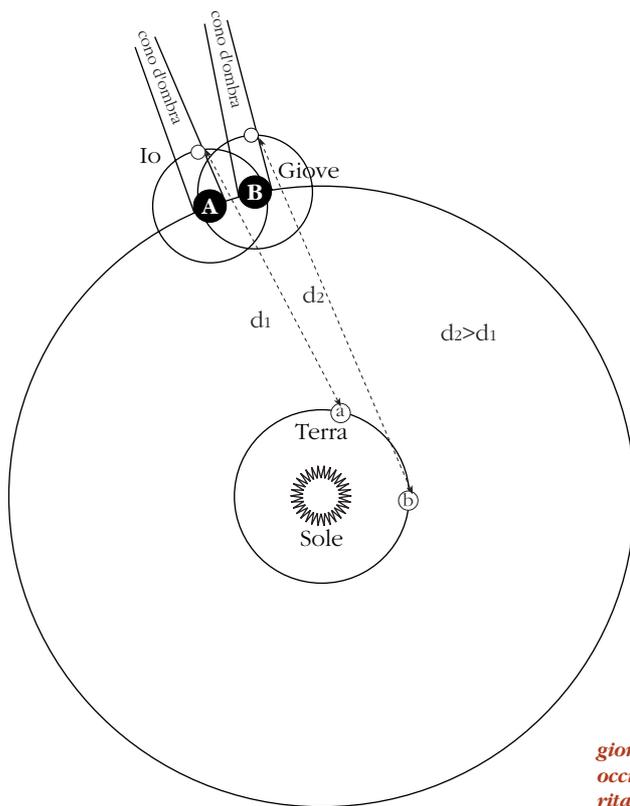
Sopra due osservazioni, semplicissime facilissime e verissime, una sola delle quali è più che a bastanza per assicurame dell'essere stata locata nel firmamento, o almeno per lunghissimo tratto superiore alla Luna: una delle quali è presa dall'egualità o poco differente inegualità delle sue lontananze dal polo, tanto mentre ell'era nell'infima parte del meridiano, quanto nella suprema; l'altra è l'aver lei conservato perpetuamente le medesime distanze da alcune stelle fisse, sue circonvicine, ed in particolare dall'undicesima di Cassiopea, non più da essa remota di gradi 1 e mezzo: dalli quali due capi indubitabilmente si raccoglie o l'assoluta mancanza di parallasse, o una piccolezza tale, che ne assicura con calcoli speditissimi della sua gran lontananza dalla Terra.
[... ...]

[... ...] dico del non essersi osservata notabil diversità nelle distanze tra una stella fissa e la nuova stella in tutta la lor circolazione, che, quando ella fusse stata prossima alla Luna, doveva farsi grandemente cospiqua anco alla semplice vista, senza strumento veruno, e massime paragonandola con l'undicesima di Cassiopea, sua vicina a gr. 1 e mezzo; che più di due diametri della Luna doveva variarsi, come ben avvertirono i più intelligenti astronomi di quei tempi.

Nel frattempo, in attesa di perfezionare gli strumenti ottici, un'altra grande scoperta fu possibile sulla base delle più precise misure di tempo. Già Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) si era accorto che c'erano delle discrepanze tra le sue effemeridi calcolate durante la sua attività a Bologna e le occultazioni reali del satellite di Giove Io. Ma fu il danese Olaus Roemer (1644-1710) che si applicò alla soluzione del problema, riuscendo a darne spiegazione sulla base della velocità finita della luce, anzi a ricavare dalle apparenti anomalie quest'ultima velocità. Questo è possibile perché la Terra e Giove secondo le stagioni sono più o meno distanti. La luce dell'ultimo raggio che lascia Io prima di sparire dietro l'ombra di Giove percorrerà quindi distanze diverse per giungere a noi e di conseguenza, se la Terra è alla sua distanza massima per la quale Giove rimane visibile, il ritardo dell'occultazione sarà dell'ordine dei dieci secondi. Conoscendo tempi e distanze Roemer ricavò un valore della velocità della luce assai vicino al valore accreditato oggi.

L'aver a disposizione un valore per la velocità della luce, dopo gli infruttuosi tentativi di Galilei e di tanti altri, accese ulteriormente quelle

¹Galileo Galilei: Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano. Giornata III, p.373 e 381. A cura, con introduzione e note di Libero Sosio. Einaudi, Torino, 1970.



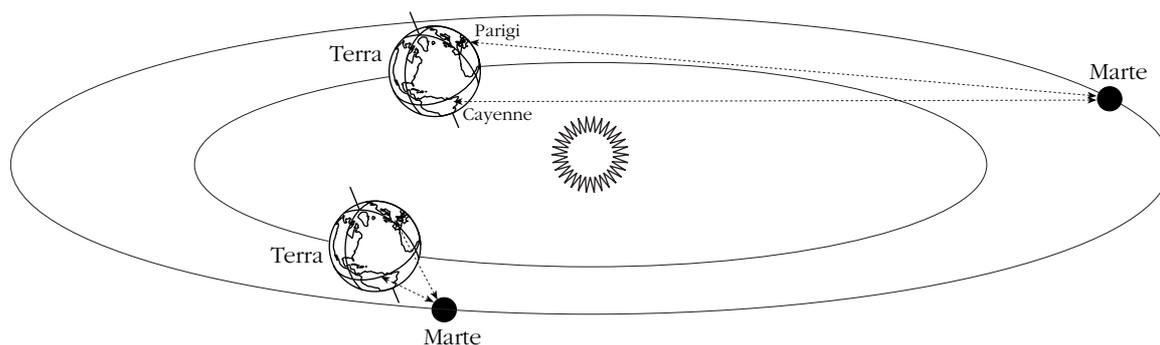
Schema della esperienza di Cassini e Roemer. I tempi previsti per le occultazioni di Io nel cono d'ombra di Giove non erano pienamente in accordo con le tabelle delle Effemeridi Bolognesi di Cassini che notò le lievi discrepanze. Olaus Roemer approfondì lo stu-

dio della anomalia e riuscì a spiegarla con i diversi tempi di percorrenza della luce dal satellite Io ai nostri osservatori. Se la Terra e Giove sono inizialmente nelle posizioni a e A, l'ultimo raggio della occultazione percorrerà a velocità c la distanza d_1 ; qualche tempo dopo la Terra e Giove passano nelle posizioni b e B, e la distanza percorsa dall'ultimo raggio riflesso da Io percorrerà la distanza d_2 mag-

giore di d_1 . Noi vedremo la occultazione con un certo ritardo rispetto alla tabella di marcia reale. Se pensiamo che la luce per percorrere la distanza Sole-Terra, circa il raggio della nostra orbita, impiega otto secondi, i ritardi tipici delle occultazioni sono dell'ordine dei dieci secondi. Questa esperienza può essere considerata la capostipite delle conferme della relatività ristretta, anche se i protagonisti dell'epoca non se ne rendevano conto né possedevano strumenti sufficientemente precisi per apprezzarne gli effetti.

Infatti dato che il sistema solare si muove ad una velocità di 300 km/sec, se la luce si propagasse a velocità c rispetto ad uno spazio assoluto sarebbero state apprezzabili le modulazioni dei ritardi al variare della direzione della congiungente Terra-Giove rispetto al vettore della velocità solare. Il fenomeno assicura che la velocità della luce è costante nel nostro riferimento e che sono privi di fondamento gli argomenti di chi vorrebbe tentare di misurare le variazioni di c su percorsi unidirezionali. Gli argomenti di Roemer dettero il via alla intensa discussione sullo spazio assoluto che sfociò, due secoli dopo, nella epopea di esperimenti interferometrici di Michelson e colleghi.

discussioni sulla natura della luce, e sul suo mezzo di propagazione, che dovevano sfociare, due secoli dopo, nelle esperienze di Michelson e colleghi sulla rivelazione del moto della Terra. Il risultato di Roemer si avvale delle nuove conoscenze raggiunte sulle distanze dei pianeti con l'installazione di un osservatorio alla Caienna (divenuto più famoso per la questione dei ritardi dei pendoli). La Caienna lavorò di concerto con Parigi, distante sulla corda circa 10000 km, per sfruttare la parallasse che si manifestava nell'osservazione del medesimo pianeta tra i due osservatori. Le distanze caratteristiche di tutto il sistema solare divennero così note con maggiore precisione, ed anche le variazioni delle distanze dei pianeti rispetto alla Terra. I pianeti d'ora in poi si muovevano non più appiattiti sulla loro



La distanza di Marte dalla Terra misurata sfruttando la parallasse di osservazione in due diversi osservatori. La parallasse fu usata con una precisione mai raggiunta prima in condizioni favorevolissime per seguire nel tempo la distanza di Marte quando nel 1671 fu installato un osservatorio alla

Cayenne, distante circa 10000 km sulla corda sferica dall'osservatorio di Parigi. I pianeti non apparvero più come proiettati sulla volta stellata, ma nella piena tridimensionalità del loro moto. Il sistema solare iniziò ad avere delle dimensioni ben definite ed il moto della Terra intorno

ad un Sole statico divenne sempre più necessario per evitare quelle complicate figure di traiettoria dei pianeti che si sarebbero dovute tracciare se la Terra fosse stata ferma e al centro del sistema. Fu importante per questo progresso che le misure fossero eseguite contemporaneamente o che

fosse possibile ridurle alla stessa ora. Si impose quindi, per questo e per altri scopi, il trasferimento dall'Europa di pendole precisissime che consentirono in più ed inaspettatamente di osservare il loro rallentamento all'equatore a causa della maggiore forza centrifuga.

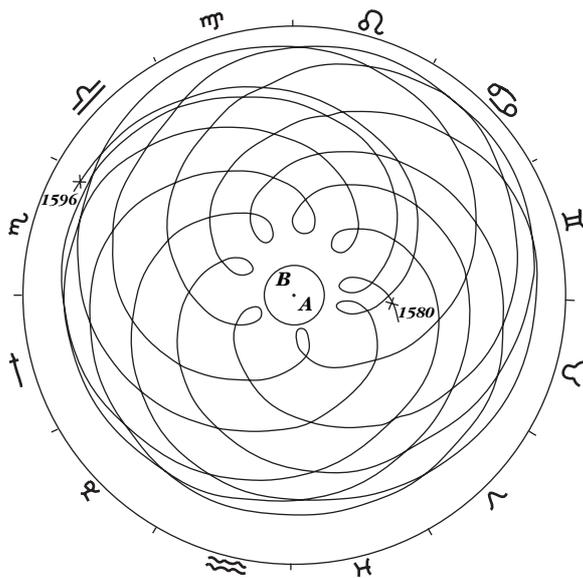
proiezione sulla volta celeste, ma davvero in tre dimensioni, e, se fosse stato valido il geocentrismo, avrebbero dovuto compiere nello spazio delle danze assolutamente ingiustificate. Troviamo traccia di questo in una famosa figura di Keplero sul percorso apparente di Marte, ormai divenuto ben noto tridimensionalmente, per argomentare che nessuna legge fisica sensata avrebbe potuto render conto di quella traiettoria¹. È bene sottolineare l'importanza che queste ricerche astronomiche ebbero nell'abbattere le ultime vestigia cristalline dell'edificio aristotelico e tolemaico: le sfere omocentriche erano falsificate, la distanza tra la Terra e i pianeti variava fortemente, risuonava alla mente la poesia anticipatrice di Giordano Bruno²:

Quindi l'ali sicure a l'aria porgo,
 nè temo intoppo di cristall' o vetro;
 ma fendo i cieli, e a l'infinito m'ergo.

Solo dopo aver ben stabilito le distanze del nostro sistema, usando effetti della parallasse, fu possibile impostare su basi più solide la ricerca della parallasse delle stelle e quindi della loro reale distanza. Paradossalmente, nel 1727, il primo frutto di questa linea di ricerca fu la scoperta di un altro diverso effetto del moto orbitale terrestre sulle osservazioni astronomiche: la aberrazione della luce; per la parallasse bisognò attendere ancora qualche decennio. Fu l'astronomo James Bradley (1693-

¹Johannes Kepler: Dissertatio cum Nuncio Sidereo accedit Narratio de quattuor Iovis Satellitibus. Introduzione, traduzione e note critiche di Elio Pasoli e Giorgio Tabarroni. Bottega d'Erasmus, Torino, 1972.

²Giordano Bruno: De l'infinito, universo e mondi. Proemiale epistola. Testo stabilito da Giovanni Aquilecchia. Les Belles Lettres, Paris, 1995.



Le complicate traiettorie che i pianeti avrebbero dovuto percorrere se la Terra fosse stata ferma e al centro dell'universo erano ben note già prima delle più precise misure

resesi possibili con l'osservatorio della Cayenne del 1671. Già all'inizio del '600 Keplero, nell'Astronomia Nova tracciò la traiettoria di Marte dal 1580 al 1596 come

la si poteva desumere dai dati di Tycho Brahe. Ma usò questa figura per criticare il suo maestro che aveva proposto un sistema misto geocentrico-eliocentrico, con la Terra

fissa e il Sole che le girava attorno trascinando con sé tutti i pianeti in orbite eliocentriche. Keplero giudicava impossibile spiegare fisicamente questi movimenti vaganti e aperiodici.

1762) che, in cerca della parallasse, scoprì che le stelle compivano un piccolo spostamento apparente di forma ellittica a periodo annuale. Lo stesso spostamento fu notato dall'astronomo bolognese Eustachio Manfredi (1674-1739). Si capì quasi subito che questo fenomeno, poi chiamato aberrazione della luce, era dovuto alla velocità finita della luce che proveniva dalle stelle che si combinava con la velocità orbitale della Terra. Bradley spiegò il fenomeno con la teoria corpuscolare della luce¹:

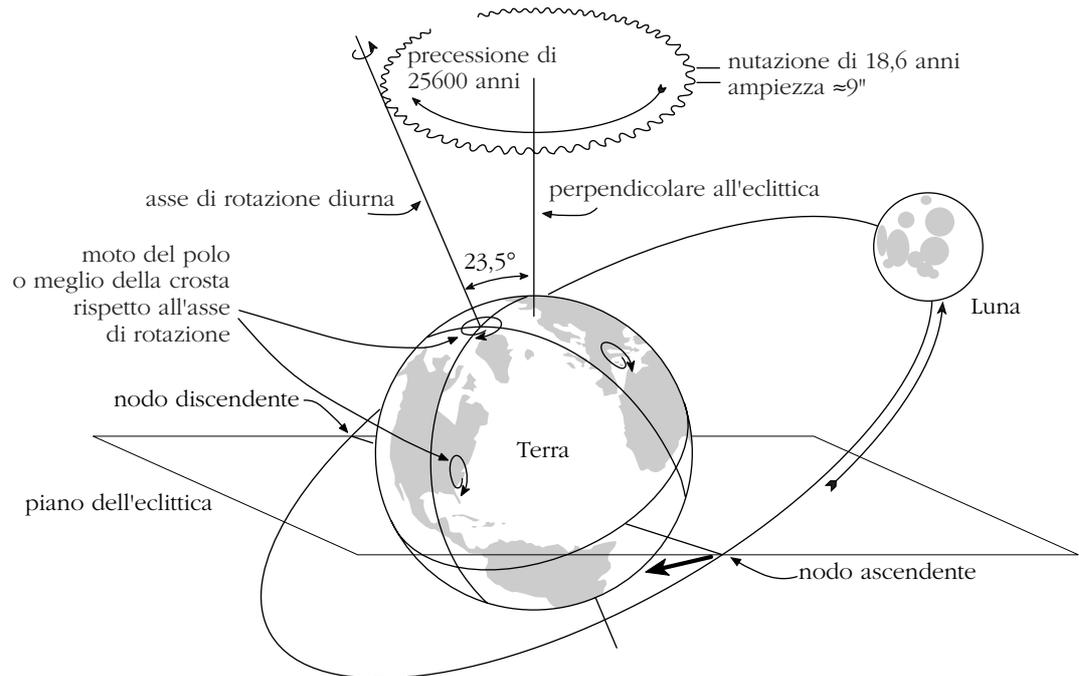
Immaginai che CA fosse un raggio di luce cadente perpendicolarmente sulla retta BD. Se l'occhio si trova in A, l'oggetto deve apparire nella direzione AC, sia che la luce si propaghi istantaneamente o no. Ma se l'occhio si muove da B ad A, e la luce giunge con una velocità che sta a quella dell'occhio come CA sta a BA, allora l'impulso luminoso sarà visto nella direzione BC. Io immaginai che la retta CB fosse un tubo di tal diametro da ammettere solo una particella di luce. Fu dunque facile concepire che la detta particella in C (per virtù della quale l'oggetto deve essere veduto quando l'occhio - in moto - arriva in A) passerebbe proprio lungo il tubo BC se essa avesse l'inclinazione che vediamo in figura, e accompagnerebbe - per così dire - l'occhio nel suo moto da B ad A. Nè mai potrebbe giungere all'occhio situato al fondo di tale tubo, se esso avesse una qualsiasi altra inclinazione rispetto alla retta BD.

Bradley fu anche lo scopritore, nel 1748, della nutazione con periodo di 18 anni dell'orientazione dell'asse terrestre rispetto alle stelle, dovuta

¹Umberto Forti: Storia della Scienza, nei suoi rapporti con la filosofia, le religioni, la società. Volume 4°, scheda 435, p. 197. Dall'Oglio, Milano, 1969.

alle influenze gravitazionali della Luna¹. Ricorda Padre Maurizio Olivieri in un suo manoscritto stilato in difesa di Settele²:

Ma soprattutto è stupendissimo quel fenomeno, scoperto da Bradley nelle stelle fisse, il quale hanno chiamato aberrazione. Descrive ciascuna di esse in cielo una piccola ellissi; ma queste ellissi sono varie in grandezza, variamente ancora schiacciate, e variamente proiettate nel cielo, (cosicchè al polo dell'Eclittica tondeggiano in circoli; e all'Eclittica poi giungono a schiacciarsi in una linea retta). E viene la sua ellissi da ciascuna trascorsa, e compita in ciascu-



La precessione degli equinozi, la nutazione e le oscillazioni forzate ed euleriana della Terra solida. La precessione degli equinozi fu nota con precisione sempre crescente, sin dalla antichità greca e forse anche da tempi precedenti. Il moto, lentissimo, si svolge in circa 26000 anni, ed è causato dalla azione differenziale del campo gravitazionale del Sole sul rigonfiamento equatoriale terrestre, che non si svolge in maniera costante durante l'anno. Analoga origine ha la nutazione

che dipende dall'azione della Luna e si svolge, con una ampiezza molto minuta, circa 9" d'arco, con un periodo di 18,6 anni, che è il periodo di rotazione retrograda (indicata dalla freccia in grassetto) dei nodi dell'orbita lunare, ovvero delle sue intersezioni con il piano orbitale terrestre. Anche in questo caso il momento torcente varia nel tempo: per esempio è nullo quando la Luna interseca il piano equatoriale terrestre. Chiamare le oscillazioni forzate ed euleriana

"moto del polo" è invece una terminologia impropria: si tratta in realtà del moto della crosta e del mantello terrestre nel loro insieme rispetto all'asse di rotazione diurna. Il periodo del moto del polo è di circa 14 mesi. Tutti questi effetti hanno importanza, in quanto devono essere rimossi dalle misurazioni geodetiche di alta precisione, anche se la precessione nella maggioranza dei casi può essere trascurata. In figura le ampiezze della nutazione e del moto del polo (delle località) sono esagerate.

¹Fabrizio Bònoli: Storia dell'Astronomia. In Annuario Enciclopedico 1991, Grande Enciclopedia Universale Atlantica, European Book, p.463-480, 1991.

²Cit.in Walter Brandmüller e Egon Johannes Greipl (a cura, introduzione e apparati di note): Copernico Galilei e la Chiesa, fine della controversia (1820), gli atti del Sant'Uffizio. Documento 9, p.224. Pontificia Accademia Scientiarum, Olschki Editore, Città del Vaticano-Firenze, 1992.

no dei nostri anni. Attribuiscono questo fenomeno alla deviazione della luce nel venir incontrata dalla Terra, come ne pubblicò la spiegazione lo stesso Bradley nel dicembre del 1728. La certezza, e l'evidenza di questo fatto sembrano somministrare la più evidente fisica dimostrazione del moto annuo della Terra.

La ricerca dell'effetto di parallasse fu continuata man mano che si perfezionavano gli strumenti di osservazione, ed esso fu l'oggetto di un progetto di una campagna di osservazioni in una memoria *On the Parallax of the Fixed Stars* che William Herschel (1738-1822) presentò nel 1781 alla Società di Lettere e Filosofia di Bath. Herschel era un raffinatissimo costruttore di telescopi a riflessione, ma nemmeno con i suoi strumenti all'avanguardia riuscì a misurare il piccolo effetto.

Giuseppe Calandrelli era convinto di aver osservato la parallasse stellare al Collegio Romano per la stella Vega (circa 4" e 4/10"), ma in ogni caso il suo opuscolo¹ sull'argomento del 1806, dedicato al papa, entrò nelle polemiche del caso Settele come esempio di libro già contenente prove del moto terrestre e pubblicato con imprimatur dell'inquisizione. Sempre dagli scritti per l'occasione dell'Olivieri, traspare qualche incertezza in proposito²:

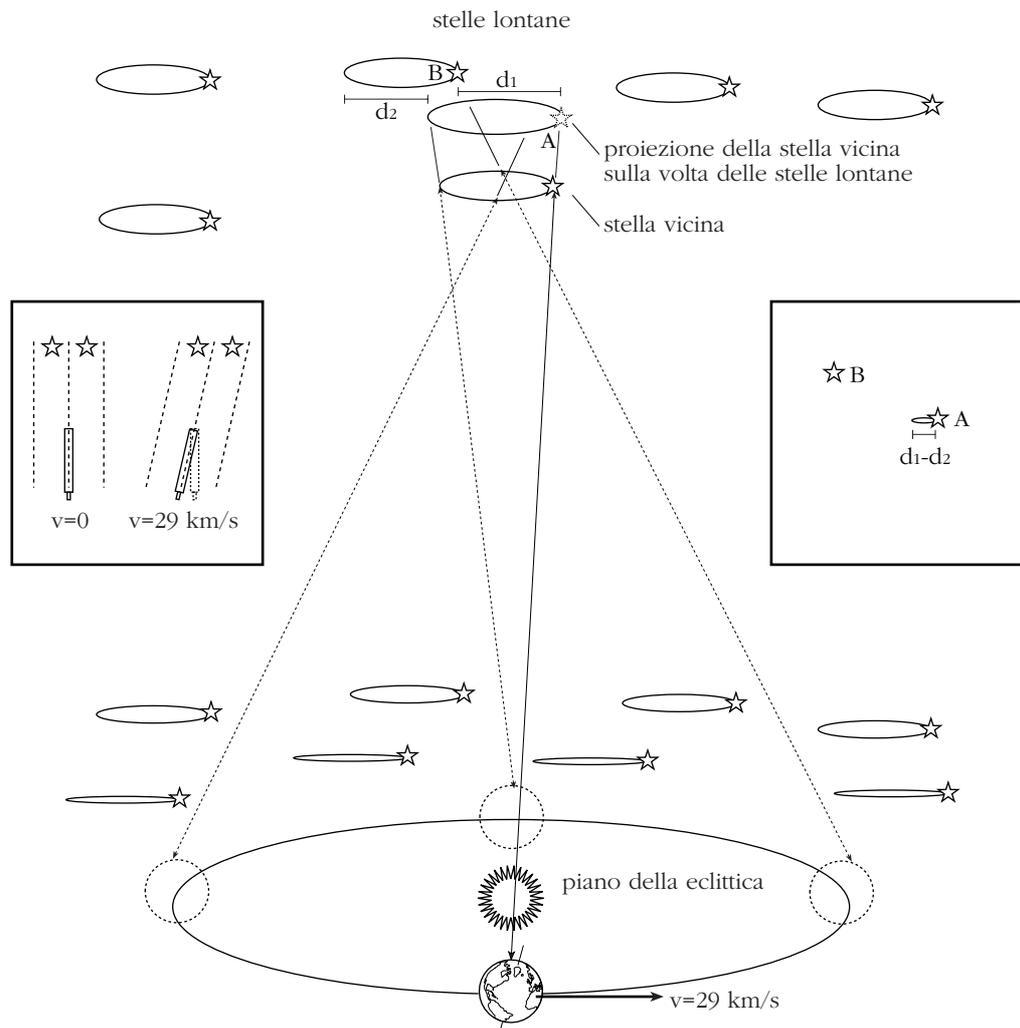
A questo fine il valente Astronomo [Giuseppe Calandrelli] scorre primieramente sopra le altrui osservazioni. Arreca dappoi le proprie fatte colla più squisita, ed indefessa diligenza, che descrive sopra Vega, ossia α della Lira, stella di prima grandezza, prossima allo Zenit Romano, opportuna perciò a questo genere di ricerche, e conchiude: "Dalle esposte osservazioni evidentemente risulta una parallasse annua." Ne prosiegue poi ad investigare, ed assegnare la quantità della quale dice: "È evidente, che la distanza $9''^4$. è la differenza, che deve passare tra la minima distanza dal zenit nel dì 29 giugno, e la massima nel dì 27 dicembre." E "La parallasse dell'orbita annua sarà di $4''^4$. Questa parallasse porta l' α della Lira ad una distanza dalla Terra di 46878 semidiametri dell'orbita annua. Benchè dunque la Luce con immensa velocità percorre un semidiametro, o la distanza dal Sole alla Terra in $8''^7\frac{1}{3}$; pure non potrà giungere dalla Lira che in giorni 264, ore 9 $53\frac{1}{2}$."

Non è qui il proposito di investigare, se conseguenze di una cotanto delicata sottigliezza possano tenersi per avverate, ed esattamente appurata varietà d'angolo visuale nell'osservazione. Sento, che a taluni Astronomi non sia riuscito posteriormente di assicurarsene; mentre altri ve ne sono, i quali hanno pubblicato di avere essi pure [...] pari risultati della parallasse annua delle stelle fisse. Checchè finora ne sia, è però manifesto che al ch. Calandrelli si è in quest'opera concesso di asserire il moto diurno, ed annuo della Terra, senza obbligarlo a dichiarare, che ne parlava per ipotesi, e non per tesi; e ciò in un'opera in cui non per incidenza; ma ex professo intrapendesi di rendere sensibile il moto annuo della Terra.

In realtà il valore di Calandrelli è troppo grande, 4", rispetto alla massima parallasse osservata per Proxima Centauri che è solo di 0.7", e quindi possiamo con certezza dire che nelle osservazioni del Collegio Romano

¹Giuseppe Calandrelli: Osservazioni e riflessioni sulla paralasse annua dell' α della Lira. In G. Calandrelli e A. Conti: Opuscoli astronomici. Stamperia Salomoni, 1806.

²Cit.in Walter Brandmüller e Egon Johannes Greipl: Op.cit.. Documento 9, p.187.



L'effetto combinato del fenomeno dell'aberrazione della luce e della parallasse annua sulla orientazione dei telescopi.

L'aberrazione astronomica della luce, a causa della quale le stelle percorrono una ovoidale fittizia a periodo annuale, non può osservarsi per confronto delle stelle con un ulteriore sfondo fisso ma si desume dalla diversa orientazione del tubo del telescopio necessaria per poter osservare la medesima stella nei diversi mesi dell'anno. Nel riquadro a sinistra, interpretando la luce come una pioggia di fotoni, si vede che se il telescopio è in moto, esso deve essere inclinato nella direzione

del moto per far sì che i fotoni raggiungano l'oculare. Il semiasse maggiore dell'ovoide è di circa 28", mentre quello minore decresce con la latitudine della stella rispetto al piano dell'eclittica fino ad annullarsi su di esso. La parallasse annua è invece osservabile per confronto della posizione della stella vicina rispetto alle posizioni delle stelle fisse lontane la cui parallasse è trascurabile.

I due fenomeni si sovrappongono e la stella vicina a causa della parallasse sembra percorrere una ovoidale di aberrazione leggermente più ampia. Se si confrontasse (vedi riquadro a destra) la posizione della stella

vicina A rispetto a quella lontana B la si vedrebbe percorrere, se si trova al polo della eclittica, una piccola ellissi con rapporto dei suoi semiasse uguale a quello dell'orbita terrestre, ed ellissi sempre più schiacciate fino a ridursi ad un segmento se la stella è sul piano della eclittica. La massima ampiezza di parallasse osservata per una stella è di circa 0.7" per Proxima Centauri. I due fenomeni hanno effetti separati da un ordine di grandezza. Oggi la parallasse è usata, grazie alla altissima precisione raggiunta dai telescopi spaziali, per costruire una mappa tridimensionale della nostra Galassia.

gli errori sistematici e gli effetti spuri erano preponderanti. Le distanze stellari ammontano ad anni luce e non a giorni luce. Ciononostante le misure di Calandrelli aiutarono la Terra ad aver licenza di muoversi!

La parallasse stellare fu finalmente osservata con certezza ed utilizzata quantitativamente per determinare le distanze stellari nel 1837 da Bessel in Germania per la stella Cygni 61 (≈ 10 anni luce), seguito da Wilhelm Struve in Estonia per la stella Vega (≈ 12 anni luce), da Thomas Henderson per Alpha Centauri (≈ 4.5 anni luce), da Otto Struve all'Osservatorio di Pulkovo in Russia e da molti altri.

Durante il secolo dei lumi i problemi dei moti periodici dei pianeti e delle loro influenze reciproche era stato affrontato sulle basi poste da Eulero. Si distinse particolarmente in Italia il barnabita Paolo Frisi (1728-1784) i cui contributi maggiori trattarono e risolsero il problema della composizione dei moti rotatori, della precessione degli equinozi e della nutazione dell'asse terrestre¹. Nel '700 quindi l'astronomia aveva fornito tutta questa serie di osservazioni e di spiegazioni che costituivano ormai un blocco di prove interdipendenti del movimento della Terra, ma i dubbi non avevano ancora abbandonato strati sociali che oggi definiremmo di alta intellettualità. Frisi per esempio non riuscì a convincere della realtà dei moti terrestri la famosa matematica Gaetana Agnesi (1718-1799) che quando le fu inviato un articolo dello scienziato sull'argomento, espresse il seguente giudizio²:

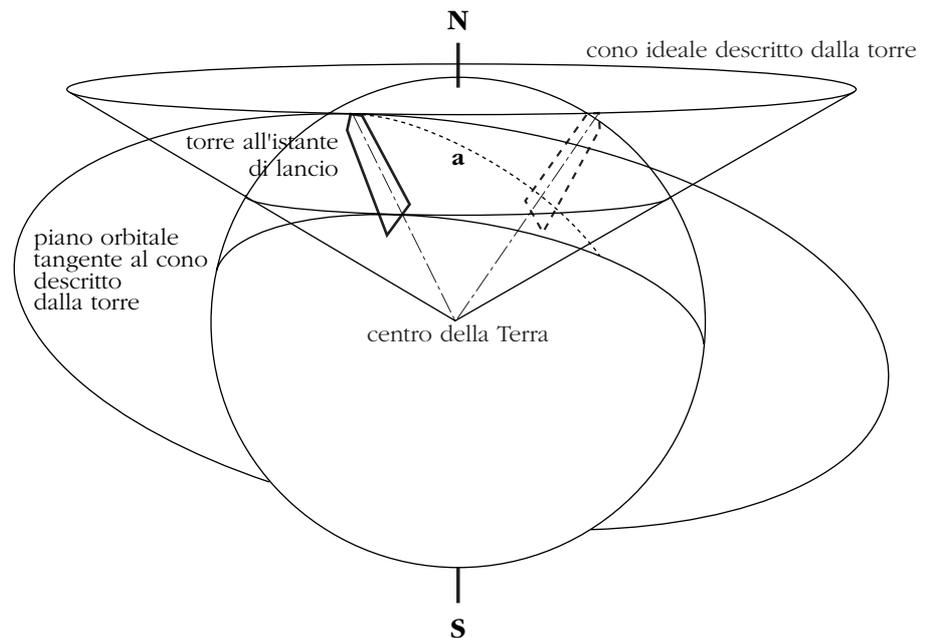
Per dirgliela confidentemente non mi saprei indurre a consigliarlo di darlo alle stampe, sí perché non vorrei in conto alcuno che si sapesse di qual parere io sia in una cosa tanto scabrosa, come ancora perché desiderando egli sapere se questo possa essere di qualche pregiudizio all'onore della Religione, io non vorrei farmi mallevadrice di quello che potesse accadere.

Moto rotatorio distinguibile da quello traslatorio

Può essere attribuita a Galilei la paternità della proposta dell'esperienza della deviazione verso Est dei gravi in caduta da una torre? In realtà nei dialoghi l'esperienza della caduta del grave da una torre viene idealizzata solo come moto traslatorio e sicuramente non contiene la nozione di moto parabolico ma solo trasversale, confessando l'ignoranza sulla sua rettilinearità o altra forma geometrica della traiettoria. Il pisano tratta approfonditamente dei moti uniformi, cioè inaugura la relatività galileiana, trascurando gli effetti del sistema accelerato pianeta-rotante sulla

¹Mario Di Bono: L'astronomia in Italia dal Quattrocento alla prima metà del Novecento. In: Carlo Mascagni e Paolo Freguglia: La cultura filosofica e scientifica. Tomo secondo, La Storia Delle Scienze. Con una presentazione di Vincenzo Cappelletti. Bramante Editrice, Busto Arsizio, 1989.

²Umberto Forti: Storia della Scienza, nei suoi rapporti con la filosofia, le religioni, la società. Volume 4°, scheda 435, p. 197. Dall'Oglio, Milano, 1969.



Se un corpo viene lasciato senza imprimergli alcun impulso dall'alto di una torre, a causa della maggiore velocità della sommità rispetto alla base, ed alla conservazione della quantità di moto, esso cadrà lievemente spostato ad E-SE rispetto alla base. Nel caso ideale di una

Terra perfettamente sferica e omogenea, una volta lasciato in caduta libera, la traiettoria a del corpo giace su un piano comune a tutte le traiettorie dei corpi lanciati con unica componente della velocità orizzontale diretta verso est. Questo piano è tangente lungo l'asse della torre

al cono ideale descritto dall'asse stesso della torre al ruotare della Terra, il cui vertice è al centro del pianeta. Per le altezze non comparabili dei manufatti umani rispetto al raggio terrestre, la traiettoria della massa in caduta libera si svolge sempre in prossimità della linea di

tangenza e quindi la deviazione verso sud rimane trascurabile. Con gli stessi limiti anche altri effetti, dovuti alla forma ellissoidale della Terra e alla distribuzione non uniforme della forza centrifuga sul filo del piombo sospeso che indica la base fiduciarìa, sono trascurabili.

torre. Di questi effetti Galilei era comunque ben cosciente e ne viene fatto cenno nel *Dialogo* in altri contesti. Per esempio¹:

SAGR. [...] E non vi parrà un bel pensiero quello che mi sovvenne pur nella medesima navigazione, quando mi accorsi che l'albero della nave, senza rompersi o piegarsi, aveva fatto più viaggio con la gaggia, cioè con la cima, che col piede? perché la cima, essendo più lontana dal centro della Terra che non il piede, veniva ad avere descritto un arco di un cerchio maggiore del cerchio per il quale era passato il piede.

Oppure riferendosi ad una ipotetica palla che cada dalla Luna sulla Terra²:

SALV. [...] Imperrocchè, se la palla [...] aveva il moto circolare delle ventiquattr'ore insieme con la Terra e co 'l resto del contenuto dentro ad esso concavo, quella medesima virtù che la

¹Galileo Galilei: *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano*. Giornata II, p.212. A cura, con introduzione e note di Libero Sosio. Einaudi, Torino, 1970.

²Galileo Galilei: *Ivi*, Giornata II, p.283.

faceva andare in volta avanti lo scendere, continuerà di farla andar anco nello scendere; e tantum abest che ella non sia per secondare il moto della Terra, ma debba restare indietro, che più tosto dovrebbe prevenirlo, essendochè nell'avvicinarsi alla Terra il moto in giro ha da esser fatto continuamente per cerchi minori: talché, mantenendosi nella palla quella medesima velocità che ell'aveva nel concavo, dovrebbe anticipare, come ho detto, la vertigine della Terra.

Od ancora agli effetti della rotazione sul tiro orizzontale delle artiglierie¹:

E per dare ancora tutti i vantaggi a i Peripatetici e Ticonici, voglio che ci figuriamo esser sotto l'equinoziale, per tirar con una colubrina di punto bianco verso occidente al berzaglio in cinquecento braccia di distanza. Prima cerchiamo, così (come ho detto) a un di presso, quanto può essere il tempo nel quale la palla, uscita dal pezzo, giugne al segno, che sappiamo esser brevissimo, ed al sicuro non è più di quello nel quale un pedone cammina due passi; e questo è ancor manco di un minuto secondo d'ora, perché, posto che il pedone cammini tre miglia per ora, che sono braccia novemila, essendo che un'ora contiene tremila seicento minuti secondi, vengono a farsi in un secondo passi dua e mezzo: un secondo dunque è più che il tempo del moto della palla. E perché la rivoluzion diurna è ventiquattr'ore, l'orizzonte occidentale si alza quindici gradi per ora, cioè quindici minuti primi di grado per minuto primo d'ora, cioè quindici secondi di grado per un secondo d'ora; e perché un secondo è il tempo del tiro, adunque in questo tempo si alza l'orizzonte occidentale quindici secondi di grado, e tanto ancora il berzaglio: quindici secondi però di quel cerchio, del quale il semidiametro sia di braccia cinquecento (che tanta si è posto esser la lontananza del berzaglio dalla colubrina). Or guardiamo nella tavola de gli archi e corde (che ecco qui appunto il libro del Copernico), qual parte è la corda di quindici secondi del semidiametro è centomila; adunque delle medesime la corda di un minuto secondo sarà manco di mezzo, cioè manco di una parte di quali il semidiametro sia duegentomila è manco di quindici delle medesime duegentomila parti. Ma quello che di dugentomila è manco di quindici, è ancor più di quello che di cinquecento è quattro centesimi; adunque l'alzamento del berzaglio nel tempo del moto della palla è manco di quattro centesimi, cioè di un venticinquesimo di braccio; sarà dunque circa un dito: ed un sol dito, in conseguenza, sarà lo svario di ciascun tiro occidentale, quando il moto diurna fusse della Terra. Ora s'io vi dirò che questo svario effettivamente accade in tutti i tiri (dico di dar più basso un dito di quel che darebbono se la Terra non si movesse), come fareste, signor Semplice, a convincermi, mostrandomi con l'esperienze ciò non accadere? non vedete voi che non è possibile ributtarmi, se prima non trovate una maniera di tirar a segno tanto esatta, che mai non s'erri d'un capello? perché, mentre che i tiri riusciranno variabili di braccia, come de facto sono, io dirò sempre che in ciascheduno di quelli svarii vi è contenuto quello di un dito, cagionato dal moto della Terra.

In quest'ultimo brano Galileo si mostra consapevole anche degli errori di misura che tenderebbero a nascondere la vera deviazione dovuta al moto diurna. Appare comunque strano al lettore moderno questa oscillazione tra argomenti che colgono in maniera completa il problema in esempi complicati ed irrealizzabili, e il non arrivare a formulare in maniera esatta il moto per i casi più semplici di caduta da una torre o di tiro di artiglierie.

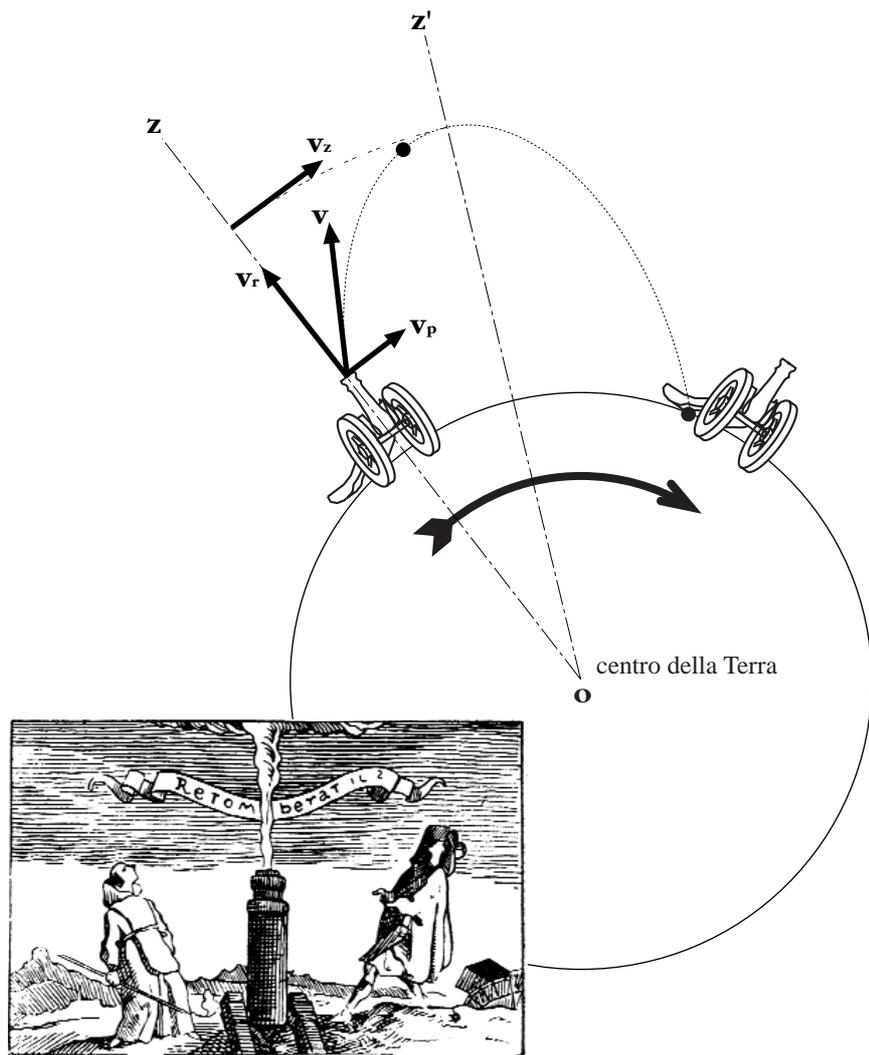
¹Galileo Galilei: Ivi, Giornata II, p.221.

Se un colpo viene sparato verso l'alto, in direzione dello zenit, da un cannone posto all'equatore, la palla ricadrà leggermente ad ovest rispetto alla canna da fuoco. È facile capire il perché di questo in maniera qualitativa. La componente polare v_p della velocità della palla sarà inizialmente uguale alla velocità orizzontale della canna, ma siccome la palla si allontana da terra, essa rimarrà progressivamente indietro rispetto alla linea di zenit della canna che ha velocità tangenziali sempre maggiori al crescere dell'altezza. In figura è mostrata la velocità $v_z > v_p$ dello zenit z-o della canna all'altezza del culmine della traiettoria che la palla descriverà. Quando la linea di zenit z'-o passa per il culmine, la palla è già indietro rispetto ad esso.

Inoltre, siccome la sfera si allontana dal pianeta che la attrae, essa sta andando verso il suo apogeo, per cui la v_p tende a diminuire ulteriormente il ritardo all'accordo alla seconda legge di Keplero o equivalentemente alla legge di conservazione del momento angolare per i campi centrali (vale: $mr_1v_{p1} = mr_2v_{p2}$).

Come risultato essa accumula ritardo rispetto al moto orizzontale del cannone e ricade ad ovest rispetto ad esso.

Esperimenti in tal senso vennero eseguiti da padre Merenne che non riusciva a ritrovare i proiettili dopo il lancio. Descartes interpretava questo risultato come conferma della esistenza di vortici, presenti già a qualche chilometro di altezza, che trascinavano la Terra e disperdevano i proiettili, in una concezione che ancora non unificava la fisica terrestre con la celeste. Varignon si burlava degli esperimenti di Merenne ed impresse la vignetta riprodotta in basso sul frontespizio di un suo libro.



ria verticale. Per quest'ultimo caso Galilei è convinto che la palla ricadrebbe esattamente nella bocca da fuoco¹:

[... ..] l'impulso in su è tutto del fuoco, il circolare vien tutto dalla Terra ed a quel della Terra è uguale; e perché gli è uguale, la palla si mantien sempre a perpendicolo sopra la bocca dell'artiglieria, e finalmente in quella ricade; [...]

Mentre invece a causa del moto ellittico del proiettile e del lieve ritardo che accumula rispetto al moto rotatorio della Terra, la caduta risulta ad ovest della bocca da fuoco. Esperimenti inconclusivi con tiri zenitali furono tentati da padre Marin Merenne (1588-1648) che nelle prime prove addirittura non potè osservare la ricaduta dei proiettili (che evidentemente cadevano assai lontano) attribuendo questo "effetto" alla rotazione terrestre; del quale fatto sorse gran discussione tra i sapienti dell'epoca, con

¹Galileo Galilei: Ivi, Giornata II, p.216.

toni a volte arguti. Pierre Varignon (1654-1722) fece stampare sul frontespizio di una sua opera sulla gravità una incisione raffigurante Mersenne ed il suo aiutante accanto al loro cannone che scrutano il cielo dove è scritto “ricadrà?”. All’interno del testo Varignon critica Descartes che giudicava l’esperienza di Mersenne favorevole alle sue concezioni sulla gravità¹.

Mais ce qui me fit plus de plaisir que tout cela, ce fut une experience dont je n’avois jamais entendu parler, & que je rencontray dans les lettres de M. Descartes. Le Pere Mersenne, un Minime de Paris qui aimoit la Physique, luy mandoit que luy & M. Petit Intendant des Fortifications, avoient chargè un canon à boulet, & que l’ayant mis la bouche en haut, le plus droit & le plus perpendiculairement qu’ils avoient pû, ils l’avoient tirè, & qu’ils n’avoient pû retrouver le boulet; & qu’ayant rëitèrè plusieurs fois cette expèrience, ils avoient cherchè aux environs inutilement les boulets, ou quelques traces des boulets, & qu’ils croyoient qu’ils n’ëtoient point retombez, qu’ils ëtoient encore en l’air, & apparemment qu’ils y demeureroient longtems. Des boulets de canon sur nôtre tête, qui demeurent suspendus sans pesanteur! En vëritè cela doit surprendre, & il est vray que cela me surprit, & me fit autant de plaisir à imaginer que la première fois que j’entendis parler d’une Mer à nos Antipodes, & des vaisseaux Espagnols qui navégeoient dessus sans aucune crainte de tomber vers le Ciel, comme il semble d’abord qu’ils devoient faire. Cependant M. Descartes qui ëtoit accoûtumè aux choses extraordinaires, n’en fut point surpris, du moins il le dit, & mande au Pere Mersenne, que cette expèrience s’acomode le mieux du monde avec sa manière d’expliquer la pesanteur: je m’en rapporte. Pour moy, qui croy entendre son hypothèse, j’avouè qu’elle ne m’a point contentè sur cette expèrience, ny sur le reste des expèriences de la pesanteur. Et ce n’est que pour cela que je me mis en peine d’en chercher une autre.

In un altro punto (ed in diversi altri ancora) Galilei chiarisce i limiti inconsapevoli del suo discorso per il grave in caduta libera²:

... la pietra casca sempre nel medesimo luogo della nave, stia ella ferma o muovasi con qualsivoglia velocità. Onde, per esser la medesima ragione della Terra che della nave, dal cader la pietra a perpendicolo al piè della torre non si può inferir nulla del moto o della quiete della Terra.

Solo un anno separa la proposta dell’esperimento della pietra lasciata cadere dall’albero di una nave dalla sua realizzazione pratica (senza cercare gli effetti della maggior velocità della sommità dell’albero) di Morin e poi di Gassendi. Questo testimonia dell’interesse che suscitavano questi argomenti, ma il fatto che nessuno abbia fatto seguire esperimenti dall’alto di una torre alle precedenti frasi del Dialogo esclude l’influenza diretta di Galilei su questo tipo di prova. Per come anzi la questione veniva posta, dati i limiti prefissi, l’esperimento da una torre era visto come piú debole, anzi inconcludente, rispetto a quello in cui con certezza ci si trovava su un sistema in moto come una nave. Probabilmente ebbe influenza in questo ignorare le deviazioni dal moto verticale la mancanza dei metodi matematici adeguati a

¹Pierre Varignon: Discours sur la pesanteur. 1690. Cit.in Jacques Gapaillard: Le mouvement de la Terre. La détection de sa rotation par la chute des corps. Cap.I, p.25. Cahiers d’Histoire et de Philosophie des Sciences. Nouvelle Série n.25. Presses de l’Université de Nantes, pp.182, 1988.

²Galileo Galilei: Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano. Giornata II, p.177. A cura, con introduzione e note di Libero Sosio. Einaudi, Torino, 1970.

calcolare l'esatta traiettoria seguita dal grave. L'incertezza su quest'ultimo punto va da Galilei che supponeva un moto spiraliforme per un grave che cadesse cessando il suo moto al centro della Terra (secondo i principi aristotelici), allo stesso Newton che ne assorbì il pensiero e assunse qualitativamente la medesima traiettoria a spirale finché con gran disappunto non fu corretto da Hooke che gli fece notare come una ellisse fosse più adeguata.

Sebbene i primi dubbi che un corpo in caduta libera mantenga una traiettoria verticale rispetto al punto di partenza siano espressi da Johann Georg Locher (XVII sec) nel suo libro *Disquisitiones Mathematicae* (1614)¹, e da Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679) in una sua disputa epistolare², intorno al 1665, con Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) e Stefano degli Angeli (1623-1697), in verità fu merito di Newton cercare più espressamente gli effetti della rotazione diurna e formulare una proposta, poi raccolta da Hooke, di una esperienza per verificare che la caduta dei gravi nelle vicinanze della superficie terrestre avviene con un lieve spostamento verso Est. L'idea sperimentale è contenuta in una sua lettera del 1679 a Hooke che la realizzerà lo stesso anno³:

[... ..] Per ricambiare questa notizia vi comunicherò una mia fantasia sul modo di provare il movimento diurno della Terra. [... ..]

[... ..]; sia A un grave sospeso in aria che ruota intorno alla Terra in modo tale che la sua proiezione sulla terra sia sempre nel punto B. Immaginiamo poi che questo grave A venga lasciato cadere e che la sua gravità gli conferisca un nuovo movimento verso il centro della Terra senza diminuire il precedente da ovest verso est, dato che prima di iniziare la caduta si trovava più distante dal centro della Terra delle parti della Terra che raggiunge nella caduta, sarà allora maggiore del movimento da ovest verso est delle parti della Terra che il grave raggiunge nella caduta; non discenderà pertanto secondo la perpendicolare AC ma, superando in velocità le parti della Terra, andrà a cadere a est della perpendicolare descrivendo, nella caduta, una spirale ADEC, contrariamente all'opinione comune secondo cui, se la Terra si muove, i gravi nel cadere vengono sopravanzati dalle parti della Terra e cadono a ovest della perpendicolare.

Oltre a questo discorso, che diede inizio a tutto un susseguirsi di esperimenti quantitativi, nel seguito della stessa lettera Newton propone il suo allestimento sperimentale, stranamente solo qualitativo, che non risulta sia stato mai eseguito⁴:

[... ..] Supponete poi, in un giorno molto calmo, che un proiettile di pistola venga calato con un filo di seta dalla sommità di un alto edificio o pozzo, e che il filo passi attraverso un piccolissimo foro praticato in una lamina di ottone o di stagno appesa alla sommità dell'edificio o del pozzo, e che il proiettile quando sia prossimo a raggiungere il suolo penetri in acqua, onde

¹ Cit. in Jacques Gapaillard: *Le mouvement de la Terre. La détection de sa rotation par la chute des corps*. Cap. II, p. 55. Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences. Nouvelle Série n. 25. Presses de l'Université de Nantes, 1988.

² Mario Di Bono: *L'astronomia in Italia dal Quattrocento alla prima metà del Novecento*. In: Carlo Mascagni e Paolo Freguglia: *La cultura filosofica e scientifica*. Tomo secondo, *La Storia Delle Scienze*. Con una presentazione di Vincenzo Cappelletti. Bramante Editrice, Busto Arsizio, 1989.

³ Cit. in Alexandre Koyrè: *Studi newtoniani*. Cap. V. Traduzione di Paolo Galluzzi. Einaudi, Torino, 1972.

⁴ Ivi.

cessi di oscillare, e che venga calato poi fin su una lama di acciaio disposta da nord a sud e sistemata in modo che il proiettile, nel sovrapporsi, rimanga quasi in equilibrio pur dimostrando tuttavia una qualche propensione (tanto minore tanto meglio) a piegare verso il lato occidentale dell'acciaio tutte le volte che viene calato sulla lama. In tal modo sistemato sul fondo l'acciaio, supponiamo che il proiettile venga riportato alla sommità e lasciato cadere tagliando, strappando o bruciando il filo di seta; se esso cade costantemente ad est dell'acciaio se ne potrà dedurre il moto diurno della Terra.

Hooke effettuò un lancio di sfere di ferro dalla moderata altezza di 9 metri che non dette risultati chiari ed anzi dette inizio anche alla lunga controversia dello spostamento verso sud, che risultava dai risultati dell'inglese, ma che era dovuto alle imprecisioni dell'allestimento.

In effetti uno spostamento verso sud dovrebbe attendersi per altezze di caduta comparabili al raggio terrestre. Lo spostamento è un effetto del fatto che un corpo lasciato libero di cadere dall'alto di una torre non può più seguire il piccolo cerchio del parallelo della torre ma dispone il suo moto lungo un'orbita "satellitare" il cui piano contiene la torre e taglia la superficie terrestre lungo un grande cerchio tangente al parallelo della sommità della torre. Più tardi sia Laplace che Gauss provarono teoricamente che svolgendosi le esperienze da altezze piccole rispetto al raggio della Terra, l'effetto era trascurabile. Cionondimeno molti continuavano a dare importanza a questo effetto che fu escluso definitivamente dagli esperimenti di Hagen all'inizio del '900.

Cento anni più tardi, nel 1789, Giambattista Guglielmini (1760-1817) progettò di dimostrare il moto diurno della Terra dalla deviazione orientale della caduta dei gravi, pubblicandone a Roma il calcolo teorico nell'opuscolo *Riflessioni sopra un nuovo esperimento in prova del diurno moto della Terra*¹. Nell'opuscolo, per una altezza pari a quella della cupola di S. Pietro veniva calcolata una deviazione di 3.3 cm. Ma l'esperimento vero e proprio non potè farsi a Roma ma a Bologna dove Guglielmini tornò nel 1790 per allestire l'esperienza alla torre degli Asinelli. Nel frattempo un suo amico dell'Osservatorio del Collegio Romano, l'astronomo Giuseppe Calandrelli, coinvolto anche in studi sulla parallasse stellare, provò un lancio di gravi dai 29 metri della torre della specola del Collegio, che diede come risultato valori spurii favorevoli alla tristemente famosa deviazione meridionale. Scrive Calandrelli nei suoi Opuscoli Astronomici²:

Anche in questi ultimi tempi, ed in Roma stessa propose il Signor Guglielmini un'esperimento colla caduta dei gravi dal cupolino di San Pietro. In quel tempo i primi Matematici d'Italia s'impegnarono a determinare nel grave cadente la deviazione orientale, e meridionale, la quale particolarmente diede luogo a molte private, e pubbliche, discussioni. Impegnato in questa astronomica ricerca, nel terminare del 1790 furono da me tentate le prime esperienze in questo

¹Borgato, M.T. e Fiocca, A. (a cura, introduzione e note): Giambattista Guglielmini, Carteggio. Olschki Editore, Firenze, 1994.

²Giuseppe Calandrelli: Osservazioni e riflessioni sulla parallasse annua dell' α della Lira. In G. Calandrelli e A. Conti: Opuscoli astronomici. Stamperia Salomoni, 1806.

Collegio Romano da un'altezza di piedi 91, quando contemporaneamente in Bologna alla Torre degli Asinelli da una altezza di piedi 241 esperimentava il Signor Guglielmini. In seguito dal Sig. Teresio Michelotti in Novara dall'altezza di piedi 155, e dal Signor Ignazio Michelotti nelle vicinanze di Torino, e precisamente nella chiesa di Superga, da una altezza di piedi 156 furono ripetuti i medesimi esperimenti.

Posteriormente simili esperienze sono state tentate da M. Flaugergues a Viviers, da M. Henzenberg nel 1802 in Amburgo dall'altezza della Torre di S. Michele di piedi 235; quindi finalmente da M. Benzenberg professore di astronomia a Dusseldorp nel 1803 nelle cave di carbon fossile a Schebusch dall'altezza di piedi 262. Tutte queste esperienze, nelle quali soprattutto si è rimarcata la deviazione del grave cadente verso Oriente rispetto al filapiombo, hanno determinato il gran Senatore, e Geometra Laplace ad occuparsi in questa ricerca. Il computo di questo illustre Geometra determina la deviazione orientale, ma non ammette sensibile la deviazione meridionale; della quale recentemente ha parlato ancora il Signor Saladini.

Anche Guglielmini fu influenzato dai sostenitori della componente di deviazione verso sud e nel suo secondo opuscolo del 1792 *De diurno terræ motu* ricava valori per essa minori rispetto a quella orientale, ma non trascurabili¹.

Le esperienze furono eseguite nel 1790 e 1791 sia alla Specola dell'Istituto delle Scienze di Bologna che dalla Torre degli Asinelli, rispettivamente da 29 metri e 78 metri. Delle sferette di piombo venivano rilasciate dall'alto con sistemi che dovettero essere progressivamente migliorati o sostituiti ma che dettero sempre problemi irriducibili. Alla fine, dopo una ulteriore lunga sperimentazione con un filo a piombo per determinare il punto di riferimento al suolo, nonostante le condizioni atmosferiche che sollecitavano il filo, si trovò un valore medio per la deviazione orientale di 19 mm, e per quella meridionale di 12 mm.

Successivamente dopo una discussione epistolare con l'astronomo francese Joseph Jérôme de Lalande (1732-1807) Guglielmini ammise, in accordo con Laplace, che la deviazione meridionale doveva essere nulla ed esagerando i propri demeriti rispetto ai meriti considerò la sua esperienza ingiustamente viziata da errori e quindi non significativa². Molti altri, come abbiamo visto nella citazione di Calandrelli, ripresero le sue esperienze, fra cui: in Italia Giovanni Antonio Tadini (1754-1830) nel campanile dei frati Conventuali a Bergamo nel 1794-1795, in Germania da Johann Friedrich Benzenberg (1777-1846) nella torre di San Michele di Amburgo. Benzenberg trovò ancora una notevole deviazione meridionale, ed a conoscenza delle dispute sull'argomento chiese all'astronomo Wilhelm Olbers (1758-1840) di elaborare uno schema teorico. Le formulazioni matematiche di Olbers prevedero lo spostamento meridionale e la discussione proseguì con una nuova esperienza di Benzenberg nel pozzo di una miniera di Schlebusch, dove i risultati furono sempre in accordo con la deviazione orientale, ma questa volta si trovò una lieve deviazione settentrionale. La questione ebbe termine con gli esperimenti di padre Hagen in Vaticano agli inizi del nostro secolo.

¹Borgato, M.T. e Fiocca, A.: Op.cit. Ivi.

²Ivi.

La Terra come un magnete: un effetto della rotazione

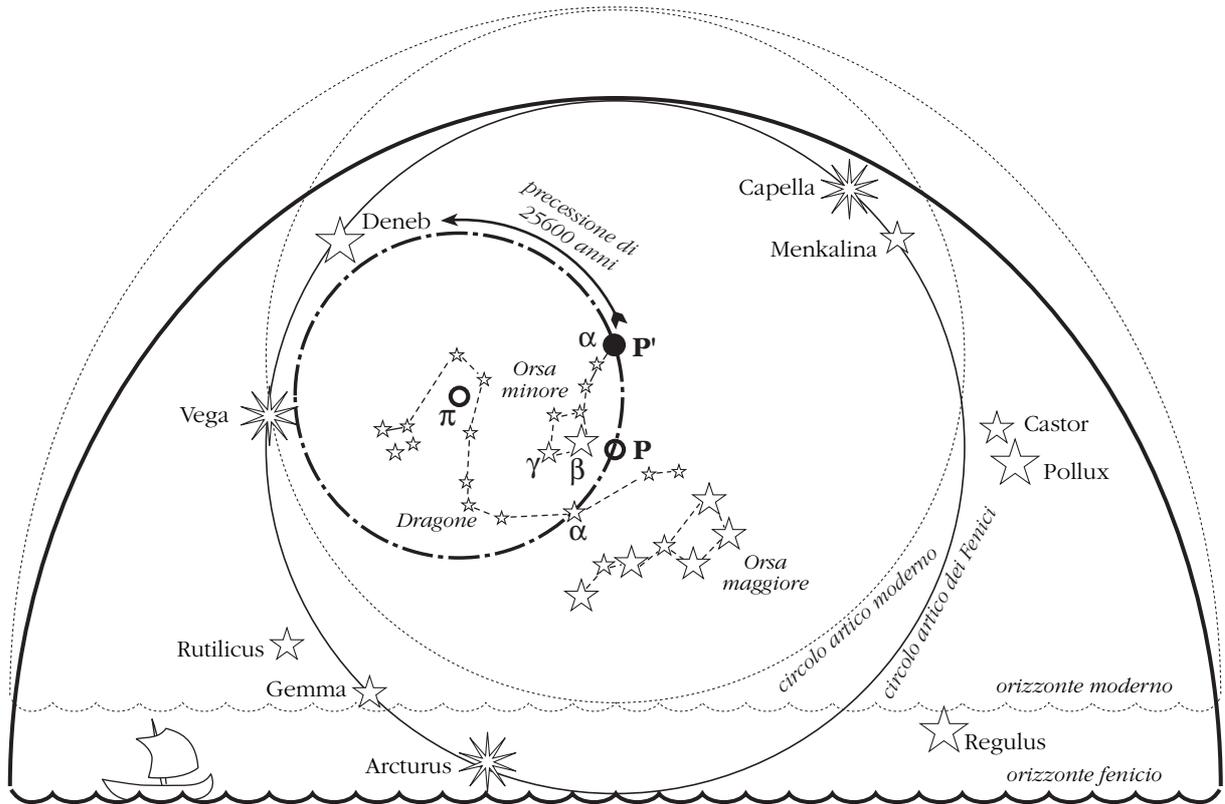
La bussola erano certamente conosciute ed usate dai naviganti occidentali, come risulta da uno scritto precedente al 1200 del monaco Alessandro Neckam, ed una spiegazione dell'orientamento dell'ago, sebbene errata, fu individuata nella pretesa influenza della stella polare. Pietro Peregrino di Maricourt (metà XIII secolo), pensava che le calamite funzionassero per un potere proveniente dalla stella Polare, e simili concezioni che collegavano cieli e magnetismo si ritrovano in Guglielmo d'Alvernia (1180-1249) il quale pensava che le sfere celesti fossero mosse da forze magnetiche esercitate dal *primum mobile*.

Al contrario il fisico ed ecclesiastico Ruggero Bacone (Roger Bacon, 1214-1292) già scorgeva una analogia tra la Terra ed una calamita, dove se ambedue potevano dirsi dotate di nord, sud, est ed ovest, ambedue puntavano verso la stessa zona del cielo. Il poeta bolognese Guido Guinicelli (1230-1276) espresse in versi l'ipotesi che l'origine della forza che costringeva la calamita ad orientarsi dovesse trovarsi in immensi depositi di minerali magnetici situati nei pressi del nord geografico.

Pietro Peregrino da Maricourt scrisse nel 1269, durante l'assedio di Lucera al seguito di Carlo d'Angiò, una Epistola in cui descrive alcuni suoi esperimenti. Peregrino rispose a Guinicelli che grandi depositi di magnetite erano presenti un po' dovunque nel mondo allora conosciuto e che quindi erano i poli celesti ad avere un potere orientativo di origine divina sulla bussola e la calamita, la quale fungeva da collegamento tra cosmo e mondo sublunare. Proprio per questo, mediante la calamita pensava di poter realizzare un congegno a moto perpetuo¹, come quello degli orbi planetari. Non si può dire che fosse consapevole che la Terra stessa era simile ad un magnete, date le scarse conoscenze dell'epoca sulle proprietà delle bussole, comunque con le sue esperienze Peregrino definì le polarità nord e sud, descrisse l'inscindibilità delle polarità, ed eseguì esperimenti su magneti sferici, detti terrelle, su cui con l'aiuto della direzione indicata da segmenti di fil di ferro disegnò i meridiani che convergevano verso i poli.

La discussione fra i sostenitori dell'origine interna od esterna del campo magnetico non trovò soluzione se non dopo la riscoperta in Europa, sul finire del '400, della declinazione magnetica, ossia dell'angolo variabile con la posizione geografica dell'ago della bussola rispetto al meridiano. I cinesi forse conoscevano il fenomeno sin dall'VIII secolo ma da noi solo i viaggi transatlantici di Cristoforo Colombo (1451-1506) e di Sebastiano Caboto (1474-1557), permisero di riconoscerlo. Certamente Colombo nel suo lungo primo viaggio del 1492, oltrepassate le Azorre, osservò stupefatto il fenomeno della variazione della declina-

¹La progettazione di simili congegni era tipica dell'epoca. Spesso erano progetti di macchine puramente meccaniche; quello che distingue dagli altri il progetto di Peregrino è l'utilizzo dei magneti che farebbero da mediatori per pervenire alla perpetuità dei moti sopralunari. Si veda per i testi originali dei progetti della macchina di Peregrino e di un altro ingegnere Friedrich Klemm: *Storia della tecnica. Parte II*, p.83. Traduzione di Umberto Zangrande. Feltrinelli, Milano, 1966.



Il cielo notturno come si presentava ai naviganti Fenici qualche secolo prima di Cristo quando raggiunsero il Mare del Nord. La stella Arturo indicava il Nord quando sfiorava l'orizzonte dell'epoca, ma oggi insieme a molte altre stelle finisce al di sotto dell'orizzonte marino, in quello che Omero chiamava "il lavacro dell'Orsa". A causa della precessione degli equinozi il polo Nord celeste percorre in 25600 anni il percorso a tratto e punto con centro in π . All'epoca dei Fenici il Polo era in P, ed ancora qualche secolo prima, durante la costruzione della piramide di Giseh nel 2790 a.C. il Polo Nord celeste lambiva α -Draconis. Oggi esso è in P' a circa 1° dalla Stella Polare, l' α dell'Orsa Minore, ma ai tempi di Cristoforo Colombo la Stella polare percorreva un cerchio di diametro circa 5° . I piloti esperti

confrontavano la posizione della Polare rispetto ad otto posizioni delle "guardie", β e γ , riportate su una mappa che dava così la posizione del polo vero con un errore massimo di solo mezzo grado. Sempre a causa di questo moto terrestre Dante Alighieri descrisse alcune stelle dell'emisfero celeste meridionale visibili ai suoi tempi appena sopra l'orizzonte del Cairo, oggi non più osservabili. Questi lenti spostamenti, insieme ad altri fattori, potrebbero essere all'origine dello spostamento di un grado delle latitudini mediterranee riportate da Tolomeo, che Domenico Maria da Novara credette di poter spiegare come reale moto del Polo Nord. Come si vede in figura, fra qualche migliaio di anni saranno Deneb e poi Vega ad essere vicine al polo celeste (figura rielaborata in base a quella di A. Fresa, Op.cit.)

zione con la longitudine in tutta la sua pienezza, come risulta da alcune pagine del suo Diario di Bordo trascritte e riassunte dal Las Casas¹:

Giovedì 13 settembre - Tra giorno e notte, proseguendo per la loro rotta che era il Ponente, avanzarono per 33 leghe, e l'Ammiraglio ne annoverò 3 o 4 di meno. Le correnti erano contrarie. In questo giorno, all'inizio della notte, gli aghi delle bussole si spostavano verso Nord Ovest e alla mattina volgevano alquanto verso Nord Est.

Lunedì 17 settembre - [...] I piloti fecero il punto, e riconobbero che le bussole declinavano nuovamente di una gran quarta; e i marinai se ne stavano timorosi e accorati, e non dicevan di che. L'Ammiraglio se ne accorse e ordinò ai piloti che allo spuntar del giorno tornassero a fare il punto, e preso il Nord, trovarono che gli aghi erano buoni. E ciò fu perché non gli aghi si muovono, ma la Stella Polare.

Da questo sembra sia stato costretto a camuffare il fenomeno, servendosi della rotazione di 5° della Polare intorno al vero Polo Celeste, per non generare ulteriori inquietitudini nell'equipaggio². A lui per primo venne l'idea di usare il fenomeno per orientarsi in longitudine, dato che il fenomeno di cambiamento dell'orientazione dell'ago diveniva vistoso oltrepassate le Azorre; nella sua relazione sul terzo viaggio indirizzata ai Re Cattolici si legge³:

Ogni volta che, navigando dalla Spagna verso le Indie, superavo la distanza di cento leghe dalle Azorre verso occidente, trovavo dei grandi mutamenti nel cielo e nelle stelle, così come nella temperatura dell'aria e dell'acqua del mare, e io ho osservato con molta cura questi fenomeni. Verificai che, da nord a sud, una volta oltrepassate le dette cento leghe al largo delle isole, la bussola, che tendeva prima a nord-est, si spostava ora di un intero quarto a nord-ovest. E questo non appena arrivati a questa linea, come se si fosse superata una cresta.

Con l'esistenza della variazione geografica della declinazione fu possibile al grande cartografo Gerhard Kremer (1512-1594), detto Mercatore, nel 1546, sostenere fondati argomenti sull'origine interna della forza magnetica⁴:

In primo luogo, l'esperienza insegna che in uno stesso ed unico luogo l'ago magnetico declina rispetto al nord effettivo sempre della stessa quantità. Il punto [verso cui si dirige], perciò, non può certamente giacere nei cieli, perché, siccome ogni punto della volta celeste, eccetto i suoi poli, è soggetto ad un moto di rotazione, l'ago dovrebbe necessariamente seguire la rota-

¹Cristoforo Colombo: *Giornale di bordo di Cristoforo (1492-93)*. Nella trascrizione e sintesi di padre Bartolomeo Las Casas. A cura, introduzione e note di Rinaldo Caddeo. Mondadori-Bompiani, Milano, 1973.

²Lili Cafarella e Antonio Meloni: *Cristoforo Colombo e la scoperta della declinazione magnetica*. Pubblicazioni ING n.550, 1993.

³Cristoforo Colombo: *Ai re cattolici (1500)*. In Vittorio H. Beonio-Brocchieri (a cura e introduzione): *Cristoforo Colombo, Amerigo Vespucci, Cieli nuovi e terra nuova: le lettere della scoperta*. p.39. Rosellina Archinto s.a.s., Milano, 1991.

⁴Gerhard Kremer detto Mercatore: *Lettera ad Antonio Perrenoto, Venerabile Vescovo di Arras, A.D. 1546*. Tradotta in inglese in H.D. Harradon: *Some early contributions to the history of geomagnetism-VI. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, Vol.48, n.4, p.200-202, 1943.

zione diurna di tale punto celeste e quindi declinare alternativamente verso est e verso ovest, in contrasto con l'esperienza. Sulla Terra, perciò, che rimane fissa, tale punto deve essere ricercato.

La prima trattazione scritta dei problemi della declinazione, nel 1535, si trova in un raro trattato di navigazione del portoghese al servizio della marina spagnola Francisco Falero, che suggerì la possibilità di valutare dalle declinazioni la posizione longitudinale in mare. Il matematico fiammingo Simon Stevin (1548-1620) stilò poi tabelle numeriche per naviganti nelle quali ad ogni declinazione osservata era associata una zona geografica. Fu poi la scoperta dell'Inclinazione da parte del medico tedesco, Vicario di S. Sebaldus a Norimberga, George Hartmann, nel 1544, a dare un ulteriore colpo di grazia agli ancora numerosi sostenitori di un influsso magnetico celeste: l'ago della bussola, nell'emisfero settentrionale non puntava in alto verso il polo celeste, ma si dirigeva verso il sottosuolo. Solo nel 1600 con la pubblicazione a Londra del trattato *De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure physiologia nova* di William Gilbert, si riconobbe definitivamente la natura magnetica del corpo stesso del pianeta, che fu la prima caratteristica fisica globale riconosciuta del nostro pianeta dopo la sua sfericità. Gilbert credeva anche fermamente nella rotazione della Terra e così argomenta nel suo *Tractatus de Magnete*¹:

Tolomeo alessandrino mi sembra troppo timido e poco coraggioso per il fatto che teme la dissoluzione di questo mondo inferiore se la Terra si muovesse di moto circolare. Ma perché mai invece non si dovrebbero temere la rovina dell'universo, la sua dissoluzione, perturbazione e incendio e immense calamità celesti e sovracelesti da un movimento che risulta al di là di ogni pensiero, sogno, favola e licenza poetica insuperabile, ineffabile e incomprensibile? Per il fatto che noi siamo trasportati da un moto rotatorio diurna della Terra (dal moto cioè più conveniente) e come barchetta si muove sulle acque, così siamo mossi insieme alla Terra, ci sembra tuttavia di stare immobili e fermi. Ad alcuni filosofi questo fatto, che cioè il vasto corpo della Terra si muova di moto circolare per la durata di ventiquattr'ore sembra una cosa enorme e incredibile a causa di una inveterata opinione. [...] Io vorrei soltanto che quei filosofi pensassero quale straordinaria velocità avrebbe la sfera suprema. Immaginarsi il primo mobile ed attribuirgli un movimento che viene compiuto in ventiquattro ore senza concedere poi nello stesso intervallo di tempo alcun moto alla Terra è ridicolo [...] Se la rivoluzione diurna della Terra sembra veloce ed inammissibile alle leggi naturali per la rapidità, il moto del primo mobile rispetto al primo mobile stesso e a tutto l'universo sarà più che follia, non accordandosi con alcun altro movimento, non accordandosi con niente di proporzionale o di simile. [...] Tutti questi corpi celesti hanno dunque moto circolare. Per la qual cosa anche la Terra può avere il suo moto simile: infatti un tale movimento non impedisce (come pensano alcuni) che la Terra sia compatta, nè è contrario alla generazione delle cose. Dal momento infatti che tale moto è insito naturalmente nel globo terrestre senza che per di più vi sia nessun elemento esterno che lo turbi o lo ostacoli con movimenti opposti, esso si svolge senza procurare alcun danno o pericolo, prosegue senza sbalzi improvvisi, niente lo trattiene, non c'è niente che, dietro un'adeguata

¹William Gilbert: Trattato sul magnete. VI.I. Cit.in Paolo Rossi (curatore, introduzioni e note): La rivoluzione scientifica: da Copernico a Newton. Antologia. Parte V, documento 10. Loescher Editore, Torino, 1977.

pressione, gli conceda il passaggio, ma tutto è favorevole a tale moto. Infatti, mentre la Terra si muove nello spazio vuoto di corpi o nell'etere, tutta l'aria e i vapori della Terra e dell'acqua, le nubi e le meteore sovrastanti, si muovono nello stesso tempo circolarmente insieme al globo. Lo spazio sovrastante i vapori è privo di corpi: corpi estremamente sottili e pochissimo solidi che passano nel vuoto non si impigliano, non si dissolvono. Perciò anche il globo terrestre, con tutte le sue appendici, senza incontrar resistenza si muove placidamente: senza motivo quindi e in modo superstizioso certi uomini (come Lucio Lattanzio che deride la teoria degli antipodi e della superficie rotonda della Terra, secondo il sistema del volgo insipiente e degli uomini privi di dottrina) temono una collisione dei corpi. Alla luce di questi motivi quindi la rivoluzione diurna della Terra appare non solo probabile, ma anche certa, dal momento che la natura agisce sempre con le cause più semplici anziché con le più complesse e alla ragione è più confacente che il solo piccolo corpo della Terra compia un movimento circolare anziché l'intero universo sia portato in giro.

L'inglese ribadisce ancora la sua posizione sul moto orbitale¹:

La Terra perciò ruota e sia per una certa legge di necessità che per una energia innata, manifesta e cospicua, gira circolarmente intorno al Sole; attraverso questo moto partecipa delle energie ed influenze solari, e la sua verticalità la conserva nel moto, impedendole di errare in ogni parte del cielo. Il Sole (che nella natura è il primo generatore di attività), come fa avanzare i pianeti nei loro corsi, così pure guida la rivoluzione del globo, inviando l'energia delle sue sfere nell'effusione della sua luce.

Questo passo precorre la concezione di Keplero dei raggi solari propulsori dei moti planetari. Il fatto che l'orientazione dell'asse terrestre rispetto alle stelle fosse lentamente variabile (precessione) era garanzia per Gilbert che questa orientazione non dipendeva da un polo magnetico celeste ma da altre cause². Se Gilbert ipotizzò un campo magnetico stabile nel tempo a meno di «... grossi sconvolgimenti della Terra o affondamenti di continenti ed oceani ...», ci si accorse con stupore già nel XVII secolo che la declinazione variava non solo con la posizione geografica ma anche col trascorrere del tempo. Nel 1635, l'astronomo londinese H. Gelibrand notò che la declinazione geomagnetica da lui misurata al Gresham College di Londra, 4.1°E, differiva dai vecchi valori del 1540 e da quello misurato da William Borough nel 1580, 11.3°E, scoprendo la variazione secolare della declinazione. Il fenomeno suscitò immediata curiosità e tentativi di spiegazione, come quella di Descartes che attribuiva la variazione secolare a variazioni di contenuto delle miniere di ferro³:

C'è chi dice che questa variazione, non solo è diversa a seconda dei luoghi della Terra, ma può anche mutare, col tempo, in un medesimo luogo; sicché quella che si osserva ora in certi

¹William Gilbert: Cit.in: Antonio La Russa: Dal cielo antico all'universo macchina. p.122. Edizioni Canova, Treviso, 1994.

²Cit.in Alexandre Koyrè: La rivoluzione astronomica, Copernico, Keplero, Borelli. p.348-349. Traduzione di Libero Sosio. Feltrinelli, Milano, 1966.

³Renè Descartes: I principi della Filosofia. In Cartesio: Opere filosofiche, vol.3. Parte IV, cap.169. Traduzione di Adriano Tilgher e Maria Garin. Laterza, Bari, 1986.

luoghi non si accorda con quella che vi è stata osservata nel secolo scorso. E non ci vedo nulla di strano se considero la sua totale dipendenza dalla quantità di ferro o di magneti che si trova piuttosto in una parte di questi luoghi che in un'altra. Infatti, non solo gli uomini estraggono di continuo il ferro da certi luoghi per trasportarlo in certi altri, ma, cosa più importante di tutte, ci sono state in altri tempi miniere di ferro in luoghi dove ora non ce ne sono, perché col tempo si sono esaurite, mentre ora ce ne sono in altri luoghi dove prima non ce n'erano, perché vi si sono formate da poco.

Della variazione secolare si occupò lo scienziato inglese Edmond Halley (1656-1742), il primo compilatore, dopo una lunga navigazione nel 1698-99, di una mappa globale della declinazione. Anch'egli era a conoscenza delle misure per la zona di Londra che datavano al 1580, che gli permisero di concludere che nel 1692, dopo 112 anni, la declinazione era passata da 11 gradi verso Est a 6 gradi verso Ovest. Si premurò subito di confutare decisamente le spiegazioni di Descartes¹:

Inoltre, contro [gli argomenti di] Descartes e Gilbert, il cambiamento nel tempo della declinazione, che a Londra è stata più di 15 gradi negli ultimi cento anni, è una dimostrazione completa: così che Descartes non persista nel dichiarare che la causa di ciò sia il trasporto di ferro da un luogo ad un altro, e la crescita di nuovo ferro entro la Terra, dove non ve ne era in precedenza.

Combinando questo risultato con l'aver notato sulla sua mappa della declinazione che il campo non era perfettamente dipolare ma debolmente quadripolare, e che nessun lento spostamento dei poli era mai stato osservato su massi di magnetite o calamite di qualsiasi forma, Edmond Halley propose come spiegazione del magnetismo terrestre e delle sue variazioni secolari un modello di Terra a due globi concentrici separati da uno strato liquido che ne permetteva la rotazione a velocità diverse²:

Queste difficoltà mi hanno abbattuto completamente, e per molto tempo ho sorvolato su un problema che consideravo ormai senza speranza; ma in una dissertazione accidentale, quando meno me lo aspettavo, mi sono imbattuto nella seguente ipotesi: Ora, considerando la struttura del nostro globo terracqueo, non si può supporre così semplicemente che una grande porzione di questo possa muoversi al suo interno senza cambiare sensibilmente il suo centro di gravità e l'equilibrio delle sue parti, il che produrrebbe assai sorprendenti effetti di cambiamento dell'asse della rotazione diurna, e motivo di strana alterazione della superficie del mare, con inondazioni o regressioni talmente grandi, di cui nella storia non c'è menzione. ...

Sicché il solo modo di rendere questo moto comprensibile e possibile, è di supporre che ruoti intorno al centro del globo, avendo il suo centro di gravità fisso ed immobile nello stesso centro comune della Terra: si richiede in più che questa sostanza interna in movimento sia sciolta e non fissata alle parti esterne della Terra, sulle quali viviamo; perché se al contrario a loro fosse fissata, il tutto si muoverebbe di concerto.

¹Cit.in Sydney Chapman: Edmond Halley and Geomagnetism. Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, Vol.48, n.3, p.139, 1943.

²Cit.in Sydney Chapman: Op. cit. p.140.

Cosicchè le parti esterne del globo potrebbero essere considerate come un guscio, e le interne come un nucleo o globo interno racchiuso nel nostro, con un materiale fluido fra i due. Le parti, avendo lo stesso centro comune e lo stesso asse di rotazione diurna, potrebbero ruotare con la nostra Terra ogni 24 ore; solo che la sfera esterna potrebbe avere il suo moto di rotazione di una piccola quantità piú veloce o piú lento rispetto alla sfera interna.

Halley, ipotizzò che la sfera interna fosse abitata da esseri viventi ed ebbe un grande predecessore, in questo, nel francese Nicola Oresme (1330-1382) che nel suo *Le livre du ciel et du monde*, nella sua disgressione piú generale sulla pluralità dei mondi, ipotizza, in via di puro esercizio intellettuale sulle possibilità della Potenza divina, un mondo contenuto all'interno del nostro¹:

Si può proporre una seconda ipotesi, che a me pare un esercizio mentale, secondo cui nel medesimo tempo un mondo è all'interno di un altro, come se entro e al di sotto della circonferenza di questo mondo fosse contenuto un altro mondo simile ma piú piccolo. Benchè non sia vero nè verosimile, non mi pare tuttavia si possa dimostrarne la impossibilità con argomenti logici [... ..].

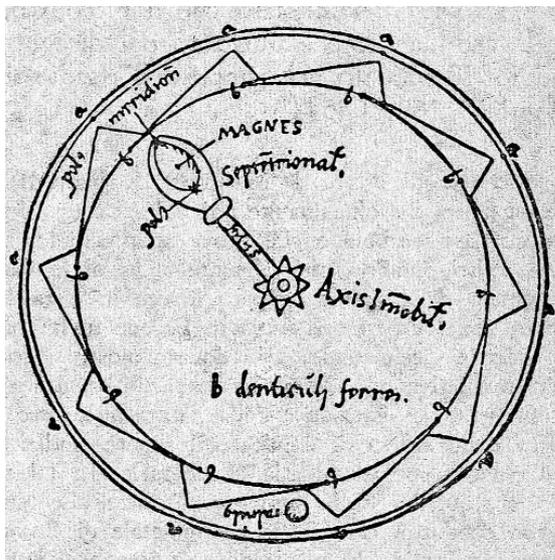
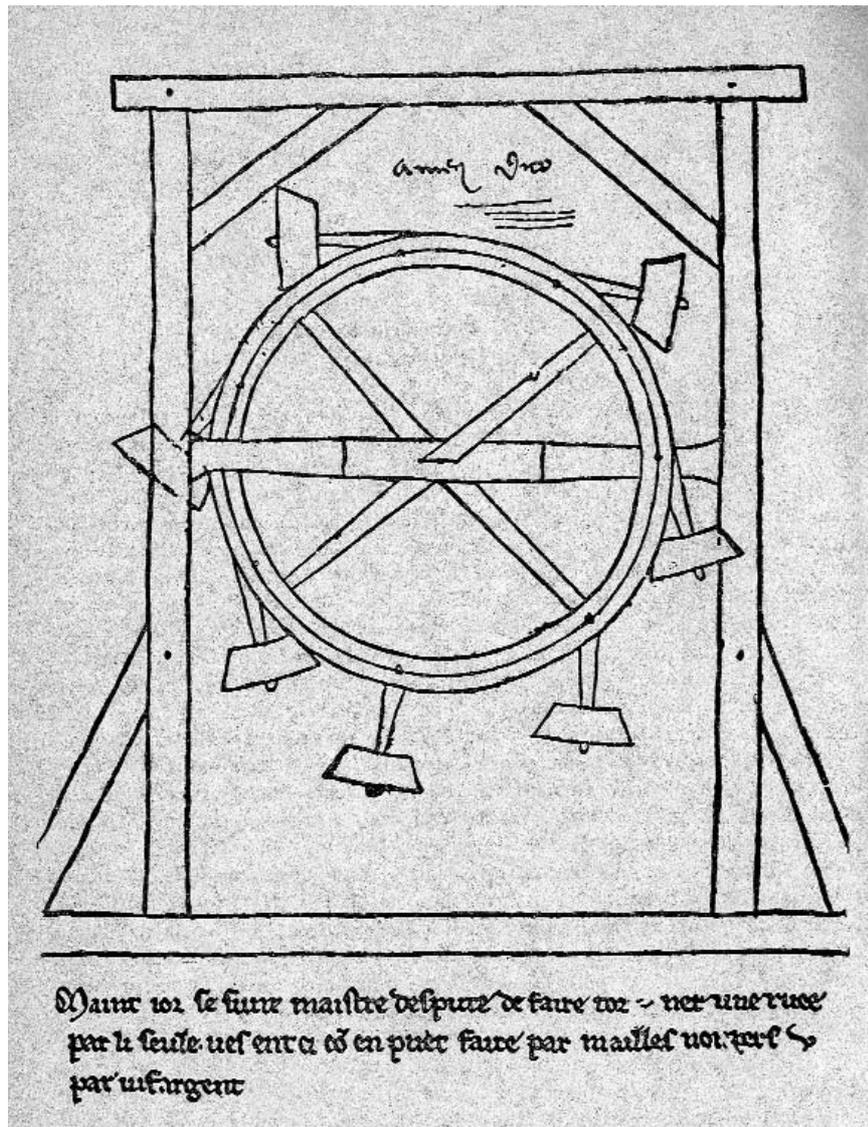
In primo luogo, se all'interno del nostro mondo si trovasse un altro mondo, ne seguirebbe che la terra di questo mondo si troverebbe nel luogo in cui si trova per costrizione, dal momento che al suo interno e sotto la sua circonferenza, verso il centro, esisterebbero altri cieli ed altri elementi ecc. [... ..]

La rotazione differenziale, e la conseguente variazione nel tempo della posizione reciproca delle due coppie di poli magnetici spiegava i fenomeni di lenta deriva del campo osservato in superficie. Il merito di Halley consiste nel fatto che per la prima volta si riconobbe la necessità di “nuclei” terrestri ed anche di quella sorta di “oceano invisibile”, il nucleo liquido, di cui la geofisica e la sismologia avrebbero accertato l'esistenza solo nel nostro secolo, ma si introdusse anche per la prima volta il concetto di rotazione differenziale che ancora ricorre ai nostri giorni. Halley ripose in questa sua ipotesi la speranza di essere ricordato nella storia delle scienze, e nel suo ritratto ufficiale posò con bene in vista uno schizzo del suo sistema di globi concentrici.

Alla fine del secolo scorso L.A. Bauer tracciò due mappe mondiali della differenza tra l'inclinazione vera e quella di un dipolo ideale allineato all'asse di rotazione diurna, una riferita al 1780 e l'altra al 1885. Da queste era evidente che alcune componenti del campo magnetico terrestre si spostavano verso ovest di circa 20° al secolo. Dallo studio moderno delle variazioni si vede che il campo puramente dipolare varia spazialmente come se fosse il risultato di una rotazione del dipolo rappresentativo del campo terrestre attorno all'asse di rotazione, di circa 0.06°/anno verso Ovest. Il campo non dipolare del nucleo, come si è visto, varia anche esso nella posizione delle singole anomalie, e nella loro intensità. Vi è schema-

¹Nicola Oresme: *Le livre du ciel et du monde*. I, 24. Cit.in Massimo Parodi (cura, traduzioni, introduzioni): *Tempo e spazio nel medioevo*. Antologia. Sez.III, documento 14, p.254. Loescher Editore, Torino, 1981.

Nel medioevo numerosi furono i progettisti di macchine a moto perpetuo. Si cercava in sostanza di carpire i segreti della fisica del mondo sopra-lunare, nel quale erano possibili i moti regolari, periodici ed eterni dei pianeti e delle stelle. Nella figura una serie di massicci martelli avrebbe dovuto, ribaltandosi per effetto della rotazione della ruota, dare impulsi successivi alla rotazione stessa. Non erano ancora note le limitazioni imposte dalle leggi di conservazione dell'impulso e dell'energia.

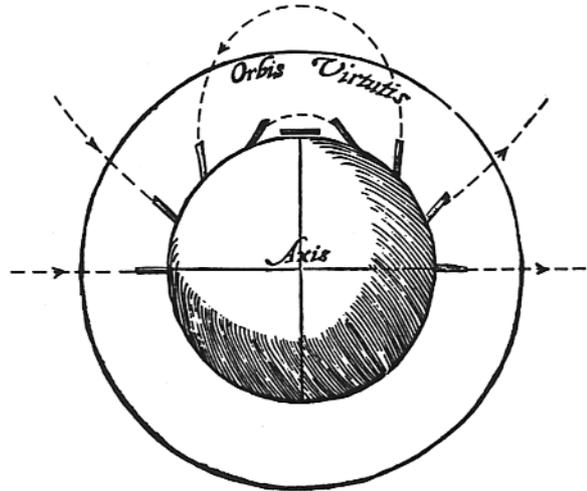


Ancor di più si nutriva fiducia che i fenomeni magnetici fossero qualcosa in relazione al mondo sopra-lunare dalla osservazione che gli aghi delle bussole, una novità per quei secoli, indicavano la Stella Polare. Ci si convinse allora che le calamite potessero essere la chiave per ottenere il moto perpetuo. Il progetto di Pietro Peregrino di Maricourt utilizzava una serie di magneti per ottenere gli stessi effetti del progetto della figura pre-

cedente. Non si ha notizia che queste macchine fossero poi realmente costruite. Forse le cocenti delusioni di chi vi si accinse scongiurarono la divulgazione dei risultati.



William Gilbert in un famoso ritratto. Con lui il magnetismo terrestre entrò nell'epoca della speculazione razionale, indirizzando la ricerca delle cause del campo geomagnetico al profondo interno terrestre.



Che il magnetismo avesse una origine nel corpo stesso della Terra divenne ben chiaro a William Gilbert, che poté estrarre massi rotondi di magnetite e verificare che la configurazione delle forze magnetiche è simile a quella dell'intero corpo del nostro pianeta.

Già con Halley e la sua analisi della variazione della declinazione magnetica terrestre divenne chiaro che il campo geomagnetico doveva originarsi da materiali in moto nelle profondità del pianeta. Halley ipotizzò che una sfera interna magnetizzata ruotasse ad una velocità differente rispetto a quella esterna su cui viviamo. Sebbene oggi si sappia che il campo geomagnetico ha origine dalle correnti del nucleo liquido esterno, l'ipotesi della rotazione differenziale ha trovato recente conferma per via sismologica per il nucleo solido interno. Halley teneva molto alla sua ipotesi e si fece ritrarre reggendo un foglio che la illustra.



ticamente una generale lenta rotazione verso Ovest di circa 0.2° /anno (circa quattro volte piú veloce di quella del campo di dipolo).

Successivamente, Gay Lussac, Biot, Dalton, Gauss, Celsius, contribuirono allo studio del geomagnetismo, portandolo dall'epoca semiquantitativa a quella delle metodologie fisico-matematiche. Per esempio un risultato fondamentale fu ottenuto nel 1838 dal matematico tedesco Karl Friedrich Gauss (1777-1855). L'analisi del campo in "funzioni armoniche" eseguita da Gauss ebbe il non secondario effetto di distinguere tra le perturbazioni profonde e quelle crostali. Mentre il dipolo rappresentativo è responsabile di circa 85% del campo misurato alla superficie terrestre, il resto è fornito dai termini non dipolari sempre originanti nel profondo della Terra, che costituiscono le grandi anomalie regionali.

È naturale a questo punto porsi la domanda: "Come viene generato il campo magnetico terrestre?". È valido ancora il modello di Halley che lega geomagnetismo a rotazione terrestre? Nella Terra la temperatura aumenta con la profondità e già a soli 30 km si raggiungono oltre 700°C ; a questa temperatura la magnetizzazione spontanea decade. Per spiegare il magnetismo terrestre "staticamente" si dovrebbe quindi attribuire alle proprietà magnetiche dei primi 30 km di crosta tutta l'intensità del campo misurabile, ma questo impedirebbe di spiegare la deriva delle anomalie. Per le stesse ragioni sappiamo che alle pressioni e temperature del nucleo interno nessuna sua magnetizzazione sarebbe possibile, e quindi non rimane che ricercare l'origine del campo nei moti convettivi del nucleo liquido ordinati dalle forze di Coriolis. Halley aveva quindi ragione nel complicare il modello terrestre con nuclei concentrici ed a legare deriva del campo con rotazioni differenziali di materiali profondi, ma sbagliava nell'attribuire al nucleo solido la magnetizzazione che dava origine alle anomalie migranti. Era però ancora profeticamente nel giusto quando affermava¹:

...occorreranno diverse centinaia di anni prima che si possa stabilire una teoria completa del Sistema Magnetico terrestre.

Nonostante il nucleo liquido sia stato riconosciuto per via teorica e sismologica dall'inizio di questo secolo, molti autorevoli scienziati erano alla ricerca di spiegazioni del magnetismo terrestre diverse dalle correnti convettive. Un tentativo memorabile anche per i suoi aspetti pittoreschi fu quello di P.M.S. Blackett, che tentava di spiegare l'origine del campo geomagnetico con una proprietà nuova della materia: la semplice rotazione del pianeta doveva originare il campo osservato². Blackett allestì un esperimento con una massiccia sfera di oro puro, ed un magnetometro di nuova concezione estremamente sensibile. Se Blackett non ebbe successo nel verificare la sua teoria, il suo lavoro non andò sprecato: egli comprese subito le potenzialità del suo nuovo magnetometro e si adoperò per creare la famosa scuola inglese di paleomagnetismo, per merito della quale fu

¹Cit.in Sydney Chapman: Op. cit. p.139.

²P.M.S. Blackett: The magnetic field of massive rotating bodies. Nature, vol.159, p.658, May 17, 1947.

possibile verificare la realtà degli spostamenti continentali. Scrisse Blackett nella sua relazione conclusiva che è un modello di onestà intellettuale¹:

La scoperta di Babcock del magnetismo di alcune stelle in rapida rotazione, mi ha condotto allo studio dell'ipotesi, discussa esplicitamente per la prima volta da Schuster e da Wilson, che il magnetismo di un corpo astronomico rotante potrebbe essere generato da una nuova e generale proprietà della materia. [...] Uno studio dettagliato della possibilità di fare un test diretto misurando il piccolissimo campo magnetico dell'ordine di 10^9 G che dovrebbe produrre un corpo di dimensioni adatte rotante in laboratorio, mi condusse alla conclusione che l'esperimento sarebbe stato forse possibile ma certo di insormontabile difficoltà.

Comunque, un più facile ma ancora problematico esperimento alternativo apparve possibile. Questo consisteva nel verificare se un corpo massivo, una sfera d'oro di 10 cm di diametro, a riposo nel laboratorio ma ruotante con la Terra, apparirebbe ad un osservatore, anch'esso ruotante con la Terra, come sorgente di un debole campo magnetico dell'ordine di grandezza di 10^8 G. [...] si mostra qui che non si è trovato nessun campo del genere predetto dalla ipotesi modificata di Schuster-Wilson. [...]

Quando il magnetometro fu completato lo si trovò più che adatto alla misurazione del magnetismo rimanente di campioni debolmente magnetizzati, in particolare di alcune rocce sedimentarie.

Sappiamo oggi dalla sismologia che il nucleo terrestre nella sua parte esterna è fluido, e che il materiale più probabile ivi esistente, il ferro, è altamente conduttore e si trova in uno stato fisicamente definibile come plasma: i suoi atomi sono cioè in gran numero ionizzati. Tutte le condizioni sono quindi favorevoli alla presenza di correnti elettriche. La scoperta del nucleo fluido terrestre, messo in luce da sismologia e reologia, giocò un ruolo quasi interamente passivo nella geofisica fino a che la sua esistenza non divenne una necessità per garantire ragionevoli modelli teorici del campo magnetico terrestre. Fu Larmor nel 1919, poco prima della scoperta del nucleo liquido della Terra, a suggerire per primo che i campi magnetici stellari fossero dovuti a moti di fluidi ionizzati al loro interno ed Elsasser e Bullard negli anni '40 trasferirono le sue idee al nostro pianeta con un modello elementare facilmente rappresentabile come dinamo ad autoeccitazione. Seguirono ancora la strada imboccata per primo da Halley assumendo come indizio principale le variazioni del campo, che le rocce magnetizzate non possono produrre.

Il centro internazionale di Newcastle upon Tyne, in Inghilterra, ha sempre avuto un ruolo centrale contando sulla presenza di grossi nomi come Runcorn, Tarling e Gibson. È in questo centro che si sono allestiti esperimenti pratici per la verifica dei successivi modelli teorici. Essi hanno dimostrato la possibilità di funzionamento delle dinamo ad autoeccitazione nelle varie versioni. Uno dei passi fondamentali fu compiuto nel 1958 dal geofisico giapponese Rikitake con il suo schema a due dinamo accoppiate. Egli riuscì a spiegare non solo il meccanismo di

¹P.M.S. Blackett: A negative experiment relating to magnetism and the Earth's rotation. Jour. Royal. Astr. Soc., vol.245, A.897, p.309, 1952.

La gravitazione: dalla sfera all'ellissoide e oltre

generazione del campo ma anche, cosa impossibile con il modello a dinamo singola, il meccanismo di inversione delle polarità che si osserva nel corso dei tempi geologici.

La doppia dinamo, sotto particolari condizioni può mostrare sia oscillazioni del campo, sia cadute che inversioni che rispecchiano soddisfacentemente gli andamenti ed i periodi reali. Successivi raffinamenti hanno mostrato che grande importanza hanno le forze di Coriolis, forze inerziali dovute alla rotazione, nel distorcere i moti del fluido conduttore e fare sí che venga rispettata un'altra proprietà fondamentale del campo geomagnetico, l'allineamento del suo asse con quello di rotazione terrestre.

L'uso pratico ormai di routine del campo magnetico terrestre non deve dare l'impressione che si tratti di un fenomeno banale e ben compreso. Al contrario la situazione è ancora assai vicina a quella che trecento anni fa faceva scrivere ad Halley la frase riportata nella precedente citazione. Certo notevoli progressi sia teorici che pratici sono già conseguiti, ma il nucleo terrestre e la completa conoscenza dei processi dinamici che lo agitano generando il magnetismo terrestre, sono mete ancora molto remote.

Prima di Newton non è facile trovare cenni della possibile azione della forza centrifuga dovuta alla rotazione terrestre sulla forma del pianeta. Il solo accenno chiaro alla forza centrifuga applicata al moto della Luna lo troviamo in Plutarco (50-120 d.C.); il suo argomento è fortemente anticipatore della fisica newtoniana ma non viene applicato alla forma terrestre¹:

Eppure la Luna è aiutata a non cadere proprio dal suo movimento e dall'impeto della sua rivoluzione, esattamente come al proiettile teso nella fionda la caduta è impedita dal vorticoso moto circolare; infatti ogni oggetto è dominato dal suo moto naturale finché non sia deviato da qualcos'altro. Ed è così che il peso non trascina giù la Luna: perché la sua azione è frustrata dal moto rotatorio [...].

Una obiezione che fu difficile superare e che forse ebbe una influenza pesante nell'impedire l'unificazione della fisica terrestre e celeste è quella che si trova in Giovanni Buridano (1300-≈1358) in forma di una semplice constatazione accessibile a tutti, con la quale era difficile non concordare: Buridano argomenta che la caduta dei gravi non può essere causata da una forza simile a quella dei magneti e conseguenza implicita è che noi non avremmo nulla di analogo con cui sperimentare

¹Plutarco: Il volto della Luna. 923D. Traduzione di Luigi Lehnus, introduzione di Dario Del Corno. Adelphi, Milano, 1991.

su un tavolo di laboratorio la precedente asserzione di Plutarco. Scrive Buridano nelle sue *Questioni*¹:

Concludo dunque che i moti naturali dei corpi gravi e leggeri non sono piú veloci grazie alla maggiore vicinanza al luogo naturale, ma grazie a qualcos'altro che è o vicino o lontano ma che è variato in ragione della lunghezza del moto. Nè si tratta di qualcosa di simile al caso della calamita e del ferro, poiché quando il ferro si trova piú vicino alla calamita subito comincia a muoversi piú velocemente che si trovasse lontano; non cosí è invece per il grave rispetto al suo luogo naturale.

Non è facile valutare quanto la precedente affermazione abbia frenato la consapevolezza scientifica successiva, ma ci sono prove che gli scritti di Buridano godessero di grande e diffuso credito e si cercasse di confermare o confutare i suoi argomenti.

La forza centrifuga entra con piena consapevolezza del come essa agisce da equilibratore dei moti planetari, con la cosmologia di Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679). Mentre nel '200, per esempio con Pietro Peregrino e tanti altri, ancora si pensava di carpire i segreti della fisica del mondo "superiore" per costruire macchine a moto perpetuo nella regione sublunare, con Borelli, nel 1666, il pensiero per la prima volta percorre compiutamente il percorso inverso: le forze fisiche, attrattive e centrifughe, sperimentabili in semplici apparati terrestri, sono generalizzabili ai moti celesti, facendo piazza pulita anche di quegli strani oceani concentrici di etere di diversa densità su cui galleggerebbero i pianeti (tipici gli esperimenti condotti all'accademia del Cimento con strati di liquidi di diversa densità alle cui interfacce si facevano galleggiare sferette di vetro piú o meno cave). Lo scienziato prima svolge un ragionamento simile a quello di Plutarco e poi, superando finalmente l'obiezione di Buridano, descrive una esperienza in cui una sferetta di ferro è posta su un sughero che galleggia intorno ad un magnete²:

Supponiamo infatti che i pianeti abbiano un certo «appetito naturale» ad unirsi al globo del mondo che essi circondano col loro moto, e che tendano con tutte le loro forze ad avvicinarsi ad esso: i pianeti al Sole e gli astri medicei a Giove. Per di piú è certo che il movimento circolare conferisce al mobile un impetus [forza centrifuga] che lo spinge ad allontanarsi dal centro della sua rivoluzione. Supporremo quindi che il pianeta tenda ad avvicinarsi al Sole e che allo stesso tempo, mediante l'impetus del movimento circolare, esso accolga l'impetus ad allontanarsi dal centro del Sole. Ne risulterà allora, finchè le forze contrarie restano uguali (l'una è compensata infatti dall'altra) che il pianeta non può diventare nè piú vicino, nè piú lontano dal Sole oltre uno spazio certo e determinato: perciò apparirà come in equilibrio e galleggiante. [...]

¹Giovanni Buridano: *Questioni sui quattro libri sul cielo e il mondo di Aristotele*. Libro II, questione XII. In Marshall Claggett: *La scienza della meccanica nel medioevo*. Documento 10.1. Con testo latino e traduzione di Libero Sosio. 2ª ediz. Feltrinelli, Milano, 1981. Oppure in: Giovanni Buridano: *Il Cielo e il Mondo*. Commento al trattato «Del cielo» di Aristotele, Introduzione, traduzione, sommario e note di Alessandro Ghisalberti. Centro di Ricerche di Metafisica dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano, Rusconi, Milano, 1983.

²Cit.in Paolo Rossi (cura, introduzioni e note): *La rivoluzione scientifica, da Copernico a Newton*. Cap.V, documento 16. Traduzioni di Massimo Mugnai. Loescher Editore, Torino, 1977.

E poi ancora¹:

[...] e poiché la pallina di ferro I nei tempi successivi, anzi in tutti gli istanti di tempo, persevererà nella stessa tendenza, ossia di tanto si avvicinerà al magnete F, di quanto il moto circolare continuerà a respingerla, ne seguirà che per tutto il circuito la pallina di ferro conserverà sempre la stessa distanza dal magnete e dal centro D e perciò descriverà una circonferenza di cerchio senza alcuna deviazione [...].

Borelli riuscì anche a dedurre correttamente la forma ellittica delle traiettorie planetarie, ma niente affermò su una possibile forma ellissoidale della Terra prodotta da quelle stesse forze centrifughe che per lui grande ruolo avevano nello stabilizzare le traiettorie planetarie.

Copernico, il secolo prima, si credeva in dovere nel *De Revolutionibus* di confutare l'obiezione di Tolomeo al moto diurno della Terra secondo la quale il pianeta si disgregherebbe sotto l'azione di enormi forze centrifughe. Secondo l'astronomo polacco la stessa obiezione si applicherebbe ai cieli che avrebbero, data la lontananza, una velocità infinitamente maggiore²:

Invano, dunque, Tolomeo teme che la Terra si disperda e [con essa] tutte le cose terrestri nella rivoluzione che avviene per azione della natura, che è ben diversa da quella dell'arte o da quella che può derivare per effetto dell'ingegno umano. Ma perché non si teme ciò, e anzi di più, per il mondo, il cui movimento deve essere tanto più veloce, quanto maggiore è il cielo della Terra? O forse il cielo è divenuto tanto immenso perché il movimento con indicibile veemenza lo allontana dal centro, e crollerebbe se stesse fermo? Certamente, se questa ragione fosse valida, anche la grandezza del cielo si allontanerebbe all'infinito. Infatti, quanto più per lo stesso impeto del movimento sarebbe portato in alto, tanto più veloce sarebbe il movimento, per la circonferenza sempre crescente che dovrebbe percorrere nello spazio di ventiquattro ore: e viceversa per il crescente movimento crescerebbe l'immensità del cielo.

Copernico, a fronte di questa precisa nozione di forza centrifuga e della confutazione della sua applicazione ai cieli, non fa seguire una stima nemmeno qualitativa degli effetti reali ma non distruttivi della forza centrifuga sul corpo della Terra che è ancora evidentemente immaginato perfettamente rigido. Invece Galileo Galilei parla nel suo dialogo della forza centrifuga a cui è soggetta la Terra, e ne dà una stima ... ma solo per concludere che essa deve essere trascurabile, trattandosi appena di una sola rotazione al giorno³:

[...] e così si potrebbe stimare che la vertigine della Terra non più fusse bastante a scagliare pietre, che qualsivoglia altra piccola ruota che tanto lentamente si girasse, che in ventiquattr'ore desse una sola rivolta.

¹Cit.in Alexandre Koyrè: La rivoluzione astronomica, Copernico, Keplero, Borelli. Parte III, Borelli e la meccanica celeste. Cap.I. Traduzione di Libero Sosio. Feltrinelli, Milano, 1966.

²Niccolò Copernico: De revolutionibus orbium caelestium (liber primus). Cap.VIII. Con testo latino a fronte. A cura, introduzione e note di Alexandre Koyrè. Traduzione di Corrado Vivanti. Einaudi, Torino, 1975.

³Galileo Galilei: Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano. Giornata II, p.264. A cura, con introduzione e note di Libero Sosio. Einaudi, Torino, 1970.

Troviamo invece una stupefacente e precisa anticipazione degli effetti di deformazione dovuti al moto diurno in una lettera del 1603 di Edmund Bruce a Keplero¹:

Non ritengo che il mondo nei suoi elementi sia speciale e particolare per noi; infatti è aria ed è tra gli stessi corpi che chiamiamo stelle; di conseguenza è fuoco, acqua e terra: inoltre credo che la Terra che calchiamo con i nostri piedi non sia né rotonda né sferica, ma che si avvicini di più ad una figura ovale.

Nel 1673 fu Huygens a pubblicare per primo una formulazione matematicamente esatta della forza centrifuga, che si ritrova anche in un suo manoscritto mai dato alle stampe, *De vi centrifuga* del 1658. In Newton una formulazione simile si ritrova solo in un manoscritto del 1664 e poi nei *Principia* del 1687 in cui la discussione fisica era più approfondita. Confutando ancora i vecchi argomenti aristotelici, Newton, dando finalmente una valutazione quantitativa delle deboli forze in gioco, trova che la forza centrifuga è appena 1/350 della gravitazionale e che quindi mai potrebbe disgregare il pianeta. Scrive²:

At revera tanta est vis gravitatis ut gravia deorsum pellat 16 pedes circiter in 1" hoc est 350 vicibus longius in eodem tempore quam conatus a centro circiter, adeoque vis gravitatis est toties major, ut ne terra convertendo faciat corpora recedere et in aera prosilire.

A causa della sua rotazione, e della forza centrifuga che si sviluppava opponendosi alla gravità, la Terra doveva essere più gonfia all'equatore, anzi anche l'accelerazione di gravità è minore all'equatore, com'era ben noto ai commercianti di preziosi che tentavano di lucrare sul fenomeno. Il ragionamento di Newton era basato su un esperimento ideale in cui due lunghi pozzi pieni d'acqua attraversavano la Terra passando per il suo centro, orientati uno Nord-Sud e l'altro sul piano equatoriale³:

Per qual cosa dico che, in accordo con la regola aurea, se la forza centrifuga 4/505 farà sí che l'altezza dell'acqua nel ramo ACca superi l'altezza dell'acqua nel ramo QCcq di una centesima parte dell'intera altezza, la forza centrifuga 1/289 farà sí che la differenza di altezza nel ramo ACca sia soltanto la parte 1/289 dell'altezza nell'altro ramo QCcq. Dunque, il diametro della Terra all'equatore sta al diametro della stessa attraverso i poli come 230 a 229. Perciò, poiché il semidiametro medio della Terra, secondo la misura di Picard è di 19615800 piedi di Parigi, o di 3923,16 miglia ... la Terra sarà più alta all'equatore che ai poli di una differenza di 85472 piedi,

¹Cit.in Alexandre Koyrè: La rivoluzione astronomica, Copernico, Keplero, Borelli. Parte II, Keplero e l'Astronomia nuova, Sez.II, Cap.V, nota 24. Traduzione di Libero Sosio. Feltrinelli, Milano, 1966.

²«In realtà la forza di gravità è così grande che spinge in giù i corpi pesanti circa 16 piedi in 1", cioè all'incirca 350 volte più lontano nel medesimo tempo della forza che fa tendere lontano dal centro, e perciò la forza di gravità è tanto maggiore che la Terra girando non fa allontanare e balzare i corpi fuori dall'atmosfera.» Cit.in Maurizio Mamiani: Isaac Newton Filosofo della Natura; le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo newtoniano. Parte II, Cap.II, nota 3. Università degli studi di Parma, Pubblicazioni della Facoltà di Magistero 2, La Nuova Italia Editrice, Firenze, 1976.

³Isaac Newton: Principi matematici della filosofia naturale. Libro III. Proposizione XIX, p. 651 e seg. A cura, introduzione e apparati di note di Alberto Pala. UTET, Torino, 1989.

o di miglia 17 1/10. [...] Verrà, anzi, mostrato mediante esperimenti con i pendoli,, come, a causa della rotazione diurna della Terra, la gravità venga diminuita all'equatore, e come perciò la Terra sia in quel luogo più alta che ai poli.

Newton era a conoscenza di questi effetti della rotazione sulla gravità da alcune misurazioni dei ritmi di oscillazione dei pendoli a diverse latitudini, tra le quali l'osservazione di Edmond Halley che, nel suo viaggio a St. Helena per catalogare le stelle del sud, trovò che l'orologio a pendolo portato con sé da Londra andava in ritardo sull'isola, cosa che condusse l'astronomo alla giusta conclusione che ci fosse una differenza nella forza di gravità tra i due luoghi. Medesima conclusione trasse dall'esperienza di Richer alla Cayenna su un pendolo in precedenza sincronizzato a Parigi. Bisognava comunque dare prova sperimentale che la forma della Terra fosse appiattita ai poli a causa del suo moto, e questo poteva dedursi dalla diversa lunghezza del grado di meridiano alle alte latitudini rispetto al grado alle basse latitudini.

Argomenti che trattavano di possibili variazioni della lunghezza dei gradi risalivano alle discussioni sorte sulle prescrizioni aristoteliche delle proporzioni 1:10 dei quattro elementi, da cui discendeva che la Terra doveva essere raccolta in una sfera molto più piccola di quella dell'acqua e che i centri di queste sfere dovevano essere necessariamente diversi per permettere le terre emerse. La sfera più grande, quella dell'acqua, doveva allora avere gradi di meridiano più lunghi. Vanamente si cercò questa differenza, e la risposta negativa venne, anche se non avrebbe potuto, dall'esperienza dei naviganti, come leggiamo in un brano del 1593 del *In sphaeram Ioannis de Sacrobosco commentarius* di Cristoforo Clavio (1537-1612)¹:

Infine, poiché sia gli autori di una dottrina sia quelli dell'altra ammettono che l'acqua è molto più estesa della terra, devono necessariamente anche ammettere che ad ogni grado di superficie di mare corrisponde un numero di stadi o di miglia maggiore che ad un grado di superficie di terra. Poiché l'orbe terrestre è diviso nello stesso numero di gradi del globo acqueo e ordinariamente anche di tutto il circolo celeste. Per questo motivo se l'acqua fosse più estesa della terra i gradi dell'acqua dovrebbero essere più ampi di quelli della terra e, di conseguenza, dovrebbero contenere più stadi o miglia di questi ultimi. Ma tutti i naviganti affermano il contrario, loro che hanno potuto constatare molte volte per esperienza che vi sono tanti stadi o miglia in un grado sulla superficie di terraferma quanti ve ne sono in un grado sulla superficie del mare.

Nella pur giusta confutazione Clavio sopravvalutava troppo la precisione delle stime dei naviganti, che non potevano uscire dal circolo chiuso di una misurazione delle distanze latitudinali, sul meridiano, per via astronomica, identica a quella adottata sulla Terra o da stime assai imprecise basa-

¹ Cristoforo Clavio: Commento alla sfera di Giovanni Sacrobosco. 1593. Cit.in W.G.L. Randles: Dalla Terra piatta al globo terrestre, una mutazione epistemologica rapida, 1480-1520. Cap.II, sez.II. Traduzione di A. Lupoli. Sansoni Editore, Firenze, 1986.

te sulla velocità del naviglio ottenuta con metodi empirici.

Esisteva già una misurazione di meridiano eseguita nel 1527 dal medico francese Jean-François Fernel (1497-1558) tra Parigi e Amiens ottenuta da declinazioni solari e conteggi di giri di ruota di carrozza per il calcolo delle distanze¹. Il valore ottenuto fu abbastanza buono: circa 110 Km. Più tardi il matematico Richard Norwood (1590-16??) eseguì la misura tra Londra e York con osservazioni dell'altezza del Sole con sestanti. Un metodo molto simile a quello di Posidonio del I-II secolo a.C., che era anzi tanto semplice concettualmente che dimostra quanto i modelli cosmologici e filosofici influenzino le azioni umane: le riflessioni e le misurazioni ripresero dopo tanti secoli solo a seguito dei viaggi colombiani e di Magellano in quanto solo questi dettero certezza pratica al modello sferico. Le due precedenti furono le prime misurazioni della dimensione terrestre in senso moderno dopo quella di Eratostene, Posidonio e del califfo arabo Abdullah al Mamun (786-833 d.C). Norwood nel suo manuale di navigazione del 1676 scrive²:

L'11 giugno 1635, feci una osservazione, con un arco di sestante di più di 5 piedi di raggio, dell'altezza meridiana del Sole nei pressi del centro della città di York, e trovai per quella data che la altezza apparente del Sole a mezzogiorno era 59 gradi e 33 minuti. Spostandomi a quel tempo da lì a Londra, con altre misurazioni trovai che il parallelo di York dista dal parallelo di Londra 9149 catene ...Precedentemente, l'11 giugno del 1633, io avevo anche osservato l'altezza meridiana apparente del Sole a Londra, nei pressi della Torre, trovandola essere 62 gradi e 1 minuto.

Ricavò così il grado di meridiano in 367.250 piedi e quindi la circonferenza terrestre, ma il suo metodo, così come quello del francese, non era sufficientemente preciso per apprezzare l'ellitticità. Nel 1669, l'Accademia Francese delle Scienze provò dapprima a ricavare informazioni dalle misure eseguite dall'abate Jean Picard (1620-1682) in Francia sul meridiano Malvoisine-Amiens. Gli strumenti geodetici usati da Picard per determinare la dimensione della Terra erano all'avanguardia per i suoi tempi ma la loro precisione ancora bassa per lo scopo. Picard usò per la prima volta il telescopio per le collimazioni astronomiche ma non poteva essere al corrente del fenomeno dell'aberrazione della luce che fu scoperta solo nel 1727 da James Bradley (1693-1762), di cui si doveva apportare correzione nelle osservazioni. Dopo la morte di Picard l'Accademia Francese delle Scienze incaricò Domenico Cassini (1625-1712) ed il figlio Giacomo (1677-1756) di continuare e concludere il lavoro. I Cassini lavorarono (1693-1718), esten-

¹Jean-Pierre Verdet: Storia dell'Astronomia.Parte III, p.227. Traduzione di Libero Sosio. Longanesi & C., Milano, 1995.

²Richard Norwood: The Sea-mans Practice, containing a Fundamentl Problem in Navigation, Experimentally verified; namely, Touching the Compass of the Earth and Sea, and the quantity of a degree in our English Measures. Cit.in: Alan H. Cook: The history of geodesy and geophysics in Britain. In Atti dei Convegni Lincei 25. Proceedings of the International Meeting "Planetary physics and geology, with a Round Table on "Earth's rotation and continental drift" held in Rome, 1-5 April 1974, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1977.

dedo a nord fino a Dunkirk ed a sud fino al confine spagnolo le triangolazioni di Picard, ed infine i calcoli diedero, non per loro colpa, il risultato inaspettato che il meridiano fosse piú corto a nord che a sud, dando della Terra una immagine allungata nel senso dell'asse di rotazione. Naque cosí la famosa disputa sulla forma schiacciata od oblunga del nostro pianeta che vide coinvolte principalmente Francia ed Inghilterra, Cartesiani e Newtoniani, gravità a vortici e "Hypotheses non fingo".

Francesco Algarotti (1712-1764) nei suoi *Dialoghi sopra l'Ottica Neutoniana* divulgò con molta eleganza le conseguenze della nuova fisica e le avventurose controversie che appassionarono la sua generazione¹:

Ma perché meglio possiamo conoscere ciò che girando ha da succedere alla Terra, fermatela per un poco. E già vedete che per la vicendevole attrazione della materia, ond'è composta, si confermerà nella figura di una palla, dove le parti della superficie avranno tutte un peso eguale verso il centro. Ma sarà già cosí se ella si rivolge, come pur fa, intorno a' suoi poli nello spazio di ventiquattro ore. Le parti di essa, a guisa di altrettanti sassolini girati nella frombola, acquistano in tal caso una forza detta centrifuga, e fanno sforzo di scappar per linea diritta e allontanarsi dal centro: lo che pur farebbono, se la gravità comune, o l'attrazione insieme unite non le ritenesse. E questa forza centrifuga tanto è maggiore e tanto piú le toglie alla gravità, quanto maggiori sono i cerchi, che in ventiquattro ore vengono corsi dalle varie parti della Terra. E perché fra tali cerchi il maggiore di tutti è l'equinoziale o la linea, la forza centrifuga è quivi nel suo colmo, ed è niente ne' poli, che sono immobili. Con che, avendo quivi le parti della Terra un minor peso che altrove, verranno come a rigonfiare levandosi un poco in alto; un po' meno il faranno di qua e di là della linea; meno ancora secondo che piú se ne dilungano; e niente sotto a' poli, dove il loro peso non è diminuito per niente: e cosí la Terra di perfettamente rotonda ch'era da prima, viene ad acquistar la forma, diciam cosí, di una melarancia colma sotto la linea e sotto a' poli stiacciata.

.... ..

Nella supposizione-io risposi- che la Terra abbia perfettamente la forma di una palla, non è dubbio alcuno che il sono [uguali, i gradi di meridiano]; ma se la Terra è quale la fa il Neutono, non è possibile che il seno; e dovranno con certa proporzione trovarsi alquanto piú lunghi nelle parti polari che nelle meridionali. La Terra essendo ivi stiacciata, che è lo stesso che dire piú piana, avverrà, che uno, camminando da tramontana a mezzodí, debba fare un piú lungo tratto di via, perché una stella, per esempio la polare, lasciandosela sempre piú alle spalle, siasi abbassata di una certa determinata misura, come sarebbe di un grado. E il contrario avverrà nelle parti meridionali, dove la Terra è piú tonda; come avviene a uno che cammina lungo una costa di monte. Sino a tanto la costa è diritta, egli non perde di vista gli oggetti del piano, che gli sono da lato; ma secondo ch'ella volta, se gli lascia alle spalle. Ora avendo il Picardo astronomo francese misurato per via di punti di stelle un grado da Parigi verso tramontana, e avendo dipoi il Cassini misurato i gradi della Francia da Parigi verso mezzodí, confrontati gli uni cogli altri, i gradi meridionali furono ritrovati alquanto piú lunghi de' settentrionali.

Queste volgarizzazioni erano tipiche del tempo dei lumi in cui si voleva sostituire all'Arcadia dei poeti, giudicata inutile e vuota, l'Arcadia della

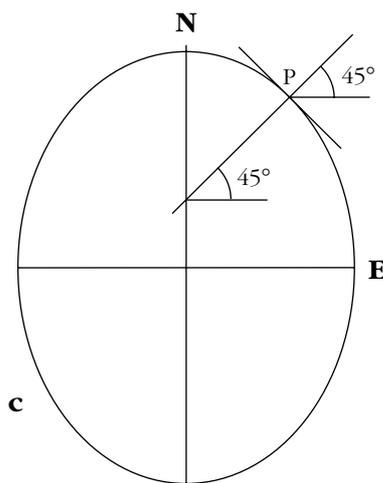
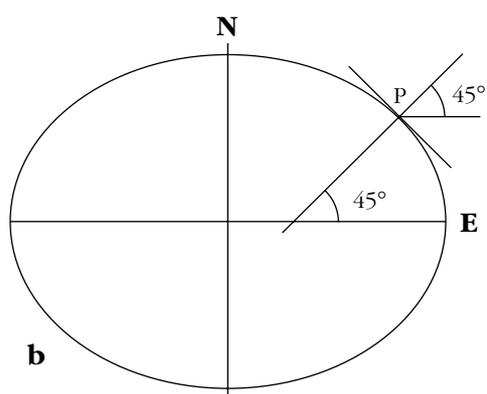
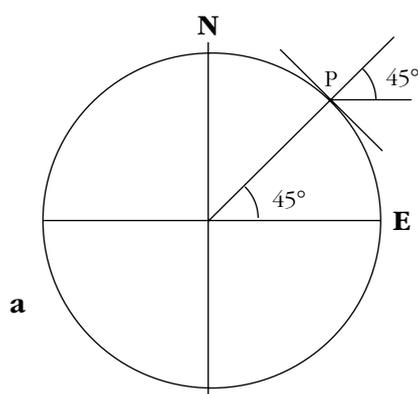
¹Francesco Algarotti: *Dialoghi sopra l'Ottica Neutoniana*. Dialogo VI, p.153 e seg. A cura, introduzione e note di Ettore Bonora. Classici Ricciardi, Einaudi, Torino, 1977.

filosofia. Voltaire, altro tipico esponente del nuovo corso, nelle sue famose *Lettere inglesi* fa rivivere l'atmosfera del tempo¹:

Un francese che arriva a Londra trova le cose assai mutate in filosofia, come in tutto il resto. Ha lasciato il mondo pieno; lo trova vuoto. A Parigi si vede l'universo composto da vortici di materia sottile; a Londra, non si vede nulla di tutto questo [...]. Secondo i vostri cartesiani, tutto avviene per un impulso assolutamente incomprensibile; secondo Newton, tutto avviene per un'attrazione, di cui non si conosce meglio la causa. A Parigi, vi figurate la Terra fatta come un melone; a Londra, essa è appiattita ai due poli.

La concezione cartesiana sulla rotazione terrestre era infatti, sebbene razionale e materialista, alquanto qualitativa. Cartesio scriveva nel suo *I principi della filosofia*²:

Ma la Terra, poiché non ha intorno a sè il vuoto e non è per sè dotata della forza che la fa girare in ventiquattr'ore intorno al proprio asse, ma è trasportata dal corso della materia del cielo che la circonda e che penetra da ogni parte nei suoi pori, va considerata come un corpo privo di movimento.



Newton stabilì che un pianeta autogravitante in rotazione non poteva rimanere perfettamente sferico (a) ma, a causa del campo di forza centrifuga, sovrapposto a quello di gravità, doveva assumere una forma ellissoidale (b) schiacciata lungo l'asse di rotazione. In questo caso il tratto di meridiano da N, il polo nord, a P, latitudine 45°, risulterebbe più lungo del tratto che va da P ad E, l'equatore.

Al contrario i seguaci di Cartesio erano convinti che i "vortici" materiali difesi dal filosofo francese deformassero la Terra in un ellissoide prolato (c), allungato nel senso dell'asse di rotazione.

Il tratto di meridiano NP sarebbe in questo caso più corto di quello PE. Ne nacque una grande disputa che fu risolta dalla Accademia delle Scienze Francese con l'organizzazione di due spedizioni geodetiche inviate a misurare la lunghezza del grado di meridiano alle alte latitudini, in Lapponia, e nei pressi dell'equatore, in Perù.

¹François-Marie Arouet detto Voltaire: *Lettere Inglesi*. Lettera XIV. A cura di Paolo Alatri. Traduzione di Mariateresa Mandalari. Editori Riuniti, Roma, 1994. Anche in Voltaire: *La filosofia di Newton*. Traduzione e note di P. Serini, introduzione di P. Casini. PBF, Laterza, Bari, 1968.

²Renè Descartes: *I principi della Filosofia*. In *Cartesio: Opere filosofiche*, vol.3, Parte IV, cap.22. Traduzione di Adriano Tilgher e Maria Garin. Laterza, Bari, 1986.

Conclusione appunto che per lo meno non permetteva l'esistenza di forza centrifuga capace di produrre rigonfiamenti equatoriali. Di seguito Cartesio prosegue¹:

È anche da ritenere che la materia del cielo non sarebbe nè pesante nè leggera nei suoi confronti [della Terra] se avesse solo l'agitazione che la fa girare in ventiquattr'ore insieme alla Terra; ma avendone molta di più di quanta non se ne richieda per produrre quest'effetto, impiega il di più a girare più velocemente nello stesso senso, e a compiere, da ogni lato, diversi altri movimenti che, non potendo proseguire in linea retta come se la Terra non fosse sulla loro strada, non solo si sforzano di renderla rotonda o sferica, come si è detto per le gocce d'acqua, ma posseggono più forza d'allontanarsi dal suo centro di rotazione di quanta non ne abbiano le sue parti; perciò la materia celeste è leggera nei loro confronti.

Nel trattato *Il Mondo* Cartesio dice²:

Ma ora desidero che consideriate quale è il peso di questa Terra, vale a dire la forza che unisce tutte le sue parti, e le fa tendere tutte verso il centro, ciascuna più o meno a seconda che sia più o meno grossa e solida; e consiste nel fatto che le parti del piccolo cielo [vortice] che la circonda, ruotando molto più velocemente di quelle della Terra intorno al suo centro, tendono anche ad allontanarsene con più forza, e di conseguenza a respingere le seconde verso il centro.

Da questi concetti francamente poco chiari può dedursi anche un affuolamento della Terra nella direzione dei poli, ed anche Jean Bernoulli trasse questa conclusione; di qui la disputa sul terreno dei testi filosofici con i newtoniani. La lotta era chiaramente impari, dalla parte di Newton c'era la deduzione matematica basata su dati osservabili, misurabili, di cui l'inglese aveva grande bisogno. Non altrettanto per Cartesio che in questa non verificabilità delle sue idee mostra parecchi caratteri insospettabilmente idealistici: un cogito ergo sum che diventa "li cogito quindi (essi) sono". Come alcuni lo accusavano, Cartesio si era troppo lasciato andare alla costruzione di un sistema, certamente senza far ricorso a spiriti divini ma solo alla ragione umana, e questo è il suo grande insegnamento, ma obbiettivamente, leggendo i suoi scritti, si respira un'aria aristotelica, anche nello stile del fraseggiare. A giudizio di Voltaire (1777)³:

EVEMERO: Chi ha fatto più fracasso dopo il mio etrusco [Galileo Galilei] è stato un gallo, di nome Cardestes [anagramma di Descartes]: era un gran bravo geometra, ma un cattivo architetto, perché ha costruito un edificio senza fondamenta, e questo edificio era l'universo. Per costruirlo, non chiedeva a Dio altro che un po' di materia: ne ha fatto dei dadi a sei facce e li ha spinti in modo che, nonostante l'impossibilità di muoversi, a un tratto hanno prodotto soli, stelle, pianeti, comete, terre e oceani. Non c'era una parola di fisica, nè di geometria, nè di buon senso in quella storia romanzesca, ma i Galli allora non ne sapevano di più [...].

¹Renè Descartes: *ivi*.

²Renè Descartes: *Il mondo, ovvero trattato della luce*. Cap. XI. Introduzione e cura di Maurizio Mamiani, traduzione di Antonio Luigi Merlani. Edizioni Theoria, Roma 1983.

³François-Marie Arouet detto Voltaire: *Dialoghi di Evemero*. Dialogo VII, p.57. Traduzione e note di Gigliola Pasquinelli. SE Srl, Milano, 1989.

La piú inconciliabile contraddizione tra vortici e gravitazione era il fatto che la gravitazione attirava verso un centro, mentre i vortici meccanici si svolgevano in piani paralleli tutti perpendicolari ad un asse di rotazione. Come dire che il mondo di Cartesio aveva un nonsochè di bidimensionale, mentre quello di Newton era tridimensionale. Newton era ben consapevole delle limitazioni generali delle concezioni cartesiane, ai cui Principi della filosofia e al cui metodo oppose i suoi Principia e la sua feconda mancanza di metodo; si impegnò tuttavia a trovare ulteriori contraddizioni che escludessero senza ombra di dubbio la possibilità dei vortici¹:

L'ipotesi dei vortici è soggetta a molte difficoltà. Perché un qualsiasi pianeta, condotto il raggio verso il Sole, descriva aree proporzionali ai tempi, i tempi periodici delle parti dei vortici dovrebbero essere in ragione del quadrato delle distanze dal Sole. Perché i tempi periodici dei pianeti siano nella proporzione della potenza $3/2$ delle loro distanze dal Sole, i tempi periodici delle parti dei vortici dovrebbero essere proporzionali alla potenza $3/2$ delle loro distanze.

E ancora²:

[... ..] è evidente che i pianeti non sono trasportati da vortici corporei; infatti i pianeti che ruotano, secondo l'ipotesi copernicana, intorno al Sole, percorrono ellissi che hanno un fuoco nel Sole, e descrivono, condotti i raggi verso il Sole, aree proporzionali ai tempi. Ma le parti del vortice non possono ruotare con tale moto. [... ..] secondo le leggi astronomiche, il corpo che ruota lungo l'orbita [ellittica] BE sarà mosso piú lentamente nell'afelio B e piú velocemente nel perielio E; secondo le leggi della meccanica invece, la materia del vortice deve essere mossa piú velocemente nello spazio piú ristretto tra A e C che nello spazio piú ampio tra D e F; ossia, nell'afelio deve essere mossa piú velocemente che nel perielio. Queste due cose si contraddicono [... ..]. Per cui l'ipotesi dei vortici urta totalmente contro i fenomeni astronomici, e conduce non tanto a spiegare, quanto a rendere confusi i moti celesti.

L'Accademia Francese delle Scienze nel 1733 prese ancora in mano la situazione e decise di derimere la disputa cartesiani-newtoniani sullo schiacciamento terrestre organizzando le famose spedizioni in Perù (1735-1749), affidate a Le Condamine (1701-1774) e Bouguer (1698-1758), ed in Lapponia (1736-1737) affidata a Maupertuis (1698-1759) e Clairaut (1713-1765). Ora il fenomeno dell'aberrazione della luce era conosciuto e permetteva una piú accurata determinazione della posizione delle stelle. Nel Perù spagnolo le operazioni furono seguite da due ufficiali ispettori che nei loro resoconti premettevano sempre una formula sulla semplice "ipotesi" eliocentrica. Tornò per prima la spedizione del nord e pubblicò i risultati che già dal confronto con il meridiano francese risultavano in accordo con lo schiacciamento polare.

Intanto una parte di cartesiani, definiti "illuminati", cercarono di accor-

¹Isaac Newton: Principi matematici della filosofia naturale. p.791. A cura di A. Pala. UTET, Torino, 1965. Anche Cit.in Jean-Pierre Verdet: Storia dell'Astronomia. Parte III, p.227. Traduzione di Libero Sosio. Longanesi & C., Milano, 1995.

²Isaac Newton: Principi matematici della filosofia naturale. Cit.in Alexandre Koyrè: Studi newtoniani. Cap.III, p.113-114. Traduzione di Paolo Galluzzi. Einaudi, Torino, 1972.

dare il sistema del filosofo francese alla fisica newtoniana, attribuendo particolari proprietà ai vortici materiali. Stimarono che effettivamente doveva esistere lo schiacciamento polare, e dai loro calcoli il rapporto tra la misura dell'asse polare e quella del diametro equatoriale risultava $576/577$, minore di quello calcolato dai newtoniani di $230/231$. Alexis Claude Clairaut (1713-1765), appena tornato dalla Lapponia si premurò di effettuare il confronto dei dati e scrisse¹:

Ora siccome il rapporto degli assi, che dà il confronto del grado misurato in Lapponia con quello misurato in Francia, è troppo lontano da quello di 576 a 577 per potervi essere ridotto supponendo nelle osservazioni solo leggeri errori che vi possono essere occorsi, bisogna dunque abbandonare tutte le ipotesi che conducono a questo rapporto.

[... ...]

...tutte le esperienze fatte sulla lunghezza del pendolo, ci mostrano che la diminuzione del peso dal polo all'equatore è maggiore di $1/230$, se ne deve concludere che la differenza degli assi è minore di $1/230$. Resta dunque solo da sapere se questa conclusione si accordi colle misure attuali; ciò potremo fare dopo il ritorno degli accademici che sono andati al Perù; infatti la grande differenza che deve correre tra il grado da loro misurato e quello che noi abbiamo misurato in Lapponia, deve darci il vero rapporto degli assi.

Al ritorno della seconda spedizione si trovò che effettivamente il meridiano del Perù misurava circa settecento tese (circa 1300 metri) meno di quello lappone, in accordo alle previsioni dell'inglese. L'ipotesi della rotazione e la filosofia naturale di Newton trovava nuova conferma, ma con un pizzico di fortuna: analisi del secolo successivo mostrarono che la spedizione in Lapponia aveva accumulato errori in eccesso in quantità tale che se malauguratamente fossero stati per difetto la questione della forma e rotazione della Terra non sarebbe stata risolta.

Gli effetti di tutto questo operare si risentirono anche nella narrativa filosofica dell'epoca. In *Micromega* la squadra di geodeti francesi viene felicemente pariodata da Voltaire²:

I due viaggiatori [della stella Sirio] erano così disposti a credere che non esistessero anime nel nostro domicilio [sul pianeta Terra], quando, con l'aiuto della lente, videro galleggiare sul mar Baltico qualcosa di più grosso di una balena. Tutti sanno che in quell'epoca un branco di filosofi ritornava dal circolo polare dove erano stati a fare osservazioni che nessuno prima di loro aveva mai pensato di fare. [... ...]

«Poiché siete nel piccolo numero dei saggi,» [il viaggiatore] disse a quei signori, «[...] ditemi, vi prego, di che cosa vi occupate.»

«Sezioniamo mosche,» disse lo scienziato, «misuriamo meridiani, accumuliamo cifre, e siamo d'accordo su due o tre argomenti che comprendiamo, ma discutiamo su due o tremila che non comprendiamo per nulla.»

¹Alexis Claude Clairaut: Teoria della forma della Terra dedotta dai principi dell'idrostatica. Introduzione, p.10. Traduzione e note di Maria Lombardini con una nota di Federigo Enriques. Zanichelli, Bologna, 1928.

²François-Marie Arouet detto Voltaire: Micromega. in: Candido, Zadig, Micromega, L'ingenuo. A cura e traduzione di Maria Moneti. Garzanti, Milano, 1973.

Dopo la proclamazione dei risultati delle due spedizioni, Voltaire, che seguiva tutta la vicenda, soggiunse «L'Accademia ha chiuso la questione. Essa ha schiacciato la Terra ed i Cassini». Si sommarono, in quel periodo pioneristico di piccoli esseri che misuravano le enormità che li circondavano, intrecciandosi indissolubilmente, ben tre prove dei moti terrestri: il rigonfiamento equatoriale, la variazione della gravità con la latitudine e l'aberrazione astronomica della luce dovuta al moto orbitale. Questi argomenti di carattere globale, come anche la ben nota presenza dei venti alisei e delle maree, non erano tuttavia considerati probanti perché nulla vietava al mondo di poter essere come era per altre cause. Data l'incertezza delle esperienze sulla deviazione verso Est della caduta dei gravi, la prova diretta sperimentale arrivò solo a metà '800 con lo spettacolare pendolo di Foucault.

Infine si deve ricordare che all'epoca "sferica" e poi "ellissoidale" fece seguito quella "geoidale" in cui si riconobbero i discostamenti dalla perfetta ellissoidalità della figura della Terra. Forse il primo a riconoscere la possibilità di forti discostamenti da una forma regolare della Terra, basandosi sfortunatamente su una correlazione tra dati in realtà impossibile, fu Cristoforo Colombo. Sin dal primo viaggio il grande navigatore si accorse del forte cambiamento di declinazione dell'ago della bussola oltrepassando le Azorre, ed in più, durante il terzo viaggio, osservò nel delta dell'Orinoco il formarsi di alte muraglie d'acqua dovute all'imponente portata del fiume che si scontrava con i flussi delle maree. Collegando questi fatti con l'osservazione della rotazione apparente della stella Polare di $\approx 5^\circ$ (all'epoca; oggi è minore), osservazione più facile all'equatore quando questa è radente all'orizzonte, ne dedusse di trovarsi nei pressi di una parte gibbosa del globo, le pendici del Paradiso Terrestre, e che quindi la Terra avesse la forma, dalla parte delle sue Indie, di un seno di donna¹:

Ho sempre letto che il mondo - acqua e terre - è sferico e le autorità e gli esperimenti di Tolomeo e di altri a questo proposito provano e insegnano questo anche attraverso le eclissi di Luna e per le altre dimostrazioni che fanno da Oriente a Occidente e attraverso l'elevazione del Polo da nord a sud. Trovai ora però che queste idee contrastavano con quello che vedevo e dovetti riconsiderare questa immagine del mondo e giunsi alla conclusione che non fosse sferico come era stato descritto, ma a forma di pera, rotondo quindi, salvo il punto dove si trova il picciolo, che è prominente; o ancora come una sfera sulla quale si trova come un capezzolo di donna, e penso che la parte formata da questo capezzolo sia la più elevata e la più vicina al cielo, e posta sotto la linea equinoziale in questo mare Oceano, agli estremi limiti dell'Oriente. Con i limiti dell'Oriente intendo dire il punto dove finiscono le terre e le isole, ed io attribuisco tutti i fenomeni di cui ho parlato a proposito della linea che passa a cento leghe dalle Azorre, da nord a sud, al fatto che le navi andando verso occidente cominciano qui a salire dolcemente verso il cielo, e per questo la temperatura si fa più fresca, l'ago magnetico, per effetto di questa

¹Cristoforo Colombo: Ai Re Cattolici (Resoconto del terzo viaggio, 1498). In Vittorio H. Beonio-Brocchieri (a cura e introduzione): Cristoforo Colombo, Amerigo Vespucci, Cieli nuovi e terra nuova: le lettere della scoperta. p.40 e seg. Rosellina Archinto s.a.s., Milano, 1991. Anche in Cristoforo Colombo: Lettere ai Reali di Spagna. p.55. A cura, traduzione, note e postfazione di Vittoria Martinetto. Sellerio, Palermo, 1991.

dolcezza, declina di un quarto e piú si va verso ovest e piú ci si innalza, piú l'ago declina verso nord-ovest, ed è questa elevazione che provoca la confusione nell'osservazione della rivoluzione compiuta dalla stella polare con le Guardie [tre stelle dell'Orsa Minore], e piú si passerà vicini alla linea equinoziale, piú si salirà e maggiore sarà la differenza fra i rapporti fra queste stelle e le loro rivoluzioni. Tolomeo e gli altri sapienti che descrissero le cose di questo mondo credettero che fosse sferico, ritenendo che questo emisfero fosse uguale a quello nel quale si trovavano [...]. Per quanto riguarda il nostro emisfero, posso ammettere che sia sferico come dicono. Ma per quest'altro, sostengo invece che si presenti come una pera con un'estremità rilevata, oppure come una semisfera con una sporgenza simile al capezzolo di una donna. [...]

Ho già detto cosa io pensi di quest'emisfero e della sua forma, e io credo che se passassi sotto la linea equinoziale, arrivando al punto piú elevato, troverei una temperatura ancora piú mite e altre diversità nelle stelle e nelle acque. [...] Sono invece convinto che là si trovi il Paradiso terrestre, dove nessuno può arrivare se non per volontà divina. [...] Io non penso che il Paradiso Terrestre sia una montagna scoscesa, come ci viene descritto in taluni scritti, ma che si trovi sulla sommità di questa sorta di rigonfiamento in forma di pera che si eleva dolcemente e gradatamente.

Colombo pensava quindi che si verificasse una variazione della pendenza della superficie lungo la quale la nave avanzava. Tuttavia i suoi ragionamenti non devono assolutamente apparire strani, o isolati nel contesto a lui contemporaneo, ma ben in linea con le idee correnti del tempo, che discutevano abitualmente sulle due sfere decentrate dell'acqua e della terra di Buridano, o sulla Ecumene piatta su una Terra sferica come quella confutata da Dante Alighieri. Le discussioni sull'argomento si protrassero ben oltre Copernico, come abbiamo già visto fino a Cristoforo Clavio (1537-1612), che nel suo *Commentarius* si premurò di confutare anche queste variazioni di pendenza¹:

[... ...] [se la superficie del] l'acqua non fosse alla stessa distanza dal centro dell'universo [della Terra], ma fosse molto piú elevata, ne seguirebbe che un naviglio, abbandonando un porto qualsiasi, ascenderebbe e, ritornando verso medesimo porto, discenderebbe; di conseguenza, sotto la spinta di un vento che soffiava con la medesima forza, dovrebbe piú rapidamente discendere che ascendere, cosa che è contraddetta dall'esperienza.

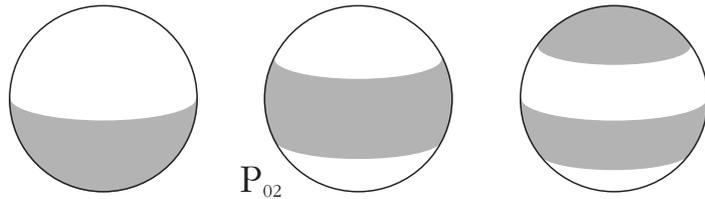
Altre diffuse concezioni su presunte macroscopiche gibbosità della Terra, che venivano puntualmente confutate, dovevano essere simili a quelle di cui parla Joachim von Watt (1484-1551), detto Vadianus, quando in un suo libello in forma di lettera, pubblicato nel 1515, scriveva²:

Così, Rodolfo, potrebbero ritenere coloro che pensano che la terra emerga per una parte adeguata come un pendio arrotondato che si innalzi sopra la superficie piana di un lago, o anche come una mela che vi galleggi, conformemente all'opinione di certi antichi.

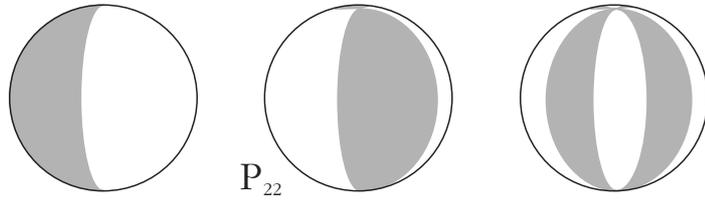
¹ Cristoforo Clavio: *Comento alla sfera di Giovanni Sacrobosco*. 1593. Cit.in W.G.L. Randles: *Dalla Terra piatta al globo terrestre, una mutazione epistemologica rapida, 1480-1520*. Cap.II, sez.II. Traduzione di A. Lupoli. Sansoni Editore, Firenze, 1986.

² Joachim von Watt detto Vadianus: *Habes lector: hoc libello, Rodolphi Agricolaë...*. Cit.in W.G.L. Randles: *Dalla Terra piatta al globo terrestre, una mutazione epistemologica rapida, 1480-1520*. Cap.II, sez.III. Traduzione di A. Lupoli. Sansoni Editore, Firenze, 1986.

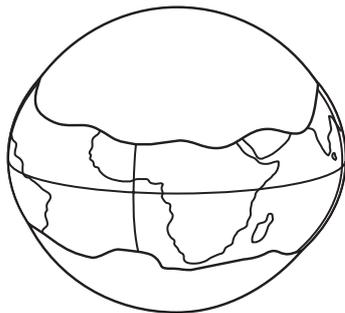
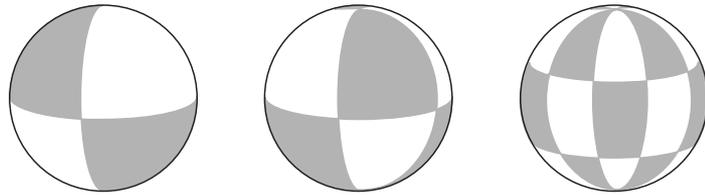
armoniche zonali



armoniche settoriali



armoniche tesserali



periodo glaciale



fine della glaciazione

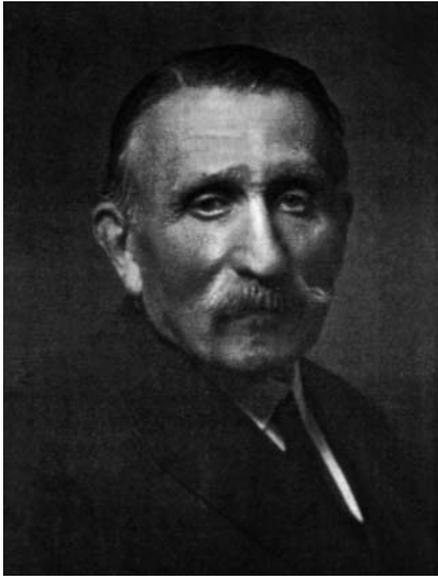


riassetamento

La forma della Terra non è perfettamente sferica né perfettamente ellissoidale, ma presenta numerose irregolarità. Per descrivere questa forma irregolare si fa uso di una sovrapposizione di "armoniche" di vario tipo: zonali, settoriali e tesserali, ognuna di opportuna ampiezza. L'armonica più ampia e più nota per ragioni sia storiche che attuali è quella denominata P_{02} , che descrive lo schiacciamento terrestre, della quale si occupò Newton. Successivamente la P_{02} fu messa in relazione da Clairaut con i valori della gravità in superficie e con la latitudine. Ancora oggi ci si occupa della P_{02} o del

parametro geofisico J : (in relazione ai due momenti di inerzia polare ed equatoriale) alla ricerca delle loro variazioni nel tempo. Infatti lo schiacciamento terrestre diminuisce al diminuire della velocità di rotazione terrestre (ma questa variazione di forma è ancora al di sotto dei limiti di misurabilità), oppure come riassetamento della forma terrestre dopo la scomparsa delle grandi calotte di ghiaccio dello scorso periodo glaciale. Quest'ultima causa di variazione, raffigurata in basso nella figura, è più rapida e si hanno indicazioni in suo favore. Il riassetamento oggi non sarebbe completo ed in

verità i geodeti valutano un leggero discostamento della Terra dal suo equilibrio idrostatico: la Terra sarebbe più panciuta dell'atteso all'equatore, circa 80 metri in più, che, considerate le incertezze statistiche ed altre irregolarità dello stesso ordine di grandezza, fanno ancora molto discutere. Discussioni simili sono sorte per l'ipotesi della ellitticità dell'equatore terrestre, descritta dall'armonica settoriale P_{22} . Solo quando ci si è accorti che le armoniche settoriali superiori possedevano ampiezze comparabili a quella della P_{22} , ci si è resi conto che non era possibile definire con proprietà un equatore ellittico.



Paolo Pizzetti (a destra) e Carlo Somigliana diedero importanti contributi a vari aspetti della geodesia. Vissero in un momento storico in cui si indagava sulle irregolarità a grande scala della forma terrestre. I tentativi di definire un equatore ellittico, una speranza anche di Jeffreys, si scontrarono con la scoperta che altre irregolarità a lunghezza d'onda minore, erano altrettanto ampie della presunta ellitticità.

Tre secoli dopo, toccò ad un italiano di adozione, Ruggero Boscovich (1711-1787) con la sua misura di meridiano Roma-Rimini, rimasta irriducibilmente diversa da quella condotta alla stessa latitudine in Francia, riesumare i sospetti sulla irregolarità della forma terrestre. La verifica di questa anomalia fu affidata da Laplace nel 1809 all'abate Barnaba Oriani (1752-1832), astronomo a Brera, senza che fossero individuati errori¹. Che la differenza fosse reale o dovuta ad errori poco importa: nella lunga diatriba che suscitò venne proposta anche l'ipotesi che la forma della Terra potesse variare longitudinalmente non in dipendenza dalla rotazione ma con lievi protuberanze dovute a variazioni di densità interna. Comunque il grado italiano era di lunghezza minore di quello francese, quindi la curvatura maggiore, e l'Italia pareva situata su una parte rilevata del globo: forse il Paradiso Terrestre?... Questo problema delle irregolarità venne affrontato cercando di determinare con metodi gravimetrici le deviazioni anche locali della forma della Terra, la cosiddetta forma del geoide, ma sintesi globali per via teorica furono tentate ad esempio da Paolo Pizzetti (1860-1918) e da Carlo Somigliana (1860-1956) che ridefinirono l'ellissoide terrestre come triassiale. Somigliana propose anche una ellitticità dell'equatore terrestre². La inaffidabilità dei dati tenne viva la discussione finché non fu chiaro che le ampiezze di altre componenti a minore lunghezza d'onda della forma terrestre erano altrettanto importanti, e che quindi definire un'ellissi equatoriale era davvero azzardato³.

Per concludere, la Terra piriforme ebbe ancora un seguito nel problema della configurazione di equilibrio di fluidi disomogenei affrontato da

¹Barnaba Oriani: Un viaggio in Europa nel 1786. Diario di Barnaba Oriani Astronomo Milanese. A cura di A. Mandrino, G. Tagliaferri e P. Tucci. Leo S. Olschki Editore, Firenze, 1994.

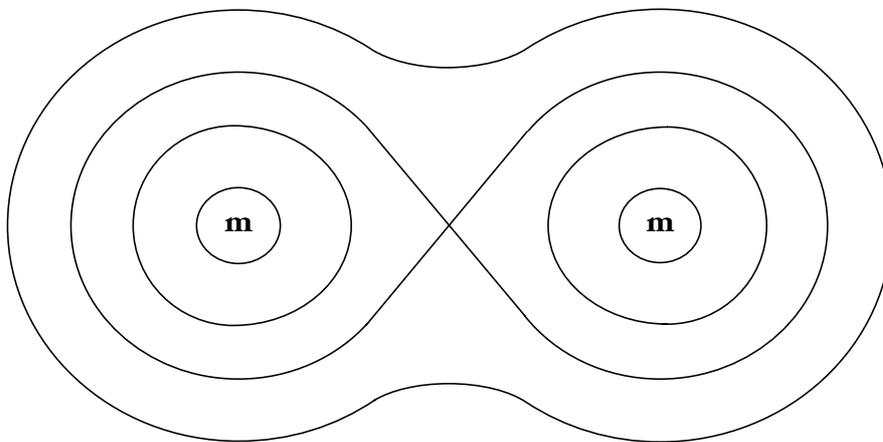
²Carlo Somigliana: Sulla ellitticità dell'equatore terrestre. Reale Accademia D'Italia. Rendiconti della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Fasc.8, Serie VII, vol.III, 1942, p.447-459.

³Michele Caputo: Gravity in space and the dimensions and mass of the Earth. Jour.Geoph.Res., vol.68, N°15, p.4595-4600, 1963.

Henri Poincaré (1856-1912) in un lavoro che successivamente ispirò George Darwin per la sua teoria della separazione della Luna dalla Terra. Ma tutto questo era già implicito nella funzione del potenziale gravitazionale di un sistema a più corpi: non esistevano superfici equipotenziali ellissoidiche ma sempre lievemente (spesso trascurabilmente) deformate in direzione degli altri corpi. La forma diviene sempre più decisamente piriforme quanto più il corpo si avvicina al limite di Roche, raggiunto il quale non può rimanere più integro ma deve perdere materia dalla parte appuntita. Solo in parte il campo delle forze centrifughe orbitali (non quelle diurne) tende ad avvicinare la forma del pianeta ad un ellissoide (come ad esempio succede per il lobo delle maree sull'emisfero terrestre opposto alla Luna): non può mai riuscirvi perfettamente perché, a differenza delle forze gravitazionali, che sono centrali, quelle centrifughe sono assiali. Infine, per un osservatore esterno fisso in un riferimento solare, la Terra si contrae nella direzione del moto di pochi centimetri a causa degli effetti relativistici: ma di questo nessuno, stando sulla Terra, potrà mai dare prova misurativa.

Dagli effetti della rotazione alle altre scienze

L'effetto della forza centrifuga fu confermato e con esso la fisica newtoniana, ma questa problematica aveva dato inizio all'epopea della misura dei meridiani, o equivalentemente della dimensione della Terra (nel 1740, in Francia, Lacaille e Cassini de Thury; più tardi, in Sud Africa, Lacaille; nel 1762, in Italia, Ruggero Boscovich e Christopher Maire misurarono il meridiano Roma-Rimini, e lo stesso anno Beccaria quello Andrade-Mondovì). La massa di risultati ottenuti dovette influenzare la decisione della Commissione Sistema Decimale (nella quale sedevano Lagrange, Monge e Laplace) di legare il metro alla geodesia. La nuova unità di misura delle lunghezze fu definita come: $1\text{m}=1/10.000.000$ della lunghezza del meridiano tra Polo ed Equatore.



Le superfici equipotenziali del campo gravitazionale di due corpi di massa uguale m . Nessuna superficie ha, se non approssimativamente, una forma di ellissoide di rotazione, ma risultano allungate in foggia piriforme in direzione dell'altra massa. Una sola fra tutte le infinite superfici equipotenziali risulta dalla unione in un solo punto di contatto di due superfici; quelle più esterne hanno una forma che ricorda i gusci di arachide.

Pierre Simon de Laplace (1749-1827) ricorda quell'epopea ed altre correlate nel suo *Compendio di Storia della Astronomia* (1821)¹:

Le misure dei gradi di meridiani terrestri e del pendolo, moltiplicate nelle diverse parti del globo, operazione di cui la Francia ha dato l'esempio misurando l'arco totale del meridiano che la attraversa e inviando alcuni accademici al nord e all'equatore per osservarvi la grandezza dei gradi e l'intensità della gravità; ed ancora, l'arco di meridiano compreso tra Dunkerque e Formentera, determinato con osservazioni estremamente precise e usato come base del sistema di misura più naturale e più semplice; i viaggi intrapresi per osservare i due passaggi di Venere sul Sole nel 1761 e nel 1769, e la conoscenza pressochè esatta delle dimensioni del sistema solare, frutto di quegli stessi viaggi; l'invenzione delle lenti acromatiche, degli orologi marini, dell'ottante e del circolo ripetitore inventato da Mayer e perfezionato da Borda; la formazione, ad opera di Mayer, di tavole lunari abbastanza precise per servire alla determinazione della longitudine in mare; la scoperta del pianeta Urano fatta da Herschel nel 1781;... sono questi, insieme alle scoperte di Bradley, i più importanti meriti di cui l'astronomia va debitrice al secolo scorso.

Continuarono poi altre misurazioni con strumenti e metodi sempre più perfezionati. Nel 1792-1799 fu misurato il meridiano Dunkerque-Barcellona da Melchain e Delambre con la supervisione di Laplace e Borda. In Inghilterra un tratto di 22 gradi di meridiano fu misurato nel 1784 da Airy con Mudge e Colby. In Russia nel 1817 Struve e Von Turner misurarono un tratto a nord del Mar Nero. Gauss fu impegnato in queste misure nell'Hannover dal 1821 al 1823. Infine tra il 1831 e il 1834 Bessel in Prussia effettuò nuove misurazioni utilizzando il più preciso metodo della compensazione delle triangolazioni. Questo metodo permise di ottenere precisioni insperate e di capire in quali guai ci si era cacciati legando geodesia e metrologia. Non era stata in effetti una buona scelta e lo si vide chiaramente quando la distanza Polo-Equatore fu verificata e si trovò essere 10.001.800 metri! quasi due chilometri in più. La definizione rigorosa del metro si rivelò illusoria, e dopo un lungo lavoro la riforma del metro fu avviata nel 1864 dalla Commissione Geodetica Internazionale di Berlino. In attesa di basi meno soggette a variazioni la definizione del metro rimase la stessa ed i campioni depositati a Parigi e distribuiti ai paesi aderenti furono sostituiti con quelli aggiornati nel 1875².

Questa vicenda rese sempre più chiaro che il pianeta Terra, e gli uomini e i loro strumenti, tutti e tre in continua evoluzione, non potevano definire un sistema metrico destinato a variare con il cambiare dei metodi, degli strumenti e, perché no, dello stesso pianeta, del quale si iniziava ad avere sentore di una mutevolezza che poteva interessare anche le sue stesse dimensioni. Progressivamente si fece strada la certezza che la direzione giusta fosse quella dell'ottica, della interferometria, con la quale gli esperti del settore misuravano distanze con la precisione di una sola lunghezza d'onda di particolari righe di emissione atomiche.

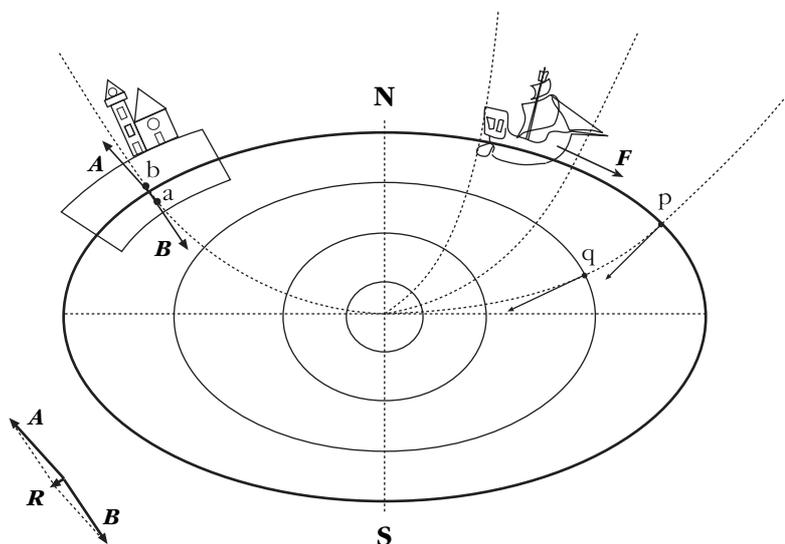
¹Pierre Simon de Laplace: *Compendio di storia della Astronomia*. Cap.IV, p.82. A cura di Maddalena Montinari, traduzione di Paolo Repetti. Edizioni Theoria, Roma, 1982.

²Giorgio Giacomini: *Storia della Topografia e Geodesia*. Cap.VII. Edizioni Tektonia, Roma, 1972.

Come vedremo nel seguito Albert Abraham Michelson (1852-1931) incarnò lo spirito di quel tempo e divenne con la sua poliedrica attività applicativa degli interferometri, la persona meritevole di definire in modo nuovo l'unità delle lunghezze.

Spesso è sottovalutato il ruolo che tutto questo intenso lavoro intorno alle misure di meridiano e nella definizione della forma terrestre ebbe nello sviluppo delle scienze fisiche e matematiche. Questo ruolo fu invece fondamentale per quel che riguarda specialmente la messa a punto di quei metodi di trattamento statistico delle osservazioni e degli errori di osservazione che furono poi generalmente adottati in campo sperimentale nelle più disparate branche della fisica e di tutte le altre scienze quantitative¹. Il metodo della retta ai minimi quadrati, le "gaussiane", la teoria degli errori e molti metodi matematici che la fisica moderna ha adottato furono l'eredità che le campagne geodetiche, con la loro necessità di separare il grano dalla crusca nella massa di dati delle triangolazioni, hanno lasciato agli sperimentatori successivi². Si può con certezza affermare che senza quegli sforzi di misuratori cauti, sagaci ed esigenti, lo sviluppo della fisica moderna e del suo partito più empirista, sarebbe stato quantomeno molto ritardato.

Quello che la matematica pura ha certamente attinto dalle antiche campagne geodetiche fu l'idea, sorta fra i primi in Karl Fiedrich Gauss, delle geometrie non euclidee. La somma degli angoli interni di un triangolo sulla superficie terrestre era inesorabilmente maggiore di 180°. Dopo i lavori pionieristici di Nikolaj Lobacevskij (1793-1856), Janos Bolyai (1802-1860), Bernhard George Fiedrich Riemann (1826-1866), Eugenio Beltrami (1835-1900), il circolo si chiuse con il ritorno di queste idee nella fisica fondamentale, con gli spazi a curvatura non nulla della relatività generale.



Un effetto combinato della rotazione e della forma terrestre. La forma ellissoidale del pianeta causata dalla sovrapposizione del campo gravitazionale e di quello della forza centrifuga fa assumere alla direzione della verticale un andamento concavo verso i poli (linee puntinate), più accentuato all'interno della Terra. La verticale, sempre perpendicolare ad un ellissoide equipotenziale, assume quindi direzioni diverse sulle diverse superfici equipotenziali come ad esempio in p e q.

Questo fa sì che la forza peso B sul baricentro b di una massa continentale galleggiante sul mantello sia diretta in una direzione diversa dalla spinta di Archimede A che è applicata al baricentro a, lievemente più in basso, della massa fluida del mantello spostata dal continente. Componendo le due forze A e B ne otteniamo una piccola risultante non nulla R che in passato Eötvös, Wegener ed altri consideravano una importante causa degli spostamenti continentali. La stessa forza F diretta verso l'equatore deve essere sentita da ogni nave che abbia il baricentro più alto di quello dell'acqua spostata. Non si è mai riusciti a mettere in evidenza queste forze, a causa della loro esiguità e della preminenza di altre forze tettoniche o, nel caso delle navi, dei fattori meteorologici (venti, correnti, onde).

¹Paolo Pizzetti: Gli odierni studi sulla figura della Terra. Discorso inaugurale dell'Anno Accademico 1892-1893 dell'Università di Genova. Stabilimento Tipo-litografico Martini, Genova, 1893.

²Paolo Pizzetti: Influsso della Geodesia sul progredire delle scienze fisiche e matematiche in generale. Discorso per la solenne inaugurazione dell'Anno Accademico 1901-1902 dell'Università di Pisa. Tipografia Vannucchi, Pisa, 1902.