



GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica
della Società Astronomica Italiana



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Settembre 2018
Vol. 44° · N. 3

SOCIETÀ ASTRONOMICA ITALIANA

(già Società degli Spettroscopisti Italiani)

eretta Ente Morale con R. D. del 10 giugno 1939, n. 1229

Sede legale e segreteria: Largo E. Fermi 5, I 50125 Firenze, tel. +39 055 2752270

sait@arcetri.astro.it

www.sait.it

CONSIGLIO DIRETTIVO PER IL TRIENNIO 2017-2019

Presidente: Ginevra Trinchieri · *Vice Presidente:* Flavio Fusi Pecci

Consiglieri: Angelo Angeletti, Angelo Antonelli, Patrizia Caraveo, Giuseppe Cutispoto, Massimo Mazzoni, Angela Misiano

Segretario Amministratore: Agatino Rifatto · *Vice Segretario:* Mazzucconi Fabrizio

REVISORI DEI CONTI

Revisori effettivi: Alberto Righini, Giuseppe Del Grande

Le modalità e le quote di iscrizione alla Società Astronomica Italiana sono consultabili presso il sito Internet della Società www.sait.it.

I pagamenti possono essere effettuati con versamento sul c. c. postale n. 18575506 o con bonifico bancario sul conto IBAN IT30S0616002839100000003642.

La Società Astronomica Italiana pubblica due periodici:

le «Memorie della Società Astronomica Italiana» dal 1920 e il «Giornale di Astronomia» dal 1975.

GIORNALE DI ASTRONOMIA

Amministrazione e abbonamenti:

FABRIZIO SERRA EDITORE®

Casella postale n. 1, succursale n. 8, I 56123 Pisa

tel. +39 050 542332, fax +39 050 574888

fse@libraweb.net · www.libraweb.net

Uffici di Pisa: Via Santa Bibbiana 28, I 56127 Pisa

Uffici di Roma: Via Carlo Emanuele I 48, I 00185 Roma

I prezzi ufficiali di abbonamento cartaceo e *Online* sono consultabili su www.libraweb.net.

Print and Online official subscription rates are available at www.libraweb.net.

I pagamenti possono essere effettuati con versamento sul c. c. postale n. 17154550 o tramite carta di credito (American Express, Carta Sì, Eurocard, Mastercard, Visa).

Pubblicità: per questo servizio rivolgersi alla *Fabrizio Serra editore®*. Le inserzioni pubblicitarie non implicano un giudizio di merito da parte della S.A.It.



Proprietà riservata · All rights reserved

© Copyright 2018 by

Società Astronomica Italiana

and

Fabrizio Serra editore®, Pisa · Roma.

A norma del codice civile italiano, è vietata la riproduzione, totale o parziale (compresi estratti, ecc.), di questa pubblicazione in qualsiasi forma e versione (comprese bozze, ecc.), originale o derivata, e con qualsiasi mezzo a stampa o internet (compresi siti web personali e istituzionali, academia.edu, ecc.), elettronico, digitale, meccanico, per mezzo di fotocopie, pdf, microfilm, film, scanner o altro, senza il permesso scritto della casa editrice.

Under Italian civil law this publication cannot be reproduced, wholly or in part (included offprints, etc.), in any form (included proofs, etc.), original or derived, or by any means: print, internet (included personal and institutional web sites, academia.edu, etc.), electronic, digital, mechanical, including photocopy, pdf, microfilm, film, scanner or any other medium, without permission in writing from the publisher.

GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica
della Società Astronomica Italiana

**Pubblicato con il patrocinio
della Camera dei Deputati**

Direttore responsabile: Fabrizio Bònoli

Il Comitato di redazione è composto
dal Consiglio Direttivo della S.A.It

www.bo.astro.it/sait/giornale.html

Per informazioni rivolgersi alla Segreteria della
Società Astronomica Italiana
Largo E. Fermi 5, I 50125 Firenze
tel. +39 055 2752270
sait@arcetri.astro.it

I lavori sottoposti per la pubblicazione (redatti secondo le
istruzioni riportate in terza di copertina) devono essere
inviati direttamente al Direttore:

Fabrizio Bònoli, Dipartimento di Fisica e Astronomia
Via Ranzani 1, I 40127 Bologna
tel. +39 051 2095701, fax +39 051 2095700
fabrizio.bonoli@unibo.it

Aut. del Tribunale di Roma del 15/1/1975 n. 155756

Pubblicazione trimestrale
Vol. 44° · N. 3 · Settembre 2018



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Sommario

Astronomia e società

- 2 Responsabilità della scienza e crisi culturale europea
S. D'AGOSTINO

Storia

- 5 Draghi, serpenti, ippopotami e coccodrilli: la costellazione del Drago nella tradizione egizia e mesopotamica
S. BUSCHERINI
- 11 Un Gesuita contro tutti: astronomia e pensiero di Giovanni Battista Riccioli
F. MARCACCI
- 21 Il cerchio meridiano e la determinazione delle posizioni delle stelle nel XIX secolo
P. PAURA, C. SASSO

Didattica

- 28 Premio SAI 'G. V. Schiaparelli' 2018
E. BETTONTE, A. SAMUELLI, E. TOMASI, F. SALVATI

Cent'anni fa

- 36 D. RANDAZZO, I. CHINNICI (a cura di)

Cieli d'inchiostro (a cura di A. MANDRINO, M. GARGANO, A. GASPERINI)

- 38 Galileo e Viviani?
S. BIANCHI

Spigolature astronomiche (a cura di A. D'ERCOLE)

- 42 Verità, mezze verità e falsità sulla forza di Coriolis
A. D'ERCOLE

In ricordo di

- 47 Vito Francesco Polcaro
ANPI, E. ANTONELLO, R. FALCONE, S. GAUDENZI, C. ROSSI, R. VIOTTI, P. UBERTINI

Biblioteca (a cura di A. CAPPI)

- 53 G. AMELINO-CAMELIA, *Oltre l'orizzonte. Quali nuove frontiere per la fisica?* (recens. di R. De Carli)
- 54 C. BARTOCCI, L. CIVALLERI, *Numeri. Tutto quello che conta da zero a infinito* (recens. di A. Simoncelli)
- 54 A. DINIS, SJ, *A Jesuit against Galileo? The Strange Case of Giovanni Battista Riccioli Cosmology* (recens. di F. Marcacci)
- 57 C. GUAITA, *L'esplorazione delle Comete. Da Halley a Rosetta* (recens. di G. G. C. Palumbo)
- 58 G. SEVERINO, *The Structure and Evolution of the Sun* (recens. di M. Marconi)
- 59 M. F. SIMEONI, *I ragazzi del San Marco. I primi italiani nello Spazio* (recens. di M. Orlandi)

In copertina:

La visita di Milton a Galileo ad Arcetri presso Firenze, in un dipinto di Tito Lessi esposto a Parigi nel 1893 (Collezione privata; Roger-Viollet/Alinari). [Si veda all'interno l'articolo di S. Bianchi nella rubrica 'Cieli d'inchiostro']

Responsabilità della scienza e crisi culturale europea

Salvo D'Agostino

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Esiste un'identità culturale europea?

NEL dibattito seguito alle recenti drammatiche violenze contro la democrazia nel cuore stesso dell'Europa, si è posto il problema se la guerra *jihadista* sia contro l'Europa o anche contro le civiltà democratiche mondiali. La domanda riguarda il problema dell'esistenza di un'identità culturale europea (AGNOLETTI 1988). Per cominciare, non si può non riconoscere che esiste una fondamentale ambiguità sulla nozione stessa di Europa, perché alla sua base si sono sempre intersecate due accezioni diverse: la geografica e l'economica (*ibidem*). Per capire quali idee prevalgano e quali siano le loro conseguenze, è indispensabile la riflessione culturale e filosofica (STEINER 2006). È necessario, cioè, riprendere il discorso alla base: «rivisitare le radici e il concetto di Europa dal punto di vista filosofico, storico, antropologico, scientifico [...]» (AGNOLETTI 1988).

Edgar Morin ci fa ricordare che ci sono state molte Europe e che le loro storie si rassomigliano in molte pagine dolenti. Se è vero che l'idea di Europa si trova oggi in uno stato "agonico" (*ibidem*), è compito della ricerca cercarne la diagnosi. Secondo Morin, «lo squilibrio oggi esistente tra l'immenso potere d'intervento che scienza e tecnologia esercitano sugli uomini e sulla natura ha, come controparte, la decadenza dell'educazione civile, politica e sociale» (*ibidem*). Hans Georg Gadamer (1991) ha denunciato con insistenza questa «grave inadeguatezza culturale», considerandola, pessimisticamente, come uno «squilibrio» fra le due culture.

Ai barbari e obbrobriosi eventi di questi giorni si contrappone la scienza e il pensiero scientifico come un'eredità della cultura dell'Occidente e della sua fondamentale tradizione europea. Ma mi sembra che non sia stato dato il dovuto rilievo al fatto che il termine "scienza" abbia indicato nel passato un pluralismo di significati. In termini più chiari, questa è la domanda cui dobbiamo rispondere: è la nostra scienza ancora illuministica, nella tradizione di D'Alembert, di Diderot e di Voltaire?

Lo stesso Gadamer ammette che non si può ignorare la grande realtà della scienza moderna. Ma questa grande realtà è distinguibile dall'immenso potere d'intervento che scienza e tecnologia esercitano sugli uomini e sulla natura? All'interno della comunità scientifica si presenta oggi una divisione fra diverse e anche opposte posizioni. Vi è una scien-

za che può anche proporsi propositi di sterminio umano, come quella del nazismo. Grandi fisici, come Einstein e Schrödinger, avevano rilevato lo squilibrio fra la scienza degli anni Trenta del Novecento e alcune tendenze odierne. Anche recentemente, Freeman J. Dyson ha lamentato gli enormi costi delle ricerche sulle particelle elementari e ha concluso esprimendo la speranza che arrivi un nuovo Darwin («The New York Review of Books», 09/04/2009). Un fisico premio Nobel, Philip W. Anderson, ha espresso forti riserve sui metodi teorici e sperimentali che sono alla base delle cosiddette teorie standard della meccanica quantistica (P.W. Anderson, *More is different*, «Science», 177, 1972, pp. 393-396). Ma, d'altra parte, occorre riconoscere che i progressi nella medicina e nelle tecniche della vita civile sono oggi derivati dai progressi *tout court* della scienza.

Già negli anni scorsi Hans-Georg Gadamer rifletteva sul problema di una trasmissione della cultura europea ai paesi non europei. Il problema che Gadamer si poneva riguardava il conflitto fra *razionalità scientifica e tradizioni locali* nei vari paesi del mondo (GADAMER 1991, p. 35):

Molti paesi della terra si trovano oggi alla ricerca di una forma di civiltà che riesca miracolosamente a combinare i valori più radicati delle tradizioni locali e il progresso economico di marca europea.

E si chiedeva:

Si può dire che la nostra merce d'esportazione, il potenziale economico-scientifico, sia sempre un bene?

In paesi caratterizzati da «un crescente squilibrio fra progresso economico e progresso umano e sociale», l'accoglienza positiva del nostro sistema scolastico ed educativo presentava molti dubbi: allo sviluppo industriale-economico dei paesi islamici fa poco riscontro un altrettanto sviluppo culturale nel senso di una cultura europea. Tanto più se si coglie l'inconsistenza della pretesa di trasmettere a quei paesi la schizofrenia di una cultura divisa, se non addirittura contrapposta, nei due campi della tradizione umanista e delle scienze della natura. Luciano Canfora, (Rai Radio Tre, 08/01/2015) afferma che quello che ci sostiene in questi tragici momenti è il sentire di appartenere alla tradizione illuministica, cioè alla grande cultura di Kant, di Goethe e di Einstein. Ma la loro presenza ci impone di rivisitare e verificare le nostre precedenti radici culturali, «di vedere se è possibile ancora contestare la legittimità di tra-

dizioni nelle interpretazioni che una volta si ritenevano acquisite» (STEINER 2006). Che il rinunciare a una risposta contribuisca a quella rassegnazione dell'Europa che Michel Houellebecq ha pronosticato per i prossimi anni Venti?

La scienza moderna erede delle tradizioni di pensiero greco-alessandrino e islamico

Si è notato più volte che la storia culturale dell'Europa presenta periodi di drammatica instabilità, alternati a nuclei tematici stabilizzanti e stabilizzati. Il riferimento va all'eredità che nella scienza ci proviene dalle culture greche, alessandrine, islamiche, rinascimentali e, *last but not least*, illuministiche settecentesche, dove i contributi alle varie scienze si sono sempre variamente intersecati con il pensiero umanistico e filosofico. La stessa fisica teorica odierna ha attinto a tradizioni di pensiero risalenti per lo meno alla cultura del Seicento e Settecento europeo: i nomi di Galileo, di Descartes e di Newton sono certamente fra i maggiori. Nell'Ottocento, la scienza si è variamente espansa nei paesi dell'Europa settentrionale, avvantaggiata dai nuovi benefici economici del colonialismo e della crescente industrializzazione.

La Germania, l'Inghilterra e la Francia furono i paesi maggiormente beneficiari dei nuovi assetti della situazione occidentale. È ben noto che ad essi sono legati, quanto meno, le figure di un Ampère, Gauss, Maxwell, Darwin, Poincaré, Helmholtz ed Hertz, avendo tralasciato per brevità Laplace e i grandi matematici. Ma è soprattutto nella Germania guglielmina che per cause economiche e politiche si concentrò il magistero di quella che poi diventerà la fisica teorica einsteiniana e post-einsteiniana. Le categorie di giudizio di Maxwell, Hertz, Boltzmann sono strettamente correlate al tipo di formazione filosofica ricevuto dalla cultura e dagli statuti universitari del loro tempo. Ma la condivisione di questo giudizio comporta un seguito di problemi della cui rilevanza per la scienza europea si è voluto ignorare o sottovalutare la portata. Si tratta, in effetti, del coinvolgimento della scienza europea nella crisi della grande scienza tedesca sotto gli incalzanti colpi del lucido disegno reazionario del nazismo. Mentre nel campo umanistico la riflessione sul dramma del rovinoso crollo di decenni di pensiero ha trovato espressioni negli scritti di grandi personalità – paradigmatico il caso di Thomas Mann – nel campo scientifico, invece, il rischio che la produzione della bomba atomica cadesse in mano nazista e il perlomeno incerto e ambiguo ruolo di Heisenberg e Bohr nelle successive vicende hanno monopolizzato la riflessione scientifica e filosofica, distraendola dal più fondamentale problema di ciò che rimaneva nella scienza della grande tradizione filosofica e scientifica della scienza europea a cavallo dei due secoli. È comprensibile come la potenzialità tecnologica della “bomba” e la diatriba

sulla sua possibile utilizzazione nella guerra fredda abbiano sviato l'attenzione dal pur rilevante problema del destino culturale dei maggiori scienziati fuggiti dall'Europa e allettati dai non sempre disinteressati vantaggi offerti dalle istituzioni americane. Non si può fare a meno dal ricorrere con la mente all'esilio di un Edipo a Colono, riconsiderando, al di fuori delle pur convenevoli diplomazie, il rifugio di Albert Einstein nell'Istituto di Princeton e il conseguente suo isolamento dalla scienza ufficiale, allora eminentemente statunitense. Ma, reciprocamente e dall'altro lato della medaglia, non è stato criticamente valutato l'influsso che ha avuto sulla stessa scienza statunitense, e in generale anglosassone, l'impatto di ciò che restava della grande scienza europea del Novecento. Certamente, l'interesse di quel grande paese al programma di una sua vittoria nella competizione con l'URSS negli anni della guerra fredda e il dramma della scelta del proseguimento del programma atomico con la bomba nucleare assorbivano la maggior parte della critica scientifica di quei tempi. Negli ultimi anni della sua operosa vita, Enrico Fermi aveva scelto di accantonare le ricerche nucleari per dedicarsi alle ricerche teoretiche sulle particelle elementari. Conversi, Pancini e Piccioni, durante la guerra, avevano trovato un'importante proprietà dei mesoni *mu*. Il premio Nobel per la scoperta dell'antiprotone fu assegnato anche a Emilio Segrè, uno dei ragazzi via Panisperna, precocemente rifugiatosi nella californiana Berkeley. La fisica italiana vantava una precocità nelle ricerche sui raggi cosmici e i successi di Bruno Rossi sul piano internazionale ne avevano riconfermata l'importanza. Fu quindi una ragionevole scelta quella di Edoardo Amaldi, uno dei più attivi allievi di Fermi, di far confluire i pochi fondi della ricerca italiana, nella ripresa del dopoguerra, sulla fisica dei raggi cosmici, alla quale vari fisici italiani avevano lavorato nel rifugio alpino del Monte Rosa. I fenomeni dei raggi cosmici suggerivano però l'interesse teorico alla fisica delle alte energie e dagli USA pervenne la grande innovazione tecnologica degli acceleratori circolari, che i fisici italiani vollero imitare con le ricerche all'elettrosincrotrone di Frascati e con le successive brillanti innovazioni in *Ada* ed *Adone* a merito del fisico austriaco Bruno Touschek.

Non è nello scopo di queste note una pur lodevole celebrazione di nomi e di contributi italiani ed esteri, per i quali rimando alla bibliografia, ma è una linea ben più difficile ed esigente cercare di individuare le grandi linee strategiche attraverso le quali si svolse, nella seconda metà del Novecento e nei decenni Duemila, il futuro delle ricerche scientifiche.

Si è detto che, con la nuova teoria dell'evoluzione di Darwin e la scoperta della doppia elica, la biofisica aveva ormai sorpassato l'interesse della fisica, ma quest'ultima si era aperta agli sconfinati orizzonti dell'astrofisica e della cosmologia. Sul piano istituzionale, i tedeschi Max Planck e gli inizi della istituzione del CERN aveva rivolto di nuovo verso l'Europa l'attenzione della fisica mondiale.

Si può affermare – e questo è il nocciolo del nostro discorso – che essi si presentavano come una ripresa delle linee di ricerca della grande, ma ormai tramontata fra le due guerre, tradizione di una scienza europea?

L'occasione poteva essere la controfase USA delle alte energie, con il rifiuto americano di continuare a finanziare il grande acceleratore lineare, al posto dell'interesse, non puramente scientifico, verso le imprese spaziali con partecipazione umana. E infatti, non fu estranea ai finanziatori europei del CERN l'idea di sostituirsi agli USA nel richiamare l'interesse verso una ricerca a base mondiale. L'ideale, poco realistico, di una ripresa dello spirito oltre che della ricerca di una scienza europea tracolò ben presto davanti alle nuove esigenze. Un elenco dei premi Nobel degli ultimi cent'anni sarebbe un'utile conferma delle precedenti tesi. Ma le innovazioni imprevedibili della globalizzazione e, per quel che ci riguarda, la diffusione di una scienza tecnologica nei paesi ultimamente emersi a una forma occidentale di vita, da una parte, e le forti reazioni di odio verso quelle stesse forme di vita, dall'altra, pongono il "problema scienza" in una nuova prospettiva.

È da anni che contributi di filosofi hanno analizzato il carattere e i percorsi storici di questi ormai reali capovolgimenti, ovviamente non solo culturali. Si è dovuto notare al confronto l'assenza o la latitanza degli scienziati oggi eminenti, i recenti premi Nobel scientifici inclusi. Il coinvolgimento nelle grandi tesi della conoscenza delle origini del nostro

universo e della stessa nostra vita può essere una delle motivazioni per quella assenza e latitanza.

Il grave problema ormai emerso, che qui ho inteso sottolineare, è che l'indipendenza reciproca o neutralità fra quella che è stata chiamata (GADAMER 1991) l'appartenenza a due mondi della donna e dell'uomo moderni non può ormai più essere ignorata, tanto più che una grande parte di questi mondi sono oggi conflittuali.

Referenze bibliografiche

- A. AGNOLETTO, *Presentazione*, in *L'identità culturale europea tra germanesimo e latinità*, a cura di A. Krali, Jaca Book, 1988.
- S. D'AGOSTINO, *Per una storia delle idee della fisica teorica. La fisica teorica scienza europea*, «Giornale di Astronomia», 40 (2), 2014, pp. 13-19.
- H. G. GADAMER, *La molteplicità d'Europa: eredità e futuro*, in *L'identità culturale europea tra germanesimo e latinità*, a cura di A. Krali, Jaca Book, 1988, pp. 15-32.
- H. G. GADAMER, *L'eredità dell'Europa*, Einaudi, 1991.
- E. HUSSERL, *La crisi delle scienze europee e la fenomenologia trascendentale: introduzione alla filosofia fenomenologica*, a cura e con introduzione di W. Biemel, il Saggiatore, 1961.
- E. MORIN, *Introduction à la pensée complexe*, Edition du Seuil, 1990.
- E. MORIN, *Il problema dell'identità personale*, in *L'identità culturale europea tra germanesimo e latinità*, a cura di A. Krali, Jaca Book, 1988, pp. 33-40.
- G. STEINER, *Una certa idea di Europa*, Garzanti, 2006.

Salvatore "Salvo" D'Agostino, nato in Acireale il 3 febbraio del 1921, è stato disgraziatamente chiamato volontario e ha servito l'esercito italiano, da soldato semplice a ufficiale, sino al 1943. Le vicende della sua professione da laureato in Fisica e da docente, prima liceale e poi universitario, sono descritte nel suo *Fra storia e memoria. Ricerca e insegnamento nella fisica italiana* (Barbieri Selvaggi 2009). Nel 1958 ha ottenuto per concorso una borsa di studio Fulbright e un assegno di ricerca da "Accademia dei Lincei – Royal Society". Ha insegnato Fisica nel Liceo Classico di Orvieto e Viterbo e, come associato, Complementi di fisica generale e Storia della fisica presso il Dipartimento di Fisica della "Sapienza", sino al pensionamento nel 1992. Ha pubblicato circa duecento articoli su giornali italiani ed esteri e alcune monografie, tra le quali, *A History of the Ideas of Theoretical Physics. Essays on the Nineteenth and Twentieth Century Physics* (Boston Studies in the Philosophy of Science no. 213, Kluwer 2000), *Gli Strumenti Scientifici e la Scienza* (Barbieri 2005), *The Centennial Recurrence of Einstein's General Relativity* (Lambert Academic Publishing 2017) ed altri saggi in inglese. Si occupa attualmente di storia della relatività. È stato fra i fondatori del Gruppo Italiano degli Storici della Fisica ed è socio storico della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (SISFA). (saldagostino21@gmail.com)

Draghi, serpenti, ippopotami e coccodrilli: la costellazione del Drago nella tradizione egizia e mesopotamica

Stefano Buscherini

NEL mio precedente articolo dedicato alla Via Lattea¹ ed in particolare ai miti del Vicino Oriente antico collegati ad essa, ho scritto, seppure brevemente, dei draghi. Ho pensato quindi di dedicare il seguente testo alla costellazione del Drago, facendo riferimento soprattutto alla tradizione egizia e mesopotamica.

Il nome drago, usato per indicare un mostro favoloso con l'aspetto quasi sempre di un rettile alato che sputa fuoco, deriva dal termine latino *draco* (-onis) che indicava presso i Romani, e prima ancora presso i Greci (δράκων, οντος, ό), sia una specie di serpenti grossi ed innocui, tenuti come animali domestici, di lusso e di divertimento, sia l'omonima costellazione.²

Era un serpente anche Ladone, il figlio di Tifone ed Echidna³ (o secondo altre tradizioni di Forci e di Ceto),⁴ posto a guardia dei pomi d'oro che la dea Gea aveva regalato a Zeus ed Era per le loro nozze e che quest'ultima aveva talmente apprezzato da decidere di coltivarli nel giardino delle Esperidi, vicino al monte Atlante.⁵ Ladone, secondo quanto afferma Apollodoro nella sua *Biblioteca*, II, 5, 11 relativamente alle fatiche di Ercole, aveva però una fisionomia diversa da quella che oggi noi ci aspettiamo debba avere un drago:

Le fatiche furono compiute nello spazio di otto anni e un mese; tuttavia Euristeo non volle riconoscere quelle del bestiame di Augia e dell'Idra e gli impose come undicesima fatica di portargli i pomi d'oro delle Esperidi. Essi non si trovavano (come alcuni hanno detto) in Libia, ma

sull'Atlante tra gli Iperborei, ed erano i doni che Gea aveva fatto a Zeus quando aveva sposato Era: li custodiva un drago immortale, figlio di Tifone ed Echidna, che aveva cento teste e sapeva parlare con voci svariate.⁶

Queste qualità però non impedirono ad Ercole di rubare le mele dal giardino con l'aiuto di Atlante. Infatti, secondo quanto era stato consigliato a Eracle da Prometeo, l'eroe si offrì di sorreggere il cielo al posto di Atlante per permettergli di compiere il furto:

Questi allora colse dalle Esperidi tre pomi e ritornò da Eracle, ma non era più disposto a riassumere sulle spalle il cielo[: disse che avrebbe portato lui stesso i pomi a Euristeo e pretese che Eracle reggesse la volta celeste al posto suo. Eracle promise di farlo, ma la restituì ad Atlante con astuzia. Seguendo il suggerimento di Prometeo, pregò Atlante di sostenere il cielo finché] si fosse avvolto una benda attorno al capo. A queste parole Atlante depose a terra le mele e riprese sulle spalle la sfera celeste: così Eracle le raccolse e se ne andò.⁷

Sempre Apollodoro (*Biblioteca*, II, 5, 11) ci presenta un secondo mito collegato ancora a Ladone:

Altri tuttavia dicono che Eracle non ebbe i pomi da Atlante ma che li colse egli stesso dopo avere ucciso il serpente che li custodiva.⁸

Sarebbe quest'ultima impresa il motivo per cui Ladone si trova in cielo sotto la forma della costellazione del Drago, secondo quanto scrive Iginò nella sua opera *De astronomia*, II, 3:

si racconta che un tempo custodiva le mele d'oro delle Esperidi e che sia stato ucciso da Ercole. Giunone lo trasferì tra le stelle perché era stata lei a indurre Ercole a partire per affrontarlo.⁹

Secondo un altro mito, sempre riportato da Iginò, il drago si trova in cielo perché scagliato lì da Minerva:

secondo altri, invece, si tratta del drago che i Giganti opposero a Minerva durante la battaglia; Minerva lo afferrò mentre si contorceva e lo scagliò tra le stelle, inchiodandolo all'asse estremo del mondo.¹⁰

⁶ APOLLODORO, *Biblioteca*. Con il commento di J. G. Frazer. Edizione italiana a cura di Giulio Guidorizzi, Milano, Adelphi, 1995, p. 63.

⁷ Ivi, p. 65.

⁸ *Ibidem*.

⁹ IGINO, *Mitologia astrale*. A cura di G. Chiarini e G. Guidorizzi, Milano, Adelphi, 2009, p. 19.

¹⁰ *Ibidem*.

¹ S. BUSCHERINI, *La Via Lattea: teorie e miti del Vicino Oriente antico*, «Giornale di Astronomia», 42, 2, 2016, pp. 4-9.

² Vedi la voce *draco*, in F. CALONGHI, *Dizionario della lingua latina*, 3ª ediz., interamente rivista ed aggiornata del dizionario Georges-Calonghi, Torino, Rosenberg & Sellier, 1957.

³ Vedi IGINO, *Miti*, a cura di G. Guidorizzi, Adelphi, Milano, 2000, p. 29: «[Ercole] uccise presso il monte Atlante un gigantesco serpente, figlio di Tifone, che custodiva le mele d'oro delle Esperidi e portò al re Euristeo quelle mele». Vedi anche G. VANIN, *Catasterismi. L'origine, la storia, il mito delle costellazioni*, Feltre, Edizioni Reticus-DBS Zanetti, 2013, pp. 345-346.

⁴ Vedi, ad esempio, in ESODO, *Teogonia*, Introduzione di E. Cingano, a cura di E. Vasta, Milano, Arnoldo Mondadori, 2004, p. 25: «Ceto, a Forci unita in amore, come figlio più giovane, / generò un terribile serpente, che nei recessi della terra oscura, / entro i grandi confini, custodisce mele d'oro».

⁵ Il giardino andava controllato poiché «le figlie di Atlante avevano preso l'abitudine di cogliere troppo frequentemente le mele dai rami», secondo IGINO, *Mitologia astrale*. A cura di G. Chiarini e G. Guidorizzi, Milano, Adelphi, 2009, p. 19.

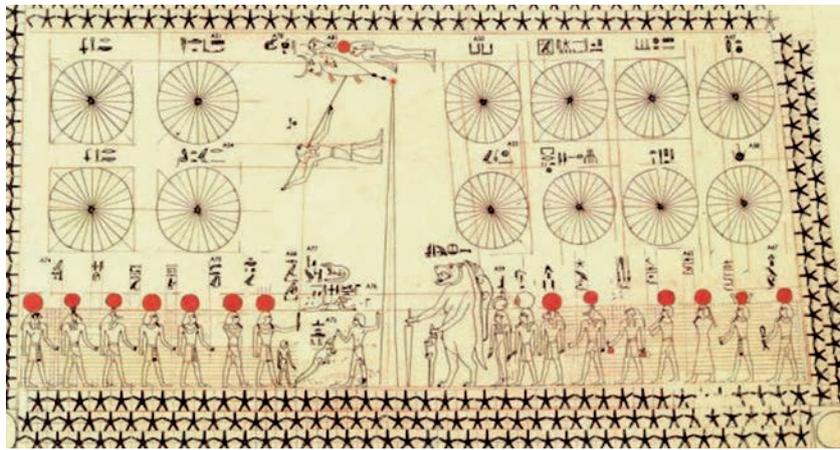


FIG. 1. Parte del soffitto astronomico della tomba di Senmut con *Isis-Djemet* (ca. 1473 a.C., Deir el-Bahri, Egitto).

Di forma completamente diversa era la costellazione del Drago nel mondo egizio, o per essere più precisi, la costellazione che era posta, molto probabilmente, nello stesso punto del cielo: il suo nome era *Isis-Djemet* e assumeva l'aspetto di una femmina di ippopotamo sulle cui spalle era posta la coda di un coccodrillo o, a volte, un coccodrillo intero.

Lull¹¹ ha approfondito l'argomento nel suo libro dedicato all'astrologia dell'Antico Egitto, elencando gli studi che l'hanno preso in considerazione, partendo dal secolo scorso: secondo Pogo¹² la costellazione egizia corrisponderebbe a quella del Drago, anche se precedentemente Biegel¹³ l'aveva messa in corrispondenza con le stelle della chioma di Berenice, di Boote, della Corona boreale e di Ercole.

Successivamente, il collegamento tra la costellazione del Drago e *Isis-Djemet* è stato riproposto, ad esempio, da Locher¹⁴ che, in particolare, ha messo in corrispondenza l'ippopotamo con le stelle del Drago, il coccodrillo posto sulle sue spalle con Cefeo e il Cigno, mentre le stelle dell'Orsa minore assieme ad alcune stelle del Drago formerebbero i punti di ormeggio (o una bitta) e la catena che *Isis-Djemet* presenta nelle raffigurazioni databili al periodo del Nuovo Impero.

Spesso, infatti, l'ippopotamo viene ritratto con le mani appoggiate a uno o due pali da ormeggio a forma di coccodrillo e di spada, che forse avevano un corrispettivo in cielo sotto forma di stelle e che

¹¹ J. LULL, *La astronomía en el antiguo Egipto*, València, Universitat de València, 2006, pp. 223-230.

¹² A. POGO, *The astronomical ceiling-decoration in the tomb of Senmut (XVIII Dynasty)*, «*Isis*», 14, 1930, pp. 301-325 ripreso in M. CLAGETT, *Ancient Egyptian Science*, II, *Calendars, clocks, and astronomy*, Memoires series 214, American Philosophical Society, Philadelphia, 1995, pp. 118-119.

¹³ R. A. BIEGEL, *Zur Astrognosie der alten Ägypter*, Zurich, Universität Zürich, 1921, ripreso in M. CLAGETT, *cit.*, pp. 119-120 e 160-162.

¹⁴ K. LOCHER, *Probable identification of the ancient Egyptian circumpolar constellations*, «*Journal for the History of Astronomy*», 16, 1985, p. 152.

collegavano *Isis-Djemet* alla costellazione detta *Mesietiu*, da identificare con l'Orsa Maggiore:¹⁵ quest'ultima assume nei soffitti astronomici, a volte, la forma di un vero e proprio toro, come nella tomba di Sethi I, o l'aspetto di un toro con la testa attaccata a un corpo ovoidale (o più semplicemente una coscia che termina in una testa di toro), come nella tomba di Senmut, il favorito della regina Hatshepsut.¹⁶

Nel celebre soffitto astronomico che decora questa tomba (FIG. 1) è presente un ippopotamo che tiene con la zampa sinistra un coccodrillo posto verticalmente come

un bastone e con la zampa destra un ormeggio. La rappresentazione è inserita all'interno di una più ampia opera¹⁷ formata da due parti, una meridionale dedicata ai decani¹⁸ e una settentrionale in cui si possono identificare tre elementi principali:

- le costellazioni (tra le quali compare quella di *Isis-Djemet*);
- i cerchi rappresentanti i mesi dell'anno;¹⁹
- le divinità.

Nella tomba di Sethi I, e per la precisione nel soffitto astronomico che la decora (FIG. 2), è riportata *Isis-Djemet* che tiene con la zampa sinistra, invece, un solo ormeggio da cui parte una catena che la lega a *Mesietiu*.

La funzione di questo legame tra le due costellazioni è spiegata dal *Libro del giorno e della notte*, del-

¹⁵ J. LULL, *cit.*, pp. 222-223; J. LULL, J. A. BELMONTE, *The constellations of ancient Egypt*, in *In Search of Cosmic Order: selected essays on Egyptian Archaeoastronomy*, J. A. Belmonte, M. Shaltout eds., Cairo, American University in Cairo Press, 2009, p. 161.

¹⁶ Per quanto riguarda il favoritismo da parte del faraone Hatshepsut (una delle pochissime faraone donna della storia egizia) si possono leggere i capitoli 14 e 15 (*Hatshepsut e Senenmut nell'anno X del regno* e *Senenmut audace teologo*) dedicati al loro legame in CH. DESROCHES NOBLECOURT, *La regina misteriosa. La storia di Hatshepsut l'unica donna che regnò come faraone*, 2003, Milano, Sperling & Kupfer Editori, pp. 191-218, in cui l'autrice scrive «che l'Intendente di Amon [Senenmut] abbia osato comunque lasciare trasparire alcune tracce (o quanto tenui!) del consenso "attivo" della regina alle abili, numerose e sottili avances di quello "scapolo impenitente", pegno di una fedeltà dalla quale senza dubbio si attendeva ardentemente la reciprocità». L'esistenza di questo consenso trasparirebbe anche dall'unico graffito dal carattere erotico presente in tutto il sito di Deir el-Bahari e della Valle dei Re, con cui qualche artigiano della necropoli tentò di sbeffeggiare la regina, rappresentante il rapporto amoroso tra i due personaggi storici.

¹⁷ Per una sua descrizione e la traduzione del testo egizio presente nel soffitto vedi M. CLAGETT, *cit.*, pp. 111-121, 217-233.

¹⁸ I decani erano stelle o gruppi di stelle che con il loro sorgere eliaco segnalavano l'inizio dell'ultima ora della notte e quindi la sua fine. Per dieci giorni ogni decano contraddistingueva tale periodo, suddividendo perciò l'anno egizio in 36 intervalli.

¹⁹ L'anno egizio era diviso in 12 mesi di 30 giorni ognuno per un totale di 360 giorni, cui andavano aggiunti 5 giorni epagomeni. L'anno era anche diviso in tre stagioni di 4 mesi detti "inondazione", "inverno" ed "estate".

l'epoca di Ramesse VI, secondo cui la gamba del dio Seth fu posta nel cielo a settentrione e fu legata a due ormecci di pietra con una catena d'oro tenuta dall'ippopotamo:²⁰ sembrerebbe quindi che *Mesietiu* rappresenti la gamba di Seth custodita da Isis.

Due testi di epoche differenti riportano l'episodio mitologico su cui si fonderebbe questa rappresentazione celeste: nei *Testi delle piramidi*, presenti nella tomba della regina Neith,²¹ è scritto che Osiride deve accettare la gamba di Seth che Horo (o Horus) ha tagliato;²² nel papiro Jumilhac,²³ di epoca tolemaica o dell'inizio del periodo romano, è riportato invece che dopo che Horo tagliò la gamba di Seth,²⁴ la sollevò nel mezzo del cielo settentrionale dove il grande ippopotamo la sostiene in modo che non possa allontanarsi.²⁵

Ritornando alla possibile posizione di questa collezione, recentemente Lull e Belmonte²⁶ hanno proposto che fosse compresa tra Boote e la Lira (con la testa nella costellazione del Drago) e che il coccodrillo raggiungesse la parte di cielo della Testa del serpente.

Come si può notare non esiste un'ipotesi definitiva che permetta di identificare univocamente la posizione di questa costellazione egizia nella volta celeste, perché le rappresentazioni celesti che troviamo nell'arte egizia non avevano la funzione di indicare chiaramente la posizione delle singole costellazioni, ma dovevano raccontare qualcosa di più: ricordare i racconti e i miti che avevano porta-

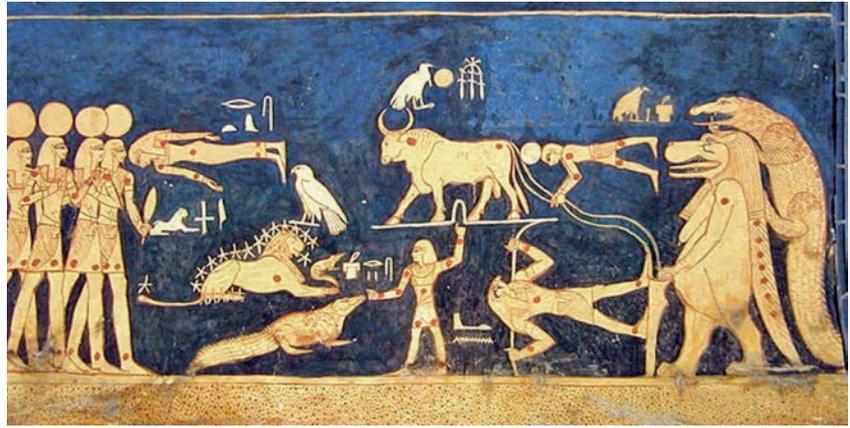


FIG. 2. Parte del soffitto astronomico della tomba di Seth I con Isis-Djemet (ca. 1279 a.C., Valle dei Re, Egitto).

to gli Egizi a raggruppare nel cielo le stelle con disegni rappresentanti le divinità e i loro animali di riferimento, secondo un metodo che sarà adottato anche dai Greci, come già scriveva Marziano Capella: «i Greci riempiono il cielo di racconti mitologici».²⁷ Tuttavia, mentre nel loro caso è stato facile ricostruire i collegamenti tra costellazione e mito, nel caso della civiltà egizia ciò è stato alcune volte impossibile, poiché non sempre si conoscono i motivi delle scelte compiute in quanto alcuni testi o racconti sono arrivati in forma non completa o persino contraddittoria.

Proprio per la scarsa chiarezza delle fonti sembra che la costellazione della dea scorpione *Serqet* si sovrapponesse all'odierna costellazione del Drago,²⁸ trovandosi tra la costellazione dell'Orsa minore e del Drago (la testa coincidente con la Stella polare ed i piedi con η *Draconis* e ι *Draconis*).

La costellazione del coccodrillo, invece, poteva corrispondere alle odierne stelle della Testa del serpente (α , β , γ *Serpentis*) e di Ercole, quindi vicino alla posizione del Drago individuata da Lull e da Belmonte.

Questi ultimi, riguardo a tale animale, hanno sottolineato una curiosità: i tre dei quattro coccodrilli rappresentati nei soffitti celesti egizi si trovano in punti del cielo dove ora troviamo dei rettili: l'idra, il serpente ed il drago.²⁹

Il legame tra quest'ultimo animale e il coccodrillo è ancora più evidente se si ricorda che Pinch,³⁰ alla voce «serpente» del suo libro dedicato alla mitologia egizia, scrive che la combinazione delle due forme con cui veniva rappresentato Apophis (o Apep), un enorme coccodrillo o un altrettanto grande serpente, potrebbe essere all'origine dei dra-

²⁰ O. NEUGEBAUER e R.A. PARKER, *Egyptian Astronomical Texts*, vol. III, Providence/London, Brown University Press / Lund Humphries, 1969, p. 190.

²¹ Figlia del faraone Pepi I, sorella e una delle tre moglie di Pepi II, fu sepolta nel complesso funerario di Pepi II, a sud di Saqqara, all'interno di una piccola piramide.

²² J.P. ALLEN, *The Ancient Egyptian pyramid texts*. Translated with an introduction and notes by J. P. Allen, edited by P. Der Manuelian, Atlanta, Society of biblical literature, 2005, p. 318.

²³ Per un approfondimento, E. BRESCIANI, *Letteratura e poesia dell'Antico Egitto: cultura e società attraverso i testi*, Torino, Einaudi, 2007, pp. 507-514. Il papiro, il cui nome deriva dal conte francese che fu uno dei suoi proprietari, narra la storia religiosa e mitologica del nòmo posto a sud di Ossirinco. È bene ricordare che anticamente l'Egitto era diviso in distretti amministrativi, chiamati *nomoi*, ognuno dei quali aveva la sua capitale e il suo governo locale. Per un loro elenco vedi J. BAINES, J. MÁLEK, *Atlante dell'antico Egitto*, Novara, Istituto Geografico de Agostini, 1985, pp. 14-15.

²⁴ Il conflitto tra Horo e Seth è stato un tema duraturo nei miti egizi. Tra i racconti che trattano di questa lotta è forse il caso di ricordare il dramma "La vittoria di Horo su Seth in forma di ippopotamo", trascritto sulle pareti del tempio di Edfu: in esso il dio Horo va alla ricerca di Seth, che ha la forma di un ippopotamo, per ucciderlo e quindi vendicare l'assassinio del padre Osiride e ottenere il trono dell'Egitto.

²⁵ Per ulteriori fonti relative al ruolo di Isis nei confronti della gamba e di una possibile identificazione della gamba con Osiride, O. NEUGEBAUER e R.A. PARKER, *cit.*, p. 191.

²⁶ J. LULL, J. BELMONTE, *cit.*, p. 164.

²⁷ MARZIANO CAPELLA, *Le nozze di Filologia e Mercurio*, intr., tr., comm. e app. di I. Ramelli, Milano, Bompiani, 2001, p. 585.

²⁸ J. LULL, *cit.*, pp. 229-230.

²⁹ J. LULL, J. BELMONTE, *cit.*, p. 166.

³⁰ G. PINCH, *Egyptian mythology. A guide to the gods, goddesses, and traditions of Ancient Egypt*, Oxford, Oxford University Press, 2002, pp. 106-108, 198-200.

ghi delle leggende medievali. Secondo le credenze egizie questa creatura ogni notte assaliva la barca del dio Sole durante il suo tragitto nel mondo sotterraneo, sebbene ogni volta ne fosse ucciso.

La mitologia egizia ha però un ricco numero di serpenti anche dai caratteri positivi, come l'Ureo posto sulla corona reale, che si ricollega alla dea dalla forma di cobra che aveva protetto il dio Sole. Proprio per questo un proverbio egizio recitava «dai il benvenuto a Ureo e sputa su Apophis».

Certo, la principale peculiarità del serpente rimaneva la sua malignità, come testimoniato dalla "Formula per scendere nel nascondiglio (del serpente)", contenuta nel papiro medico-magico tradotto così da Bresciani:³¹

Indietro serpente che stai nel tuo colle, rettile che stai nel tuo nascondiglio! Sono spezzati i tuoi denti, il tuo veleno è annientato, perché Ra ha evitato che tu ti alzassi e ti lanciassi contro di me!

Andando dall'Egitto più ad Oriente, e per la precisione nella terra tra i due fiumi, si trova che la costellazione del Drago è forse collegata ad un testo ritrovato nella biblioteca di Assurbanipal (668-627 a.C.) che racconta dell'uccisione di un drago di nome *Labbu*, metà leone e metà serpente, da parte del dio *Tišpak*. Nella parte iniziale è descritto il suo aspetto:

I cittadini erano estenuati, gli occupanti [...];
Il numero degli abitanti diminuiva [...];
Ma delle loro grida di sconforto,
[Gli dèi] non [tenevano conto (?)],
Non pres[tavano affatto attenzione (?)] alle loro grida
Chi dunque (si domandavano) [ha creato (?) questo Dra-
gone ...]?
Il Mare solo [ha potuto farlo nascere (?)]!
Enlil ne disegnò allora [il profilo] in cielo.
La sua lunghezza era di cinquanta miglia,
E di un miglio la sua [larghezza (?)]
Le sue fauci misuravano sei cubiti,
E [la sua lingua (?)] dodici cubiti.
Per dodici cubiti (si estendeva)
La misura delle sue orecchie.³²

Sapendo che il cubito era quasi 50 cm,³³ con pochi conti si comprende come le sue misure fossero gi-

³¹ E. BRESCIANI, *cit.*, p. 70.

³² Riporto la traduzione italiana presente in J. BOTTÉRO, S. N. KRAMER, *Uomini e dèi della Mesopotamia. Alle origini della mitologia*. A cura di G. Bergamini, Torino, Giulio Einaudi editore, 1992, pp. 494-495.

³³ Il cubito era una unità di misura di lunghezza molto utilizzata nell'antichità, ma nonostante questo non è possibile stabilire una sua dimensione precisa. Nel mondo egizio le dimensioni variano a seconda della letteratura scientifica che indica differenti valori all'interno di piccoli intervalli: come, ad esempio, per il cubito reale (ma esisteva anche il cubito corto) A. GARDINER (*Egyptian grammar. Being an introduction to the study of hieroglyphs*, Third edition, revised, Oxford, Griffith Institute, Ashmolean Museum, 1994, p. 199) e M. CLAGETT (*Ancient Egyptian Science. A source book*, III, *Ancient Egyptian Mathematics*, Philadelphia, American Philosophical Society, 1999, p. 7) stimano una lunghezza di 20,6 inches (52,32 cm) mentre R.J. GILLINGS (*Mathematics in the time of the pharaohs*, New York, Dover Publications, 1972, p. 207) la pone uguale a 20,59

gantesche, dato che aveva una bocca di 3 metri e una lingua di 6 metri. Bottéro e Kramer³⁴ hanno individuato nell'atto di Enlil di disegnare il drago nel cielo la spiegazione dell'origine della costellazione del Drago.

Per potersi fare un'idea dell'importanza della costellazione nella tradizione mesopotamica basta far riferimento al *lexicon* dei nomi delle stelle, delle costellazioni e dei pianeti compilata da Kurtik:³⁵ alla voce «Drago», ^{mul}MU.BU.KES₂.DA, si trovano subito le 5 possibili varianti del nome e il riferimento ai testi che la menzionano.

Per citarne solo alcuni, il MUL.APIN – un compendio astronomico il cui titolo è preso dall'incipit, *Stella di Apin (aratro)*, la prima stella elencata – riporta nella Tavoletta I, i 19 «^{mul}MU.BU.KES₂.DA il grande Anu del cielo», identificato da Hunger e D. Pingree con α Draconis.³⁶ Analogamente «Anu il grande dei cieli» è ricordato anche nel testo³⁷ che elenca le offerte presentate giornalmente al dio Anu e alla sua sposa Antu e risalente alla dinastia neo babilonese.

Questa costellazione è presente anche nella "Preghiera agli dèi della notte", un testo di origine babilonese risalente al XVIII o XVII sec. a.C., che era recitata dal divinatore per richiedere alle stelle l'esito favorevole dei suoi presagi.³⁸

Secondo la suddivisione in fasi che Rogers³⁹ ha introdotto nel suo studio sulle origini delle costellazioni mesopotamiche, la costellazione del Drago risalirebbe alla seconda (~1.350-1.000 a.C.) e sarebbe collegata ad una delle due tradizioni che governarono lo sviluppo delle singole costellazioni mesopotamiche, cioè quella della tradizione divina e religiosa, rappresentata da animali simbolici o da figure divine. L'altra, definita "del calendario agricolo", era formata da elementi campestri e dai relativi animali che servirono per costituire un calendario utile a fissare il momento più adatto ai lavori nei campi.

Il drago fa la sua comparsa anche sui *kudurru*, i cippi che venivano donati probabilmente ai templi e su cui era riportato un contratto sul quale vigila-

inches (52,29 cm). Nel mondo mesopotamico la situazione non varia: E. ROBSON (*Mathematics in Ancient Iraq*, Princeton and Oxford, Princeton University Press, 2008, pp. 294-297) approssima il cubito a 50 cm per le misure di lunghezza dei periodi storici UR III, paleobabilonese e del I millennio, ma ricorda che esisteva anche il cubito *arû* che approssima a 75 cm.

³⁴ J. BOTTÉRO, S. N. KRAMER, *cit.*, p. 497.

³⁵ G. E. KURTIK, *Zvezdnoe nebo drevnei Mesopotamii: Shumero-akkaidskie nazvaniia sozvezdii i drugikh svetil* [*The star heaven of Ancient Mesopotamia the Sumero-Akkadian names of constellations and other heavenly bodies*], St. Petersburg, Aletheia, 2007. Ringrazio Gian Pietro Basello per la segnalazione di questo testo.

³⁶ H. HUNGER e D. PINGREE, *MUL.APIN an astronomical compendium in cuneiform*, «Archiv für Orientforschung», 24, 1989, 137.

³⁷ F. THUREAU-DANGIN, *Rituel accadien*, Paris, Ernest Leroux, 1921, p. 85 nota 2.

³⁸ E. REINER, *Astral magic in Babylonia*, Philadelphia, The American Philosophical Society, 1995, p. 66.

³⁹ Vedi J. H. ROGERS, *Origins of the ancient constellations: I. The Mesopotamian traditions*, «Journal of the British Astronomical Association», 108, 1998, p. 9.

vano gli stessi dèi raffigurati.⁴⁰ (FIG. 3) I simboli che li decorano sono quelli di divinità che corrispondono in molti casi ai pianeti e alle costellazioni che appariranno nelle rappresentazioni celesti solo più tardi, anche se non si sono conservate le immagini delle costellazioni non appartenenti allo Zodiaco.

Tra questi simboli c'è il dio Marduk, corrispondente al pianeta Giove, identificato sui *kudurru* da una spada verticale e un tempio accompagnato da un drago. Marduk è il protagonista dell'*Enûma eliš* (ovvero "quando lassù"), l'Epopea della creazione in cui viene descritta la creazione degli dèi, del mondo e degli uomini, dimostrando però, punto fondamentale, la supremazia di questa divinità su tutti i tre precedenti soggetti.

Sono presenti nel testo anche i draghi, in relazione alla dea madre-abisso Tiamat, con cui Marduk dovrà scontrarsi:

la Madre-Abisso,
 Che aveva formato ogni cosa,
 Si preparò Armi irresistibili:
 Mise al mondo Dragoni giganti,
 Dai denti [aguz]zi
 Dalle zanne (?) spietate, a cui riempi il corpo
 Di veleno al posto del sangue
 E Leviatani feroci,
 ...
 Creò ancora Idre,
 Dragoni formidabili, Mostri marini,
 Leoni colossali,
 Molossi rabbiosi, Uomini-scorpioni,
 Mostri aggressivi,
 Uomini-pesce, Bisonti giganteschi.⁴¹

Jeremy Black e Anthony Green⁴² hanno catalogato gli undici mostri o gruppi di mostri creati dalla dea, identificandone quattro tipi che hanno messo in rapporto con il serpente e con il drago:

- tre tipi di serpenti cornuti (forniti di corna) detti *mušmahhu*, *ušumgallu* e *bašmu*.⁴³
- un tipo simile a un dragone-serpente, chiamato in babilonese *mušhuššu*, un prestito dal sumero *muš-ḥuš* che significa "serpente feroce".⁴⁴

L'esistenza di una simile catalogazione in ambito mesopotamico non deve sorprendere, visto che tramite la sua arte sono giunte a noi un gran numero di queste creature dall'aspetto sia malvagio che benigno, tra cui il *mušhuššu*, rappresentato sui mattoni della Porta di Ištar e sulla via processionale di Babilonia. Il mostro è una combinazione di tre animali: il corpo e le zampe frontali sono quelle del leone, il re degli animali; le zampe posteriori e gli artigli sono dell'aquila, il re degli uccelli; la testa, il collo, la lingua biforcuta e il corpo squamoso sono ti-

⁴⁰ Per una descrizione dei *kudurru* vedi A. INVERNIZZI, *Dal Tigri all'Eufrate*, vol. II, Le Lettere, Firenze, 1992, pp. 128-132.

⁴¹ J. BOTTÉRO, S. N. KRAMER, cit., pp. 640-651.

⁴² J. BLACK, A. GREEN, *Gods, demons and symbols of Ancient Mesopotamia*, illustrations by T. Rickards, London, The British Museum Press, 2008, pp. 177-178.

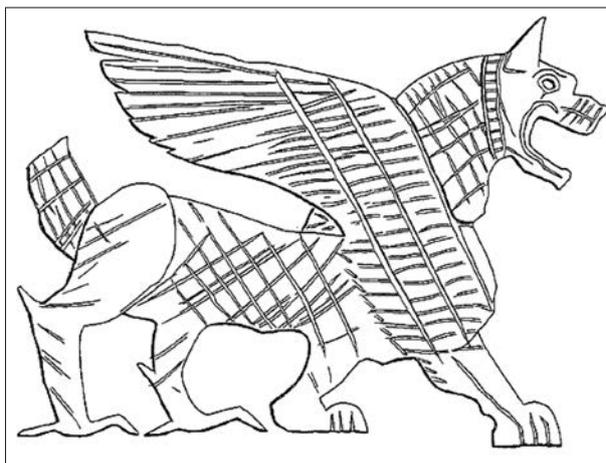


FIG. 3. Leone drago o leone grifone rappresentato su un *kudurru* (da: J. BLACK, A. GREEN, cit., p. 121).

pici del serpente, temuto per la sua capacità di uccidere silenziosamente ma allo stesso tempo ammirato per il suo movimento sinuoso.⁴⁵ (FIG. 4)

Molto più sbalorditivo è ritrovare a pochi chilometri da Persepoli, per la precisione a Tol-e Ajori, una costruzione del periodo pre-Achemenide in cui compare il *mušhuššu*. L'edificio, portato alla luce dalla Missione Archeologica Congiunta Italo-Iraniana, è una monumentale porta, simile alla porta di Ištar in cui le somiglianze non riguardano solo l'immagine ma anche il modo con cui la raffigurazione è suddivisa sui mattoni che la formano.⁴⁶ (FIG. 5)

Draghi malvagi sono invece quelli presenti nei miti collegati alle "fatiche" del dio Ninurta, da cui sono sconfitti: si legge nel mito *An.gim o il ritorno di Ninurta a Nippur* che «dalla fortezza sulla Montagna, ha preso il Dragone bellicoso» e in *Ninurta e le Pietre* «ecco, Ninurta, la lista dei prodi che hai sconfitto: il Dragone». ⁴⁷ (FIG. 6)

⁴³ Il drago di tipo *bašmu* è il protagonista di un racconto proveniente da Assur e analogo a quello del drago Labbu. Vedi J. BOTTÉRO, S. N. KRAMER, cit., p. 496.

⁴⁴ W. G. LAMBERT, *The history of the muš-ḥuš in Ancient Mesopotamia*, in *L'animal, l'homme, le dieu dans le Proche-Orient Ancien*, Actes du Colloque de Cartigny 1981, Centre d'Étude du Proche-Orient Ancien – CEPOA, Leuven, Université de Genève, p. 84.

⁴⁵ W. G. LAMBERT (ivi, p. 84-94) ha raccolto le testimonianze della presenza nella tradizione mesopotamica della figura di questa bestia, a partire dal 2300 a.C. fino al 600 a.C. Tra le fonti presentate c'è anche un'iscrizione babilonese che spiega probabilmente il motivo per cui questa figura è stata posta all'entrata di Babilonia: il *mušhuššu* spruzza il suo veleno contro i nemici e gli avversari.

⁴⁶ A. A. CHAVERDI, P. CALLIERI, E. MATIN, *Tol-e Ajori: a Monumental Gate of the Early Achaemenian period in the Persepolis Area. The 2014 excavation season of the Iranian-Italian project 'From Palace to Town'*, With an appendix by Gian Pietro Basello, *A fragment of another inscribed glazed brick from Tol-e Ajori*, «Archaologische Mitteilungen aus Iran und Turan», Berlin, Dietrich Reimer Verlag, 2014, pp. 223-254. Ringrazio Gian Pietro Basello per aver portato alla mia attenzione questo risultato dell'esplorazione italiana in Iran.

⁴⁷ Vedi l'elenco dei mostri sconfitti dal dio in J. BOTTÉRO, S. N. KRAMER, cit., pp. 364, 401. Per il riassunto di un'altra "fatica" dell'eroe, vedi l'epopea di Anzu in H. MCCALL, *Miti mesopotamici*, Milano, Arnoldo Mondadori Editore, pp. 104-110.

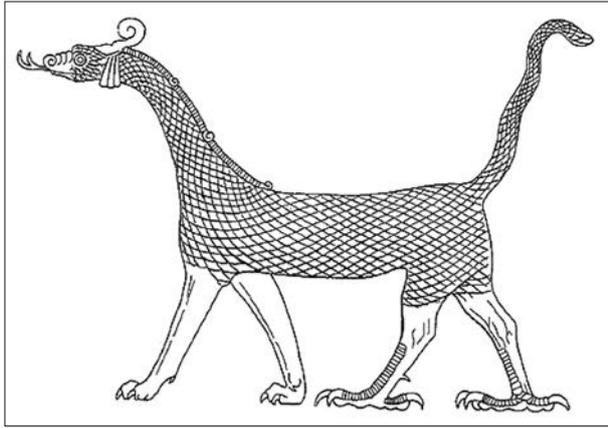


FIG. 4. Il drago serpente *mušhuššu* (da: J. BLACK, A. GREEN, cit., p. 166).

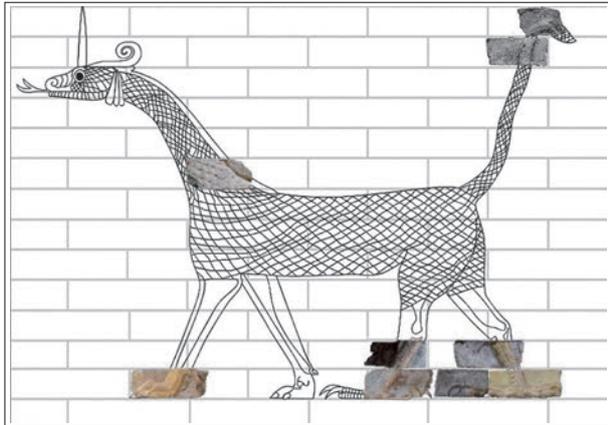


FIG. 5. Il *mušhuššu*, ritrovato a Tol-e Ajori, disegnato da R. Esna-shari (da: A.A. CHAVERDI, P. CALLIERI, E. MATIN, cit., p. 245).

Risulta evidente perciò che la costellazione del Drago è, come nel caso delle altre costellazioni, il punto finale di un numero imprecisato di racconti mitologici. Questi, avendo a che fare con un mostro, sembrano avere sempre un medesimo filo conduttore: la lotta tra il drago, personificazione del caos, e un campione, sia esso un eroe o una divinità che riesce sempre ad ucciderlo.⁴⁸ Nel caso egizio,

⁴⁸ Il mito dell'uccisione di un drago o di un avversario dalle forme di rettile da parte di un eroe compare nelle tradizioni di quasi

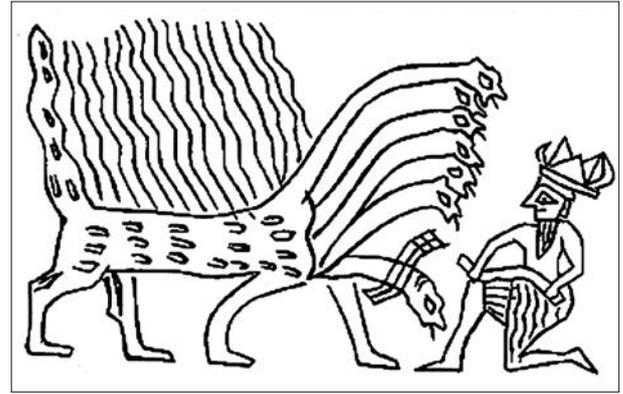


FIG. 6. Ninurta uccide il mostro *mušmahhu* (da: J. BLACK, A. GREEN, cit., p. 165).

invece, se la costellazione non partecipa fisicamente a un duello, diviene tuttavia il guardiano dello sconfitto.

Queste gesta sono state immortalate dagli antichi seguendo un procedimento che, oltre ad aver attraversato i confini della Terra, ha compiuto un medesimo percorso in cielo dove sembra che le differenze tra le diverse tradizioni siano state meno significative.

Nelle serate limpide, quando alziamo gli occhi al cielo per scrutare le stelle di cui ancora non conosciamo tutto e che ancora molto hanno da insegnarci, è forse il caso di pensare a quanto furono di ispirazione per molti sin dalle epoche più lontane e a tutto ciò che è stato concepito e trasmesso grazie a loro.

tutto il mondo e sempre rappresenta la vittoria simbolica dell'Ordine sulle forze del Caos. Il mostro simbolizzava infatti il caos della distruzione, la minaccia per la vita e per la proprietà e il racconto della sua sconfitta doveva essere regolarmente e ciclicamente narrato, accompagnandolo con i relativi riti, per prevenire il ritorno ad un'epoca in cui il Caos dominava. Proprio per questo, in molte tradizioni, il mito era associato all'inizio del nuovo anno, quando l'Ordine lentamente riprendeva forza, dopo che nella fine del vecchio anno le forze del Caos avevano prevalso. C. WATKINS, *How to kill a dragon, Aspects of Indo-European Poetics*, New York, Oxford University Press, 1995, pp. 299-300, mentre per un'ampia raccolta di miti sul drago J. FONTENROSE, *Python, a study of Delphic Myth and its Origins*, Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1959.

Stefano Buscherini è laureato in Matematica e in Lettere e Filosofia, corso di laurea in Storia indirizzo Orientale. Ha conseguito il dottorato di ricerca presso il Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali dell'Università di Bologna con una tesi sull'astronomia e sull'astrologia sasanide. Si interessa di matematica antica, approfondendo in particolare le sue applicazioni in ambito astronomico.

Un Gesuita contro tutti: astronomia e pensiero di Giovanni Battista Riccioli

Flavia Marcacci

Facoltà di Filosofia, Pontificia Università Lateranense, Roma

Introduzione

SE ancora l'astronomia del Seicento resta uno dei capitoli più affascinanti della storia della scienza, lo si deve alla complessità delle questioni che i suoi protagonisti si trovarono ad affrontare, questioni che ancora resistono a una piena comprensione. E se ancora la Rivoluzione scientifica attrae l'interesse di studiosi di ogni disciplina, lo si deve alle tante e diverse prospettive dalle quali può essere esaminata, tanto che sono infiniti gli stimoli che se ne possono trarre.

Recentemente, una certa attenzione della comunità scientifica sembra essersi destata intorno a una figura intrigante e per molti versi contraddittoria dell'astronomia del Seicento: si tratta di Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), gesuita ferrarese, che lavorò tra Bologna, Parma, Mantova, Piacenza, conosciuto come l'ultimo oppositore del copernicanesimo prima dell'avvento dell'opera di Isaac Newton (1642-1727). Su questo autore esisteva, fino a poco tempo fa, un'unica collettanea¹ che era riuscita a raccogliere la sfida di confrontarsi in maniera seria e profonda con la sua opera. Principalmente conosciuto come astronomo, capace di prodursi in raccolte enciclopediche di notevole erudizione come l'*Almagestum novum* (1651) e l'*Astronomia reformata* (1665),² nelle quali forniva doviziosi resoconti delle esperienze scientifiche, Riccioli si occupava anche di teologia, geografia, computo. La poliedricità del personaggio si può cogliere nel dotto latino, sfoggiato nelle sue monumentali opere, che non sempre costituisce una facile chiave di accesso al suo pensiero. Inoltre, il suo atteggiamento antigalileiano – che lo porta ad essere il primo a pubblicare in

Italia il testo integrale del decreto del 1633 del Sant'Uffizio con condanna e abiura di Galileo – nonché la sua scelta anticopernicana – che lo porta a elaborare una sua originale variante del sistema semigeocentrico di Tycho Brahe (1546-1601) – lo hanno a lungo destinato a restare in secondo piano, estromesso dal novero degli autori che negli ultimi decenni sono stati oggetto principale di interesse per tanti studiosi.

Questo non toglie che, a ben vedere, Riccioli goda di un ruolo strategico nel contesto della Rivoluzione scientifica: a lui si devono molte informazioni relative a ciò che gli astronomi praticavano realmente in quel periodo di transizione; è lui che viene citato da John Flamsteed (1646-1719), fondatore del Royal Greenwich Observatory,³ è lui a costituire un punto di riferimento indiscusso dell'astronomia ancora priva dell'analisi newtoniana di gravità, tanto che Christiaan Huygens (1629-1695) ambiva alla considerazione del gesuita;⁴ è lui a dare testimonianza viva della difficoltà concreta di passare rapidamente al sistema eliocentrico quando non si avevano ancora le prove fisiche del moto di rotazione e rivoluzione della Terra. Osservare la Rivoluzione scientifica appoggiandosi alla speculazione e alle sperimentazioni del gesuita ferrarese permette di notare aspetti meno usuali, o almeno non troppo esplorati nella ricezione canonica della nascita della Scienza moderna. Questo ruolo strategico è forse uno dei motivi per cui recentemente nuove ricerche si sono mosse intorno a lui: dapprima l'opera di Riccioli è stata valutata relativamente ai risultati strettamente astronomici,⁵ quindi è stato considerato in maniera più estesa il profilo biografico e intellettuale del gesuita.⁶ Resta da chiedersi se il ruolo strategico di Riccioli possa costituire anche un privilegiato osservatorio filosofico di un'epoca che non smetterà mai di affascinare. Se è così, oc-

¹ M. T. BORGATO, *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei Gesuiti nell'età barocca*, Firenze, Olschki, 2002.

² *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens: observationibus aliorum, et propriis novisque theorematibus, problematibus, ac tabulis promotam: in tres tomos distributam quorum argumentum sequens pagina explicabit*, 2 voll., ex Typographia Hæredis Victorij Benatij, Bononiæ 1651; *Astronomiæ reformatæ tomi duo, quorum prior observationes, hypotheses et fundamenta tabularum, posterior præcepta pro usu Tabularum Astronomicarum, et ipsas tabulas astronomicas 102 continet. Prioris tomi in decem libros divisi, argumenta pagina sequenti exponitur, ex typographia hæredis Victorij Benatij*, Bononiæ 1665. Tra le altre opere monumentali menzioniamo anche *Chronologiæ reformatæ et ad certas conclusiones reductæ*, 3 voll., ex Typographia hæredis dominici Barberij, Bononiæ 1669, e *Geographiæ et hydrographiæ reformatæ nuper recognitæ & auctæ libri duodecim*, ex Typographia Hæredis Victorij Benatij, Bononiæ 1661 (Venetiis, typis Ioannis LaNoù, 1672).

³ F. BAILY, *An Account of the Revd. John Flamsteed the first astronomer-royal ...*, Printed by order of the Lords Commissioners of the Admiralty, London 1835, p. 21.

⁴ A. DINIS, *A Jesuit against Galileo? The strange case of Giovanni Battista Riccioli Cosmology*, Axioma - Publicações da Faculdade de Filosofia Braga 2017, pp. 138-143 (se ne veda la recensione nella rubrica "Biblioteca" di questo stesso fascicolo del «Giornale di Astronomia»).

⁵ C. GRANAY, *Setting Aside All Authority. Giovanni Battista Riccioli and the Science against Copernicus in the Age of Galileo*, Notre Dame, University of Notre dame Press, 2015.

⁶ DINIS, *A Jesuit against Galileo?*, cit.

corre ammettere che i vari aspetti dell'opera di Riccioli sono accomunati da una prospettiva: l'andar contro molte opinioni e il cercare una via originale.⁷

Tre tappe dell'astronomia: prima di Copernico, prima del telescopio, prima di Newton

L'astronomia antica aveva nel corso dei secoli ricevuto così tante riconsiderazioni che Tolomeo era diventato un riferimento obbligato, sebbene emendato in molteplici modi. Le soluzioni trovate con le *Tavole alfonsine*, dovute al lavoro di Peurbach (1423-1461) e dell'allievo Regiomontano (Johannes Müller da Königsberg, 1436-1476), offrivano una buona sintesi tra il sistema tolemaico, basato sulla teoria degli epicicli fruibile in epoca medievale per mezzo della manualistica di Giovanni di Sacrobosco (1195 ca.-1256),⁸ e quello di Eudosso (408-355 a.C.) a carattere omocentrico. Le tavole permettevano di descrivere e prevedere le posizioni dei pianeti e delle stelle, sebbene sovente si rilevassero errori e scostamenti dal calcolo supposto. Questi errori venivano registrati e utilizzati per proporre nuove equazioni, basate sulla stessa geometria, ma con le determinazioni di epicicli, equanti e deferenti di differente lunghezza.

A fianco alle soluzioni tolemaiche, in astronomia erano conosciuti tentativi di tipo diverso, propensi a rendere mobile la Terra, sebbene in varie forme. Dall'ambiente greco erano noti i tentativi di Ecfanto di Siracusa e di Iceta (IV sec. a.C.), che non rinunciavano alla soluzione geocentrica ma rendevano la Terra rotante su se stessa; Iceta, per di più, faceva compiere a Venere e Mercurio un moto intorno al Sole. Si avvinava alla soluzione di Iceta anche quella di Eraclide (IV sec. a.C.). Ben nota è invece la soluzione antigocentrica del pitagorico Filolao (470-390 a.C.): un sistema di dieci corpi celesti (Terra, Antiterra, Luna, Sole, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno e Stelle fisse) ruota intorno a un grande fuoco centrale (*hestia*). Dall'ambiente greco fu Aristarco di Samo (IV-III sec. a.C.) a godere di maggior fama, adottando un sistema eliocentrico ed eliostatico nel quale la Terra si connota di un moto di rotazione e uno di rivoluzione intorno al Sole. Infine, anche Seleuco di Seleucia (II sec. a.C.) si rifece a questo sistema, integrandolo con una teoria delle maree.⁹

⁷ Mi permetto di rimandare a F. MARCACCI, *Cieli in contraddizione. Giovanni Battista Riccioli e il terzo sistema del mondo*, Modena-Perugia 2018.

⁸ *Sphaera Ioannis de Sacro Bosco emendata. Cum additionibus in margine, et indice rerum et locorum memorabilium, et familiarissimis scholijs, nunc recenter compertis et collectis a Francisco Iunctino...*, apud hæredes Iacobi Iunctæ, Lugduni 1564.

⁹ In merito a questi temi la letteratura è davvero abbondante. Mi limito a menzionare il classico J. L. E. DREYER, *Storia dell'astronomia da Talete a Keplero*, traduzione di L. Sosio, Bologna, Odoya, 2016 (1970) e il testo più tecnico di J. EVANS, *The History and Practise of Ancient Astronomy*, New York, Oxford University Press, 1998.

Venendo al mondo medievale, si aggiunge qualche elemento descrittivo alla cosmologia antica. Soprattutto in epoca altomedievale, nel momento in cui le fonti greche vengono disperse e il testo che si impone come riferimento (anche scientifico) è la Bibbia, rintracciamo qualche ipotesi intorno al mondo nei commenti dei Padri della Chiesa all'*Esamerone*.¹⁰ Tra questi troviamo tracce in Aurelio Ambrogio di Milano (339/349-397) e in Cosma Indocopleuste (Costantino di Antiochia, IV sec.), per i quali la Terra è posta nel punto più basso dell'Universo mentre i pianeti si muovono al di sopra di essa, liberi e svincolati dalle sfere. Sul finire del Basso Medioevo, invece, Niccolò Cusano (1401-1464) ipotizza una Terra decentrata rispetto all'Universo, che a sua volta è infinito, fino a Celio Calcagnini (1479-1541), che suppone la rotazione diurna della Terra e la sua oscillazione, movimenti ai quali si deve l'apparente moto delle stelle.

Nel momento in cui Niccolò Copernico (1473-1543) pubblica il suo *De Revolutionibus orbium coelestium* (Norimberga 1543), queste ipotesi alternative escono dal limbo delle idee poco praticabili e trovano un valido e significativo rappresentante. Pur non costituendo affatto una sintesi delle antiche proposte cosmologiche sopra elencate, il sistema copernicano è di fatto il primo modello che, dopo Aristarco, pone in maniera importante l'ipotesi eliocentrica al pari di quella geocentrica. A conferire autorevolezza a questa ipotesi è la serietà deduttiva della sua articolazione che, da principi usuali alla tradizione classica quali quello delle sfere circolari e da un approccio trigonometrico, giunge a costruire una nuova geometria delle sfere celesti. Pur considerandolo alla stregua di un'ipotesi geometrica, gli astronomi lo recepiscono in maniera considerevole. Copernico aveva già offerto molti spunti nel *Commentariolus*, ma ancor più ora la geometria espressa poteva essere un'alternativa vera. Se tale sistema fosse poi capace di risolvere i problemi manifestati nei secoli dal sistema geocentrico, era tutto da verificare. Ci pensò così Erasmo Reinhold (1511-1553), producendo le *Tabulae prutenicae*, finanziate dal duca Alberto I di Prussia e che dal 1551 rappresentarono un'alternativa alle tavole alfonsine.

Un sistema contro l'altro, tavole osservative contro tavole osservative. Lo scontro, però, non doveva essere ancora troppo verecondo, se è vero che in qualche luogo si impartivano corsi universitari di astronomia tolemaica e copernicana.¹¹ Lo scenario

¹⁰ In particolare si può rimandare a CLEMENTE ALESSANDRINO, *Stromati. Note di vera filosofia*, a cura di G. Pini, Edizioni Paoline, Milano 1985; ORIGENE, *Omèlie sulla Genesi*, a cura di M. I. Danielli, Roma, Città Nuova, 1978; BASILIO DI CESAREA, *Sulla Genesi (Omèlie sull'Esamerone)*, a cura di M. Naldini, Fondazione Lorenzo Valla - A. Mondadori, xxx 1990; AMBROGIO, *Esamerone*, a cura di G. Banterle, Roma, Città Nuova, 1979; inoltre cfr. DREYER, *Storia dell'astronomia...*, cit., 1970, pp. 189-218.

¹¹ Un esempio della pacifica coesistenza di diverse astronomie è l'Università di Salamanca, dove dal 1561 venivano impartiti corsi di matematica riguardanti Euclide, Tolomeo o Copernico, a se-

si anima ulteriormente quando inizia a circolare il sistema semigeocentrico elaborato dal danese Tycho Brahe (1546-1601). Si crea l'attitudine a pubblicare lavori che mettano a diretto confronto la cosmologia tolemaica, copernicana e tichonica. Non mancano anche ulteriori soluzioni, che riprendono i cosiddetti sistemi egiziano e omocentrico, a sottolineare l'estrema indecisione della comunità degli astronomi. Abbastanza rapidamente, dopo le osservazioni celesti, si abbandonò nella pratica astronomica il sistema tolemaico, e molta attività scientifica pratica andò a rifarsi alle soluzioni di Tycho. Non si trattava ovviamente di una indecisione simulata, ma reale. Dovendo mettere in conto vantaggi e svantaggi dell'uno e dell'altro sistema, gli astronomi andavano a cercare le migliori soluzioni per i due maggiori problemi:

- la cosiddetta *inaequalitas soluta*, ovvero l'incongruenza che derivava dalla variabile velocità del pianeta lungo il suo moto in longitudine, detta "*soluta*" perché sciolta dal riferimento al moto sinodico;
- la cosiddetta *inaequalitas alligata*, determinata in base al moto di rivoluzione sinodica del pianeta e relativa alle incongruenze della traiettoria, in alcuni tratti simile alla forma di un fiocco.

Il sistema di Copernico riusciva a dare valide spiegazioni ad alcuni fenomeni o a risolvere alcuni problemi: la forma sferica della Terra; il movimento di stelle, Sole e pianeti come derivanti dal moto di rotazione della Terra; la *inaequalitas alligata* dei pianeti inferiori, in quanto Mercurio e Venere sono più vicini al Sole piuttosto che alla Terra; la *inaequalitas alligata* dei pianeti superiori, causata dal passaggio della Terra davanti agli stessi. Per essere pienamente accettabile, però, il sistema copernicano aveva bisogno del concetto di gravità e di introdurre, per uniformità con la Terra, la rotazione di ogni pianeta su se stesso; inoltre necessitava dell'osservazione della parallasse stellare. Servivano, cioè, Newton (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687) prima e Wilhelm Bessel poi (determinazione della parallasse stellare, 1838). Inoltre, il sistema di Copernico non riusciva a spiegare pienamente la *inaequalitas soluta* e la dimensione relativa delle orbite dei pianeti, come anche non spiegava perché Mercurio e Venere tornassero talvolta più vicini alla Terra. Non era neanche troppo esauriente circa il moto del Sole e della Luna.¹²

Proprio su quest'ultima, Tycho Brahe aveva invece prodotto un ingente quantitativo di osservazioni, che forniva molte informazioni sulle cinque rivoluzioni del satellite: la rivoluzione tropica intorno alla Terra, calcolata in base al ritorno nella stessa

longitudine; la rivoluzione siderale, calcolata in base al ritorno della Luna rispetto a qualche stella; la rivoluzione sinodica, determinata in base alla congiunzione con il Sole e causa delle fasi lunari; la rivoluzione anomalistica rispetto all'apogeo dell'orbita, causa di molte inuguaglianze; infine, la rivoluzione dei nodi, determinata rispetto a uno dei nodi orbitali. Tycho era riuscito a individuare anche l'anomalia di variazione, ovvero il fatto che la Luna, nel passare dalle quadrature alle sizigie, era più accelerata del previsto, mentre nel passare dalle sizigie alle quadrature era decelerata. Tycho individuò anche l'anomalia dell'equazione annuale del Sole, ovvero un'irregolarità che dipende dalla rivoluzione annuale (o anomalistica) del Sole. Solo dopo aver studiato e verificato le altre anomalie si vede che quando il Sole è al suo apogeo la Luna va più veloce, e che quando è al suo perigeo la Luna va più lenta.¹³

Famoso astronomo e osservatore di vaglia, Tycho non era diventato copernicano. Sia per i limiti del sistema sopra detti, sia per altri dettagli che non lo convincevano: ad esempio, una mancata spiegazione della dimensione dell'orbita di Saturno e delle stelle fisse, la valutazione eccessiva della dimensione dei diametri stellari, un'insufficiente giustificazione per il triplice moto della Terra e, probabilmente, la difficoltà di rendere il sistema copernicano compatibile con la Scrittura. Avere un astronomo importante come Tycho che non si faceva seguace di Copernico costituiva un deterrente per molti astronomi e li portava a essere cauti. La mancanza di prove empiriche come la parallasse e di principi esplicitativi forti come la gravità portò l'astronomia del Seicento a un momento di indecisione profonda, al punto che potremmo periodizzare quest'epoca in tre fasi fondamentali negli sviluppi della rivoluzione astronomica: una fase antica e precopernicana che dai Greci termina con Copernico; una fase che dura da Copernico alle osservazioni telescopiche, durante la quale vengono formulate anche la soluzione semigeocentrica e sue varianti; una fase che va dall'introduzione del telescopio alla fisica di Newton, con la quale si pone fine alla ricerca di principi che giustificino la preferenza per il sistema eliocentrico (sebbene non ponga fine alla ricerca delle prove fisiche). Come ricorda la *Prefatio ad lectorem* dell'*Almagestum novum* (I vol.) di Riccioli, la necessità di apportare correzione alle antiche tavole era aggravata dal bisogno civile di attenersi a un calendario realistico, in grado di risolvere la sfasatura tra divisione dei giorni e tempo astronomico. Se a sistemare le sfasature ci pensò la riforma di papa Gregorio XII nel 1582, restavano da calcolare le posizioni celesti in modo conforme ai dati calendrici. Dopo le proposte di Tycho e la produzione delle tavole a lui ispirate, cal-

conda delle preferenze dello studente. M. F. ÁLVAREZ, *Copérnico y su huella en la Salamanca del barroco*, Salamanca, Universidad de Salamanca, 1974.

¹² Cfr. R. SMALL, *An Account of the Astronomical Discoveries of Kepler*, Madison, University of Wisconsin Press, 1804 (reprinting 1963), pp. 81-125.

¹³ Questa variazione era massima all'ottante (= 45° dall'altra sigizie): Brahe la fissò a circa 40'30"; cfr. SMALL, *An account*, cit., p. 17-18 e pp. 126-144.

colate da Johannes Kepler (1571-1630) e pubblicate nel 1627 grazie all'imperatore Rodolfo II, sono pubblicate opere nelle quali i sistemi del mondo vengono messi sistematicamente a confronto:¹⁴ Giovanni Magini (1555-1617) pensò a esaminare e migliorare le tavole alfonsine e le pruteniche, senza tralasciare di confrontarsi con quelle tyconiche e copernicane; Nicolaus Mulerius (1564-1630) predispose tavole del Sole e della Luna mediante i calcoli di Tolomeo, di Alfonso, Copernico e Tycho; Vincenzo Reinerus¹⁵ raccolse in un solo volume i metodi secondo le tavole alfonsine, pruteniche, daniche, di Lansbergus e rudolfine; Ismael Buolliu (1605-1691) fece una enorme raccolta equiparando i vari sistemi.¹⁶ In generale, su tale confronto tutti gli astronomi dovettero avventurarsi per un po', considerando anche le nuove osservazioni celesti, dai satelliti di Giove alle macchie solari.

Concentrarsi sul periodo di transizione tra Galileo e Newton consente di cogliere il ruolo di Riccioli come rappresentante di una scienza in transizione che si poneva davvero problemi nuovi, che non voleva necessariamente o solo rifugiarsi nell'antico e che non si può comprendere se non si entra nei dettami tecnici della scienza dell'epoca.

Il mondo di Riccioli: intermedio e contro tutti

Con queste premesse, deve far riflettere che la copertina del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) non contenga alcun riferimento a Tycho Brahe, proprio nel momento in cui la sua astronomia semigeocentrica stava convincendo molti. Probabilmente, Galileo continuava a vederlo come un prodotto della vecchia astronomia, fatta a occhio nudo e senza telescopio. In questo senso il *Dialogo* diventava un confronto tra due nette concezioni del cosmo.

Proprio per questo occorre mettere alla prova il sistema di Tycho con il telescopio, cosa a cui provvede Riccioli. Il suo programma è dichiarato nell'articolo VII della *Praefatio ad lectorem*:¹⁷ collezionare in un'unica opera tutti gli argomenti astronomici conosciuti, evitando ai confratelli dell'Ordine di di-

spandersi tra mille libri, dove tutti sembrano aver ragione e presentano le questioni astronomiche come definitivamente dimostrate, ciascuno a suo modo, senza aver premesso un discernimento e un esame appropriato («... *nullo delectu aut examine praemisso*»);¹⁸ si prefigge quindi di dipanare tale diatriba, tenendo in conto le indicazioni della Scrittura e la necessità di non contraddirla, viste le posizioni della Chiesa rispetto alla dottrina copernicana. Si dà quindi esposizione dell'organizzazione dell'opera: al primo tomo, in due parti, si dedicherà la sezione relativa alla matematica e alle misurazioni di specifiche questioni astronomiche, lasciando al tomo terzo le ipotesi "assolute" (*hypotheses absolutas*), ovvero le sue personali tavole astronomiche, ottenute partendo dai calcoli tyconici messi "sotto torchio" e resi più certi («*postquam observationes Tyconicae, quas audio sub praelo sudare, & aliorum ad meas manus peruenerint, & nostrae plures ac certiores euaserint*»).

Il prodotto del "torchio" di Riccioli in *Almagestum novum* è un sistema del mondo dove il Sole, la Luna e i cinque pianeti "minori"¹⁹ ruotano intorno alla Terra, tranne Mercurio, Venere e Marte che sono satelliti del Sole. Il comportamento dei pianeti Giove e Saturno è uno degli elementi che distanzia il sistema del gesuita da quello di Tycho. Per ottenerlo si deve avviare un controllo doizioso e integrale di tutti i problemi astronomici e delle risoluzioni numeriche proposte (TAB. 1). Per farlo viene dapprima stipulata un'unità di misura, dopo aver valutato, nel corso del I libro, i contenuti matematici necessari all'astronomia in relazione con la geografia e sottolineato la corrispondenza tra meridiani terrestri e meridiani celesti. Da tale corrispondenza è possibile ottenere, mediante il ricorso a orologi solari e strumentazioni astronomiche, il rapporto tra il diametro del cielo e quello della Terra.²⁰ Riccioli offre una soluzione sintetica, che rimanda a tutti i numerosi passaggi dell'*almagesto* nei quali vengono forniti i metodi e le misurazioni di singole questioni. Un prototipo di unità di misura viene espressamente fornito in una didascalia,²¹ della quale però non è possibile fidarsi, a causa della corruzione degli esemplari cartacei causata dall'umidità e altro genere di alterazioni. Occorre procedere per via indiretta, deducendo l'unità di misura di Riccioli dal confronto tra le numerose tavole con le quali viene corredato l'*Almagesto*. Si ottiene così che Riccioli si rifaceva al piede romano per ottenere la lunghezza del piede bolognese (circa 30,8 cm), più lungo dell'omonimo piede usato da altri contemporanei (pari a 29,57 cm). In questo modo il valore del semidiametro terrestre, particolarmente importante perché costituisce

¹⁴ Cfr. F. MARCACCI, *From the sky to maps: observation and theory of the heavens between the 16th and the 18th century (Dal cielo alle carte: osservazione e teoria del cielo tra XVI e XVIII secolo)*, in F. Marcacci (ed.), *Magna longeque ad mirabilia. Astronomia e cosmologia nel fondo antico della Biblioteca Beato Pio IX*, Modena-Città del Vaticano, F.C. Panini-Lateran University Press, 2009, pp. 24-52.

¹⁵ Riccioli cita varie volte nell'*Almagestum novum* tale Vincenzo Reinerus, ma non ne riporta informazioni nel *Chronicon* collocato all'inizio del primo volume (pp. xxviii-xxlvii) che dovrebbe essere stato allievo di Galileo e docente di matematica a Pisa (cfr. [C.G.F.], *Geschichte Der Astronomie bis zum Ende des 17ten Jahrhunderts*, Hofmann & Fiedler, Chemnitz 1792, pp. 404-405) e che era in corrispondenza con Riccioli (A. KIRCHER, *Iter exstaticum coeleste, quo Mundi opificium, id est, Coelestis Expansi ...*, Wolfgangi junioris haeredum, Prostat Norimbergae apud eossem 1671 p. 262).

¹⁶ RICCIOLI, *Almagestum novum*, cit. (da ora in poi AN, indicando a seguire il numero del libro), *Praefatio ad lectorem*, p. xii.

¹⁷ RICCIOLI, AN, *Praefatio*, vol. I, p. xviii.

¹⁸ *Ibidem*. In particolare vengono citate la disputa sulle comete e quella sull'immobilità della Terra (pp. xviii-xix).

¹⁹ Riccioli indica come pianeti "minori" Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno perché sono meno appariscenti e perché hanno meno influenza astrologica. Cfr. RICCIOLI, AN, I, pp. 36-37 e VII, pp. 480-483.

²⁰ Cfr. RICCIOLI, AN, II, p. 57.

²¹ Ivi, p. 58.

<i>Argumentum</i>	<i>Locum (liber, sectio, caput; pagina)</i>
<i>Systema nostrum</i>	l. III, c. VI; p. 103; l. IX, s. III, c. IX; p. 288-289
Pianeti superiori	l. VII, s. II, c. VI; p. 535-541
Equazione del moto dei pianeti	l. VII, s. II, c. XII; p. 559
Pianeti inferiori	l. VII, s. III; p. 561-567, 593-595; l. VII, s. IV, c. VII; p. 630-631
Dimensione della Terra	l. II, c. VII; p. 62-63
Posizione della Terra	l. II, c. II; p. 49; l. IX, s. III, c. II-VIII; p. 276-288
Moti della Terra	l. III, c. III; p. 51-52
Metodo per calcolare l'eccentricità e l'apogeo dell'orbita del Sole	l. III, c. XXIV; p. 153 ss.
Parallassi del Sole	l. III, c. VIII; p. 112-114
Moto medio del Sole	l. III, c. XVII; p. 140
Precessione degli equinozi	l. III, c. XXVIII; p. 167-168
Distinzione tra il Primo Mobile e la sfera delle Stelle fisse	l. IX, s. II, c. 3; p. 254
Selenografia	l. IV, c. VII, p. 203-205
Teoria della Luna	l. IV, c. XII; p. 218
Orbite planetarie a spirale	l. VII, c. VI; p. 535-541; l. VII, c. VII; p. 541-542

TAB. 1. I contenuti principali di *Almagestum novum*.

l'unità di misura astronomica in relazione alla quale dare tutte le distanze celesti, equivale a 6374 km, ovvero 4139 miglia bolognesi di Riccioli.²²

Il gesuita sa che, senza una precisa misura di parallassi stellare, non è possibile avere una stima valida del diametro dell'Universo. Desume quindi la distanza delle stelle fisse dalla Terra mediante vari metodi. In particolare, usa la triangolazione Terra-Sole-Saturno, per procurarsi una distanza minimale delle stelle fisse dalla Terra, che può oscillare tra i 100.000 e i 200.000 semidiametri terrestri. Riccioli evita di azzardare la distanza massima, come facevano gli altri astronomi, in quanto «*Maxima verò incerta*».²³ Si profila dunque un cosmo alquanto grande, superato in questo calcolo da quello di A. M. Schyrleus de Rheita (1597-1660) che fissava la distanza minima delle stelle fisse a 20.000.000, senza fissare una massima, e da Copernico che dava una distanza indefinita.²⁴

Non potendo dar conto in questa sede dell'abbondanza delle questioni affrontate da Riccioli, occorre limitarsi a fornire un rapido resoconto di alcune delle principali, con la speranza di illustrare quanto profondo fosse il confronto con i problemi

del tempo e in che modo gli argomenti usati dai copernicani venivano reinterpretati a vantaggio di un sistema semigeocentrico.

Le soluzioni di Riccioli ad alcuni problemi particolari

Le fasi di Venere e Mercurio furono osservate ripetutamente dal gesuita. Utilizzando anche i risultati di Christopher Scheiner (1573-1650), Galileo Galilei (1564-1642), Martin van den Hove (Hortensius, 1605-1639), Francesco Fontana (1585-1656) e Giovanni Battista Zupi (1590-1650), veniva stabilito con sicurezza che il moto dei pianeti inferiori è intorno al Sole, ricordando che questo è possibile anche in un sistema semigeocentrico.²⁵ Altrettanto si potrebbe dire per i satelliti di Giove, dei quali viene rendicontato il moto e spiegata accuratamente la geometria che produce i temporanei occultamenti (FIG. 1). Riccioli segue i dati forniti da Simon Mayer (Simon Marius, 1573-1624), l'astronomo tedesco che si era proclamato vero primo scopritore dei satelliti gioviani, titolo che non viene menzionato nell'*Almagestum novum* poiché si indica Galileo per tale ruolo. Rispetto a Marius, che ricorreva a stazioni e digressioni, qui si adopera un metodo di calcolo basato sul dimezzamento del periodo intercorso tra l'inizio di due con-

²² Per i dettagli inerenti questa misurazione, mi permetto di rimandare a MARCACCI, *Cieli in contraddizione*, cit., pp. 94-108. Per la misura ottenuta mediante i pendoli usati da Riccioli, cfr. M.T. BORGATO, *Riccioli e la caduta dei gravi*, in BORGATO, *Giovanni Battista Riccioli e il merito scientifico ...*, cit., 2002, pp. 79-118.

²³ RICCIOLI, AN, VI, p. 419.

²⁴ *Ibidem*.

²⁵ RICCIOLI, AN, VII, pp. 484-485. Cfr. MARCACCI, *Cieli in contraddizione*, cit., pp. 113-119; DINIS, *A Jesuit against Galileo?*, cit., pp. 128-131.

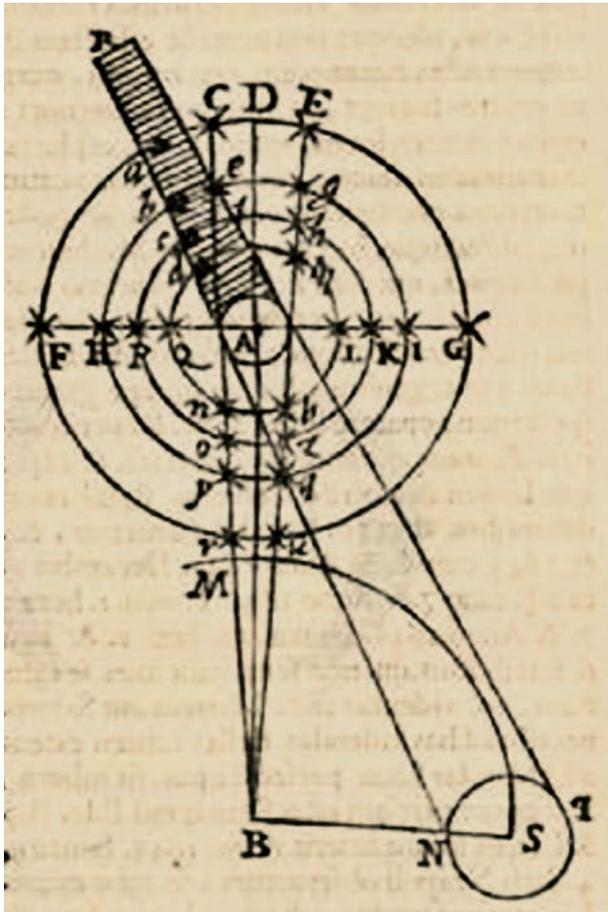


FIG. 1. I satelliti di Giove in *Almagestum novum*, VII, 490.

giunzioni o occultazioni successive, come faceva anche Scheiner. La conclusione è che tali dati si possono ancora accordare con un sistema semigeocentrico.

Ben noti sono gli esperimenti di Riccioli sul moto in caduta libera, principalmente effettuati alla Torre degli Asinelli a Bologna, che trovano un ampio resoconto proprio nel libro IX dell'*Almagestum*. Viene dimostrata che è erronea la legge di Aristotele che lega proporzionalmente la velocità di caduta del grave al suo peso: non viene infatti mai registrato che, nei medesimi intervalli di tempo, un grave doppio o triplo percorresse uno spazio doppio o triplo. Al contrario, i gravi cadono con un movimento *uniformiter difformis*, rispettando la legge dell'accelerazione di Galileo. Viene ottenuta la misura migliore dello spazio di caduta nel primo secondo di tempo in caduta libera, misura perfezionata solo da Huygens, pari a 4,62 metri. Questi esperimenti non servirono a Riccioli per confermare la concezione del moto di Galileo, del quale non capisce la legge di composizione dei moti e rigetta l'idea del moto inerziale su traiettoria circolare.²⁶ Il moto di un gra-

²⁶ Su questo è bene rimandare a RICCIOLI, *Argomento fisicomatematico del Gio. Battista Riccioli... contro il moto diurno della Terra confermato di nuovo con l'occasione della Risposta alle considerazioni sopra la forza del detto argomento etc. fatte dal M. R. Fr. Stefano de gli Angeli...*, per Emilio Maria, e fratelli de' Manolessi, in Bologna 1668.

ve in caduta libera da una torre percorre una traiettoria spezzata, giustificabile solo se la Terra sta ferma. Se infatti la Terra si muovesse, la traiettoria circolare percorsa dalla cima della Torre e quella del grave rispetto alla componente orizzontale parallela al suolo dovrebbero essere percorse nella stessa velocità, essendo i medesimi lo spazio e il tempo di percorrenza. Invece, dice Riccioli, la percossa che si registra da corpi in caduta da distanze maggiori è realmente maggiore. Pertanto, l'accelerazione è un fatto reale e per spiegarla serve l'immobilità della Terra.²⁷

Anche le macchie solari sono ammesse come alterazione della sostanza del corpo celeste, così similmente le comete e la Luna hanno natura equiparabile alla natura terrestre. In riferimento al Sole, è avvalorato il suo ruolo rispetto agli altri pianeti. Viene accolta la posizione di Kepler, che sostiene che questo corpo celeste "porta in giro i pianeti", ma si prendono le distanze dall'idea che sia il Sole a "produrre le forme" che determinano le sostanze sublunari, come ad esempio la forma dei feti negli uteri. Il Sole ha un ruolo fondamentale nella dinamica del sistema planetario, come si vede anche dalla sua capacità di trasferire calore e luce.²⁸ La causa del moto deve però essere intrinseca (*ab intrinseco*) ad ogni pianeta, che grazie a questa viene messo in movimento.

Della Luna sono note le mappe contenute nell'*Almagestum novum* e realizzate da Francesco M. Grimaldi (1618-1663) con la nomenclatura tutt'oggi utilizzata. Johannes Hevelius (1611-1687) si irretì, contrariato dal vedere che i suoi risultati selenografici non fossero tenuti in considerazione.²⁹ Anche sulla questione delle comete Riccioli manifestò il suo carattere: se infatti scientificamente muove sempre da analisi puntuali e organiche, non esita a gettare discredito sulle osservazioni di Tycho Brahe, la cui fama ancora superava la sua. Altrettanto fa quando prende le distanze da Kepler. Del primo corregge i valori di parallasse,³⁰ del secondo contrasta l'idea che il moto delle comete fosse legato a quello della Terra. La materia corporea delle comete, dunque non mera apparenza, riguarda anche la loro coda: effetti come la rifrazione causano l'apparente ingrandimento che le fa recepire particolarmente estese. Inoltre, in esse la distribuzione della materia è asimmetrica, poiché in questo modo la parte con densità maggiore è attratta dal Sole più facilmente.

²⁷ Cfr. BORGATO, *Riccioli e la caduta dei gravi*, cit.; P. GALLUZZI, *Galileo contro Copernico. Il dibattito sulla prova "galileiana" di G. B. Riccioli contro il moto della Terra*, in «Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze» 2 (1977), pp. 87-148; E. M. DI TEODORO, R. BEDOGNI, F. BÒNOLI, *I primi esperimenti sulla caduta dei gravi: Galileo e Riccioli*, «Giornale di Astronomia» 36(3) (2010), pp. 32-40; C. GRANNEY, *Setting Aside All Authority*, cit., pp. 87-101.

²⁸ Cfr. MARCACCI, *Cieli in contraddizione*, cit., pp. 159-170.

²⁹ DINIS, *A Jesuit against Galileo?*, cit., pp. 80.

³⁰ In particolare, sfruttando il metodo di Grimaldi di effettuare l'osservazione da due punti diversi di osservazione (RICCIOLI, AN, VIII, p. 163).

La nostra misura in semidiametri della Terra e parti di raggio			
	Pianeta	Orbita equivalente a 100.000 volte il numero di raggi:	Unità semidiametro della Terra
Semidiametro del cerchietto dell'anomalia dell'eccentricità BI	G	700	511
	F	430	157
	E	1.365	150
Diametro del cerchietto predetto, BZ	G	1.400	1.022
	F	860	314
	E	2.730	300
Eccentricità minima dal Centro del mondo, AZ	G	10.800	7.884
	F	9.100	3.321
	E	17.270	1.900
Eccentricità media, AI	G	11.500	8.395
	F	9.530	3.478
	E	18.635	2.050
Eccentricità massima, AB	G	12.200	8.906
	F	9.960	3.635
	E	20.000	2.200
Semidiametro dell'epiciclo minimo, DL	G	10.100	7.373
	F	18.460	6.738
	E	61.157	6.727
Semidiametro dell'epiciclo medio	G	10.700	7.811
	F	19.390	7.077
	E	66.057	7.266
Semidiametro dell'epiciclo massimo, CG	G	11.300	8.249
	F	20.320	7.417
	E	70.957	7.805
Differenza tra i semidiametri dell'epiciclo medio e massimo	G	600	438
	F	930	339
	E	4.900	539

Tab. 2. Parametri per la geometria a epicepiciclo relativa ai pianeti superiori (RICCIOLI, AN, VII, 539).

Regola 3. Distanza massima dal Sole		Se l'apogeo del Sole e del pianeta concorrono	Se l'apogeo del Sole e del pianeta non concorrono
Se il centro dell'epiciclo è nell'apogeo dell'eccentrico	N	semidiametro massimo dell'epiciclo + (eccentricità totale - eccentricità del Sole)	semidiametro massimo dell'epiciclo + (eccentricità totale del Sole + eccentricità totale del pianeta)
	C	semidiametro minimo dell'epiciclo + (eccentricità totale - eccentricità del Sole)	semidiametro minimo dell'epiciclo + (eccentricità totale del Sole + eccentricità totale del pianeta)
Se il centro dell'epiciclo è nel perigeo dell'eccentrico	N	semidiametro minimo dell'epiciclo	semidiametro minimo dell'epiciclo + (eccentricità totale + eccentricità totale del Sole)
	C	semidiametro minimo dell'epiciclo + (semidiametro minimo dell'epiciclo - eccentricità totale del Sole)	semidiametro minimo dell'epiciclo + (eccentricità minima + eccentricità totale del Sole)

Tab. 3. Regola per il calcolo della distanza massima dal Sole per Mercurio e Venere (RICCIOLI, AN, VII, 685-686).

blema della *inaequalitas soluta* che della *inaequalitas alligata*, e per questo capace di soddisfare piena-

mente i bisogni di chi faceva astronomia di professione.

Un filosofo, non solo un astronomo

Affinché il sistema del mondo proposto potesse essere accettato, serviva a Riccioli di stabilire con chiarezza metodi e misurazioni comprensibili e utilizzabili a chi esercitava quotidianamente l'attività di astronomo. Serviva però anche un sostrato filosofico e metafisico, irrorato da concetti capaci di descrivere la dimensione ontologica degli oggetti che popolavano il cielo di quel sistema. Non era sufficiente criticare Aristotele, poiché serviva un'alternativa convincente. Nel momento in cui non esisteva più una materia celeste distinta da quella terrestre, diventava importante giustificare perché il mondo sarebbe stato composto degli stessi elementi o, almeno, dimostrare che l'ipotesi dell'alterità tra le due sostanze fosse sostenibile tanto quanto l'ipotesi opposta. Come in materia astronomica, anche in ambito filosofico il gesuita si prodiga nel disporre una sintesi delle trascorse e recenti filosofie. Al di là dell'ampiezza delle riflessioni prodotte, alcuni rilievi meritano di essere rimarcati.

La vulnerabilità del cielo, attestata ampiamente dal telescopio e dalla dimostrazione delle asperità del territorio lunare e delle macchie solari, come anche dalla comparsa di nuove stelle e dal passaggio delle comete, poneva il problema della mutabilità delle leggi della natura e della razionalità della natura. A tale scopo occorreva pattuire un compromesso speculativo tra la dimensione ontologica dei cieli e la conoscenza che di essi se ne poteva avere.³⁷ Le valutazioni vengono così svolte esaminando sempre una tesi filosofica e la sua opposta: ad esempio, se la Luna sia fatta di materia semplice o, al contrario, degli elementi che compongono anche la Terra, magari in una qualche differente composizione. Laddove non può esserci una verifica diretta, occorre procedere per pure supposizioni, cercando di scegliere, alla fine, il tragitto concettuale che porta a una giustificazione apparentemente più solida. L'evidenza dei dati di osservazione diretta è in assoluto l'elemento che non si può eludere; al contrario, ogni ipotesi avanzata deve passare alla prova dei fatti. Se è imponderabile valutare quale sia la vera natura del cielo delle stelle fisse, è un fatto che alcune stelle – le fisse, appunto – siano tra loro in rapporti spaziali costanti. La materia che compone il cielo in cui sono collocate, dunque, dovrà tenere conto di questo dato. Nello specifico, Riccioli propende a ipotizzare una materia solida, probabilmente ghiaccio, che consenta di mantenere le distanze, al di sotto della quale tutto il resto sia fluido. D'altra parte, però, si tratta di una idea inverificabile, che attiene, secondo Riccioli, più alla filosofia che all'astronomia in senso stretto.

Analogo ragionamento viene svolto in merito alla possibilità di un Primo motore. Poiché la causa

³⁷ Cfr. F. MARCACCI, *Natura e moto dei cieli visibili secondo Giovanni Battista Riccioli. Analisi di Almagestum Novum*, vol. II, lib. IX, sect. I e II, «Rivista di filosofia neoscolastica» 1-2 (2018), pp. 301-321.

del moto deve essere intrinseca ai pianeti e ai cieli, diventa alquanto superflua l'ipotesi di un motore che stia dietro a tutto. La ragione del moto deve essere nelle cose stesse e non altrove. Ovviamente la necessità di giustificarne l'origine è lecita, ma dal punto di vista della pratica astronomica si può soltanto descrivere quanto accade e individuare una legge geometrica che risponda alle anomalie di volta in volta osservate. Più che risalire tecnicamente a un primo moto, è meglio approfondire i concetti che ci consentano di comprenderlo, anche nella consapevolezza che non potremo mai arrivare alla conoscenza esaustiva e definitiva. Questo modo di affrontare i problemi rende servizio a un'utile separazione tra astronomia e filosofia: non tanto per separarne gli ambiti e rendere le discipline autonome, quanto piuttosto per essere sicuri di porre le questioni sul piano giusto, evitare inutili speculazioni e trovare risposte adeguate. Queste ultime devono molto spesso accontentarsi di soddisfare una sorta di principio di ragion sufficiente, abbracciando una visione probabilistica della conoscenza.³⁸

In questo modo, Riccioli indaga anche la dimensione teologica dei temi sollevati.³⁹ In particolare, il problema della mutabilità dei cieli contiene un affaccio metafisico che induce direttamente la domanda su chi possa aver creato cieli corruttibili. L'immagine di un Dio creatore che pose un mondo perfetto sembra farsi lontana. A meno che non si avvii un processo di adeguamento di tale idea alle nuove ipotesi celesti. Nulla vieta infatti – e siamo qui a uno dei risultati speculativi più originali di Riccioli – che il mondo sia stato creato incorruttibile nella sua totalità, ma corruttibile localmente e dunque anche il cielo. Se il cielo è composto di elementi simili a quelli della Terra e se c'è mutamento sulla Terra, perché mai non dovrebbe essercene anche in cielo? Ciò che non va messo in dubbio – perché sia le Scritture che la tradizione magisteriale e dei padri della Chiesa sono chiari – è che Dio creò il mondo nella sua totalità. Così, analogamente, è quasi ridicolo credere nell'esistenza di Intelligenze celesti predisposte al moto dei cieli, sia per i motivi sopra detti, sia perché se fossero angeli a muovere le ruote celesti probabilmente eviterebbero giri tanto involuti.⁴⁰

Conclusioni: un Gesuita contro tutti

Tycho, Galileo, Kepler, Chiaramonti, Scheiner, Mayer, Fontana, Hevelius e molti altri sono astronomi

³⁸ Cfr. F. MARCACCI, *Stile argomentativo e dimostrazioni probabilistiche. Considerazioni intorno all'epistemologia di Giovanni Battista Riccioli*, «Physis. Rivista internazionale di Storia della Scienza» 51 (Nuova serie) (1-2) (2016), pp. 357-368.

³⁹ Riccioli insegnò molti anni teologia, producendosi in scritti per via dei quali ebbe talvolta problemi di censura. Su questo A. POPPI, *Il problema teologico delle distinzioni*, in BORGATO, *Giovanni Battista Riccioli e il merito scientifico...*, cit., pp. 197-212.

⁴⁰ Cfr. F. MARCACCI, *Cieli in contraddizione*, cit., pp. 109-112.

stimati e considerati con attenzione. Ma nessuno di questi fornisce soluzioni che rendono Riccioli soddisfatto. Se anche Huygens cercava la stima del gesuita, in merito alla sua teoria sulla forma ellittica degli anelli di Saturno, evidentemente lavorava bene e il suo parere era autorevole. Ma anche da Huygens vengono prese le distanze, non tanto in relazione all'ellitticità dell'anello attorno Saturno,⁴¹ quanto in relazione all'inclinazione del suo piano.

Finora si è spesso ricordato Riccioli come un oppositore di Galileo, poiché è un fatto la gravità della scelta di pubblicare, primo in Italia, il testo del processo del 1633. Nonostante questo, sia la sua astronomia che la sua produzione intellettuale in generale, sono indizi consistenti del fatto che, nell'armamentario meditativo del Ferrarese, tanti sforzi dovessero essere profusi non solo per dar conto a Galileo. Se è innegabile che il gesuita non comprese a fondo le novità del nuovo approccio cinematico né, fino in fondo, le questioni meccaniche ivi presenti, resta il fatto che egli fosse un astronomo e non un fisico, con una raffinata cultura filosofica e teologica e una certa esperienza con i metodi scolastici.

In uno scenario storico variegato, nel quale nuove proposte venivano continuamente prodotte e gli

⁴¹ Cfr. *supra* nota 4.

orizzonti risolutivi si accavallavano uno sull'altro, Riccioli sembra piuttosto un uomo che non temette di mettersi contro tutti. Neanche con l'Istituzione di cui faceva parte, con la quale ebbe da affrontare due volte l'esame delle proprie tesi, vedendo una volta malvolentieri negare la pubblicazione del proprio manoscritto.⁴² Tale atteggiamento lascia pensare a uno studioso che provava in maniera autonoma e originale a trovare proprie soluzioni, anche a rischio di sbagliare.

Un gesuita contro tutti?

Per rispondere occorre decidere quale prospettiva utilizzare. Sicuramente, questa domanda sollecita a intraprendere ulteriori ricerche, perché, come Riccioli stesso sosteneva, talvolta occorre soltanto andare avanti, perché al momento «non è possibile dirimere la questione».⁴³

⁴² Riccioli dovette attendere il beneplacito della Curia romana per pubblicare l'*Almagestum novum*, ottenuto solo grazie all'intervento di A. Kircher. Per quanto riguarda gli scritti teologici, un suo trattato sull'Immacolata concezione che non riceverà mai l'*imprimatur*, mentre un altro trattato inerente il primato della Santa Sede sulle cause di canonizzazione dei santi (*Immunitas ab errore tam speculativo tam practico definitionum S. Sedis apostolicae in canonizatione sanctorum*, 1668) finì all'*Index libri prohibitorum*. Cfr. DINIS, *A Jesuit against Galileo?*, cit., pp. 61-68, pp. 90-95.

⁴³ RICCIOLI, AN, VII, p. 490: «Proinde cum veritas nondum manifesta mihi sit, quæ amicitia prævaleat; nolo litem dirimere inter amicos, aut vllam de hac re sententiam pronunciare; sed potiùs cum Romanis Prætoribus ad antiquam me formulam redigere, Amplius, quia Non liquet».

Il cerchio meridiano e la determinazione delle posizioni delle stelle nel XIX secolo

Paolo Paura · Clementina Sasso

INAF · Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli

Introduzione

NELLA storia della strumentazione per la misura delle posizioni degli astri sulla sfera celeste, l'Ottocento rappresenta il secolo che ha visto affermarsi di uno strumento, il *cerchio meridiano*, che ha portato questo tipo di misure al massimo livello di precisione possibile per la tecnologia del tempo. L'obiettivo di questo lavoro è di presentare una breve panoramica dei principi essenziali di funzionamento di un cerchio meridiano e del suo impiego per la determinazione delle coordinate equatoriali delle stelle, ascensione retta e declinazione (FIG. 1), al loro transito al meridiano celeste dell'osservatore.¹

I cataloghi di posizione nel XIX secolo

Le coordinate equatoriali di una stella possono essere "assolute" o "relative". Le prime si misurano direttamente rispetto ai piani fondamentali della sfera celeste e non si basano su alcuna misura precedente; le seconde si determinano rispetto a stelle fondamentali di posizioni note (NEWCOMB, 1906). Il cerchio meridiano era lo strumento usato, prevalentemente, per la misura delle coordinate assolute delle stelle riportate nei cataloghi fondamentali (FIG. 2). La grande precisione richiesta nelle misure assolute di posizione e la complessità delle loro riduzioni² rendevano relativamente esiguo, dell'ordine di qualche centinaio, il numero di stelle contenute in un catalogo fondamentale rispetto alle decine, o centinaia, di migliaia di stelle riportate in altri cataloghi di posizione, meno precisi, ma più adatti alla cartografia celeste.

¹ Come è noto dall'astronomia sferica, tra il tempo siderale locale t_s , l'angolo orario H di un astro A e la sua ascensione retta α esiste la relazione: $t_s = H + \alpha$. Quando l'astro A , durante il suo moto apparente diurno, transita al meridiano dell'osservatore il suo angolo orario $H = 0$ e si ha: $t_s = \alpha$. Quindi, l'ascensione retta di un astro è uguale al tempo che segna l'orologio siderale dell'osservatore al transito dell'astro al meridiano locale.

² Le coordinate riportate in un catalogo stellare di posizione non sono quelle ottenute direttamente dalle osservazioni; queste, infatti, sono state corrette per gli effetti della precessione, nutazione e aberrazione che ne alterano la posizione sulla sfera celeste. È importante notare che le posizioni stellari in un catalogo valgono solo per una determinata epoca, o equinozio, specificato sul catalogo stesso. L'insieme di queste correzioni è detto "riduzione" delle coordinate (ZAGAR, 1941).

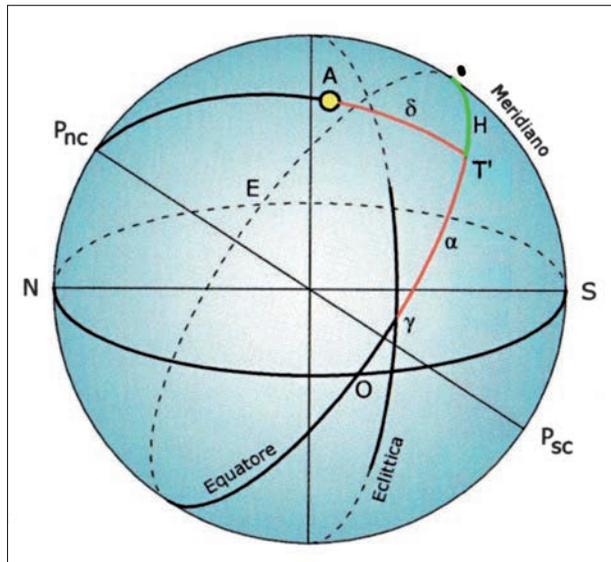


FIG. 1. Le coordinate equatoriali ascensione retta α e declinazione δ dell'astro A ; H è l'angolo orario di A rispetto al meridiano locale dell'osservatore. Il tempo siderale locale $t_s = \alpha + H$ [grafico INAF-OAC].

Agli inizi del XIX secolo era fortemente sentita la necessità di avere atlanti celesti che riportassero la posizione di un numero sufficiente di stelle per lo studio degli asteroidi e delle comete (PEISINO, 1940), come riportato in una lettera del 1824 di F. W. Bessel (1784-1846) all'Accademia Reale Prussiana delle Scienze:

[...] Dovendo osservare un pianeta o una cometa al di fuori del meridiano, il più delle volte si avrà buona riuscita solo se sarà stata determinata la posizione di un numero sempre crescente di stelle nelle sue vicinanze; se si vuol tentare seriamente di scoprire tutti i principali pianeti appartenenti al nostro Sistema solare, bisogna che prima si registrino in modo completo le stelle [...].

(HERRMANN, 2003)

Le origini storiche del cerchio meridiano

L'ideazione e la realizzazione del primo strumento dei passaggi e del primo cerchio meridiano nella storia dell'astronomia è attribuita all'astronomo danese Ole Römer (1644-1710), rispettivamente nel 1689-1690 e nel 1704 (NIELSEN, 1968). Römer fu assistente dell'astronomo francese Jean-Felix Picard (1620-1682) che fu tra i primi ad usare l'orologio a

Rectascensionen für 1875.0. I. Pulkowaer Hauptsterne.																	
Nr.	Stern	Decl.	Pulkowa 1865	Pulkowa 1845		Greenw. 1861		Greenw. 1872		Camb. 1872							
				Corr.	AR	Red. Beob.	AR	Red. Beob.	AR	Red. Beob.	AR	Red. Beob.					
1	α Andromedae	28.4	$0^h 1^m 55.755$	F	55.721	+ 56	....	55.732	+ 24	115	55.720	+ 33	62	55.728	+ 31	11
2	β Cassiopejae	58.5	2 31.069	-	6	31.007	+ 78	49	30.982	+ 26	6	31.020	+ 63	9	-	-	
3	γ Pegasi	14.5	6 48.037	F	48.008	+ 51	....	47.999	+ 34	120	47.998	+ 29	64	48.017	+ 11	4
4	ϵ Ceti	-9.5	13 3.536	-	5	3.473	+ 57	24	3.474	+ 58	40	3.486	+ 46	41	3.547	- 31	5
5	κ Cassiopejae	62.2	25 54.530	-	4	54.482	+ 82	50	54.551	+ 31	6	54.453	+ 65	9	54.517	+ 71	7
6	ξ Cassiopejae	53.2	30 0.972	+ 3	0.936	+ 67	50	0.973	+ 35	12	0.918	+ 58	15	-	-	-	
7	π Andromedae	33.0	30 12.527	+ 4	12.428	+ 60	25	12.433	+ 34	3	12.522	+ 37	4	-	-	-	
8	ϵ Andromedae	28.6	31 57.211	+ 2	57.161	+ 57	26	57.190	+ 31	62	57.179	+ 33	27	-	-	-	
9	δ Andromedae	30.2	32 38.883	-	5	38.782	+ 58	23	38.845	+ 31	12	38.860	+ 34	3	-	-	
10	α Cassiopejae	55.9	33 25.462	F	25.375	+ 77	....	25.402	+ 34	55	25.404	+ 61	44	25.389	+ 67	10
11	ζ Andromedae	23.6	40 42.935	+ 6	42.869	+ 55	28	42.917	+ 33	5	42.906	+ 29	5	42.938	+ 27	5	
12	η Cassiopejae	57.2	41 32.841	-	7	32.684	+ 78	46	32.779	+ 36	14	32.887	+ 62	15	32.933	+ 69	4
13	μ Cassiopejae	60.0	49 10.666	-	17	10.586	+ 81	46	10.667	+ 36	8	10.641	+ 64	24	10.619	+ 71	3
14	ν Andromedae	37.8	49 49.260	-	26	49.232	+ 64	32	49.247	+ 41	96	49.210	+ 43	35	-	-	
15	ϵ Piscium	7.2	56 27.421	+ 14	27.371	+ 54	20	27.371	+ 51	158	27.373	+ 33	108	27.462	+ 1	7	
16	β Andromedae	35.0	1 2 44.292	+ 2	44.269	+ 62	28	44.265	+ 40	50	44.257	+ 39	61	44.229	+ 44	9	
17	τ Piscium	29.4	4 46.810	-	5	46.757	+ 59	23	46.833	+ 35	3	46.762	+ 34	3	46.750	+ 36	8
18	ν Piscium	26.6	12 35.972	+ 4	35.918	+ 56	22	35.956	+ 34	7	35.923	+ 31	3	-	-	-	
19	α Ursae min.	88.6	13 0.229	F	0.287	+ 100	....	59.837	+ 63	1633	59.239	+ 64	971	0.293	+ 82	13
20	δ Cassiopejae	59.6	17 39.253	+ 10	39.202	+ 80	60	39.242	+ 38	4	39.192	+ 64	4	-	-	-	
21	θ Ceti	-8.8	17 46.570	-	1	46.531	+ 58	20	46.479	+ 67	113	46.508	+ 46	49	46.543	- 26	7
22	η Piscium	14.7	24 47.805	+ 1	47.756	+ 52	26	47.754	+ 46	167	47.762	+ 28	80	47.764	+ 16	10	
23	ν Persei	48.0	30 19.725	+ 4	19.638	+ 70	52	19.629	+ 42	6	19.678	+ 53	6	19.667	+ 62	11	
24	φ Persei	50.1	35 50.139	-	5	50.050	+ 70	52	50.056	+ 40	10	50.024	+ 55	10	-	-	
25	θ Piscium	8.5	38 47.671	+ 10	47.609	+ 51	22	47.613	+ 50	28	47.616	+ 31	41	47.640	+ 6	9	

FIG. 2. Particolare del *Fundamental Catalog* (A. AUWERS, 1879), contenente le posizioni assolute di 539 stelle calcolate per il 1875 [BOAC 1].

pendolo, ormai sufficientemente preciso grazie agli studi di Christian Huygens (1629-1695), unitamente ad un quadrante murale (FIG. 3) orientato nel piano del meridiano locale, per la misura delle ascensioni rette degli astri dall'osservazione dei loro transiti (KING, 1955).

Nella seconda metà del XVII secolo il telescopio rifrattore, munito di micrometro filare,³ cominciò ad essere applicato ai quadranti murali, sostituendo le usuali mire ottiche, utilizzate ad occhio nudo per la determinazione delle posizioni degli astri sulla sfera celeste. I quadranti murali furono, per tutto il XVIII secolo, gli strumenti di punta per le misure posizionali; non poche furono, però, le difficoltà che dovettero affrontare i costruttori del tempo nel dividerne i lembi⁴ con l'accuratezza richiesta dalle nuove esigenze osservative introdotte dal telescopio e dal micrometro ad essi applicato. Römer nutriva, invece, una forte convinzione nell'utilizzo di interi cerchi graduati, al posto degli archi di cerchio allora usati, come si evince dalle sue stesse parole:

[...] since I consider that the use of the quadrant and sextant should be altogether abandoned, for I would place more confidence in a circle of four feet, than I would in a quadrant of ten feet.

(GRANT, 1852)

³ Il micrometro astronomico fu ideato e costruito dall'astronomo inglese William Gascoigne (1612-1644) nel 1638-39 (BROOKS, 1991); questo consisteva di due fili paralleli, di cui uno mobile con una vite micrometrica, posti nel piano focale comune all'obiettivo di un telescopio in configurazione kepleriana e all'oculare. In questo modo l'osservatore aveva nitidamente a fuoco, nel campo di vista, sia l'oggetto osservato che questo riferimento mobile col quale misurare separazioni angolari sulla sfera celeste o puntare un astro con un grado di precisione notevolmente maggiore rispetto ad una semplice mira ottica visuale.

⁴ Parte esterna del cerchio graduato contenente le suddivisioni.

Questa sua convinzione traeva origine dalle stesse tecniche di divisione dei lembi che avrebbero, a suo giudizio, introdotto più facilmente inevitabili deformazioni nei settori circolari che non nei cerchi interi (CHAPMAN, 1995).

Römer sviluppò, per i suoi strumenti astronomici, alcune tecniche di divisione dei cerchi che mostravano, per quel tempo, rilevanti innovazioni progettuali. I quadranti murali, alla fine del XVIII secolo, grazie ai metodi di divisione dei loro lembi sviluppati da George Graham (1673-1751) e dal suo allievo John Bird (1709-1776), raggiunsero il massimo grado di precisione possibile per la tecnologia del tempo. Questi strumenti, tuttavia, furono progressivamente sostituiti, agli inizi del XIX secolo, prima dagli strumenti dei passaggi e poi dai cerchi meridiani; infatti, fu grazie al perfezionamento di apposite macchine per dividere i cerchi, già inventate ed implementate nell'ultimo trentennio del XVIII secolo da Jesse Ramsden (1735-1800) ed Edward Troughton (1753-1835), che la tecnologia della divisione dei lembi fu applicata ai cerchi interi, rendendo possibile lo sviluppo dei grandi cerchi meridiani ottocenteschi (CHAPMAN, 1983).

Gli strumenti meridiani di Römer

Lo strumento dei passaggi di Römer, la *Machina Domestica* (FIG. 4), fu installato nella sua abitazione, l'*Observatorium Domesticum*, a Copenaghen, essendo la collocazione degli strumenti nell'osservatorio astronomico cittadino, a suo giudizio, inadatta alle osservazioni per l'eccessiva esposizione al vento (GRANT, 1852).

Questo strumento,⁵ usato a partire dal 1689-1690, era essenzialmente costituito da un telescopio rifrattore montato perpendicolarmente all'estremità di un asse di ferro di 5 piedi di lunghezza (circa 150 cm), orientato nella direzione est-ovest, così da poter ruotare nel piano del meridiano locale ma solo nell'intervallo di declinazione $20^{\circ}\text{S}-40^{\circ}\text{N}$, consentito dal suo particolare stazionamento nel sito osservativo. Le letture dell'arco di 75° , con graduazioni di $10'$, per le misure in declinazione erano fatte per mezzo di un apposito microscopio di lettura, una novità per quel tempo, sorretto da un braccio

⁵ Tutte le descrizioni degli strumenti di Römer provengono dal volume *Basis Astronomiae* (Copenaghen 1735) scritto dal suo allievo Peder Horrebow (1679-1764), poiché gli strumenti di Römer e le loro descrizioni andarono distrutte da un incendio che devastò Copenaghen nel 1728.

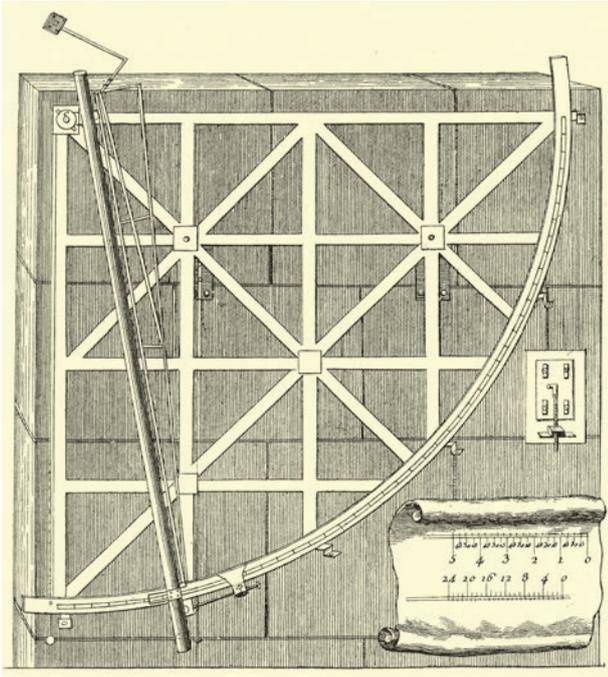


FIG. 3. Il quadrante murale di 8 piedi (circa 2,4 m) di raggio, costruito da G. Graham (1673-1751) nel 1725 per E. Halley (1656-1742) [BOAC 2].

mobile all'altra estremità dell'asse di rotazione. Una novità, per l'epoca, era anche l'uso di tronchi di cono, cavi all'interno, per dare una maggiore stabilità al tubo ottico (KING, 1955; GRANT, 1852). Al fuoco del telescopio era posto un micrometro filare, costruito dallo stesso Römer, con tre fili orizzontali e 10 verticali per l'osservazione dei transiti. Per rendere visibili di notte i fili del micrometro, si usava una lanterna posta al di sopra della parte centrale del tubo ottico al cui interno, accessibile attraverso una piccola apertura, era alloggiato uno specchietto che rifletteva opportunamente la luce, illuminando i fili e rendendo possibili le osservazioni dei transiti (GRANT, 1852).

Römer utilizzò questo strumento fino al 1704, anno in cui si trasferì nel nuovo osservatorio, l'*Observatorium Tusculanum*, a circa 17 km da Copenaghen, dove ideò e costruì la *Rota Meridiana* o *Instrumentum Meridiani* (FIG. 5), il primo cerchio meridiano nella storia dell'astronomia (KING, 1955).

Questo nuovo strumento era simile, nel suo schema generale, allo strumento dei passaggi, eccetto nell'asse su cui ruotava il telescopio che fu realizzato, in questo caso, con due tronchi di cono, cavi all'interno e uniti alle rispettive basi, e ad un cerchio graduato, da cui il nome dello strumento, di 5 piedi e mezzo di diametro (circa 168 cm), al posto del rispettivo arco graduato usato nello strumento dei passaggi. Al cerchio era imperniato un telescopio di 5 piedi di lunghezza (circa 152 cm) al cui fuoco era alloggiato un micrometro filare con sette fili verticali e tre orizzontali; le letture al cerchio erano compiute per mezzo di due microscopi di lettura (GRANT, 1852).

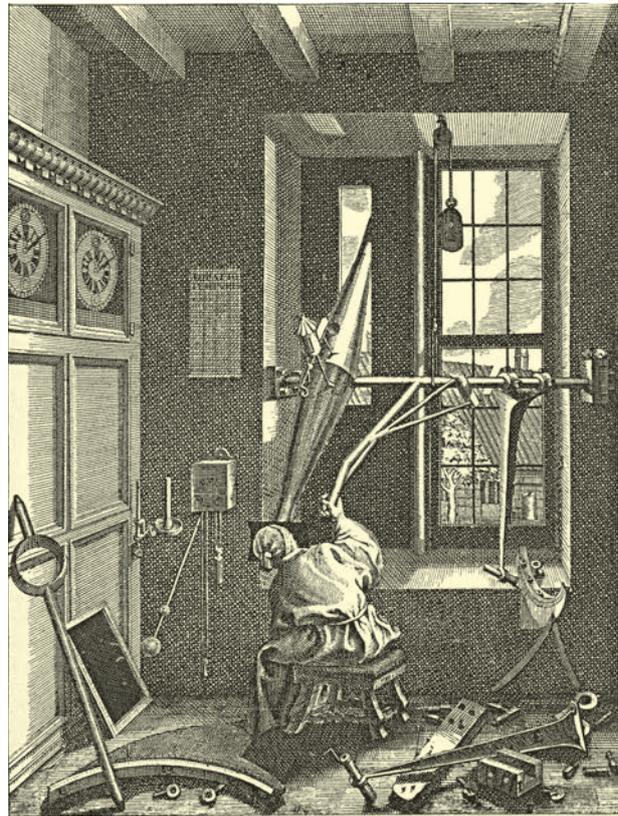


FIG. 4. Lo strumento dei passaggi (*Machina Domestica*) di Römer, 1689 (da P. HORREBOW, *Basis Astronomiae*, Copenaghen, 1735) [BOAC 3].

Römer sviluppò una teoria per la correzione degli errori strumentali di stazionamento di un cerchio meridiano che designò con le lettere *D* (*Directio*), *L* (*Libratio*) e *T* (*Tubus*), corrispondenti ai termini moderni di errore di azimut, inclinazione e collimazione che saranno discussi nel seguito; questa teoria fu formalizzata, circa mezzo secolo dopo, da Tobias Mayer (1723-1762) (NIELSEN, 1968).

Le osservazioni dei transiti stellari nell'Ottocento

Per osservare il passaggio di una stella al meridiano locale, al fine di misurarne le coordinate equatoriali, l'astronomo si avvaleva di un cerchio meridiano. Questo consiste, essenzialmente, di un telescopio rifrattore dal diametro di $15 \div 20$ cm e $100 \div 250$ cm di lunghezza focale, libero di ruotare intorno a un asse orientato nella direzione est-ovest, così da poter osservare unicamente gli astri al meridiano celeste locale (FIG. 6) (ROSINO, 1985). L'asse di rotazione del tubo ottico è sostenuto da due robusti pilastri che ne garantiscono la stabilità ed è bilanciato da un sistema di contrappesi che ne riducono l'attrito sui perni di rotazione. Il telescopio è formato da due tubi tronco-conici, uniti alle rispettive basi da un cubo centrale per minimizzare l'effetto di flessioni (SPENCER JONES, 1934).

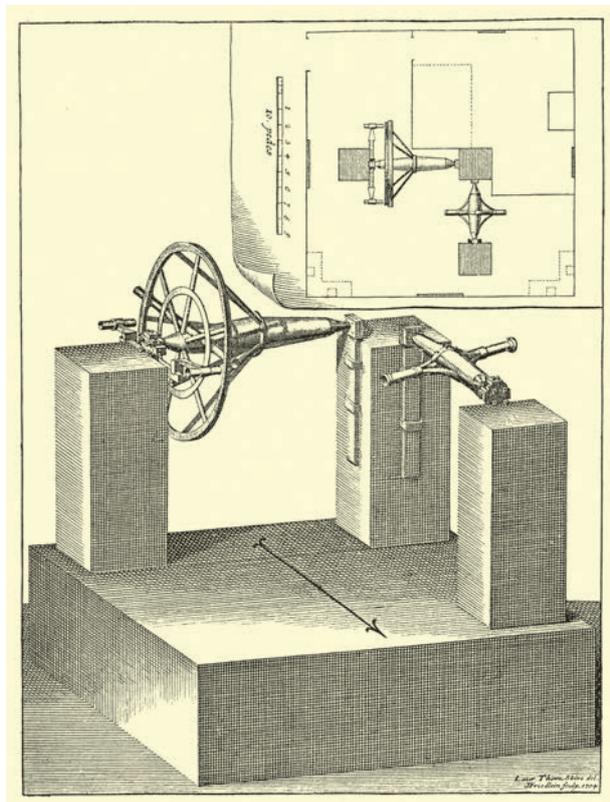


FIG. 5. Il cerchio meridiano (*Rota Meridiana*) di Römer, 1704, sul lato sinistro dell'immagine; sulla destra uno strumento di Römer per l'osservazione dei transiti al primo verticale, cerchio massimo passante per i punti cardinali est, ovest e per lo zenit e il nadir dell'osservatore (da P. HORREBOW, *Basis Astronomiae*, Copenaghen, 1735) [BOAC 4].

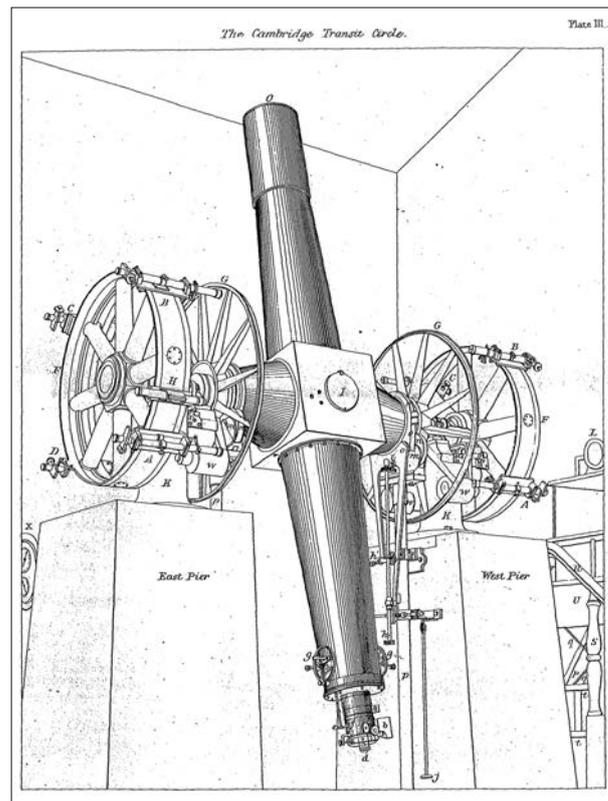


FIG. 6. Un tipico cerchio meridiano della metà del XIX secolo; il tubo ottico con obiettivo *o* alla cui estremità inferiore è posto il micrometro filare *d* può ruotare unicamente intorno all'asse orizzontale, disposto nella direzione est-ovest sui rispettivi pilastri; sui due cerchi *G* si misurano le declinazioni tramite le due serie di quattro microscopi micrometrici di lettura *A, B, C, D* (da CHALLIS, 1879) [Biblioteca INAF - OA Brera].

In un cerchio meridiano, a differenza di uno strumento dei passaggi,⁶ vi sono due grandi cerchi graduati, tipicamente di circa 100 cm di diametro, con divisioni comprese tra 2' e 5'; su questi cerchi l'astronomo, o i suoi assistenti nelle osservazioni, leggeva direttamente la declinazione⁷ degli astri tramite l'ausilio di quattro microscopi micrometrici di lettura; questi microscopi erano disposti a 90° uno dall'altro e le quattro letture servivano a mediare gli effetti delle flessioni meccaniche e della dilatazione termica degli stessi cerchi graduati. Con il loro au-

silio si poteva raggiungere l'accuratezza del decimo di secondo d'arco nella misura delle declinazioni (PODOBED, 1965; PUGLIANO, 1969).

⁶ Lo strumento dei passaggi è provvisto solo di un piccolo cerchio graduato che non consente di ottenere la precisione del grande cerchio meridiano nella misura delle declinazioni. Questo strumento, usato anche nelle misure posizionali, veniva maggiormente impiegato per la misura del tempo siderale dai transiti in meridiano di stelle di ascensione retta nota.

Al fuoco del telescopio era posto un *micrometro filare* (FIG. 7a) contenente da cinque a quindici fili verticali: quello centrale coincidente col meridiano locale e due orizzontali, attraverso cui si portava la stella in esame, dopo averla puntata in altezza tramite un opportuno cerchio manubrio. I fili erano illuminati, durante la notte, da lampade ad olio poste esternamente all'asse di rotazione, cavo all'interno, la cui luce era deviata da appositi specchietti alloggiati all'interno del cubo centrale del telescopio. Il metodo impiegato per stabilire gli istanti dei transiti agli inizi del XIX secolo, ma già introdotto da James Bradley (1693-1762) a metà del XVIII secolo, era detto "*ad occhio ed orecchio*" e consisteva nell'*osservare* il passaggio dell'astro ai fili verticali del micrometro ed *ascoltare* simultaneamente i battiti del pendolo siderale (FIG. 7b) misurandone i tempi. L'istante corrispondente al transito sul filo centrale era una media dei tempi dei transiti ai singoli fili, previa verifica della loro verticalità ed equidistanza, e poteva raggiungere la precisione del decimo di secondo (DUNCOMBE, 1945; RUSSEL, 1926).

⁷ In realtà, sui cerchi graduati si leggeva l'altezza *a* dell'astro osservato; nota la latitudine φ del luogo d'osservazione, dalla relazione $\delta = a - (90^\circ - \varphi)$ si otteneva la sua declinazione δ . Il punto zero per la misura dell'altezza sul cerchio graduato era verificato puntando il telescopio verso il nadir; infatti, alloggiato ad alcuni metri di profondità, in una apposita cavità ricavata nelle fondamenta della sala meridiana, vi era uno speciale contenitore con del mercurio posto lungo la verticale del telescopio e ad esso accessibile attraverso l'apertura di una botola sul pavimento. Verificando l'allineamento dell'immagine dei fili del micrometro, riflessa dalla superficie speculare del mercurio, con quella dei fili, opportunamente illuminati, dello stesso micrometro, si verificava la perfetta verticalità del telescopio e il punto zero delle altezze.

Verso la metà del XIX secolo, i tempi dei transiti venivano registrati automaticamente avvalendosi dei *cronografi elettrici* (FIGG. 7c-7d). Essenzialmente,

un cronografo consiste di un supporto, che può essere un cilindro, su cui è avvolto un foglio di carta, o una bobina, su cui è avvolta una striscia di carta (FIG. 7e); tale supporto ruota con un moto uniforme, prodotto da un proprio meccanismo ad orologeria. Gli istanti di tempo venivano registrati su questo supporto mobile da punte perforanti, nei modelli a striscia di carta, o da pennini a inchiostro, nei modelli a cilindro, collegati elettricamente al pendolo siderale. A ogni secondo scandito dall'orologio il circuito elettrico si chiudeva provocando, tramite un elettromagnete, un leggero spostamento del pennino scrivente o l'abbassarsi della punta perforante che lasciava sul supporto mobile, in entrambi i casi, una traccia permanente dell'istante di tempo trascorso. Sullo stesso supporto l'astronomo registrava gli istanti dei transiti ai fili del micrometro, premendo un apposito pulsante che provocava un ulteriore spostamento del pennino scrivente o della punta perforante. La misura, sul tracciato cronografico, della posizione degli *appulsi* registrati dall'astronomo, rispetto a quelli del pendolo siderale, forniva la misura dei tempi dei transiti e, quindi, le ascensioni rette delle stelle (RUSSEL, 1926; SPENCER JONES, 1934). Le misure delle declinazioni si ricavano dalla lettura dei microscopi micrometrici ai cerchi graduati (FIG. 7f).

Dagli studi compiuti da Friedrich Wilhelm Bessel nella prima metà del XIX secolo, si evinceva che la misura dell'istante del passaggio di un astro ai fili del micrometro era soggettiva e che due osservatori, anche se di lunga esperienza, fornivano, per lo stesso transito, due misure che differivano di una quantità detta *equazione personale* (LOOMIS, 1884; DUNCOMBE, 1945); questa differenza era generalmente inferiore al decimo di secondo nelle osservazioni cronografiche. Per rendere le registrazioni dei tempi ai fili micrometrici quanto più possibile indipendenti dall'osservatore fu implementato, da Johann Adolf (Hans) Repsold (1838-1919), nella seconda metà del XIX secolo, un nuovo tipo di micrometro detto *impersonale*. In questo strumento il reticolo dei fili fissi era sostituito da un filo mobile che l'astronomo muoveva, girando un'apposita vite micrometrica, in modo da bisecare continuamente la stella durante il suo moto apparente nel campo visuale del telescopio; un segnale elettrico veniva inviato automaticamente al cronografo quando la vite micrometrica raggiungeva, nella sua rotazione, dei contatti elettrici in posizioni stabilite (RUSSEL, 1926; DUNCOMBE, 1945). Sul finire del XIX secolo la

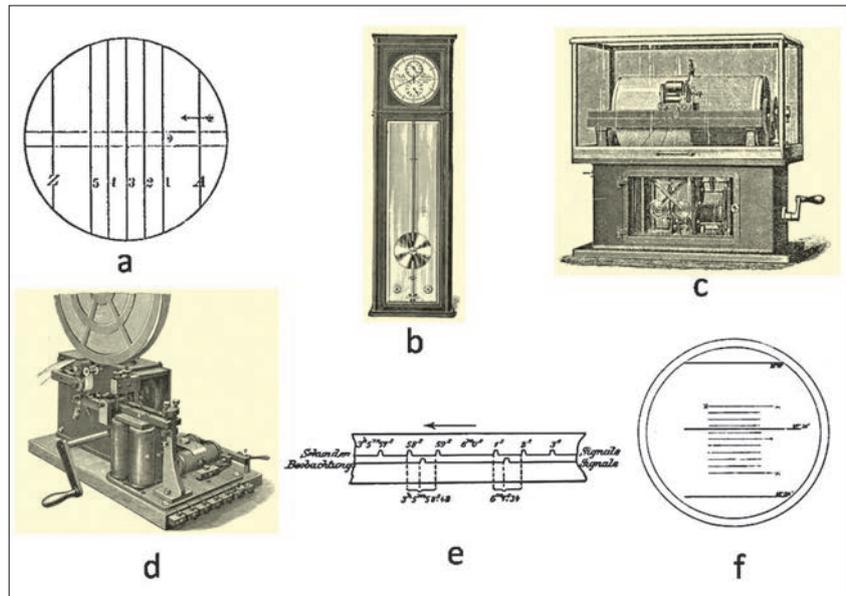


FIG. 7. (a) Il passaggio della stella, indicata dalla freccia, ai fili del micrometro; il verso del transito è dovuto all'immagine capovolta visibile all'oculare. (b) Un pendolo siderale. (c) Un cronografo a cilindro. (d) Un cronografo a striscia di carta. (e) Un tracciato cronografico con gli *appulsi* del pendolo siderale, in alto, e quelli registrati dall'astronomo al passaggio della stella ai fili del micrometro (in basso). (f) Osservazione, a un microscopio di lettura, delle divisioni del cerchio di declinazione (tratti grandi) misurate col micrometro (tratti piccoli). Dalle immagini e ed f si ricavano l'ascensione retta e la declinazione della stella osservata [BOAC 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f].

precisione nelle misure dei tempi dei transiti raggiungeva il centesimo di secondo (LOOMIS, 1884; DUNCOMBE, 1945).

Completavano la strumentazione, all'interno della sala meridiana, termometri e barometri per le misure di temperatura e pressione, da utilizzare per il calcolo della rifrazione nella riduzione delle osservazioni.

La determinazione delle correzioni strumentali di un cerchio meridiano

Le osservazioni dei transiti al meridiano erano molto delicate, non solo nelle misure delle coordinate stellari, ma anche nelle procedure che bisognava scrupolosamente seguire, durante il periodo delle osservazioni, per garantire il corretto stazionamento di uno strumento meridiano; questo lo si otteneva unicamente quando il filo centrale del micrometro coincideva col meridiano locale. A tal fine bisognava, innanzitutto, verificare l'*orizzontalità* dell'asse di rotazione strumentale, mediante una livella posizionata lungo l'asse stesso, che poteva essere messo in bolla tramite opportune viti di regolazione, poste sui perni di rotazione.

Successivamente bisognava verificare la *collimazione* del tubo ottico cioè l'ortogonalità tra esso e l'asse di rotazione. Questa la si otteneva bisecando col filo centrale del micrometro l'immagine di una mira, distante alcune decine di metri, e osservando la stessa mira dopo aver sollevato ed invertito l'asse di rotazione, con tutto lo strumento, tramite un ap-

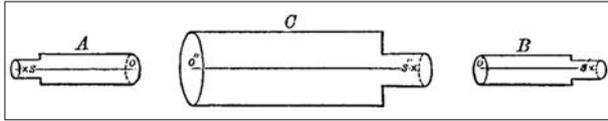


FIG. 8. I collimatori A e B, con i loro fili micrometrici S ed S', sono disposti frontalmente al tubo ottico C del cerchio meridiano con filo micrometrico S". Dopo aver collimato inizialmente i fili dei due collimatori fra di loro, si collimava il filo S" del cerchio meridiano, prima col filo del collimatore A e, successivamente, dopo una rotazione di 180°, col filo del collimatore B [BOAC 6].

posito carrello d'inversione. Se l'immagine della mira era ancora bisecata dal filo del micrometro, allora lo strumento era collimato; diversamente bisognava apportare le debite correzioni, agendo sia sui fili del micrometro, sia sulle viti di regolazione dei supporti dell'asse di rotazione. Le mire distanti furono sostituite, intorno al 1840, da due piccoli telescopi fissi, chiamati *collimatori* (FIG. 8), che erano collocati in posizione orizzontale su due appositi pilastri all'interno della sala meridiana, uno a sud e l'altro a nord, giacenti sullo stesso meridiano del cannocchiale e ad esso rivolti. Entrambi i collimatori potevano essere regolati in azimut e altezza ed erano dotati di micrometri filari. La collimazione del tubo ottico consisteva nel verificare l'allineamento del filo centrale del micrometro del cerchio meridiano con i fili centrali dei micrometri di entrambi i collimatori. A tal fine si disponeva inizialmente il tubo ottico del telescopio in posizione verticale e si aprivano le due apposite aperture (denotate con la lettera I in FIG. 6) del suo cubo centrale, una posta sul lato superiore e una su quello inferiore; in tal modo si rendevano reciprocamente visibili i collimatori, attraverso il cubo stesso del telescopio, in modo da poterne collimare i rispettivi reticoli. Successivamente, si verificava la collimazione del filo centrale del micrometro del cerchio meridiano, disposto in posizione orizzontale, con quello dei fili centrali dei micrometri di entrambi i collimatori. La collimazione del tubo ottico del cerchio meridiano la si poteva determinare anche con la tecnica della puntata al nadir per ottenere il punto zero delle altezze.

Oltre l'inclinazione e la collimazione bisognava, infine, verificare l'*azimut* strumentale, cioè, che l'asse di rotazione fosse esattamente nella direzione est-ovest. Questo lo si verificava unicamente con l'osservazione di stelle, in particolar modo circumpolari. Il meridiano celeste, infatti, divide in due parti uguali il percorso diurno circolare di tali stelle intorno al polo celeste; se lo strumento meridiano era correttamente stazionato, allora dovevano essere uguali i due intervalli di tempo siderale che una stella circumpolare impiegava nel percorrere i due semicerchi intorno al polo celeste. Diversamente, bisognava regolare l'azimut del cerchio meridiano con delle opportune viti sui perni del suo asse di rotazione (RUSSEL, 1926; SPENCER JONES, 1934; LOOMIS, 1884; STUBBS, 1874).



FIG. 9. Il cerchio meridiano di A. Repsold (1868-70), della collezione del Museo degli Strumenti Astronomici (MuSA), restaurato e custodito nel suo padiglione originale [INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte; foto degli Autori ripresa il giorno 27.03.2018].

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare Paola Merluzzi e Giovanni Buserello, ricercatori dell'INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Gennaro Sorrentino, docente presso l'istituto "Degni" di Torre del Greco, per aver letto il lavoro e fornito preziosi suggerimenti, Emilia Olostro Cirella e Nella Ferrigno, bibliotecarie dell'INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Agnese Mandrino, bibliotecaria dell'INAF Osservatorio Astronomico di Brera, per aver fornito il materiale bibliografico da cui sono state estratte le immagini contenute nell'articolo.

Referenze bibliografiche

- R. C. BROOKS, *The Development of Micrometers in the Seventeenth, Eighteenth and Nineteenth Centuries*, «Journal for the History of Astronomy», 1991, 22, p. 127.
- A. CHAPMAN, *The accuracy of angular measuring instruments used in astronomy between 1500 and 1800*, «Journal for the History of Astronomy», 1983, 14, p. 135.
- A. CHAPMAN, *Dividing the circle: the development of critical angular measurement in astronomy 1500-1850*, Chichester, 1995, John Wiley & Sons, pp. 62-65.
- R. L. DUNCOMBE, *Personal equation in astronomy*, «Popular Astronomy», 1945, 53, pp. 2-13.
- R. GRANT, *A History of Physical Astronomy from the earliest ages to the middle of the nineteenth century*, London, H.G. Bohn, 1852, pp. 434-467.

- D. B. HERRMANN, *L'astronomia di posizione da Bessel ad Auwers*, Roma, Storia della Scienza, Treccani, 2003, 7, p. 215.
- H. C. KING, *The history of the telescope*, London, Griffin, 1955, pp. 104-106.
- E. LOOMIS, *An introduction to practical astronomy*, New York, Harper & Brothers Publishers, 1884, pp. 39-82.
- S. NEWCOMB, *A compendium of spherical astronomy*, New York, The Macmillan Company, 1906, p. 317.
- A.V. NIELSEN, *Ole Römer and his Meridian Circle*, «Vistas in Astronomy», 1968, 10, p. 109.
- G. PEISINO, *I cataloghi stellari attraverso le tappe più importanti della loro evoluzione*, «Coelum», 1940, 10, p. 203.
- V. PODOBED, *Fundamental astrometry: determination of stellar coordinates*, Chicago, The University of Chicago Press, 1965, p. 29.
- A. PUGLIANO, *Il cerchio meridiano Repsold dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte*, Collezione Miscellanea, 1969, 2, n. 13, p. 6.
- L. ROSINO, *Gli astri: dal sistema solare alle galassie*, Torino, UTET, 1985, pp. 94-96.
- H.N. RUSSELL, R.S. DUGAN, J.Q. STEWART, *Astronomy: a revision of Young's manual of astronomy*, Boston, Ginn And Company, 1926-1927, pp. 57-69.

- H. SPENCER JONES, *General Astronomy*, London, Edward Arnold & Co, 1934, pp. 76-86.
- J. W. STUBBS, F. BRUNNOW, *Brinkley's astronomy*, London, Longmans, 1874, pp. 156-175.
- F. ZAGAR, *Lezioni di astronomia sferica e teorica*, Padova, CEDAM, 1941, p. 117.

Fonti delle illustrazioni

- BOAC = Biblioteca INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte
- BOAC 2, 3, 4: J. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge*, 1908.
- BOAC 5a, 5c: H. N. RUSSELL, R. S. DUGAN, J. Q. STEWART, *Astronomy: a revision of Young's manual of astronomy*, 1926-1927.
- BOAC 5b, 5d, 5e, 5f: L. AMBRONN, *Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde*, 1899.
- BOAC 6: E. LOOMIS, *An introduction to practical astronomy*, 1884.
- Biblioteca INAF-OA Brera: J. CHALLIS, *Lectures on practical astronomy and astronomical instruments*, 1879.

Paolo Paura è laureato in Fisica e lavora come tecnologo presso l'INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte. Ha partecipato alla prima catalogazione del patrimonio strumentale del locale museo degli strumenti antichi, lavorato nella biblioteca e curato dodici edizioni dell'almanacco astronomico dell'Osservatorio. Dal 2011 si occupa del Laboratorio didattico di Ottica Astronomica dove sviluppa percorsi didattici sperimentali di ottica e spettroscopia astronomica.

Clementina Sasso è dottorata con specializzazione in Astronomia e Astrofisica e lavora come ricercatrice presso l'INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte. Si occupa di fisica solare e in particolare dello studio dell'atmosfera solare e dell'eliosfera. È Co-I del coronografo Metis che farà parte dell'equipaggiamento della missione spaziale Solar Orbiter. È parte del gruppo di didattica e divulgazione dell'INAF Osservatorio Astronomico di Capodimonte.

Premio SAIt 'G. V. Schiaparelli' 2018

Si è concluso anche quest'anno il concorso al Premio nazionale "Giovanni Virginio Schiaparelli", indetto dall'Osservatorio Astronomico di Brera (INAF/OA-Brera), in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) - Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e la Valutazione del Sistema Nazionale d'Istruzione. Il premio, giunto alla sua VIII edizione, vuole ricordare la figura di G. V. Schiaparelli, astronomo e storico della scienza.

Hanno partecipato al concorso studentesse e studenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado (a.s. 2017-2018), impegnandosi alla redazione di un breve elaborato sul tema "La spettroscopia: l'eredità scientifica di padre Angelo Secchi":

La spettroscopia è una branca della fisica che si è affermata sempre più in campo astronomico, dalle prime osservazioni del XIX secolo di cui fu pioniere l'italiano padre Angelo Secchi, alle misure ad alta precisione degli spettroscopi di nuova generazione utilizzati con telescopi di grandi dimensioni. In che modo questa preziosissima tecnica osservativa ha contribuito alle conquiste scientifiche dell'astrofisica?

L'argomento è stato scelto nella ricorrenza del secondo centenario della nascita di Secchi, per stimolare gli studenti a documentarsi e a riflettere sul ruolo della spettroscopia in astrofisica, come una delle tecniche per lo studio dei fenomeni fisici che governano il nostro universo.

Come già per alcune delle edizioni precedenti, il *Giornale di Astronomia* pubblica molto volentieri (senza alcuna correzione né intervento sul testo) i temi dei vincitori delle due sezioni della scuola secondaria, rispettivamente, di primo e di secondo grado.

La commissione esaminatrice ha ritenuto di assegnare, a pari merito, il primo premio per la scuola di primo grado a tre elaborati che sono qui presentati (in ordine alfabetico) assieme a quello del vincitore del primo premio per la scuola di secondo grado.

Elena Bettonte (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bressadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratozzolo

ONESTAMENTE io non ho ancora una conoscenza approfondita per comprendere a fondo l'argomento, ma posso facilmente intuire quanto importante sia per il genere umano aver messo a punto la tecnica chiamata spettroscopia stellare.

Ciò che non era neanche lontanamente immaginabile per me, è che un giorno saremmo riusciti a vedere l'invisibile. Un fatto ancora più sorprendente è che questo invisibile potesse contenere moltissime informazioni utili per la ricerca scientifica.

Ho avuto modo di "approfondire" l'argomento e ho compreso che dallo spazio infinito intorno a noi le stelle possono manifestarsi irradiando onde radio, luce visibile e luce invisibile. Ed è studiando tutte queste che la spettroscopia stellare può spiegarci cose come l'età di una stella, la velocità con cui la galassia si allontana o addirittura l'esistenza di stelle invisibili.

In passato diverse culture hanno attribuito ad esse un'importanza straordinaria: nella cultura cinese antica, ad esempio, si credeva che le costellazioni presenti nella volta celeste formassero il carattere dei nascituri; altre volte venivano inventati miti su di esse.

Fino ad un recente passato le stelle erano considerate solo come una meravigliosa manifestazione di bellezza della natura. Come poteva qualcuno

immaginare che gli esseri umani, un giorno, sarebbero riusciti a studiarne la formazione e molto più?

In epoche più recenti si è cominciato ad utilizzare un metodo di osservazione scientifica che ci ha permesso di ampliare la nostra conoscenza dell'universo circostante.

La spettroscopia stellare si serve delle radiazioni emesse dalle stelle per trarre informazioni attraverso le proprietà della luce. Si può così ottenere un'impronta (spettro) che ci permette di conoscere la stella mittente e gli eventuali elementi chimici incontrati dalla luce nel percorso fino a noi.

La spettroscopia stellare esplora lo spettro visibile, l'infrarosso, le onde radio e i raggi X (che comprendono anche l'ultravioletto).

Lo spettro visibile è la parte che mi è più comprensibile, in quanto posso percepirla con la vista: esso comprende le onde tra rosso e violetto e include tutti i colori percepibili dall'occhio umano, dando vita al fenomeno della luce. Anche l'arcobaleno ci fornisce uno spettro visibile "spezzando", attraverso le goccioline d'acqua, i raggi del Sole e mostrandoci come sono nel loro "intimo".

Per analizzare una radiazione luminosa, sia visibile che invisibile, occorre uno specifico strumento: lo spettroscopio. Esso è uno strumento in grado di scomporre la radiazione nelle sue componenti a diverse lunghezze d'onda, dividendoli per colori.

In Italia, figura di spicco è stato l'astronomo Angelo Secchi che, tra i primi, utilizzò uno spettroscopio unitamente ad un cannocchiale per esplorare la composizione chimica delle stelle.

I primi studi riguardanti lo spettro solare sono stati svolti agli inizi del 1800 dal fisico e astronomo tedesco J. Fraunhofer (1787-1826). Egli perfezionò lo spettroscopio e fu il primo ad analizzare correttamente le righe di assorbimento nello spettro del Sole.

Queste ultime sono le lunghezze d'onda che vengono "rubate" durante il loro percorso nel giungere fino a noi da diversi elementi chimici.

Per fare un esempio, se lo spettro di emissione di una pasticceria fosse composto da un vassoio di dolci con gusti diversi e io chiedessi al mio gruppo di amici (ognuno goloso di un dolce diverso) di portarmelo, ciascuno di loro mangerebbe il proprio dolce preferito. Il vassoio che mi verrebbe poi consegnato, dimostrerebbe quali "elementi" erano presenti durante il viaggio. Per esempio, se dovesse mancare il dolce al cioccolato e quello alla vaniglia, capirei che in quel gruppo erano sicuramente presenti la mia amica Giulia e quel goloso di Paolo.

FONTI:

Wikipedia, studenti.it, www.coelum.com, www.uai.it, www.inaf.it/it

Lezione laboratoriale della prof.ssa ROBERTA GUARDINI (scuola "G. Bresadola" - Trento)

STEPHEN HAWKING, *Dal big bang ai buchi neri*, Milano, Rizzoli, 1988, pp. 54-55.

AA.VV., *Enciclopedia della scienza*, vol. I, Milano, Motta, 2005

AA.VV., *La Scienza*, vol. I, Torino, UTET, 2005

Motivazione della commissione esaminatrice

La candidata dimostra di aver ben colto il significato fisico della spettroscopia stellare ed è stata in grado di tradurlo in termini semplici ma chiari. L'elaborato è senz'altro molto originale e sufficientemente ricco di informazioni.

Alessandro Samuelli (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bresadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratozzolo

Quando noi pensiamo alla luce, pensiamo a quella cosa che i nostri occhi percepiscono, distinguendo i colori. In realtà "luce" è un concetto molto più ampio e i colori sono le diverse lunghezze d'onda dello spettro visibile, che il nostro cervello interpreta. Il visibile non è tutto, e l'intuito non permette di capire cose "non appartenenti alle nostre esperienze".

La luce non viaggia dritta come una linea, partendo da un punto e arrivando a un altro, ma si propaga in onde in tutte le direzioni, in modo sferico, esattamente come tutte le altre onde elettromagnetiche.

L'onda ha due caratteristiche fondamentali: la lunghezza d'onda, cioè il segmento che si ripete costantemente ed ugualmente, e la frequenza. Dato

che l'onda si propaga, oscilla. La frequenza è data dal numero di oscillazioni di un'onda in un secondo. Queste due misure sono strettamente collegate e proporzionali. Più è grande la lunghezza d'onda, meno grande sarà la frequenza, e viceversa. La lunghezza d'onda viene comunemente rappresentata dalla lettera greca λ , mentre ν (nu, lettera dell'alfabeto greco) rappresenta la frequenza.

I nostri occhi percepiscono solo una minuscola parte di tutto lo spettro, ovvero quella con una frequenza tra i 400 e i 790 terahertz (THz). Tutte le altre frequenze noi non le vediamo, ma esistono. Esse sono state e sono di grande aiuto in molti campi scientifici, rendendo possibili studi inimmaginabili prima che fossero realizzati.

Più è lunga la lunghezza d'onda meno energetica è l'onda in sé. Le onde radio possono avere una lunghezza d'onda pari ad intere costruzioni, mentre le microonde (quelle usate appunto dal microonde) hanno lunghezze d'onda grandi quanto una farfalla. Gli infrarossi hanno una lunghezza d'onda pari ad una punta di ago. La luce visibile ce l'ha molto più piccola (0,0000005 m). Queste, secondo me, sono informazioni importanti per immaginarsi le grandezze e le differenze, rendendoci conto di quanto insignificanti e piccoli noi siamo rispetto all'universo.

Ma oltre a questi esempi, c'è una costante radiazione di fondo. Essa venne scoperta nel 1964, ma pensarono che fossero interferenze sui cavi. Allora hanno fatto più prove e l'hanno scoperta, ed è considerata prova del Big Bang, che dovrebbe aver prodotto così tanta energia che è percepibile ancora adesso, anche se molto debole. Potrebbe essere paragonata all'energia emessa da un oggetto a -200°C (dato che più un oggetto è freddo meno energia emette). Quando essa viene rilevata dagli strumenti, sembra provenire da tutte le direzioni, dato che all'inizio l'universo era un punto unidimensionale, e l'energia si propaga sfericamente.

Esistono due tipi di spettro: lo spettro a righe e quello a bande. Quello a righe mostra le linee di emissione degli elementi atomici, mentre quello a bande usa uno spettro continuo (tutte le frequenze), lasciando vedere, in nero, le linee di assorbimento degli elementi chimici. Questo succede perché, quando la luce passa attraverso un gas, le sostanze che lo compongono "rubano" le frequenze che le servono lasciando passare il resto.

La principale applicazione della spettroscopia è relativa allo studio delle stelle. Dato che esse sono fatte di gas, lo spettroscopio riceve la luce passata tra il gas, identificandone gli elementi che la costituiscono. Inoltre ogni onda elettromagnetica rivela un profilo, avendo più informazioni diverse. Questo metodo di "scansionare" le stelle è molto comodo, dato che si pratica stando sulla Terra (invece di mandare una sonda). Se ne ricavano moltissime informazioni utili per capire meglio l'universo e la sua storia, ma la cosa più utile è secondo me che si possa riuscire a localizzare cose invisibili, applicando le

conoscenze che si hanno a questi nuovi oggetti. Un importante elemento localizzabile è, ad esempio, un buco nero. Quando un oggetto viene risucchiato da un buco nero, appena oltrepassa un certo limite emette un'onda elettromagnetica: è l'ultima cosa che un oggetto emette prima di essere risucchiato.

In futuro spero di potermi occupare di spettroscopia più nel dettaglio, dato che mi interessa molto. Vorrei capirne di più ed imparare ad applicare la teoria alla pratica, contribuendo alla realizzazione di scoperte scientifiche utili.

Motivazione della commissione esaminatrice

L'elaborato risulta piuttosto ricco di contenuti, sebbene non sempre perfettamente attinenti al tema proposto. Il candidato mostra di essersi impegnato, e di aver approfondito con passione la tematica proposta.

Emma Tomasi (2004)

Classe III · Scuola Secondaria di Primo Grado "G. Bressadola"

Istituto Comprensivo "Trento 5", Trento

Docente referente: prof. Vittorio Caratozzolo

La spettroscopia è lo studio degli spettri, ne misura le dimensioni e ciò da cui sono composti. Uno spettro è una striscia luminosa con colori varianti dal rosso all'arancione, per poi passare al giallo, il verde, il blu e il viola. Ognuno di questi rappresenta un componente chimico differente e inoltre contiene tutti i colori visibili all'occhio umano. Lo spettro cosiddetto visibile, attraverso questi colori dà vita al fenomeno della luce. Oltre allo spettro visibile, esistono altri tipi di spettro, ovvero:

- lo spettro elettromagnetico, che indica tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche;
- lo spettro atomico, che si può studiare basandosi sul fatto che gli atomi assorbono la stessa radiazione che sono in grado di emettere, prendendo l'energia dal Sole. Ogni spettro di assorbimento atomico è diverso;
- lo spettro solare, che è stato scoperto nel 1802 da William Hyde Wollaston, un chimico e fisico inglese. Egli, osservando la luce del Sole attraverso un prisma, si accorse che veniva scomposta in sette diversi colori (FIG. A2). Così venne scoperto lo spettro solare.

L'ultimo spettro è dunque quello visibile, che comprende la gamma di colori visibile dall'occhio umano (quella che varia al rosso al violetto) e che, come spiegato, rende possibile la visione della luce.

La luce è infatti la parte dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano, ed è composta da onde, di cui si può misurare la frequenza. Questo è stato scoperto grazie allo studio della spettroscopia che studia ciò che viene chiamato «lunghezza d'onda» e «frequenza» degli spettri.

La luce è quindi composta da energia, ovvero una parte di uno spettro elettromagnetico che si può misurare in onde, calcolando la frequenza e la

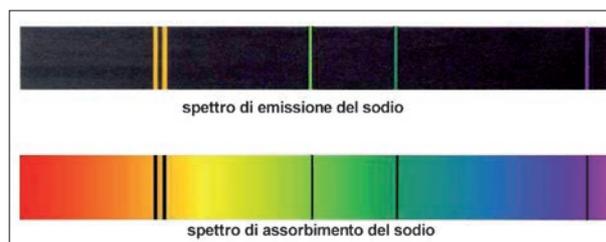


FIG. A1. Spettri a righe.



FIG. A2. Un prisma e la scomposizione della luce.

lunghezza d'onda. Basandosi su queste informazioni, l'onda può essere di vari tipi, (FIG. A3) ovvero (in ordine):

- le onde radio o radioonde, che sono delle onde elettromagnetiche con una lunghezza d'onda che varia dai 10 centimetri ai 10 metri;
- le microonde, quelle che sono trasmesse dal microonde, da cui appunto prende il nome. Hanno una lunghezza d'onda minore di 10 centimetri;
- gli infrarossi, la radiazione è invisibile ed è associata al rosso, ovvero al colore con la frequenza più bassa. Quasi ogni oggetto reale emette radiazioni come queste, a causa della temperatura;
- il visibile, ovvero quello che contiene lo spettro dei colori che compongono l'arcobaleno. La lunghezza d'onda varia tra i 390 e i 700 nanometri;
- l'ultravioletto, che prende il nome dal colore con la lunghezza d'onda più bassa. Questa radiazione elettromagnetica può essere considerata un intervallo tra il visibile e i raggi X. Il Sole è da dove provengono i raggi ultravioletti presenti sulla Terra, quelli che possono causare eritemi solari, tumori alla pelle e l'abbronzatura;
- i raggi X hanno invece una lunghezza d'onda molto bassa, e vengono usati soprattutto per scopi medici, ovvero i raggi X per riuscire a vedere le ossa;
- i raggi gamma sono le radiazioni elettromagnetiche con la frequenza maggiore e provengono spesso dalla radioattività dei nuclei.

La spettroscopia stellare capta le onde emesse da grandi masse situate principalmente nello spazio e, calcolando i valori e analizzando lo spettro, riesce a raccogliere informazioni su ciò da cui le onde provengono.

Ci sono tre tipi di spettri, quello a bande o a righe (FIG. A1), quello ad assorbimento e quello ad emissione continua.

Un'analisi basata sugli spettri si fonda sulla teoria dell'assorbimento, che consiste nello studio dello

spettro che si è captato, in cui si può notare dell'assenza di alcune parti di precisi colori. Questo quindi mostra quali componenti chimici sono stati catturati dallo spettro, definendo così la materia cui è relativo tale spettro (FIG. A1). Da questi spettri si può quindi capire anche l'intensità con cui le frequenze vengono assorbite e tutto questo dimostra che la spettroscopia non è solo utile per lo studio delle stelle, ma anche per qualunque corpo che assorba e rifletta la luce.

Tutto questo è possibile vedere grazie allo spettroscopio (FIG. A4), uno strumento usato nella fisica, nella chimica e nell'astronomia che, attraverso un prisma, analizza le radiazioni elettromagnetiche rivelandone lo spettro. Si può anche fabbricare in casa, per osservare gli spettri di oggetti che emettono radiazioni elettromagnetiche come ad esempio un neon.

Si utilizza un CD senza alluminio, e attraverso questo oggetto che funge da reticolo è possibile rilevare uno spettro a righe che mostra i vari colori, ossia i suoi componenti; per questo la spettroscopia stellare è utilizzata principalmente dagli astronomi per rilevare gli spettri delle stelle e definire gli elementi di cui sono composte, grazie alle radiazioni che vengono emesse dalle stelle.

Con questo studio è stata scoperta la cosiddetta radiazione di fondo del Big Bang, ovvero le radiazioni "fossili" emesse dal Big Bang all'origine dell'universo, che si diffondono ancora oggi, anche se molto deboli, in tutti i suoi "angoli". Tramite un radiotelescopio si possono captare queste ormai deboli radiazioni, che non si possono associare ad un punto preciso dell'universo e questo starebbe a significare che provengono dal Big Bang.

Questa scoperta venne fatta da Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson nel 1964, anche se era stata formulata già nel 1948 da George Gamow, Ralph Alpher, e Robert Herman. Arno Penzias e Robert Woodrow erano due giovani ricercatori che, intenti ad aggiustare un'antenna, rilevarono delle interferenze. Inizialmente pensavano si trattasse di alcuni piccioni che avevano fatto il nido sull'apparecchiatura, ma, una volta ripulito il luogo, quella che pensavano fosse un'interferenza non scomparve. Continuando la ricerca, scoprirono allora che si trattava delle radiazioni di fondo del Big Bang. Questo li portò successivamente a vincere il premio Nobel per la Fisica.

George Gamow, Ralph Alpher, e Robert Herman invece nel 1948 iniziarono a ipotizzare la temperatura della radiazione di fondo, ma purtroppo Arno Penzias e Robert Wilson presentarono la ricerca prima di loro, precedendoli nell'ottenimento del premio Nobel.

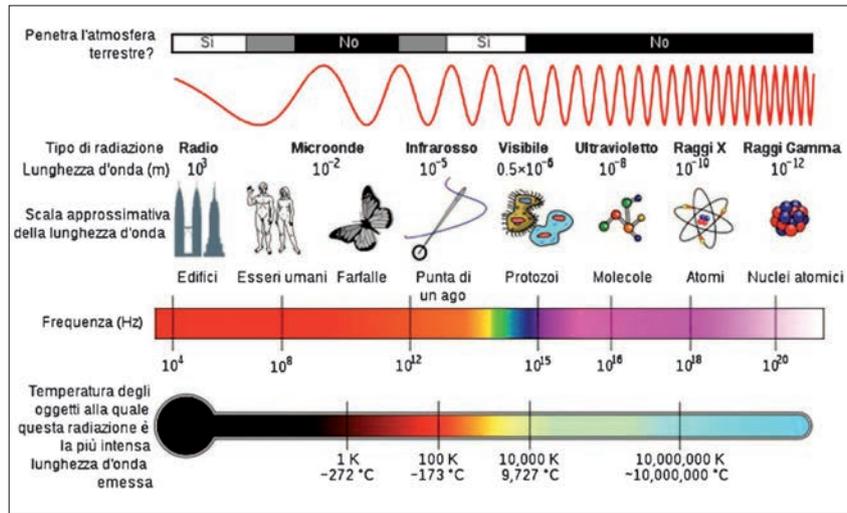


FIG. A3. Le varie onde.



FIG. A4. Uno spettroscopio.

Per tutte queste informazioni è servita la spettroscopia, e questo ne dimostra l'importanza, così come dell'astronomia e di tutti gli scienziati, i fisici, i chimici e gli astronomi che lavorano ogni giorno per poter fare nuove scoperte.

FONTI:

- Wikipedia, studenti.it, www.coelum.com, www.uai.it, www.inaf.it/it, www.sait.it
- Lezione laboratoriale della prof.ssa ROBERTA GUARDINI (scuola «G. Bresadola» - Trento)
- STEPHEN HAWKING, *Dal big bang ai buchi neri*, Milano, Rizzoli, 1988, pp. 54-55.
- AA.VV., *Enciclopedia della scienza*, vol. I, Milano, Motta, 2005
- AA.VV., *La Scienza*, vol. I, Torino, UTET, 2005

Motivazione della commissione esaminatrice

La candidata ha svolto il tema in maniera sufficientemente dettagliata in relazione alla sua giovane età. Le poche imprecisioni presenti sono state senz'altro bilanciate dal suo impegno, essendo ad esempio l'unica tra i candidati di questa categoria ad aver completato il tema con l'aggiunta di alcune immagini esplicative.

Flavio Salvati (1999)
Classe v · Liceo Scientifico
Istituto di Istruzione Superiore “Leonardo da Vinci”
Maccarese - Fiumicino (RM)
Docente referente: prof.ssa Irene Santo

Introduzione

Per secoli l'uomo non si è limitato a guardare il cielo ma, affascinato dal sublime della volta celeste, mosso dalla meraviglia e dalla necessità, ha cercato, passando inizialmente per miti e leggende universali, di trovare costanti immutabili nel mondo che osservava, giungendo, con il suo ingegno, a spiegazioni sul funzionamento della natura.

La luce, che da sempre ha giocato un ruolo fondamentale in tutte le attività umane, è l'unico mezzo di comunicazione tra la volta celeste e l'uomo; dunque, una comprensione esaustiva del cielo, ne esige l'approfondimento. Sebbene lo studio della radiazione elettromagnetica sia nato come una scienza puramente empirica e inizialmente se ne sia dato poco conto, nel corso del tempo ha acquisito sempre più consenso, fino a diventare una delle branche più importanti dell'astrofisica.

Togli la luce alle stelle e brancoleremmo nel buio.

Storia della spettroscopia

Il primo ad usare la parola “spettro” per descrivere l'insieme dei colori che formano la luce bianca, fu Isaac Newton nel suo trattato *Opticks*, in cui raccolse numerosi esperimenti corredati da spiegazioni teoriche alla base della dispersione della luce.

Nel XIX secolo, William Hyde Wollaston migliorò l'apparato sperimentale di Newton utilizzando una lente per focalizzare la luce su uno schermo e si accorse della presenza di linee nere che separavano i colori dello spettro continuo del Sole. Il prisma, il cui indice di rifrazione dipende dal tipo di vetro utilizzato, rendeva tuttavia difficile paragonare le analisi spettroscopiche derivanti da più esperimenti, non permettendo quindi di procedere ad un'analisi quantitativa di queste linee nere. Il fisico Joseph Fraunhofer, riprendendo gli studi di Thomas Young, sostituì il prisma di Newton con un reticolo di diffrazione, la cui capacità di disperdere la luce dipende solo dalla distanza tra due fenditure successive, e in tal modo riuscì a misurare e classificare con precisione la lunghezza d'onda delle linee osservate da Wollaston.

Partendo dall'osservazione che ogni elemento possiede uno spettro caratteristico, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen attribuirono sistematicamente gli spettri ai relativi elementi chimici, mostrando così che la spettroscopia poteva essere usata sia per identificare elementi chimici, che per scoprirne di nuovi. Allo stesso tempo, molti scienziati studiarono gli spettri emessi da sorgenti terrestri, come fiamme e scintille. Nel 1848, Foucault osservò che una fiamma contenente sodio assorbiva la luce

gialla emessa da un forte scintilla: questa era la prima dimostrazione in laboratorio dello spettro di assorbimento.

Nel 1851, F. Scott Archer introdusse il processo del collodio umido, metodo alternativo alla dagherrotipia per lo sviluppo delle immagini fotografiche, permettendo per la prima volta di registrare la luce delle stelle e degli altri oggetti celesti.

In questo contesto, fu fondamentale il contributo di Pietro Angelo Secchi, il primo a mettere a frutto, nei suoi studi al telescopio, le recenti scoperte nel campo della fotografia e della spettroscopia, fornendo le basi per le future ricerche scientifiche. A partire dal 1863, iniziò a raccogliere più di 4000 spettri stellari e, analizzando questi dati, scoprì che le stelle risultavano essere divisibili in un numero finito di tipologie. Il suo lavoro fu poi ripreso da Edward C. Pickering e Annie J. Cannon presso l'Harvard College Observatory, i quali svilupparono il sistema di classificazione nelle 10 classi spettrali tutt'ora in uso.

Sebbene la giustificazione teorica della spettroscopia arrivò solo nel XX secolo con l'avvento della meccanica quantistica e molti intellettuali, quali il prominente filosofo Auguste Comte, credevano che l'uomo non sarebbe mai stato in grado di studiare i corpi celesti, la spettroscopia fu presto riconosciuta come una vera e propria disciplina scientifica, pronta ad essere utilizzata per feconde scoperte scientifiche in tutti i campi.

Strumenti nella spettroscopia

Strumento fondamentale nella spettroscopia è senza dubbio il reticolo di diffrazione. Dal 1880, data in cui Henry A. Rowland intraprese per la prima volta la produzione automatizzata di reticoli a diffrazione, ad oggi, il processo di produzione sfrutta tecnologie sempre più avanzate.

Nei reticoli a incisione (*Ruled*), la produzione si attua con una macchina ad elevata precisione, mantenuta nella corretta posizione attraverso tecniche interferometriche, che incide su uno strato sottile di metallo depositato su una superficie piana o concava. I reticoli a incisione *Echelle*, utilizzati con successo nella scoperta di innumerevoli esopianeti, sono caratterizzati da una bassa densità di scanalature, dunque ottimizzati per lavorare ad alti angoli di incidenza, consentendo di ottenere una maggiore differenziazione delle caratteristiche spettrali ad alti ordini di diffrazione.

Nei reticoli olografici, invece, il principio di costruzione si basa sul fenomeno d'interferenza. Da un punto di vista teorico, quando due onde piane di luce coerente monocromatica di uguale intensità e lunghezza d'onda si intersecano, il risultato è un profilo di onda stazionaria nella regione d'intersezione, la cui distribuzione d'intensità è caratterizzata da una serie di frange equidistanti. La successiva incisione chimica sulla speciale resina fotosensibile in questione, forma il reticolo. I reticoli olografici

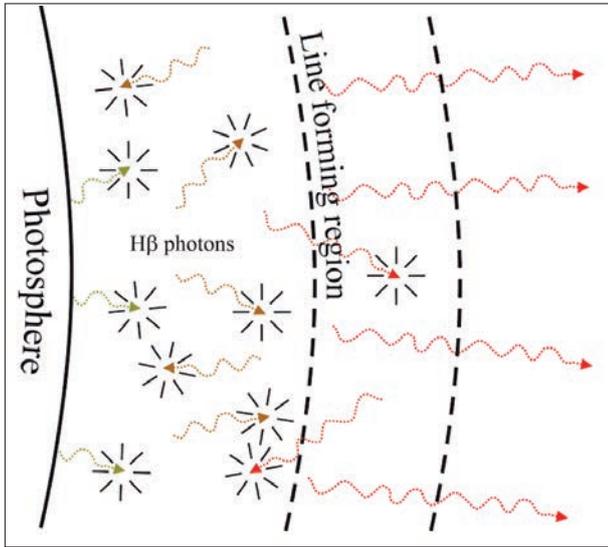


FIG. B1.

sono spesso usati nei monocromatori in quanto, nonostante la forma sinusoidale dei picchi che riducono la luminosità dello spettro risultante, sono più regolari (minore *stray light*), sono facili da fabbricare e, di conseguenza, più economici.

Dinamiche fisiche relative alla spettroscopia

La spettroscopia si avvale di uno studio accurato degli spettri per risalire alle innumerevoli proprietà di un oggetto celeste, come la composizione chimica, la temperatura, la massa, la velocità di rotazione e il campo magnetico. Ogni spettro emesso da un corpo celeste è il risultato della sovrapposizione di tre spettri fondamentali: lo spettro continuo, lo spettro di emissione e lo spettro di assorbimento. Ad esempio, all'interno di una stella, la materia, sotto forma di plasma, è caratterizzata da un grande numero di elettroni liberi che, passando vicino ad un atomo ionizzato, possono variare la loro traiettoria e decelerare, emettendo energia sotto forma di un fotone (*bremsstrahlung*). Dato che gli elettroni possono muoversi a qualsiasi velocità, anche se con probabilità differenti, possono essere emessi fotoni di ogni energia e quindi di ogni lunghezza d'onda, dando origine ad uno spettro continuo. Aumentando la temperatura del corpo, aumenta anche l'energia cinetica media degli elettroni nel plasma e aumenta di conseguenza l'energia emessa per ogni lunghezza d'onda. Questo fatto è descritto dalla legge empirica ricavata da Stefan-Boltzmann, successivamente dimostrata sulla base della meccanica quantistica da Max Planck, secondo cui l'energia emessa da un corpo è direttamente proporzionale alla quarta potenza della temperatura. Inoltre, per la legge di Wien, la lunghezza d'onda alla quale si ha la massima emissione d'energia, che quindi determina il colore percepito della stella, è direttamente proporzionale alla temperatura del corpo. Dunque, esaminando la curva di emissione di un oggetto, possiamo determinarne la temperatura.

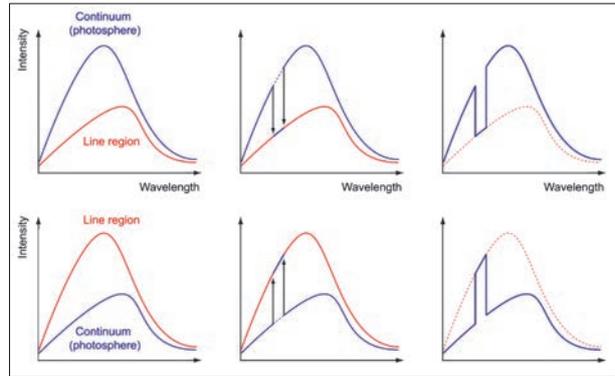


FIG. B2.

Mentre lo spettro continuo è prodotto dalle interazioni tra elettroni liberi (transizione *free-free*) che avvengono all'interno di una stella, gli spettri di emissione e di assorbimento sono prodotti dal gas stellare presente al di fuori della regione della fotosfera, dove le transizioni *free-free* perdono di importanza, per la bassa densità dell'atmosfera stellare, ma in cui l'assorbimento di fotoni da parte di elettroni legati ad atomi (transizione *bound-bound*), anche se limitato a determinate lunghezze d'onda, dà il maggior contributo energetico (FIG. B1).

In accordo con la legge di Stefan-Boltzmann, per regioni della stella con temperatura inferiore rispetto alla fotosfera, la curva di emissione della fotosfera è più alta della curva di emissione della regione esterna; perciò fuori dalla fotosfera, la luce è assorbita e poi nuovamente emessa con un'intensità inferiore a quella iniziale. Questa sostituzione parziale della curva della fotosfera con quella della regione di interesse crea una linea di assorbimento. Se, al contrario, la temperatura di uno strato del Sole sopra la fotosfera è superiore alla temperatura della fotosfera, allora questo genererà uno spettro di emissione (FIG. B2).

Contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, le bande di emissione non sono linee sottili, ma presentano uno spessore variabile in quanto l'energia dei fotoni emessi con il processo *bound-bound* non ha un valore esatto. Infatti, per il principio di indeterminazione di Heisenberg, dato il tempo finito in cui avviene la transizione energetica, l'energia del fotone deve avere un certo grado di incertezza, che risulta nello spessore finito delle bande di emissione. Il fattore solitamente più importante nell'allargamento di una banda spettrale, tuttavia, è il moto degli atomi rispetto all'osservatore che dà luogo, per l'effetto Doppler, ad un cambiamento della frequenza del fotone e quindi della lunghezza d'onda. Esaminando la sovrapposizione di questi due fattori, in una curva detta *Voigt profile*, siamo in grado di stimare con accuratezza la temperatura della stella e la sua velocità di rotazione.

Gli spettri delle stelle ci forniscono anche informazioni sul campo magnetico per l'effetto Zeeman. Quando è presente un campo magnetico, le caratteristiche linee di assorbimento di un gas sono sud-

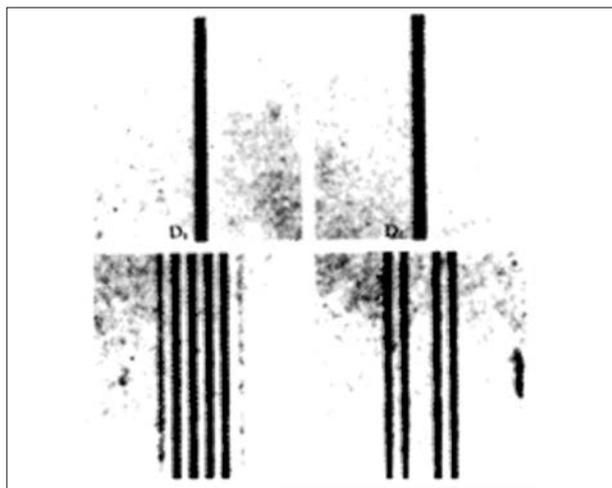


FIG. B3.

divise in più linee ravvicinate e l'energia viene polarizzata, assumendo un orientamento che dipende dal campo magnetico. In questo modo dallo spettro di una stella, ricavato per mezzo di uno spettrometro con polarimetro, possiamo determinare la forza e la direzione del campo magnetico (FIG. B3).

La spettroscopia in astrofisica

Al tempo di Hubble, si credeva che l'universo fosse limitato alla sola Via Lattea. I primi studi a smuovere questa convinzione furono intrapresi nel 1912 da Vesto Slipher che, esaminando lo spettro di Andromeda, allora creduta una nebulosa interna alla nostra galassia, misurò una velocità di avvicinamento insolitamente alta (300 km/s). Inoltre, Edwin Hubble individuò delle variabili Cefeidi nelle fotografie di Andromeda e, dai loro spettri, sulla base degli studi dettagliati compiuti da Henrietta Swan Leavitt nella nube di Magellano, fu in grado di determinare con maggiore precisione la distanza della galassia, confermando definitivamente le teorie risalenti fino al 1755, con Immanuel Kant. Esaminando le relazioni tra la distanza, ottenuta con il metodo delle Cefeidi, e la velocità, ottenuta dallo spostamento Doppler delle bande spettrali di decine di galassie, Hubble trovò una relazione lineare tra i due fattori, in cui la costante di proporzionalità prende oggi il suo nome.

Nel 1944, Walter Baade classificò gli spettri di migliaia di stelle in base alla loro composizione percentuale di elementi pesanti, distinguendole in stelle di popolazione I e II. Confrontando l'età delle stelle osservate con il loro spettro, Baade fu in grado di ricostruire una storia della formazione dell'universo, caratterizzandone la composizione nel corso della sua evoluzione. Secondo il modello elaborato dai suoi dati sperimentali, la materia creata a seguito del *Big Bang*, per la maggior parte idrogeno ed elio, diede origine alle stelle di popolazione III (tuttora non osservate), con una bassissima percen-

tuale di elementi pesanti. Dopo una breve vita, queste sarebbero esplose in supernovae a instabilità di coppia, spargendo nello spazio gli elementi che formarono la popolazione stellare di tipo II, con relativamente pochi metalli pesanti (0,1%). Infine, dagli elementi creati all'interno delle stelle di popolazione II, nacquero le stelle di popolazione I che, come il Sole, sono caratterizzate da un'alta percentuale di elementi pesanti (2-3%).

Fritz Zwicky fu il primo ad applicare il teorema del viriale per trovare un'incongruenza tra la velocità delle galassie nell'ammasso della Chioma e la loro massa, circa 400 volte inferiore a quella predetta teoricamente, dalla velocità ricavata con l'effetto Doppler. Egli, dunque, ipotizzò che ci dovesse essere una grande quantità di massa non luminosa, e quindi non percepibile, a cui diede il nome di materia oscura. A seguito di questa scoperta, molti scienziati, esaminando la velocità orbitale delle stelle intorno al centro galattico, scoprirono che la maggior parte delle galassie è formata da materia oscura che le avvolge in un alone sferico (*dark halo*). Tuttavia, altre spiegazioni di tali discordanze sperimentali ricercano la soluzione del problema in una modificazione della legge di gravità per piccole accelerazioni. Tra le varie teorie proposte, nessuna delle quali complete e soddisfacenti, troviamo la *Modified Newtonian Dynamics* (MOND) e, sua estensione in ambito relativistico, la *tensor-vector-scalar gravity* (TeVeS).

Attualmente, il campo di applicazione della spettroscopia che invoca maggiore interesse riguarda la ricerca e lo studio di pianeti extrasolari. La presenza di un pianeta orbitante intorno alla stella si può inferire tramite tecniche spettroscopiche dalla velocità radiale di una stella. Tanto minore è la massa del pianeta e quanto più è inclinata la sua orbita rispetto alla nostra linea di osservazione, più piccola sarà la velocità della stella. Per questo motivo, sono necessari strumenti molto precisi che raggiungano una sensibilità di 1 m/s. Tra gli strumenti che hanno avuto maggior successo nella scoperta di pianeti extrasolari troviamo gli spettrografi dell'ESO, HARPS (*High Accuracy Radial velocity Planet Searcher*) e UVES (*Ultraviolet ad Visual Echelle Spectrograph*), entrambi spettrografi ad alta risoluzione di tipo *Echelle*. Inoltre, possiamo ottenere informazioni sulla composizione chimica esaminando la luce riflessa dal pianeta, contenente bande di assorbimento dovute a minerali presenti nelle rocce sulla superficie e a molecole nell'atmosfera. In questo modo sono già stati scoperti metalli alcalini, vapore acqueo, monossido di carbonio, biossido di carbonio e metano.

Con l'avvento di telescopi di nuova generazione sempre più potenti, come l'*Extremely large Telescope* (E-ELT), il *Thirty Meter Telescope* (TMT), sarà inoltre possibile determinare la presenza di molecole e composti fondamentali per la vita e associabili anche ad attività industriali, provando la presenza di vita intelligente.

Conclusione

Nel presente saggio, si è voluto mettere in luce come i traguardi raggiunti nel campo della spettroscopia siano una diretta conseguenza dell'intensa collaborazione tra esperti nei diversi campi della conoscenza umana. Si è cercato di dipanare l'immensa matassa di scoperte scientifiche, per trovare il filo conduttore in grado di legare gli studi, le ricerche e le scoperte degli scienziati che hanno portato, quasi magicamente, alla perfezione raggiunta oggi in tale campo.

L'astronomia continua ad avere profonde ripercussioni sul nostro pensiero, rappresentando per

l'uomo quello sforzo infinito verso la libertà, intesa come autoscienza, e quella lotta inesauribile contro il limite che conduce al perfezionamento di noi stessi e del mondo in cui viviamo.

Tutto ciò si staglia sull'orizzonte dell'astronomia, la quale ci pone dinanzi nuovi limiti non riscontrabili sulla Terra, che permettono uno sviluppo fecondo della nostra immaginazione e felicità.

Motivazione della commissione esaminatrice

Il concorrente dimostra conoscenza approfondita degli argomenti proposti e il tema è stato sviluppato formulando un discorso convincente e ben articolato.

*L'eclisse totale di Sole del 21 agosto 1914
Osservata dalla missione italiana in Teodosia (Crimea)
(p. 105)*

RELAZIONE 3^a DI L. PALAZZO

[Ndr: prosegue dal fascicolo precedente del «Giornale di Astronomia».]

Registrazioni della radiazione solare termica ed attinica

OLTRÉ alle misure dirette ed assolute del calore irradiato dal Sole, fatte a mezzo del pireliometro Angström, noi avevamo tutto disposto per la registrazione continuata della stessa radiazione termica, nonché della radiazione luminosa più specialmente fotochimica. Gli strumenti adoperati erano:

1. L'attinografo di Violle a due palle, una riflettente dorata, l'altra assorbente annerita, nel cui interno stanno i serbatoi, avvolti a serpentino sferico, di due termometri a tubo, sistema Richard, colle pennine scriventi su di un tamburo a giro di 24 ore, entrambi i termometri essendo compensati per le eventuali variazioni di temperatura dell'ambiente esteriore alle palle;
2. L'eliofanografo di Campbell-Stokes, da cui, come è noto, si rileva alla fine della giornata in quali tempi il Sole abbia brillato con sufficiente calore per produrre una bruciatura su di un cartoncino sottostante ad una lente sferica di vetro che concentra i raggi;
3. Il cosiddetto fotometro eliografico di Richard, che registra pur esso la durata d'apparizione del Sole, ma ricorrendo all'azione chimica dei raggi su di una carta sensibilizzata col ferrocianuro di potassio. Noi, alla carta al ferro-prussiato, abbiamo creduto più conveniente sostituire strisce di carta al citrato d'argento (marca "Solio" di Kodak).

I suddetti apparecchi stavano esposti in mezzo al giardino della villa, sul piano di uno dei nostri cassoni d'imballaggio, così come vedesi nella 2^a fotografia della Tav. XXXVII.¹ (FIG. 1)

* Estratti dal vol. VII, S. II (1918) delle *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*.

¹ Tengo a rassicurare che sebbene, per effetto di prospettiva nella figura, gli strumenti appaiano su di uno sfondo di fitto fogliame, tuttavia niun impedimento davano le piante, l'orientazione e la distanza essendo tali che gli strumenti ricevevano liberamente i raggi solari, dal sorgere dell'astro fino al tramonto. Ritta, al lato nord del cassone, si vede altresì un'asta fornita di braccio, che era destinata a sorreggere dei termometri attinometrici, cioè a bulbi sferici, rispettivamente nero e lucido, chiusi entro palloncini di vetro vuoti d'aria. Era nostro intendimento di accudire pure, durante

Diremo ora intorno a quel poco che abbiamo potuto ricavare dai nostri strumenti.

Attinografo. – In verità, l'attinometro registratore si è dimostrato strumento di scarso valore; il termometro chiuso nella palla annerita, coll'intercapedine d'aria, non prende affatto la temperatura della superficie esposta ai raggi solari [...]. Alla differenza rilevata fra le due pennine scriventi sul tamburo dell'attinografo, non sappiamo invero attribuire un significato ben definito.

Nell'esemplare di attinografo Violle-Richard che possedevo, sembra poi che la differenza registrata dalle due penne, anche con pieno sole, fosse singolarmente ridotta [...]. Ma al difetto intrinseco dello strumento che rende poco cospicua la differenza attinica, si è aggiunta dippoi la circostanza della variabile nuvolosità del cielo nelle ore dell'eclisse, per cui, degli abbassamenti della temperatura d'insolazione registrati nei singoli momenti, è difficile scegliere quanta parte sia dovuta alle nuvole, e quanta invece sia da riferire alla fase dell'eclisse. Di conseguenza, il risultato della registrazione attinografica non può che essere modesto, e sarebbe fuori di proposito uno studio ed un'elaborazione minuta del diagramma per trarre conclusioni. Ci limiteremo a riportare, nella Tav. XXXIX (FIG. 2), a puro titolo di documentazione, il fac-simile della porzione di diagramma registrato dall'attinografo nelle ore diurne del 21 agosto 1914 [...].

Sul diagramma le trasversali a tratteggio PP, TT, FF (parallele alle ordinate) segnano rispettivamente il principio, il mezzo e la fine dell'eclisse (t[empo] m[edio] Teod[osia]).

L'eclisse, a letture continuate sui detti termometri, per ricavarne dati sulla cosiddetta differenza attinica, seguendo il metodo di Arago; ed avevamo anche trovato una volenterosa osservatrice nella signorina Larissa Viazislavovna Nosirina, che si era gentilmente profferta di leggere lei i termometri, nel mentre io avevo da fare al pireliometro. Ma, nel fatto, simile divisamento andò a vuoto, del che, a giustificazione mia, porto la ragione. L'Ufficio di Meteorologia (che aveva perduto successivamente, per rotture, in ascensioni aeronautiche fatte a scopo d'esplorazione dell'alta atmosfera, i termometri a bulbo nero di cui prima era in possesso), allorché fu decisa la spedizione a Teodosia, se ne trovò privo, e dovette ordinare d'urgenza, alla ditta R. Fuess di Steglitz, un nuovo attinometro Arago – Mariè-Davy. I termometri, così chiamati d'insolazione, ci pervennero appena in tempo, alla vigilia della nostra partenza per la Crimea, tanto che non ebbero agio di esaminarli; ciò che ci riservavamo di fare in seguito. Arrivati a Teodosia, quando ci accingemmo a disporre i termometri per le osservazioni, ebbero a riconoscere, con nostro disappunto, che la Casa fornitrice era caduta in equivoco spedendoci termometri attinometrici, non coll'ordinaria colonna di Hg liberamente scorrevole, ma invece col dispositivo *pel massimo*; pertanto essi non potevano servire ai fini delle letture della differenza attinica in tempo di eclisse.



FIG. 1.

Si vede che il principio dell'eclisse ebbe luogo quando, in causa dell'interposizione di nubi davanti al disco solare, già da qualche tempo i termometri erano entrati in rapida discesa; essi ripresero poi a salire ancora un poco, per effetto della schiarita del cielo, sebbene la fase dell'eclisse fosse allora già parecchio avanzata. Seguirono alcune oscillazioni in discesa; ma l'effetto di raffreddamento per l'eclisse è poi ben manifesto in quel largo avvallamento delle linee, il cui punto più basso cade circa 10 minuti dopo la totalità; tale ritardo, che è sensibilmente lo stesso per entrambi i termometri, è conseguenza, senza dubbio, sia dell'inerzia dei termometri, sia del sopravvenuto riannuvolamento subito dopo la totalità, come a suo luogo fu raccontato. Del resto, durante la totalità ed anche parecchio tempo appresso, si contano soltanto 3° di scarto apparente fra i due termometri; il che vuol dire che la differenza effettiva delle temperature erasi sensibilmente annullata per effetto dell'eclisse, e tale si mantenne pel consecutivo annuvolamento. Dalle 16^h in poi l'andamento dei termometri non fu più turbato dalle nuvole; il pendio della risalita si è mostrato alquanto più ripido che quello della discesa.

Eliofanografo termico. – Dalle tracce di bruciatura del cartoncino dell'eliofanografo Campbell [...], si riconosce il rapido avvicinarsi di nuvole davanti al Sole, cominciato già intorno al mezzodì, e seguito poi da più lunghe pause di oscuramento, allorché si avvicinava l'eclisse. Ciò stante, non molto si può concludere su quello che fu veramente effetto dell'eclisse medesima [...].

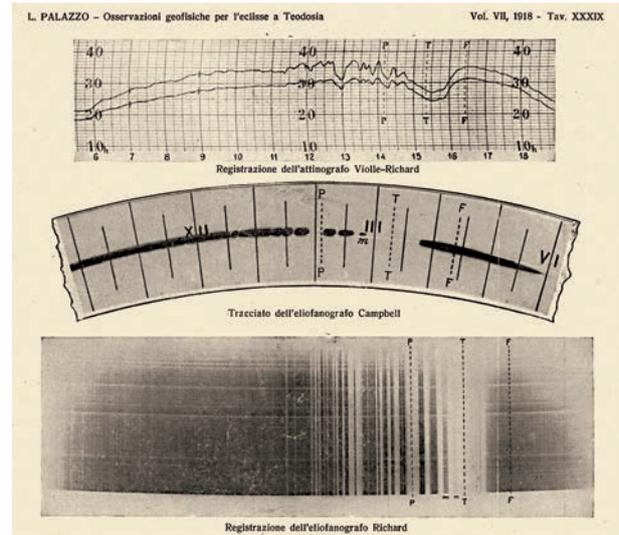


FIG. 2.

Eliofanografo fotochimico. – Lo strumento, nella costruzione di Richard, è un po' primitivo; esso ha il grave difetto che le ore di esposizione non vengono segnate automaticamente sulla zona di carta sensibile, la quale d'altra parte non porta divisioni orarie. È ben vero che sulla carta, chiunque voglia può marcare un punto o trattino di riferimento, ma manca poi il mezzo di condurre con sicurezza il segno al giusto posto corrispondentemente all'ora voluta, allorché il tamburo colla carta si chiude entro la scatola cilindrica recante la fessura di esposizione. Ne consegue che il riscontro del tempo sulla zona non riesce, generalmente, né facile né sicuro. Però, come registratore dei momenti di apparizione del Sole, lo strumento con le cartine al citrato d'argento è molto sensibile e pronto [...]. E se ne ha conferma anche nella parte della registrazione ottenuta al Richard al di là dell'eclisse totale, dopo una decina di minuti: mentre, per l'ingombro delle nubi, noi non potemmo più lavorare per lungo intervallo al pireliometro, e mentre nulla più fu registrato dal Campbell fino a 15h 49m, in quello Richard si scorge, al contrario, nel detto intervallo una serie di ombreggiature più o meno sfumate, segno che a volta a volta attraverso a nubi più leggere giungeva, dal Sole parzialmente eclissato, abbastanza luce per impressionare la carta sensibile.

[continua]

Donatella Randazzo, laureata in Biologia e diplomata "Librarian" in Inghilterra, è bibliotecaria all'Osservatorio Astronomico di Palermo, dove è responsabile del fondo antico e dell'archivio storico. Ha collaborato alla compilazione del repertorio degli astronomi italiani e dell'inventario dell'archivio storico dell'Osservatorio di Palermo, ed è impegnata nel progetto nazionale di catalogazione delle cinquecentine conservate negli osservatori astronomici dell'INAF.

Ileana Chinnici è ricercatore astronomo dell'INAF-Osservatorio Astronomico "G. S. Vaiana" di Palermo e Adjoint Scholar della Specola Vaticana. Laureatasi nel 1992 in Fisica con tesi in storia dell'astronomia, i suoi interessi di ricerca vertono principalmente sulla storia dell'astronomia e dell'astrofisica nell'Ottocento, con particolare attenzione alle fonti archivistiche. Nel 2001 ha collaborato all'edizione dell'inventario di archivio del Fondo Secchi della P. Università Gregoriana.

Cieli d'inchiostro★

A cura di Agnese Mandrino¹, Mauro Gargano², Antonella Gasperini³

¹ INAF · Osservatorio Astronomico di Brera

² INAF · Osservatorio Astronomico di Capodimonte

³ INAF · Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Galileo e Viviani?

Simone Bianchi

INAF · Osservatorio Astrofisico di Arcetri

IL Museo Galileo di Firenze espone, nella sala dedicata al grande scienziato, un dipinto del pittore fiorentino Tito Lessi (1858-1917) (FIG. 1). Il quadro, di proprietà dell'Osservatorio di Arcetri, viene comunemente indicato come *Galileo e Viviani*; l'*Iconografia Galileiana*¹ ne dà un titolo più esteso: *Galileo Galilei già cieco parla con Vincenzo Viviani nella villa di Arcetri*. L'opera raffigura, appunto, Galileo Galilei ed il suo discepolo Vincenzo Viviani (1622-1703), che dall'autunno del 1639 assistette il Maestro nella villa *Il Gioiello* fino alla morte nel 1642. Viviani vi appare ritratto con la penna appoggiata ad un foglio di carta mentre ascolta Galileo. Fra i numerosi soggetti galileiani, il dipinto è di grande impatto ed è stato utilizzato per il web, per locandine di congressi e testi editoriali: ad esempio, decora la sovraccoperta della prima edizione della *Storia dell'Astronomia* di Giorgio Abetti (Firenze, Vallecchi, 1949) e la copertina del recentissimo: *La villa di Galileo in Arcetri* (a cura di A. Godoli, F. Palla e A. Righini, Firenze, Florence University Press, 2016).

Ma davvero Tito Lessi aveva voluto raffigurare Vincenzo Viviani?

Il quadro fiorentino viene variamente indicato come «bozzetto preparatorio», «replica» o «riduzione» di un'altra tavola dipinta da Lessi: *La visita di Milton a Galileo ad Arcetri presso Firenze*, raffigurante appunto il supposto incontro dell'astronomo con il poeta inglese John Milton (1608-74), avvenuto probabilmente nel settembre del 1638.² L'opera è cono-



FIG. 1. T. LESSI, *Galileo e Viviani* oppure, come si sostiene qui, *Galileo in Arcetri detta al figlio il dialogo delle Nuove Scienze*. Olio su tavola, 31 × 31 cm (Museo Galileo, in deposito dall'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Inventario INAF 107005058).

sciuta oggi soprattutto grazie ad alcune traduzioni a stampa, come l'incisione di Baude riprodotta in «Le Monde Illustré» (1894, N. 1949) e in «L'Illustrazione Italiana» (1896, n. 31, si veda l'*Iconografia* a p. 371). Meno nota è la riproduzione fotografica a colori rintracciata negli Archivi Alinari (FIG. 2).

Il dipinto ottenne un discreto successo a Parigi, dove Lessi si era recato già dal 1880 su invito del gallerista austriaco Charles Sedelmeyer (1837-1925); venne esposto prima nella galleria Sedelmeyer, poi nel *Salon des Champs-Élysées* del 1893, dove fu premiato, insieme ad altre opere, con una 'seconda medaglia' («Le Temps», 27/5/1893). Quando la collezione Sedelmeyer fu dispersa in una serie di aste nel 1907, *Galileo e Milton* fu venduto per 14000 franchi («Journal des débats politiques et littéraires», 16/6/1907). Non è stato possibile ottenere ulteriori

* In questa rubrica, iniziata nel n. 1/2012, i curatori intendono presentare "frammenti di passato" provenienti dagli archivi astronomici, sia per aumentare la conoscenza degli archivi stessi, sia perché quei "frammenti" ci possano raccontare una sia pur breve storia degli uomini che, nelle nostre istituzioni, si sono dedicati allo studio del cielo.

¹ *Le opere di Galileo Galilei, Appendice, Volume I. Iconografia Galileiana*, a cura di Federico Tognoni, Firenze, Giunti, 2013. La scheda del quadro è la N. 208, pp. 369-371.

² Per molte informazioni su Galileo e i suoi contemporanei ci siamo avvalsi del portale *Galileo@thek@*, raggiungibile all'indirizzo: <http://galileoteca.museogalileo.it/>

informazioni sulla localizzazione successiva del quadro e su altri estremi dell'immagine in FIG. 2, che non è una diretta fotografia del dipinto ma una riproduzione da stampa.

In una recensione coeva,³ il critico d'arte inglese Philip Gilbert Hamerton (1834-1894) descrive i personaggi del quadro. Oltre a Galileo e Milton in primo piano, in piedi sullo sfondo sarebbe raffigurato Famiano Michellini (1604-1665) sacerdote delle scuole Pie con il nome di Francesco di San Giuseppe, allora insegnante di corte presso il Granduca; era anche amico, corrispondente e frequente visitatore di Galileo al Gioiello. Subito dietro Milton, seduto a destra, c'è «un nipote di Galileo, musico alla corte di Monaco, che si trovava a Firenze al tempo della visita del poeta allo zio (mia traduzione)». Si trattava di Alberto Cesare Galilei (1617-1692), liutista presso la corte del duca di Baviera e figlio del fratello di Galileo, Michelangelo; Alberto era stato ospite ad Arcetri dall'autunno del 1637 a quello del 1638. Infine, «il personaggio che tiene un libro in mano», seduto a sinistra dietro Galileo, «rappresenta il figlio del filosofo», Vincenzo Galilei (1606-49). Una descrizione così precisa non può che essere frutto di una conversazione fra il critico ed il pittore, come infatti si evince dal resto del testo che, oltre al quadro, discute dello stile e delle opere di Lessi e ne dà una biografia. D'altro canto, la scelta dei personaggi è quasi certamente frutto dei contatti fra Lessi e Antonio Favaro (1847-1922), uno fra i massimi studiosi di Galileo (si veda l'*Iconografia* a p. 371), ed infatti lo stesso Favaro ne conferma l'identificazione.⁴ Lessi aveva cercato da Favaro elementi di veridicità storica da trasporre sul quadro, veridicità che è lodata da Hamerton sia per la ricostruzione, che per le raffigurazioni dei volti e degli strumenti; queste ultime dettagliate riproduzioni di oggetti, come il globo celeste di Willem Janszoon Blaeu (1571-1638) in primo piano, allora conservati nel Museo di Strumenti Antichi di Astronomia e Fisica dell'Istituto di Studi Superiori di Firenze ed attualmente al Museo Galileo.

Con ogni probabilità, quindi, Lessi, anche nel dipinto fiorentino, volle rappresentare nel giovane vestito di rosso, identico a quello dell'opera parigina, il figlio di Galileo e non Viviani. La supposizione è



FIG. 2. T. LESSI, *La visita di Milton a Galileo ad Arcetri presso Firenze*, Olio (?) su tavola, 39 × 49 cm. Supporto e dimensioni dal catalogo di vendita: *Collection Ch. Sedelmeyer. Quatrième vente. Tableaux, aquarelles et dessins de l'École moderne et dessins anciens* ([Paris], 1907). Collezione privata (Roger-Viollet/Alinari).

confortata dalla minuta di una lettera inviata alla fine del 1933 dal Direttore dell'Osservatorio di Arcetri, Giorgio Abetti (1882-1982), al Ministero dell'Educazione Nazionale (FIG. 3 – IL DOCUMENTO).

Abetti chiedeva il permesso di accettare in dono all'Osservatorio

un quadro del pittore Tito Lessi rappresentante Galileo cieco in Arcetri che detta al figlio suo, negli ultimi giorni di sua vita, il "Dialogo delle scienze nuove".

Il quadro era appartenuto alla collezione privata dell'imprenditore Robert William Spranger, deceduto pochi giorni prima, ed il figlio John Alfred lo voleva regalare all'Osservatorio in memoria del padre. La donazione, accettata dal Ministero con una lettera del 21/3/1934, è ancora oggi ricordata da una targhetta metallica attaccata alla cornice del quadro:

TITO LESSI-GALILEO / Dono di J. A. SPRANGER / al R. Osservatorio di Arcetri / in memoria del padre suo / Comm. Prof. R. W. SPRANGER.

Gli Spranger erano una classica famiglia della colonia anglo-fiorentina. Robert William (1847-1933) arrivò sulle rive dell'Arno negli anni di Firenze Capitale. Insieme ad altri soci avviò una galleria d'arte che lo pose in contatto con numerosi artisti dell'epoca e gli permise di acquisire una ricca collezione. Fu pittore lui stesso, tanto da essere nominato professore onorario dell'Accademia delle Arti e del Disegno. Sposatosi con una ricca ereditiera di origine americana, investì poi i suoi capitali nello stabilimento siderurgico *La Magona d'Italia* di Piombino, fondato con altri soci nel 1891. Di spirito altrettanto

³ P. H. HAMERTON, *Milton visiting Galileo: painted by Tito Lessi*, «Scribner's magazine», vol. 15, 3 (March 1894), pp. 319-322.

⁴ A. FAVARO, *Il Gioiello ed il monastero di S. Matteo in Arcetri*, «Archivio storico italiano», anno 75, vol. 2, dispensa 3-4 (1918), pp. 158-177; si veda la nota 2 a p. 167.

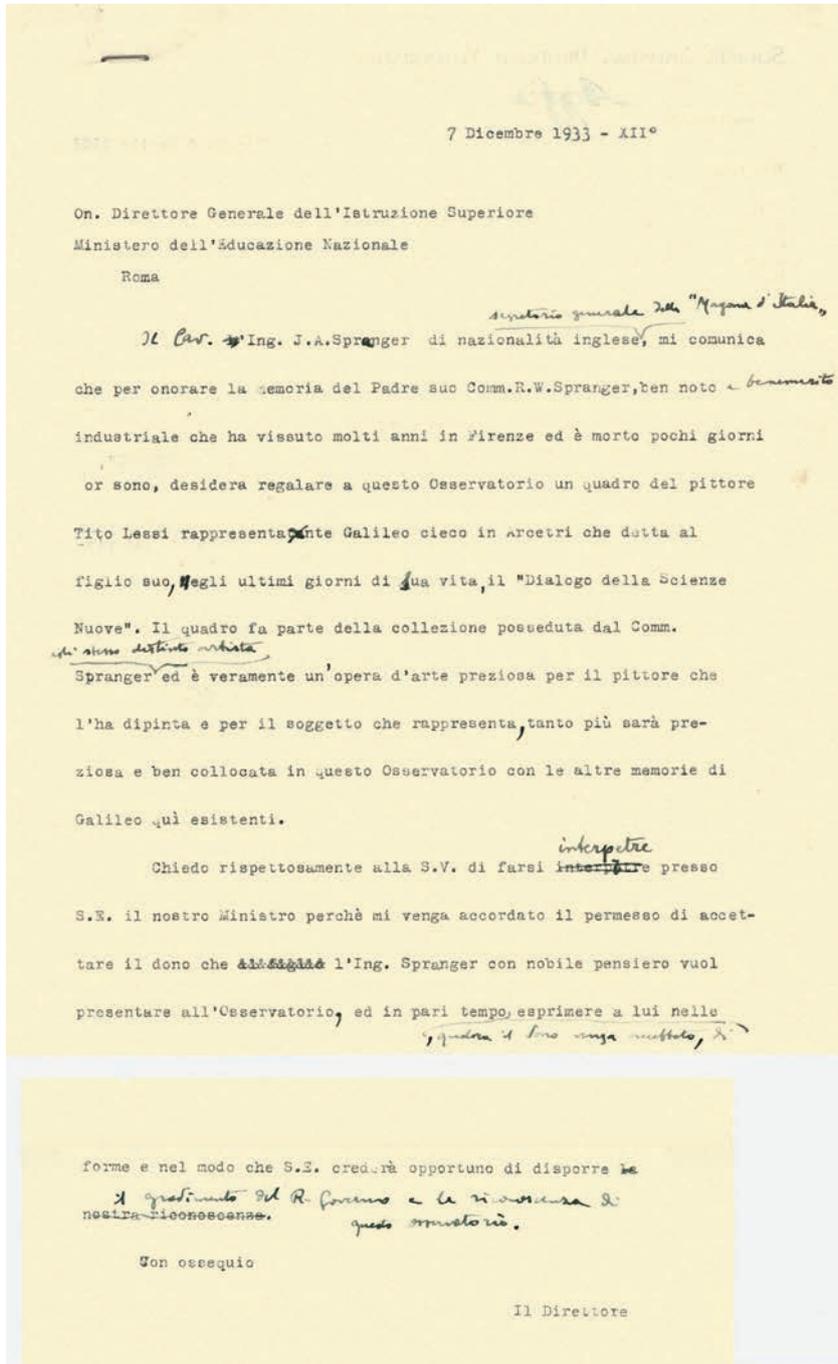


FIG. 3.

ecclettico fu il figlio John Alfred (1889-1968). Ingegnere con incarichi dirigenziali nella *Magona d'Italia* ed amministratore delle tenute agricole della famiglia nella valle del Bisenzio, John A. fu anche esploratore, fotografo, collezionista di ceramiche e monete antiche, bibliofilo e filologo.⁵ Anche l'astro-

⁵ Abbiamo ricavato le informazioni biografiche sugli Spranger da: S. BRUNI, *Le Peintre de la Centaureomachie de Populonia: nouveaux éléments*, in *Les potiers d'Etrurie et leur monde: Contacts, échanges, transferts*, a cura di L. Ambrosini, V. Jolivet, Paris, Armand Colin, 2014 (p. 191); *Telemaco Signorini e la pittura in Europa*, a cura di G. Matteucci, F. Mazzocca, C. Sisi, E. Spalletti, Venezia, Marsilio, 2009 (p. 39). Sono debitore di altre informazioni ad Alyson Price, archivista del *British Institute of Florence*, nella cui gestione e attività gli Spranger furono coinvolti.

nomia rientrava negli interessi di famiglia, e questo determinò probabilmente l'incontro con Giorgio Abetti e il padre Antonio, suo predecessore nella direzione di Arcetri. John A. era stato socio, così come Giorgio, dell'altra *Società Astronomica Italiana*, quella fondata a Torino nel 1906 da G. Boccardi (1859-1936); contribuì con alcuni articoli al bollettino societario, la «Rivista di Astronomia e Scienze Affini», firmandosi anche con il diminutivo 'Dino'. Al padre Robert W., Antonio Abetti si rivolse quando cercava nuovi sottoscrittori per resuscitare il 'Comitato Donati' e comprare un nuovo obiettivo per l'Osservatorio.⁶ Ma soprattutto John A. e Giorgio Abetti ebbero modo di approfondire la loro conoscenza partecipando insieme alla spedizione De Filippi in Karakorum nel 1913-1914.⁷

Tornando al quadro, la descrizione originale venne utilizzata più volte. Ad esempio, nel filmato dedicato ad una visita ad Arcetri del *Giornale Luce* del 18/3/1936 viene mostrato il dipinto mentre il narratore dice che «parlare di astronomia in Firenze è ricordare l'immortale Galilei che qui dettò al figlio Vincenzo il Dialogo delle Nuove Scienze»; una tavola con il dipinto di Lessi viene descritta come *Galileo in Arcetri detta al figlio il dialogo delle Nuove Scienze* nel libro *Galileo Galilei* di Gino Loria (1862-1954) (Milano, Hoepli, 1938). Poi evidentemente se ne è persa memoria: nel 1964, in occasione delle celebrazioni per il quarto centenario della nascita di Galileo, il quadro veniva presentato come *Galileo, già cieco, parla in Arcetri col discepolo Vincenzio Viviani*.⁸ È forse questa descrizione l'origine di quelle attuali, anche se in una mostra successiva, nel 1974, venne indicato anche come *Galileo visitato dal*

⁶ S. BIANCHI, D. GALLI, A. GASPERINI, *In morte di un astronomo: il monumento a Giovan Battista Donati*, «Giornale di Astronomia», 41, 4, 2015, pp. 24-33.

⁷ La «Dimora delle nevi» e le carte ritrovate: Filippo De Filippi e le spedizioni scientifiche italiane in Asia Centrale (1909 e 1913-14), a cura di L. CASSI, V. SANTINI, Pacini Editore, 2008; M. MAZZONI, *Quando l'Himalaya era più lontano delle stelle. Un secolo fa, la grande spedizione scientifica italiana nel Karakorum*, «Giornale di Astronomia», 43, 4, 2017, pp. 26-37.

⁸ *IV centenario della nascita di Galileo Galilei, 1564-1964. Mostra di documenti e cimeli galileiani*, a cura di M. L. Bonelli, Firenze, G. Barbèra, 1964.

giovane Milton,⁹ confondendone il soggetto con quello dell'opera esposta da Lessi a Parigi.

Come ricorda l'*Iconografia*, l'episodio della visita di Milton a Galileo fu un tema molto popolare nelle rappresentazioni figurative ottocentesche. Ad esempio, il pittore forlivese Annibale Gatti (1827-1909) ne fece alcune repliche, una delle quali (Opera D201b nell'*Iconografia*, p. 355) esposta nella stessa sala del Museo Galileo dove si trova il *Galileo in Arcetri detta al figlio il dialogo delle Nuove Scienze* (FIG. 4, a sinistra). Curiosamente, lo stesso quadro, con la stessa identica cornice, si trovava appeso nel laboratorio elettronico dell'Osservatorio di Arcetri alla fine degli anni Cinquanta del xx secolo (FIG. 4, a destra). Se si aggiunge la copia del ritratto di Galileo, presente in Osservatorio fin dalla sua inaugurazione,¹⁰ l'Istituto possedeva quindi una piccola collezione di opere dedicate al padre dell'astronomia moderna. Quindi, giustamente Abetti poteva scrivere al Ministero che l'opera del Lessi sarebbe stata «preziosa e ben collocata in



FIG. 4. A sinistra: A. GATTI, *Galileo Galilei e John Milton*, Museo Galileo (fonte: Google Maps). A destra: il quadro appeso nel laboratorio elettronico dell'Osservatorio di Arcetri alla fine degli anni cinquanta del xx secolo (Archivio fotografico INAF/Osservatorio Astrofisico di Arcetri).

questo Osservatorio con le altre memorie di Galileo qui esistenti».

IL DOCUMENTO (FIG. 3)

G. ABETTI, minuta di lettera al Direttore Generale dell'Istruzione Superiore del Ministero dell'Educazione Nazionale, 7/12/1933 (Archivio Storico Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Fondo G. Abetti, Corrispondenza 1933-35).

Simone Bianchi è ricercatore INAF all'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Si occupa dello studio delle polveri nel mezzo interstellare delle galassie a spirale e della loro origine. Si interessa, inoltre, della storia dell'Osservatorio di Arcetri e della sua strumentazione.

⁹ *Romanticismo storico: Firenze, la Meridiana di Palazzo Pitti, dicembre 1973-febbraio 1974 / mostra a cura di Sandra Pinto*, a cura di P. Barocchi, F. Nicolodi, S. Pinto, Firenze, Centro Di, 1974.

¹⁰ S. BIANCHI, D. GALLI, A. GASPERINI, *Le due inaugurazioni dell'Osservatorio di Arcetri*, «Giornale di Astronomia», 39, 3, 2013, pp. 19-30.

Agnese Mandrino è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico di Brera a Milano. Coordina il progetto "Specola 2000" per il riordino e la valorizzazione degli archivi storici degli Osservatori.

Mauro Gargano, laureato in Astronomia presso l'Università di Padova, ha un assegno di ricerca presso l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli, dove si occupa anche dello studio e valorizzazione della collezione storica esposta nel Museo degli Strumenti Astronomici.

Antonella Gasperini è responsabile della Biblioteca e dell'Archivio storico dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri. Collabora con le attività di diffusione della cultura scientifica e di valorizzazione del patrimonio storico dell'Osservatorio.

Spigolature astronomiche[★]

A cura di Annibale D'Ercole

INAF · Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS)

Verità, mezze verità e falsità sulla forza di Coriolis

Annibale D'Ercole

INAF · Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS)

CURIOSAMENTE, qualunque oggetto si muova sulla superficie terrestre tende a deviare verso destra nell'emisfero nord e verso sinistra nell'emisfero sud. Questa tendenza deriva dalla rotazione terrestre.

Per capire il perché, immaginiamo un giocatore di bocce posto al centro di una pedana in grado di ruotare, come quella di una giostra, e supponiamo che egli lanci le bocce verso un birillo posto sul bordo della pedana stessa. Se la pedana è ferma, il giocatore, dotato di mira infallibile, centerà il bersaglio ad ogni lancio. Se invece la pedana è in rotazione, le bocce mancheranno invariabilmente il birillo rotolando lateralmente rispetto ad esso (FIG. 1). Al momento del lancio, la boccia è effettivamente direzionata verso il bersaglio e si muove a velocità costante lungo una traiettoria rettilinea, dal momento che su di essa non agisce alcuna forza.¹ Tuttavia, nel tempo impiegato dalla boccia per raggiungere il bordo della pedana, il birillo si è “scansato”, a causa della rotazione, e la boccia manca l'impatto col bersaglio. Ma il giocatore dà un'interpretazione diversa di questo fallimento. Egli partecipa alla rotazione della pedana che quindi risulta ferma rispetto lui; anche il birillo rimane sempre di fronte al giocatore. La boccia manca il birillo perché la sua traiettoria non appare rettilinea al giocatore, ma opera una curva che la porta al lato del bersaglio. Indipendentemente dalla direzione (radiale od obliqua) e dal verso iniziali della velocità, la boccia

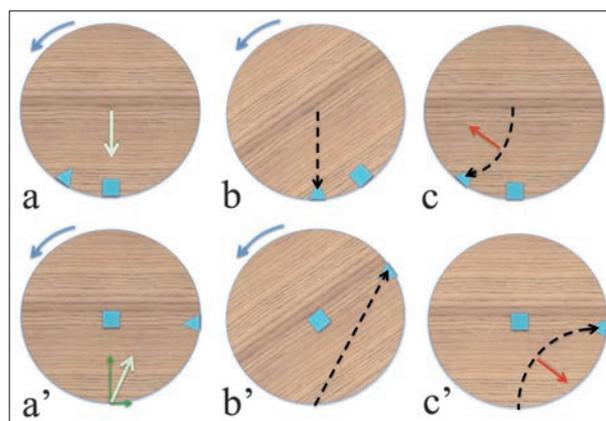


FIG. 1. I pannelli superiori mostrano il comportamento di una boccia lanciata dal centro verso il bordo di una pedana rotante; i primi due descrivono la situazione come osservata “al di sopra della pedana”, mentre l'ultima descrive ciò che appare al lanciatore della boccia: a) velocità iniziale della boccia (freccia verde) indirizzata verso un bersaglio (rappresentato dal quadrato azzurro). La freccia nera tratteggiata nel pannello b) indica la traiettoria rettilinea seguita dall'oggetto che raggiunge il bordo nel punto indicato dal triangolo azzurro. Il pannello c) illustra la situazione secondo un osservatore sulla pedana per il quale pedana e bersaglio sono fermi, e il proiettile curva verso destra a causa della forza di Coriolis (freccia rossa). I pannelli inferiori descrivono il comportamento di una boccia lanciata dal bordo verso il centro: a') velocità iniziale della boccia; oltre alla componente radiale del lancio c'è anche una componente tangenziale dovuta alla rotazione (freccia verde scuro). Anche in questo caso la traiettoria appare curvare a destra ad un osservatore sulla pedana. In generale, questo è vero per qualunque direzione e verso della velocità iniziale; la traiettoria, invece, appare curvare a sinistra in caso di rotazione oraria della pedana.

* Questa rubrica si propone di presentare in modo sintetico e, per quanto possibile, autoconsistente argomenti che stanno alla base della conoscenza astronomica, spesso trascurati nella letteratura divulgativa, in quanto ritenuti di conoscenza generale oppure troppo difficili o troppo noiosi da presentare ad un pubblico non specialistico. Questi “fondamenti di astronomia”, volutamente trattati in uno spazio limitato, possono essere letti a due livelli; eventuali approfondimenti per i lettori che desiderino ampliare la conoscenza dell'argomento vengono esposti in carattere corsivo e incorniciati. Si suggerisce questa rubrica, quindi, a studenti dei vari tipi e livelli di scuole. Le *Spigolature astronomiche* si possono trovare anche in rete, nel sito Web del «Giornale di Astronomia», <http://giornaleastronomia.difa.unibo.it/giornale.html>.

¹ Assumiamo nullo l'attrito tra boccia e pedana.

apparirà curvare verso destra in caso di rotazione antioraria della pedana, e verso sinistra nel caso opposto. Il giocatore interpreta questa deviazione come l'effetto di una forza che agisce sulla boccia spingendola lateralmente lungo una direzione ortogonale a quella della velocità.

Non esiste una reale sorgente fisica per l'origine di questa forza (come invece la carica elettrica per la forza di Coulomb o la massa per la forza gravitazionale). Essa in realtà non esiste, ma per un osservatore posto sulla pedana è più comodo descrivere il moto degli oggetti *come se* tale forza fosse

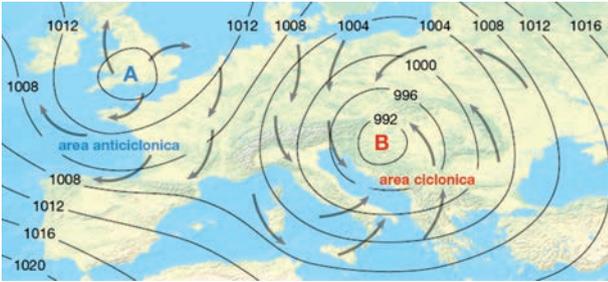


FIG. 2. Carta meteorologica dell'Europa illustrante le isobare (linee di ugual pressione) misurate in millibar. Sono presenti un massimo e un minimo di pressione, indicati, rispettivamente, con A e B. Le frecce mostrano la circolazione dei venti, oraria attorno al massimo (anticiclone) e antioraria attorno al minimo (ciclone).

reale.² Questa forza apparente viene chiamata *forza di Coriolis* dal nome del fisico francese Gaspard Gustave de Coriolis (1792-1843) che la studiò in dettaglio nel 1835.

La Terra può essere considerata come una grande pedana rotante; pertanto, come abbiamo detto all'inizio, qualunque movimento è soggetto, in linea di principio, all'influenza della forza di Coriolis. Tuttavia, come vedremo meglio nel livello avanzato, questa influenza è minima o nulla per eventi a carattere locale, mentre risulta considerevole per fenomeni particolarmente estesi quali quelli in campo meteorologico.

Esaminiamo, ad esempio, i *cicloni*, che si formano dall'incontro di aria fredda con aria più calda e umida generando nubi e perturbazioni atmosferiche. I cicloni extratropicali sono presenti alle medie latitudini (FIG. 2), mentre a latitudini inferiori si creano i cicloni tropicali (detti anche *uragani*) che, pur essendo di dimensioni inferiori – con diametri di poche centinaia di chilometri – sono tra le più violente perturbazioni atmosferiche (FIG. 3). I cicloni sono zone con pressione atmosferica più bassa rispetto a quella delle regioni circostanti (FIG. 2). L'aria, sospinta dalla differenza di pressione, tende a muoversi da queste regioni verso il centro della depressione. Se la Terra non ruotasse, ogni elemento d'aria raggiungerebbe questo centro seguendo una traiettoria rettilinea radiale; invece, a causa della rotazione terrestre, tale traiettoria si incurva sotto l'azione della forza di Coriolis. Di conseguenza, gli spostamenti di queste masse d'aria innescano venti che ruotano intorno alla zona di minima pressione, senza riuscire a “colmarla”, e danno luogo ad una cosiddetta *circolazione depressionaria*. Tale circolazione avviene in senso antiorario nell'emisfero nord giacché la Terra, vista dall'alto del polo nord, ruota in senso antiorario; nell'emisfero sud, invece, la circolazione depressionaria è oraria.

Come abbiamo già detto, in assenza della forza di Coriolis i venti si dirigerebbero direttamente dalle zone di alta pressione a quelle di bassa pressione, li-

² Un'altra ben nota forza apparente è la forza centrifuga che compare anch'essa nei sistemi di riferimento rotanti.

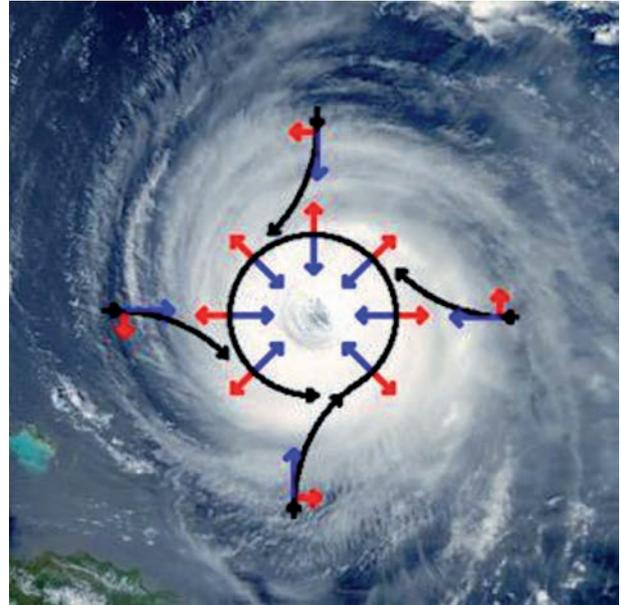


FIG. 3. Uragano attivo nell'emisfero nord. Le frecce blu indicano il percorso radiale che l'aria circostante seguirebbe per raggiungere il minimo di pressione in assenza della rotazione terrestre. In realtà i venti deflettono a causa dell'accelerazione di Coriolis (frecce rosse) dando luogo a un vortice con rotazione antioraria (frecce nere). In prossimità del centro l'accelerazione di Coriolis assume una disposizione centrifuga impedendo all'aria di raggiungere il centro. Si forma pertanto il cosiddetto “occhio del ciclone”, una regione di quasi calma del diametro di 30-60 km circondata da temporali.

vellando e uniformando rapidamente la pressione atmosferica; non potrebbero pertanto crearsi gli intensi cicloni e anticicloni responsabili della variabilità del tempo atmosferico che risulterebbe quindi prevalentemente stabile. Questa è precisamente la situazione che si verifica nella fascia equatoriale compresa tra le latitudini $+5^\circ$ e -5° (e che per questo viene chiamata *zona della calma equatoriale*). Infatti, a differenza della pedana della giostra, la superficie terrestre è sferica, e si può mostrare che la forza di Coriolis è massima ai poli e nulla all'equatore (si veda il livello avanzato).³

Per motivi del tutto analoghi a quanto accade nei cicloni, attorno ad una zona di alta pressione i venti assumono una circolazione oraria nell'emisfero nord e antioraria in quello sud, dando luogo agli *anticicloni* (FIG. 2). Il comportamento opposto di questa circolazione rispetto a quella depressionaria è dovuto al fatto che le masse d'aria tendono ad allontanarsi dal centro di alta pressione piuttosto che convergere verso di esso.

³ La sia pur semplice dimostrazione si basa sul calcolo vettoriale ed è al di là degli scopi di questa nota. È però istruttivo capire dal punto di vista fisico la *necessità* di un annullamento dell'accelerazione di Coriolis all'equatore. Se così non fosse, se cioè l'accelerazione di Coriolis si mantenesse sempre diversa da zero e cambiasse bruscamente segno passando da un emisfero all'altro, si verificherebbero delle incongruenze: un uragano che nasce proprio all'equatore “non saprebbe in quale verso ruotare”, mentre uno che lo attraversa dovrebbe invertire bruscamente il suo verso di rotazione.

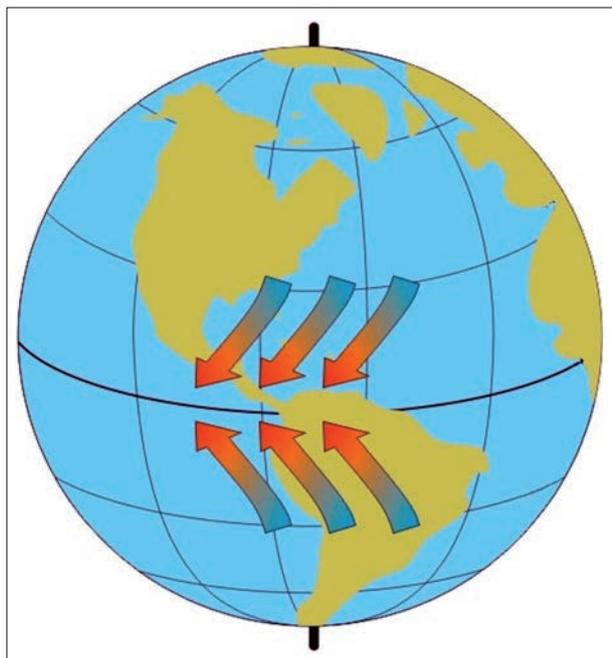


FIG. 4. Formazione dei venti alisei. L'aria si muove dalle latitudini intermedie verso l'equatore e viene deviata verso ovest dall'accelerazione di Coriolis dando luogo a venti relativamente uniformi e costanti.

L'accelerazione di Coriolis ha anche influenzato la navigazione ai tempi delle grandi scoperte geografiche. Come è noto, la superficie terrestre all'equatore è quella maggiormente scaldata dai raggi solari. Pertanto, qui l'aria, più calda e meno densa, tende a sollevarsi, lasciando "posto libero" all'aria più fredda e più densa che giunge dalle latitudini intermedie. In assenza della rotazione terrestre queste masse d'aria seguirebbero un percorso perpendicolare verso l'equatore seguendo i meridiani, ma la forza di Coriolis devia la loro traiettoria verso ovest (FIG. 4). Si generano così flussi d'aria detti *venti alisei*, alquanto costanti in direzione e intensità con velocità di 20-30 km/h. Grazie a queste caratteristiche gli alisei hanno giocato un ruolo importante ai tempi della navigazione a vela. Fu grazie a questi venti che Colombo raggiunse l'America.

Abbiamo sottolineato in precedenza che in genere l'accelerazione di Coriolis influenza in misura maggiore i fenomeni spazialmente estesi, come appunto quelli meteorologici. Vi sono, tuttavia, attività umane come, ad esempio, il volo degli aeroplani e la gittata dei cannoni che, pur coprendo scale spaziali minori, sono sottoposte ad accelerazioni di Coriolis piccole ma non trascurabili. Vi sono altri casi, come la presunta usura asimmetrica dei binari, dovuta ad un maggior logorio della rotaia destra (nell'emisfero nord) a causa della pressione ulteriore esercitata dalle ruote del treno per via della forza di Coriolis; qui l'effetto della rotazione terrestre è effettivamente presente ma è privo di conseguenze pratiche perché esiguo. È invece destituita di fondamento la leggenda metropolitana secondo cui, in analogia con quanto accade per gli uragani, il senso

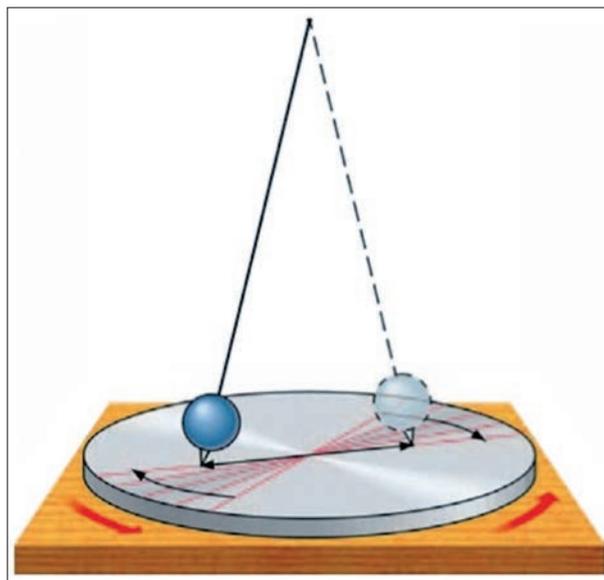


FIG. 5. Schema del pendolo di Foucault. Un pendolo che termina con una punta è posto su una base dotata di rotazione uniforme su cui è sparsa della sabbia. Durante le oscillazioni la punta lambisce la sabbia tracciando dei solchi che nel tempo assumono direzioni diverse perché il piano di oscillazione rimane fisso mentre la pedana ruota. Per un osservatore solidale con la pedana, quest'ultima è ferma e il piano di oscillazione ruota a causa della forza di Coriolis.

di rotazione del vortice creato dall'acqua nello scarico del lavandino dipenderebbe dall'emisfero in cui si trova; in realtà la velocità dell'acqua è così bassa e il tempo interessato così breve che l'accelerazione di Coriolis è praticamente assente, e la rotazione dell'acqua dipende da fattori casuali quali forma del lavandino, sua non perfetta orizzontalità ecc. Tutti i casi elencati in questo paragrafo sono discussi quantitativamente nel livello avanzato.

Citiamo infine il ruolo fondamentale che l'accelerazione di Coriolis ha avuto nella conferma sperimentale della rotazione terrestre. Si consideri un pendolo che, per semplicità, assumiamo posto al polo nord. Le leggi della fisica impongono al pendolo di oscillare sempre sullo stesso piano. D'altra parte, la superficie della Terra sottostante ruota: se quindi inizialmente il pendolo comincia ad oscillare, ad esempio, lungo il meridiano di Greenwich, con il passare delle ore meridiani sempre diversi verranno a trovarsi "allineati" con la direzione di oscillazione (FIG. 5). Per noi a terra, tuttavia, la Terra è ferma ed è invece il piano di oscillazione a ruotare a causa dell'accelerazione di Coriolis. Nel 1851 il fisico francese Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868) verificò sperimentalmente quanto appena descritto dimostrando così l'effettiva rotazione della Terra⁴ (si vedano le *Spigolature* nel n. 3 del 2011).

⁴ In verità, la rotazione della Terra venne dimostrata per la prima volta dall'astronomo italiano Giovanni Battista Guglielmini (1760-1811) che, nel 1790-91 a Bologna, lasciò cadere delle palle di piombo dalla torre Asinelli e da quella della Specola, alte, rispettivamente, circa 100 e 50 metri. Il punto di caduta, per la torre Asinelli, era spostato in media di circa 16 mm verso est rispetto alla

Consideriamo il caso descritto nel livello base di un giocatore di bocce posto su una pedana rotante e che cerca di centrare il birillo posizionato sul bordo della pedana stessa. Abbiamo visto che ai suoi occhi la boccia compie una traiettoria curva come se su di essa agisse una forza parallela al pavimento e ortogonale alla velocità v della boccia stessa. Sia Ω la velocità angolare della pedana (ossia la variazione del suo angolo di rotazione θ nell'unità di tempo); durante il tempo t necessario alla boccia per percorrere il raggio $R = vt$ della pedana il birillo percorre, a causa della rotazione, un arco di lunghezza $s = R\theta$. Vale, allora, la seguente catena di uguaglianze:

$$\begin{aligned} s &= R\theta \\ &= R(\Omega t) \\ &= (vt)(\Omega t) \\ &= \Omega vt^2. \end{aligned} \quad (1)$$

D'altra parte, sappiamo che un corpo sottoposto ad una accelerazione costante a_c compie nel tempo t un percorso

$$s = 0,5 a_c t^2. \quad (2)$$

Per piccoli angoli θ è lecito uguagliare questa espressione di s a quella ottenuta più sopra (FIG. 6); deduciamo quindi che l'accelerazione di Coriolis è data da⁵

$$a_c = 2\Omega v.$$

Pertanto, l'accelerazione è tanto maggiore quanto maggiori sono Ω e v ; in particolare, notiamo che un oggetto fermo sulla pedana non è soggetto a questa accelerazione.⁶

Dal momento che la Terra ruota, gli oggetti in movimento su di essa risentono dell'accelerazione di Coriolis. Contrariamente alla pedana di una giostra, però, la superficie terrestre è sferica. Si può dimostrare che in questo caso l'accelerazione di Coriolis dipende anche dalla latitudine φ :

$$a_c = 2\Omega v \sin(\varphi) = fv \quad (3)$$

dove $f = 2\Omega \sin(\varphi)$ è detto parametro di Coriolis. Pertanto, questa accelerazione è massima ai poli e

verticale. Questo risultato dimostra che la Terra ruota da ovest verso est. Data l'esiguità della deviazione, non tutti rimasero convinti della validità dell'esperimento che ebbe una risonanza inferiore rispetto a quello eseguito da Foucault sessant'anni dopo. Negli esperimenti di Guglielmini era presente anche una deviazione verso sud, le cui cause, non essendo all'epoca ancora nota la forza di Coriolis, non vennero comprese; anche questo contribuì a mettere in discussione i pur accurati lavori dell'astronomo bolognese.

⁵ La formula nel testo rappresenta un caso semplificato. In generale, essendo $\vec{\Omega}$ e \vec{v} due vettori, a_c è data dal loro prodotto vettoriale: $\vec{a}_c = -2(\vec{\Omega} \times \vec{v}) = -2|\vec{\Omega}||\vec{v}|\sin(\alpha)$, dove $|\vec{\Omega}|$ e $|\vec{v}|$ rappresentano i moduli dei due vettori e α l'angolo compreso.

⁶ Contrariamente all'accelerazione di Coriolis, l'accelerazione centrifuga, che pure si sviluppa nei sistemi di riferimento in rotazione, agisce anche su oggetti fermi in tali riferimenti.

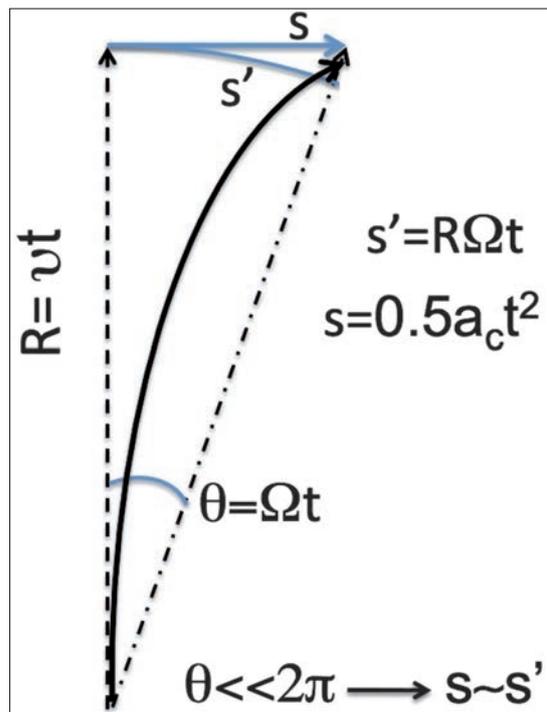


FIG. 6. La linea tratteggiata R indica il percorso compiuto nel tempo t da una boccia dotata di velocità v in assenza di rotazione della pedana. La linea curva rappresenta l'effettiva traiettoria della boccia come appare al giocatore. La distanza s tra le estremità delle due linee può essere assimilata alla lunghezza dell'arco s' per piccoli valori dell'angolo θ .

nulla all'equatore. Infine, per la seconda legge di Newton, la forza di Coriolis agente su un corpo di massa m è data da

$$F_c = ma_c. \quad (4)$$

Per comprendere, sia pure come ordine di grandezza, il grado di influenza della forza di Coriolis sui fenomeni che si svolgono sulla Terra, dobbiamo confrontare le accelerazioni a cui questi fenomeni sono sottoposti a causa di forze reali (come, ad esempio, la gravità o la pressione dell'aria) con l'accelerazione fittizia di Coriolis. Consideriamo la durata t del fenomeno, la sua velocità caratteristica U e la sua estensione caratteristica $L = Ut$. L'accelerazione, com'è noto, è la variazione di velocità nel tempo, e quindi, in prima approssimazione, possiamo scrivere $a \approx U/t$. Posto $Ro = a/a_c$, abbiamo

$$Ro = \frac{a}{a_c} \approx \frac{U/t}{fU} \approx \frac{U/(L/U)}{fU} \approx \frac{U^2/L}{fU};$$

dopo un'ulteriore semplificazione otteniamo

$$Ro = \frac{U}{fL}. \quad (5)$$

Questo numero adimensionale è stato introdotto dal meteorologo svedese (naturalizzato statunitense) Carl-Gustaf Rosby (1898-1957) ed è detto appunto numero di Rosby. Tramite questo numero è

possibile valutare l'influenza della rotazione terrestre su di un determinato fenomeno: se $Ro \gg 1$ questa influenza è trascurabile, mentre è vero il contrario per $Ro \ll 1$; per $Ro \approx 1$ la forza di Coriolis e le forze reali hanno pari importanza.

Vediamo allora qualche utilizzo pratico del numero di Rosby assumendo, a scopo dimostrativo, $\varphi = 45^\circ$. Tenuto conto che la Terra compie un giro in 24 ore, abbiamo $\Omega = 2\pi/24 = 0,26 \text{ h}^{-1}$, e $f = 0,37 \text{ h}^{-1} = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Come abbiamo già detto nel livello base, i cicloni, extra-tropicali e tropicali, sono largamente influenzati dalla rotazione terrestre: abbiamo infatti, orientativamente, $L = 100 - 1000 \text{ km}$, $U = 100 \text{ km/h}$, e $Ro \approx 3 - 0,3$. Questo spiega la rotazione antioraria (nell'emisfero nord) dei venti in questi sistemi.

Anche le correnti marine (come ad esempio, la corrente del Golfo), risentono dalla rotazione terrestre e deviano verso destra (nell'emisfero nord) rispetto alla loro direzione ideale di movimento. Si tratta di una sorta di "fiumi" di acqua più calda o più fredda degli oceani attraverso cui scorrono con velocità $U = 5 \text{ km/h}$ su distanze $L = 10.000 - 1000 \text{ km}$; si ottiene pertanto $Ro \approx 0,01 - 0,001$.

Esaminiamo ora alcune attività umane che possono essere influenzate dalla rotazione terrestre. Supponiamo che una nave cannoniera faccia fuoco contro un cacciatorpediniere posto a distanza $L = 30.000 \text{ m}$, sparando un proiettile con velocità $U = 800 \text{ m/s}$. Posto il tempo di volo del proiettile pari a $t = L/U = 37,5 \text{ s}$, e $a_c = fU = 0,08 \text{ m/s}^2$, dall'eq. (2) otteniamo l'ammontare della deviazione del proiettile pari a $s \approx 56 \text{ m}$: benché tale deviazione sia trascurabile rispetto alla gittata, è tuttavia sufficiente a far mancare il bersaglio all'artigliere; quest'ultimo, quindi, deve necessariamente tener conto dell'accelerazione di Coriolis per colpire l'obiettivo (nonostante sia $Ro = 267$).

Il volo degli aeroplani presenta problematiche simili a quelle appena descritte per l'artiglieria. Assumendo una tratta di lunghezza $L = 1000 \text{ km}$ percorsa con velocità $U = 1000 \text{ km/h}$, e ripetendo i passaggi svolti nel paragrafo precedente, otteniamo una deviazione finale $s = 185 \text{ km}$. Analogamente all'artigliere, anche il pilota deve apportare opportune correzioni di rotta per evitare di atterrare nell'aeroporto sbagliato! Va comunque sottolineato che l'effetto dell'accelerazione di Coriolis nei due casi precedenti, per quanto significativa, è minore delle perturbazioni dovute al vento.

Naturalmente, non soltanto gli aeroplani, ma anche i mezzi su ruota risentono della rotazione terrestre. Questo ha generato in alcuni la convinzione che, nell'emisfero nord, i treni consumino maggiormente la rotaia destra a causa della spinta laterale cui sono sottoposti a causa della forza di Coriolis che agisce sul treno. Per verificare la veridicità di questa convinzione, si consideri una locomotiva che si muove con velocità $U = 100 \text{ km/h}$. Essa è soggetta ad un'accelerazione di Coriolis pari ad $a_c = fU = 2,78 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$. Indicando con $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ l'accelerazione di gravità, otteniamo che il rapporto tra la forza laterale esercitata sulla rotaia destra (nell'emisfero nord) e il peso della locomotiva è pari a $g/a_c = 3,53 \times 10^3$; possiamo pertanto concludere che la "extra" usura del binario destro dovuta alla forza di Coriolis, benché presente, è trascurabile rispetto alla normale usura dovuta al peso del treno.

Concludiamo, infine, questa breve rassegna commentando la leggenda metropolitana secondo cui il moto rotatorio con cui l'acqua defluisce nello scarico dei lavandini è antiorario nell'emisfero nord e orario nell'emisfero sud. Assumendo $L \approx 1 \text{ m}$ e $U \approx 1 \text{ m/s}$ otteniamo $Ro \approx 10^4$. L'accelerazione di Coriolis è dunque del tutto irrilevante in questo caso.

Annibale D'Ercole si è laureato in Fisica all'Università di Roma "La Sapienza". Astronomo associato presso l'INAF · Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS), si occupa di simulazioni numeriche di idrodinamica, applicate alle nebulose e al gas interstellare delle galassie. È autore di numerosi articoli divulgativi pubblicati presso questa e altre riviste.

In ricordo di

Vito Francesco Polcaro

[Lauria (PZ), 29 giugno 1945 - Roma, 12 febbraio 2018]

Nel ricordo di alcuni amici

Vito Francesco astrofisico

Ho conosciuto Francesco Polcaro, Vito per tutti noi, il giorno in cui è arrivato all'allora LAS – Laboratorio di Astrofisica Spaziale – di Frascati, in via Enrico Fermi nelle due palazzine affittate qualche anno prima dal prof. Livio Gratton per dare spazio al gruppo di astrofisici che aveva con fatica messo insieme. Lo scopo era affrontare le sfide dell'astrofisica 'nuova', che si affacciava allo spazio per fare osservazioni in raggi UV e X, e da terra con i grandi telescopi. Era, se non ricordo male, il 1976 e Giulio Auriemma, mio tutor di tesi e mentore, stava lasciando il LAS, nominandomi responsabile del Gruppo Spazio con lo scopo principale di lanciare un razzo da White Sands Missile Range in New Mexico, argomento della mia tesi di laurea di qualche anno prima. Francesco aveva contattato Giulio, nostro capo carismatico, e dopo il suo benestare lasciò l'Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNR (di cui aveva diretto per tre anni il Reparto Radarmeteorologia) e prese servizio al LAS di Frascati. Fu una sorpresa vederlo entrare col suo solito impermeabile alla "Tenente Sheridan", allacciato con una cintura stretta in vita e la sua borsa da "ingegnere". Solo dopo scoprimmo la sua bizzarra abitudine di portarsi in borsa una serie completa di attrezzi che, più che ad un ingegnere aerospaziale quale Francesco era, si addicevano ad un idraulico o meccanico!

In Francesco convivevano due anime: quella dello studioso teorico, matematico e quella dell'ingegnere amante dei lavori manuali: non a caso aveva tre lauree di indirizzo tra loro dicotomico, tutte ottenute presso l'Università di Roma 'La Sapienza'.

La prima in Ingegneria Meccanica, nel 1968, con abilitazione all'esercizio della professione in Ingegneria, la seconda in Ingegneria Aerospaziale nel 1970, con indirizzo Astronautico; era forse il suo sogno diventare astronauta: nei molti viaggi comuni in aereo era estasiato al momento del decollo: diceva che quello che più gli piaceva era sentire il carrello dell'aereo che si staccava da terra! La terza laurea, in Matematica, l'aveva conseguita nel 1974, con indirizzo Meccanico-Relativistico.

Arrivò quindi al LAS a circa 30 anni, pieno di entusiasmo per questa nuova opportunità, credo senza avere la più pallida idea di cosa avrebbe fatto. Il momento era caotico, avevamo appena lanciato



con la NASA un esperimento a bordo di un pallone stratosferico che dalla base di Milo (Trapani) era arrivato fino agli Stati Uniti e ci stavamo preparando al lancio del razzo sonda da White Sands. Francesco si dimostrò entusiasta per questa attività scientifica a bordo di palloni stratosferici, che si sarebbe materializzata negli anni successivi con oltre 20 esperimenti lanciati da Trapani, Hyderabad (India), Brasile (San José dos Campos) e Palestine (Texas) e a cui Francesco ha dato un importante contributo, soprattutto per l'analisi dei dati scientifici. Ho avuto occasione di passare mesi insieme a Francesco, dividendo momenti molto belli e successi, così come fallimenti dovuti ad esperimenti andati male, sempre per questioni tecnologiche correlate ai rischi dell'attività spaziale a quote stratosferiche. (FIG. 1)

Una nota personale: abitavamo entrambi a Montesacro, a circa 30 km dall'Istituto e spesso, per anni, siamo andati al lavoro insieme, alternandoci alla guida delle nostre auto. Ricordo, con piacere, momenti di "terrore" quando guidava Francesco: non vedeva bene da un occhio e poco dall'altro e andava sempre al massimo... Il problema poi era che amava moltissimo la sua Lancia Appia, credo fosse stata del papà, ormai vetusta e con oltre trent'anni sulle ruote, ma alla quale era molto affezionato, e guidava come fosse una auto da corsa. Francesco era un coacervo di moderno ed antico: in Istituto ho saputo, anni dopo, che vedendoci arrivare ci chiamava-



FIG. 1. Brasile, campagna dell'autunno 1983 per l'osservazione in raggi X-gamma del Centro Galattico con l'esperimento POKER. Dopo il lancio, andato male a causa di una manovra errata di sgancio del *payload*, l'esperimento è stato recuperato ed è finito nell'unico torrente presente nella zona semi-desertica di São Manuel.

Da sinistra a destra: Cesare La Padula, Pietro Ubertini, Romolo Patriarca, Angela Bazzano, Francesco Polcaro del Team LAS di Roma e Johachin Teinard dell'Università di Tubingen.

no "l'uomo del passato" e "l'uomo del futuro", a voi immaginare quale fosse lui!

PIETRO UBERTINI
già Direttore Istituto di Astrofisica
e Planetologia Spaziali di Roma - INAF

*

VITO FRANCESCO POLCARO (VFP, come lo chiamavamo noi) ci ha lasciato il 12 febbraio 2018, al momento del completamento della sua avventura scientifica sulla variabile blu di grande massa (LBV = *Luminous Blue Variable*) GR290, ovvero la "Romano Star", dal nome del suo scopritore, Giuliano Romano, che la individuò su lastre fotografiche della galassia M33 raccolte all'Osservatorio di Asiago. Grazie all'intuito di Francesco e alla sua capacità di organizzazione, la stella di Romano è diventata anno dopo anno un oggetto cruciale nello studio dell'evoluzione delle stelle di grande massa ed altissima luminosità. Questo è solo l'ultimo dei lavori di "astrofisica pura", portato avanti in parallelo alle sue altre attività di ricerca, prima fra tutte l'archeo-astronomia, senza dimenticare la didattica, e la divulgazione.

L'attività scientifica di Francesco è documentata dai 200 articoli citati nel SAO-NASA Astrophysics Data System.

VFP aveva iniziato il suo lavoro da astrofisico nel campo dell'osservazione con i palloni stratosferici delle sorgenti di raggi X, e questa è stata successivamente l'occasione per il quale si è gettato, assieme ai colleghi dell'allora Istituto di Astrofisica Spaziale, nella ricerca e studio delle controparti ottiche delle sorgenti X, soprattutto stelle binarie strette interagenti tra di loro tanto da innescare reazioni nucleari con violente esplosioni. Il monitoraggio di questi oggetti, da terra e da satelliti, ha portato a rivolgere l'attenzione soprattutto a quelle in cui la compagna visibile è una stella calda e massiccia e l'oggetto invisibile in ottico, ma causa ultima della radiazione

X, è un oggetto collassato, una nana bianca o una stella di neutroni.

A tale riguardo ricordiamo le collaborazioni internazionali che hanno visto Francesco coordinare osservazioni multibanda allo scopo di capire le modalità di innesco degli *outburst*. X Per, A1118-61, 4U0515+38 e le loro controparti ottiche, sono alcuni dei sistemi che Francesco ha seguito per anni, non solo con l'ausilio di medi e piccoli telescopi degli Osservatori di tutto il mondo, ma anche con le frequenti fondamentali osservazioni ottenute grazie alla collaborazione di astrofili.

Nella sua lunga carriera scientifica l'interesse di Francesco si è progressivamente spostato verso stelle più calde, non solo binarie. Un insieme forse non casualmente raggruppato in uno spazio ristretto, è costituito da alcuni oggetti, tutti peculiari e tutti appartenenti all'ammasso aperto Berkeley 87: una Be dallo spettro fortemente variabile (V439 Cyg), una supergigante B (HDE 229059), una regione HII (G75.77+034) inclusa nell'*error box* di una sorgente gamma (2CG75+00), una stella caldissima di tipo Wolf-Rayet (ST₃) della classe WC.

Quest'ultimo oggetto ha stimolato l'interesse di Francesco allo studio delle WR in generale e delle loro nebulose circostanti, ai confronti fra le varie classi, alle abbondanze chimiche, le temperature e l'evoluzione temporale. Ne è scaturita una serie di articoli che hanno evidenziato come le pochissime WO conosciute possano essere *de facto* incluse nella classe WC, costituendone il campione di temperatura più elevata.

Le *Luminous Blue Variables* sono per molti versi evolutivamente legate alle WR; la curiosità su GR290 nacque dalla prima nostra osservazione, da quando, avendo deciso di studiare le candidate LBV di M33, scoprimmo che, nelle immagini CCD da noi prese a Loiano nel 2003,¹ per quella stella non c'era nulla in corrispondenza delle coordinate indicate in rete. Sulla base dell'articolo originale di Giuliano Romano, capimmo che le coordinate inserite in rete avevano x e y scambiate fra loro (mai fidarsi della rete! neppure del sito più autorevole). Quella notte stessa scoprimmo che lo spettro era particolarmente interessante.

Il tanto materiale raccolto dal nostro team da allora si è concretizzato in molti lavori, ciascuno dei quali si focalizza su una delle fondamentali modalità

¹ Mi permetto di aggiungere a questo ricordo il fatto che Francesco utilizzava frequentemente il telescopio "Cassini" di Loiano da 152 cm. Capitava spesso che fossero presenti in cupola anche degli studenti del corso di laurea in Astronomia di Bologna, per iniziare ad "assaggiare il sapore delle osservazioni notturne". Ebbene, nonostante l'impegno che le sue osservazioni richiedevano, Francesco era di un'enorme disponibilità verso gli studenti, prodigo di consigli e approfondimenti, oltre che di "varia umanità", come era nel suo carattere. Sempre, gli studenti, nel riferirmi a lezione delle attività svolte a Loiano, ricordavano con grande affetto la presenza di uno "strano" astronomo romano, con la pipa sempre in mano, che dedicava loro un sacco di attenzioni, devo dire, molto più di tanti altri colleghi, interessati solo a non perdere neanche un minuto del loro tempo osservativo (FABRIZIO BÒNOLI).

di approccio ai problemi astrofisici di Francesco e dei suoi collaboratori e le cui conclusioni sono descritte in tre importanti articoli pubblicati tra il 2011 ed oggi.

Nel primo, il decennale monitoraggio della stella è stato utilizzato per studiare la possibile variabilità della luminosità bolometrica e determinare empiricamente l'attuale fase evolutiva. I successivi lavori della trilogia hanno visto la collaborazione di colleghi esperti in evoluzione stellare e in modelli di stelle di grande massa.

Il secondo ha preso le mosse dalla caccia, voluta da Francesco, di vecchie fotografie della galassia M33, tanto da poter ripercorrere la storia della stella indietro nel tempo, sino all'inizio del Novecento.

L'ultimo lavoro fa il punto sulla struttura fisica della stella, sul suo stato evolutivo e sulla presenza di una nebula circumstellare originata dalla materia espulsa nel passato. In quest'ultimo lavoro molto spazio è stato dato ai giovani che, con l'uso massiccio dei modelli, hanno interpretato dal punto di vista teorico la gran mole di dati a disposizione; di quest'articolo Francesco ha visto la conclusione, ma non la accettazione, arrivata dopo la sua scomparsa.

Il ricambio generazionale è nell'ordine delle cose, ma di Francesco non possiamo dimenticare la perseveranza nel perseguire senza esitazione un obiettivo lungamente meditato, stimolando la curiosità dell'interlocutore, cercando di vincerne le esitazioni e, lezione fondamentale, l'instancabile tenacia nella difesa delle proprie convinzioni.

CORINNE ROSSI
Università degli studi di Roma
'La Sapienza'
ROBERTO VIOTTI
Istituto di Astrofisica
e Planetologia Spaziali di Roma - INAF

★

Un dialogo diretto con Francesco, docente, maestro, collega

«FRANCESCO carissimo, nella consapevolezza che tu continui a camminare con tutti noi, sono qui per ringraziarti, da parte mia e a nome degli studenti e dei colleghi (in particolare Adriana Maras come coordinatrice del Corso di Laurea e Gianni Andreozzi come coordinatore del Dottorato) nell'ambito delle Scienze applicate ai Beni Culturali all'Università 'La Sapienza', per aver aperto NUOVI ORIZZONTI grazie alle tue conoscenze e competenze nel contesto dell'archeostronomia.

Voglio qui ricordarti:

Valerio Graziani con il suo lavoro di tesi (*Il complesso megalitico delle Petre de la Mola sul Monte Crocchia: rilevamento, analisi e significatività dei possibili orientamenti astronomici*), Eva Lupo (*Mausoleo degli Equinozi in Roma: misure archeoastronomiche e analisi della planimetria*), Jessica Bianchi (*Studio archeometrico sulla chiesa di San Donato a Ripacandida: risultati preliminari*), Isabella Leone (*Studio archeoastronomi-*

co dell'Altare Castellucciano, detto Pulpito del Re, nella Valle del Belice (Sicilia), Laurea Triennale) e (*Studio statistico sull'orientamento astronomico delle chiese paleocristiane e medievali di Roma, Laurea Magistrale*), Silvia Sclavi, insieme a Marcello Ranieri e a Lucilla Labianca, con la sua tesi di dottorato sulla Basilica Sotterranea di Porta Maggiore in Roma, Flavio Carnevale, Marzia Monaco, Silvia Sclavi, Claudia Scatigno e Marcello Ranieri con lo studio sull'orientamento dei Mitrei di Ostia Antica ...

La tua presenza e le tue competenze hanno permesso a questi giovani di firmare insieme a noi diverse pubblicazioni.

Ti ricordo la e-mail che, il 22 gennaio scorso, hai inviato dall'ospedale a Isabella Leone, Franco Meddi e me:

Intanto vi comunico che, avendo finalmente finito la fase iniziale, domani torno a casa aspettando la terapia genetica che farò in day hospital. Vi scrivo però soprattutto per chiedervi se siete disponibili a portare un piccolo upgrade del lavoro, "A statistical study of the astronomical orientation of the early Christian and Medieval Churches of Rome", al convegno della SEAC (Società Europea di Astronomia Culturale) che si svolgerà a Graz dal 27 agosto al 1 settembre.

L'idea è di verificare, sulle chiese della popolazione con abside ad est, se ci sia qualche correlazione con l'alba del giorno del santo cui la chiesa è dedicata. Visto che non sappiamo cosa verrà fuori, che il precedente lavoro non è ancora uscito e che andrà comunque riassunto nel nuovo, ho rapidamente buttato giù l'abstract che vi allego. La scadenza per la presentazione degli abstract è tra una settimana. Naturalmente, non so se sarò in condizioni di potere andare io a Graz, ma potrebbe andare uno di voi. Francesco.

Oggi, Francesco, posso dirti che sarà proprio Isabella Leone, come tu desideravi, a rappresentare te e a presentare i risultati del nostro studio al convegno SEAC 2018, grazie a Fabrizio Capaccioni e all'INAF-IAPS.

SILVIA GAUDENZI
Università degli studi di Roma
'La Sapienza' e INAF-IAPS-CNR

★

Vito Francesco Polcaro, e il mondo antico: lo studio degli astri fra pratiche culturali e vita quotidiana

FRANCESCO le tante sue attività, Francesco si occupava tra l'altro, come aveva dichiarato egli stesso, «di stelle di grandissima massa (da quelle 25 volte più grandi del Sole in su), usando qualsiasi tecnologia possa essere disponibile, dai satelliti per astronomia gamma ai documenti monastici medievali che descrivono le esplosioni delle supernovae del passato».

Aveva infatti anche discusso con altri, in diversi lavori, le possibili testimonianze medioevali europee della SN 1054, confrontandole con quelle dell'Estremo Oriente. È appunto nel contesto del passato lontano che ho avuto modo di interagire con Fran-



cesco, il quale già si interessava ai temi dell'archeoastronomia, e partecipava, con una certa assiduità, ai convegni delle associazioni internazionali di astronomia culturale ISAAC e SEAC. Col tempo, l'interazione è diventata sempre più stretta, visto che ci siamo scambiati vari *e-mail* di lavoro, anche durante la sua malattia (con qualche mio scrupolo, a dire il vero, per il suo stato di salute), fino al giorno prima della sua improvvisa scomparsa. Certamente era un combattente che non si tirava indietro di fronte agli impegni presi.

All'inizio degli anni Duemila, a seguito dell'interesse per le supernovae storiche, Francesco si era occupato in dettaglio dell'antica astronomia cinese e delle sue relazioni con il potere imperiale. Molte di quelle considerazioni erano state poi raccolte, insieme ad altro materiale derivato da pubblicazioni e da varie conferenze divulgative, nella *Storia sociale dell'astronomia*, scritta con Andrea Martocchia e pubblicata nel 2012 (edizioni La Città del Sole). È un libro che non pretendeva di presentare una storia completa, ma voleva indicare piuttosto una strada da seguire, e con urgenza, per arrivare a ciò che più stava a cuore agli autori, cioè a una riflessione sull'attuale crisi della scienza legata alla crisi economica con il suo impatto sociale e politico.

Sempre nell'ambito dell'astronomia storica, ovvero del possibile uso di registrazioni e rappresentazioni dei fenomeni nel passato come dato di osservazione astrofisico, aveva analizzato anche vari dipinti in chiese medioevali. A questo proposito, ricordo ancora l'impressione che mi è rimasta della sua fede: quando visitavamo una chiesa, Francesco, entrando, si genufletteva profondamente.

Vivendo a Roma, era ovviamente in contatto con archeologi dell'Università e delle Soprinten-

denze, e questo anche a seguito della carriera intrapresa dal figlio Andrea nel campo dell'archeologia. In collaborazione con loro aveva studiato, tra l'altro, il possibile contenuto astronomico e gli effetti di luce nella basilica neo-pitagorica sotterranea di Porta Maggiore. Aveva organizzato il nostro Convegno SIA 2007 a Roma, presso il Museo Archeologico e le Terme di Diocleziano, il Convegno SIA 2012 ad Albano Laziale, e ancora a Roma presso l'Università 'La Sapienza' il Convegno SIA 2017. Francesco ricordava con un certo orgoglio la sua organizzazione del Convegno della Società Europea (SEAC) nel 2015, all'Università 'La Sapienza', che aveva visto una folta partecipazione internazionale.

È mia opinione che i suoi lavori principali nel campo dell'archeoastronomia siano quelli sul contenuto astronomico delle strutture megalitiche dell'Età del Bronzo, presenti in varie regioni dell'Italia meridionale e in Sicilia, lavori svolti in collaborazione con i Gruppi Archeologici. Infatti, sta diventando sempre più chiaro l'uso calendariale di tali strutture, realizzate in un'epoca in cui ancora non esisteva la scrittura ed era quindi indispensabile avere un sistema per il conteggio dei giorni dell'anno, a partire da punti ben definiti come i solstizi. È plausibile ritenere che solo in questo modo gli antenati avrebbero potuto effettuare la programmazione, di importanza vitale, delle attività agricole. Le grandi strutture dovrebbero aver avuto anche un significato rituale, cosa della quale spesso è rimasta una traccia nella cultura popolare locale. Mi auguro che col tempo tutto ciò diventi parte del bagaglio culturale normale degli archeologi che lavorano nel campo della preistoria, anche perché per questo non sono necessarie delle conoscenze astronomiche complicate: in un certo senso, basterebbe mettersi nei panni dei nostri antenati e guardare il cielo coi loro occhi. E sarebbe un bellissimo riconoscimento del lavoro di Francesco.

ELIO ANTONELLO
PRESIDENTE SOCIETÀ ITALIANA
DI ARCHEOASTRONOMIA (SIA)

*

Vito Francesco Polcaro "homo politicus"

Ho conosciuto Francesco per la prima volta nel giugno 2001, l'avevo incontrato altre volte in precedenza ma mai eravamo entrati in confidenza.

Stavamo organizzando una riunione come "Osservatorio sulla ricerca": un gruppo spontaneamente costituitosi di ricercatori e scienziati. Eravamo preoccupati dalle ipotizzate trasformazioni della ricerca pubblica nazionale (in particolare dei suoi principali Enti: CNR INAF, INGV ecc.) da parte dell'allora ministra Moratti. Ci pareva inverosimile che per queste trasformazioni la ministra avesse investito società esperte in ristrutturazioni aziendali nel mondo degli affari tipo la Ernst & Young.

Francesco partecipava a quel tavolo come responsabile del Partito dei Comunisti Italiani, con tessera CGIL e da sempre attento alle questioni della ricerca. Aveva quindi, assieme anche ad altri che avevamo invitato, una veste ufficiale. Al contrario di noi che invece non avevamo alcuna ufficiale “appartenenza” sindacale e/o politica. Ma che, proprio per questo, intendevamo rappresentare le esigenze, i valori, i diritti, le problematiche “della ricerca e della scienza” (l’aver al nostro fianco scienziati del calibro di Tullio De Mauro, Carlo Bernardini, Giorgio Parisi, Marcello Buiatti, Laura Balbo, Margherita Hack, Marcello Pacini, Carlo Umiltà, Tullio Regge e vari altri ci rendeva credibili a questa impresa).

L’idea era di elevare valori e principi – che dovrebbero guidare il buon funzionamento della scienza – ad argine verso i tentativi maldestri di chi intendeva condurla sul terreno insidioso dell’efficienza piegata sostanzialmente alle leggi del mercato e della pura concorrenza; in cui venivano esclusi principi di salvaguardia di valori non quantificabili sulla sola dimensione economica.

Francesco capì perfettamente l’importanza di questa distinzione e anzi lavorò con noi per rendere quello spazio di autonomia dalle rappresentanze ufficiali (politiche e sindacali) più strutturato, credibile e forte.

Da vero scienziato, oltre che da politico e sindacalista, Francesco comprendeva perfettamente che quel processo di valorizzazione di principi fuori dagli schemi e dalle strumentalità (reali o attribuite) avrebbe avuto maggiore possibilità di affermazione.

Avrebbe potuto fare breccia nell’opinione pubblica e tra gli stessi schieramenti politici un movimento di scienziati rivendicanti principi non piegati a logiche di parte ma orientato esclusivamente sui valori fondanti la scienza.

Fu un periodo di grandi entusiasmi e di discreti risultati. Quella battaglia per l’affermazione di una ricerca come motore del Paese, nei suoi più svariati aspetti, aiutò certamente ad una maggiore consapevolezza sui danni che il Governo di centro-destra berlusconiano stava infliggendo al Paese e contribuì alla sconfitta della destra nelle successive elezioni.

Riassumevamo insieme in quei tempi alcuni obiettivi raggiunti:

- 1) si è certamente evidenziata più che nel passato l’importanza del ruolo della ricerca sui mezzi di informazione; 2) una parte del ceto politico è stata investita (ai suoi massimi livelli) delle questioni attinenti ricerca e alta formazione e ha “percepito”, e forse in parte anche metabolizzato, rilevanza e valore sociale delle questioni di merito; 3) la comunità scientifica, pur con molte approssimazioni e limiti, ha trovato una sintesi, ha superato vecchi antagonismi e conflitti (per esempio tra CNR e accademia), ha individuato un luogo e uno strumento attraverso cui esprimersi, seppur quasi solo per opporsi (quindi in un contesto in cui è più facile trovare convergenze). In ogni caso, ha presentato un suo volto, lo ha visto riconosciuto e lo ha percepito come adeguato.



Terminato quel periodo, ci siamo incontrati diverse volte e scritti via *e-mail*, sempre per ragioni di politica della ricerca. L’ultima fu nell’aprile dello scorso anno quando stava organizzando il convegno della Società Italiana di Archeoastronomia per il successivo settembre e mi invitò per un intervento sui rapporti tra scienze umane e scienze dure. Purtroppo non potei aderire a quell’invito, per precedenti impegni. Oggi mi amareggia molto aver mancato l’opportunità di condividere con Francesco quella occasione culturale.

Non posso dire che Francesco sia stato un mio amico. Non nel senso classico in cui questo concetto lo si intende. Non credo, per esempio, di aver mai parlato con lui delle mie questioni private, se non in modo superficiale. Né lui parlò mai a me dei suoi cari o delle sue personali vicissitudini (Carlotta la conosco per altre vie e altri percorsi di vita).

Abbiamo però molto parlato di quello che volevamo che il mondo diventasse, di come sarebbe stato possibile ottenerlo. In particolare del mondo della ricerca e della scienza.

Quello che a me Francesco ha lasciato è il profondo senso del presidio valoriale. Non sempre dividevamo le strade per l’affermazione di alcuni principi, ma i principi, quelli sì.

Francesco ha fedelmente sostenuto per tutta la sua vita (per quello che ho potuto intendere di lui) le ragioni dei più deboli e dei più sfortunati. Associandosi alle idee e alle ideologie che prospettavano quelle trasformazioni che avrebbero potuto affrancare quei deboli dalla loro condizione di minorità.

Un presidio cui non è mai venuto meno e di cui tutti gli dobbiamo grande riconoscenza.

RINO FALCONE
Direttore Istituto di Scienze
e Tecnologie della Cognizione - CNR

★

Un ricordo da tutte le compagne e i compagni dell'Associazione Nazionale Partigiani d'Italia²

È CON profondo dolore che il comitato provinciale di Roma dell'Associazione Nazionale Partigiani d'Italia apprende che stanotte, dopo una vita dedicata alla Scienza e al suo impiego pacifico e al servizio di tutti, alla lotta per la Libertà e l'emancipazione di tutti i lavoratori come di ogni essere umano, è mancato il nostro carissimo Prof. Vito Francesco Polcaro.

Già Presidente provinciale dell'Associazione, ne raccolse il testimone dal comandante Massimo Rendina. Di spirito profondamente religioso e di convinzioni sinceramente comuniste, dette lustro all'Associazione rappresentando gli ideali e le aspirazioni di tutti i combattenti e di tutti gli antifascisti con l'intelligenza della sua cultura, lo stile della sua ferma cortesia e con l'esperienza del suo impegno, che spaziava dalla lotta per la casa all'archeologia astronomica, dalla lotta per l'istruzione alla battaglia per la pace. Sempre attivo nel coagulare i sentimenti democratici del mondo scientifico, attento all'evoluzione del dibattito politico, scientifico, teologico, perdiamo con Francesco un uomo e un compagno straordinario, che ha arricchito tutti coloro che hanno avuto la fortuna di frequentarlo. Anche per questo Francesco non sarà dimenticato.

ANPI - COMITATO PROVINCIALE
DI ROMA

★

Tra Peppone e don Camillo: un'acozzaglia di ricordi

CI ho messo un po' di tempo a convincermi che fosse possibile, che era vero, che l'ideale di comuni-

² Da: www.anpiroma.org/2018/02/in-morte-di-vito-francesco-polcaro.html.

sta attivo nelle piazze e una religiosità sincera e priva di esibizionismi possono coesistere nella stessa persona senza entrare in conflitto. Questa dualità di Francesco non ha mai smesso di stupirmi, regalandomi episodi e frasi talvolta anche esilaranti ma visuti da lui sempre in modo serissimo.

- Roma, campus Università 'la Sapienza': a un ragazzo che cercava di vendergli il giornale *Il Manifesto*: «No grazie, sono un uomo di sinistra».
- Aeroporto di Marsiglia, domenica mattina, scioperi, ritardi, cancellazioni dei voli. «Bene, abbiamo un sacco di tempo, cerchiamo la cappella e vediamo gli orari delle S. Messe» (fortunato, ovviamente stava iniziando).
- Elezioni anni Novanta: «Come dicevamo ai vecchi tempi: forza compagni, andiamo a votare che se vinciamo noi sarà l'ultima».
- Loiano, febbraio 2003, domenica mattina dopo la messa: «Per le intenzioni del Papa prega tanta gente, io ho pregato che l'oggetto che abbiamo trovato ci dia tante soddisfazioni» (è stato esaudito!).
- Dimesso dall'ospedale San Giacomo, reparto ortopedia:

VFP: «Io e il mio compagno di stanza Cagnotti non avevamo le stesse idee sui diritti degli operai nelle fabbriche».

CR: «Cagnotti? Il presidente della Lazio?».

VFP: «L'azionista di maggioranza della Cirio! Sì, sì... anche della Lazio» (nota: l'ospedale era quello ufficiale dei calciatori della Lazio).

CORINNE ROSSI
Università degli studi di Roma
'La Sapienza'

★

Ci piace concludere con l'ode sui briganti lucani che Francesco metteva in coda ai suoi messaggi:

*Ammo pusato chitarra e tammurre
PECCHÉ STA MUSICA S'ADDA CAGNA'
Simmo briganti e facimmo paure
e cu' 'a scoppetta vulimmo canta'.*

(da: *Lo Cantu de li Briganti*, anon., Basilicata, ca. 1870)

A cura di **Alberto Cappi**

INAF · Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS)

Oltre l'orizzonte

Quali nuove frontiere per la fisica?

Giovanni Amelino-Camelia

Codice Edizioni, 2017

Copertina flessibile, pp. 164, € 16,00

ISBN 9788875787202

www.codiceedizioni.it

CON *Oltre l'orizzonte. Quali nuove frontiere per la fisica?*, Giovanni Amelino-Camelia propone una riflessione sulle ambizioni e le prospettive di successo della fisica moderna. Per farlo, l'autore ripercorre la carriera di Einstein, non tanto, o almeno, non solamente, per il ruolo centrale del fisico tedesco nel panorama scientifico di inizio Novecento; ma per l'esemplarità dell'evoluzione, o meglio involuzione, della sua vita di scienziato. Nella prima fase della sua carriera, Einstein realizzò geniali e rivoluzionarie scoperte che hanno radicalmente stravolto la nostra percezione della realtà. Nella seconda fase della sua carriera, in particolare dal 1919 in poi, la produttività e originalità scientifica di Einstein declinarono. Cosa produsse tale cambiamento? In questo libro, Amelino-Camelia offre la sua risposta al quesito.

La ricerca del giovane Einstein era mossa dall'esigenza di dare una spiegazione teorica a una serie di fatti empirici (la costanza della velocità della luce, il moto browniano delle particelle, la ionizzazione degli atomi dovuta all'irradiazione elettromagnetica, la precessione dell'orbita di Mercurio). La sfida nella costruzione di modelli anche sofisticati, come il costruito teorico della relatività generale, era fondamentale animata da un bisogno di interpretare in modo coerente osservazioni della realtà. Per farlo, Einstein non esitò a scuotere concetti come il tempo e lo spazio, o ad inoltrarsi in teorie (come l'allora nascente fisica quantistica) che Einstein stesso certo non amava. Il culmine del connubio fra sviluppo teorico e dati osservativi nell'esperienza einsteiniana si ebbe con la conferma osservativa di una chiara predizione della relatività generale inspiegabile nel contesto della fisica classica: l'osservazione dello spostamento apparente di stelle di campo dovuto al transito del Sole, misurato da sir Arthur Eddington durante un'eclissi nel 1919.

Nella seconda parte della carriera, Einstein invece si pose l'obiettivo di integrare la gravità nel contesto teorico che venne sviluppato con successo per descrivere le altre tre forze osservate nell'Universo:

la forza forte (che tiene uniti i nuclei atomici), la forza debole (responsabile dei decadimenti atomici) e la forza elettromagnetica. Queste ultime tre forze, inizialmente scoperte come indipendenti, sono state in seguito raggruppate in un unico modello capace di descriverle simultaneamente. L'Einstein del dopo 1919 dedicò il grosso della sua attività di ricerca a sviluppare, senza successo, un'espansione della sua teoria della gravità che potesse portarla ad essere incorporata alle altre forze. Questa sfida, raccolta da molti dopo di lui, passerà alla storia della scienza come teoria dell'unificazione delle forze, o "teoria del tutto". Non risponde alla necessità di spiegare un fatto empirico, quanto alla speranza o ambizione teorica di creare un coerente e comprensivo sistema teorico che spieghi tutte le forze in Natura.

Nella differente ispirazione delle due attitudini alla ricerca espresse da Einstein nelle due fasi della sua vita, Amelino-Camelia identifica l'origine della crisi di produttività del tardo Einstein, e di gran parte della fisica teorica che ne seguì l'esempio fino ai giorni nostri. Amelino-Camelia condanna senza mezzi termini l'idea stessa di una "teoria del tutto", dandone un'interpretazione letterale ed un po' estrema (teoria del tutto come teoria in grado di rispondere a qualsiasi domanda), e, parafrasando uno dei campioni mediatici della teoria del tutto, David Weinberg, la definisce un "incubo", più che un sogno. Al di là di una manifesta partigianeria, che porta l'autore ad alcune semplificazioni eccessive, l'analisi di Amelino-Camelia coglie un aspetto fondamentale nella relazione fra osservazioni e teoria, e sicuramente invita a una riflessione sulla ragione profonda che sta alla base dell'investigazione scientifica.

ROBERTO DE CARLI

Giovanni Amelino-Camelia è un fisico teorico italiano, noto per i suoi lavori sulla gravità quantistica. Attualmente insegna all'Università Federico II di Napoli ed è responsabile nazionale della Iniziativa Specifica "Teoria e Fenomenologia della Gravità Quantistica" per l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. È membro dell'Accademia Pontaniana di Napoli e del Foundational Questions Institute fondato da Max Tegmark. È stato premiato dall'Accademia dei Lincei e dalla Gravity Research Foundation.

*

Numeri

Tutto quello che conta da zero a infinito

Claudio Bartocci, Luigi Civalleri

Codice Edizioni, 2017

Copertina rigida, pp. 264, euro 33,00

ISBN 9788875787196

www.codicedizioni.it

NON tutti, purtroppo, hanno un buon rapporto con la matematica e spesso ciò è una conseguenza di esperienze scolastiche più o meno traumatizzanti. Nonostante questo, è certo che i numeri fanno parte della nostra vita: misure di ogni genere, indici finanziari, probabilità e statistiche, prezzi, rapporti, tassi, costanti di accoppiamento, esponenti caratteristici, cardinali e ordinali. Anche per chi li detesta i numeri sono davvero ovunque ed è davvero impossibile rinunciare al loro utilizzo, dato che sono presenti in ogni minima azione nella vita di tutti i giorni.

È anche vero che la natura dei numeri ci sfugge. Sono il messaggio segreto di una qualche divinità creatrice, che filosofi e matematici, da secoli, si sforzano invano di decifrare? Oppure la materia prima della tessitura del mondo, come credevano i Pitagorici? Hanno una loro esistenza assoluta o sono soltanto una nostra costruzione mentale, una convenzione linguistica, forse addirittura una mera finzione?

Questo libro, in un percorso che unisce meraviglia e curiosità, conoscenze scientifiche e nuove sensibilità estetiche, ci accompagna alla scoperta di una delle massime rappresentazioni culturali dell'uomo. Gli autori, Bartocci e Civalleri, con grande competenza ci conducono alla scoperta di grandi matematici del passato e di sorprendenti proprietà dei numeri, paradossi, congetture ed enigmi, strumenti di calcolo (dall'abaco romano alla Olivetti Summa Prima) e molto altro ancora. Il lettore, se li ha, rivedrà sicuramente i propri pregiudizi sulla matematica e osserverà oggetti e concetti abituali sotto una luce nuova.

Il libro è nato da una mostra che si è tenuta a Roma presso il Palazzo delle Esposizioni dal 16 ottobre 2014 al 31 maggio 2015.

Gli autori hanno concepito questo testo come una piccola enciclopedia: carta patinata, illustrazioni di dipinti, di reperti storici, di frontespizi e fotografie d'epoca, grafici, disegni, tabelle e formule.

Il testo termina con una ricca bibliografia, nella quale sono segnalate ulteriori letture per quanti sono interessati ad approfondimenti. Certamente è un libro di meritevole lettura, da consigliare a tutti gli appassionati di matematica e che non può mancare nella loro biblioteca. Da docente di questa disciplina l'ho particolarmente apprezzato e per questo mi sento di consigliarne la lettura ai miei colleghi che possono trarre molti spunti di riflessioni e stimoli per le loro lezioni in classe.

ANDREA SIMONCELLI

Claudio Bartocci, laureato e dottorato in matematica, è docente di Geometria differenziale, Metodi geometrici in fisica matematica e Storia della matematica presso l'Università di Genova.

Luigi Civalleri, laureato in matematica, si interessa di divulgazione scientifica, alla quale si dedica ormai da vent'anni. Ha lavorato in alcune importanti case editrici italiane; oggi è traduttore, editor e consulente *freelance* nel settore editoriale. Parallelamente all'attività editoriale, si è dedicato all'organizzazione di eventi scientifici ed è stato il coordinatore della mostra "Numeri".

*

A Jesuit against Galileo?

The Strange Case of Giovanni Battista Riccioli Cosmology

Alfredo Dinis, SJ

Álvaro Balsas, Ricardo Barroso Batista (a cura di) Axioma Studies in Philosophy of Nature and in History and Philosophy of Science, 2017

Copertina flessibile, pp. 364, € 30,00

ISBN 9789726972822

www.publicacoesfacfil.pt

UNA certa attenzione si sta destando attorno all'opera dell'astronomo gesuita Giovanni Battista Riccioli (Ferrara, 1598 - Bologna, 1671), ben noto agli specialisti, ma mai studiato sistematicamente. Dalla prima collettanea curata da Maria Teresa Borgato nel 2002 (*Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei Gesuiti nell'età barocca*, Leo S. Olschki, Firenze), finora punto indiscusso di riferimento per gli studi su questo autore, passano tredici anni e solo nel 2015 abbiamo un nuovo volume a lui dedicato, stavolta ad opera dell'astronomo americano Christopher Graney (*Setting Aside All Authority. Giovanni Battista Riccioli and the Science against Copernicus in the Age of Galileo*, University of Notre Dame Press, Notre Dame).¹ Se dopo circa due anni appaiono, nel giro di pochi mesi, altre due monografie, è segno che da qualche tempo ormai si sentiva l'esigenza di un confronto più stretto con la complessa e voluminosa produzione del gesuita ferrarese. Delle due si provvederà qui a presentare quella del noto storico della scienza Alfredo Dinis (1952-2013),² che in maniera autorevole si era già prodotto con diversi contributi su Riccioli e sulla scienza dei gesuiti. Il volume è uscito postumo, cinque anni dopo la morte dell'autore. Dinis, gesuita, studiò tra Braga, Roma e Cambridge per proseguire la sua carriera accademica presso l'Università Cattolica Portoghese a Braga, dove ricoprì l'incarico di direttore della Facoltà di Filosofia e della *Revista Portuguesa de Filosofia*. Dinis

¹ Cfr. la recensione a cura di I. GAMBARO in «Giornale di astronomia», 2016, 2, 48-51.

² Mi permetto di menzionare l'altra monografia, ad opera della sottoscritta: *Cieli in contraddizione. Giovanni Battista Riccioli e il terzo sistema del mondo*, Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti-Aguaplano, Modena-Perugia 2018.

stava lavorando da lungo tempo su Riccioli e, in particolare, dal 2006 aveva maturato l'intento di raccogliere le tante annotazioni e approfondimenti svolti negli anni precedenti. Il volume è uscito per la cura di Álvaro Balsas, coadiuvato da Riccardo Baroso Batista, che hanno voluto tributare la sua memoria inaugurando con questo libro un'intera collana di studi (*Axioma studies in Philosophy of Nature and in Philosophy and History of Science*).

Prima di entrare nel merito del volume, qualche altra premessa è dovuta. Pur dovendo ammettere che tre monografie e una collettanea non bastano ancora per comprendere pienamente scienza e pensiero di Riccioli, per le ragioni che saranno spiegate a breve, stiamo sicuramente assistendo a un significativo passo di avvicinamento nella conoscenza di un autore che, più di ogni altro, merita di essere considerato l'icona di un periodo di transizione tra i più importanti della storia: quello tra le novità celesti ottenute con il telescopio di Galileo Galilei e la teoria della gravitazione di Isaac Newton. Non è eccessivo dire che il sistema astronomico elaborato da Riccioli gode della facoltà di essere intermedio tra molti sistemi del mondo sotto tanti punti di vista: intermedio tra il sistema geocentrico e quello eliocentrico dal punto di vista geometrico, poiché il Ferrarese adotta un modello di mondo semigeocentrico; intermedio tra il sistema di Tycho Brahe e il sistema eliocentrico, perché Riccioli applica al semigeocentrismo molte significative varianti, come l'opzione di rendere Giove e Saturno satelliti della Terra e non del Sole; intermedio per il modo stesso di combinare i moti circolari,³ senza rinunciare al circolo e all'ellisse e adottando quasi-circoli; intermedio per la filosofia della natura proposta, affinché il sistema ideato in modo così originale potesse avere anche una qualche giustificazione epistemologica.

I contenuti tecnici sottesi a questi ultimi aspetti sono presentati nel volume di Dinis, con ampie introduzioni e informate discussioni, in modo da rendere comprensibili gli aspetti più involuti e articolati del suo sistema. Non sempre viene restituita la dimensione tecnica e geometrica dei procedimenti messi in atto da Riccioli nelle sue ricerche, o almeno non come ci si potrebbe aspettare. Dinis predilige descrivere una visione di insieme dell'opera del Ferrarese, indagando le principali questioni affrontate in varie opere e senza limitarsi all'esame specifico di un singolo aspetto del suo profilo intellettuale. La motivazione di questa scelta è chiarita nell'introduzione al volume: si vuole focalizzare a fondo il ruolo di Riccioli all'interno della scienza dei Gesuiti di questo periodo. L'operazione messa in atto, dunque, è di entrare a fondo e con maestria nel pensiero di un singolo uomo per vedere sullo sfondo le vicende culturali e istituzionali dell'intera

Compagnia, per fare emergere il programma culturale e le tendenze dell'Ordine come istituzione capace di produrre conoscenza in un momento di profondo cambiamento. È questo il primo aspetto che trapela dal lavoro di Dinis. D'altra parte, la rivalutazione del contributo degli scienziati e della scienza coltivata nella Società di Gesù ha preso abbrivio grazie ai contributi di Mordechai Feingold, Markus Hellyer e Ugo Baldini. Studiosi come Edward Grant e William Wallace hanno poi contribuito a comprendere in maniera più profonda la ricchezza della storia intellettuale dell'Europa di quel periodo, restituendone anche la complessità e l'articolato intreccio tra differenti sensibilità speculative. Così Dinis descrive un "Riccioli in context" (p. 17), un contesto che, solo quando finalmente emerso, ha fornito gli strumenti per poter capire davvero anche l'opera di un singolo gesuita.

Dopo l'introduzione, l'architettura generale del volume si articola in dieci capitoli, di cui l'ultimo nelle veci della conclusione. Si nota, sebbene non ci sia divisione in parti, che di fatto sono quattro i grandi temi affrontati. Dapprima la biografia di Riccioli (capitolo 1 e 2); quindi l'astronomia e la formulazione di un originale sistema del mondo (capitoli 3-5); in seguito la polemica con l'eliocentrismo e la ricerca di prove fisiche, probabilmente l'aspetto della produzione del Gesuita che finora ha avuto più risonanza tra gli studiosi (capitoli 6-8); infine il rapporto tra astronomia e teologia (cap. 9), per giungere al bilancio critico (cap. 10). Seguono bibliografia e indici.

Il secondo aspetto che il volume di Dinis indaga in profondità è la dimensione biografica, esplorata al fine di tratteggiare la figura intellettuale e la dimensione caratteriale del Ferrarese. Uomo di acclarata genialità, con buona prudenza e capacità di discernimento, è anche ricordato per il suo carattere sanguigno, a tratti collerico o malinconico, non molto abile nel trattenere le sue ire (pp. 99-101). Nei primi due ampi capitoli, che occupano ben un terzo del volume (pp. 23-101), vengono ricostruiti, sulla base di una dettagliata rassegna di fonti manoscritte, i periodi precedente e successivo all'Ordinazione. La ricognizione delle fonti, operata in particolare presso numerose biblioteche italiane (p. xxiii), viene svolta in maniera ampia, ricca e puntuale. Si tratta del risultato di un evidente e lungo lavoro di ricognizione e raccolta svolto da Dinis, lavoro di cui c'era urgente bisogno per avviare la ricostruzione sistematica della figura di Riccioli. Veniamo così a conoscere un giovane Riccioli, novizio a 16 anni, dedito allo studio degli autori classici e della retorica, esperienza che lo segnò davvero, come esibito dal dotto linguaggio latino utilizzato nei testi della maturità. La formazione si completa tra Piacenza e Parma dando molto spazio allo Studio della matematica e della filosofia naturale, confrontandosi con il pensiero di Aristotele. Non viene tralasciato lo studio delle nozioni fondamentali di astronomia, acquisite mediante le opere dei massimi esperti del tempo, tra i quali Giuseppe Biancani, che lo istruiva

³ F. MARCACCI, *All the planets are related to the Sun. Riccioli and his "spiralized" skies*, in *Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia – Atti del XXXVII Convegno annuale – Bari 2017*, Pavia University Press, in stampa.

sui lavori di Copernico e Galileo. Si abituò così fin da giovane a un approccio critico alla visione aristotelica del mondo, sapendo tener in conto la pluralità dei significati che il termine “aristotelico” aveva acquisito dalla fine del secolo precedente. All’interno dell’Ordine stesso vigevano due approcci diversi alla ricezione di Aristotele, anche in ambiti più circostanziati, come quello specificamente matematico. È il caso della diversa sensibilità tra Biancani e Clavio da una parte, e Pereira e Valla dall’altra: i primi non accettavano l’idea, sostenuta dai secondi, che la matematica fosse un’indagine non collegata alla ricerca delle cause. Lo statuto degli studi di matematica di questo periodo va comunque inquadrato nel contesto della politica cattolica di restaurazione della *retta ratio* e dell’ortodossia della fede dopo il Concilio di Trento, che la Compagnia di Gesù aveva attuato mediante l’emendamento della *Ratio studiorum*, nel 1599, per disciplinare la formazione e i collegi. Dinis nota il duplice atteggiamento dell’Ordine che, se da una parte impone di restare obbedienti all’insegnamento dei Padri e in particolare a quello di Tommaso, dall’altro sconsiglia la pubblicazione di *summae*, poiché «*the complexity of the issues that were at the center of the ongoing controversies would make the composition of such Summas very difficult and be a matter of further controversy*» (p. 45). È questo un elemento molto importante perché dà conto della consapevolezza della complessità sia della missione culturale dell’Ordine, sia della transizione in atto nel sistema globale di conoscenze e di metodi di formazione.

Dinis si concentra quindi sul periodo successivo all’ordinazione nel 1628, raccontando come Riccioli chiese all’Ordine di partire in missione, venendo poi destinato all’insegnamento. Ricoprì quindi diversi insegnamenti, dalla logica alla fisica, dalla matematica alla teologia, tra Parma, Bologna e Mantova. Dopo una breve pausa, dedicata al ministero della confessione a Modena, andrà a insegnare teologia a Parma prima e a Bologna poi. Sono anni in cui inizia ad approntare le prime esperienze sulla caduta dei gravi, leggendo il *Dialogo* di Galileo ed entrando in contatto con Cabeo e Daniel Bartoli. L’esperienza dell’insegnamento continua, rafforzando la formazione tecnica, necessaria per affrontare i problemi più urgenti di astronomia, e la preparazione teologica. Nel 1646 Riccioli ha accumulato abbondante materiale da poter ormai pensare di pubblicare l’*Almagestum Novum*. L’intenzione è però ostacolata da alcuni problemi, per le vicende alterne dell’Inquisizione, che tramite la Curia Romana chiede al Ferrarese di fornire in sintesi gli elementi concettuali e strumentali di novità presenti nell’opera. Servirà infine la mediazione di Athanasius Kircher (pp. 61-68).⁴ L’opera, pubblicata nel 1651, verrà criticata da Francesco Levera nel suo *Prodromus universae astronomia*

⁴ Si veda su questa rivista: I. GAMBARO, *Giovan Battista Riccioli, infaticabile astronomo, e la censura romana*, «Giornale di astronomia», 2016, 3, pp. 46-51.

restituta del 1663, ma subito difesa dall’autore del nuovo *almagesto* e da Cornelio Malvasia (1603-1664), tenace sostenitore della scienza del Nostro. Alterne vicende subiscono anche gli scritti teologici, in particolare un trattato relativo all’Immacolata Concezione che non riceverà mai l’*imprimatur* della Santa Sede, e un altro sul primato della Santa Sede in materia di cause di canonizzazione dei santi (*Immunitas ab errore tam speculativo tam practico definitionum S. Sedis apostolicae in canonizatione sanctorum*, 1668), finito nell’*Index libri proibitorum*.

Un terzo aspetto di rilievo nel volume di Dinis è l’esame delle sezioni dell’*Almagestum Novum* dedicate al rapporto tra astronomia e teologia. Lo studioso mette giustamente in evidenza che, dopo il decreto del Sant’Uffizio del 1616, per condannare proposizioni inerenti l’immobilità del Sole e la mobilità della Terra, e quello del 1633 contro l’opera di Galileo, la Chiesa era bisognosa di uomini esperti di astronomia e filosofia naturale. Per quanto riguarda le polemiche sull’eliocentrismo, Riccioli si dedicò assiduamente alla ricerca di prove contro la mobilità della Terra. Ovviamente destinò i suoi interessi anche a molte altre indagini, intorno alle quali Dinis cerca di dare un ordinato resoconto nel corso dei capitoli 3, 4 e 5 sulle ricerche intorno ai pianeti, alle comete e alle stelle. Lo spazio più ampio è comunque riservato alle strategie messe in atto per contrastare le prove dei copernicani nell’arco di un buon venticinquennio (cap. 6). Viene restituita la polemica con il gesuita Stefano degli Angeli, nella quale Riccioli elabora diverse tesi pubblicate nell’*Argomento fisico mattematico* (1668, curato da Michele Manfredi; cfr. Cap. 7). Il Ferrarese aveva sviluppato le sue idee in seguito agli esperimenti effettuati prima a Ferrara e poi presso la Torre degli Asinelli di Bologna, per la determinazione dell’accelerazione gravitazionale dei corpi in caduta libera.⁵ È noto che tale questione non è, ad avviso di Riccioli, direttamente connessa con il moto della Terra ma, al contrario, deve essere assunta come reale e collegata a un sistema con la Terra immobile. Questo e molti altri argomenti vengono elaborati per negare al copernicanesimo ogni possibilità di riferirsi alla realtà fisica. Sullo sfondo delle questioni tecniche, però, il Ferrarese addestra il lettore a cogliere via via elementi che lo conducano dentro una filosofia della natura in dialogo con la teologia. A questo tema Dinis dedica il capitolo 9 e in un certo senso riprende anche i capitoli 4 e 5. Il mondo di Riccioli mette in dubbio la realtà del Primo Mobile e quella delle Intelligenze celesti che dovrebbero muovere i cieli.⁶ Altrettanta titubanza viene espres-

⁵ Si veda su questa rivista: E.M. DI TEODORO, R. BEDOGNI, F. BÒNOLI, *I primi esperimenti sulla caduta dei gravi: Galileo e Riccioli*, «Giornale di astronomia», 2010, 3, pp. 32-40.

⁶ Su questo mi permetto di rimandare a F. MARCACCI, *Natura e moto dei cieli visibili secondo Giovanni Battista Riccioli. Analisi di Almagestum Novum*, vol. II, lib. IX, sect. I e II, «Rivista di filosofia neoscolastica», 2018, 1-2, pp. 301-321.

sa da Riccioli intorno alla natura dei cieli e alla possibilità dell'etere. Secondo Dinis, però, il gesuita restò vago e non determinato nel giudicare in maniera definitiva se i corpi celesti fossero della stessa sostanza della Terra e se in generale i cieli fossero fatti di una sostanza superiore (pp. 160-166). Solo la cautela metodologica di Riccioli lo avrebbe messo in guardia dall'approvare l'esistenza di una quintessenza: poiché infatti non possiamo avere prove tangibili circa l'esistenza di essa, non si potrebbe mai avere una dimostrazione astronomica e l'argomento diventerebbe solo oggetto di metafisica. Dinis tralascia però molti passi in cui Riccioli, dopo aver manifestato la sua incertezza e prudenza per annunciare l'eliminazione della sostanza celeste, finisce per ammettere che la natura sopralunare è composta dagli stessi elementi di cui è fatta la Terra (ad esempio in *Almagestum novum* IV, p. 187 o sulle comete VIII, p. 40 e ss.).⁷ Ciò che è diverso, infatti, è il modo di comporli e di concepire il cambiamento in cielo: l'universo nelle sue zone particolari può subire modifiche e alterare la composizione della mescolanza tra elementi naturali, mentre nella sua totalità non cambia, essendo essa posta direttamente dal Creatore. Dinis riconosce che Riccioli distingue tale cambiamento, ma non ne coglie fino in fondo le conseguenze. Riccioli non aveva problemi nel dire che gli elementi celesti sono gli stessi di quelli terrestri, senza alcuna quintessenza, e, continuando ad usare il binomio materia-forma di ispirazione aristotelica, trova una soluzione originale per descrivere la natura del cielo.

Il volume di Dinis risponde dunque a un'esigenza importante della storiografia della scienza; l'autore con coraggio ha saputo esplorare il patrimonio di conoscenze di un autore fin troppo dimenticato, sebbene sempre menzionato. Come si diceva sopra, non basta questo volume a completare il quadro su Riccioli, che fu anche profondo conoscitore della trigonometria utile a interpretare i dati osservativi e a consentire una certa maturazione tra *Almagestum novum* e *Astronomia reformata*, aspetti questi che, nello studio di Dinis, si intravedono soltanto.

Ma non basta ad appagare la consapevolezza circa chi fu realmente Riccioli neanche l'insieme degli studi citati in apertura. Occorrerebbero indagini mirate circa la continuità e discontinuità interne all'opera astronomica e fisica di Riccioli, come anche un attento esame del rapporto tra Riccioli e Tycho e tra Riccioli e Kepler. Altri temi importanti riguardano il senso con cui Riccioli giudicava l'astronomia una scienza predittiva e come determinava empiricamente la parallasse solare e stellare, da lui giudicata centrale per avere la corretta determinazione dei moti celesti. Ci si augura, pertanto, di essere soltanto all'inizio di una nuova fioritura di studi, per gettare luce non solo su un importante personaggio della storia dell'astronomia, ma anche sulla com-

pletività di un'intera epoca di transizione tra il mondo antico e il mondo moderno.

FLAVIA MARCACCI

Alfredo Dinis, gesuita, è stato professore e direttore della Facoltà di Filosofia della Università Cattolica Portoghese di Braga.

★

L'esplorazione delle Comete

Da Halley a Rosetta

Cesare Guaita

Ulrico Hoepli Editore, 2015

Copertina flessibile, pp. 304, € 27,90

ISBN 9788820370480

www.hoepli.it

CONFESSO che quando ho ricevuto il volume *Comete* mi sono sorte immediatamente delle perplessità. Un nuovo libro sulle comete, con le solite storie secondo le quali, per secoli, le comete sono state ritenute annunciatrici di sventure etc. etc. Inoltre, in epoca di imperante Google: 400 figure in 300 pagine! Non esattamente lo spirito giusto per affrontare la lettura di un nuovo libro di divulgazione astronomica.

Però mi sono bastati pochi minuti per cambiare opinione. Il libro è organizzato in 10 capitoli di circa 20 pagine ognuno. L'approccio è più scientifico che storico anche se logicamente cronologico. È vero ed inevitabile, alcune figure sono reperibili su Google ma costituiscono necessari riferimenti visivi al testo. A poche essenziali pagine di introduzione storica segue un sommario del testo. Un primo riferimento alle osservazioni ottiche fa da preludio al vero argomento: l'esplorazione delle comete grazie alle numerose missioni spaziali che hanno permesso ripetute visite e contatti con nuclei cometari.

Un episodio molto personale racconta la storia di Lucia, e di sua nonna, entrambe con un sorprendente interesse per le comete. Narra Guaita, l'autore, che nel 1910, al passaggio della cometa Halley, la nonna di Lucia fece un disegno dopo l'osservazione visiva della cometa in cielo. Nel 1986, in condizioni simili, Lucia, allora di 6 anni, disegnò, come la nonna, le sue impressioni dopo l'osservazione del ritorno di Halley. Il racconto è una straordinaria combinazione di scienza e umanità, narrazione e divulgazione oltre a donarci un quadro della straordinaria famiglia Guaita. Non a caso oggi la dottoressa Lucia è un'astrofisica di professione. Sicuramente le comete non sono foriere di disastri, sventure e tantomeno tragedie ma talvolta sembrano apparire in occasione di reali favole a lieto fine.

L'autore, avvalendosi di risultati di laboratorio e dati raccolti dalla missione Stardust (polvere di stelle) bene trasmette il salto epocale fra le ipotesi basate solo su esperimenti chimici effettuati in laboratori terrestri e la verifica, oggi possibile, dalle os-

⁷ Cfr. Maracchi, *Cieli in contraddizione*, cit., pp. 190-197.

servazioni *in situ*, portando con sé, al suo ritorno sulla Terra, vari campioni di “polvere” cometaria. Tempel-1, nel 2005 offre un altro esempio eclatante di quanto oggi si può imparare colpendo una cometa con un razzo.

Naturalmente Rosetta è la missione più ricca di informazioni e di spettacolarità. Nonostante le vicissitudini lungo il percorso e il lungo tempo in orbita, ha avuto un successo straordinario. In questa occasione l'Autore sottolinea che le immagini sono un complemento essenziale alla comprensione dei risultati. Inoltre, non tutte sono reperibili su Google. L'Autore infatti, con minuziosa ricerca, ha anche estratto e adattato figure presenti nelle pubblicazioni originali diligentemente annotate nelle referenze. Guaita, infine, evidenzia il contributo dell'Agenzia Spaziale Italiana che ha contribuito, sotto vari aspetti, a far sì che gli scienziati italiani potessero avere un ruolo predominante nella missione e nel conseguimento dei meritati successi. Un riconoscimento dovuto ma raramente rispettato in simili situazioni.

Il volume, inoltre, spiega gli essenziali effetti dovuti al Sole e ai pianeti sulle comete, che vengono frantumate e, spesso, fagocitate totalmente dal corpo celeste intorno al quale stanno orbitando. Questi frammenti offrono l'occasione per investigare le composizioni degli oggetti sgretolati, punto cruciale per determinare la presenza dell'acqua.

Da questi studi è emerso un piano, considerando soluzioni osservative e tecnologiche, per controllare in modo sistematico comete che potenzialmente potrebbero essere pericolose se catturate dalla forza gravitazionale attrattiva del nostro pianeta. A questo proposito, grazie alla numerosa campionatura di sistemi planetari extrasolari in una grande varietà di stadi di sviluppo, si possono studiare le nubi di Oort, lontane dalla stella centrale e, possibilmente, le fasce di Kuiper, vicine alla stella. Questo è di interesse per studiare statisticamente non solo la proporzione di comete nella galassia ma anche, forse la cosa più importante, la diffusione dell'acqua. Naturalmente queste preziose informazioni sono legate a una delle grandi domande che oggi vengono poste a proposito dell'origine della vita e della frequenza di esseri viventi nel cosmo.

È noto che una delle ipotesi più accreditate è che la vita sulla Terra sia comparsa 3.8 miliardi di anni fa grazie ad una pioggia di molecole complesse concentrate nelle comete, tra cui l'acqua considerata fondamentale da qualsiasi teoria. Se esiste vita simile a quella presente sulla Terra su pianeti appartenenti a sistemi extrasolari, l'acqua è certamente indispensabile, quasi una banalità spesso trascurata dagli stessi abitanti del nostro pianeta quando si considera la poca cura dedicata alla conservazione delle risorse idriche per mantenere in vita creature, cioè noi, costituite d'acqua per circa il settanta per cento.

Uno sguardo al futuro sottolinea, come sempre succede per le grandi imprese di esplorazione, una

lista di interrogativi che sorgono dall'esaltante lista di risultati ottenuti. Questo, evidenzia l'Autore, è il caso di Rosetta. La costruzione di una missione Rosetta 2 sarebbe quindi giustificata da una serie di quesiti che chiedono risposta. Contrariamente ai progetti astronomici che mirano ad oggetti la cui durata si misura in miliardi di anni, le comete quando arrivano si sa, ma la loro osservabilità è breve se riferita alla vita umana. Quindi, occorre decidere presto, scegliere l'oggetto o gli oggetti e non mancare all'appuntamento. Ma si sa, la puntualità raramente fa parte delle virtù possedute dagli umani, almeno tra i pianificatori del nostro futuro.

Interessante volume questo di Guaita, direttore del Planetario di Milano, che non solo contiene informazioni sulle comete, ma analizza anche possibili collegamenti con gli asteroidi e gli sciami meteorici. Volume compatto, bene illustrato, elegantemente confezionato come è tradizione dell'editore Hoepli. Ogni capitolo è arricchito da una bibliografia “essenziale” ovvero cita quelle pubblicazioni generali adatte a lettori non professionisti, come insegnanti, studenti, astrofili, o semplicemente lettori curiosi. Un arricchimento per ogni biblioteca personale e adatto come regalo per amatori dei fenomeni celesti.

GIORGIO G.C. PALUMBO⁸

Cesare Guaita, laureato in Chimica, è esperto di cosmochimica e planetologia ed ha pubblicato su questi temi numerosi articoli divulgativi e professionali e pubblicato cinque libri. Da 25 anni è conferenziere del planetario Ulrico Hoepli di Milano.

*

The Structure and Evolution of the Sun

Giuseppe Severino

Springer Verlag (Undergraduate Lecture Notes in Physics), 2017

Copertina flessibile, pp. 275, € 47,46

ISBN 9783319649603

www.springer.com/gp/products/books

LA nostra stella è la protagonista di questo nuovo testo redatto da Giuseppe Severino a coronamento della sua carriera di astronomo associato presso l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte.

⁸ Con profonda tristezza devo comunicare che su questo numero viene pubblicata l'ultima recensione di Giorgio Palumbo, che ci ha lasciato il 19 giugno, mentre il fascicolo era in preparazione. In altra sede ci sarà l'occasione di ricordare la sua eccellenza come scienziato e come professore che ha saputo formare generazioni di studenti. Qui voglio semplicemente ricordarne il lato umano, l'intelligenza vivace e la graffiante ironia, che ho avuto modo di apprezzare nelle tante piacevoli chiacchierate sui più disparati argomenti avute con lui nel corso di tre decenni. A questa rubrica Giorgio ha dato numerosi contributi col suo inconfondibile stile brillante. A lui dedico pertanto un sentito ringraziamento postumo, anche da parte della direzione e del Comitato di redazione del *Giornale di Astronomia*. (A. Cappi).

te. Un testo che mancava nella letteratura degli ultimi anni: se i settori di punta dell'astrofisica ci spingono sempre più verso eventi estremamente lontani nello spazio e nel tempo ed estremamente energetici, un'accurata conoscenza del Sole è senz'altro il primo passo per affrontare gli interrogativi e le sfide che l'universo pone all'attenzione degli astronomi.

Il volume, destinato principalmente a studenti universitari, inizia con un'utilissima introduzione alle basi della fisica necessarie alla comprensione del Sole come stella. Il lettore viene quindi accompagnato con rigore e chiarezza attraverso i vari aspetti che caratterizzano la fisica solare, dalla struttura definita dalle equazioni stellari, ai meccanismi di trasporto del calore, all'attività nucleare. L'evoluzione della struttura solare, prototipo di stella di piccola massa, viene quindi illustrata in tutte le sue principali fasi, dalla presequenza agli stadi finali del raffreddamento come nana bianca.

L'ausilio di figure schematiche ed esplicative e di immagini astronomiche contribuisce a fornire un quadro chiaro ed esauriente delle proprietà e del destino evolutivo della nostra stella.

Gli studenti troveranno in questo testo un'utile guida allo studio del Sole in tutti i suoi aspetti principali, con un ricco corredo di esercizi che li aiuteranno a consolidare le conoscenze acquisite.

MARCELLA MARCONI

Giuseppe Severino è Astronomo Associato dell'INAF presso l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte. Fra il 1998 e il 2005 ha tenuto il corso di Fisica solare presso l'Università di Napoli Federico II. Ha avuto incarichi di responsabilità in diversi progetti di studio del Sole.

*

I ragazzi del San Marco I primi italiani nello Spazio

Mattia Francesco Simeoni

Compagnia Editoriale Aliberti (AlibertiSTUDI),
2018

Copertina flessibile, pp. 128, € 15,00

ISBN 9788893232531

www.aliberticompagniaeditoriale.it

C'è stato un tempo in cui l'Italia lanciava in orbita propri (e altrui) satelliti artificiali da una sua base situata al largo della costa del Kenya.

La storia cui mi riferisco, e che costituisce l'argomento del libro, è quella del Progetto San Marco, del professore – e ufficiale dell'Aeronautica Militare Italiana – Luigi Broglio e degli uomini che collaborarono con lui per far sì che l'Italia potesse diventare nel 1964, nel pieno della corsa allo spazio, il terzo Paese al mondo dopo URSS e USA a lanciare in orbita un proprio satellite artificiale.

Come ho già avuto occasione di scrivere in passato, Broglio ebbe l'indiscutibile merito e la visio-

narietà – in un'Italia che faticosamente stava emergendo dalle macerie della seconda guerra mondiale e iniziava a rimboccarsi le maniche per darsi un futuro anche nel campo della ricerca scientifica – di intuire l'importanza e la necessità della partecipazione del nostro Paese all'esplorazione dello spazio, riuscendo infine a realizzare, con pochi fondi ma con grande intelligenza e spirito organizzativo, quello che a metà degli anni Sessanta tutti avrebbero conosciuto come il Progetto San Marco. Senza dimenticare un altro enorme merito di Broglio, quello di aver fatto condividere la propria visione del futuro a tanti giovani scienziati e ingegneri che si formarono grazie ai corsi universitari da lui presieduti e innovati e andarono in seguito a costituire una nuova e apprezzata generazione di specialisti aerospaziali in ambito non solo italiano ma anche europeo.

È una storia poco nota ai giorni nostri, messa in ombra dai trionfi spaziali delle due superpotenze che culminarono nel 1969 con i primi sbarchi lunari del Programma Apollo. Qualcuno potrebbe forse pensare, sbagliando, che all'epoca dei vettori lunari fosse poca cosa lanciare un satellite in orbita terrestre: si trattava invece di un'opera complessa e costosa, che necessitava di ingenti finanziamenti e del lavoro di menti ingegnose e duttili. A maggior ragione, per una Nazione come la nostra che nel secondo dopoguerra stava faticosamente ricostruendo le proprie basi sociali e industriali.

E se oggi indubabilmente l'Italia ha un ruolo di primo piano nelle collaborazioni internazionali che stanno alla base dei più importanti successi spaziali (è di questi giorni, al momento in cui scrivo, la diffusione di una notizia che in altri tempi avrebbe avuto il sapore della fantascienza: un astronauta italiano, Luca Parmitano, nella sua prossima missione assumerà il prestigioso ruolo di comandante della Stazione Spaziale Internazionale), molto di tutto questo trova le sue basi proprio nelle avventurose esperienze del Progetto San Marco.

Il libro di Mattia Francesco Simeoni non è un tomo ponderoso e non ha certo pretese di esaustività, ma ha grandi pregi che è giusto evidenziare, a cominciare dal profondo rispetto – che traspare evidente dal testo – che l'Autore dimostra di provare per questa importante impresa e per i suoi ideatori e realizzatori. L'idea vincente dell'Autore è stata quella di dare voce ai protagonisti oggi ancora viventi dell'epopea del Progetto San Marco (purtroppo lo scorrere del tempo ne ha portati via con sé parecchi, a cominciare dal prof. Broglio), e i loro ricordi costituiscono per lo storico dell'astronautica o il semplice appassionato validi elementi per una migliore comprensione di questa storia avvincente.

Dalle loro parole traspaiono tutte le difficoltà incontrate nel rendere operativa una base di lancio nazionale in terra africana da cui mettere in orbita satelliti artificiali di costruzione italiana (ma non solo), utilizzando razzi forniti dagli Stati Uniti attra-

verso accordi internazionali perfezionati dalle nostre autorità politiche, con alle spalle la sapiente regia del prof. Broglio.

Le interviste realizzate dall'Autore fanno pienamente assaporare tutta un'epoca che oggi non solo non c'è più, ma che sembra quasi impossibile pensare ci sia stata, un'epoca in cui erano l'entusiasmo e un'inventiva tutta italiana a permettere le nostre più importanti realizzazioni tecnico-scientifiche in campo spaziale, nonostante mezzi e finanziamenti spesso non all'altezza.

Le parole degli ormai ex-giovani di allora fanno riemergere tutte le peculiarità di questa storia, ben evidenziando come le difficoltà dovute al mettere insieme mondi e anime diverse (il CNR, le università, l'Aeronautica Militare ...) potessero essere superate grazie all'unanime sforzo volto al conseguimento del fondamentale obiettivo comune.

Così come appare evidente la dicotomia esistente tra quel primo nucleo di "spaziali" italiani, che sovente dovevano arrangiarsi con quel poco che avevano, e un colosso futuristico come la NASA che, se all'inizio aveva probabilmente guardato con qualche diffidenza quella strana banda di sognatori, giunse ben presto ad apprezzarne la determinazione e la preparazione tecnico-scientifica.

Tutto questo viene ampiamente descritto nel libro, così come il corposo campionario di aneddoti, fatti e fatterelli, spesso divertenti e surreali (uno per tutti, la storia degli stregoni africani che ce l'avevano coi razzi lanciati dagli italiani perché bucavano il

cielo provocando, secondo loro, i monsoni), che caratterizzano – con la loro straripante carica di umanità – il duro e indefesso lavoro svolto giornalmente in quegli anni dal *team* italiano.

I capitoli contenenti le interviste sono intervallati da altri utili brevi capitoli descrittivi inerenti agli aspetti storici e tecnici più importanti del Progetto. Nonostante la loro stringatezza, sono molto ben realizzati e riescono davvero a concentrare in poco spazio fondamentali informazioni che permettono al lettore di farsi un'idea precisa di ciò cui le narrazioni dei protagonisti si riferiscono (in vista, magari, di ulteriori approfondimenti).

Devo dire, quindi, di ritenere questo libro assai apprezzabile, sia per l'approccio "sentimentale" dell'Autore nel rivolgersi a uomini che davvero "hanno fatto l'impresa", sia per l'ottima caratterizzazione del contesto storico in cui si svolsero i fatti raccontati. Un libro agile ma tutt'altro che superficiale, pieno di storie e di Storia. Consigliato a chi era giovane allora e che quei tempi li ha vissuti, ma anche e soprattutto ai giovani di oggi e a chi ha dei sogni apparentemente impossibili da realizzare.

MARCO ORLANDI

Mattia Francesco Simeoni, diplomato presso il liceo classico "M.T. Varrone" di Rieti, si è laureato in Ingegneria aeronautica presso l'Università La Sapienza di Roma, facoltà ospitata presso gli stessi locali di via Salaria dove, negli anni Sessanta, si svolsero gli studi raccontati nel volume e venne avviato il programma San Marco.

Alberto Cappi è astronomo associato dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) presso l'Osservatorio di astrofisica e scienza dello spazio di Bologna (OAS). Il suo lavoro di ricerca è centrato sullo studio degli ammassi di galassie e la cosmologia osservativa.

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Il «Giornale di Astronomia» è una rivista di informazione, cultura e didattica, edita dalla *Società Astronomica Italiana* per promuovere la diffusione scientifica. La rivista si rivolge sia a studenti e docenti delle scuole, per fornire loro un'informazione seria, sicura e aggiornata sugli studi astronomici moderni e dibattiti su metodi e criteri didattici nel campo dell'astronomia, che a persone interessate all'astronomia, desiderose di approfondire la loro cultura al di là di quello che si fa normalmente nei libri e nei giornali divulgativi, senza arrivare a un'eccessiva specializzazione.

Il «Giornale di Astronomia» è aperto a contributi, provenienti da tutti i paesi in cui è diffuso, concernenti argomenti scientifici, esperienze osservative e tecniche professionali e non, proposte didattiche e divulgative, articoli di storia dell'astronomia e di problematiche culturali e interdisciplinari e descrizioni di istituzioni operanti nel campo dell'astronomia e dell'astrofisica.

1. Inviare il lavoro proposto per la pubblicazione via e-mail all'indirizzo della Direzione.
2. Il testo (massimo 30.000 battute, spazi compresi) deve essere scritto con spaziatura 2 in formato Word 98 o superiore, oppure RTF, con *tabelle e figure in forma definitiva*, NON inserite nel testo, ma allegate in *file* a parte.
3. Le immagini NON devono essere inserite nel *file* di testo, ma separate e in formato tif, gif o jpg, a *buona risoluzione* (min. 300 dpi) e correttamente numerate. Le didascalie devono essere inserite alla fine dell'articolo con il numero di riferimento all'immagine (p.e.: FIG. 1.). I *crediti* per le immagini devono essere citati in parentesi alla fine della relativa didascalia.
4. Ogni lavoro deve portare in testa: il titolo, il nome ed il cognome dell'autore, l'istituzione di appartenenza. Allegare al lavoro sottomesso una breve *biografia dell'autore* (3-4 righe max).
5. I richiami a note a piè di pagina o a fine articolo vanno fatti con cifre arabe. Le figure, le tabelle e le formule vanno numerate con cifre arabe. Per formule, simboli matematici e unità di grandezze fisiche vanno usate le notazioni internazionali. La parola "figura" va sempre abbreviata con "FIG.".
6. Si raccomanda un'estrema chiarezza nella compilazione delle tabelle. Si raccomanda di accompagnare ogni tabella con una breve didascalia.
7. Per le citazioni bibliografiche si raccomanda di seguire il seguente criterio:
 - *referenze a libri* devono includere l'iniziale del nome dell'autore ed il cognome (in 'm.lo/m.letto'); titolo del libro (in corsivo), luogo di pubblicazione, editore, anno, n. di pagina. Il tutto con la prima riga sporgente. Esempio:
J. D. NORTH, *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*, London, Fontana Press, 1994, p. yy.
 - *referenze ad articoli in periodici* devono includere l'iniziale del nome dell'autore ed il cognome (in 'm.lo/ m.letto'); titolo dell'articolo in corsivo, titolo del periodico non abbreviato alto/basso tra virgolette basse, anno, n. del volume, n. di pagina dell'articolo o della pagina citata. Il tutto con la prima riga sporgente. Esempio:
S. G. BRUSH, *The Reception of Mendeleev's Periodic Law in America and Britain*, «Isis», 1996, 87, p. yyy.
8. Agli autori verranno inviate tre copie del fascicolo in cui il loro articolo è stato pubblicato. Estratti a pagamento possono essere richiesti direttamente alla Casa editrice prima della stampa.
9. È responsabilità dell'autore ottenere il permesso per la pubblicazione di materiale preso da altre fonti.
10. I lavori proposti per la pubblicazione sono sottoposti al vaglio di referee e la rivista non restituisce il materiale non accettato per la pubblicazione.
11. La SAI e la casa editrice *Fabrizio Serra editore*[®] acquisiscono il copyright sugli articoli pubblicati. La SAI acquisisce anche i diritti di traduzione dell'articolo nelle lingue dei paesi in cui il *Giornale* è diffuso.
12. La SAI e la casa editrice *Fabrizio Serra editore*[®] si dichiarano pienamente disponibili, nel caso di involontari errori, a regolare eventuali pendenze con gli aventi diritto che non sia stato possibile contattare.
13. Per la migliore riuscita delle pubblicazioni, si invitano gli autori ad attenersi, nel predisporre i materiali da consegnare alla Redazione ed alla Casa editrice, alle norme specificate nel volume FABRIZIO SERRA, *Regole editoriali, tipografiche e redazionali*, Pisa · Roma, Serra, 2009² (Euro 34,00, ordini a: fse@libraweb.net). Il capitolo *Norme redazionali*, estratto dalle *Regole*, cit. è consultabile *Online* alla pagina «Pubblicare con noi» di www.libraweb.net

Composto, in carattere *Serra Dante*, dalla *Fabrizio Serra editore*[®], Pisa · Roma.
Stampato e rilegato nella *Tipografia di Agnano*, Agnano Pisano (Pisa).

★

Settembre 2018

(CZ2/FC21)





Società Astronomica Italiana

Con il patrocinio della
Camera dei Deputati