



GIORNALE DI ASTRONOMIA

Rivista di informazione, cultura e didattica
della Società Astronomica Italiana



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Marzo 2019
Vol. 45° · N. 1

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 IT3080616002839100000003642.

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 2019 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

**Publicato 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. 45° · N. 1 · MARZO 2019



Fabrizio Serra editore
Pisa · Roma

Sommario

Astronomia e società

- 2 Luna e dintorni: Apollo 11 e quel piccolo passo di mezzo secolo fa
M. ORLANDI
13 A proposito di Internet e di astronomia ...
E. PULIATTI

Astronomia oggi

- 19 Onde gravitazionali e teoria della relatività generale: una storia complessa
R. LALLI

Storia

- 29 L'astronomia occidentale nell'Alto Medioevo: metodi numerici per il calcolo delle posizioni planetarie
S. BUSCHERINI
37 Tomasi di Lampedusa, il Principe astronomo
I. CHINNICI

Didattica

- L'ASTRONOMIA MULTI-MESSENGER: DIDATTICA, RICERCA, CULTURA E SVILUPPO DEL TERRITORIO
SEZIONE DIDATTICA DEL LXII CONGRESSO NAZIONALE DELLA SAIT - TERAMO 2018
(a cura di C. Del Pinto, A. Cittadini Bellini)
41 Le idee, le storie, le sfide dell'astronomia: spunti per percorsi didattici
M. ESPOSITO

Cent'anni fa

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

Cieli d'inchiestro (a cura di A. Mandrino, M. Gargano, A. Gasperini)

- 49 Il disegnatore misterioso
G. GENUA, D. RANDAZZO

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

- 54 È la somma che fa il totale
A. D'ERCOLE

Biblioteca (a cura di A. CAPPI)

- 58 M. CHOWN, *L'ascesa della gravità*, (recens. di M. Bellazzini)
59 J. R. HANSEN, *First Man. Il primo uomo. La biografia autorizzata di Neil Armstrong*, (recens. di M. Orlandi)
61 F. MARCACCI, *Cieli in Contraddizione. Giovanni Battista Riccioli e il Terzo Sistema del Mondo*, (recens. di A. Giostra)
63 A. SIMONCELLI, *L'era delle onde gravitazionali. Una nuova finestra sull'universo*, (recens. di A. Cappi)

In copertina:

Ricordiamo i cinquant'anni dallo sbarco del primo uomo sulla Luna con una delle numerose *strip* di Charles M. Schulz dedicate all'avvenimento (© 1969 Peanuts Worldwide LLC) [Si veda all'interno l'articolo di M. ORLANDI]. Inoltre, ricordiamo in questo numero anche i cinquant'anni dalla nascita della "rete" e i cento anni dalle osservazioni di Eddington della deflessione della luce delle stelle durante un'eclisse solare che confermarono le previsioni einsteiniane [Si vedano all'interno, rispettivamente, gli articoli di E. PULIATTI e R. LALLI].

Luna e dintorni: Apollo 11 e quel piccolo passo di mezzo secolo fa

Marco Orlandi

INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna (OAS)

«Houston, Tranquility Base here. The Eagle has landed»

NEIL ARMSTRONG, Luna, 20 luglio 1969

«Ground Control to Major Tom. Ground Control to Major Tom ...»

DAVID BOWIE, *Space Oddity*, 1969

CAPITA che una persona possa sentirsi chiedere se ricordi dove si trovasse in occasione di un particolare evento, considerato epocale, del passato più o meno recente. In questi ultimi anni lo si è fatto soprattutto con riferimento all'11 settembre 2001, una data che ha indubbiamente segnato, e continuerà a segnare, la storia di questo secolo. Al punto che si parla soltanto di "11 settembre" senza aggiungere l'anno, che è ormai diventato superfluo.

C'è però un altro avvenimento, relativo questa volta al secolo scorso, che richiama immediati e indelebili ricordi alla mente di chi lo ha vissuto in diretta, ed è inevitabile che sia così. Il riferimento qui è alla notte tra il 20 e il 21 luglio del 1969 e al primo sbarco umano sulla Luna: dubito che qualcuno di coloro che vi hanno assistito non ricordi perfettamente dove si trovasse e cosa facesse in quel momento (a parte guardare la diretta in TV o ascoltarla alla radio).

Anche per me il ricordo è indelebile e mi permetto di tediare per qualche riga chi mi sta leggendo, per raccontarlo brevemente. Avevo undici anni e mi trovavo in una stipatissima saletta tv della "Pensione Antonella" di Rivabella di Rimini dove, con la mia famiglia, trascorrevole le vacanze al mare. I miei genitori quella sera ebbero l'intelligenza e la sensibilità di non spedirmi a letto e di farmi invece vivere un momento che avrei ricordato in seguito per tutta la vita. Così ebbi la possibilità di godermi l'aura bellissima e le intense emozioni di quella notte magica tra risvegli e pisolini (i bambini avevano il privilegio di potersi stendere ogni tanto sui materassini dei dondoli, opportunamente riadattati per quell'inusuale *happening* tribale), assistendo prima alla diretta dell'allunaggio del LEM *Eagle* con a bordo Armstrong e Aldrin – e al divertente battibecco tra Tito Stagno in Italia e Ruggero Orlando a Houston, che non riuscivano a mettersi d'accordo sul momento preciso in cui il modulo lunare si era effettivamente posato sul suolo del nostro satellite («Ha toccato!» – «No, non ha toccato»...) e poi, qualche ora dopo, allo sbarco dei due astronauti.

Una nottata che lascia il segno in un bambino, soprattutto in quegli anni in cui la corsa allo spazio tra

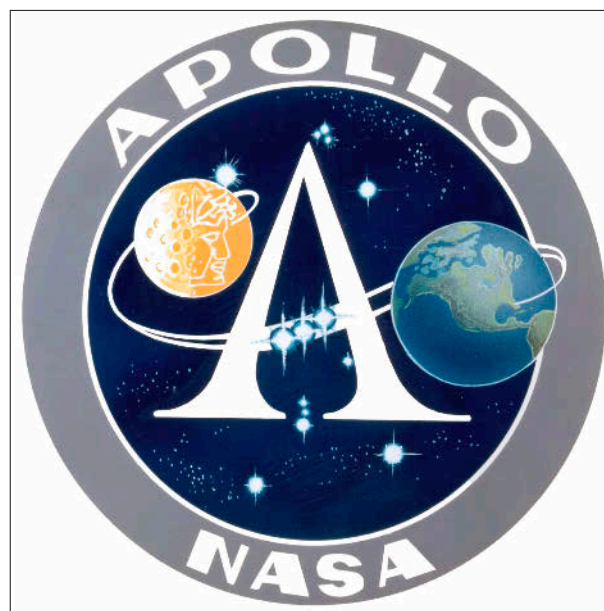


FIG. 1. Logo ufficiale del Programma Apollo.

Sovietici e Americani aveva fatto pensare che il futuro immaginato dalla fantascienza fosse finalmente arrivato e che l'esplorazione del Sistema solare fosse ormai alle porte. E in cui alla classica domanda su cosa avrebbero voluto fare da grandi quasi tutti i bambini rispondevano: l'astronauta (che poi qualcuno ce l'ha fatta sul serio a diventarlo: penso per esempio a Maurizio Cheli, che ha un anno meno di me e ha frequentato il mio stesso liceo). O forse era così solo per i piccoli sognatori come me, mentre per molti (ma non certamente tutti) degli adulti si trattava solo di un emozionante intermezzo nella routine quotidiana.

Nel luglio del 1969 il primo essere umano posava dunque il proprio piede sulla superficie lunare.

Da allora sono trascorsi ormai cinquant'anni ma per chi, come il sottoscritto, quella magica notte l'ha vissuta con l'intensità e l'emozione del ragazzino innamorato dello spazio, sembra ancora ieri. E sembrano sempre più strambe e indifendibili le po-

sizioni di quelli che sostengono, senza essersi dati la pena di informarsi almeno un po', che sulla Luna non ci siamo andati per davvero (ma su questo torneremo più avanti).

E invece sì, ci siamo andati davvero, in quel fatidico e indimenticabile luglio 1969, a coronamento di un pericoloso ma esaltante cammino, dipanatosi per una dozzina di anni a partire dall'altra fatidica data del 4 ottobre 1957, quando la prima luna artificiale della storia entrò in orbita intorno al nostro pianeta.

Furono allora i Sovietici a dare il via – a suon di primati – alla gara per lo spazio, illudendosi di poterne mantenere la *leadership* anche negli anni a venire: il primo satellite artificiale, il primo essere vivente in orbita, le prime sonde lunari e le prime foto della faccia nascosta della Luna, così come il primo uomo e la prima donna in orbita, il primo equipaggio multiplo, la prima attività extra-veicolare.

Negli ultimi anni Cinquanta e nei primi Sessanta, gli Americani si trovavano in grave ritardo rispetto all'URSS in campo spaziale e ogni impresa che riuscivano a compiere era inevitabilmente seconda, e quasi sempre di secondo piano, rispetto a quelle sovietiche.

Poi, lo spartiacque. Il presidente John F. Kennedy parla al Congresso americano il 25 maggio 1961, annunciando l'intenzione di mandare un uomo sulla Luna, e di farlo tornare a casa sano e salvo, entro il decennio. Attenzione, non entro "un" decennio, ma entro "il" decennio, cioè entro il 1969.

Quando ascoltano il discorso alla radio i massimi responsabili della NASA si guardano in faccia, increduli, perché nessuno di loro ha idea di come si possa fare quello che il presidente ha promesso. Ma Kennedy non scherzava, siamo nel pieno della Guerra Fredda e non si può lasciare troppo vantaggio psicologico – e tecnologico – ai Sovietici, per cui tutti si rimboccano le maniche e cominciano a pensarci su seriamente.

Andare sulla Luna come si faceva nei film di fantascienza dei ruggenti anni Cinquanta sembra facilissimo, sullo schermo cinematografico, ma in realtà non è per niente facile costruire un bel razzo affusolato che parte, va sulla Luna, ci si ferma e torna trionfalmente indietro. No, la realtà è ben diversa e gli slanciati razzi dei vecchi film in bianco e nero sono ancora al di là delle nostre possibilità tecnologiche, oggi come allora. Si pensa perciò a un *rendezvous* in orbita terrestre (EOR = *Earth Orbit Rendezvous*), con le varie componenti del veicolo spaziale che vengono lanciate separatamente e poi assemblate – e rifornite di carburante – in orbita. Vista la vicinanza col nostro pianeta e la possibilità di rientrare in fretta in caso di emergenza sembra la strada migliore. Poi qualche spirito ardito lancia l'idea di un *rendezvous* in orbita lunare (LOR = *Lunar Orbit Rendezvous*), con un modulo di discesa che si stacca dal veicolo principale e porta gli esploratori sulla Luna. A esplorazione ultimata, gli astronauti risalgono sul modulo e decollano dalla Luna (co-



FIG. 2. L'equipaggio della missione Apollo 11. Da sinistra, il comandante Neil Armstrong, il pilota del modulo di comando Michael Collins e il pilota del modulo lunare Buzz Aldrin.

sa agevole con un sesto della gravità terrestre) e si ricongiungono all'astronave madre. L'idea viene sulle prime aspramente contestata, giudicata dai più macchinosa e pericolosa, ma alla fine è proprio questo il sistema che la NASA sceglie per andare sulla Luna. Ma per riuscirci occorre prima di tutto varcare la porta di casa, raggiungendo l'orbita terrestre e imparando a viverci e a lavorarci. A questo serve il Programma Mercury, che mette insieme sei voli (di cui due soltanto sub-orbitali) tra il 1961 e il 1963. Sembra poca cosa quella piccola capsula con un uomo infilato dentro quasi come una zavorra perché, nonostante gli astronauti siano selezionatissimi piloti collaudatori, a bordo della Mercury non devono fare quasi nulla, se non sopravvivere e fornire a medici e ingegneri dati utili per le missioni successive. Nei primi prototipi non c'era neanche un finestrino, e gli astronauti hanno dovuto fare la voce grossa per averne uno. Poca cosa davvero, apparentemente. Ma con i voli Mercury gli Americani "assaggiano" lo spazio e imparano a farci i conti.

Sarà con il successivo Programma Gemini che gli USA effettueranno il sorpasso sui Sovietici e – soprattutto – impareranno a lavorare nello spazio, mettendo a punto le tecniche e le tecnologie che servono per andare sulla Luna (FIG. 3). Le Gemini sono veicoli spaziali biposto, ben più sofisticati delle Mercury, e a bordo di esse gli astronauti americani cominciano davvero a pilotare la loro capsula, a manovrare per cambiare orbita, ad uscire nel vuoto e compiere attività extra-veicolari, le cosiddette "passeggiate spaziali", a compiere *rendezvous* orbi-



FIG. 3. La Gemini 8 dopo l'ammarraggio. Ancora a bordo gli astronauti David Scott e Neil Armstrong.

tali con un'altra Gemini o con un veicolo bersaglio, a cui alla fine impareranno ad agganciarsi. Durante il periodo in cui si svolgono le dieci missioni Gemini (1965-1966) fervono già i lavori di sviluppo del successivo programma, l'Apollo, quello che porterà finalmente l'Uomo sulla Luna, e il 27 gennaio 1967 quello che in seguito verrà chiamato Apollo 1 ma che ancora viene denominato Apollo AS-204 è sulla rampa di lancio 34 del Centro Spaziale Kennedy in Florida, con l'equipaggio a bordo, per un test operativo a tutti gli effetti.

È solo un test e non dovrebbe succedere niente di strano, o niente di male, ma all'improvviso ecco la tragedia: un banale corto circuito all'interno del modulo di comando, dove si trovano i tre astronauti, scatena un terribile e incontrollabile incendio nell'atmosfera pressurizzata ad ossigeno puro. Il portello della capsula si apre in maniera troppo macchinosa e non c'è nulla che possa essere fatto in tempo per salvare dalla morte per asfissia Gus Grissom, comandante della missione, membro del primo gruppo di sette astronauti selezionati nel 1959 e possibile primo uomo a scendere sulla Luna, Ed White, primo americano a compiere un'attività extra-veicolare durante la missione Gemini 4, e la recluta Roger Chaffee (FIG. 4).

La tragedia scuote gli Stati Uniti e il mondo, ma non ferma il Programma Apollo. O, meglio, lo ferma per il tempo necessario ad apportare al veicolo le numerose e fondamentali modifiche volte a renderlo più sicuro. E l'11 ottobre 1968 Apollo 7, la prima missione con equipaggio, solca il cielo della Florida per la prova inaugurale in orbita terrestre, al comando di Wally Schirra, uno dei colleghi di Grissom nei *Mercury Seven*. È un successo cui ne seguiranno altri: Apollo 8 e la prima trasvolata umana Terra-Luna-Terra con l'entrata in orbita lunare, Apollo 9 con la prova del LEM, il veicolo lunare, in

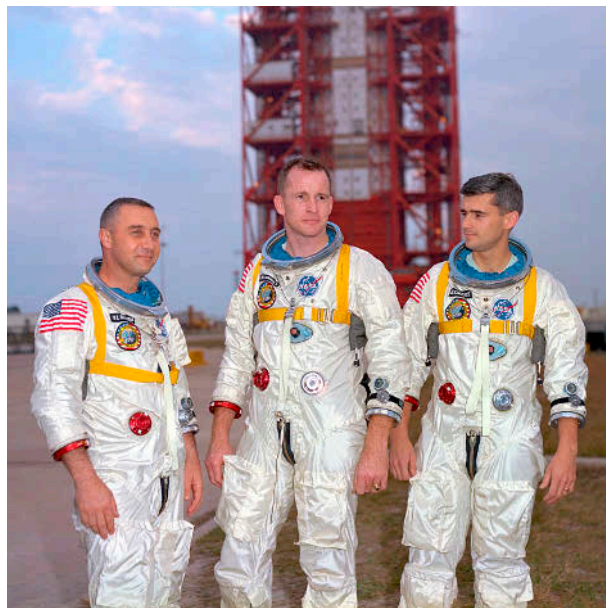


FIG. 4. Lo sfortunato equipaggio di Apollo 1. Da sinistra, Virgil "Gus" Grissom, Edward White e Roger Chaffee.

orbita terrestre, Apollo 10 con la replica della missione precedente ma in orbita lunare. I responsabili della NASA avevano infatti programmato un certo numero di missioni in sequenza, denominate con le lettere dell'alfabeto a partire dalla "A", ognuna delle quali avrebbe costituito uno *step* in vista del futuro primo allunaggio (e dei successivi). Dal momento che ognuna delle missioni previste poteva concludersi con un successo, ma anche fallire negli obiettivi prefissati e dover quindi essere ripetuta, nessuno era in grado di dire quale sarebbe stato l'equipaggio che avrebbe compiuto il primo storico allunaggio. E col senno di poi – e conoscendo la regola della NASA che prevedeva che l'equipaggio di riserva di una missione Apollo diventasse il titolare tre missioni dopo – assume grande importanza il fatto che, non essendo ancora pronto il LEM che doveva volare in orbita terrestre con Apollo 8, i vertici della NASA spostassero questo fondamentale collaudo alla successiva missione Apollo 9, programmando nel frattempo l'estemporanea missione attorno alla Luna di Apollo 8 e invertendo nel contempo gli equipaggi delle due missioni (e i due equipaggi di riserva).

Dopo la prova generale in orbita lunare dell'Apollo 10, conclusasi con successo con la discesa del LEM con a bordo Tom Stafford e Gene Cernan fino a una manciata di chilometri dalla superficie, la NASA decide di procedere con l'allunaggio, previsto per la prossima missione, la numero undici.

E finalmente con Apollo 11 la gente si emozionerà vedendo due omini infagottati in una ingombrante tuta bianca, Neil Armstrong e Buzz Aldrin, saltellare sulla superficie lunare mentre il collega Mike Collins li aspetta in orbita a bordo del modulo di comando in attesa del ricongiungimento, ma farà altrettanto presto a considerare lo sbarco sulla Luna roba di tutti i giorni, col risultato che l'inte-

resse di pubblico e media comincerà a decrescere già dalla successiva missione Apollo 12, e ci vorrà il quasi-disastro di Apollo 13 perché l'uomo della strada si renda finalmente conto che andare sulla Luna è davvero molto pericoloso. Le successive missioni, dalla 14 alla 17, perfezioneranno sempre di più le tecniche di esplorazione del nostro satellite e apriranno la strada a interessantissime prospettive future, ma quando Gene Cernan, comandante di Apollo 17 e ultimo (almeno finora) uomo a camminare sulla Luna, risale sul LEM al termine della sua escursione finale, è giunto l'ultimo atto del Programma Apollo: le previste missioni 18, 19 e 20 sono ormai state cancellate da tempo e d'altronde l'obiettivo è stato raggiunto, i Sovietici sono stati battuti, la promessa di John Kennedy è stata rispettata e ci sono in ballo molte altre cose da portare a termine, compreso un conflitto in Vietnam che fagocita soldi e vite umane in quantità. Solo molti anni dopo, con la caduta dell'URSS, il mondo saprà quello che la CIA sapeva già dagli anni Sessanta, e cioè che anche i Sovietici stavano preparando lo sbarco sulla Luna, ma erano stati costretti ad abbandonare i loro ambiziosi programmi da una miriade di problemi tecnici – e di esplosioni sulla rampa di lancio – connessi con lo sviluppo di un vettore, denominato N-1, di classe comparabile con quella del ben più fortunato Saturn V americano.

Così, nel 1972, termina la prima fase dell'esplorazione lunare da parte dell'Uomo, lasciando enormi rimpianti per quello che si poteva fare e non si è fatto, ma anche esaltanti prospettive per quello che resta da fare. Non si dimentichi infatti che Wernher von Braun, il principale artefice del successo spaziale del programma Apollo, già nell'agosto del 1969 (subito dopo Apollo 11 e ancora prima di Apollo 12) aveva proposto alle autorità statunitensi un ambizioso programma spaziale che, sulle orme dell'Apollo e contando sullo sviluppo di stazioni orbitali, shuttle nucleari e basi lunari, avrebbe nel volgere di pochi lustri potuto portare l'Uomo su Marte. Come sappiamo, di quel programma si salvò solo il progetto dello Space Shuttle e dal 1972 l'umanità è rimasta incatenata all'orbita terrestre, per un insieme di motivi che con la disponibilità effettiva della tecnologia necessaria per andare oltre hanno ben poco a che vedere.

Torneremo sulla Luna, sicuramente, prima o poi. Ma difficilmente potremo rivivere la magia e il senso di esaltazione che ci diedero quei due omini infagottati a spasso in una terra sconosciuta, in una lontana e magica notte di cinquant'anni fa.

I prossimi astronauti che andranno sulla Luna potranno visitare i luoghi di allunaggio delle missioni Apollo e ritrovarvi ciò che gli esploratori degli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso vi hanno lasciato, ed è sperabile che a quel punto i Governi del mondo e le Nazioni Unite vogliano conservare e tutelare quei siti come monumenti all'ingegno dell'umanità (FIG. 5).

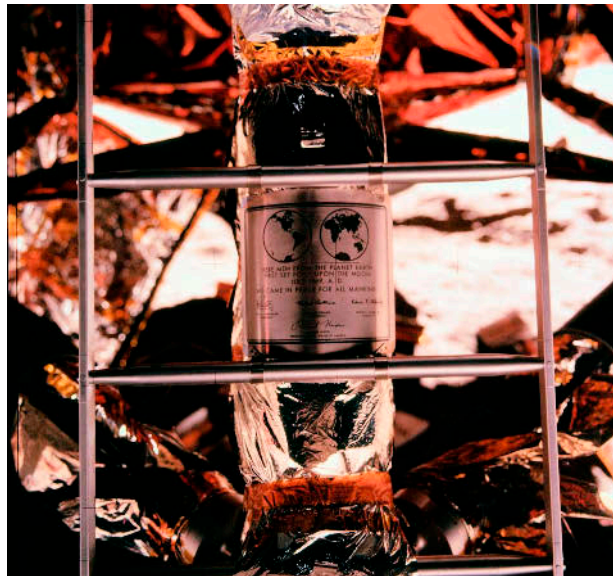


FIG. 5. La placca d'acciaio fissata alla scaletta del modulo lunare Eagle di Apollo 11.

Assieme ai reperti tecnologici i prossimi esploratori lunari troveranno anche altri reperti, legati più al lato umano che non a quello scientifico delle missioni spaziali. Si tratta, infatti, di oggetti che gli astronauti hanno voluto lasciare a titolo personale sul suolo lunare, per ricordare o celebrare persone care o comunque degne di rispetto, quasi come se quelle persone fossero in quel modo scese sulla Luna insieme a loro. In altri casi sono rimasti sulla Luna oggetti non legati affettivamente agli astronauti, ma comunque degni di essere ricordati se non altro a titolo di curiosità. Vediamone alcuni esempi.

Cominciamo dall'Apollo 11, ricordando che, subito prima di concludere la loro escursione sul suolo lunare, Armstrong e Aldrin lasciarono nei pressi del LEM un pacchetto contenente alcuni oggetti particolarmente significativi. Il pacchetto conteneva infatti un distintivo dell'Apollo 1, in memoria dei colleghi deceduti nel 1967 Grissom, White e Chaffee, e una spilletta in oro a forma di ramoscello d'ulivo, simile alle tre che i due astronauti avevano portato con sé sulla Luna e che al ritorno sarebbero andati alle loro mogli e a quella di Collins. Ma il pacchetto conteneva anche altri oggetti, della cui esistenza si seppe solo molti anni dopo quando ne parlò Aldrin in un suo libro e di cui nel 1969, in piena Guerra Fredda, poteva apparire più opportuno non fare cenno: si trattava di due medaglie sovietiche commemorative dei cosmonauti Vladimir Komarov e Yuri Gagarin, tragicamente scomparsi, rispettivamente, nel 1967 e nel 1968. Un atto di rispetto ammirevole nei confronti di due colleghi dell'"altra parte" affratellati agli astronauti americani dallo stesso pericoloso lavoro. Gli astronauti dell'Apollo 11 lasciarono inoltre un disco di silicio contenente messaggi di saluto da parte di settanta capi di Stato di tutto il mondo. E se Aldrin portò sulla Luna le foto dei figli, molto si è detto e scritto anche su un



FIG. 6. L'equipaggio di Apollo 12. Da sinistra, il comandante Charles "Pete" Conrad, il pilota del modulo di comando Richard "Dick" Gordon e il pilota del modulo lunare Alan Bean.

eventuale oggetto che Armstrong avrebbe lasciato sulla Luna a ricordo della figlioletta Karen, morta a due anni, nel 1962, per le conseguenze di un tumore. Nel recente film *First Man*, tratto dalla biografia di Armstrong scritta dallo storico James Hansen, c'è una scena molto commovente, in cui l'astronauta si ferma sul bordo di un cratere e vi lascia cadere dentro un braccialetto appartenuto alla piccola. La scena è davvero toccante ma in realtà Armstrong – persona molto schiva e riservata – non ha mai detto di aver compiuto quel gesto. La sorella June, tuttavia, come riportato da Hansen nel libro, è convinta che Neil qualcosa del genere lo abbia fatto ed è a questa convinzione che si sono ispirati gli sceneggiatori.

Su Apollo 12 ci sarebbe tantissimo da dire, a cominciare dal fatto che il suo equipaggio fu sicuramente il più simpatico e divertente tra quelli che si avvicendarono sul suolo lunare in quegli anni (FIG. 6). Il comandante Charles "Pete" Conrad, il pilota del modulo lunare Alan Bean e il pilota del modulo di comando Dick Gordon provenivano infatti tutti dai ranghi dell'Aviazione di Marina, ed erano tre spiriti allegri, tra loro affiatatissimi e sempre pronti allo scherzo e alle risate, a cominciare dalla frase che Conrad esclamò nel mettere piede sulla Luna: «*Whopee! Man, that may have been a small one for Neil, but that's a long one for me*» ("Sarà stato un piccolo passo per Neil, ma per me è bello lungo"), dovuta a una scommessa fatta con la giornalista italiana Oriana Fallaci e riferita alla propria bassa statura e alla frase storica che Armstrong aveva pronunciato riguardo a quel suo piccolo passo per un uomo corrispondente a un balzo gigantesco per l'umanità. Ci fu anche un momento di incomprensibile (per chi ascoltava da terra) ilarità di Conrad e Bean durante la loro attività extra-veicolare lunare, quando, sfogliando le *cuff list* che portavano al polso (una specie di bloc-notes con pagine plastificate, riportanti la sequenza delle operazioni da svolgere durante l'escursione), vi trovarono alcune pagine – rigorosamente plastificate e ignifughe come tutto il resto – contenenti immagini di procaci *playmate* della rivista Playboy, e relativi commenti a doppio senso, inseritevi per scherzo prima del lancio dai membri

dell'equipaggio di riserva David Scott e Jim Irwin. Per quanto la cosa possa sembrare improbabile e forse ai giorni nostri perfino non troppo politicamente corretta, essa è avvenuta davvero e se ne trova piena e completa testimonianza sul sito web ufficiale della NASA.

Ma c'è anche in questa missione un aspetto toccante: Conrad e Bean lasciarono infatti sulla Luna le "ali" da aviatore appartenute al collega Clifton C. Williams, che aveva fatto parte dell'equipaggio originariamente designato insieme a Conrad e Gordon e che aveva perso la vita nel 1967 in un incidente aereo, venendo in seguito sostituito da Bean come pilota del modulo lunare. In questo modo era come se anche Williams fosse sceso sulla Luna con i compagni (anche l'emblema della missione fu ridisegnato per comprendere, anziché tre, quattro stelle, una per ognuno degli uomini che compirono la missione, più una quarta per Williams). Bean lasciò inoltre sulla superficie lunare il proprio distintivo d'argento da astronauta (riservato agli astronauti qualificati ma non ancora andati nello spazio), sapendo che al ritorno gliene sarebbe stato consegnato uno d'oro.

Apollo 12 ha anche un'altra interessante particolarità: rocce lunari a parte, è l'unica missione che abbia riportato indietro qualcosa che era stato lanciato qualche tempo prima sulla Luna; nello specifico, una telecamera montata sulla sonda lunare Surveyor III, scesa sulla Luna nel 1967. Il LEM di Apollo 12 era allunato nelle sue vicinanze (per la precisione a 185 m di distanza) e i due astronauti americani poterono raggiungere a piedi il veicolo spaziale e recuperare l'oggetto da riportare a casa.

Come noto, Apollo 13 non poté scendere sulla Luna, ma con Apollo 14 abbiamo un altro primato, accreditabile al comandante Alan Shepard. Chi scenderà in futuro nei pressi del sito di allunaggio di Apollo 14 potrà forse avere la fortuna di trovare una delle palline da golf che Shepard, appassionato di questo sport, portò con sé sulla Luna e provò a lanciare utilizzando un attrezzo sostitutivo di una vera mazza da golf. Sui risultati si può discutere, ma il primato resta comunque agli atti.

Anche Apollo 15 (la prima missione dotata di un *rover* in grado di trasportare entrambi gli astronauti in esplorazione sulla superficie lunare) ha la sua dose di oggetti particolari lasciati sulla Luna, a cominciare da una piuma di falco (in omaggio al nome dato al veicolo lunare della missione, *Falcon*) che il comandante David Scott utilizzò assieme a un martello per dimostrare, lasciando cadere contemporaneamente i due oggetti (che naturalmente toccarono il suolo lunare nello stesso momento) l'esattezza di quanto a suo tempo predetto da Galileo Galilei. Per poi commentare l'esito dell'esperimento con un soddisfatto: «*Mr. Galileo was correct in his findings!*» (FIG. 7; il filmato dell'esperimento è disponibile nel sito della NASA: <https://apod.nasa.gov/apod/ap111101.html>, e le spiegazioni in www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/o6may_lunarranging).



FIG. 7. Il comandante della missione Apollo 15, David Scott, in procinto di lasciar cadere il martello e la piuma sulla superficie lunare.

html). Nelle attività successive svolte dagli astronauti, della piuma portata dalla Terra si persero le tracce.

Ma Scott e Irwin di Apollo 15 lasciarono sulla Luna anche altri oggetti particolarmente significativi: una statuetta in alluminio raffigurante un astronauta stilizzato, chiamata *Fallen Astronaut* e realizzata dall'artista belga Paul Van Hoeydonck, insieme a una placca a ricordo degli astronauti americani (otto) e dei cosmonauti sovietici (sei) deceduti per varie cause fino a quel momento della corsa alla Luna (FIG. 8). Fu, questa, un'iniziativa del tutto personale dell'equipaggio (la NASA non ne era stata informata). Gli oggetti furono fotografati e il mondo ne venne messo al corrente durante una conferenza stampa svoltasi dopo il rientro degli astronauti sulla Terra.

Per quanto riguarda Apollo 16, ricordiamo che il pilota del modulo di comando Charlie Duke (al quale sono onorato di aver potuto stringere personalmente la mano in due occasioni in anni recenti) lasciò sulla superficie lunare una foto della sua famiglia, mentre Gene Cernan, comandante di Apollo 17 e ultimo uomo, per ora, a lasciare la superficie lunare, poco prima di reimbarcarsi per l'ultima volta sul LEM tracciò nella polvere le iniziali della figlia Tracy.

Mi è sembrato opportuno riportare queste curiosità per sottolineare come gli astronauti non siano superuomini (e da tempo anche superdonne) disumanizzati, come qualcuno crede, ma esseri umani in tutto e per tutto, con il loro proprio bagaglio di sentimenti, affetti, paure e debolezze comune a qualsiasi altro rappresentante della nostra specie.

Purtroppo, l'inesorabile scorrere del tempo (non a caso stiamo parlando del cinquantenario del primo sbarco sulla Luna) ha inevitabilmente falcidiato il gruppo dei *Moonwalkers*, e al momento in cui scrivo dei dodici uomini che camminarono sulla Luna solo Buzz Aldrin, David Scott, Charlie Duke e Harrison Schmitt sono ancora fra noi.



FIG. 8. Il "Fallen Astronaut" di Paul Van Hoeydonck – l'unico manufatto artistico su suolo extraterrestre – e la placca commemorativa lasciata dagli astronauti di Apollo 15 sulla Luna nell'agosto 1971.

Ricordiamo, infine, che sulla scaletta dei moduli lunari erano applicate delle placche d'acciaio riportanti, fra l'altro, le firme stilizzate dei componenti dell'equipaggio e la designazione e la data della missione. In particolare, quelle delle missioni Apollo 11 (primo allunaggio) e 17 (ultimo allunaggio) riportano anche la firma del presidente degli USA (Richard Nixon) e una frase di saluto.

Per Apollo 11 era: «*Here men from the planet Earth first set foot upon the Moon July 1969, A.D. We came in peace for all mankind*», mentre per Apollo 17: «*Here man completed his first explorations of the Moon, December 1972, A.D. May the spirit of peace in which we came be reflected in the lives of all mankind*». Essendo collocate sullo stadio di discesa del LEM, anche queste iscrizioni sono rimaste sul suolo lunare, a ricordo delle imprese compiute.

Scopo di questo articolo non è tanto quello di proporre l'ennesima storia della conquista dello spazio e degli eventi che portarono al primo sbarco sulla Luna, per quanto sommariamente riepilogati più sopra. Sono informazioni alla portata di chiunque sia curioso di andarle a cercare.

In occasione dei cinquant'anni ormai trascorsi da quel fatidico 20 luglio 1969, desideriamo semmai cogliere l'occasione per qualche considerazione di diversa natura sull'importanza e sulla rilevanza di quell'impresa, e di quelle che la precedettero e la seguirono, e sull'impatto che hanno avuto sull'umanità.

Una prima, evidente, considerazione riguarda inevitabilmente i progressi che la corsa allo spazio ha portato nelle tecnologie aeronautiche e spaziali, sia in Occidente che in Oriente.

È peraltro ben noto che i vettori utilizzati per le prime imprese spaziali (l'R-7 Semyorka per i Sovietici)

tici, i Redstone e gli Atlas per gli Americani) erano razzi studiati per l'impiego militare e che solo successivamente trovarono impiego nei programmi spaziali. Ma non si deve dimenticare che all'epoca si era in piena Guerra Fredda, e che in molte occasioni mancò veramente poco a che il conflitto si "scaldasse" in maniera irreparabile. E se, come qualcuno ha osservato con una certa dose di cinismo ma anche molto realismo, non c'è niente di meglio di una guerra per accelerare scoperte e sviluppi tecnologici (come in effetti è avvenuto durante e a seguito delle due guerre mondiali del secolo scorso), è verissimo anche che fu proprio dallo sviluppo dei primi missili balistici intercontinentali che nacque l'interesse delle principali Potenze mondiali per i viaggi nello spazio (visto anch'esso all'epoca come un possibile futuro campo di battaglia, con tanto di bombe atomiche lanciabili sulla Terra da parte di satelliti militari appositamente collocati in orbita).

Ma per fortuna gli sbarchi sulla Luna mantennero una connotazione decisamente pacifica e portarono a importanti scoperte scientifiche relative al nostro satellite naturale e lo studio delle rocce e degli altri campioni portati sulla Terra dagli astronauti Apollo (per un totale di 382 kg) ha contribuito a darci una idea più esatta e completa della storia geologica del nostro vicino celeste e dei suoi rapporti con quella del nostro pianeta.

Ma i viaggi spaziali del programma Apollo hanno portato anche altre importanti novità e queste riguardano in gran parte la nostra vita di tutti i giorni.

Sono infatti migliaia i brevetti e i diversi oggetti prodotti utilizzando sviluppi delle tecnologie progettate per le imprese spaziali del secolo scorso e, in particolare, per portare gli astronauti sulla Luna. Si tratta degli "spinoff" lunari, uno dei più formidabili argomenti a sostegno delle enormi somme spese per la conquista dello spazio nei confronti di coloro, e non sono pochi, che sostengono che quelle somme avrebbero potuto essere spese diversamente, sulla Terra, per migliorare le condizioni di vita della popolazione mondiale.

È un argomento indubbiamente solido che merita una attenta e profonda riflessione, se non fosse che si scontra con la valutazione fatta da esperti del settore ed apparsa su diverse fonti (per esempio *La Stampa* del 16 luglio 2009), in base alla quale per ogni dollaro dei circa 25 miliardi spesi negli anni Sessanta per il programma spaziale della NASA le ricadute tecnologiche derivate ne hanno prodotti tre. Anche questa è una cifra che dà da pensare e che indubbiamente fornisce, al di là di altri più nobili motivi a supporto del programma spaziale, come il naturale anelito dell'Uomo all'esplorazione dei territori sconosciuti che gli si profilano davanti, un'ottima risposta all'obiezione di cui sopra.

Ma per rimanere terra terra (si perdoni il banale gioco di parole), vediamo quali sono alcuni di questi spinoff che ormai da decenni ci accompagnano nelle nostre attività quotidiane.

Per esempio, il Gore-Tex delle nostre giacche a vento e del nostro abbigliamento sportivo in genere, che deriva dal tessuto usato per le tute spaziali, e il velcro, ottimo sostituto di bottoni e chiusure lampo, ma anche il teflon che rende antiaderenti le nostre pentole. E, ancora, i microchip che costituiscono la base degli attuali personal computer sono derivati dai computer utilizzati a bordo dei moduli Apollo, così come le celle a combustibile, sviluppate proprio in vista delle missioni lunari. Ma anche i cibi liofilizzati e gli elettrodomestici a batteria, che derivano dagli attrezzi sviluppati per le attività extra-veicolari degli astronauti. E gli orologi al quarzo, anche questa una tecnologia di derivazione spaziale.

Anche la medicina ha beneficiato delle ricadute dei programmi spaziali, con lo sviluppo di arti artificiali in materiali compatibili con i tessuti biologici, dei *pacemaker* per uso cardiaco, della spettrometria di massa per usi chirurgici e delle attrezzature di monitoraggio dei pazienti in terapia intensiva. Ma si possono ancora citare le lenti antigraffio per gli occhiali e le scarpe da ginnastica, anch'esse derivate (rispettivamente, dalle visiere dei caschi e dagli stivali degli astronauti) da tecnologie sviluppate per le passeggiate lunari.

E ancora i *joystick* e altri meccanismi utilizzati per le sedie dei disabili, nonché per esempio gli pneumatici radiali derivati direttamente dalle ruote del rover lunare.

Pensiamo inoltre agli speciali indumenti raffreddanti, sviluppati per gli astronauti Apollo durante le escursioni lunari, che oggi fanno parte dell'indispensabile vestiario dei piloti da corsa, dei tecnici degli impianti nucleari e dei cantieri navali, per non parlare delle applicazioni mediche di queste tecnologie nei confronti di pazienti affetti da sindromi che impediscono al corpo di raffreddarsi naturalmente. Ma anche le macchine per dialisi beneficiano di tecnologie venute direttamente da applicazioni della NASA, mentre materiali come il propilene e il mylar, studiati come rivestimento dei veicoli spaziali a protezione degli astronauti dalle radiazioni e dal calore, sono correntemente usati come isolanti nelle nostre abitazioni.

Citiamo ancora le applicazioni di tecnologie relative alla purificazione dell'acqua da batteri, virus e alghe. E anche un evento tragico come la morte sulla rampa di lancio dei tre astronauti dell'Apollo 1 portò la NASA a sviluppare, congiuntamente con l'industria privata, una linea di tessuti resistenti al fuoco da utilizzare nelle tute e nei veicoli spaziali. Queste applicazioni in seguito sono state trasferite all'uso "terrestre", a salvaguardia delle vite dei vigili del fuoco, dei militari e degli appartenenti ad altre categorie di lavoratori a rischio.

Mi fermo qui per non annoiare il lettore, perché la lista sarebbe ancora lunghissima, ma il concetto penso sia chiaro. L'attività spaziale è indubbiamente costosa, ma nel giudicarne i pro e i contro va tenuto conto delle enormi ricadute tecnologiche da

essa derivanti e che sono suscettibili di apportare enormi benefici e migliorie alla qualità della vita delle persone, al di là dei rilevanti possibili ricavi economici di cui possono beneficiare – ed in effetti beneficiano – le aziende impegnate nella commercializzazione di queste linee di prodotti.

Quando mi è stato chiesto di scrivere questo articolo, mi è stato suggerito di trattare anche le ipotesi di complotto centrate sulla fantasiosa elucubrazione che gli sbarchi sulla Luna non sarebbero mai avvenuti e sarebbero di conseguenza stati falsificati dalla NASA e dal Governo statunitense per motivi di prestigio internazionale e a sostegno della propria (in questo caso presunta) supremazia tecnologica e “di sistema” sull’Unione Sovietica, in un periodo dai forti contrasti ideologici come quello della Guerra Fredda.

Devo ammettere che, pur essendomi capitato abbastanza spesso di trattare il tema della corsa alla Luna degli anni Sessanta in articoli e conferenze, ho sempre volutamente evitato di trattare questo argomento perché lo trovo, oltre che intrinsecamente ridicolo, anche e soprattutto offensivo nei confronti delle migliaia e migliaia di persone che hanno dedicato il proprio ingegno e la propria perseveranza alla realizzazione del sogno di andare sulla Luna. Mettere in dubbio tutto questo, sulla base oltretutto di argomenti speciosi e inconsistenti, che in molti casi si commentano da soli e che in generale non resistono più di un attimo di fronte al buon senso e ad una semplice analisi tecnica, mi sembra davvero di una tristezza infinita.

Soprattutto perché non stiamo parlando di creduloneria di persone incapaci di intendere e di volere, ma di banale disinformazione e colpevole ignoranza, quando i mezzi e le opportunità per informarsi compiutamente su queste magnifiche imprese esistono e sono a completa disposizione di chiunque.

Il fenomeno del cosiddetto “lunacomplottismo” affonda le sue radici in dubbi già espressi anche prima dei primi sbarchi, ma trova la sua consacrazione nel libro del 1974 *We Never Went to the Moon* (titolo dell’edizione italiana *Non siamo mai andati sulla Luna*), pubblicato in proprio da Bill Kaysing il quale, pur avendo lavorato (peraltro solo fino al 1963) per un’azienda impegnata nel programma lunare, non aveva tuttavia al suo attivo una particolare preparazione tecnica.

Sulla scia e sull’onda emotiva causata da questo primo esempio, altri hanno portato avanti e propagandato l’idea della falsità degli sbarchi lunari, utilizzando tutti i possibili mezzi a loro disposizione. Abbiamo quindi una sterminata messe di articoli, libri, pagine web, documentari, ecc. (e qualcuno ricorderà il film del 1978 di Peter Hyams *Capricorn One*, in cui, utilizzando veicoli provenienti direttamente dal programma Apollo, si proponeva allo spettatore la storia di un finto sbarco su Marte organizzato dalla NASA). Un documentarista di nome

Bart Sibrel addirittura girava per gli Stati Uniti importunando gli ex astronauti Apollo per chiedere loro di giurare sulla Bibbia che erano davvero stati sulla Luna. Alcuni lo fecero per toglierselo di torno, altri lo mandarono a quel paese, mentre il focoso Buzz Aldrin, approcciato in maniera alquanto aggressiva nel 2002, per tutta risposta rifilò al malcapitato un poderoso pugno in faccia (uscendone peraltro senza conseguenze legali).

Gli argomenti utilizzati da questi personaggi sono sempre gli stessi e si basano sull’esame delle fotografie delle missioni lunari e su dubbi insinuati relativamente a ombre sbagliate, bandiere americane che sventolano (?), stelle che non appaiono nelle fotografie, fondali fasulli, riflessi di luci da set nelle visiere degli astronauti e chi più ne ha più ne metta. Superfluo dire che di tutte queste presunte anomalie non se ne salva una ad un esame accurato e senza preconcetti effettuato da persone con adeguata preparazione tecnico/scientifica, e a questo proposito non posso non fare cenno in questa sede all’enorme ed eccellente lavoro di corretta divulgazione svolto negli anni dal giornalista informatico ed esperto di storia dell’astronautica Paolo Attivissimo, che nel suo sito web dedicato alle “bufale spaziali” e nel suo libro *Luna? Sì, ci siamo andati!* ha dato risposte perfettamente coerenti e di ineccepibile chiarezza e precisione alle sparate che girano – ormai sempre più stancamente e ripetitivamente – in rete e altrove a proposito degli sbarchi lunari.

Ma la cosa più divertente del lunacomplottismo, se non ci fosse da piangere, è che esso non si basa su una tesi univoca riguardante la falsità degli sbarchi lunari, ma su una vera e propria congerie di stralunate ipotesi che hanno la buffa caratteristica di contraddirsi l’una con l’altra.

Esiste quindi l’ipotesi della falsità di tutti gli sbarchi lunari, ma anche quella della falsità della sola missione Apollo 11 (una truffa architettata per battere sul tempo i Sovietici), mentre tutte le altre sarebbero effettivamente avvenute. C’è chi dice poi che non si potevano oltrepassare le fasce di Van Allen e sostiene che gli sbarchi lunari sono per questo fasulli, dimenticandosi magari che intorno alla Luna ci hanno girato anche Apollo 8, 10 e 13 senza scendervi e che in qualche modo fin là avranno pur dovuto arrivarci. Non manca chi afferma che le missioni sono reali ma sono le foto ad essere fasulle (e quindi riprese in studio sulla Terra), perché macchine fotografiche e pellicole non avrebbero potuto sopportare le condizioni estreme del vuoto cosmico, e chi dice che gli Americani sulla Luna ci sono andati per davvero ma non ci sono più tornati perché ci hanno trovato gli alieni che li hanno avvertiti che era meglio per loro stare alla larga. E via dicendo...

Si è anche stra-parlato a lungo in rete di una presunta missione Apollo 20 (quelle vere si sono fermate alla 17), lanciata in segreto dalla base dell’Aeronautica di Vandenberg, in California, che avrebbe avuto a bordo un equipaggio misto russo-americano (facendo addirittura il nome del cosmonauta so-

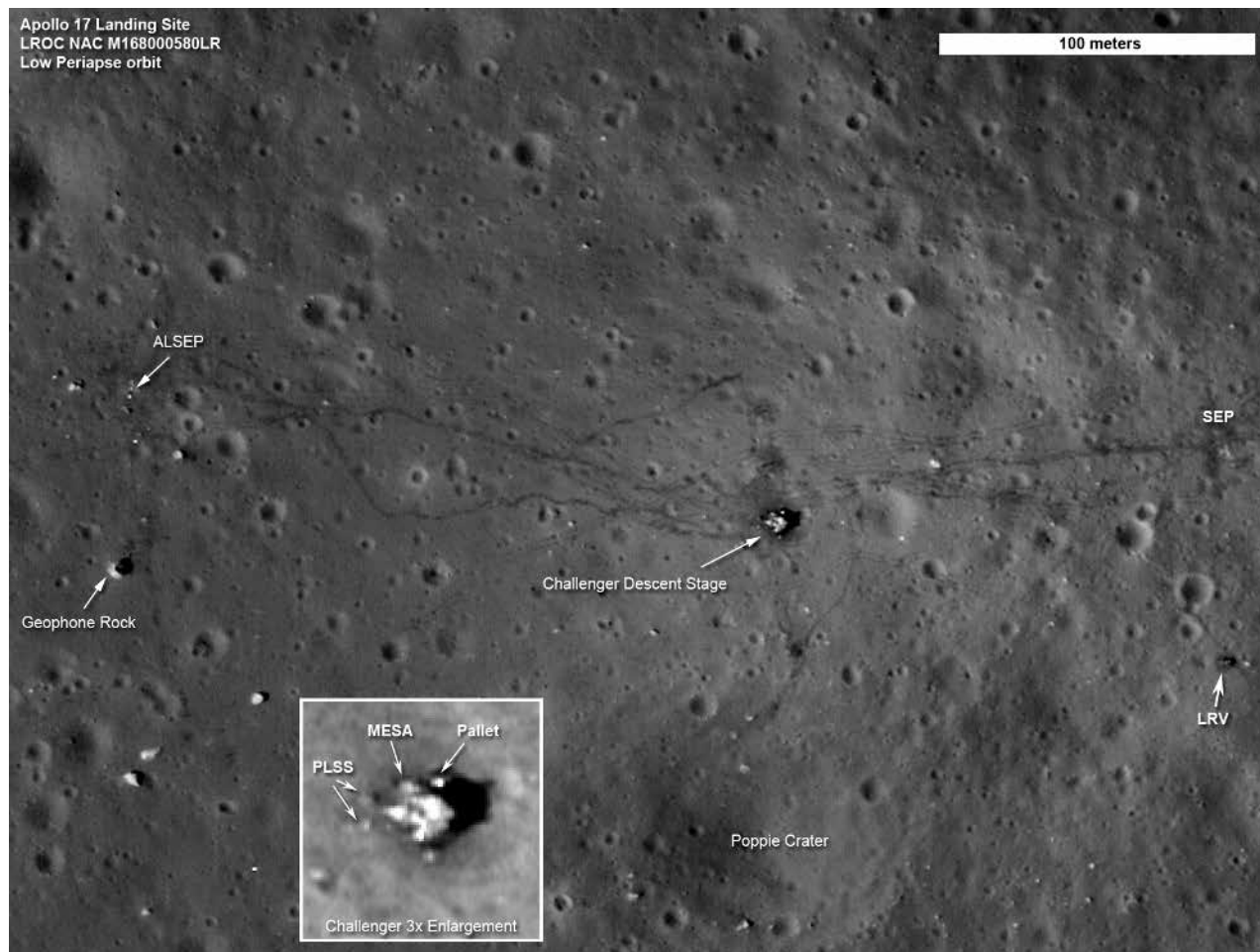


FIG. 9. Il sito di allunaggio di Apollo 17 in una delle stupende immagini riprese dalla sonda LRO.

vietico Alexei Leonov) e sarebbe stata mandata sulla Luna a indagare su un'astronave aliena trovata sulla superficie, recuperando anche un cadavere umanoide extraterrestre. Si immagina soltanto un Saturn V lanciato dalla base californiana senza che nessuno se ne sia accorto, per avere la percezione di cosa di veritiero possa esserci in questa storia.

Onestamente, mi rifiuto di andare oltre, lasciando al lettore che lo desideri ogni ulteriore approfondimento di queste tematiche. Mi rimane comunque l'amaro in bocca pensando al coraggio e alla determinazione che uomini e donne su entrambi i lati della Cortina di Ferro hanno messo in campo per permettere all'umanità di andare nello spazio e approdare su un corpo celeste diverso dalla Terra e a come questo coraggio e questa determinazione possano venire messi in dubbio da gente che crede di aver scoperto l'acqua calda nell'ipotizzare complotti che definire improbabili è poco. Non sarebbe meglio studiare la storia delle imprese spaziali e dei loro protagonisti, una delle poche epopee di cui il genere umano possa andare fiero?

Ma restiamo ancora qualche momento nei paraggi del lunacomplotto per prendere in esame l'ennesima conferma della realtà degli sbarchi lunari.

Nel 2009 la sonda della NASA LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*) inviò dall'orbita lunare, e più pre-

cisamente dalla quota bassissima di 50 chilometri, delle foto straordinarie dei siti di allunaggio delle missioni Apollo (FIG. 9), quasi in risposta alla domanda che molti lunacomplottoisti avevano fatto da anni sfidando la comunità scientifica a far loro vedere, magari attraverso le ottiche di un telescopio, se davvero sul suolo lunare ci fossero le attrezzature scientifiche lasciate dalle missioni Apollo. Ebbene, LRO ha servito loro su un piatto d'argento foto dettagliatissime (e anche, a mio parere, profondamente evocative ed emozionanti) degli stadi di discesa delle varie missioni Apollo, con particolari ben distinguibili come i *rover* parcheggiati nei pressi, le attrezzature lasciate sul suolo lunare, le impronte degli astronauti e le tracce delle ruote dei *rover* nei loro spostamenti. Confrontando questi movimenti con i rapporti di missione della NASA, si trova una corrispondenza perfetta tra gli spostamenti documentati degli astronauti e le immagini provenienti da LRO.

La missione LRO è della NASA, che si è occupata però solo del lancio, mentre la fotocamera della sonda e l'interpretazione delle immagini sono sotto il controllo di un gruppo scientifico separato che fa capo alla Università di Stato dell'Arizona. Alla facile obiezione che potrebbe essere fatta dai lunacomplottoisti, che la sonda appartiene alla NASA e quindi anche le immagini dei siti Apollo sono artefatte, si

può quindi facilmente rispondere facendo notare come nel mega-complotto dovrebbero essere compresi non solo la NASA e il Governo americano, ma anche gruppi accademici svincolati da Governo e Pubblica Amministrazione. Di quante persone stiamo parlando, di cui quante al di sopra di ogni sospetto, che dovrebbero essere parte in causa nella più grande presa in giro mai perpetrata ai danni dell'umanità intera? Un sacco di gente, in effetti, da aggiungere alle centinaia di migliaia di persone che ai tempi dell'Apollo lavoravano per la NASA o per aziende da essa contrattualizzate e di cui neanche una, magari in punto di morte, ha sentito il bisogno di lavarsi la coscienza confessando il misfatto.

Ultima postilla: oltre a LRO, anche la sonda giapponese *Kaguya* ha orbitato intorno alla Luna, fornendo importanti conferme altimetriche della realtà degli sbarchi lunari.

E non dimentichiamo infine i retroriflettori laser lasciati sulla Luna dalle missioni Apollo 11, 14 e 15. Essendo in pratica dei catarifrangenti che riflettono la luce che li colpisce, rimandando indietro il riflesso verso la fonte che dalla Terra ha trasmesso il raggio, sono molto utili per determinare con estrema precisione la distanza Terra-Luna attraverso la misurazione del tempo impiegato tra andata e ritorno. Fra l'altro, sono apparecchi che non richiedono energia per funzionare, quindi, nonostante il tempo trascorso dal loro posizionamento, possono essere utilizzati ancora oggi. Come il citato Attivissimo fa giustamente notare, pur sapendo che sono stati lasciati sulla Luna da astronauti, la loro presenza in loco non costituisce una prova definitiva degli allunaggi umani, perché anche i Sovietici ne hanno inviati utilizzando sonde automatiche. Resta il fatto però che le apparecchiature si trovano esattamente nei punti in cui la NASA ha dichiarato di aver fatto scendere le sue missioni Apollo.

Godiamoci allora senza preclusioni e prevenzioni – come è giusto che sia – questo ormai prossimo cinquantesimo anniversario dello sbarco lunare dell'Apollo 11, lasciandoci emozionare dai racconti dei protagonisti di questa impresa eccezionale, per quei tempi e forse anche per i nostri, e che ci ha mostrato, al pari delle altre missioni che hanno orbitato intorno alla Luna, la Terra dalla prospettiva di un altro corpo celeste. Una prospettiva che mostra un bellissimo pianeta azzurro, marrone e verde solcato dalle nuvole e senza confini, come possono confermare tutti gli astronauti che l'hanno ammirato in prima persona, restando per sempre cambiati nel profondo dell'anima da quello spettacolo senza paragoni.

Abbiamo raggiunto la Luna, ci torneremo e andremo oltre, perché lo spazio esterno è là e ci aspetta, se avremo il coraggio e l'intraprendenza di esplorarlo.

Questo articolo è dedicato alla memoria di Giorgio Palumbo, grande uomo di scienza e scienziato

di grande umanità, che ricorderò sempre con grande rispetto e simpatia. Celebrare il cinquantesimo dell'Apollo 11 insieme a lui sarebbe davvero stata un'altra cosa. Grazie di tutto, Giorgio, e buon volo.

Bibliografia essenziale di riferimento

- B. ALDRIN, W. WARGA, *Return to Earth*, New York, Random House, 1973.
- B. ALDRIN, M. MCCONNELL, *Men from Earth*, New York, Bantam Books, 1989.
- B. ALDRIN, K. ABRAHAM, *Magnificent desolation: the long journey home from the Moon*, New York, Harmony Books, 2009.
- P. ATTIVISSIMO, *Luna? Sì, ci siamo andati!*, s.n.t., 2010 (la versione online, aggiornata a cura dello stesso autore, è disponibile all'indirizzo <https://complottilunari.blogspot.com/2010/03/luna-si-ci-siamo-andati-faq.html>; ultimo aggiornamento 30/12/2017).
- A. BEAN, *My life as an Astronaut*, Aladdin, 1989.
- A. BEAN, A. CHAIKIN, *Apollo: an eyewitness account by astronaut/explorer artist/moonwalker Alan Bean*, Greenwich Workshop Press, 1998.
- A. BEAN, *Painting Apollo: first artist on another world*, Smithsonian Institution, 2009.
- F. BORMAN, R. J. SERLING, *Countdown. An autobiography*, Silver Arrow Books, William Morrow, New York, 1988.
- C. BURGESS, K. DOOLAN, B. VIS, *Fallen astronauts. Heroes who died reaching for the Moon*, University of Nebraska, 2003.
- C. BURGESS, *Footprints in the dust: the epic voyages of Apollo 1969-1975*, University of Nebraska Press, 2010.
- D. CADBURY, *Space race: the battle to rule the Heavens*, Harper Perennial, 2006.
- G. CAPRARA, *Era spaziale - La scoperta dello spazio dallo Sputnik al viaggio verso Marte*, Mondadori Electa Spa, Milano, 2007.
- S. CAVINA, "Uomini per la Luna" - *Sputnik - L'alba dell'era spaziale*, AIEP Editore, 2007).
- S. CAVINA, "Uomini per la Luna" - *Cosmonauti - Esploratori dell'universo*, AIEP Editore, 2009.
- S. CAVINA, "Uomini per la Luna" - *Apollo - La sfida alla Luna*, AIEP Editore, 2011.
- E. CERNAN, D. DAVIS, *The Last Man on the Moon*, St. Martin's Griffin, New York, 2000.
- A. CHAIKIN, *A man on the Moon: the voyages of the Apollo astronauts*, Penguin Books, 2007.
- A. CHAIKIN, A. BEAN, *Mission Control, this is Apollo: the story of the first voyages to the Moon*, Viking, 2009.
- M. COLLINS, *Carrying the fire: an astronaut's journeys*, Cooper Square Press, 1974, 2009.
- N. CONRAD, H. A. KLAUSNER, *Rocketman. Astronaut Pete Conrad's incredible ride to the Moon and beyond*, Penguin Random House, 2006.
- W. CUNNINGHAM, *All-American Boys*, Macmillan, 1977 (ed. it. *I ragazzi della Luna*, Mursia, 2009).
- C. DUKE, D. DUKE, *Moon walker*, Nelson Books, Nashville, Tennessee, 1990.
- D. EISELE, *Apollo pilot. The memoir of astronaut Donn Eisele*, University of Nebraska Press, 2017.
- O. FALLACI, *Se il Sole muore*, Rizzoli, 1965, 1981.

- O. FALLACI, *Quel giorno sulla Luna*, Rizzoli, 1970, 2009.
- O. FALLACI, *La Luna di Oriana*, Rizzoli, 2018.
- F. FRENCH, C. BURGESS, *Into that Silent Sea: trailblazers of the Space Age*, University of Nebraska Press, 2007.
- F. FRENCH, C. BURGESS, *In the shadow of the Moon: a challenging journey to Tranquillity*, University of Nebraska Press, 2007.
- T. FURNISS, *Manned spaceflight Log. New edition*, Jane's Publishing Ltd., UK, 1986.
- T. FURNISS, D. J. SHAYLER, M. D. SHAYLER, *Praxis manned spaceflight log 1961-2006*, Springer Praxis, 2007.
- K. GATLAND, *The illustrated encyclopedia of space technology. Second edition*, Salamander Books Ltd., Londra, 1989.
- U. GUIDONI, *Dallo Sputnik allo Shuttle*, Sellerio, 2009.
- U. GUIDONI, *Dalla Terra alla Luna. Il progetto Apollo 40 anni dopo*, Di Renzo Editore, Roma, 2011.
- J. R. HANSEN, *First Man*, Simon & Schuster, Inc, 2005 (ed. it. *First Man. Il Primo Uomo*, Rizzoli, 2018).
- G. B. JUDICA CORDIGLIA, A. JUDICA CORDIGLIA, L. LIGUORI, F. POTENZA (a cura di), *L'uomo e lo spazio*, 4 voll., Fratelli Fabbri Editori, Milano, 1969-1970.
- G. KRANZ, *Failure is not an option*, Simon & Schuster, 2001.
- A. LO CAMPO, *Il ritorno sulla Luna. L'Apollo 14 e i suoi protagonisti*, Roberto Chiaramente Editore, Torino, 1996.
- J. LOVELL, J. KLUGER, *Lost Moon*, Houghton Mifflin Company, 1994 (ed. it. *Apollo 13*, Sperling & Kupfer Editori SpA, 1995).
- P. MAGIONAMI, *Gli anni della Luna. 1950-1972: l'epoca d'oro della corsa allo spazio*, Springer-Verlag Italia, Milano, 2009.
- L. PIZZIMENTI, *Progetto Apollo. Il sogno più grande dell'uomo*, Elara Srl, Bologna, 2009.
- S. SCHNEIDER, *Collecting the Space Race*, Schiffer Publishing Ltd, 1993.
- D. SCOTT, A. LEONOV, *Two sides of the Moon: our story of the Cold War Space Race*, St. Martin's Griffin, 2006.
- A. SHEPARD, D. SLAYTON, J. BARBREE, *Moon shot. The inside story of America's race to the Moon*, Turner Publishing, Inc., Atlanta, 1994.
- A. SMITH, *Moondust. In Search of the men who fell to Earth*, HarperCollins, 2005 (ed. it. *Polvere di Luna. La storia degli uomini che sfidarono lo spazio*, Cairo editore, Milano, 2006).
- T. STAFFORD, M. CASSUTT, *We have capture: Tom Stafford and the Space Race*, Smithsonian Institution Press, 2002.
- N. THOMPSON, *Light this candle: the life and times of Alan Shepard, America's first spaceman*, Crown Pub, 2004.
- T. WOLFE, *The Right Stuff*, Farrar, Straus, Giroux, 1979 (ed. it. *La stoffa giusta*, Sperling & Kupfer, 1981).
- T. WOLFE, *The right stuff – Illustrated*, Black Dog & Leventhal Publishers, New York, 2004.
- A. WORDEN, F. FRENCH, *Falling to Earth*, Smithsonian Books, Washington, DC, 2011.
- J. W. YOUNG, J. R. HANSEN, *Forever young. A life of adventure in air and space*, University Press of Florida, 2012.

Marco Orlandi, nato nel 1958, è laureato in Giurisprudenza e presta servizio come funzionario amministrativo presso l'INAF-Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna. Affascinato fin da piccolo dalle imprese spaziali dell'epoca d'oro dell'astronautica, non ha mai smesso di coltivare questa sua passione e dal 2007 ha collaborato a diverse attività divulgative dell'Osservatorio Astronomico di Bologna.

A proposito di Internet e di astronomia ...

Enzo Puliatti

O GGI le mie figlie di dieci e undici anni mi hanno mostrato, orgogliose, la splendida immagine della *Eagle Nebula's Pillars of Creation*, appena scaricata da Internet (FIG. 1). Incuriosito dalla bellezza dell'immagine, ho cercato di capirne di più e ho visto che si tratta di una delle più belle immagini riprese dal telescopio Hubble nel 1995 e poi nuovamente nel 2014 con maggiore risoluzione. L'immagine originale pesa 117 MB. Ho provato a scaricarla nuovamente e con il collegamento ADSL di casa abbiamo impiegato meno di 30 secondi. Mentre ero completamente affascinato dalla bellezza dell'immagine, quasi ipnotizzato, la memoria mi ha riportato indietro nel tempo e nello spazio. Proprio nel periodo in cui veniva lanciato il telescopio Hubble, nel 1990, io lavoravo con il Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo e da qualche anno il mio compito era quello di portare in America Latina Internet (acronimo di *Interconnected Networks*), allora ancora un privilegio ristretto a pochi ricercatori di paesi sviluppati.

Da poco tempo avevamo stabilito un nodo a Lima, in Perù. Era gestito da un gruppo ristretto di volontari legati a ONG e a università e centri di ricerca peruviani. Né il governo né le aziende del settore delle telecomunicazioni erano interessate alla cosa, anzi, nonostante oggi possa sembrare incredibile, cercavano di osteggiarla in ogni modo perché interferiva con i loro piani e con le tecnologie allora usate.

Il collegamento non era in tempo reale visto che il costo di una linea dedicata – circa 50.000 dollari al mese per un canale satellitare di 64 Kb – andava ben oltre la disponibilità finanziaria del nostro progetto. Avevamo stabilito un nodo in California che un paio di volte al giorno si collegava con i nodi dei diversi paesi, fra cui il Perù, utilizzando un modem di 14.400 Kb su linee telefoniche normali. Il sistema permetteva solo di scambiare delle mail e di potere accedere ad alcuni *database* e di scaricare *files* utilizzando dei *gateways* installati in diverse parti del mondo. In tal modo si poteva, per esempio, accedere al famoso *database* di riviste e articoli del National Health Institute di Bethesda. Una vera icona e risorsa insostituibile per i medici di tutto il mondo, ma fino a poco tempo prima accessibile solo a pochi privilegiati. Certo, si impiegavano a volte alcuni giorni per identificare e ottenere la pubblicazione di tuo interesse ma per tutti noi era davvero un salto quantico che ha permesso di salvare molte vite di pazienti che si trovavano in paesi in via di sviluppo.

Nonostante le limitazioni, il sistema funzionava a meraviglia, anche considerando che i tempi del



FIG. 1. "I pilastri della creazione", parte della Nebulosa dell'Aquila, una delle più spettacolari e famose immagini riprese dalla camera WFC-3 di Hubble Space Telescope. (<https://spacetelescope.org/news/heic1501/>)

Web, e quindi dell'Internet come la conosciamo noi oggi, erano ancora lontani. Il sistema era apprezzato soprattutto da ricercatori e studiosi che dovevano mantenere contatti con università e centri di ricerca che si trovavano nei paesi più sviluppati. Molti di loro rientravano nel paese di origine dopo avere fatto *stage* all'estero e si trovavano completamente tagliati fuori dal circuito virtuoso della rete che allora collegava soprattutto le università degli USA. Uno di questi era Ronald Woodman, uno scienziato peruviano allora direttore del radio osservatorio di Jicamarca, rientrato dopo avere ottenuto un dottorato ad Harvard.

Sin dalle prime riunioni, in cui cercavamo di raccogliere una "massa critica" di attori locali interessati a mettere in piedi un nodo locale per collegare il paese a Internet, Ronald aveva manifestato il suo interesse ed entusiasmo e l'istituto Geofisico del Perù, a cui apparteneva l'osservatorio di Jicamarca, fu una delle prime organizzazioni ad appoggiare il progetto che in Perù si sarebbe poi consolidato con la creazione della "Red Científica Peruana".

Un bel giorno gli utenti peruviani dell'Internet scoprirono che il sistema si era bloccato e il paese rimase isolato per tre giorni fino a trovarne la causa: uno degli utenti dell'osservatorio di Jicamarca aveva cercato di scaricare un'immagine di "ben" 8 MB



FIG. 2. Il computer IBM XT del 1983 (l'unità centrale è sprovvista di *hard disk*).

– quindici volte più piccola di quella dell'*Eagle Nebula* scaricata oggi dalle mie figlie trent'anni dopo – e il peso "eccessivo" dell'immagine aveva completamente "intasato" la rete. Il sistema riprese a funzionare solo dopo che uno dei nostri tecnici riuscì a cancellare il *file* permettendo quindi il normale flusso dei dati. Naturalmente il ricercatore dell'osservatorio che aveva causato il problema ricevette una solenne lavata di capo da parte di Ronald.

Oggi, epoca in cui possiamo scaricare immagini e filmati in alta definizione, decine e decine di Giga-byte anche dai nostri cellulari, non possiamo che sorridere ripensando a quell'incidente: bloccare i collegamenti di un intero paese per avere cercato di scaricare un'immagine di dimensioni inferiori a quelle di una foto fatta oggi dal nostro smartphone! Questo ci permette però di capire come la dimensione dell'Internet di trent'anni fa fosse diversa da quella che viviamo oggi.

Io ero un giovane funzionario dell'ONU assegnato all'ufficio di Brasilia, in Brasile, quando nel novembre del 1986 mi trovavo a New York per un corso di formazione e ci parlarono per la prima volta delle reti di computer che permettevano un'interazione fino ad allora sconosciuta.

Proprio qualche mese prima era appena arrivato con poco clamore nell'ufficio dell'ONU, più esattamente del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo, di Brasilia un computer IBM XT. Era lo stato dell'arte con i suoi 128 kB di memoria, un *floppy disk* e un'unità esterna, grande quanto lo stesso computer, che conteneva un *hard disk* da 10 MB (FIG. 2).

Il computer era per noi un elemento di grande innovazione ma era completamente isolato. Ci si poteva scambiare informazioni e caricare nuovi programmi solo usando un *floppy disk* da 160 kB o, usando entrambi i lati e girandolo manualmente, da 320 kB. Nel mio caso, il computer apparve un bel giorno in una stanza a lui dedicata, proprio di fronte al mio ufficio. Difficile considerarlo un *personal computer* visto che se ne stavo tutto solo in una stan-



FIG. 3. Hayes-Smartmodem-300; il modem Hayes da 300 baudios di velocità, introdotto nel 1981, costituì un importante sviluppo nella tecnologia dei modem.

za a lui dedicata. Una specie di tempio alla tecnologia che addirittura intimidiva i potenziali utenti.

Dopo il mio corso a New York tornai pieno di entusiasmo parlando a tutti del potenziale per lo sviluppo che avrebbe potuto avere la possibilità di collegarsi da zone remote del Brasile ai centri di eccellenza e alle più importanti biblioteche e *database* del mondo. Ciò avrebbe messo anche studenti e ricercatori brasiliani alla stessa stregua dei colleghi che avevano la fortuna di vivere e studiare in paesi sviluppati.

Dopo aver convinto i miei capi, la sfida era adesso trovare le risorse tecnologiche che ci avrebbero permesso di collegarci alla rete.

In un magazzino trovai un modem Hayes da 300 bauds, ovvero 0,3 kilobaud (FIG. 3). Dopo giorni e giorni spesi cercando di capire come dovesse essere configurato, riuscimmo a sentire il suono tipico dello *handshake*, ovvero della conferma dell'avvenuto collegamento fra il nostro modem e quello dell'azienda brasiliana di telecomunicazioni.

Eravamo ancora lontani dall'essere collegati all'Internet. Infatti, Internet rappresentava per noi ancora un sogno proibito: la rete era passata dalle mani del ministero della difesa americana, prima ARPA (Advanced Research Projects Agency), fondata nel 1958 in risposta al lancio della sonda sovietica Sputnik dell'anno precedente, con lo scopo di mantenere le capacità tecnologiche statunitensi, e poi DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency),¹ divenne finalmente ARPANET (Advanced Research Projects Agency NETWORK). Così, il 29 ottobre 1969, proprio 50 anni fa, Leonard Kleinrock, titolare del laboratorio dell'Università della California di Los Angeles, fu incaricato di creare il primo collegamento telefonico da computer a computer fra la UCLA e lo Stanford Research Institute, che furono così i primi due nodi di Internet: la prima applicazione che abbia mai funzionato su Internet fu una

¹ Cfr. www.darpa.mil/about-us/about-darpa; R. ALDERMAN, *ARPA, DARPA and Jason*, <http://mil-embedded.com/guest-blogs/arpa-darpa-and-jason/>.

sessione Telnet, ovvero un collegamento remoto emulando un terminale. Nel dicembre 1969, si aggiunsero alla connessione le università di Santa Barbara e dello Utah, rispettivamente il terzo e quarto nodo (FIG. 4).²

Era l'inizio di quella che sarebbe stata una grande sfida economica e politica, più che tecnologica: i computer non erano allora compatibili fra di loro e i collegamenti avvenivano quindi solo fra computer della stessa marca, creando delle vere e proprie isole.

Nel 1973, Robert Kahn, di ARPA e Vinton Cerf, della Stanford University, definirono il protocollo di controllo trasmissione (TCP, *Transmission Control Protocol*), standard indispensabile per la comunicazione tra reti di computer. Nel 1978, Cerf, Postel e Crocker hanno aggiunto un protocollo tra rete e rete (IP, *transmission Internet Protocol*), mettendo a punto il definitivo protocollo su cui ancor oggi opera Internet, il TCP/IP. Esisteva quindi la possibilità di collegare computer eterogenei, usando una rete e un sistema di trasporto "neutrale" basati su sistemi non proprietari. La soluzione dei problemi tecnici non venne accettata unanimemente: ogni grande azienda del tempo, da IBM a Digital, NEC e altre, aveva poco o nessun interesse a permettere di collegare i propri computer ad altri, ma voleva invece continuare a sfruttare l'architettura proprietaria del mercato e ciascuna, quindi, aveva la propria rete. Fra tutte, la maggiore concorrenza a Internet e al suo concetto di rete aperta era IBM con la sua rete BITNET, romantico acronimo di *Because It's Time Network*. BITNET era una rete di computer fondata da Ira Fuchs, che allora insegnava alla City University di New York, e da Greyton Freeman di Yale.

Inizialmente nata come una rete che collegava esclusivamente università americane, ebbe una certa espansione internazionale, limitata però dal fatto che era necessario avere una linea dedicata che collegasse il computer della propria università con quello più vicino. Oltre all'elevatissimo costo della linea, un eventuale problema nella rete ne interrompeva la funzionalità. Nonostante ciò, grazie al contributo di IBM, la rete si diffuse notevolmente sia negli USA che in altri paesi.

Ciascuna di queste reti lottava per avere il dominio e per essere considerata come la rete di maggior importanza. Naturalmente, l'impatto economico era notevole, visto che per potersi aggiungere alla stessa ci si doveva dotare di un costosissimo computer e di dispositivi di comunicazione proprietari, altrettanto costosi.

L'avvento dei "personal computer" e del sistema operativo UNIX sconvolsero lo scenario. Da un lato i prezzi dell'*hardware* scesero drammaticamente, dall'altro il sistema operativo UNIX, nato inizial-



FIG. 4. Cinquant'anni fa, il 29 ottobre del 1969, venne realizzato il primo collegamento tra i computer dell'Università della California, Los Angeles (UCLA), e lo Stanford Research Institute di Palo Alto. Nel dicembre vennero aggiunte l'Università della California, Santa Barbara (UCSB), e quella dello Utah: era nata la prima rete di computer ARPANET.

mente per i computer Digital PDP-7, grazie all'avvento del linguaggio di programmazione "C", permise di "compilare" il sistema operativo UNIX per "portarlo" su altre piattaforme, fra cui la piattaforma 286 dei PC compatibili di seconda generazione.

UNIX era stato inizialmente sviluppato da AT&T e veniva usato su diverse piattaforme molto eterogenee. Addirittura era il sistema operativo usato da una serie di centrali telefoniche. Non per altruisimo, ma per problemi legati alla sua posizione di monopolio, AT&T mise gratuitamente a disposizione del pubblico il codice sorgente del sistema operativo che divenne in pratica uno standard usato in tutte le università e i centri di ricerca, visto che permetteva di scambiare *software* e interagire con sistemi diversi.

UNIX includeva nativamente supporto per il protocollo TCP/IP che richiedeva un collegamento dedicato fra il computer e la rete, ma anche una soluzione per chi non si poteva permettere il lusso di investire grandi risorse in costosissime linee dedicate. Incorporava infatti il protocollo UUCP - *Unix to Unix CoPy* - che permetteva di replicare alcune delle funzioni avanzate anche utilizzando un modem e linee telefoniche.

Esisteva, quindi, la possibilità di arrivare alla stessa destinazione sia in "prima classe", ovvero usando soluzioni più sofisticate a costi certamente elevati che non tutti potevano permettersi, che in "seconda classe", usando invece soluzioni di basso costo che, anche se con certa difficoltà e qualche limitazione, permettevano di raggiungere lo stesso risultato. La seconda alternativa era disponibile e quasi matura quando io intrapresi il mio viaggio nel mondo delle reti, poco più di trent'anni fa.

² Per una storia della nascita di Internet, vedi: J. GILLIES, R. CAILLIAU, *Com'è nato il Web*, Milano, Baldini&Castoldi, 2002; e online: <https://storiadiinternet.wordpress.com/>.

Ecco quindi che la scoperta del modem Hayes 300, con il quale, in un paio di settimane, riuscii a configurare e collegare la rete brasiliana X.25, e l'incontro con un gruppo di "technology freaks" californiani – alcuni dei quali dei "geeks" che avevano raggiunto posizioni di alto livello allo Xerox Park prima di abbandonare la bella vita e l'ufficio con vista per cercare di cambiare il mondo usando la rete, portando in giro per il mondo pace e messaggi sull'ambiente – fecero il resto per cambiare la mia vita.

Mi resi conto presto che esistevano due diversi profili di "evangelisti" delle reti: quelli interessati solo dalla tecnologia, per cui le reti non erano altro che reti di computer, e quelli che invece vedevano nelle reti informatiche e nel loro sviluppo uno strumento che avrebbe permesso di creare reti di persone in carne e ossa con interessi comuni. Io senza dubbio facevo parte della seconda categoria.

Meno di due anni dopo mi trovavo a New York con la responsabilità, fra le altre cose, di gestire un piccolo progetto che aveva come obiettivo espandere Internet nei paesi in via di sviluppo. Naturalmente è difficile capire cosa ciò volesse dire per chi non ha vissuto quei tempi.

Eravamo ancora molto lontani dal www e le reti esistenti, come già detto, erano in competizione con Internet, sia le reti accademiche come BITNET, sponsorizzata da IBM, che quelle proprietarie come DECnet e altre, quelle "ufficiali" come X.25, sponsorizzate da Telecom e governi e che vedevamo ormai come dinosauri.

A quei tempi una linea dedicata, un canale IBS satellitare internazionale da 64 Kb poteva costare fino a 50.000\$ ed erano pochissime le organizzazioni che se lo potevano permettere, praticamente nessuna nei paesi in via di sviluppo.

Bisognava quindi trovare soluzioni creative, come il condividere una linea esistente, come successe in Ecuador, dove il proprietario del Banco del Pacifico, il cui figlio era stato salvato negli USA da un dottore che aveva usato la rete per ottenere informazioni su come curarlo, decise di lasciare utilizzare agli "attivisti" di Internet ecuadoriani la linea della banca – dall'Ecuador alla Florida – di notte, quando non c'era traffico.

In Bolivia l'intero paese condivideva un canale satellitare con l'ufficio dell'ONU, potendone usare tutti i 64 Kb quando il telefono non era occupato.

Oppure bisognava ricorrere ai "metodi di guerriglia" installando dei PC che utilizzavano il protocollo UUCP di Unix e dei modem Telebit per permettere di scambiare email con una certa efficienza anche su linee telefoniche internazionali di bassa qualità.

Naturalmente questo permetteva solo scambio di mail, ma anche così ci si arrangiava, mettendo in piedi gateways che permettevano addirittura l'accesso remoto a database, come quello ambizioso del National Health Institute di Bethesda: con tre o quattro email, nel giro di un paio di giorni, si poteva sperare di mettere le mani su un ambito articolo,

impossibile da ottenere in *hardcopy* in un paese in via di sviluppo.

Un bel successo!

Un bel giorno ricevetti la visita nel mio ufficio di Larry Landweber. Aveva sentito parlare del mio lavoro e mi chiamava "il Johnny Appleseed", ovvero "il Giovannino Semedimela" dell'Internet, perché anch'io andavo in giro per il mondo "seminando" Internet, così come Giovannino, un personaggio leggendario vissuto in America a cavallo tra Settecento e Ottocento faceva con le mele, spargendo semi di mele in giro per il paese.

Larry lavorava allora alla sua famosa *Internet Map*, la mappa dei computer collegati all'Internet disegnata a mano e aggiornata costantemente, ed era ansioso di aggiungere nuovi paesi: niente di meglio che attingere ai nuovi paesi emergenti, praticamente assenti dalla sua cartina.

Mi invitò a partecipare a INET91 a Copenaghen, dove io mi offrii di organizzare un evento dedicato ai paesi in via di sviluppo.

Fu allora che mi mise in contatto con Stefano Trumpy. Stefano era allora il direttore del CNUCE di Pisa, l'istituto del CNR che portò Internet in Italia, e seguiva anche un progetto finanziato dall'Italia e gestito dall'UNESCO che aveva come obiettivo portare Internet in Africa.

Furono tempi davvero eccitanti. Larry mi presentò al Gotha dell'Internet: Vint Cerf, Dave Farber e molti altri, così come a "mecenati" come Eric Benhamou, allora CEO di 3Com, e a molti altri.

Un bel giorno, qualche mese prima della riunione di Copenaghen, Larry venne nel mio ufficio con una busta con dentro 25.000\$ in contanti da usare per portare a INET91 i miei "ragazzi" dal sud e centroamerica.

Dovevo solo segnare le spese in un *block-notes* e tutto era fatto. Per un funzionario delle Nazioni Unite, abituato alla peggiore delle burocrazie per spendere anche un centesimo, quello era un vero sogno!

Ebbi anche vari incontri con Stefano e ci trovammo in grande sintonia, anche se lui, grazie alle risorse di un progetto di cooperazione con l'UNESCO poteva fare cose che per noi erano impossibili, come per esempio finanziare un *link* satellitare dedicato.

Io invece continuavo ad andare in giro per il mondo, spesso "contrabbandando" computer e modem Telebit Trailblazer, comprati usati all'ingrosso in grandi magazzini della Silicon Valley, ideali per i collegamenti UUCP su linee di bassa qualità, come quelle che dovevamo usare noi per i nostri collegamenti internazionali.

Senza altro una delle più grandi soddisfazioni fu "portare" Internet a Cuba nel '91. Andai con Ted Hope, un ragazzo nordamericano che abitava in Costa Rica e che collaborava attivamente con il nostro progetto.

Ci incontrammo quasi furtivamente a Miami per prendere un volo per l'Avana che non pensavamo che esistesse in pieno embargo, ma che invece era

proprio lì: un aereo di American Airlines che partiva alle 5 del mattino e volava all'Avana come un *charter* operato da un'agenzia di viaggi.

Noi eravamo lì, con i nostri modem Telebit e una *workstation* Sony in formato *laptop* da una decina di chili. Ancora più incredibile: tutto era stato ufficialmente dichiarato alle dogane americane senza problemi di sorta.

All'arrivo all'Avana ci fu un grande ricevimento organizzato dal CENIAI, un organo dell'Accademia delle Scienze Cubane, preposto alle comunicazioni.

Ted si mise immediatamente al lavoro. Trovammo un paio di computer IBM compatibili; Ted installò UNIX Interactive ed i nostri colleghi del CENIAI scoprirono che non era necessario scrivere un programma di mail da zero, come stavano già facendo, ma potevano utilizzare gli strumenti già disponibili su UNIX.

Dopo un paio di giorni, le mail scorrevano fluidamente (o quasi) grazie a un collegamento UUCP su una linea *dial-up*. Visto che non era possibile chiamare in teleselezione – senza operatore – dagli USA a Cuba, fummo costretti a usare un *server* che chiamava dal Canada un paio di volte al giorno, nel migliore dei casi, per trasferire tutte le mail in entrata ed uscita.

Nello stesso anno ci fu un altro interessante aneddoto che mostra quanto fossero difficili quei tempi. Dopo una delle mie missioni in Costa Rica, ricevetti una telefonata del rappresentante delle Nazioni Unite in quel paese, anche lui italiano. Mi chiese cosa avessi fatto nell'ultima missione; risposi che si trattava delle solite cose: riunioni con l'università e con diverse organizzazioni non governative per mettere in piedi la rete nel paese.

Lui mi disse di avere ricevuto una telefonata da parte del Ministro di Scienza e Tecnologia che gli aveva esplicitamente proibito di farmi tornare nel paese, visto che stavamo «cercando di portare nel loro paese delle strane e inutili tecnologie (si riferiva a Internet...)» che a loro non interessavano. In verità, avevano ricevuto da poco la donazione di un costoso quanto inutile mainframe IBM che volevano collegare a BITNET e l'idea che invece fosse possibile raggiungere lo stesso risultato con attrezzature che costavano solo una frazione del costo di mantenimento annuale del *mainframe* non andava loro davvero a genio...

INET91 fu un successo: parteciparono circa 80 persone da tutto il mondo e Stefano ed io portammo un gran numero di «agitatori» da America Latina e Africa che, dopo essere stati formati a dovere, tornarono nei loro paesi come veri e propri missionari, o meglio, *agit-prop*.

Visto il successo del lavoro fatto in occasione di INET91, si raccolsero ancora più fondi per la riunione INET92 prevista l'anno successivo a Kobe, in Giappone.

Stavolta non fu necessaria la busta con i soldi e il quaderno per annotare le spese, visto che George Sadowsky, della New York University, si offrì per la

gestione amministrativa del gruppo dei paesi in via di sviluppo.

INET92 fu anche l'opportunità per rendere ufficiale il lancio di ISOC, ovvero l'Internet Society, della quale Vint Cerf divenne il primo presidente. Una struttura informale che aveva però l'enorme responsabilità di accompagnare lo sviluppo di Internet in tutto il mondo, mantenendo un approccio "inclusivo" e dal basso; evitando che un paese o grandi gruppi se ne "appropriassero".

Sono passati molti anni da INET92. Da allora in poi lo sviluppo dell'Internet assunse una dimensione completamente diversa: era finita l'Internet dei pionieri e cominciava la crescita esponenziale dell'Internet commerciale che esplose effettivamente a partire dal '95, anche grazie all'apparizione e consolidamento del Web e a Mosaic, il primo browser che si potesse considerare tale prima dell'avvento di Netscape.

Lentamente, dal '93 in poi, tutti i grandi attori del settore delle telecomunicazioni cominciarono a fare la loro apparizione nel mondo dell'Internet. La prima fu sicuramente MCI che ebbe la lungimiranza di far rientrare Vint Cerf, che aveva lasciato l'azienda nel 1986, fra le sue file; a seguire UUNET, quello che potremmo considerare il primo ISP (*Internet Service Provider*) che si possa chiamare tale e che era rapidamente evoluto da fornitore "alternativo" di servizi UUCP completamente gratuiti, fino a diventare il più importante fornitore di servizi IP degli Stati Uniti, superando di gran lunga MCI e Sprint, prima di essere acquistata da WorldCom nel '96.

In quel periodo, io decisi di abbandonare quello che era stato il mio ruolo attivo nella crescita dell'Internet per dedicarmi, sempre come funzionario delle Nazioni Unite, a progetti legati alla *governance* e all'uso dell'ICT come strumento di sviluppo. Mantengo sempre forte nei miei ricordi la soddisfazione di avere aiutato paesi come Bolivia, Cuba, Nicaragua, Perù, Ecuador e molti altri a creare un nucleo di attivisti che riuscirono ad avere le conoscenze e gli strumenti necessari per creare l'embrione di quello che sarebbe poi stato Internet nei loro paesi, o di aver permesso a ONG e strutture accademiche di fare lo stesso in paesi più sviluppati, come Argentina, Colombia, Venezuela, Uruguay, Costa Rica ed altri.

Così fu permesso uno sviluppo della rete senz'altro molto più democratico di quello che avrebbero avuto, se questo fosse stato lasciato completamente in mano alle Telecom o ai governi.

Oggi Internet usa ancora gli stessi protocolli e la tecnologia di base pensata e ideata cinquant'anni fa, ma è sicuramente diversa dalla rete che abbiamo conosciuto nelle sue origini. La tecnologia è attualmente del tutto trasparente e si è semplificata drammaticamente per essere alla portata di tutti, permettendo quindi di avere oggi reti di persone, di cittadini. Reti che possono rapidamente creare o cambiare opinioni di milioni di cittadini e che in alcuni casi hanno fatto cadere governi, influenzato elezioni e creato movimenti di massa. È oggi uno

strumento di cui non possiamo fare a meno. Una “*utility*” alla stregua dell’energia elettrica o dell’acqua. Un elementare diritto umano per molti.

Io continuerò comunque a ricordare con certa nostalgia il giorno in cui un giovane astronomo peruviano cercò di scaricare una semplice immagine di pochi *megabyte* e un intero paese rimase staccato dall’Internet per tre lunghi giorni.

Pensando invece al nostro presente e al futuro vorrei però concludere citando una frase di Daisaku Ikeda:

Il fine essenziale della tecnologia dovrebbe essere quello di contribuire alla felicità umana. È una sventura terribile se, invece, i progressi tecnologici causano un deterioramento spirituale, spezzando i legami sociali e isolando le persone.

Enzo (Vincenzo) Puliatti è attualmente amministratore unico di ITSYN SRL, una PMI innovativa che si occupa di *blockchain* e DLTS (*Distributed Ledger Technologies*), e consigliere dell’Internet Society Italia – ISOC – responsabile per le relazioni internazionali e per l’innovazione.

Enzo è rientrato da pochi anni in Italia dopo aver vissuto per oltre 34 anni in giro per il mondo, metà dei quali come funzionario del Programma delle Nazioni Unite per lo Sviluppo. Nella seconda metà degli anni Ottanta e all’inizio dei Novanta è stato responsabile di progetti e attività legate alla diffusione di Internet nei paesi in via di sviluppo. (enzo.puliatti@isoc.it; epuliatti@itsyn.com)

Onde gravitazionali e teoria della relatività generale: una storia complessa

Roberto Lalli

Max Planck Institute for the History of Science, Berlin

L'11 FEBBRAIO 2016 sarà ricordato come un momento straordinario nello sviluppo scientifico. In varie conferenze stampa e in un articolo pubblicato su *Physical Review Letters*, la collaborazione LIGO-Virgo ha annunciato al mondo l'individuazione di onde gravitazionali emesse durante il processo di collisione di due buchi neri di massa pari rispettivamente a 36 e 29 masse solari e distanti più di un miliardo di anni luce dal nostro pianeta. Come affermato dai circa mille autori dell'articolo, l'effetto rivelato cinque mesi prima con la coppia d'interferometri LIGO è da ritenersi la prima osservazione diretta delle onde gravitazionali e, contemporaneamente, la conferma di un fenomeno fisico che fino a quel momento era stato solo ipotizzato in via teorica: il processo di fusione dei buchi neri.¹ Celebrata dalla stampa come la scoperta del secolo, l'osservazione delle onde gravitazionali è entrata nella coscienza collettiva come la conferma di una previsione compiuta da Einstein nel giugno 1916 all'interno della teoria della relatività generale da lui formulata pochi mesi prima.² Si è diffusa così la narrazione che la collaborazione LIGO-Virgo abbia finalmente confermato un effetto predetto da Einstein all'interno della sua teoria esattamente un secolo prima.³

Per gli storici della scienza questa ricostruzione è problematica per vari motivi, nonché basata su una visione distorta e miope del progresso scientifico. La relatività generale e la predizione delle onde gravitazionali sono usualmente interpretate come il prodotto di un genio isolato, mentre la teoria stessa è considerata un oggetto astorico che una volta messo al mondo è rimasto immutato. I cambiamenti successivi sono di solito attribuiti o agli sviluppi tecnologici che hanno permesso di confermare le previsioni della teoria, o ai miglioramenti nella capacità di calcolo e nello sviluppo di metodi di approssimazione che hanno portato a previsioni empiriche sempre più precise. Il nucleo concettuale del-

la teoria, così come gli oggetti fisici da essa predetti, sono ritenuti, invece, sostanzialmente stabili. In un recente articolo pubblicato su *Nature Astronomy*, Alexander Blum, Jürgen Renn ed io ci siamo proposti di contrastare questa immagine, diffusa quanto distorta, del progresso teorico: le teorie hanno una loro storia, e il loro sviluppo è talmente complesso da necessitare un'analisi approfondita per essere compreso appieno.⁴ L'evoluzione della ricerca teorica sulle onde gravitazionali, trattate più in dettaglio dallo storico della scienza Daniel Kennefick, è una dimostrazione esemplare dell'estrema complessità e ricchezza della storia delle teorie scientifiche.⁵

Le fasi storiche della teoria della relatività generale

La storia della ricerca teorica sulle onde gravitazionali deve essere intesa nell'ambito dell'evoluzione della ricerca sulla relatività generale. Tale sviluppo può essere diviso in quattro fasi storiche. Una prima fase, denominata 'genesì' della teoria, comprende il periodo che va dalla prima formulazione di Einstein del *principio di equivalenza*, nel 1907, fino al 25 novembre 1915, quando Einstein invia al giornale dell'Accademia prussiana delle scienze il testo con la formulazione definitiva delle equazioni di campo della relatività generale.⁶ Segue una fase di sviluppo e diffusione della teoria (gli 'anni formativi'), caratterizzata, tra le altre cose, dalla nascita della cosmologia relativista nel 1917 e dalle prime applicazioni della teoria in ambito astronomico.⁷ L'annuncio della conferma di una delle poche predizioni empiriche della teoria da parte di Arthur S. Eddington e altri eminenti astronomi inglesi nel novembre 1919 contribuì enormemente al diffondersi della teoria nei

¹ B. P. ABBOTT *et al.*, LIGO SCIENTIFIC COLLABORATION e VIRGO COLLABORATION, *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, «Physical Review Letters», 2016, 116, p. 061102.

² *Gravitational Waves: From Discovery Of The Year To Science Of The Century*, www.forbes.com/sites/startswithabang/2016/12/27/gravitational-waves-from-discovery-of-the-year-to-science-of-the-century/#590a3e175087 (24. 8. 2017).

³ A. EINSTEIN, *Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation*, «Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften», 1916, pp. 688-696.

⁴ A. BLUM, R. LALLI, J. RENN, *Gravitational waves and the long relativity revolution*, «Nature Astronomy», 2018, 2, pp. 534-543.

⁵ D. KENNEFICK, *Traveling at the speed of thought: Einstein and the quest for gravitational waves*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 2007.

⁶ Cfr. J. RENN (a cura di), *The Genesis of General Relativity* (4 volumi). Springer Netherlands, 2007. Vedi anche il fascicolo monografico del «Giornale di Astronomia» (42 (4), 2016) "Cento anni di relatività generale. Storie su spazio, tempo, universo", a cura di M. REALDI.

⁷ Cfr. H. GUTFREUND, J. RENN, *The Formative Years of Relativity: The History and Meaning of Einstein's Princeton Lectures*, Princeton, Princeton University Press, 2017.

circoli scientifici e non, e rese Einstein l'icona vivente del genio scientifico.⁸ Durante gli anni '20 e '30, l'enorme fama raggiunta dalla teoria e dal suo autore ebbe anche conseguenze negative nella vita dello stesso Einstein a causa del deteriorarsi del clima politico in Germania. Qui Einstein diventerà l'oggetto principale degli attacchi di fisici nazionalisti, fautori di un approccio empirico-induttivo in contrasto con gli sviluppi della fisica teorica moderna che fu da questi dichiarata estranea alla cultura tedesca o, più specificamente, 'ebraica' in senso dispregiativo.⁹

A tale periodo dinamico e creativo, durante il quale la teoria fu centrale nelle discussioni scientifiche e filosofiche sulle implicazioni dei recenti sviluppi in fisica, seguì una fase di stagnazione a iniziare dalla metà degli anni '20. Descritto come la 'bassa marea della relatività' dallo storico della fisica Jean Eisenstaedt, questo periodo durò circa trent'anni, fino a quando, intorno alla metà degli anni '50, la teoria iniziò gradualmente a tornare al centro degli interessi dei fisici teorici.¹⁰ Come affermato dal fisico Clifford Will, la teoria passò dall'essere un oggetto di studio formalistico e sterile al diventare, durante gli anni '60, «uno dei settori più attivi ed eccitanti della fisica teorica». Secondo Will, questo processo di trasformazione fu così profondo e straordinario da meritare il titolo di 'rinascita della relatività generale.'¹¹

Mentre c'è un diffuso consenso tra fisici e storici della fisica moderna che le espressioni 'bassa marea' e 'rinascita' della relatività generale catturino in maniera adeguata il processo di trasformazione della teoria tra la metà degli anni '20 e la fine degli anni '60, necessitiamo di alcuni approfondimenti per comprendere appieno i meccanismi di questo sviluppo storico.¹² Questo è l'oggetto di un progetto di ricerca che stiamo portando avanti da alcuni anni e che non è rilevante solo per definire in maniera più dettagliata i passaggi storici principali nello svilup-

po della teoria della relatività generale, ma, a nostro avviso, ha delle conseguenze profonde sulla comprensione dell'evoluzione delle conoscenze teoriche, specialmente nei casi in cui una teoria contenga un bagaglio di nozioni e previsioni empiriche radicalmente diverso dalla teoria precedente, come nel caso della relatività generale rispetto alla teoria di Newton.

Altri studiosi hanno ritenuto che la fase cosiddetta della 'rinascita' della relatività generale possa essere considerata un semplice effetto collaterale di cambiamenti più generali e profondi nel mondo della fisica. Per alcuni, l'aumento generale nel numero dei fisici teorici nel secondo dopoguerra è sufficiente per spiegare il fenomeno di rinascita di una teoria che era stata fino ad allora marginale.¹³ Altri vedono nella crescita dei fondi per la fisica e nell'interesse di alcuni eccentrici uomini d'affari verso il possibile sviluppo di tecnologie anti-gravitazionali il motore principale di tale processo, specialmente negli Stati Uniti.¹⁴ Altri ancora si focalizzano sugli sviluppi tecnologici che permisero nuovi esperimenti in grado di testare la teoria con livelli di accuratezza prima inimmaginabili. In particolare, gli sviluppi della radioastronomia furono alla base delle scoperte accidentali dei quasar nel 1963, della radiazione cosmica di fondo nel 1964-65 e delle pulsar nel 1967.¹⁵ Queste scoperte nel campo astrofisico sono spesso interpretate come gli eventi che hanno completamente trasformato lo status della relatività generale da una curiosità matematica a una teoria rilevante per spiegare fenomeni fisici altrimenti non interpretabili. Noi ovviamente consideriamo valide tutte queste interpretazioni, ma crediamo anche che non riescano, né singolarmente né nel loro complesso, a caratterizzare completamente il processo di rinascita della teoria. Per noi, un elemento essenziale di questo processo fu la radicale riconfigurazione concettuale della teoria, che costituì un cambiamento profondo nel modo in cui la teoria era interpretata e che avvenne tra la metà degli anni '50 e i primissimi anni '60 e quindi prima della scoperta dei quasar. Tale processo di riorganizzazione della conoscenza teorica si svolse attraverso fasi precise, passibili di analisi storica.

La riorganizzazione della conoscenza in relatività generale, 1955-1962

Per comprendere questo cambio profondo nello status della teoria è necessario identificare gli ele-

⁸ Cfr. A. SPONSEL, *Constructing a 'revolution in science': the campaign to promote a favourable reception for the 1919 solar eclipse experiments*, «The British Journal for the History of Science», 2002, 35, pp. 439-467.

⁹ Cfr. M. WAZECK, *Einstein's opponents: the public controversy about the theory of relativity in the 1920s*, Cambridge, Cambridge University Press, 2014; cfr. K. HENTSCHEL, A. HENTSCHEL, *Physics and national socialism: an anthology of primary sources*, Boston, Birkhäuser Verlag, 1996; D. E. ROWE, *Einstein and Relativity: What Price Fame?*, «Science in Context», 2012, 25, pp. 197-246.

¹⁰ Cfr. J. EISENSTAEDT, *La relativité générale à l'étiage: 1925-1955*, «Archive for History of Exact Sciences», 1986, 35, pp. 115-185; Cfr. J. EISENSTAEDT, *The Low Water Mark of General Relativity, 1925-1955*, in *Einstein and the History of General Relativity*, a cura di D. Howard, J. Stachel. Boston, Birkhäuser, 1989, pp. 1-277.

¹¹ Cfr. C. M. WILL, *The renaissance of general relativity*. in *The New Physics*, a cura di P. Davies. Cambridge, Cambridge University Press, 1989, pp. 7-33 [traduzione dell'autore].

¹² Cfr. D. KAISER, *A ψ is just a ψ ? Pedagogy, Practice, and the Reconstitution of General Relativity, 1942-1975*, «Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics», 1998, 29, pp. 321-338; cfr. H. KRAGH, *Quantum generations: a history of physics in the twentieth century*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 1999; cfr. D. KENNEFICK, *Traveling at the speed of thought: Einstein and the quest for gravitational waves*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 2007.

¹³ Cfr. H. GOENNER, *A golden age of general relativity? Some remarks on the history of general relativity*, «General Relativity and Gravitation», 2017, 49, p. 42.

¹⁴ Cfr. D. KAISER, D. RICKLES, *The Price of Gravity: Private Patronage and the Transformation of Gravitational Physics after World War II*, «Historical Studies in the Natural Sciences», 2018, 48, pp. 338-379.

¹⁵ Cfr. C. M. WILL, *Was Einstein right?: putting general relativity to the test*, New York, Basic Books, 1986.

menti che caratterizzarono la ricerca sulla teoria della relatività generale tra la metà degli anni '20 e la metà degli anni '50, il periodo detto della 'bassa marea'. Come evidenziato da vari studiosi, uno dei problemi maggiori fu che la teoria era tanto complessa e laboriosa dal punto di vista matematico, quanto sterile dal punto di vista delle previsioni empiriche, specialmente se comparata con gli sviluppi della meccanica quantistica che, sin dalla metà degli anni '20, prometteva una miriade di applicazioni nel campo della fisica atomica e dello stato solido. Era, infatti, convinzione condivisa che la teoria di Einstein potesse portare solo a correzioni minime in ambito astronomico rispetto alle previsioni newtoniane. Di conseguenza, è comprensibile che la maggioranza dei fisici teorici non abbia inserito la relatività generale all'interno dei propri programmi di ricerca, lasciando gli studi in tale campo ai matematici o ai pochi fisici teorici con un'accurata conoscenza del calcolo tensoriale.

Per quanto sostanzialmente veritiera, questa caratterizzazione del periodo della 'bassa marea' manca, comunque, di un elemento essenziale che emerge con un'analisi più approfondita dell'insieme di ricerche che avevano per oggetto la relatività generale. Durante la fase della 'bassa marea', questo insieme fu caratterizzato da una profonda dispersione, sia sociale sia concettuale. Quei pochi che s'interessarono alla teoria lo fecero con obiettivi alquanto diversi. I programmi di ricerca principali avevano l'intenzione dichiarata di sostituire la teoria con una più generale: o una teoria unificata della gravitazione e dell'elettromagnetismo o una quantizzazione delle equazioni di campo di Einstein. Un terzo programma di studi riguardava le applicazioni della teoria alla ricerca dei modelli cosmologici, mentre un'altra tradizione, puramente matematica, si concentrava sugli sviluppi della geometria differenziale e delle equazioni differenziali alle derivate parziali. Tra i diversi programmi di ricerca ci furono contatti scarsi e discontinui. In questa situazione, le previsioni estreme della teoria, ossia quelle la cui interpretazione fisica non poteva essere estrapolata direttamente dalla fisica newtoniana, come nel caso delle onde gravitazionali e delle singolarità spazio-temporali, non divennero un tema di studio centrale. Vi era verso queste, infatti, un profondo scetticismo, perché la teoria era ritenuta parziale e incompleta ed era presa in considerazione soprattutto come una base concettualmente solida per la formulazione di una teoria più generale. La ricerca su queste previsioni estreme della teoria fu minima, discontinua, caratterizzata da profonde controversie interpretative, e non si

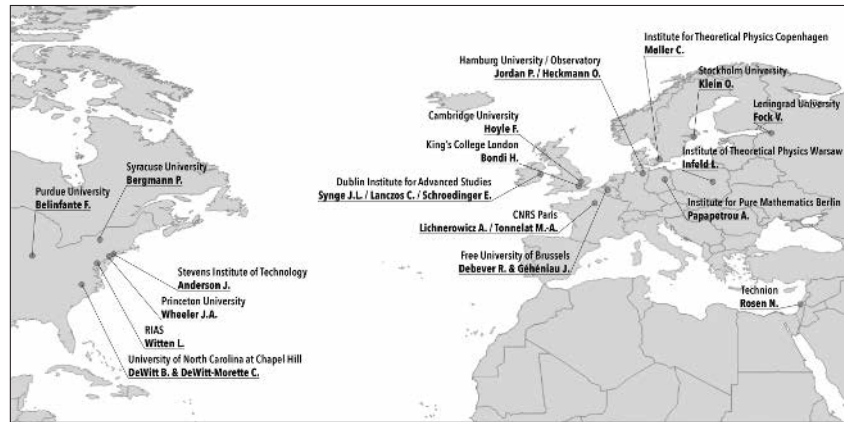


FIG. 1. CENTRI DI RICERCA SULLA RELATIVITÀ GENERALE ATTIVI NEL 1955 NEGLI STATI UNITI E IN EUROPA.

Sotto i nomi delle istituzioni sono indicati i nomi degli scienziati leader dei progetti collegati alla relatività generale. (Florian Kräutli e Roberto Lalli)

riuscì a produrre nessuna visione condivisa su come affrontare tali temi per tutto il periodo che va dalla metà degli anni '20 agli anni '50.¹⁶

Questa situazione di profonda dispersione sociale ed epistemica dei diversi programmi di ricerca collegati alla teoria della gravitazione di Einstein costituiva comunque un potenziale che fu attivato dalle trasformazioni sociali ed economiche successive alla seconda guerra mondiale, quando la fisica divenne un ramo di ricerca essenziale per la sicurezza e il benessere delle nazioni. Nel 1955, il panorama della ricerca sulla relatività generale era costituito da piccoli centri di ricerca ognuno dedito a un proprio programma specifico, dove per centro di ricerca ci si riferisce a un'istituzione scientifica avente almeno uno scienziato attivamente interessato alla teoria della gravitazione in pianta sufficientemente stabile da avere dottorandi e post-dottorandi impegnati su temi collegati alla relatività generale (vedi FIG. 1). La crescita generale del numero di dottorandi in fisica teorica sin dalla fine degli anni '40 ebbe un impatto anche su questo campo di ricerca ancora minoritario.¹⁷ Parimenti rilevante fu il consolidamento della tradizione di compiere una lunga formazione post-dottorale in istituzioni diverse. Fin dalla metà degli anni '50 questa modifica della formazione scientifica comportò che centri di ricerca prima isolati iniziarono a essere collegati da giovani ricercatori che con la loro mobilità trasportavano metodi, domande di ricerca, strumenti teorici da un centro all'altro colle-

¹⁶ A. BLUM, R. LALLI, J. RENN, *The Reinvention of General Relativity: A Historiographical Framework for Assessing One Hundred Years of Curved Space-time*, «Isis», 2015, 106, pp. 598-620; A. S. BLUM, R. LALLI, J. RENN, *The renaissance of General Relativity: How and why it happened*, «Annalen der Physik», 2016, 528, pp. 344-349; A. BLUM, D. GIULINI, R. LALLI, J. RENN, *Editorial introduction to the special issue "The Renaissance of Einstein's Theory of Gravitation"*, «The European Physical Journal H», 2017, 42, pp. 95-105.

¹⁷ Cfr. D. KAISER, *Booms, Busts, and the World of Ideas: Enrollment Pressures and the Challenge of Specialization*, «Osiris», 2012, 27, pp. 276-302.

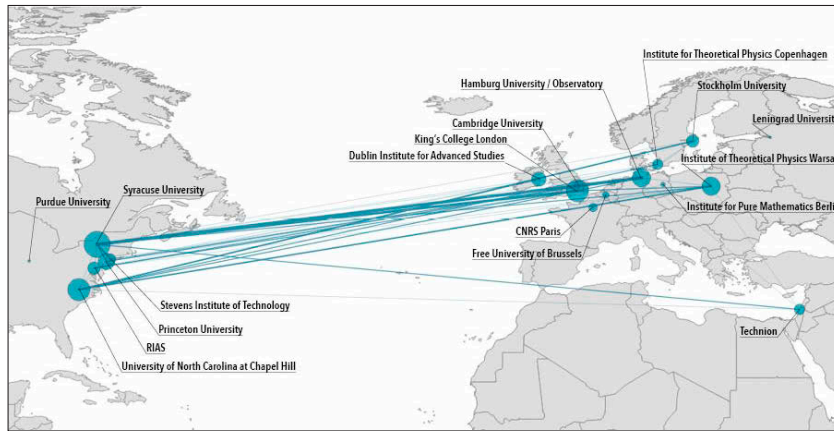


FIG. 2. NETWORK DEI CENTRI DI RICERCA TRA IL 1955 E IL 1962

Due centri di ricerca sono collegati tra loro se almeno uno scienziato attivo nel campo della relatività generale è stato in entrambi i centri tra il 1955 e il 1962. Lo spessore della connessione è proporzionale al numero degli scienziati condivisi in quel periodo (da un minimo di uno al massimo di sei). La grandezza dei nodi è proporzionale al numero di centri di ricerca cui ogni centro di ricerca è collegato. Dall'analisi sono stati esclusi i centri creati tra il 1956 e il 1962, in modo da mostrare unicamente il crescere delle connessioni tra i centri già esistenti nel 1955. (Florian Kräutli e Roberto Lalli)

gando, in questo modo, i vari programmi di ricerca.¹⁸ La FIG. 2 mostra l'importanza di questa dinamica di creazione di contatti dovuta principalmente allo scambio di giovani ricercatori tra il 1955 e il 1962. Da una situazione d'isolamento generale si andò via via formando un unico *network* di centri dediti a ricerche sulla relatività generale collegati tra loro.

Prima ancora che tale modifica della mobilità accademica potesse dare i suoi frutti per gli sviluppi della relatività generale, un'altra dinamica sociale modificò in maniera profonda la composizione del *network* di esperti interessati alla relatività generale: l'organizzazione delle prime conferenze internazionali dedicate esclusivamente alle teorie relativistiche della gravitazione. Mentre durante il periodo della 'bassa marea' non ci fu alcun tentativo per organizzare incontri internazionali che avessero come oggetto principale la relatività generale o temi a essa correlati, dalla metà degli anni '50 cominciò a formarsi una comunità di 'relativisti', solita radunarsi in simposi internazionali.¹⁹

Il primo di questi eventi fu la conferenza di Berna organizzata dal professore ordinario di fisica teorica all'Università di Berna, André Mercier, nel 1955. Nata da dinamiche puramente locali, legate al desiderio di celebrare il cinquantenario della relatività ristretta nella città nella quale Einstein la formulò nel 1905, la conferenza di Berna divenne la prima occasione d'incontro per gli studiosi che stavano eseguendo ricerche specifiche sulla relatività

tà generale.²⁰ La conferenza si rivelò un catalizzatore in grado di attivare connessioni, sia sociali sia concettuali, tra i vari gruppi di ricerca. I presenti poterono constatare che il campo era molto più attivo di quanto immaginassero.²¹ Inoltre, ci si rese conto che importanti sviluppi erano stati compiuti e che questi erano rilevanti per tutti i diversi programmi di ricerca, fossero essi dediti alla ricerca di modelli cosmologici o al tentativo di formulare una teoria unificata della gravitazione ed elettromagnetismo o, ancora, agli studi verso una teoria quantistica della gravitazione. In particolar modo, i progressi presentati dal matematico francese André Lichnerowicz e dalla sua ex-dottoranda Ivonne Bruhat sul problema di Cauchy per le equazioni di Einstein furono

immediatamente e universalmente identificati come risultati di massimo rilievo.²²

Il successo della conferenza fece emergere il desiderio di continuare con questo tipo di adunanze. Importanti conferenze internazionali furono organizzate a Chapel Hill, in Carolina del Nord, nel 1957, e a Royaumont, nei pressi di Parigi, nel 1959. Durante quest'ultima conferenza un gruppo di esperti decise di auto-organizzarsi in una commissione internazionale che avesse l'obiettivo di promuovere la teoria della relatività generale e dei vari approcci alla teoria della gravitazione, impegnandosi, tra le altre cose, nell'organizzazione di conferenze internazionali ogni tre anni.²³

Le dinamiche sociali sopra descritte (ossia la crescita del numero di scienziati, un progressivo aumento dei punti di contatto dovuti alle conferenze e allo scambio di ricercatori da un centro all'altro e l'istituzionalizzazione delle attività di costruzione di una comunità internazionale di scienziati interessati alla relatività generale) ebbero un notevole impatto a livello concettuale su come la relatività generale fu reinterpretata da questo gruppo emergente di scienziati. Tra la metà degli anni '50, quan-

²⁰ A. MERCIER, M. KERVAIRE, *Fünfzig Jahre Relativitätstheorie: Bern 11.-16. July 1955: Verhandlungen; Cinquantenaire de la théorie de la relativité: actes; Jubilee of relativity theory: proceedings*, Basel, Birkhäuser, 1956.

²¹ P. G. BERGMANN, *Fifty Years of Relativity*, «Science», 1956, 123, pp. 486-494; W. H. MCCREA, *Jubilee of Relativity Theory: Conference at Berne*, «Nature», 1955, 176, p. 330.

²² A. LICHNEROWICZ, *Théories relativistes de la gravitation et de l'électromagnétisme; relativité générale et théories unitaires*, Paris, Masson, 1955; Y. FOURÈS-BRUHAT, *Théorème d'existence pour certains systèmes d'équations aux dérivées partielles non linéaires*, «Acta Mathematica», 1952, 88, pp. 141-225.

²³ R. LALLI, *Building the General Relativity and Gravitation Community During the Cold War*, Cham, Springer International Publishing, 2017.

¹⁸ Cfr. D. KAISER, *Drawing theories apart: the dispersion of Feynman diagrams in postwar physics*, Chicago, University of Chicago Press, 2005.

¹⁹ R. LALLI, *Building the General Relativity and Gravitation Community During the Cold War*, Cham, Springer International Publishing, 2017.

do gli scienziati iniziarono a incontrarsi nelle conferenze internazionali, e i primi anni '60, ci fu una vera e propria riorganizzazione della conoscenza concernente la relatività generale che può essere divisa in tre fasi. Durante una fase iniziale, immediatamente successiva alla conferenza di Berna, molti fisici attuarono una svolta che potremmo definire conservativa. Ci si rese conto che, prima di poter perseguire con successo programmi di ricerca volti al superamento della teoria di Einstein, era necessario comprendere meglio la relatività generale classica e le sue implicazioni fisiche. La seconda fase di questa riorganizzazione della conoscenza fu caratterizzata dall'emergere di molti approcci diversi, intesi a sviluppare concetti propriamente relativistici che non si basassero su teorie precedenti, quali la teoria elettromagnetica di Maxwell o la teoria gravitazionale di Newton, come una stampella concettuale per l'interpretazione delle predizioni fisiche della teoria di Einstein. La terza fase fu l'istituzionalizzazione della relatività generale attraverso la fondazione della *International Committee on General Relativity and Gravitation* nel 1959. La commissione divenne, infatti, un fattore stabilizzante per la nascita di un nuovo campo di ricerca che da allora in poi fu chiamato 'relatività generale e gravitazione', o GRG in breve. Nei paragrafi successivi mostrerò come lo sviluppo teorico della ricerca sulle onde gravitazionali fino all'inizio degli anni '60 sia un esempio molto calzante delle dinamiche generali sopra descritte.

Le onde gravitazionali negli 'anni formativi' della relatività generale

Einstein non fu certamente il primo a proporre l'idea che l'azione della gravità si propaghi attraverso lo spazio con una velocità finita. Gli sviluppi della teoria elettrodinamica di Maxwell-Lorentz, tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, implicavano una modifica della legge della gravitazione, in modo da renderla compatibile con il principio di relatività dei sistemi elettrodinamici. Il matematico, filosofo e fisico francese Henri Poincaré introdusse già nel 1905 il concetto di onda gravitazionale (*onde gravifique*) all'interno della teoria elettrodinamica che lui stava sviluppando.²⁴ Nel 1912, il fisico teorico tedesco di origine ebraica Max Abraham discusse le onde gravitazionali nell'ambito della teoria relativistica della gravitazione che egli stava sviluppando in dichiarata opposizione alle contemporanee ricerche di Einstein. In questa discussione, Abraham dimostrò che le onde gravitazionali dovevano essere necessariamente diverse da quelle elettromagnetiche. Egli provò, con un ragionamento sostanzialmente corretto, che la radiazione di dipolo non potesse esiste-

²⁴ H. POINCARÉ, *Sur la dynamique de l'électron*, «Comptes Rendus», 1905, 140, pp. 1504-1508.

re nel caso gravitazionale, mentre questa contiene la maggior quantità di energia nel caso elettromagnetico. Dall'analogia con la radiazione elettromagnetica, Abraham concluse, in maniera erronea, che le onde gravitazionali non potessero esistere.²⁵

Negli articoli del novembre 1915 in cui Einstein sviluppò la teoria della relatività generale, il fenomeno delle onde gravitazionali non fu trattato. Il primo a esplorare la radiazione gravitazionale all'interno della teoria di Einstein fu l'astronomo tedesco Karl Schwarzschild all'inizio del 1916. Dopo aver sviluppato la prima soluzione esatta non triviale delle equazioni di Einstein nel vuoto, Schwarzschild si convinse di aver dimostrato che le onde gravitazionali non potessero esistere, conclusione che inizialmente trovò d'accordo lo stesso Einstein. Schwarzschild morì pochi mesi dopo per una rara malattia della pelle contratta in trincea. Einstein, comunque, continuò a riflettere sul problema in uno scambio epistolare con l'astronomo olandese Willem de Sitter, il quale suggerì di utilizzare un sistema di coordinate differente da quello prima utilizzato sia da Einstein, sia da Schwarzschild. Seguendo il suggerimento di de Sitter, nel giugno 1916 Einstein predisse le onde gravitazionali come soluzione di un'approssimazione lineare delle sue equazioni di campo.²⁶ L'articolo conteneva un errore che fu corretto solo nel 1918, quando Einstein pubblicò la famosa formula del momento di quadrupolo per l'emissione delle onde gravitazionali.²⁷ Tale articolo, da un lato confermò la predizione di onde gravitazionali trasverse viaggianti alla velocità della luce, dall'altro dimostrò anche che la loro intensità fosse estremamente bassa, impossibile da osservare con le tecnologie allora disponibili o anche solo immaginabili a quei tempi.

Nei suoi articoli del 1916 e 1918, Einstein utilizzò un'approssimazione lineare, il che semplificava le equazioni di Einstein non-lineari, in modo da renderle simili alle equazioni di Maxwell. Fino alla metà degli anni '20 le onde gravitazionali furono discusse da altri scienziati, incluso Eddington. In generale vennero confermati i risultati di Einstein, ma rimase un problema aperto e controverso quanto le soluzioni di un'approssimazione lineare delle equazioni di campo potessero essere ritenute con certezza previsioni fisiche della teoria completa.²⁸ Tale approssimazione era, infatti, basata sull'assunzione che il campo gravitazionale sorgente fosse de-

²⁵ Cfr. J. RENN, *The Summit Almost Scaled: Max Abraham as a Pioneer of a Relativistic Theory of Gravitation*, in *The Genesis of General Relativity*, a cura di M. Janssen, J. D. Norton, J. Renn, T. Sauer, J. Stachel. Dordrecht, Springer Netherlands, 2007, pp. 1229-1255.

²⁶ A. EINSTEIN, *Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation*, «Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften», 1916, pp. 688-696.

²⁷ A. EINSTEIN, *Über Gravitationswellen*, «Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften», 1918, pp. 154-167.

²⁸ Cfr. D. KENNEFICK, *Traveling at the speed of thought: Einstein and the quest for gravitational waves*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 2007.

bole e la soluzione descriveva onde che si propagavano in uno spazio-tempo piano. Non era quindi per nulla certo che tali soluzioni fossero significative dal punto di vista fisico, dato che nella teoria di Einstein lo stesso spazio-tempo è dinamico, il che rende complesso anche solo definire in maniera precisa rispetto a cosa le onde viaggino. Inoltre, non esisteva una definizione disambigua di energia trasportata dalla radiazione gravitazionale che permettesse di essere certi che tale energia interagisse in una maniera misurabile, e quindi osservabile, con altre forme di energia.²⁹ Questi problemi non avevano nulla a che vedere con il fatto che l'effetto fosse troppo piccolo da poter essere osservato, ma riguardavano i fondamenti stessi della teoria.

La ricerca teorica sulla radiazione gravitazionale durante il periodo della 'bassa marea'

Come descritto in precedenza, nei decenni successivi, molti degli scienziati che lavorarono alla teoria lo fecero con l'intenzione di trovare una teoria superiore e più generale, incluso Einstein stesso che dedicò alla ricerca di una teoria unificata della gravitazione e dell'elettromagnetismo la maggior parte dei suoi sforzi dalla seconda metà degli anni '20 fino alla sua morte nel 1955.³⁰ È in questo quadro generale che bisogna leggere gli sviluppi successivi della ricerca teorica sulle onde gravitazionali. Nella metà degli anni '30 Einstein cercò di capire, con il suo assistente Nathan Rosen, se le onde gravitazionali piane fossero soluzioni esatte delle equazioni non-lineari della relatività generale. Einstein riteneva che una possibile risposta negativa a questa domanda potesse essere rilevante per indirizzarlo correttamente nella sua ricerca di un'equazione unificata dei campi elettromagnetico e gravitazionale. Nel 1935, Einstein e Rosen si convinsero di aver dimostrato che onde gravitazionali piane non fossero possibili come soluzioni esatte della relatività generale.

Einstein e Rosen inviarono l'articolo con questo risultato a *The Physical Review* e l'editore del giornale, John T. Tate, decise di consultare il fisico matematico ed esperto in cosmologia relativista Howard P. Robertson per un parere preventivo. Robertson trovò un errore nell'argomentazione e inviò un report molto dettagliato, spiegando perché l'articolo non potesse assolutamente considerarsi una confutazione dell'esistenza di onde gravitazionali piane come soluzioni esatte della relatività generale. Quando Einstein aveva inviato l'articolo a *The Physical Review* non aveva alcuna idea che questo sarebbe

stato mostrato a esperti per una valutazione prima della pubblicazione. Il sistema di *peer-review*, che noi oggi diamo per scontato, non esisteva ancora al tempo. Le pratiche di referaggio seguite dai periodici scientifici dipendevano da tradizioni nazionali e dalle scelte dei singoli editori. In Germania, molti editori di giornali di fisica erano usi pubblicare gli articoli loro inviati senza richiedere un giudizio da esperti terzi. Prima del 1935, nessun articolo di Einstein era mai stato sottoposto a una valutazione precedente la pubblicazione e la reazione di Einstein a questa novità fu molto negativa. Si rifiutò di leggere il report anonimo del referee e non inviò mai più articoli originali a *The Physical Review*. Robertson, comunque, faceva parte della piccola cerchia di fisici e matematici che lavoravano alla relatività generale negli Stati Uniti, per cui riuscì a discutere indipendentemente il proprio punto di vista sia con Einstein sia con il nuovo assistente di Einstein, Leopold Infeld. Dopo queste discussioni, il problema identificato da Robertson (ossia il fatto che Einstein e Rosen avessero trattato singolarità dovute solamente alla scelta delle coordinate come singolarità reali) fu infine accettato anche da Einstein prima della pubblicazione dell'articolo in un periodico differente.³¹ Pubblicato nel 1936, l'articolo conteneva ora una conclusione totalmente diversa: le onde gravitazionali cilindriche sono soluzioni esatte della teoria.³² Dopo questo episodio Einstein non pubblicò più nulla sulle onde gravitazionali. Il motivo centrale è che in quegli anni Einstein non era particolarmente interessato a quelle predizioni empiriche della relatività generale che non erano testabili, almeno non nell'immediato futuro. Questo è comprensibile dato che vedeva la teoria come provvisoria e parziale.

A parte questo episodio, il problema delle onde gravitazionali rimase del tutto marginale agli interessi dei fisici e dei matematici durante tutto il periodo della 'bassa marea'. Non ci furono tentativi di fornire una definizione disambigua, nel senso di invariante rispetto alla scelta delle coordinate, della radiazione gravitazionale. Per tutto questo periodo, il problema di come distinguere effetti dovuti alla scelta delle coordinate da predizioni fisiche della teoria rimase un impedimento irrisolto per la comprensione delle onde gravitazionali, così come per lo studio della soluzione di Schwarzschild e, più in generale, delle singolarità spazio-temporali.

Si diffuse un forte scetticismo, specialmente tra i collaboratori più stretti di Albert Einstein, come Infeld e Rosen, sul fatto che le onde gravitazionali fossero davvero in grado di trasportare energia e nessuno fornì argomenti condivisi per sostenere

²⁹ Cfr. M. HOLST, O. SARBACH, M. TIGLIO, M. VALLISNERI, *The emergence of gravitational wave science: 100 years of development of mathematical theory, detectors, numerical algorithms, and data analysis tools*, «Bulletin of the American Mathematical Society», 2016, 53, pp. 513-554.

³⁰ Cfr. J. van DONGEN, *Einstein's unification*, Cambridge, Cambridge University Press, 2010.

³¹ Cfr. D. KENNEFICK, *Einstein Versus the Physical Review*, «Physics Today», 2005, 58, pp. 43-48; R. LALLI, 'Dirty work', but someone has to do it: Howard P. Robertson and the refereeing practices of *Physical Review* in the 1930s, «Notes and Records: the Royal Society Journal of the History of Science», 2016, 70, pp. 151-174.

³² A. EINSTEIN, N. ROSEN, *On gravitational waves*, «Journal of the Franklin Institute», 1937, 223, pp. 43-54.

che onde osservabili fossero una conseguenza certa della teoria di Einstein. Questa situazione era una conseguenza delle difficoltà generali nell'estrarre previsioni empiriche dalla teoria della relatività, quando la loro interpretazione fisica non poteva essere estrapolata in maniera diretta dalla fisica newtoniana. In questo senso, la domanda «quando le onde gravitazionali furono predette?» assume un maggiore spessore. È vero che la formula approssimata trovata da Einstein nel 1918 sia risultata, a posteriori, essenzialmente corretta (a parte per un fattore due corretto pochi anni dopo da Eddington), ma le ragioni per la sua adeguatezza nel predire l'esistenza e l'osservabilità delle onde gravitazionali furono stabilite con un diffuso consenso solo molto più tardi, a partire dagli anni '50.

La riconcettualizzazione delle onde gravitazionali nel periodo della 'rinascita' della teoria

Non appena gli esperti iniziarono a incontrarsi nelle conferenze internazionali dedicate alla relatività generale, le onde gravitazionali emersero come un problema irrisolto che era essenziale affrontare e stabilire con certezza prima di poter perseguire efficacemente i tentativi di sostituire la relatività generale con teorie alternative e più generali. Questo avvenne già alla conferenza di Berna, che può essere considerata lo spartiacque tra il periodo della 'bassa marea' e il momento della 'rinascita della teoria'. Nel pianificare la conferenza, gli organizzatori non ritennero il problema delle onde gravitazionali degno di essere inserito tra gli argomenti delle conferenze plenarie. Rosen fu l'unico a presentare una breve relazione volta a dimostrare, con un argomento poi rivelatosi fallace, come fosse impossibile per le onde gravitazionali trasportare energia.³³

La dinamica sociale e intellettuale della conferenza, comunque, fu tale che le discussioni portarono al riconoscimento dell'importanza del problema. Il fisico teorico svizzero Markus Fierz approcciò il matematico Hermann Bondi, affermando che «il problema delle onde gravitazionali è pronto per una soluzione e tu sei la persona adatta a trovarla».³⁴ Prima della conferenza di Berna, Bondi era interessato soprattutto a questioni di carattere cosmologico, legate al suo contributo alla formulazione della teoria dello stato stazionario nel 1948.³⁵ In seguito al consi-

glio di Fierz, Bondi decise di dedicare al problema teorico delle onde gravitazionali il gruppo di ricerca che stava formando al King's College London.

Come conseguenza della conferenza di Berna, quindi, Bondi modificò i suoi piani di ricerca, passando da un approccio speculativo verso la cosmologia relativistica, che era perseguito essenzialmente in uno specifico ambiente istituzionale (l'università di Cambridge dove Bondi lavorava dagli anni '40 con Thomas Gold e Fred Hoyle), a un problema d'interesse generale per la comunità emergente dei 'relativisti', ritrovatasi per la prima volta alla conferenza di Berna. E fin dall'inizio, l'obiettivo di Bondi fu di ottenere una soluzione definitiva a questo problema che convincesse una comunità intera, piuttosto che soddisfare la propria curiosità intellettuale. Negli anni successivi, altri gruppi di ricerca intrapresero lo stesso percorso, facendo delle onde gravitazionali uno degli argomenti più studiati da questi gruppi tra la metà degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 (vedi FIG. 3).

Una volta presa questa decisione, i progressi furono straordinariamente veloci. Un ricercatore del gruppo di Bondi, Felix Pirani, formulò nel 1956 una nuova definizione delle onde gravitazionali che era esplicitamente indipendente dalla scelta delle coordinate.³⁶ In aggiunta, applicò al problema della misura delle onde gravitazionali una formula derivata in precedenza dal matematico irlandese John L. Synge per misurare la curvatura dello spazio-tempo attraverso il moto di particelle che si muovano lungo una geodetica.³⁷

Le condizioni che permisero a Pirani di introdurre una novità importante nella comprensione della teoria e, in modo particolare, delle onde gravitazionali sono da ricercarsi nei cambiamenti generali delle carriere accademiche e del conseguente aumento di contatti tra i diversi gruppi di ricerca. Il percorso di Pirani costituisce, in questo senso, un esempio calzante. Pirani è stato, infatti, il primo fisico teorico interessato alla relatività generale a lavorare intensamente con gruppi e programmi di ricerca alquanto diversi tra loro. Nel 1948 riceve la laurea in fisica a Toronto con Leopold Infeld. In seguito, nel 1951, completa un dottorato sulla quantizzazione delle equazioni di campo di Einstein con Alfred Schild negli Stati Uniti. Si trasferisce a Londra per perseguire un secondo dottorato con Hermann Bondi sul principio di Mach all'interno della teoria cosmologica dello stato stazionario, elaborata da Bondi, Gold e Hoyle pochi anni prima. Nel 1954 va a Dublino per lavorare con Synge, uno dei maggiori esperti della teoria di Einstein durante il periodo della 'bassa ma-

³³ N. ROSEN, *Gravitational waves*, in *Fünfzig Jahre Relativitätstheorie: Bern 11.-16. July 1955: Verhandlungen; Cinquantenaire de la théorie de la relativité: actes; Jubilee of relativity theory: proceedings*, a cura di A. MERCIER, M. KERVAIRE, Basel, Birkhäuser, 1956.

³⁴ H. BONDI, *Science, Churchill, and me: the autobiography of Hermann Bondi, master of Churchill College, Cambridge*, Pergamon Press, 1990, p. 79 [traduzione dell'autore].

³⁵ H. BONDI, T. GOLD, *The Steady-State Theory of the Expanding Universe*, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 1948, 108, pp. 252-270; H. BONDI, *Cosmology*, Cambridge, University Press, 1952.

³⁶ F. A. E. PIRANI, *Invariant formulation of gravitational radiation theory*, «Physical Review», 1957, 105, pp. 1089-1099.

³⁷ F. A. E. PIRANI, *On the Physical significance of the Riemann tensor*, «Acta Physica Polonica», 1956, 15, pp. 389-405; J. L. SYNGE, *On the Deviation of Geodesics and Null-Geodesics, Particularly in Relation to the Properties of Spaces of Constant Curvature and Indefinite Line-Element*, «Annals of Mathematics», 1934, 35, pp. 705-713.

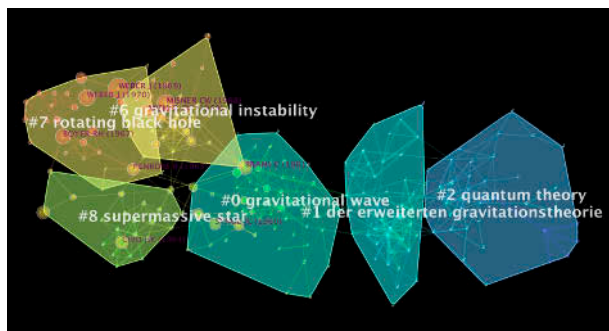


FIG. 3. NETWORK DELLE CO-CITAZIONI DEGLI ARTICOLI SU TEMI CONCERNENTI LA RELATIVITÀ GENERALE PUBBLICATI DAL 1947 AL 1974.

Solo una percentuale di articoli più citati è stata inclusa nelle analisi. Tali articoli sono visualizzati in *cluster* di articoli citati insieme che sono stati identificati con algoritmi per il rilevamento di comunità del software *CiteSpace*.³⁸ Questo approccio porta all'identificazione di sei *cluster* maggiori in ordine cronologico (da dx a sx), dove il titolo dei temi dei *cluster* è stato generato automaticamente tramite algoritmi applicati ai titoli degli articoli citanti. *Quantum theory* (anno medio 1949): articoli sulla quantizzazione delle equazioni di campo di Einstein e sui vari approcci al programma della teoria del campo unificato; *der erweiterten gravitationstheorie* (la teoria estesa della gravitazione) (1951): articoli sugli approcci cosmologici basati sulla relatività generale, incluso la teoria dello stato stazionario; *gravitational wave* (1958): articoli della fase di riconcettualizzazione della teoria discussa in questo saggio, tali articoli riguardano soprattutto la teoria delle onde gravitazionali e altre predizioni della teoria di Einstein; *supermassive star* (1963): articoli sul problema del campo gravitazionale di una stella massiva; *gravitational instability* (1966): articoli sul modello cosmologico dell'universo in espansione (Big Bang); *rotating black hole* (1969): articoli sulle singolarità spazio-temporali, buchi neri e sugli esperimenti di Weber. I *cluster* sono numerati dallo 0 all'8 in relazione al numero di articoli da essi contenuti. I *cluster* 3 e 5 sono stati esclusi perché senza connessioni con il *network* centrale di articoli sulla relatività generale mostrata in figura.

rea'. A Dublino, Pirani discute con Synge i problemi matematico-teorici della relatività generale e compie un minuzioso lavoro di revisione del libro sulla relatività ristretta del matematico irlandese. È a Berna nel 1955 e segue Bondi al King's College quando questi decide di dedicare il suo gruppo di ricerca alla risoluzione del problema teorico delle onde gravitazionali.³⁹ Grazie al suo ruolo centrale nel *network* socio-concettuale della relatività generale, Pirani è in grado di attingere al suo grande e variegato bagaglio di conoscenze per fornire una formulazione nuova della propagazione delle onde gravitazionali, la quale è immediatamente interpretata come la risposta affermativa alla domanda se le onde gravitazionali trasportino energia o meno.

È notevole che la risoluzione a tale problema sia avvenuta, storicamente, con un'azione collettiva. Pirani diffuse i suoi risultati con due relazioni presentate alla seconda conferenza internazionale sul-

³⁸ C. CHEN, *Turning Points: The Nature of Creativity*, Heidelberg, Springer, 2012; L. WALTMAN, N. J. van ECK, *A smart local moving algorithm for large-scale modularity-based community detection*, in «The European Physical Journal B», 2013, 86 (11), p. 471.

³⁹ F. A. E. PIRANI *Interview by Dean Rickles on 23 June 2011*, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, 2011; www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/34463 (accesso il 10 gennaio 2015).

le teorie relativistiche della gravitazione tenutasi a Chapel Hill nel gennaio 1957. Le discussioni successive alle presentazioni di Pirani portarono prima Bondi e poi, in maniera più formale, Feynman a elaborare un esperimento mentale che convinse la maggioranza dei presenti che le onde gravitazionali debbano necessariamente trasportare energia. Conosciuto come l'argomento *Sticky bead*, l'esperimento mentale immaginava due perle, dotate di massa e libere di scorrere, con una piccola quantità di attrito, su un bastone. Usando l'argomento di Pirani, Feynman dimostrò che, in linea di principio, il passaggio di un'onda gravitazionale trasversale al bastone facesse muovere le perle mentre il bastone avrebbe posto una resistenza dovuta alle sue forze interne. Tale differenza nella reazione dei diversi oggetti al passaggio dell'onda avrebbe necessariamente portato alla produzione di calore dovuta all'attrito tra le perle e il bastone. Questo esperimento mentale risolveva il problema se le onde trasportassero energia e se questa interagisse con altre forme di energia.⁴⁰ Dopo la discussione di questo esperimento mentale si formò un rapido consenso tra la nascente comunità di esperti: le onde gravitazionali esistevano e trasmettevano energia, di conseguenza l'effetto del loro passaggio era potenzialmente misurabile.

La soluzione di Pirani non era, ovviamente, l'unica possibile. Nei mesi e anni immediatamente successivi si svilupparono diversi approcci al problema teorico delle onde gravitazionali. Tra i più importanti sono da segnalare i lavori del fisico polacco Andrzej Trautman nel 1957-58.⁴¹ Durante il suo dottorato con Infeld, Trautman elaborò un approccio per definire in maniera non ambigua le onde gravitazionali, selezionando quelle soluzioni che soddisfacessero precise condizioni all'infinito. Mentre la definizione di Pirani era più adatta alla descrizione della propagazione dei fronti d'onda, il lavoro di Trautman concerneva le condizioni all'infinito che permettevano l'esistenza di onde gravitazionali generate da una sorgente finita e propagantesi verso l'infinito. I lavori di Trautman furono pubblicati in alcune brevi note del *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*.⁴² Con ogni probabilità, se questi lavori fossero stati pubblicati in un periodo precedente, essi sarebbero stati ignorati. Le nuove condizioni sociali degli anni '50 permisero, invece, al lavoro di Trautman di diventare noto quasi immediatamente. Trautman fu, infatti, invitato al King's College nel

⁴⁰ D. RICKLES, C. M. DEWITT (a cura di), *The Role of Gravitation in Physics*, Berlin, Edition Open Sources, 2011.

⁴¹ Cfr. C. D. HILL, P. NUROWSKI, *How the green light was given for gravitational wave search*, in «Notices of the AMS», 2016, 64, pp. 686-692.

⁴² A. TRAUTMAN, *Boundary Conditions at Infinity for Physical Theories*, «Bull. Acad. Polon. Sci.», 1958, 6, pp. 403-406; A. TRAUTMAN, *Radiation and Boundary Conditions in the Theory of Gravitation*, «Bull. Acad. Polon. Sci.», 1958, 6, pp. 407-412; A. TRAUTMAN, *On gravitational radiation damping*, «Bull. Acad. Polon. Sci.», 1958, 6, pp. 627-633.

1958 dove presentò i suoi lavori in una serie di lezioni poi rese pubbliche.⁴³ Questi sono solo alcuni dei vari approcci che furono sviluppati tra la metà degli anni '50 e i primissimi anni '60 per la soluzione di un problema che oramai era considerato centrale da un *network* crescente di esperti. Questi approcci avevano in comune la caratteristica che essi aspiravano a sviluppare concetti intrinsecamente relativistici, senza la necessità di ricorrere a teorie precedenti ogni qualvolta i risultati diventavano difficili da interpretare. Grazie a questo passaggio, divenne possibile per una crescente comunità di esperti usare concetti euristici puramente relativistici che diventarono parte del nuovo linguaggio alla base della comunicazione con fisici sperimentali e non esperti della teoria, come, per esempio, il concetto di buco nero che fu elaborato entro il 1967.⁴⁴ Questa riconcettualizzazione veloce e condivisa della teoria è, a nostro avviso, il fulcro centrale del periodo della 'rinascita', che permise una fioritura della ricerca basata ora su nozioni proprie e non affossata da discussioni irrisolte sulle difficoltà interpretative delle nozioni basilari della teoria.

Dagli sviluppi teorici al programma sperimentale

Gli sviluppi teorici che avvennero tra la metà degli anni '50 e i primissimi anni '60 non sono ovviamente la conclusione del percorso, ma corrispondono piuttosto a quello che può essere ritenuto il punto iniziale dei vari programmi di ricerca che portarono poi alla scoperta delle onde gravitazionali nel 2016. Per compiere tale scoperta sono stati necessari molti sviluppi teorici e sperimentali. Tra questi ci furono una comprensione più precisa del problema di Cauchy, l'emergere e fiorire della relatività numerica, lo sviluppo dei supercomputer e la possibilità di impiegarli per il calcolo delle soluzioni esatte della relatività generale, lo studio delle sorgenti gravitazionali astrofisiche, e, ovviamente, l'ideazione, lo sviluppo e il perfezionamento di diverse generazioni di rivelatori di onde gravitazionali.⁴⁵ Fin dagli anni '60 questi progressi hanno coinvolto un numero crescente di scienziati, gruppi, e, infine, collaborazioni internazionali.

L'argomento centrale di quest'articolo è che tutti questi sviluppi successivi abbiano una radice co-



FIG. 4. Joseph Weber (1919-2000). (crediti Virginia Trimble)

mune in questi primi anni della 'rinascita' della teoria, quando il problema delle onde gravitazionali venne riconosciuto come un problema centrale e i diversi approcci teorici portarono a una riorganizzazione della conoscenza, tale da ritenere risolto, a livello collettivo, un problema che era rimasto per quarant'anni senza una soluzione certa e senza un consenso diffuso su come esso dovesse essere affrontato.

L'esempio più lampante degli effetti di tale riorganizzazione della conoscenza sulla radiazione gravitazionale è il modo in cui ebbe inizio il programma sperimentale per osservare gli effetti dovuti a tale radiazione. Il fisico statunitense Joseph Weber è universalmente riconosciuto come il pioniere di questo tipo di ricerca (FIG. 4).⁴⁶ Per dieci anni, fino alla fine degli anni '60, Weber portò avanti sostanzialmente da solo, con l'aiuto di alcuni studenti e assistenti, un programma sperimentale finalizzato all'osservazione delle onde gravitazionali con rilevatori a barre di alluminio da lui ideate (poi chiamate barre di Weber). Il suo annuncio, nel 1969, di aver osservato segnali corrispondenti a onde gravitazio-

⁴³ A. TRAUTMAN, *Lectures on general relativity*, London, King's College London, 1958.

⁴⁴ Cfr. B. F. SCHUTZ, *Thoughts About a Conceptual Framework for Relativistic Gravity*, in *Einstein and the Changing Worldviews of Physics*, a cura di C. Lehner, J. Renn, M. Schemmel, Boston, Birkhäuser, 2012, pp. 259-269; K. S. THORNE, *Black holes and time warps: Einstein's outrageous legacy*, New York, WWNorton, 1994.

⁴⁵ Cfr. M. HOLST, O. SARBACH, M. TIGLIO, M. VALLISNERI, *The emergence of gravitational wave science: 100 years of development of mathematical theory, detectors, numerical algorithms, and data analysis tools*, «Bulletin of the American Mathematical Society», 2016, 53, pp. 513-554.

⁴⁶ Cfr. A. CHO, *Remembering Joseph Weber, the controversial pioneer of gravitational waves*, «Science», 12 febbraio 2016, www.sciencemag.org/news/2016/02/remembering-joseph-weber-controversial-pioneer-gravitational-waves (visionato il 14 ottobre 2018); Cfr. B. ALLEN, *The Nobel Lectures on Gravitational Waves and LIGO*, in «Annalen der Physik», p. 1800442, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.201800442> (visionato il 14 dicembre 2018); cfr. R. WEISS, *LIGO and the Discovery of Gravitational Waves, I: Nobel Lecture, December 8, 2017*, in «Annalen der Physik», p. 1800349, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.201800349> (visionato il 14 dicembre 2018).

nali diede l'avvio a una serie di programmi sperimentali in diversi laboratori nel mondo che, fino ad allora, erano rimasti solo sulla carta.⁴⁷ Nei primi anni, tali programmi avevano soprattutto l'obiettivo di testare l'annuncio fatto da Weber.⁴⁸ Già nella prima metà degli anni '70, la maggioranza dei gruppi coinvolti raggiunse un consenso che l'effetto osservato da Weber fosse spurio e dovuto a errori sperimentali. Questi risultati non interruppero però la ricerca e i vari gruppi continuarono a sviluppare diverse tecnologie (barre gravitazionali a temperatura criogenica e interferometria laser) per l'osservazione delle onde gravitazionali.⁴⁹ Molti degli scienziati che iniziarono a lavorare a questi programmi nei primi anni '70, confluirono infine nelle collaborazioni LIGO e Virgo, artefici della recente scoperta.⁵⁰ È possibile, in altre parole, osservare una forte dipendenza storica tra i primi sforzi, compiuti in solitario da Weber, e gli sviluppi successivi della ricerca sperimentale, che hanno poi portato alla recente scoperta.

Sembra, quindi, particolarmente importante capire il passaggio che convinse Weber a cominciare questo percorso. Weber iniziò a interessarsi al problema delle onde gravitazionali durante un periodo di post-dottorato con John A. Wheeler, a partire dal 1956, durante il quale i due lavorarono a problemi di carattere teorico sulle onde gravitazionali cilindriche.⁵¹ Presente alla conferenza di Chapel Hill, Weber rimase colpito dagli argomenti di Pirani e dalle successive discussioni che portarono alla convinzione condivisa dell'esistenza delle onde gravitazionali. Come Bondi decise di dedicarsi a questo problema teorico durante la conferenza di Berna del 1955, così Weber decise subito dopo la conferenza di Chapel Hill di dedicare il gruppo di ricerca che stava per costituire presso l'Università del Maryland a un nuovo programma sperimentale per l'osservazione delle onde gravitazionali. Già due anni dopo, alla conferenza di Royaumont, Weber presentò la prima idea di un meccanismo sperimentale che non era altro che una 'meccanizzazione' dell'argomento di

Pirani, come recentemente osservato dal fisico e membro della collaborazione LIGO Peter Saulson.⁵²

Conclusione

In conclusione, gli sviluppi della ricerca sulle onde gravitazionali nel periodo della 'rinascita' progredirono in maniera molto rapida. A partire dal 1955, un problema che era rimasto in uno stato di ambiguità dal 1916 venne affrontato in maniera programmatica da un numero crescente di scienziati che in meno di due anni arrivarono a un consenso diffuso riguardo ad alcune proprietà essenziali delle onde gravitazionali. Questo progresso si verificò in più fasi, tramite un processo intellettuale collettivo stimolato soprattutto dai confronti che nascevano nel contesto delle conferenze internazionali. Nella prima fase ci fu un processo di riconoscimento collettivo, iniziato con la conferenza di Berna, dell'importanza e dei termini del problema, il che portò a una riconfigurazione dei programmi di ricerca. La seconda fase fu caratterizzata da approcci e soluzioni individuali al problema che poi confluirono in una visione condivisa dell'esistenza delle onde e della possibilità teorica che esse fossero osservabili, cosa che avvenne alla conferenza di Chapel Hill nel 1957. La terza fase corrispose al riconoscimento immediato, anche se inizialmente solo da Weber, che il consenso appena raggiunto fosse sufficiente per far partire un programma sperimentale che fu presentato già durante la conferenza successiva a Royaumont nel 1959.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato sviluppato in collaborazione con Alexander Blum e Jürgen Renn e con il supporto del Max Planck Institute for the History of Science. Dirk Wintergrün e Florian Kräutli hanno collaborato alla realizzazione delle immagini e dell'analisi delle reti. Ringrazio Adele la Rana per i preziosi commenti a una versione precedente dell'articolo e Serenella Antoniosi per la revisione del testo definitivo. I miei ringraziamenti anche a Virginia Trimble per il permesso di utilizzare la foto di Joe Weber (FIG. 4).

⁵² Cfr. P. R. SAULSON, *Josh Goldberg and the physical reality of gravitational waves*, «General Relativity and Gravitation», 2011, 43, pp. 3289-3299; J. WEBER, *On the Possibility of Detection and Generation of Gravitational Waves*, in *Les théories relativistes de la gravitation*, a cura di A. Licherowicz, M.-A. Tonnelat, Paris, Éd. du Centre national de la recherche Scientifique, 1962, pp. 441-450.

⁴⁷ J. WEBER, *Evidence for Discovery of Gravitational Radiation*, «Physical Review Letters», 1969, 22, pp. 1320-1324.

⁴⁸ Cfr. V. TRIMBLE, *Wired by Weber*, «The European Physical Journal H», 2017, pp. 1-31.

⁴⁹ Cfr. H. COLLINS, *Gravity's shadow: the search for gravitational waves*, Chicago, University of Chicago Press, 2004;

⁵⁰ Cfr. A. LA RANA, L. MILANO, *The early history of gravitational wave detection in Italy: from the first resonant burst to the beginning of the Virgo collaboration*, in *Atti del XXXVI Convegno annual della Società Italiana di Storici della Fisica e Astronomia*, Pavia, Pavia University Press, 2017, pp. 185-198.

⁵¹ J. WEBER, J. A. WHEELER, *Reality of the Cylindrical Gravitational Waves of Einstein and Rosen*, «Reviews of Modern Physics», 1957, 29, pp. 509-515.

Roberto Lalli è ricercatore in storia delle scienze fisiche al Max Planck Institute for the History of Science a Berlino. Dopo aver ottenuto la laurea in Fisica e il dottorato in Storia Internazionale all'Università di Milano, ha lavorato due anni al Massachusetts Institute of Technology come *postdoctoral fellow* nel *Science, Technology and Society Program*. La sua ricerca si focalizza sulle interconnessioni tra fattori sociali ed epistemici nella storia della fisica nel xx secolo, su cui ha pubblicato una monografia e numerosi articoli.

L'astronomia occidentale nell'Alto Medioevo: metodi numerici per il calcolo delle posizioni planetarie

Stefano Buscherini

Istituto Tecnico Industriale Statale "Nullo Baldini", Ravenna

L'ASTRONOMIA del primo Medioevo affonda le sue radici nella tradizione romana e risente delle opere che i compilatori e gli enciclopedisti di quell'epoca scrissero mano a mano che essa fu trasmessa al mondo latino tra il I secolo a.C. e il I sec. d.C.

Stahl¹ afferma però che non ci si può riferire al Medioevo come al periodo in cui iniziò il declino e l'abbassamento del livello del pensiero scientifico e filosofico, perché quelli erano iniziati già nell'epoca repubblicana in cui ogni generazione aveva sintetizzato, filtrato e in certi casi alterato le fonti, tanto che un deterioramento della letteratura a cui faceva riferimento era divenuto inevitabile.

Così fu anche per i testi astronomici, per cui gli autori nella loro stesura preferirono impiegare le brevi ed enciclopediche compilazioni preparate precedentemente. Anche la funzione dell'astronomia all'interno della società mutò: se prima era stata un punto di riferimento non solo per l'educazione ma anche per le istituzioni e per la religione di Roma, con il passare dei secoli la sua attività primaria si ridusse a puro strumento per la redazione del calendario.

Questo fu l'aspetto che più interessò il clero, come testimonia il capitolo 25, intitolato *De astronomia*, del terzo libro del *De institutione clericorum*² scritto da Rabano Mauro (784-856 ca.) abate di Fulda e poi arcivescovo tedesco. Stando al suo testo, l'astronomia è un argomento decoroso per i reli-

giosi, ma un grande tormento per i curiosi e, se viene studiata con mente casta e moderata, come dicono anche gli antichi, riempie i sensi di grande chiarezza. Per lui l'astronomia è la legge degli astri, mentre l'astrologia è da lei differente, benché ambedue riguardino un'unica disciplina. Infatti, la prima tratta dei movimenti del cielo, mentre la seconda in parte è naturale e in parte è superstiziosa: naturale, quando investiga il corso del Sole della Luna o delle stelle e «*certas temporum quaestiones*»;³ superstiziosa, se si dedica alle previsioni tratte dalle stelle e usa i dodici segni del cielo per tentare di predire la nascita e il carattere degli uomini.

Perciò, secondo il religioso, il clero deve studiare con solerte impegno l'astronomia e le distinzioni dei tempi così che, per mezzo di sicure e ragionate definizioni di regole e con argomenti certi, non solo indagherà i corsi passati degli anni, ma anche impari a riflettere con sicurezza sui tempi futuri, per poter stabilire gli inizi del periodo pasquale e le sue feste, i momenti di tutte le altre solennità e celebrazioni per poterle comunicare al popolo.

Un esempio di mutamento più particolare dell'astronomia è stato evidenziato da Eastwood,⁴ che ha proposto di mettere a confronto due opere distanti tra loro un secolo: il *Commentarius Calcidii in Timeum*, ovvero il *Commentario al Timeo di Platone* di Calcidio⁵ e *De nuptiis Mercurii et Philologiae*, cioè *Le nozze di Filologia e Mercurio* di Marziano Capella.⁶

Nel primo testo, l'autore inizia a parlare di astronomia dal capitolo LIX:

¹ W. H. STAHL, *Martianus Capella and the seven liberal arts, The quadrivium of Martianus Capella, latin tradutions in the mathematical sciences 50 B.C. - A. D. 1250, with a study of the allegory and the verbal disciplines* by R. JOHNSON with E. L. BURGE, New York and London, Columbia University Press, 1971, p. 239.

² L'opera si inquadra nel programma carolingio di ripresa degli studi da parte del clero e quindi di un innalzamento della cultura. Nell'Alto Medioevo questo compito fu infatti svolto dalla Chiesa e in particolare dai monasteri. La lingua dell'insegnamento e degli studiosi era il latino, mentre l'organizzazione dell'istruzione era simile a quella dell'epoca tardo romana. Dopo i primi rudimenti erano apprese le sette arti liberali, suddivise in due parti: il *Trivium* (grammatica, retorica, dialettica) e il *Quadrivium* (aritmetica, geometria, astronomia, musica). Questo programma di studi è pienamente dimostrato dall'indice dell'opera di Rabano. Tre sono i libri che la compongono: nel primo vengono trattati gli ordini sacerdotali, gli abiti e i sacramenti; nel secondo gli uffici, le celebrazioni e le festività; nel terzo, il cui primo capitolo inizia con "quid eos scire et habere conveniat qui ad sacrum ordinem accedere volunt", vengono affrontate le arti liberali e l'arte oratoria sacra.

³ Qui probabilmente Rabano fa riferimento agli stessi problemi affrontati dall'astronomia, relativi all'individuazione dei giorni delle festività sacre nel calendario e presentati nel testo successivamente.

⁴ B. S. EASTWOOD, *Astronomy in Christian Latin Europe c. 500 - c. 1150*, «Journal for the History of Astronomy», 28, 1997, p. 235-236.

⁵ Pochissimo è noto della vita di Calcidio, forse un cristiano, che tradusse parte del *Timeo* di Platone dal greco al latino a metà o alla fine del IV secolo d.C., sembra per invito di un certo vescovo Osio di cui l'autore era arcidiacono.

⁶ Marziano Capella fu un avvocato cartaginese del V secolo d.C., probabilmente pagano, che divenne scrittore in età avanzata. Il suo testo è una *fabula* allegorica in cui vengono presentati prima i preliminari delle nozze che si svolgono nel palazzo di Giove e quindi i doni nuziali di Mercurio alla sposa Filologia: sette delle nove discipline liberali contenute nei *Disciplinarum libri IX* di Varro, ormai perduti. L'opera è una *summa* della cultura e della scienza antica e avrà una grande fortuna nel Medioevo cristiano.

A questo punto, affinché la nostra trattazione possa risultare utile in qualche misura anche a coloro che sono privi di cognizioni astronomiche, saranno illustrati brevemente, ma con chiarezza, in modo conforme alla loro natura, i concetti astronomici che hanno attinenza con la trattazione stessa.⁷

Nella successione di argomenti presentati, compaiono l'elenco dei periodi di tempo necessari ai pianeti per percorrere lo Zodiaco e il problema del moto irregolare del Sole e dei pianeti (TAB. 1).

Pianeta	Periodo
Saturno	30 anni
Giove	12 anni
Marte	2 anni
Venere	Stesso periodo del Sole
Mercurio	Stesso periodo del Sole

TABELLA 1. Periodi dei pianeti secondo Calcidio.⁸

Secondo lo scrittore, è la “percezione visiva” a far apparire i pianeti in certi momenti retrogradi o in stasi, ma «la causa di questo inganno dipende dal fatto che, poiché ciascun pianeta ruota lungo la propria orbita o percorso circolare e dietro ad essa è posta la sfera altissima che resta immobile, allo sguardo di chi osserva dalla Terra tali pianeti paiono percorrere la fascia esterna dello Zodiaco»,⁹ essendo «tuttavia indubitabile che tutti i pianeti ci sembrano procedere con un movimento uniforme e alcuni paiono caratterizzati da un moto assolutamente irregolare», «quale causa porremo dunque alla base di questa nostra opinione erronea?»¹⁰ si chiede l'autore romano.

La dimostrazione del moto irregolare del Sole lungo lo Zodiaco, e poi degli altri pianeti, è affrontata con metodi pienamente geometrici, impiegando cerchi, archi, collegando i punti determinati su di essi con segmenti e facendo riferimento anche all'epiciclo, di cui viene data anche la definizione: «si chiama epiciclo una sfera che si muove lungo una determinata circonferenza».¹¹

Al contrario, Marziano Capella, nella parte relativa all'astronomia, non seguì una simile imposta-

zione, molto probabilmente avendo scelto, come i precedenti autori latini, di fare riferimento a fonti più recenti e più alla sua portata. Secondo Eastwood,¹² Marziano Capella decise di scegliere il numero e non la geometria come fondamento dell'ordine astronomico e quindi negò una razionalità lineare nei cieli. Non che non gli fosse possibile accedere a scritti diversi da questa tradizione, perché, secondo Stahl,¹³ se Marziano Capella fosse stato disposto a fare qualche ricerca, avrebbe probabilmente trovato nella biblioteca di Cartagine, città dove viveva, una qualche copia degli *Elementi* di Euclide o un'opera minore di Tolomeo.

Sembra invece che la sua fonte sia stata l'opera di Marco Terenzio Varrone¹⁴ in quanto gli altri scritti non erano adatti ai suoi scopi:¹⁵ Plinio il Vecchio aveva trattato l'argomento in modo disorganizzato e prolisso;¹⁶ Macrobio rivelava una conoscenza limitata e, come Plinio, non era del tutto chiaro nelle sue digressioni;¹⁷ Calcidio dimostrava invece maggiori competenze, ma la sua opera non era strutturata come un trattato di astronomia. Inoltre, aggiunge sempre Stahl,¹⁸ le sue teorie astronomiche erano troppo “astruse” per essere apprezzate prima del tardo Medioevo e la matematica applicata non era comprensibile per Marziano.¹⁹

L'opera del cartaginese è composta da 9 libri in cui vengono presentate le arti del trivio e del qua-

¹² B. S. EASTWOOD, art. cit., p. 236.

¹³ W. H. STAHL, op. cit., p. 235.

¹⁴ Relativamente a Marco Terenzio Varrone (116-27 a.C.) forse l'evento che è più opportuno ricordare in questa sede è che Cesare gli affidò l'incarico di riordinare e dirigere le biblioteche pubbliche di Roma nel 46 a.C., nonostante fosse stato al seguito di Pompeo fino allo scontro finale a Farsalo. Nel corso della sua vita scrisse un numero impressionante di libri (alcune fonti parlano di 600), ma di questa sterminata produzione ben poco ci è rimasto. Nell'ultimo decennio della sua vita Varrone organizzò tutto il sapere della scienza antica in *Disciplinarum libri IX*, secondo una struttura che condizionò il futuro ordinamento degli studi nell'Europa Occidentale: egli distinse le arti liberali seguendo uno schema che nelle scuole medievali sarebbe stato il *Trivium* e il *Quadrivium*. Soltanto negli ultimi due libri dell'opera venivano poi esposte la medicina e l'architettura.

¹⁵ W. H. STAHL, op. cit., pp. 50-53.

¹⁶ Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) ha scritto opere storiche, sulla tecnica militare, sulla retorica e la grammatica, ma la sua fama è legata alla sua opera enciclopedica *Naturalis historia*, da tradurre come *Scienza naturale*. In essa l'astronomia viene trattata non come un unico soggetto, ma suddividendola in varie parti: ad esempio, il secondo libro tratta della cosmologia; nel sesto libro è affrontato il tema delle dimensioni della Terra; il libro XVIII è dedicato al calendario con attenzione particolare all'agricoltura.

¹⁷ Poco si conosce di Ambrogio Teodosio Macrobio, probabilmente nativo dell'Africa e difficilmente identificabile: forse fu il prefetto di Spagna del 399 d.C. o forse il *praefectus praetorio Italiae* (ovvero il comandante delle truppe di stanza in Italia) del 430 d.C. Tra le sue opere vanno ricordati i *Commentarii in Somnium Scipionis*, che contengono un'analisi dell'ultima parte del VI libro del *De republica* di Cicerone in cui Macrobio appare più interessato ad esporre le teorie scientifiche e filosofiche piuttosto che il testo di Cicerone.

¹⁸ W. H. STAHL, op. cit., p. 175.

¹⁹ Tra i quattro libri dedicati al *Quadrivium* quello dedicato all'astronomia ebbe la maggior fortuna nel Medioevo, sebbene i suoi principali rivali fossero proprio quelli di Calcidio e di Macrobio. Vedi W. H. STAHL, op. cit., p. 175.

⁷ Per la possibile datazione e il testo qui presentato, vedi CALCIDIO, *Commentario al Timeo di Platone*, a cura di C. Moreschini, con la collaborazione di M. Bertolini, L. Nicolini, I. Ramelli, Milano, Bompiani, 2003.

⁸ Ivi, capitolo LXX.

⁹ Ivi, capitolo LXXIV.

¹⁰ Ivi, capitolo LXXVII-LXXVIII.

¹¹ Ivi, capitolo LXXXI. Anche la dimostrazione della posizione del centro della sfera su cui si muove il Sole in rapporto alla Terra appare molto “matematica”: Calcidio prende in considerazione tutti i casi possibili, ovvero che contenga al suo interno la Terra o passi attraverso essa (fatto da lui escluso altrimenti si avrebbe una “conflagrazione”) o la lasci al di fuori, scartando i risultati irrazionali (capitolo LXXXIX). Per la descrizione dei metodi geometrici impiegati nell'antichità per descrivere il moto dei pianeti, vedi S. BUSCHERINI, *Il cielo secondo i Persiani: introduzione all'astronomia sasanide*, «Giornale di Astronomia», 37, 3, 2011.

drivio. L'VIII libro è dedicato all'astronomia e il primo argomento trattato è la struttura dell'universo:

parlerò di asse, di poli o di cerchi con l'intento di farmi capire e di spiegare, secondo un criterio puramente ideale, essendo questi da considerarsi distinti non per l'effettiva disomogeneità dei cieli, bensì per calcoli di intervalli.²⁰

Dal paragrafo 847 inizia la trattazione del problema del moto irregolare del Sole:²¹

Infatti sulla base di molte misurazioni con clessidra si è dimostrato che tutte le costellazioni occupano spazi uguali... Ma, eliminata questa questione, si pone un'altra obiezione più sottile, relativa alla disparità degli spazi. Se gli spazi delle costellazioni sono pari, o il Sole passa attraverso alcune costellazioni con corso più lento, oppure il calcolo relativo alla diversità dei giorni è fallace... Ma risulta evidente che il Sole percorre il segno dei Gemelli in 32 giorni, quello del Sagittario invece in 29... il che non accadrebbe se il Sole avanzasse con un corso dalla velocità costante e le costellazioni si estendessero in spazi pari.²²

La spiegazione a cui giunge lo scrittore è:

perciò accade che la Terra non è al centro del circolo solare, ma che si deve ritenerla eccentrica... e, se pure lo Zodiaco stesso e le costellazioni fisse nel cielo mantengono una distanza pari dalla Terra in qualsiasi direzione, tuttavia l'orbita solare, che passa sotto, o si innalza o si abbassa. Da qui deriva che apparentemente le costellazioni sono percorse dal Sole in un diverso numero di giorni.²³

Lo stesso problema viene affrontato nei paragrafi dedicati ai pianeti:

sono soggetti a soste e percorsi a ritroso, mentre il Sole e la Luna sono trascinati velocemente in una continua corsa.²⁴

In generale va saputo che la Terra è eccentrica rispetto a tutte le orbite dei pianeti, ossia non detiene il punto mediano dei cerchi, che non v'è dubbio che sia il centro".²⁵

Nonostante vengano identificate le cause geometriche del problema, l'argomento è trattato con una sequenza di valori numerici, senza nessuna dimostrazione che faccia uso di figure. Dei corpi celesti in ogni ambito vengono forniti vari parametri numerici come, ad esempio, la grandezza delle orbite

²⁰ I commentatori moderni dell'opera di Marziano hanno scritto che le parole usate sono sfavillanti ma di nessun interesse per gli storici delle scienze (W. H. STAHL, op. cit., p. 177): «lo stile non certo tecnico e scientifico, ma lessicamente sovrabbondante e sintatticamente artificioso»; le «ricerche difficoltà stilistiche rendono ardua al lettore la comprensione, e anzi la decifrazione, di concetti sovente anche molto semplici» (MARZIANO CAPELLA, *Le nozze di Filologia e Mercurio*, intr., tr., comm. e app. di I. Ramelli, Milano, Bompiani, 2001, pp. 603-607).

²¹ MARZIANO CAPELLA, op. cit., pp. 603-607, per questo paragrafo e i successivi.

²² Ivi, paragrafo 848.

²³ Ivi, paragrafo 849.

²⁴ Ivi, paragrafo 854.

²⁵ Ivi, paragrafo 855.

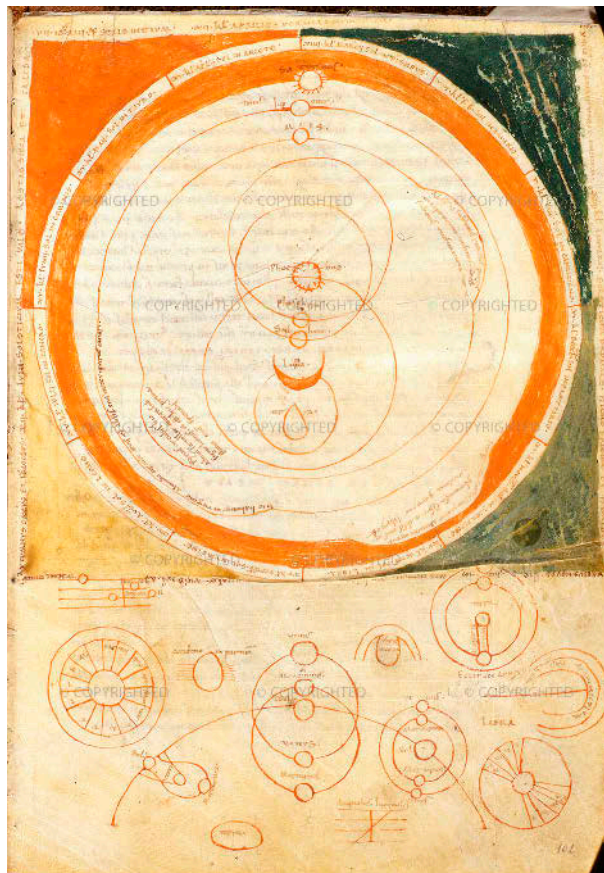


Fig. 1. Il Sistema del Mondo secondo Marziano Capella, da un manoscritto dell'XI secolo del *De Nuptiis Philologiae et Mercurii*: Luna, Sole, Marte, Giove e Saturno ruotano intorno alla Terra, mentre Mercurio e Venere intorno al Sole. (Venezia, Biblioteca Nazionale Marciana, lat. XIV, 35)

della Luna, del Sole e dei pianeti, gli angoli che intercorrono tra Sole e Luna nei paragrafi dedicati alle eclissi e un lungo elenco di gradi, di giorni e dei periodi che i pianeti impiegano a compiere la loro orbita. Manca perciò una visione geometrica del problema, fatta eccezione per gli accenni della posizione della Terra rispetto ai centri delle orbite dei pianeti, oppure quando nella trattazione delle eclissi di Luna si trova che il nostro satellite è posto sulla stessa linea del Sole (TAB. 2).

Pianeta	Periodo approssimativo
Saturno	30 anni
Giove	12 anni
Marte	2 anni
Venere	1 anno
Mercurio	1 anno

TABELLA 2. Periodi dei pianeti secondo Marziano.²⁶

Lo stesso abbassamento di competenze evidenziato per le teorie planetarie è riscontrabile nell'uso o anche nella sola comprensione degli strumenti da impiegare per il calcolo delle posizioni dei pianeti.

²⁶ Ivi, paragrafo 879-886.

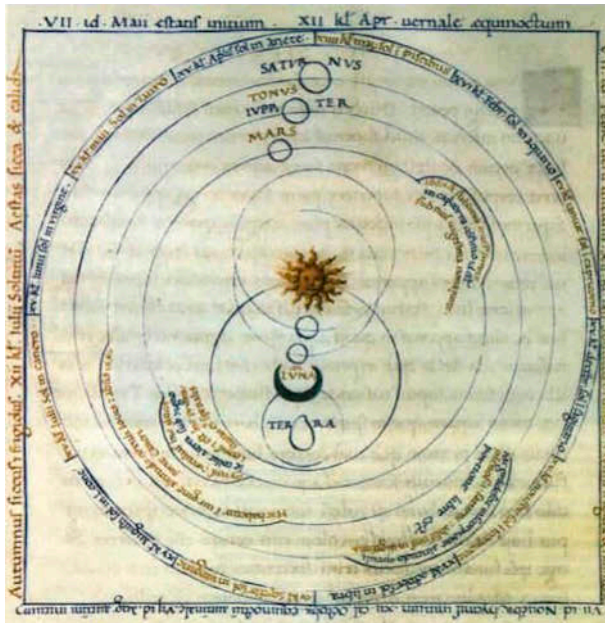


FIG. 2. Lo stesso Sistema del Mondo di Marziano Capella di FIG. 1, da un manoscritto del Quattrocento del *De Nuptiis Philologiae et Mercurii*, illustrato da Attavante degli Attavanti per il re d'Ungheria Mattia I Corvino. (Firenze, Biblioteca Medicea Laurenziana, San Marco 190, f. 102r)

Pingree²⁷ ha scritto che le uniche tavole astronomiche conosciute prima del XII secolo, quando le traduzioni dall'arabo fatte in Spagna ne introdussero in Europa delle nuove, erano contenute nel *Preceptum Canonis Ptolomei*, un testo che fu probabilmente composto a Roma nel 534 o 535 d.C. e la cui fonte fu il *Piccolo Commentario alle tavole manuali di Tolomeo*, composto da Teone di Alessandria²⁸ verso il 377 d.C., oltre ad altri testi che riportavano le istruzioni su come impiegare tali tavole.

La traduzione però non venne fatta in modo accurato o giusto, perché il testo non risulta essere una traduzione, bensì una traslitterazione dell'originale greco. Secondo Pingree il linguaggio è oscuro, opaco e le regole che vi sono espone risultano confuse e difficili da capire senza una buona conoscenza dell'astronomia di Tolomeo, tanto da poter affermare che l'occidente latino ebbe per mezzo

²⁷ D. PINGREE, *The Preceptum Canonis Ptolomei*, in *Rencontres de cultures dans la philosophie médiévale. Traductions et traducteurs de l'Antiquité tardive au XIV^e siècle*. Actes du Colloque international de Cassino, 15-17 juin 1989, eds J. Hamesse, M. Fattori, Louvain-la-Neuve-Cassino, 1990, I, 335-375; D. PINGREE, *Avranches 235 dans la tradition manuscrite du Preceptum Canonis Ptolomei*, in *Science Antique, science médiévale*. Actes du colloque international, Mont-Saint-Michel, 4-7 septembre 1998, eds L. Cabellat, O. Desbordes, Hildesheim, 2000, pp. 162-169.

²⁸ Il periodo in cui visse Teone ad Alessandria è ricavabile dalle osservazioni delle eclissi solari e lunari che fece in quella città nel 364 d.C. È quasi certo che fosse già morto nell'anno 415 d.C. quando sua figlia Ipazia, con la quale aveva precedentemente commentato il terzo libro dell'*Almagesto*, fu assassinata. Assieme al *Commentario all'Almagesto* scrisse anche un *Grande* e un *Piccolo Commentario alle tavole manuali di Tolomeo*, che sono forse le opere astronomiche più importanti dell'antichità, in quanto raccoglievano tutti i parametri necessari al computo dei fenomeni celesti che sono invece sparpagliati nell'*Almagesto*.

millennio una copia di tavole astronomiche superiori a quelle di al-Kwārizmī, ma che la maggior parte degli studiosi del tempo non poté né comprenderle né impiegarle.²⁹

Per Pingree sarebbero queste le tavole impiegate da Rabano Mauro per calcolare la posizione del Sole, della Luna e dei pianeti nel suo libro *De computo*.³⁰ Nel capitolo XLVIII, intitolato *De indicio et qualitate planetarum*, vengono fornite le posizioni dei corpi celesti nella data del 9 luglio dell'820.

Questa ricostruzione è stata però messa in dubbio da Juste,³¹ che ritiene che il *Preceptum Canonis Ptolomei* non fosse usato nel Medioevo per tre motivi: la traduzione dal greco venne fatta in modo così letterale, anche riguardo alcune parole greche, che dubita che potesse essere compresa da un lettore latino; la mancanza di tutte le tavole, ad eccezione di quelle del Sole e della Luna, lo hanno portato a credere che queste o furono perdute quasi subito o che non vennero mai tradotte in latino; non ci sono certezze che le tavole siano mai state impiegate dopo la metà del VI secolo, quando Cassiodoro³² consultò l'opera durante la stesura delle sue *Istitutiones*.

Per calcolare la posizione dei pianeti nell'occidente latino si sarebbero impiegati invece altri metodi che si fondavano su tre elementi fondamentali:

- la posizione dei pianeti al momento della creazione del mondo;
- i periodi zodiacali dei pianeti;
- il lasso di tempo trascorso dalla creazione del mondo.

²⁹ D. PINGREE, *The Preceptum Canonis Ptolomei*, art. cit., p. 375. Verso il X secolo si erano mantenute nel testo solo le tavole relative al Sole, alla Luna e alle eclissi lunari. Sembra però che le tavole dei pianeti verso la fine del VI secolo fossero ancora presenti al suo interno. Un altro aspetto da sottolineare è l'uso nelle tavole dello zero, essendo queste la traduzione delle tavole greche che lo impiegavano: i Greci per indicare la mancanza di un valore nella tabella ponevano un cerchietto e la stessa cosa facevano i Romani come, ad esempio, CLII O X = 152; 0, 10 impiegando il sistema sessagesimale. Per una breve descrizione della trasmissione dello zero tra le diverse culture, vedi D. PINGREE, *Zero and the symbol for Zero in early sexagesimal and decimal place-value system*, in *The concept of Śūnya*, ed. A. K. Bag e S. R. Sarma, Indira Gandhi National Centre for the Arts, 2003, pp. 137-141.

³⁰ D. PINGREE, *The Preceptum Canonis Ptolomei*, art. cit., pp. 371-372.

³¹ D. JUSTE, *Neither observation nor Astronomical Tables: An Alternative way of computing the planetary longitudes in the Early Western Middle Ages*, in *Studies in the history of the exact sciences in honour of David Pingree*, eds C. Burnett, J. P. Hogendijh, K. Plofker, M. Yano, Leiden, Boston, Brill, 2004, p. 182.

³² Cassiodoro, durante il regno di Teodorico, fu sia un politico, sia un letterato. Scrisse opere di carattere storico, religioso e didattico, come le *Istitutiones*, il cui scopo viene dichiarato nella prefazione dell'opera: siccome «nel campo delle divine Scritture, di insegnanti titolati si deve registrare una vera mancanza... per spinta di amor divino sono giunto alla conclusione di darmi con l'aiuto del Signore, alla produzione di libri, che avessero per voi una valenza introduttoria, in sostituzione del maestro. Nutro fiducia che, attraverso le loro pagine, si possa ottenere, sempre con l'aiuto divino, una sufficiente diffusione sia di tutta la serie delle divine Scritture, sia una sintesi della cultura profana» (CASSIODORO, *Le Istitutiones*. Basi per una rinascita di civiltà. Presentazione e traduzione di A. Caruso, Roma, Edizioni Vivere in, 2003, p. 67). Quest'ultima opera venne scritta durante il suo soggiorno nel monastero di Vivario, di cui Cassiodoro, ormai monaco, fu fondatore e dove trascorse il resto della sua vita.

La prima testimonianza del loro uso³³ è il testo intitolato *In quo signo versetur Mars*, che consiste di 5 capitoli dedicati al calcolo della posizione dei cinque pianeti e che era presente nella città francese di Auxerre già a metà del IX secolo e in Catalogna fino alla seconda metà dell'XI secolo.

Il metodo consisteva nel dividere il tempo trascorso dall'inizio del mondo per il periodo zodiacale del pianeta di cui si voleva trovare la posizione. Il resto di tale divisione veniva quindi convertito in mesi per sapere di quanto si era spostato dal segno occupato nel momento della creazione (TAB. 3).

Pianeta	Segno	Periodi
Saturno	Capricorno	30 anni
Giove	Sagittario	18 anni
Marte	Scorpione	6 anni
Venere	Bilancia	24 anni
Mercurio	Vergine	12 anni

TABELLA 3. Posizione dei pianeti alla creazione e loro periodo.

Proprio per questo, il testo fornisce i periodi zodiacali dei singoli pianeti, mentre non sono fornite né le posizioni dei pianeti né il tempo trascorso dalla creazione in quanto erano "noti".³⁴

Per quanto riguarda quest'ultimo parametro, due erano i sistemi cronologici adottati, basati sull'età del mondo (*Annus Mundi*), che fornivano il periodo trascorso dalla creazione del mondo all'incarnazione di Gesù e che furono poi sostituiti dall'*Annus Domini*:

- 5199 anni, secondo la *Versione dei Settanta*;³⁵
- 3952 anni, seguendo la tradizione ebraica.

I valori derivavano dai sistemi cronologici che erano stati sviluppati tra il III ed il IX secolo d.C. Il primo fu introdotto da Ippolito di Roma e Giulio l'Africano che stabilirono che fossero trascorsi 5500 anni dalla creazione del mondo all'incarnazione. Successivamente, Eusebio ridusse di quasi trecento anni questo valore, introducendo un secondo *Annus Mundi*. Infine Beda, il monaco benedettino vissuto in Inghilterra a cavallo del VII e VIII sec. d.C., basandosi sulla *Vulgata* e non più sull'interpretazione della *Versione dei Settanta*, come avevano fatto Ippolito di Roma ed Eusebio, fissò l'incarnazione del Sal-

³³ D. JUSTE, art. cit., pp. 189-195.

³⁴ Ad esempio, queste posizioni erano state fissate nell'astrologia greca e romana da Firmico Materno in *Mathesis* (III.1.1) e anche da Macrobio nei *Commentarii in somnium Scipionis* (1.21.24). Per un approfondimento dell'argomento, G. BEZZA, *Sulla tradizione del Thema Mundi*, in *Giovanni Schiaparelli: storico della astronomia e uomo di cultura*, a cura di A. Panaino e G. Pellegrino, Milano, Mimesis, IFAO, pp. 169-185.

³⁵ La *Versione dei Settanta* è la versione in greco della *Bibbia* tradotta ad Alessandria d'Egitto nel II secolo a.C. da parte della comunità ebraica presente in città.

vatore dopo 3952 anni nel suo nuovo e quindi terzo *Annus Mundi*.³⁶

Il metodo di calcolo appena spiegato è quello presentato da Abbo di Fleury³⁷ (945-1004) in *Signa in quibus singuli planetarum moventur scies*, uno dei suoi quattro scritti astronomici. In questo testo, oltre ad essere riportato l'elenco dei periodi planetari, la loro posizione alla creazione e il metodo per utilizzarli, viene fornito anche un esempio di calcolo della posizione di Marte (TAB. 4).³⁸

Pianeta	Posizione alla creazione	Periodi	Cicli	Intervallo in anni
Saturno	Capricorno	30 anni	205	6150
Giove	Sagittario	18 anni	342	6156
Marte	Scorpione	6 anni	1029	6174
Venere	Bilancia	24 anni	257	6168
Mercurio	Venere	12 anni	514	6168

TABELLA 4. Periodi planetari secondo Abbo di Fleury.

Per prima cosa, Abbo fissa una tabella che riporta il segno in cui si trovavano all'inizio del mondo i pianeti, i periodi e il numero di cicli necessari ad ottenere un intervallo di anni trascorsi adatto alla data che vuole calcolare: agosto 6177.

Il metodo perciò, dato un tempo t , consiste nel trovare due numeri α e β tali che $t = 6 \times \alpha + \beta$.

Convertendo β in mesi e conoscendo lo spostamento mensile di Marte, si riesce a calcolare la posizione del pianeta.

I passi sono quindi i seguenti:

- calcolo di 6177 anni dalla creazione, secondo la tradizione dei Settanta (5199+978);³⁹
- divisione di 6177 per 6 e risultato di 3 come resto (oppure 6177-6174, secondo quanto riportato in tabella);
- scelta del 25 marzo come inizio dell'anno;
- calcolo di 42 mesi come intervallo da marzo 6174 ad agosto 6177;
- individuazione del segno in cui si trovava Marte alla creazione (Scorpione);
- spostamento di 7 segni (Marte impiega 6 mesi per attraversare un segno) dal segno di partenza;
- individuazione del Toro come risultato del calcolo.⁴⁰

³⁶ Per uno studio dell'*Annus Mundi*, R. LANDES, *Lest the Millennium be Fulfilled: Apocalyptic Expectations and the Pattern of Western Chronography 100-800 CE*, in *The Use and Abuse of Eschatology in the Middle Ages*, ed. W. Verbeke, D. Verhelst, A. Welkenhuyzen, Leuven, 1988, pp. 137-211.

³⁷ Abbo di Fleury (945-1004) fu prima un discepolo di Gerberto di Aurillac (vedi S. BUSCHERINI, *Gerberto contro Otrico: una disfida matematica a Ravenna?*, «Studi Romagnoli», LXIII, 2013, pp. 497-508) e quindi abate dell'abbazia benedettina di Fleury. Scrisse non solo di astronomia, ma anche di matematica e di diritto canonico.

³⁸ Per il testo in latino del trattato e la possibile datazione, R. B. THOMSON, *Two astronomical tractates of Abbo of Fleury*, in *The light of Nature. Essays in the history and philosophy of science presented to A. C. Crombie*, 1985, pp. 113-133.

³⁹ Il che fa pensare che l'anno per cui viene eseguito il calcolo sia il 978 d.C. Vedi D. JUSTE, art. cit., p. 198.

⁴⁰ Per l'analisi del testo D. JUSTE, art. cit., pp. 196-200, in cui è descritto anche l'errore compiuto da Abbo nello svolgere "l'esercizio", arrivando alla errata conclusione che Marte si trovi in Pesci.

Pianeta	Posizione alla creazione				Periodi	
	Sistema A	Sistema B <i>Liber Alchandreii</i>	Sistema B <i>Proportiones</i>	Sistema B <i>Quicumque</i>	Sistema A	Sistema B
Saturno	Capricorno	Bilancia	Bilancia	Bilancia	30 anni	30 anni
Giove	Sagittario	Ariete	Ariete	Ariete	18 anni	12 anni
Marte	Scorpione	Scorpione	Capricorno	Leone	6 anni	1½ anno
Venere	Bilancia	Capricorno	Bilancia	Pesci	24 anni	300 giorni
Mercurio	Vergine	non presente	Non presente	Non presente	12 anni	
Testa del Drago ⁴¹	Leone	Leone	Leone	18 anni		

TABELLA 5. Parametri dell'*Alchandreana*.⁴²

Per gli altri pianeti non è presente un esempio di calcolo, ma viene solo aggiunto di agire in modo uguale («*similiter de reliquis*»).

Il metodo impiegato da Abbo si ritrova anche all'interno di una raccolta di trattati astrologici arabi, detta *Alchandreana*, tradotti durante la seconda metà del x secolo in Catalogna e, parzialmente, nel monastero di Ripoll. Al suo interno sono presenti sia il metodo visto precedentemente (*Liber Alchandreii*, capitolo 10), sia uno leggermente differente; proprio per questo Juste, che ha studiato approfonditamente questa collezione,⁴³ lo ha definito Sistema B, per differenziarlo dal precedente, detto Sistema A.

Il metodo B, presente in tre trattati della raccolta, *Liber Alchandreii* (capitolo 25), *Quicumque nosse desiderat legem astrorum* (capitolo 14) e *Proportiones competentes in astrorum industria* (capitolo 32 e 42), differisce per la presenza, tra i pianeti, della testa e la coda del Drago,⁴⁴ per i diversi periodi zodiacali e per la posizione occupata dai medesimi all'inizio del mondo (TAB. 5).

Inoltre il metodo non viene descritto per Mercurio in quanto l'autore del testo scrive che la sua posizione è sempre vicino al Sole, trovandosi nel segno precedente o seguente.

Il metodo è uguale a quello presente in altri testi di origine orientale, ovvero una compilazione astrologica siriana, un testo bizantino e le *Antologie* di Vettio Valente, e sarebbe giunto in Occidente assieme al materiale che compare nell'*Alchandreana*.

Nel *Libro della medicina*,⁴⁵ un testo siriano del XII secolo, e più precisamente nel capitolo 61 intitolato "Che tu possa conoscere le cinque stelle e come effettuare un calcolo su di loro", viene fissata come epoca l'era Seleucide (311/312 a.C.) e, partendo da

Saturno, viene esposto il metodo che è del tutto simile al precedente: solo che sia per Saturno che per Marte vengono presentati due divisori, secondo i metodi di alcuni "personaggi" non meglio precisati (TAB. 6).

Pianeta	Numero per cui dividere	Segno iniziale
Saturno	3 oppure 20	Acquario
Giove	30	Pesci
Marte	8 oppure 3	Ariete
Venere	30	Toro
Mercurio	15	Gemelli

Tabella 6. Parametri del *Libro della medicina*.

In ambito bizantino, un piccolo trattato astronomico,⁴⁶ risalente al x secolo e contenente le istruzioni per il calcolo della posizione del Sole, della Luna e dei pianeti, testimonia la presenza del metodo, anche se in questo caso viene fissato come anno di riferimento l'inizio del regno di Augusto (30 agosto 30 a.C.).

Per ogni pianeta il testo espone prima il metodo e poi un esempio di calcolo. In breve, i passi da compiere nel caso di Saturno sono:

- 1) contare gli anni trascorsi dall'inizio del regno di Augusto;
- 2) dividerli per 30;⁴⁷
- 3) moltiplicare il resto per 12 e aggiungervi il quoziente moltiplicato per 5;⁴⁸
- 4) calcolare il numero di mesi trascorsi da settembre al mese cercato e moltiplicarlo per 3;
- 5) aggiungere il risultato del punto 3) al risultato del punto 4);

⁴⁶ Il testo e il relativo commento astronomico sono stati presentati in due articoli: A. ТИХОМ, *Le calcul de la longitude de Vénus d'après un texte anonyme du Vat. gr. 184*, «Bulletin de l'Institut Historique Belge de Rome», 39, 1968, pp. 51-82; A. ТИХОМ, *Le calcul de la longitude des planètes d'après un texte anonyme du Vat. gr. 184*, «Bulletin de l'Institut Historique Belge de Rome», 52, 1982, pp. 5-29. Entrambi sono poi stati ristampati in A. ТИХОМ, *Etudes d'astronomie byzantine*, Aldershot Variorum (Collected Studies Series; CS 454), 1994, articoli II e III.

⁴⁷ L'autore perciò stima che Saturno percorra: 12° in 1 anno, 1° in un mese e 2' in un giorno.

⁴⁸ La modifica tiene conto del fatto che Saturno ad ogni periodo si sposta di 5° dal suo punto di partenza.

⁴¹ La coda del Dragone si trova nel segno opposto.

⁴² Vedi tabella 4 in D. JUSTE, *Les Alchandreana primitifs*, op. cit., p. 108 con le variazioni relative al testo *Proportiones competentes in astrorum industria*.

⁴³ Per il testo vedi D. JUSTE, *Les Alchandreana primitifs. Études sur le plus anciens traités astrologiques latin d'origine arabe (x^e siècle)*, Brill, Leiden e Boston, 2007 e D. JUSTE, *Neither observation nor Astronomical Tables*, art. cit.

⁴⁴ I due punti indicano le intersezioni dell'eclittica con l'orbita lunare.

⁴⁵ E. A. W. BUDGE, *The Syriac book of medicines. Syrian anatomy, pathology and therapeutics in the Early Middle Ages*, 2 vol, London, 1913, pp. 572-573.

- 6) a partire dal segno del Cancro spostarsi di tanti gradi quanto calcolato precedentemente, tenendo conto che un segno è costituito da 30° .

L'esempio che seguiva serviva per dimostrare come calcolare la posizione di Saturno per il 1 gennaio del 6414 del calendario bizantino (1 gennaio del 906):⁴⁹

- 1) $936 (30 + 906)$ anni dall'era di Augusto;
- 2) $936 / 30 = 31$ e resto 6;
- 3) $(6 \times 12) + (31 \times 5) = 72 + 155 = 227$;
- 4) $4 \times 3 = 12$;
- 5) $227 + 12 + 1 \frac{1}{2} = 240 \frac{1}{2}$ (l'ultimo addendo viene motivato volendo trovare il primo giorno di gennaio).

Quindi, Saturno si trova a 8 segni di distanza dal Cancro, ovvero nel primo grado dei Pesci.

Per l'origine del metodo si deve risalire più indietro nei secoli, visto che l'autore anonimo del testo bizantino si era ispirato alle tecniche impiegate da Vettio Valente, un astrologo del II secolo d.C., nelle sue *Antologie*, modificandole (punti 5 e 6) per compensare il divario che si veniva a creare tra la posizione del pianeta Saturno calcolata e quella reale.

Le regole e i sette rispettivi esempi sono contenuti nel Libro I, capitolo 20:⁵⁰ l'epoca di riferimento è quella di Augusto, il calendario su cui si basano le regole è quello egiziano, mentre quello alessandrino è usato negli esempi.⁵¹

La regola per calcolare la posizione di Saturno è la seguente:

siano t il numero di anni trascorsi completamente dall'era di Augusto; m il numero di mesi trascorsi completamente dall'era di Augusto; d il numero di giorni rimanenti.

Il primo passo, quindi, consiste nel calcolare due numeri α e β tali che

$$t = \alpha \times 30 + \beta.$$

L'arco in gradi da aggiungere a zero gradi del Cancro (posizione del pianeta all'inizio dell'era di Augusto) è dato da

$$\gamma = 5 \times \alpha + 12 \times \beta + m + d/30.$$

Dalla formula si vede che per calcolare la longitudine di Saturno si tiene conto del fatto che ogni 30 anni il pianeta compie una rivoluzione e si trova spostato di 5° dal punto di partenza. Compiendo Saturno una rivoluzione completa in 30 anni, implica che ogni anno il pianeta si sposti di 12° ($12^\circ \times 30 = 360^\circ$) e quindi 1° ogni mese e $1/30$ di grado ogni giorno.

⁴⁹ A. Tihon, *Le calcul de la longitude de Vénus d'après un texte anonyme du Vat. gr. 184*, art. cit., pp. 63-64. Il calendario bizantino era simile al calendario giuliano, ma fissava come data di inizio il 1° settembre 5509 a.C., giorno e mese dell'inizio di ogni anno.

⁵⁰ O. Neugebauer, *A history of Ancient Mathematical Astronomy*, vol. II, 1975, pp. 793-801.

⁵¹ Il calendario egizio consisteva di 12 mesi di 30 giorni ognuno e 5 giorni detti epagomeni ed era perciò sempre della stessa lunghezza. Augusto lo modificò introducendo un sesto giorno epagomeno ogni 4 anni (anno alessandrino).



FIG. 3. Rabano Mauro (a sinistra), insieme ad Alcuino, presenta le sue opere all'arcivescovo Otgar di Magonza (a destra), in un manoscritto della metà del IX secolo. (Österreichische Nationalbibliothek, cod. 652, f. 2v)

L'esempio che segue le regole mostra come calcolare la posizione di Saturno per l'anno 13 del regno di Traiano, mese VII, giorno 18, che equivale a 138 anni dall'inizio dell'era di Augusto,⁵² da cui segue

$$t = 138, m = 7,$$

quindi:

$$\alpha = 4 \text{ e } \beta = 18.$$

Lo spostamento è:

$$\gamma = 5 \times 4 + 12 \times 18 + 7 = 243 \text{ (il testo ignora i giorni).}$$

Saturno si trova perciò spostato di 243° rispetto a 0° del Cancro (posizione del pianeta all'inizio dell'epoca) ovvero a 3° dei Pesci.

In conclusione, i metodi per il calcolo delle posizioni dei pianeti sfruttati nel Medioevo latino sono la testimonianza della persistenza di procedimenti più antichi e di una trasmissione che ha le sue origini in Oriente. Si è visto che, nonostante l'astronomia avesse raggiunto livelli molto alti nella determinazione dei moti planetari, grazie ai sistemi geometrici basati sugli epicicli e gli eccentrici, esistevano ancora metodi numerici che per la prima volta erano stati sviluppati nell'antica Babilonia.

La loro conoscenza si era però mantenuta e venivano ancora applicati sebbene modificati, in quanto ci si era resi conto che la loro semplice applicazione, a causa della loro antichità, non dava dei risultati che si adattassero alla realtà. Inoltre, non veniva proposto nessun metodo per il calcolo degli anni che erano passati da una data di riferimento ma, come abbiamo visto nel testo di Abbo, venivano presentati già gli intervalli adatti agli esempi proposti, senza fornire la spiegazione di come ricavarli.

⁵² Cfr. O. Neugebauer, op. cit., pp. 793-794.



FIG. 4. La scritta "ABBO" che si legge sul collo dell'uomo indica il nome di Abbo di Fleury, autore del manoscritto contenente un commento alle *Categoriae* di Aristotele. (Bibliothèque Municipale d'Orléans, ms. 277, p. 62)

La descrizione dei metodi avveniva poi attraverso un sistema molto particolare che si era mantenuto sin dai tempi di Vettio Valente: assieme alle regole venivano forniti degli esempi, senza però illustrare come si era giunti a tali risultati e senza dimostrare la loro validità. A quanto pare, l'aspetto che si reputava più importante era mostrare come tali norme dovevano essere applicate e forse ciò serviva a provare la loro correttezza.

Questa scelta "didattica" ricorda in parte quella seguita nei moderni testi matematici delle scuole superiori: prima di elencare l'insieme dei problemi collegati a un argomento, come il calcolo delle soluzioni di un'equazione trigonometrica, viene fornito un esempio di svolgimento di un esercizio analogo, magari racchiuso all'interno di una cornice che serva da punto di riferimento per lo scolaro nello svolgimento dei compiti a casa.

Sono questi gli aspetti che più colpiscono affrontando simili argomenti: come si siano trasmesse le conoscenze astronomiche tra regioni lontane e come queste si siano mantenute per secoli anche attraverso scelte comunicative che presentano analogie con le odierne strategie didattiche operate per migliorare l'apprendimento.

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. È insegnante di Informatica presso l'Istituto Tecnico Industriale Statale "Nullo Baldini" di Ravenna.

Tomasi di Lampedusa, il Principe astronomo

Ileana Chinnici

INAF · Osservatorio Astronomico 'G. S. Vaiana', Palermo

Di Osservatori privati in Italia che dire? [...] [Uno] è a Palermo, e fino a che vivrà il principe di Lampedusa sarà il solo Osservatorio privato degno di essere menzionato.

(TACCHINI, 1888, pp. 111-112)

CON queste parole l'astronomo Pietro Tacchini (1838-1905), rendeva omaggio all'Osservatorio ai Colli, realizzato da Giulio Fabrizio Maria Tomasi, Principe di Lampedusa (FIG. 1), noto per aver ispirato al pronipote Giuseppe Tomasi di Lampedusa (1896-1957) la figura del protagonista del celebre romanzo, *Il Gattopardo*.

Il Principe era nato a Palermo il 12 aprile 1813, secondogenito di Giuseppe Maria Tomasi e Colonna (1767-1833) e di Carolina Wochinger (1784-1843), che il padre aveva sposato in seconde nozze, dopo che la prima moglie, Angela Filangieri e La Farina, era morta di parto, insieme al nascituro. Unico maschio, con due sorelle, nel 1831 Giulio Fabrizio ereditò il titolo di Principe di Lampedusa e Duca di Palma, titolo antico e impegnativo: il casato Tomasi, infatti, risaliva al XVI secolo e aveva dato i natali a vari santi e beati. Lo stemma di famiglia vedeva effigiato un gattopardo rampante su tre colli in campo azzurro, da cui fu poi tratto il titolo del romanzo. Poco si sa sulla formazione del giovane Giulio Fabrizio: è però lecito pensare che possa avere appreso il gusto del rigore matematico dalla madre, una ricca borghese di origine tedesca che riordinò l'amministrazione della famiglia Tomasi, facendo fronte alla disastrosa situazione in cui questa versava.

Nel 1837 il Principe sposò Maria Stella Guccia e Vetrano (1816-1886), da cui ebbe dodici figli, di cui tre morirono in tenera età. Nessuno di loro ereditò gli interessi scientifici del padre; tuttavia, in famiglia uno scienziato vi fu comunque, dato che Maria Stella fu zia del matematico Giovanni Battista Guccia (1855-1914), fondatore, nel 1884, del celebre Circolo Matematico di Palermo. Chissà che non sia stato proprio lo zio astronomo a suggerire al giovane nipote di completare gli studi a Roma, sotto la guida del noto matematico Luigi Cremona (1830-1903).

Quel che è certo è che nel principe Tomasi la passione per la matematica si intrecciò profondamente con quella per l'astronomia, tanto da non poter distinguere quale delle due abbia stimolato l'altra: si può solo notare che il Principe aveva poco più di vent'anni quando fu avvistata la cometa di Halley, ed è possibile che un simile evento abbia attratto la sua natura di attento e curioso osservatore, offrendogli la possibilità di cimentarsi in calcoli astrono-



FIG. 1. Ritratto di Giulio Fabrizio Tomasi di Lampedusa. (da: www.flickr.com/photos/70125105@No6/29060544268/)

mici. È però soltanto nel 1847 che il Principe acquistò un pregevole telescopio rifrattore Merz (FIG. 2), a montatura altazimutale, di 12 cm di apertura. Non è chiaro neppure chi abbia mediato l'acquisto di questo strumento, ma non si può escludere che sia stato il noto naturalista Alexander von Humboldt (1769-1859), che ebbe diversi contatti con la Sicilia in quegli anni. Con questo strumento, il Principe osservò l'eclisse totale di sole del 1851 (Tomasi a Secchi, Palermo, 24 aprile 1857, Archivio Pontificia Università Gregoriana, Fondo Secchi 21): era l'inizio di un progetto che avrebbe portato il Principe a realizzare, nel 1853, un vero e proprio osservatorio privato nella sua Villa ai Colli, nei dintorni di Palermo. Da un elenco degli strumenti posseduti dal Principe nel suo Osservatorio, si deduce come egli avesse lo avesse ben equipaggiato (VITELLO 1987, pp. 254-255), acquistando strumenti moderni e, all'epoca del loro acquisto, persino superiori a quelli dello stesso Osservatorio di Palermo. Il Principe doveva esserne tanto orgoglioso da farlo rappresentare su una carta da lettera (FIG. 3), appositamente intestata "Osser-



FIG. 2. Telescopio Merz del Principe di Lampedusa. (INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo)

vatorio ai Colli del Principe di Lampedusa” (CHINNICI 1997, p. 24): questa è oggi l’unica immagine coeva esistente, dove l’Osservatorio appare come una costruzione a due piani, di cui il primo probabilmente costituiva lo studio e il secondo, con la copertura a cupola, la vera e propria specola.

Il Principe era solito pubblicare nei giornali locali i risultati dei suoi studi, tipici di un astronomo amatoriale: osservazioni di comete e pianeti, congiunzioni, occultazioni, eclissi, ecc. Nelle suddette lettere compare spesso anche il nome del gesuita padre Saverio Pirrone (la cui identità verrà poi mantenuta anche nel romanzo), che fu realmente “ottimo amico” (*Giornale Ufficiale di Sicilia*, 11 aprile 1854) e collaboratore del Principe nelle osservazioni astronomiche. Pirrone aveva trovato ospitalità presso il Principe di Lampedusa dopo gli eventi rivoluzionari del 1848 (Tomasi a Secchi, 1857), dall’impronta fortemente antigesuitica, e ne era diventato amico, condividendone la stessa passione per l’astronomia e probabilmente incoraggiandolo a coltivare questa scienza. La prima osservazione eseguita dall’osservatorio ai Colli di cui si ha notizia sui giornali è quella della cometa 1853-III Klinkerfues (*Giornale Ufficiale di Sicilia*, 26 agosto 1853): da allora in poi, le comete furono sempre tra gli oggetti preferiti di studio del Principe. Proprio le comete, tuttavia, gli tirarono un paio di tiri mancini.



FIG. 3. L’Osservatorio ai Colli come appare nella carta intestata del Principe. (collezione privata)

Nell’aprile del 1857, il Principe osservò per diversi giorni quella che credeva essere la cometa 1857-II; tuttavia, la sera del 17 aprile, osservò un’altra cometa che correttamente identificò con quella di Bruhns: quella che aveva avvistato nei giorni precedenti era dunque una nuova cometa? Scrisse subito al *Giornale Ufficiale di Sicilia*:

Fin dal giorno 14 [aprile] [...] nel mio osservatorio astronomico faceva delle osservazioni su di una cometa telescopica, che giudicava fosse quella di Bruhns. Però [...] venni in sospetto, che quella da me osservata fosse una novella cometa [...]

La cometa di Bruhns [...] fu da me veduta ieri sera per la prima volta, e quindi non dubitai più che fosse una nuova cometa, quella osservata la sera del 13. [...]

Non saprei dirle se questa cometa sia stata da altri osservata...

(*Giornale Ufficiale di Sicilia*, 18 aprile 1857)

L’allora direttore dell’Osservatorio di Palermo, Domenico Ragona (1820-1892), calcolò l’orbita della cometa (FIG. 4), confermando che si trattava di una nuova cometa, la terza del 1857. I giornali locali si affrettarono a battezzarla “cometa Tomasi”, inneggiando ai rinverditi fasti dell’astronomia siciliana (*Giornale Ufficiale di Sicilia*, 21 aprile 1857), la cui ultima scoperta astronomica risaliva all’inizio del secolo (nel 1801, a Palermo era stato scoperto il primo asteroide, oggi pianeta nano, Cerere). Tomasi, tuttavia, rimase dubbioso sull’effettiva scoperta, tanto da ricorrere in privato all’autorità indiscussa dell’astronomo gesuita Angelo Secchi (1818-1878), direttore dell’Osservatorio del Collegio Romano, chiedendo «lumi da Lei onde sapere se realmente questa cometa da me scoperta sia nuova: chi meglio di Lei?» (Tomasi a Secchi, 1857) In effetti, si trattò di un grosso equivoco: la cometa osservata dal Principe era infatti la cometa 1857-I D’Arrest, ancora visibile in maggio, come poté più tardi verificare Ragona, una volta in possesso di effemeridi più precise. Questo incidente, tuttavia, non deve influenzare il giudizio positivo sull’abilità osservativa del Principe: analizzando i risultati delle sue osservazioni, in-

fatti, si nota che l'errore di inquadatura è circa un primo d'arco e mezzo, un valore molto buono per quei tempi (CHINNICI 2011). Un secondo curioso episodio si verificò nel 1877, quando una lettera apocrifa al *Giornale Ufficiale di Sicilia* attribuiva al Principe la scoperta della cometa 1877-V Tempel, cosa che irritò l'autore della scoperta, Wilhelm Tempel (1821-1889), e costrinse Tomasi ad una pubblica smentita (BIANCHI, CHINNICI 2014).

Nella sua attività amatoriale, il Principe entrò certamente in contatto con altri nobiluomini cultori di astronomia, come testimonia la cessione in suo favore di un piccolo telescopio Worthington a scale circolari da parte del barone Ercole Dembowski (1812-1881), celebre osservatore di stelle doppie, anch'egli in possesso di un osservatorio privato. Tomasi ebbe inoltre rapporti amichevoli con gli astronomi dell'Osservatorio di Palermo del periodo post-unitario, che lo definirono «religioso per convinzione, liberale per principi [...] rispettato e amato da tutti i partiti» (CACCIATORE 1885). Una circostanza che conferma la stima di cui godeva presso l'Osservatorio, è la menzione delle sue osservazioni nei rapporti ufficiali della Commissione governativa relativi all'eclisse totale di Sole del 22 dicembre 1870 (FIG. 5), la cui zona di totalità attraversava la Sicilia sud-orientale. In previsione del fenomeno, il Governo italiano unitario organizzò una spedizione scientifica e fece allestire due stazioni di osservazione, una ad Augusta (in provincia di Ragusa) e l'altra a Terranova (l'attuale Gela, in provincia di Agrigento). Il Principe, in compagnia di Padre Pirrone, andò invece ad osservare l'eclisse a Girgenti (Agrigento) su «elevato terrazzo» (Cacciatore 1872, p. 212) in città, portando con sé i suoi strumenti. La scelta del Principe di non unirsi alla spedizione scientifica italiana e di andare ad osservare l'eclisse per conto proprio, è probabilmente da attribuire alla sua indole schiva e riservata. In una lettera ad Angelo Secchi, egli scrive di sé: «Io non amo la [vita di] società; la mia vita è in famiglia; venero la Compagnia di Gesù, e Gesuita è il mio Confessore» (Tomasi a Secchi, 1857). Dalla medesima lettera traspare inoltre l'orgoglio di essere nipote del beato (poi santo) Giuseppe Tomasi (1649-1713). Il suo forte senso religioso, di fatto, lo portò ad essere un generoso benefattore verso le categorie più deboli della società palermitana, e a rifiutare provvedimenti governativi ritenuti ingiusti (CACCIATORE 1885), come

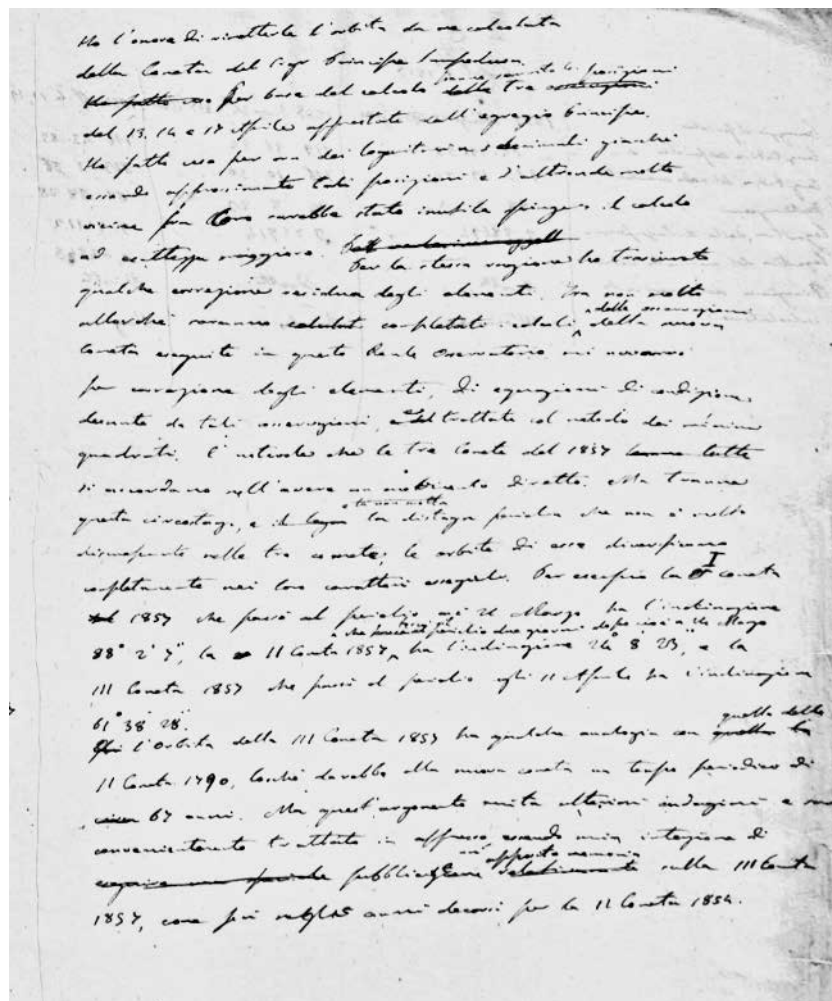


FIG. 4. Manoscritto di Domenico Ragona sulla presunta cometa Tomasi. (Archivio INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo)

le misure reazionarie seguite ai falliti moti antiborbonici del 1848.

Nel 1852, nel mezzo delle vicende risorgimentali della prima guerra d'indipendenza, egli scrive:

In questo momento che tutti gli occhi sono rivolti accuratamente a scrutinare le vicende del nostro globo è permesso però alzare qualche volta gli sguardi al cielo ed umiliarci di fronte al Sommo Fattore.

(*Giornale Ufficiale di Sicilia*, 23 luglio 1859)

L'astronomia sembra dunque essere un rifugio, per il Principe, un modo per evadere dalle inquietudini derivanti dalla difficile situazione politica del tempo: un aspetto della personalità del Principe che sarà in seguito molto ben rappresentato dal pronipote nel romanzo *Il Gattopardo*.

Il Principe continuò certamente le sue osservazioni astronomiche fino al 1883, anno di pubblicazione di una sua lettera, l'ultima, al *Giornale Ufficiale di Sicilia*, a proposito delle osservazioni di alcune comete. Poi, probabilmente già malato, per mettere al sicuro la famiglia dall'epidemia di colera che si annunciava a Palermo, si trasferì a Firenze, dove morì il 27 settembre 1885.

Del suo osservatorio non rimane nulla se non pochi strumenti, acquistati dall'Osservatorio di

L'astronomia *multi-messenger*: didattica, ricerca, cultura e sviluppo del territorio*

Sezione didattica del LXII Congresso Nazionale della SAI - Teramo 2018

A cura di Christian del Pinto, Andrea Cittadini Bellini

Le idee, le storie, le sfide dell'astronomia: spunti per percorsi didattici

Massimo Esposito

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

NEL report OCSE PISA 2015, a proposito dei risultati degli studenti quindicenni nel test di scienze, si legge:

Quando agli studenti viene chiesto di riflettere su cosa apprendono studiando le scienze a scuola, essi rispondono quasi sempre riferendosi alla conoscenza di contenuti – fatti e teorie imparati in biologia, chimica, fisica o scienze della Terra – piuttosto che alla conoscenza delle pratiche scientifiche o a conoscenze che possano essere applicate al di fuori delle carriere di ambito scientifico...¹

Questa considerazione sull'apprendimento delle discipline scientifiche è il riflesso abbastanza fedele di una ben precisa modalità di insegnamento, che è tuttora quella più adottata nelle nostre scuole. In buona sostanza, si fa prevalentemente *trasmissione* di fatti e teorie: il percorso che viene costruito consiste in una sequenza di “verità rivelate” da imparare, da applicare negli esercizi e da riprodurre nelle verifiche. Spesso queste “verità” sono contrarie all'intuizione (la velocità di un oggetto non è proporzionale alla forza con cui viene spinto? Un corpo pesante non cade più velocemente di uno leggero? Chi ha mai visto un corpo non soggetto a forze muoversi di “moto rettilineo uniforme”?) e quasi sempre hanno una correlazione pressoché nulla con l'esperienza e la visione del mondo degli studenti, i quali finiscono inevitabilmente per collocarle tra le “cose di scuola” che servono solo fin quando si è all'inter-

no del meccanismo della scuola, con le sue verifiche, le sue scadenze, i suoi voti.

La pratica didattica non può invece prescindere da una riflessione sui meccanismi dell'apprendimento. In un ambiente di apprendimento in cui tutto viene trasmesso dal docente e dal libro di testo, tutto è da imparare per “finire il programma” e guadagnare la “sufficienza”, il panorama cognitivo risulta “piatto”: tutto è ugualmente importante, nulla lo è davvero. E nulla di quello che viene trasmesso risuona in alcun modo nell'anima di adolescenti sottoposti, oltre ai fisiologici problemi e cambiamenti propri dell'età, a un bombardamento incessante di stimoli esterni all'esperienza scolastica, forti, nuovi, accattivanti. Molti di questi ragazzi finiscono per “attraversare” centinaia di ore di matematica, fisica, scienze naturali senza cogliere appieno le connessioni tra teorie, modelli e fenomeni della natura, perché non c'è apprendimento senza coinvolgimento *personale*, senza sfide, senza inciampi. Non si apprende scienza se non si prova a *fare* scienza.

D'altra parte, viviamo in una società che ha attraversato un cambiamento tumultuoso, al quale ci siamo (più o meno...) adattati: vige ormai il paradigma della connessione ininterrotta e della disponibilità ubiqua e permanente di una quantità praticamente illimitata di dati, con un capovolgimento completo dello scenario in cui buona parte degli attuali adulti è cresciuta e si è formata. Non possiamo pensare che un rivolgimento così profondo e radicale non abbia riflessi sul mondo dell'istruzione e dell'educazione. Più che discutere di “contenuti irrinunciabili” dovremmo occuparci di “elementi irrinunciabili di cittadinanza scientifica”, abbandonando l'impostazione “enciclopedica” propria di un tempo passato, in cui l'accesso alle informazioni era difficile e l'accoppiata “docente – libro di testo” costituiva per molti studenti l'unica fonte di contenu-

* Gli altri contributi presentati alla Sezione didattica del LXII Convegno SAI sono stati pubblicati nel n. 4/2018 del Giornale di Astronomia.

¹ «When prompted to think about what they learn in science at school, students mainly refer to content knowledge – the facts and theories learned in biology, chemistry, physics or earth science classes – rather than to procedural or epistemic knowledge that can be applied outside of science-related carriers...», in OECD PISA 2015 Report.

DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue scienze

Attenenti alla
MECANICA & I MOVIMENTI LOCALI,

del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.

Con una Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi.



IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

FIG. 1.

ti; il ruolo della scuola oggi è quello – ben più difficile, ma forse ancora più decisivo – di costruire le *competenze di cittadinanza scientifica* necessarie per abitare il mondo di oggi e di domani, lavorando sulle pratiche scientifiche fondamentali (*procedural knowledge*), sui meccanismi di costruzione della conoscenza scientifica (*epistemic knowledge*) e sui concetti trasversali fondamentali.

In altri termini: dal sistema di istruzione deve uscire un cittadino consapevole, non uno scienziato in erba; non ragazzi addestrati a imparare a memoria leggi e teoremi per la prossima interrogazione, ma giovani adulti che abbiano *lavorato* almeno su alcuni degli aspetti irrinunciabili della cittadinanza scientifica:

- *Consapevolezza del significato del “fare scienza”*:
“Esperienze” ed “esperimenti”
Che cos’è, da cosa deriva e a cosa serve una “legge fisica”
Come progredisce la conoscenza scientifica
- *Capacità di riconoscere l’importanza dei dati*:
Raccogliere e organizzare dati
Elaborare e presentare dati
- *Capacità di valutare gli aspetti quantitativi di un fenomeno*:
Misure, incertezza, ordini di grandezza
Scale, proporzioni, approssimazioni
- *Consapevolezza del significato e dell’utilità di un modello*:
Il ruolo della matematica nell’indagine scientifica
Il sistema e il modello
La modellizzazione e la simulazione

- *Orientamento rispetto ai nuclei disciplinari fondamentali*.

L’astronomia e l’astrofisica mettono a disposizione dei docenti, attraverso le idee che ne hanno determinato l’evoluzione, le storie che raccontano e le sfide che propongono, un terreno adatto alla costruzione di una proposta didattica che vada nella direzione qui delineata: una proposta in cui si incontrino esperienze ed esperimenti, misure e modelli, osservazione dei fenomeni e ragionamenti fisici. Il tutto in un contesto di antico fascino, che si presta in modo naturale ad attività e richiami di carattere interdisciplinare con la filosofia, la storia, la letteratura, la religione.

Nel presente contributo si propone una traccia intorno alla quale si può costruire un progetto didattico di ampio respiro, a partire dalla forza più misteriosa e al contempo più familiare tra quelle che danno forma alla nostra esperienza del mondo: la gravità, la forza dominante su scala cosmica.

Galilei

Galilei nasce in un mondo in cui è appena iniziata la prepotente ascesa economica, politica e tecnologica dell’Occidente; un mondo in cui, peraltro, la visione aristotelica della natura è dogma («il Signore ci ha dato gli occhi per leggere il libro di Aristotele», secondo il Collegio Romano). Quando si parla di Galilei nella scuola (quando se ne parla ...) si tende a descriverlo come colui che ha introdotto il “metodo scientifico” basato sui dati sperimentali e sull’uso della matematica per descrivere i fenomeni naturali; in questo modo si trasmette l’idea che la matematica sia solo un altro “linguaggio”, più sintetico e meno ambiguo di quello naturale, e si sminuisce il valore dell’esperimento, riducendolo alla dimensione della misurazione e della raccolta di dati. In realtà, il cambiamento di paradigma prodotto da Galilei risiede essenzialmente in due “passi da gigante” che egli compie:

- 1) introduce l’uso delle *linee di ragionamento della matematica* nel discorso sulla natura, e non solo delle relazioni quantitative;
- 2) individua la necessità di creare delle situazioni *artificiali* (“*setting*” sperimentali) per condurre osservazioni e misurazioni in condizioni *controllate*, in modo da ridurre al minimo i disturbi provenienti dal mondo naturale.

In altri termini, concepisce l’idea di *esperimento*, in cui le grandezze interessanti dal punto di vista fisico vengono in qualche modo isolate dal contesto “rumoroso” – a differenza di quanto avviene nelle *esperienze sensoriali* – e di *modello*, in cui le relazioni *quantitative* tra le grandezze fisiche possono essere indagate tramite gli strumenti della matematica.

Il famoso aneddoto della caduta dei gravi dalla Torre di Pisa rappresenta proprio il mondo che Galilei si è lasciato alle spalle; se avesse fatto quell'esperienza (non è un esperimento!) avrebbe finito per muoversi nel solco della visione aristotelica, e avrebbe constatato che il grave più pesante cade più velocemente... Il lavoro di Galilei sulla gravità si muove invece lungo due linee completamente nuove e rivoluzionarie: da un lato, nei *Discorsi intorno a due nuove scienze* (1638) dimostra per assurdo – quindi con una linea di ragionamento puramente matematica – che due gravi di peso diverso cadono con la stessa velocità.² Dall'altro, con la costruzione del piano inclinato, realizza i primi *esperimenti* sulla gravità, che gli consentono di isolare le grandezze significative e di renderle più facilmente misurabili (sarà difficile, per i nostri ragazzi che vivono circondati da computer, immaginare Galilei che misura il tempo di discesa lungo il piano inclinato pesando l'acqua che durante l'esperimento esce da una damigiana attraverso un «sottile cannellino»...) (FIGG. 1 e 2).

Newton

Allo scienziato inglese, nato nell'anno della morte di Galilei, dobbiamo altri "passi da gigante" nel percorso verso la modernità, tra cui la legge di gravitazione universale e l'invenzione del calcolo infinitesimale. La legge di gravitazione di Newton, che con una prodigiosa generalizzazione inserisce in un quadro coerente l'eredità di Galilei e quella di Keplero, fornisce un esempio didatticamente impareggiabile del significato, della potenza e dei limiti di una legge fisica, oltre a offrire molteplici occasioni di realizzare esperienze, misure e simulazioni.

Le tre leggi di Keplero sono di carattere *empirico*: esse furono ricavate esclusivamente dai dati disponibili, che derivavano dalle accurate misurazioni astronomiche effettuate per anni da Tycho Brahe. Analizzando i dati, Keplero era giunto alla conclusione – sbalorditiva, per un uomo del Seicento – che le orbite dei pianeti non sono circolari, ma ellittiche

² «Ma, senz'altre esperienze, con breve e concludente dimostrazione possiamo chiaramente provare, non esser vero che il mobile più grave si muova più velocemente d'un altro men grave. Quando noi avessimo due mobili, le naturali velocità dei quali fossero ineguali, è manifesto che se noi congiungessimo il più tardo col più veloce, questo dal tardo sarebbe in parte ritardato, ed il tardo in parte velocitato dall'altro più veloce. Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muova, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, congiungendole il loro composto si muoverà con velocità minore di otto, per esempio sei. Ma le due pietre congiunte insieme fanno una pietra maggiore che della prima e quindi secondo la vostra ipotesi dovrebbero muoversi con velocità maggiore di otto, invece...».

Da notare, nel testo originale, il riferimento alla dimostrazione che avviene «senz'altre esperienze»: fa la sua comparsa il *gedanken experiment*.

Nei *Discorsi*, Galilei perviene, tra l'altro, ancora una volta con un esperimento mentale, a una prima formulazione del principio di inerzia, che verrà poi formalizzato da Newton pochi anni dopo.

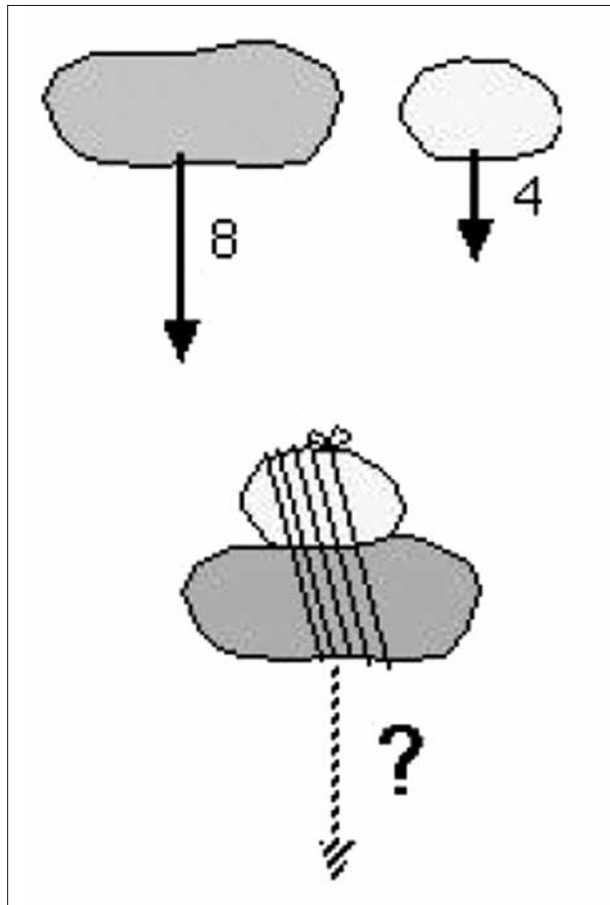


FIG. 2.

(prima legge). La seconda legge afferma che "Il raggio vettore che unisce il Sole al pianeta spazza aree uguali in tempi uguali", e la terza che "Il quadrato del periodo dell'orbita è proporzionale al cubo della distanza media del pianeta dal Sole".

L'idea da cui Newton parte è che tra due corpi *qualunque* esista una forza attrattiva diretta lungo la retta che congiunge i centri (di massa) dei corpi stessi. La conseguenza immediata di questa ipotesi è che la forza che fa scendere il grave lungo il piano inclinato di Galilei è *la stessa* che trattiene la Luna nell'orbita della Terra! A partire da questa idea, tanto ardita quanto geniale, e dai dati già all'epoca disponibili (distanza Terra – Luna e periodo dell'orbita lunare), si può costruire un'unità di apprendimento che abbia come *prodotto finale* la legge di gravitazione universale di Newton, con apporti disciplinari di fisica, matematica, informatica, storia e filosofia.

Un percorso didattico

Di seguito vengono delineati alcuni passi significativi del percorso proposto, limitatamente agli aspetti più strettamente tecnico-scientifici; è sicuramente opportuno immaginare un apporto degli insegnanti di discipline storico-filosofiche che aiuti a ricostruire il contesto e a capire le dinamiche di un'epoca tra le più vivaci nella storia della nostra civiltà.

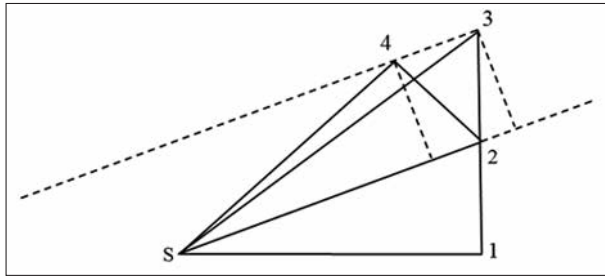


FIG. 3.

- 1) Mostrare per via geometrica che dalla sola ipotesi di una forza diretta verso il centro deriva la seconda legge di Keplero (ancora una volta, una linea di ragionamento puramente *matematica* conduce a conclusioni di carattere *fisico*) (vedi FIG. 3);³
- 2) effettuare, tramite riprese video realizzate con uno smartphone e il software (gratuito) *Tracker* (<https://physlets.org/tracker/>), misurazioni di posizione, tempo e velocità nella caduta di un corpo al suolo. Attraverso l'uso di un foglio di calcolo, ricavare il valore dell'accelerazione di gravità sulla superficie terrestre e confrontarlo con quello fornito dagli accelerometri presenti in tutti gli smartphone (esistono svariate *app* gratuite per visualizzare le misure di accelerazione effettuate dai tre accelerometri presenti negli smartphone);
- 3) a partire dai dati noti (distanza Terra-Luna, raggio della Terra e periodo dell'orbita lunare) e procedendo per via trigonometrica, determinare di quanto *cade* la Luna in 1 secondo (FIG. 4);⁴
- 4) confrontare questo dato con la caduta in 1 secondo del corpo di cui al punto 2), individuando così la relazione *quantitativa* tra le due misure e la dipendenza $a = k/D^2$ dell'accelerazione di gravità dal reciproco del quadrato della distanza dal centro della Terra;
- 5) mostrare per via algebrica – approssimando l'orbita lunare con un moto circolare uniforme – che dalla dipendenza dell'accelerazione di gravità dal reciproco del quadrato della distanza deriva la terza legge di Keplero;
- 6) adoperando un foglio di calcolo, riprodurre con una simulazione l'andamento dell'orbita terrestre intor-

³ Nella FIG. 3, S è la posizione del Sole, 1 la posizione iniziale del pianeta, 2 la posizione dopo un tempo dt , 3 la posizione che il pianeta occuperebbe dopo $2dt$ se NON ci fosse la forza diretta verso il Sole, 4 la posizione che il pianeta occupa dopo $2dt$, ottenuta componendo lo spostamento 2-3 dovuto al moto rettilineo uniforme in verticale e lo spostamento 3-4 dovuto all'attrazione del Sole. S_{12} è equivalente a S_{23} per l'ipotesi di moto rettilineo uniforme, S_{23} è equivalente a S_{24} perché hanno base in comune e altezze uguali. Per cui S_{12} è equivalente a S_{24} .

⁴ Con l'occasione si può evidenziare come, contrariamente a quanto pervicacemente sostenuto da giornalisti "scientifici", gli astronauti che "galleggiano" nella Stazione Spaziale Internazionale in orbita intorno alla Terra non vivono "in assenza di gravità", ma cadono continuamente verso la Terra con la stessa accelerazione (di gravità) della Stazione stessa!

Un altro esperimento interessante e istruttivo consiste nel lasciar cadere uno smartphone (su un cuscino, magari) e verificare che i tre accelerometri indicano gravità zero, anche se la gravità c'è, altrimenti lo smartphone non cadrebbe! «Il pensiero più felice della mia vita» secondo Einstein che, non disponendo dello smartphone, immaginava un ascensore con il cavo reciso.

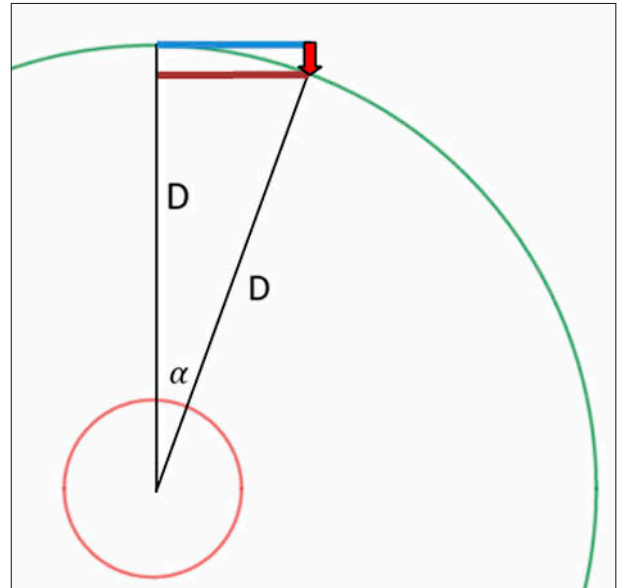


FIG. 4.

no al Sole, a partire dai parametri fisici noti del sistema: massa del Sole (perché non serve quella della Terra?), distanza media Terra-Sole, velocità media del moto di rivoluzione della Terra. Si può così constatare, tramite simulazione, l'ellitticità dell'orbita della Terra, ossia la prima legge di Keplero, ma soprattutto costruire uno strumento di indagine che consente di realizzare indagini *what-if* e di entrare in contatto con la potenza – e con le insidie! – del calcolo numerico: è anche questo un importante elemento di "cittadinanza scientifica".

Vale la pena di evidenziare le caratteristiche che fanno di un'attività di simulazione di questo tipo un potente strumento didattico:

- a) È lo studente a costruire il modello; si tratta di un problema poco strutturato, che richiede di formulare ipotesi di lavoro, prendere decisioni progettuali, verificarne l'impatto, percorrendo tutte le fasi tipiche del *problem solving*. Ciò costituisce un capovolgimento delle abitudini didattiche: di solito vengono insegnate procedure per "risolvere problemi" e poi si fornisce agli studenti il problema da risolvere, con tutti i dati necessari. La vita vera funziona al contrario: c'è un problema da risolvere, si sa *cosa* si vuole ottenere e bisogna capire *come* ottenerlo, magari non avendo neanche a disposizione *tutti e soli* i dati necessari.
- b) La costruzione del modello richiede solo la conoscenza di base delle funzionalità e degli operatori aritmetici di un foglio di calcolo e la realizzazione di un semplice grafico, ed è quindi alla portata di tutti gli studenti.
- c) Il lavoro si articola su piani diversi: il fenomeno fisico, la rappresentazione geometrica e quella algebrica, la struttura, la rappresentazione e le connessioni tra i dati. La *possibilità di commettere errori* in ciascuno di questi piani e la conseguente necessità di indagare e riflettere per trovarli e correggerli stimola una comprensione più profonda e aiuta a costruire competenza.

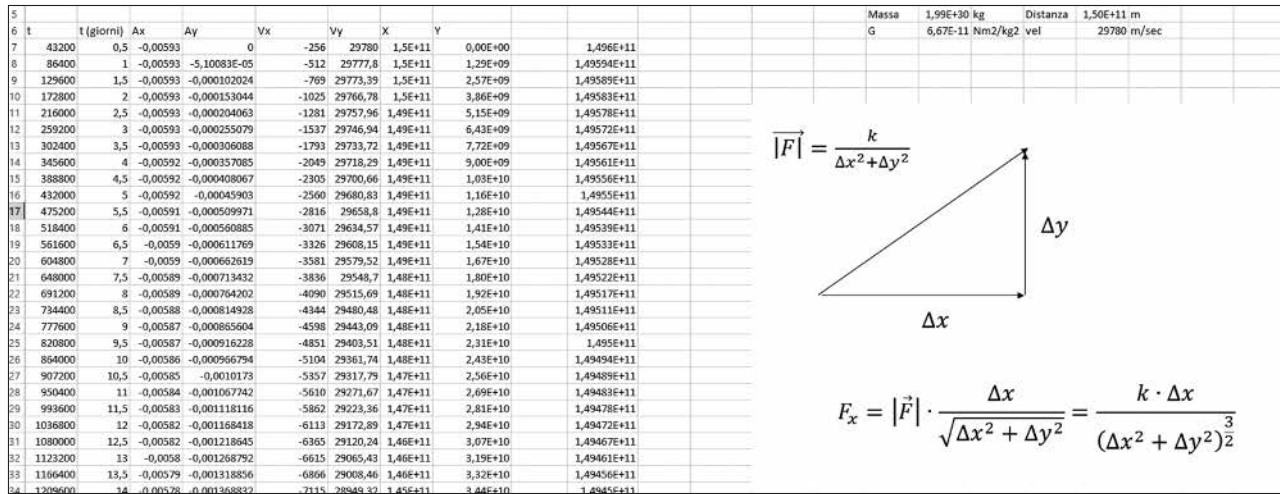


FIG. 5.

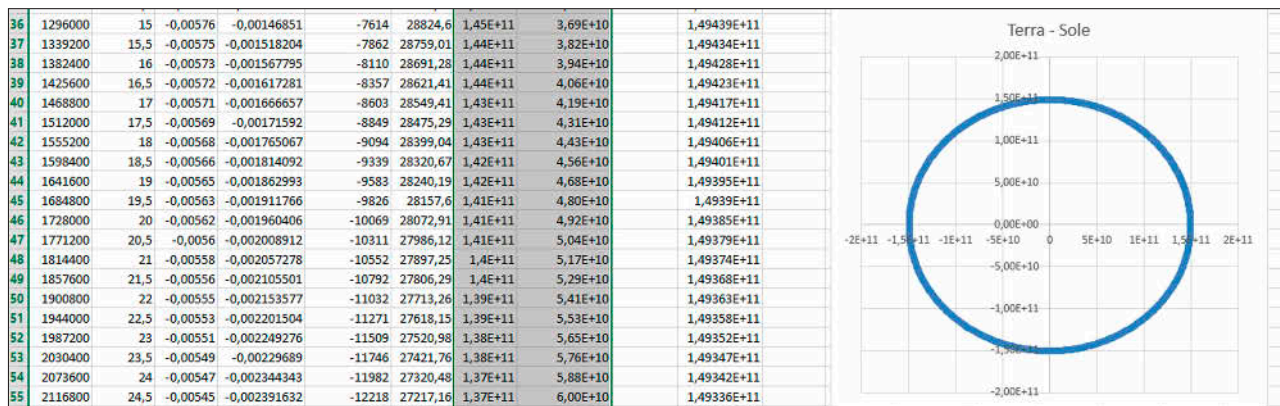


FIG. 6.

d) Non essendoci un'unica "soluzione giusta" del problema, si crea l'opportunità, interessante e istruttiva, di confrontare i diversi prodotti degli studenti o dei gruppi di studenti e i relativi risultati. (FIGG. 5 e 6)

Ognuna di queste attività presenta una sua complessità tecnica e didattica, e tutte richiedono accurata progettazione e attenta regia da parte del docente. In questa sede si vuole fornire uno spunto, che ovviamente va opportunamente adattato alla realtà nella quale si va ad applicare; quello che va sottolineato è il valore dell'approccio *hands-on* da parte degli studenti. L'attività non va pensata come una "lezione", con uno svolgimento "ordinato", prevedibile nei tempi e nei risultati, senza "errori": dovrà essere invece un'esperienza di lavoro laboratoriale – anche se svolta magari in parte in aula o a casa – in cui ci si "sporca le mani", si sbaglia, si collabora, si prendono informazioni da fonti diverse, si effettuano misure, si coinvolge il docente (o i docenti) come supporto, guida, stimolo alla riflessione critica.

La legge fisica

A partire da un percorso didattico come quello proposto, già denso di temi e di metodiche rilevanti dal punto di vista delle competenze scientifiche di base, si può approfondire il discorso sul ruolo e sul signifi-

ficato di una legge fisica, a partire dall'esperienza fatta nel "ricavare" la legge di gravitazione di Newton, sulla falsariga della nota e bellissima lezione di Richard Feynman.⁵ Si sottolinea qui una volta di più come questo sia un aspetto fondamentale della didattica delle discipline scientifiche: la conoscenza "trasmessa" dal docente o mediata attraverso il libro di testo è intrinsecamente fragile e poco "trasferibile" – come evidenziato dalla citazione del report OCSE-PISA in apertura – in quanto non portatrice di senso. Non si costruisce una "mappa", ma semplicemente si accumulano nozioni attraverso i capitoli, i paragrafi e gli "esercizi", al livello più basso delle tassonomie degli apprendimenti, quello della pura memorizzazione. A quel livello, non c'è alcuna differenza tra una legge fisica, un teorema di matematica, una poesia e la data di una battaglia. Un'esperienza laboratoriale come quella delineata sopra, viceversa, consente da un lato di apprezzare direttamente il potere di generalizzazione della legge di gravitazione, che da sola porta "in dote" le tre leggi di Keplero, dall'altro richiede allo studente di (acquisire e) mobilitare conoscenze e abilità di geometria, di algebra, di trigonometria, di informatica, forzando così le barriere tra le discipline e dentro le discipline, tra quello che si fa a scuola e quello che

⁵ R. FEYNMAN, *La legge fisica*, Bollati Boringhieri, 1993.

magari si è imparato “fuori”, attivandosi in modo *autonomo, responsabile e collaborativo*. La traccia che essa lascia è molto più profonda e duratura, e fornisce al docente la possibilità di arricchire il discorso sul senso e sulla potenza di una legge fisica, organizzando attività didattiche – ad esempio con il metodo della *flipped classroom* – su alcune delle questioni scientifiche e delle scoperte nelle quali il contributo della legge di gravitazione di Newton è decisivo:

- la spiegazione delle maree e della loro periodicità;
- la prima determinazione sperimentale del valore della velocità della luce;
- la scoperta di Nettuno;
- l’ipotesi dell’esistenza del pianeta Vulcano per spiegare la precessione anomala nel perielio dell’orbita di Mercurio;
- la scoperta della materia oscura da parte di F. Zwicky e V. Rubin.

Anche la precessione anomala del perielio di Mercurio può venire utilmente affrontata con lo strumento della simulazione: si può verificare, costruendo con il foglio elettronico un modello appena un po’ più complicato di quello discusso in precedenza, come effettivamente la presenza di un pianeta più vicino al Sole rispetto a Mercurio ne altererebbe l’orbita. Si incontra qui un punto di importanza centrale: il limite di validità di una legge fisica. Quando un fenomeno non si accorda con una teoria scientifica e con le leggi fisiche che la rappresentano, queste non smettono di essere “giuste”: è stato però raggiunto il confine entro cui esse sono valide, ed è qui che la faccenda si fa interessante! Si tratta di un’idea per niente scontata per ragazzi abituati a pensare alla scienza come il luogo delle verità assolute, generali e incontestabili, e di un tema molto stimolante per un lavoro interdisciplinare con l’insegnante di filosofia.

Conclusioni

Oltrepassare il confine di validità di una legge fisica nota, costruendo una nuova teoria e delle leggi

più generali, dai confini più ampi, è quello che chiamiamo “progresso scientifico”, è quello che ci consente di capire più a fondo l’universo in cui viviamo e il nostro posto in esso, di crescere come esseri umani e di adoperare questa conoscenza per costruire strumenti che possono concorrere a migliorare la nostra vita. È quello che è avvenuto negli ultimi cinque secoli, a un ritmo sempre più tumultuoso.

Di conseguenza, il futuro delle nostre comunità dipende anche da quanto saremo capaci di costruire e diffondere consapevolezza scientifica, soprattutto in coloro che non fanno – o non faranno – della scienza una professione, e soprattutto nel momento storico che viviamo. Si inizia infatti a cogliere i segnali di una crescente diffidenza verso il progresso della conoscenza scientifica e verso l’uso dei dati come strumento di lettura della realtà; ciò è tanto più paradossale in una società sempre più dipendente dalla tecnologia – che è pur sempre un prodotto del progresso scientifico – e sempre più immersa nei *big data*. Si avverte una diffusa nostalgia per una presunta “età dell’oro” e si fa fatica a usare le lezioni del passato e i progressi compiuti – pur con tutti i limiti e le contraddizioni – per affrontare le criticità del presente e immaginare il futuro.

Affrontare la questione della cittadinanza scientifica è dunque un dovere ineludibile del sistema di istruzione. Attrezzarsi per questo compito significa, in primo luogo, abbandonare una volta per tutte l’idea che la scienza coinvolga tematiche, concetti e strumenti “tecnici”, da “specialisti”, appannaggio di ragazzi dotati di particolari inclinazioni naturali, e che l’insegnamento delle discipline scientifiche richieda, per essere efficace, strumenti e ambienti di apprendimento sofisticati e costosi; troppo spesso la (presunta) mancanza di queste “inclinazioni” e di questi strumenti ha rappresentato un alibi per non mettere in discussione pratiche didattiche consolidate quanto inefficaci, per non affrontare la fatica di crescere come cittadini consapevoli, per non raccogliere la sfida che la natura intorno a noi, con i suoi misteri e la sua bellezza, ci propone ogni giorno.

Massimo Esposito, laureato con lode in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Napoli nel 1982, ha lavorato per dieci anni in ambito industriale nei settori delle telecomunicazioni e dell’informatica. Docente di ruolo nelle scuole secondarie di secondo grado dal 1992, ha insegnato dapprima informatica e successivamente matematica e fisica. In quanto vincitore del concorso ispettivo del 2008 negli ambiti disciplinari di matematica e fisica e di informatica, ha preso servizio come Dirigente Tecnico presso la Direzione Generale per gli Ordinamenti scolastici e la Valutazione del Sistema nazionale di istruzione del MIUR, incarico che ricopre tuttora.

Cent'anni fa★

A cura di Donatella Randazzo e Ileana Chinnici

INAF · Osservatorio Astronomico 'G. S. Vaiana', Palermo

Annibale Riccò

(p. 98)

SULLA breccia, come cade il soldato valoroso, così Egli è caduto.

Era venuto, già ammalato, a Roma per assistere a una Commissione antisismica, e una pernicioso malarica lo uccideva il 23 settembre: intanto 48 ore dopo spegnevasi a Catania la moglie sua colpita da identica infezione!

Era Annibale Riccò lo spirito vivificatore della nostra Società; la dipartita di lui la lascia orba del padre amoroso, previdente e sapiente.

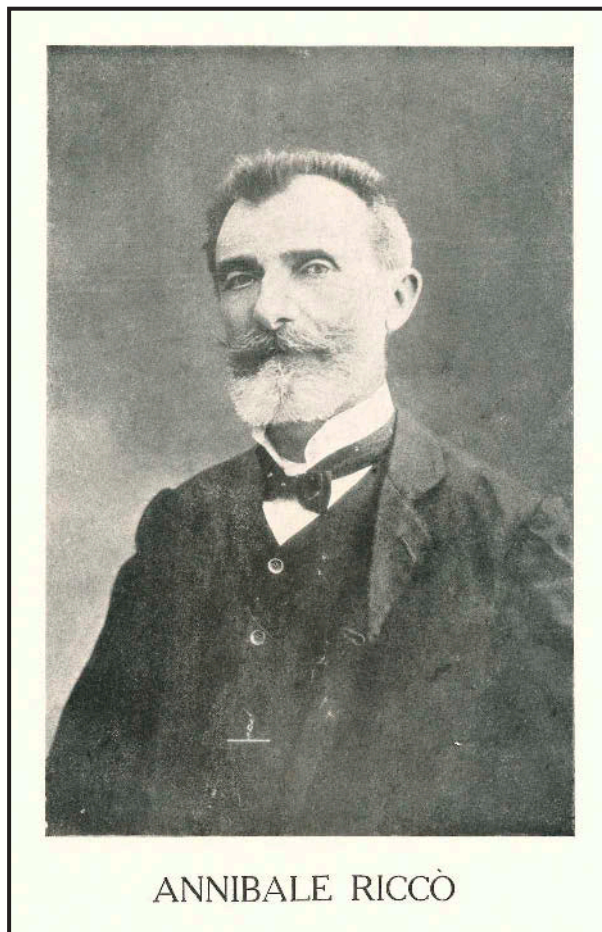
L'astro-fisica e la geo-fisica perdono un insigne cultore di un ardore e di un'attività incommensurabili, la fisica solare un ricercatore ed un osservatore che in Italia non temeva confronti.

Il 15 settembre egli raggiungeva quel limite d'età per il quale doveva lasciare e cattedra e osservatorio, nato essendo a Modena in quel giorno del 1844; questa ineluttabile necessità accorava vivamente il suo spirito, poiché sentiva in sé piena ancora la vigoria pur nel tardeggiar della vita.

Annibale Riccò nel 1866 conseguiva in Modena la licenza in matematica pura, due anni dopo il diploma d'ingegnere dell'I.T. Superiore di Milano e la laurea in scienze naturali a Modena. Per alcuni anni fu assistente dell'osservatorio di Modena e, per breve tempo, professore di fisica tecnica nella R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli. Fra il 1880 e 1883 fu astronomo all'Osservatorio di Palermo, poi, per l'Art. 69 della legge Casati, divenne professore d'astro-fisica nella R. Università di Catania e direttore del neo-Osservatorio, assumendosi anche la direzione dei servizi geodinamici della Sicilia e delle isole adiacenti, nonché curando i servizi meteorologici. Come se tutto ciò non bastasse, dipendevano dalle sue cure e la vedetta Gemmellaro sull'Etna e quella stazione astronomica sul vulcano, fatta erigere da P. Tacchini, sentinella avanzata in altitudine, ma esposta a perigliosi cimenti.

Egli poteva accollarsi tanti e così svariati campi scientifici perché vi suppliva col sapere e con un'attività prodigiosa e senza mai soluzioni di continuità, ma, poiché la riapparizione d'una simigliante figura sarebbe fortuna poco probabile, parmi che colà siavi messe non soltanto per una sola energia direttrice.

* Estratti dal Vol. VIII, S. II (1919) delle *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*.



Non è qua il caso di entrare in una qualsiasi esposizione di dettaglio della produzione scientifica di Annibale Riccò, che è enorme e dispersa in un gran numero di pubblicazioni di Accademie e Società italiane e straniere, di molte delle quali egli era ornamento. Nelle Memorie della nostra Società vi sono suoi scritti sopra trecento. Una gran parte di essi riguarda la fisica solare in osservazioni dirette e spettroscopiche, dalle quali ricavava preziosi saggi statistici, puossi dire di trimestre in trimestre, di macchie, facole e prominente dal 1880 ad oggi, traendo importanti conseguenze sulle anomalie nell'attività solare, sui massimi e sui minimi di questa in riguardo a cicli accertati e sulle relazioni che si manifestano fra le radiazioni del sole e gli aghi calamitati; a strappare poi dai misteri del sole qualche insegnamento nei momenti che la luna lo eclissa del tutto, fece parte di più spedizioni scientifiche per poter analizzare la luce di quelle regioni di esso che non si rendono manifeste durante un eclisse totale, ed alcuni suoi accertamenti vennero acquisiti alla scienza.

All'Osservatorio di Catania venne assegnata la zona celeste $+ 46^{\circ} + 55^{\circ}$ nel lavoro internazionale fotografico del Catalogo e della Carta del cielo, di qui cure infinite di Lui, preoccupazioni non poche e tecniche e morali e sforzi ammirabili per tentar di soddisfare al grande obbligo in mezzo ad angustie economiche e in tempi fattisi sempre più difficili.

Benché l'astro-fisica solare sia stata da lui coltivata con predilezione, tuttavia non apparve qualche lucente cometa che egli non ne abbia studiato lo spettro; abilissimo disegnatore quale era, quanto potevasi tradurre in rappresentazione grafica lo occupò intensamente, donde un numero stragrande di tavole riguardanti fenomeni astro-fisici solari e in generale celesti, le quali si riscontrano specialmente nelle nostre Memorie. Trovava il nostro defunto il tempo a ricerche scientifiche lontane dagli abituali suoi studi solari, così che abbiamo sue determinazioni di gravità relativa in Stazioni della Sicilia orientale. Agli impegni assunti dei servizi geodinamici, in una regione flagellata dai terremoti, a

quelli di vigilanza del vulcano, alla aerologia locale, a tutto ciò sapeva tener testa, consacrando al lavoro le ore che gli uomini pur attivi e di studio donano al riposo.

Alle qualità della mente, alla svariata coltura fisico-naturalistica, alla attitudine rappresentativa associava uno spirito mite e un animo gentile, e però Annibale Riccò ebbe numerosissimi ammiratori ed amici in Italia e all'estero, dove fu in modi diversi riconosciuto il suo alto valore. Curò con saggezza ed amore l'educazione della numerosa sua prole oggi afflitta d'ineffabile dolore, perché in poche ore resa orba di padre e di madre.

A nome di tutti i colleghi della Società degli Spettroscopisti mando a te, mio amato Annibale, il supremo addio. È vivo nel mio animo il ricordo che l'ultima persona che tu riconoscesti pria che la coscienza ti si smarrisse del tutto, è stato

Il vecchio tuo collega ed amico

E. MILLOSEVICH

Roma, 3 ottobre 1919

Donatella Randazzo, laureata in Biologia e diplomata "Librarian" in Inghilterra, è bibliotecaria all'INAF-Osservatorio Astronomico "G. S. Vaiana" 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

Il disegnatore misterioso

Giada Genua · Donatella Randazzo

INAF · Osservatorio Astronomico 'G. S. Vaiana', Palermo

A METÀ dell'Ottocento qualcuno all'Osservatorio Astronomico di Palermo utilizzava la propria passione e anche un discreto talento per il disegno in un modo che diremmo... poco ortodosso! Nell'archivio storico, durante i recenti lavori di spolveratura e ricondizionamento dei documenti,¹ tra le carte dei fondi degli astronomi, i registri di meteorologia e le lettere della corrispondenza ufficiale, sono stati notati infatti due schizzi a inchiostro nero, che si accompagnano a calcoli e conti di mano di Giuseppe Cacciatore. Nel primo (FIG. 1), un paladino interamente rivestito da un'armatura, con la mano sinistra appoggiata sulla sua voluminosa spada, punta minacciosamente il dito della mano destra contro un alto prelato, probabilmente un cardinale o un Papa, che gli sta di fronte, seduto su un trono; vicino al prelato sono abbozzate altre autorità ecclesiastiche. Nel secondo disegno (FIG. 2) è raffigurato un anziano prelato con la lunga barba, piuttosto somigliante al primo, accanto a delle prove di calligrafia e all'abbreviazione «R. Os.» (Reale Osservatorio). Un terzo schizzo (FIG. 3), forse appartenente alla stessa mano, raffigurante ancora una volta un paladino, ma stavolta armato di lancia e scudo, si trova tra le pagine di uno dei quaderni personali di Giuseppe Piazzi (1746-1826), fondatore e primo Direttore dell'Osservatorio di Palermo.

E non sono le uniche opere del misterioso artista presenti sulle antiche carte dell'Osservatorio, perché le sue tracce si trovano anche su alcuni libri del-

* 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 Come volontaria del Servizio Civile Nazionale, Giada Genua, restauratrice di beni librari ed archivisti, si sta occupando della conservazione dell'archivio storico.



FIG. 1. Schizzo raffigurante il paladino in armatura che punta il dito contro un alto prelato, su un foglio da calcolo tra i documenti di Giuseppe Cacciatore. (Archivio Storico, Serie VII: Fondi degli Astronomi, cart. 86, fasc. 9)

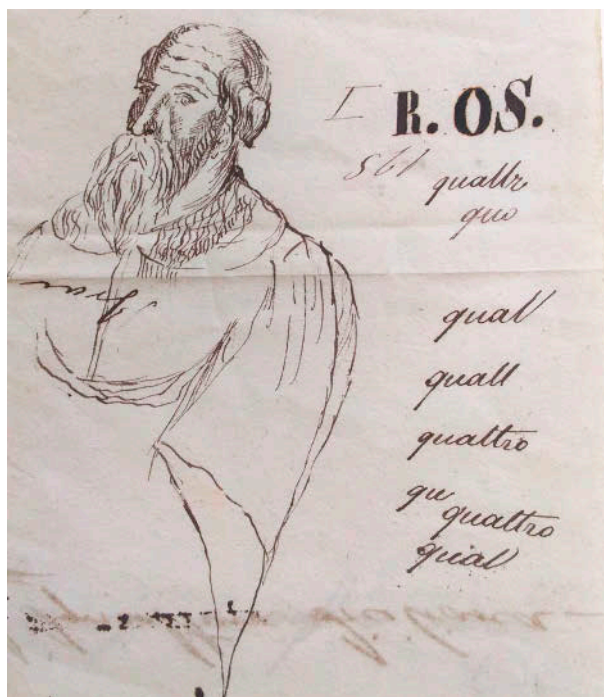


FIG. 2. Schizzo raffigurante un anziano prelato, con accanto prove di calligrafia. (Archivio Storico, Serie VII: Fondi degli Astronomi, cart. 86, fasc. 9)



FIG. 3. Paladino con lancia e scudo, su un quaderno personale di Giuseppe Piazzi. (Archivio Storico, Serie VII: Fondi degli Astronomi, cart. 77, fasc. 7)



FIG. 4. Controguardia del libro: M. TULLII CICERONIS, *De officiis libri III cum argumentis: item De amicitia, De senectute, Paradoxa, De petitione consulatus, & Fragmenta; cum sectionibus capitum, & selectis variantibus lectionibus*, Patavii 1742, Ex Typographia Seminarii apud Joannem Manfrè.

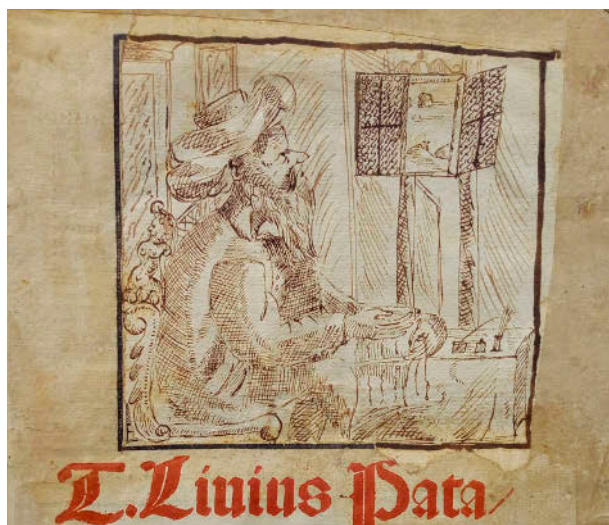


FIG. 5. Particolare del frontespizio del libro: T. LIVIUS PATAVINUS HISTORICUS *duobus libris auctus: cum L. Flori Epitome. Addito indice copioso et Leonardo Aretino de primo bello Punico. Ac imaginibus res gestas exprimentibus*, Venetiis, per Melchiorum Sessam & Petrum de Rauanis socios, 1520.

la biblioteca: un volto appena accennato (FIG. 4) si trova sulla controguardia di un libro di Cicerone, datato 1742; un vero e proprio quadro ad inchiostro (FIG. 5) che raffigura un uomo seduto a uno scrittoio, con lo sguardo rivolto al panorama visibile da una finestra aperta, rimpiazza il ritratto di Tito Livio sul frontespizio di un volume datato 1520; ed infine un'intera serie di tavole disegnate a mano (FIG. 6) corredano un libro di Nicerone, datato 1646; in tutti i casi si tratta di libri appartenuti a Niccolò Cacciatore, padre del sopracitato Giuseppe. Ma chi era dunque questo disegnatore misterioso? Per indagare sulla sua identità bisogna innanzitutto conoscere

la storia dell'Osservatorio e i suoi protagonisti e contestualizzare le loro vicende nel periodo storico di riferimento.

Giuseppe Cacciatore è il principale "sospettato" come autore dei disegni, visto che alcuni degli schizzi si trovano proprio tra i suoi documenti. Giuseppe apparteneva ad una famiglia di astronomi che si era insediata all'Osservatorio palermitano pochi anni dopo la sua fondazione: Niccolò Cacciatore (1780-1841), suo padre, era stato assistente di Giuseppe Piazzi (1746-1826), fondatore e primo Direttore dell'Osservatorio di Palermo, e lo aveva aiutato nella costruzione della meridiana della Cattedrale e nella compilazione del suo catalogo stellare dal 1814; Piazzi era molto affezionato a Niccolò, tanto che, nonostante i suoi pochi lavori di astronomia, ne aveva proposto la nomina a Direttore dell'Osservatorio quando nel 1817, per volere del Re dovette trasferirsi a Napoli per sovrintendere alla costruzione della Specola di Capodimonte. Divenuto Direttore, Niccolò diede inizio ad una vera e propria "dinastia", che occupò l'Osservatorio per quasi un secolo. Dei suoi tre figli maschi, il primogenito, Innocenzo (1811-1867), fu il primo giovane studioso di astronomia a occupare la posizione di "Assistente Piazzi", ruolo creato e finanziato fino al 1839 grazie a un co-

spicuo lascito di Piazzì. Dei rimanenti figli, colui che si distinse maggiormente fu certamente il secondogenito Gaetano (1814-1889), nominato Direttore dell'Osservatorio alla morte del padre nel 1841 e protagonista delle locali vicende risorgimentali. Gaetano Cacciatore, infatti, non nascose le proprie posizioni antiborboniche e anticlericali e venne rimosso dal suo incarico per aver partecipato ai moti rivoluzionari del 1848; dopo l'Unità d'Italia, venne invece reintegrato nel suo ruolo. Nel frattempo, il terzogenito Giuseppe iniziava a muovere i primi passi della sua carriera astronomica, divenendo nel 1840 alunno dell'Osservatorio e in seguito Primo Assistente. Durante gli anni di esilio del fratello Gaetano, mentre questi si occupava di ingegneria mineraria nelle solfate siciliane, Giuseppe rimase all'interno dell'Osservatorio e addirittura, tra il 1851 e il 1853, durante l'assenza del direttore Domenico Ragona (1851-1853), resse per incarico la direzione dell'Osservatorio. Non sappiamo molto delle sue successive vicende, se non che rimase a lavorare nella stessa sede almeno fino al 1863. Eppure, i nostri sospetti su Giuseppe quale artefice dei disegni sono molto forti. Vediamo perché.

I disegni ritrovati in archivio sono conservati all'interno di un fascicolo datato 1845. A quell'epoca Giuseppe aveva 22 anni. Non conosciamo molto della sua personalità e delle sue ambizioni, ma la recente fortunata acquisizione di una lettera inedita (FIG. 7) indirizzata a lui dal padre Niccolò nel giugno del 1840 apre una finestra sulla vita privata del giovane *Peppinello*.

Sento anche con piacere che state scrivendo un romanzo su di un pezzo d'istoria de' tempi di mezzo, e che il nostro D.n Filippo lo approva. Proseguite dunque, leggetevi tutto ciò che può darvi sane idee intorno agli usi ai costumi alla maniera di pensare della società in quei tempi disgraziati e violenti. Ma purchè però non togliate il tempo allo studio delle belle lettere, e all'altro delle matematiche: applicazioni per voi sacre principalmente in questo anno.²

Il 1840 era infatti il primo anno in cui Giuseppe si trovava all'Osservatorio come alunno ed il padre

² Lettera privata di Niccolò Cacciatore al figlio Giuseppe, data 5 giugno 1840, ora conservata presso l'Osservatorio Astronomico di Palermo.

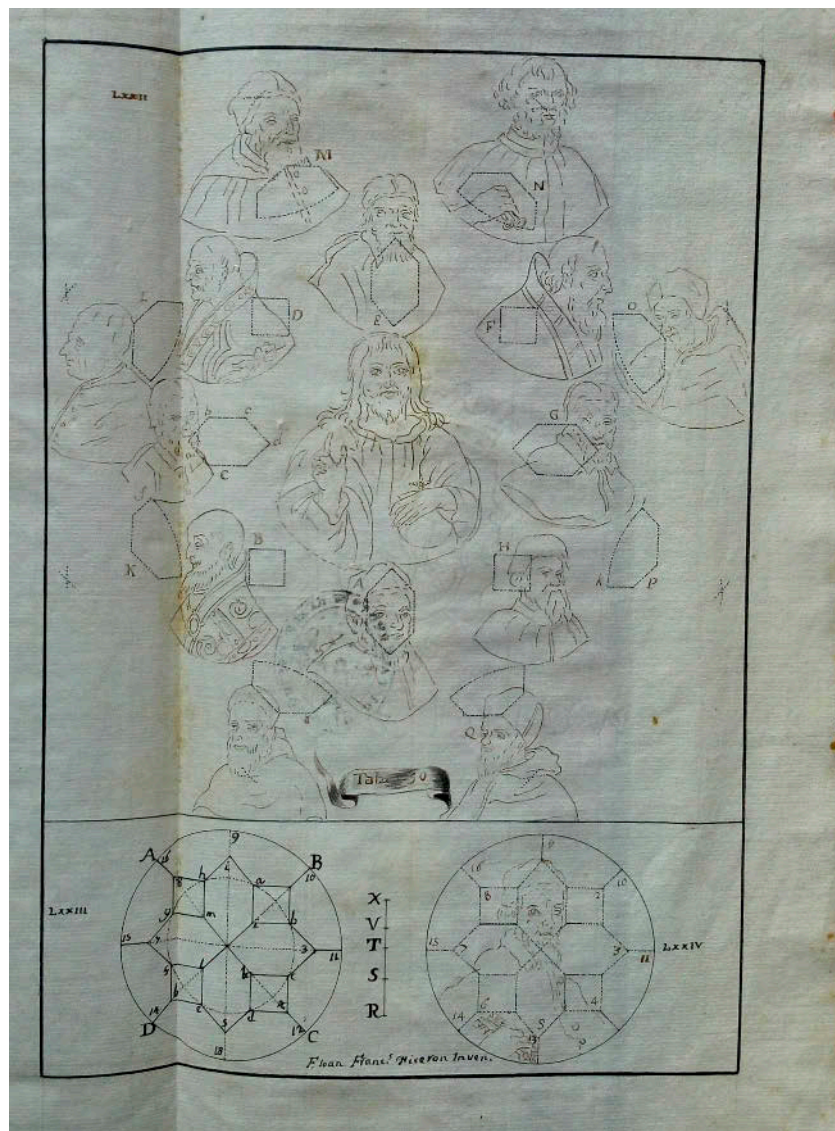


FIG. 6. Tavola n. 50 del libro: P. IOANNIS FRANCISCI NICERONIS, *Taumaturgus opticus, seu Admiranda optices, per radium directum: Capoptrices, per reflexum e politis corporibus, planis, cylindricis, conicis, polyedris, polygonis & alii: Dioptrices, per refractum in diaphanis...*, Lutetiae Parisiorum, typis & formis Francisci Langlois, alias dicti Chartres, 1646.

chiaramente lo spingeva verso una carriera da scienziato, ricordandogli di non tralasciare lo studio della letteratura né della matematica. Grazie a questo documento sappiamo dunque che il giovane Giuseppe era un ragazzino (all'epoca diciassettenne) fantasioso, che addirittura stava scrivendo un romanzo a tema medievale e che aveva bisogno dell'incoraggiamento paterno per concentrarsi nello studio delle materie di cui forse non era poi così appassionato. Il profilo che comincia così a delinearsi è quello di un potenziale artista ed è inevitabile pensare agli schizzi sui documenti d'archivio di prelati e paladini che sembrano usciti fuori da un'opera dei pupi, i cui protagonisti sono spiccatamente medievali. Che la passione per il medioevo e la vena anticlericale siano la firma di Giuseppe? Beh, le tracce presenti in biblioteca forniscono un'altra importante conferma alla nostra ipotesi: come scrive nella lettera, Niccolò aveva comprato per il figlio grandi classici della letteratura e lo spingeva affin-

Casteltermini 5 Giugno 1840

23

Amatissimo Peppinello

Con sommo piacere lessi la vostra lettera, e nell'ordinura della medesima ebbi l'ineprimibile consolazione di ravviarvi con disinvoltura i principj dello stile epistolare. Onde vi raccomando la continua lettura di buoni scrittori, li quali vi possono dare idee solide. Ricordatevi che ho comprato per Voi il Viaggio di Anacarsi. In esso in buono stile moderno, vi acquisterete tutto ciò che può saperi intorno all'antica Grecia, madre di sapienza, e maestra del bello.

Sento anche con piacere che stiate scrivendo un romanzo su di un pezzo d'istoria de' tempi di mezzo, e che il nostro D.^{no} Filippo lo approva. Proseguite dunque, leggetevi tutto ciò che può darvi sane idee intorno agli usi ai costumi alla maniera di pensare della società in quei tempi disgraziati e violenti. Ma purchè però non tolgiate il tempo allo studio delle belle lettere, e all'altro delle matematiche: applicazioni per voi sacre principalmente in questo anno.

Datemi notizie del Sig. Malvica, e se si son cominciate a stampare le vostre stanze, e la lettera di Gaetanino. E portandovi da lui me lo riviverete e gli dimanderete se dovrà darvi risposta alla mia lettera. Riviveremi caramente D.^{no} Filippo Villari, e ditemi se è tornato in Palazzo. Le oggite Sorelle vi abbracciano, e vi pregano di riverirgli li Sig.^{ri} Muzzone e li Sig.^{ri} Mapparelli.

Spero che a quest'ora sia giunta la mezza, e che vostra Madre abbia dato le disposizioni per farvi gli abiti di està. Spero ancora che non le darete motivo di dispiacenza.

Amerei che vi abituaste a fare le osservazioni meteorologiche, e dite a Gaetanino che v'insegnasse ad osservare il Sole allo strumento dei Passaggi. Ma però bisogna che prima di mezzo di fosse alla Specola per fare le osservazioni corrispondenti a quelle che egli farà al Cerchio. Sarebbe ciò di somma mia consolazione, e di sommo onore, e futuro utile a Voi.

Vi abbraccio e vi do col cuore la mia paterna benedizione

Vostro padre che vi ama

FIG. 7. Lettera privata di Niccolò Cacciatore al figlio Giuseppe, datata 5 giugno 1840, ora conservata presso l'Osservatorio Astronomico di Palermo.

ché leggesse tutto quello che era presente nella ricca biblioteca dell'Osservatorio; non sembra un caso che i disegni si trovino proprio su tre libri di letteratura latina.

Un altro indizio significativo, ce lo offre il fratello Gaetano in una lettera al Rettore dell'Università di Palermo, datata 20 agosto 1886, nella quale richiede un'onorificenza per Giuseppe, per il lavoro

di «riordinamento perfetto delle carte» d'archivio da lui svolto. Possiamo dunque affermare con certezza che Giuseppe Cacciatore, avendo sistemato l'archivio storico, ebbe contatto con tutti i documenti di cui esso era costituito, almeno sino al 1863, quindi anche con i quaderni di Giuseppe Piazzì. Che sia stato stimolato al disegno del paladino proprio dalla noiosa contabilità di quest'ultimo?

Dunque l'ipotesi suggestiva, ma abbastanza verosimile, dell'identificazione del disegnatore misterioso con Giuseppe Cacciatore non è troppo lontana dalla realtà. Immaginiamo un giovane creativo, probabilmente annoiato dal lavoro in Osservatorio, che nonostante tentasse di concentrarsi non riusciva a non dar sfogo al suo estro nelle notti di osservazioni o nelle lunghe giornate di studio. In fondo, se l'autore dei disegni avesse voluto farsi riconoscere li avrebbe firmati e la mancanza di una firma ne conferma il carattere assolutamente privato, ribadendo ancora una volta come carte e registri che raccontano principalmente la storia di un luogo, in questo caso l'Osservatorio di Palermo,

contengono anche preziose tracce di vite in qualche modo legate ad esso.

I DOCUMENTI

Vedi le FIGURE 1-7, dall'Archivio storico dell'Osservatorio Astronomico 'G.S. Vaiana' di Palermo, e le relative didascalie.

Giada Genua, laureata in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali, è una restauratrice abilitata, specializzata nel restauro di libri e documenti. Sta svolgendo il Servizio Civile Nazionale presso l'INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo e, tra le altre attività, si sta occupando della conservazione dell'archivio storico.

Donatella Randazzo, laureata in Biologia e diplomata "Librarian" in Inghilterra, è bibliotecaria all'INAF-Osservatorio Astronomico "G. S. Vaiana" 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.

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, è responsabile del Museo degli Strumenti Astronomici dell'Osservatorio Astronomico di Capodimonte a Napoli, dove si occupa anche di studi storici sull'astronomia, principalmente partenopea.

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)

È la somma che fa il totale

Annibale D'Ercole

IL titolo di questa nota si rifà ad una famosa battuta di Totò la cui cifra comica risiede nella sua ovvietà. Vedremo, tuttavia, che se la somma si riferisce all'addizione di infiniti termini, il risultato diventa assai meno banale (in questa rubrica, nel n. 4 del 2013, abbiamo già visto quali sorprese può riservare l'infinito).

Iniziamo da un episodio che pare si sia svolto in Germania verso la fine del Settecento. Un maestro delle elementari diede come punizione alla sua classe turbolenta il compito di sommare i primi cento numeri naturali (ossia i numeri interi positivi), prefigurando così un lungo periodo di tranquillità, data l'onerosità del lavoro assegnato. Possiamo quindi immaginare la sua sorpresa quando, pochi istanti dopo, uno degli alunni gli presentò la risposta esatta. Il bambino era Carl Friedrich Gauss (1777-1855) e sarebbe stato soprannominato dai suoi epigoni "il principe dei matematici" per la vastità e la qualità dei risultati da lui ottenuti in matematica (e non solo). La formula elaborata da Gauss per sommare i primi n numeri naturali è: (FIG. 1)

$$S_n = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (1)$$

Naturalmente S_n cresce al crescere di n , ossia al crescere del numero degli addendi; pertanto, se immaginiamo di tener conto di tutti gli infiniti numeri naturali – se immaginiamo, cioè, di far crescere n all'infinito – otteniamo un valore infinito per questa somma (FIG. 2).

* 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>.

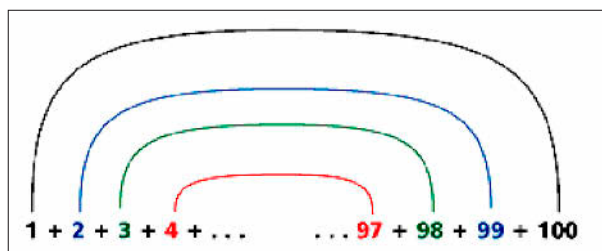


FIG. 1. Il "trucco" di Gauss per sommare rapidamente i primi 100 numeri naturali. Supponiamo di porre i numeri in fila, uno accanto all'altro, e di sommare gli elementi delle 50 coppie formate dal primo e dall'ultimo ($1 + 100 = 101$), dal secondo e dal penultimo ($2 + 99 = 101$), dal terzo e dal terzultimo ($3 + 98 = 101$), e così via. Evidentemente, il totale è dato da $S_{100} = 50 \times 101 = 5050$. In generale, per ottenere la somma dei primi n numeri, notiamo che la formula precedente può essere riscritta come $S_{100} = 100(100 + 1)/2$; sostituendo 100 con n si ricava l'equazione (1) nel testo.

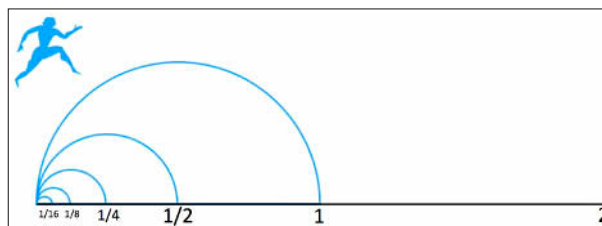


FIG. 2. Paradosso di Zenone dello stadio (o della dicotomia). Achille, per coprire una data distanza, deve prima percorrerne la metà, e prima ancora la metà della metà, e così via. Si vengono così a creare infiniti segmenti che, secondo Zenone, richiedono un tempo infinito per essere attraversati.

La conclusione che la somma degli infiniti numeri naturali sia infinita appare ovvia (ma si veda più avanti) e ancora più ovvia doveva sembrare agli antichi greci secondo i quali qualunque somma di infiniti addendi deve comunque tendere all'infinito, indipendentemente dal valore degli addendi stessi. Basandosi su questa (erronea) convinzione il filosofo greco Zenone di Elea (489-431 a.C.) formulò una serie di paradossi atti a dimostrare l'illusorietà del movimento; il più famoso di questi paradossi è senza dubbio quello di Achille e la tartaruga, secondo cui il piè veloce Achille non riesce a raggiungere la tartaruga benché questa si allontani assai lentamente. Noi consideriamo qui una variante, sempre ad

opera di Zenone, nota come il paradosso della dicotomia, in cui la tartaruga è ferma. Secondo il filosofo greco, Achille, pur muovendosi alla velocità di 1 decametro al secondo, non riesce a coprire la distanza di 2 decimetri che lo separano dalla tartaruga (nel seguito, tutte le distanze sono misurate in decimetri per comodità; ogni altra scelta è legittima e non cambia la logica del discorso). Infatti, per giungere alla fine del percorso, deve prima raggiungere la metà di esso e prima ancora la metà della metà e così via. Questo processo produce un numero infinito di segmenti e Achille, secondo Zenone, ha bisogno di un tempo infinito per compierli tutti. In realtà, i segmenti, benché infiniti, sommati assieme devono necessariamente ridare il segmento di partenza. Pertanto

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2. \quad (2)$$

Gli addendi di questa somma rappresentano anche i tempi impiegati da Achille per percorrere i vari segmenti (infatti, ad esempio, andando alla velocità data, il segmento $\frac{1}{4}$ è percorso in $\frac{1}{4}$ secondi); il tempo totale è dunque di 2 secondi, e coincide con il tempo ottenuto “classicamente”, ossia $t = \text{distanza} / \text{velocità} = 2 / 1 = 2$ s.

Abbiamo fin qui visto che esistono somme di infiniti addendi (dette *serie*) che valgono infinito (come la somma dei numeri naturali), ed altre – come l’eq. (2) – che convergono ad un valore finito. Ma il mondo delle serie è estremamente variegato e, come nel Paese delle Meraviglie di Alice, è possibile imbattersi in oggetti all’apparenza surreali, come la relazione

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots = -\frac{1}{12}. \quad (3)$$

Questa relazione racchiude tre paradossi, in quanto la somma dei naturali sembra essere finita, frazionaria e negativa! Nonostante questo, essa è stata studiata da grandi matematici quali Eulero (1707-1783), Bernhard Riemann (1826-1866) e Srinivasa Ramanujan (1887-1920), ed è oggi accettata normalmente dai matematici moderni a patto di interpretarla correttamente. Nel livello avanzato cercheremo di chiarire il significato della relazione (3) sia pure approssimativamente, dal momento che l’esatta dimostrazione deriva da procedimenti matematici molto complessi e decisamente al di là dei limiti di questa nota. È tuttavia importante sottolineare che la relazione (3) trova riscontro in Natura, particolarmente nell’ambito della meccanica quantistica. Ne è un esempio il cosiddetto effetto Casimir.

Secondo la meccanica quantistica, lo spazio vuoto non è un desolato contenitore in cui non accade nulla, bensì un luogo “effervescente” in cui fotoni (ossia quanti di radiazione) e particelle appaiono e scompaiono come bollicine di spumante che affiorano in superficie. La reale esistenza di queste particelle virtuali (così dette a causa della loro effimera esistenza dell’ordine di 10^{-21} s) è stata messa in luce dall’effetto Casimir, teorizzato nel 1948 dal fisico

olandese Hendrik Casimir (1909-2000) e confermato sperimentalmente una cinquantina d’anni dopo (ne abbiamo parlato in questa rubrica nel n. 4 del 2004). Due piastrine metalliche, poste parallelamente ad una certa distanza una dall’altra, individuano un volume in cui possono esistere solo fotoni le cui lunghezze d’onda siano sottomultipli della distanza tra le due superfici (FIG. 3); al contrario, nel resto dello spazio sono presenti fotoni di qualsiasi lunghezza d’onda la cui densità è dunque maggiore rispetto a quella tra le due piastrine. Questa differenza di densità si riflette in una differenza di pressione esercitata dai fotoni che urtano contro le superfici. Dal momento che la pressione esterna è maggiore di quella interna, si crea una forza che spinge le due superfici una contro l’altra. Questo effetto, inspiegabile in fisica classica, dimostra la reale esistenza delle particelle virtuali.

Benché selezionati nelle loro lunghezze d’onda, i fotoni nel volume sono comunque infiniti. Ad ogni lunghezza d’onda è associata una ben precisa energia e , visto che vi è un numero infinito di lunghezze d’onda permesse (FIG. 3), l’energia totale, derivante da una somma di infiniti termini del tipo $1 + 2 + 3 + \dots$, risulta infinita. Naturalmente, questo non ha senso dal punto di vista fisico. Se però sostituiamo alla somma infinita il valore $-1/12$ come nella relazione (3), il risultato finale si accorda col valore sperimentale entro l’1%.

Le tecniche di manipolazione delle equazioni per liberarsi dei termini infiniti (come la relazione (3)) sono dette di *rinormalizzazione* o *regolarizzazione* e sono frequentemente usate in meccanica quantistica, dove non è difficile imbattersi in quantità infinite. Illustri premi Nobel, quali il fisico britannico Paul Dirac (1902-1984) e quello statunitense Richard Feynman (1918-1988), hanno chiaramente espresso il loro disagio nell’utilizzare le tecniche di rinormalizzazione, ritenendole un sotterfugio estraneo alla meccanica quantistica piuttosto che procedure naturalmente derivanti da essa. Più recentemente, tuttavia, la maggioranza dei fisici ha mostrato una tendenza all’accantonamento di queste perplessità dal momento che le tecniche di rinormalizzazione portano ad un accordo straordinario tra teoria ed esperimento. In fondo, quel che conta è che la somma dia il (giusto) totale.

Prima di arrivare a discutere la relazione (3) diamo in estrema sintesi alcune nozioni sulle serie infinite.

Nel livello base abbiamo incontrato la formula di Gauss per calcolare la somma parziale dei primi n termini della serie dei numeri naturali. Abbiamo visto che, aumentando il numero degli addendi, anche la somma parziale aumenta; con linguaggio un poco più tecnico, possiamo dire che, al tendere di n all’infinito, anche la somma tende all’infinito. Possiamo pertanto concludere che la serie infinita dei numeri naturali è divergente perché tende al-

l'infinito. Questo risultato è alquanto ovvio, e può sembrare che il metodo adottato per ottenerlo (calcolo della somma parziale e studio del suo comportamento all'aumentare di n) sia inutilmente farraginoso. In realtà, come vedremo tra poco, tale metodo mostra tutta la sua efficacia quando si tratta di analizzare serie meno banali.

Consideriamo ora la cosiddetta serie di Grandi, dal particolare comportamento "oscillante":

$$S = 1 - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 + \dots \quad (4)$$

Chiaramente, al crescere del numero n degli addendi, la somma parziale "balla" tra 0 e 1 senza decidersi a schizzare verso infinito o a convergere verso un numero finito. Anche in questo caso diciamo che la serie è divergente.

Veniamo, infine, ad una serie che, sotto certe condizioni, risulta essere convergente, ossia assume un valore finito. Si tratta della serie geometrica

$$S = x^0 + x^1 + x^2 + x^3 + \dots$$

dove x rappresenta un qualsiasi numero. Per calcolare la somma parziale S_n dei primi n termini, scriviamo i seguenti passaggi (tenendo conto che $x^0 = 1$ e $x^1 = x$):

$$\begin{aligned} S_n &= 1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^n \\ &= 1 + x(1 + x + x^2 + \dots + x^{n-1}) \\ &= 1 + x(1 + x + x^2 + \dots + x^n) - x^{n+1} \\ &= 1 + x S_n - x^{n+1}. \end{aligned}$$

Nel primo passaggio abbiamo messo in evidenza una x ; nel secondo abbiamo aggiunto $x^{n+1} - x^{n+1}$ (lasciando ovviamente inalterata la somma). Dopo l'ultimo passaggio precedente possiamo scrivere:

$$S_n = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^n = \frac{1 - x^{n+1}}{1 - x}.$$

È chiaro che, se x ha un valore compreso nell'intervallo $-1 < x < 1$, allora x^{n+1} diventa sempre più piccolo al crescere di n . Pertanto, al tendere di n all'infinito la serie converge alla quantità:

$$S(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots = \frac{1}{1 - x}. \quad (5)$$

Abbiamo scritto il valore della serie S come una funzione $S(x)$ di x per sottolineare che esso dipende dal valore scelto per x . A titolo esemplificativo, ponendo $x = 1/2$ ne segue

$$S(1/2) = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots = 2.$$

Abbiamo ottenuto la serie considerata nel paradosso di Zenone, che pertanto risulta essere un caso particolare di serie geometrica. Ponendo invece $x = -1$ abbiamo

$$S(-1) = 1 - 1 + 1 - \dots = \frac{1}{2} \quad (6)$$

In questo caso abbiamo ricavato la serie di Grandi (eq. (4)) che ora però sembra convergere a $1/2$. Il

motivo di questo sorprendente risultato è dato dall'aver valutato $S(x)$ per $x = -1$ benché, come si ricorderà, questa funzione rappresenti il valore della serie solo se $-1 < x < 1$. Non possiamo, in questa sede, discutere il significato profondo della valutazione di $S(x)$ al di fuori dell'originario intervallo di x . Qui ci limiteremo a dire che la $S(x)$, una volta definita tramite la serie geometrica (eq. (5)), "vive una sua vita autonoma" e nulla osta che possa essere valutata per qualunque valore di x (ad esclusione di $x = 1$, perché in questo caso diverge). Nel caso che x cada nell'intervallo originario, la serie associata a $S(x)$ è effettivamente interpretabile come la somma di infiniti termini il cui risultato è proprio uguale al valore della funzione; in caso contrario, la serie non va intesa come una somma "classica", ma come una rappresentazione diversa (un modo di scrivere diverso) della $S(x)$.¹ Benché tutto questo possa apparire un groviglio logico eccessivamente astratto, esso ha ricadute pratiche fondamentali in fisica quantistica, come abbiamo accennato nel livello base e come ci accingiamo a mostrare tra poco.

I passaggi che seguono sono intesi a dimostrare la relazione (3). Il lettore non interessato può saltarli e riprendere la lettura a partire dall'eq. (9).

Consideriamo la derivata della serie geometrica (eq. (5))

$$S' = 1 + 2x + 3x^2 + \dots = \frac{1}{(1-x)^2} \quad (7)$$

Ponendo $x = -1$, otteniamo il seguente risultato, che utilizzeremo tra poco:

$$S'(-1) = 1 - 2 + 3 - 4 + \dots = \frac{1}{4} \quad (8)$$

Seguendo Eulero, definiamo ora la funzione $\zeta(x)$:

$$\zeta(x) = \frac{1}{1^x} + \frac{1}{2^x} + \frac{1}{3^x} + \dots = 1 + 2^{-x} + 3^{-x} + \dots$$

Si può dimostrare che questa serie converge per $x > 1$ (infatti in questo caso i termini successivi sono sempre più piccoli, una condizione necessaria, anche se non sufficiente, per la convergenza). Tuttavia, analogamente a quanto discusso per la funzione $S(x)$, anche la funzione $\zeta(x)$ può essere estesa al di fuori dell'intervallo di convergenza, benché in questo caso la procedura sia un poco più complessa.² Ad esempio, per valutare $\zeta(-1)$ definiamo dapprima la serie ancillare

¹ In un certo senso, possiamo dire, analogamente, che, per esempio, x^2 è una diversa rappresentazione di $x \times x$. Questa notazione è stata poi estesa anche a esponenti non interi, per esempio, $x^{1/2}$ che però vale solo per $x > 0$. Un'estensione a valori negativi è ancora possibile introducendo il numero immaginario $i = \sqrt{-1}$.

² La "dimostrazione" che viene data qui è approssimativa. La dimostrazione rigorosa è stata data da Riemann tramite la tecnica detta della "continuazione analitica" che prevede l'utilizzo dei numeri complessi, ossia numeri composti con il numero immaginario $i = \sqrt{-1}$.

$$2^{-x} \zeta(x) = 2^{-x} + 4^{-x} + 6^{-x} + \dots$$

ed operiamo poi la seguente sottrazione

$$\begin{aligned} (1-2 \times 2^{-x}) \zeta(x) &= 1 + 2^{-x} + 3^{-x} + 4^{-x} + 5^{-x} + 6^{-x} + \dots \\ &\quad - 2(2^{-x} + 4^{-x} + 6^{-x} + \dots) \\ &= 1 - 2^{-x} + 3^{-x} - 4^{-x} + 5^{-x} - 6^{-x} + \dots \end{aligned}$$

Ponendo $x = -1$, e tenendo conto dell'eq. (7), otteniamo

$$-3(1 + 2 + 3 + \dots) = 1 - 2 + 3 - \dots = \frac{1}{4}$$

da cui, finalmente

$$\zeta(-1) = 1 + 2 + 3 + \dots = -\frac{1}{12} \quad (9)$$

Dunque, il paradosso dell'eq. (3) cessa di essere tale se interpretiamo la serie come una rappresentazione di $\zeta(x)$ (in maniera analoga all'interpretazione data della relazione (6), ed anche della relazione (8)). Essa ha ricadute pratiche fondamentali nella meccanica quantistica, dove spesso ci si imbatte in quantità infinite. Un caso di scuola è dato dall'effetto Casimir, descritto brevemente nel livello base.

In quel che segue, per semplificare i calcoli, assumiamo che il volume tra le due piastre dell'esperimento di Casimir sia unidimensionale (valga cioè solo la dimensione lungo la distanza tra le piastre). Nello spazio vuoto esterno alle due piastre metalliche sono presenti fotoni virtuali di qualunque lunghezza d'onda. Tra le due piastre, invece, sono permessi solo fotoni la cui lunghezza d'onda è $\lambda = 2L/n$, dove L è la distanza tra le due piastre, e n è un qualunque numero naturale (FIG. 3). La meccanica quantistica ci dice che i fotoni virtuali presenti nello spazio vuoto hanno un'energia $E = h\nu/2$, dove h è la costante di Planck e ν è la frequenza. Dal momento che per le onde elettromagnetiche vale la relazione $\lambda\nu = c$ (dove c è la velocità della luce), possiamo scrivere l'energia di un fotone di fissata frequenza ν come $E = nhc/(4L)$. La densità di energia totale è data dalla somma delle energie di tutte le n frequenze:

$$\varepsilon = \frac{hc}{4L} (1 + 2 + 3 + \dots) = \frac{hc}{4L} \zeta(-1) = -\frac{hc}{48L}$$

La prima espressione, se considerata "classicamente", porta ad un valore infinito. Se però la interpretiamo come una rappresentazione di $\zeta(-1)$ (eq. (9)) otteniamo un valore finito. La densità ε può essere considerata come il lavoro compiuto contro la forza esterna per separare le due piastre ad una distanza L . Dalla fisica sappiamo inoltre che il lavoro è dato da "forza per spostamento";

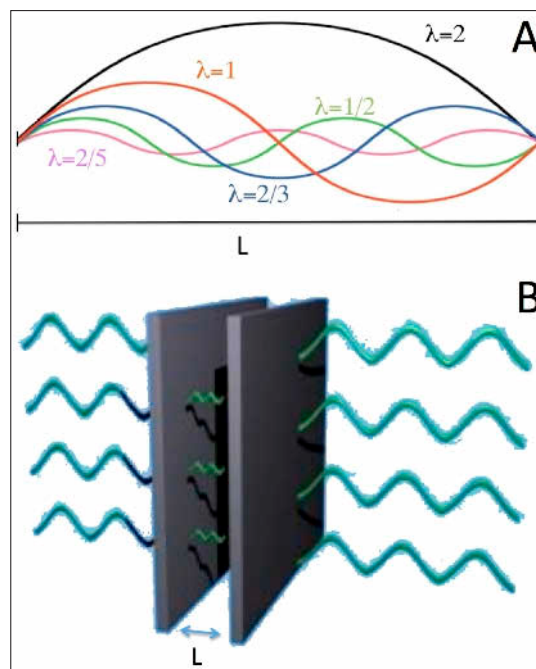


FIG. 3. A) Una corda (ad esempio, di chitarra) di lunghezza L , tesa e bloccata alle estremità, può supportare solo vibrazioni la cui semilunghezza d'onda $\lambda/2$ è un sottomultiplo di L : $n\lambda/2 = L$, dove n è un qualunque numero naturale. Pertanto, le lunghezze d'onda permesse sono quelle per cui $\lambda = 2L/n$. In figura sono rappresentate la vibrazione fondamentale ($n = 1$) e le successive quattro armoniche corrispondenti, rispettivamente, a $n = 2, n = 3, n = 4$ e $n = 5$. Le lunghezze d'onda sono espresse in unità di L . B) Esperimento di Casimir. Le oscillazioni del campo elettromagnetico dello spazio vuoto all'esterno delle due piastre hanno qualunque lunghezza d'onda, mentre quelle nello spazio tra le due piastre hanno solo lunghezze d'onda selezionate, come quelle della corda di chitarra illustrata nel pannello A.

pertanto $\varepsilon = F \times L$. Ne segue che la cosiddetta forza di Casimir è data da $F_{\text{Casimir}} = -hc/(48L^2)$, dove il segno negativo indica che la forza tende a comprimere il volume tra le due piastre.

Considerando lo spazio reale tridimensionale, si ottiene la "vera" forza di Casimir

$$F_{\text{Casimir}} = -\frac{\pi hc A}{480L^4}$$

dove A rappresenta la superficie di una piastra. Per $A = 1 \text{ mm}^2$ e $L = 1 \mu\text{m}$ ($= 10^{-4} \text{ cm}$) abbiamo $F_{\text{Casimir}} = 1,3 \times 10^{-9} \text{ N}$ - pari a un decimilionesimo di grammo - in accordo entro l'1% con gli esperimenti. Questa forza è effettivamente molto piccola ma, come si vede dalla formula, cresce rapidamente al diminuire di L . Nel campo delle nanotecnologie la forza di Casimir può interferire con il corretto funzionamento dei nanorobot nel caso che alcune loro parti mobili siano troppo vicine.

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.

A cura di Alberto Cappi

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

L'ascesa della gravità

Marcus Chown

Traduzione di Davide Calonico

Hoepli, 2018

Copertina flessibile, pp. 254, 22,90 €

ISBN 9788820385606

www.hoeplieditore.it

LE ottime recensioni su prestigiosi organi di stampa internazionale, scientifica e non scientifica, sono di per sé testimonianza sufficiente della bontà di questa opera. Io non posso che concordare con cotanto senno: si tratta di un libro di qualità eccellente nello stile classico della divulgazione scientifica anglosassone contemporanea.

Questo genere letterario è ormai perfettamente codificato. Si tratta di porgere contenuti scientifici anche complessi in una forma digeribile per il grande pubblico, accompagnati da aneddoti, citazioni e curiosità che rendano la lettura varia e gradevole.

L'autore ha ottima padronanza di questo stile, è assai chiaro, rifugge da analogie fuorvianti (ma più oltre mostro un controesempio), trova nell'approccio storico-cronologico il filo conduttore che costituisce la struttura dell'opera.

L'avvincente tema della gravità e le sue connessioni con l'essenza stessa dell'universo in cui viviamo è dunque trattato in un percorso che parte dalle scoperte di Newton, basate sui contributi fondamentali di Keplero e Galileo, si sofferma a lungo sulla rivoluzione einsteiniana, per giungere ai recenti sviluppi della fisica teorica in tema di unificazione delle forze e connessioni con la fisica quantistica (teoria delle stringhe, evaporazione di buchi neri ecc.).

Aggiungo qui una notazione sulla standardizzazione dello stile, che nulla intende togliere al valore de *L'ascesa della gravità*. Avendo letto ormai diverse opere consimili resta, oltre all'indubbio piacere dell'imparare e di vedere cose note da angoli diversi, un sapore di *wunderkammer*, dove le stranezze della fisica contemporanea vengono esposte come corni di narvalo o bestie deformi impagliate.

Ho letto il libro in pochi giorni con sincero godimento, apprezzando in modo particolare i capitoli iniziali su Newton. Le traduzioni di queste opere spesso soffrono di eccesso di anglicismi o di incerte interpretazioni di concetti fisici, entrambi i difetti qui sono molto rari o inesistenti. Ho una sensibilità quasi patologica per gli errori tipografici e non ne ho riscontrato nessuno. Dunque un'eccellente edi-

zione. Non compare nessuna equazione e nessuna figura e non se ne avverte la mancanza.

All'interno di un breve *excursus* sulla materia oscura, a p. 75 l'autore scrive che il Large Synoptic Survey Telescope (LSST) è «... una specie di anti-telescopio che rovescia l'idea che abbiamo in testa di telescopio. Infatti, attraverso la luce che raccoglie, forma un'immagine dell'oscurità». Questa affermazione rischia di trasmettere una visione distorta dei fatti. LSST è un classico telescopio che raccoglie luce visibile, l'unica novità inerisce a un disegno ottico che permette un grande campo di vista su un telescopio di classe 8 m. Il fatto che una delle motivazioni scientifiche alla base del progetto sia lo studio della distribuzione di materia oscura attraverso le deformazioni geometriche che essa induce sulle immagini di galassie lontane (*weak lensing*) non lo rende in alcun modo un «anti-telescopio». Incidentalmente vi sono diversi altri progetti che perseguono obiettivi simili con la medesima tecnica. Devo quindi segnalare che in una parte del libro dove si parla di cose di cui ho conoscenza più diretta ho trovato, se non un'affermazione discutibile, almeno qualche espressione assai infelice. Tenderei ad annoverare il caso fra i peccati veniali ma credo sia giusto notarlo.

L'opera è molto ricca di citazioni dirette di protagonisti dell'avventura scientifica descritta. Alcune mi sono parse particolarmente notevoli, potenti stimoli di riflessione. Per darne, in conclusione, il sapore mi soffermo su due esempi collegati che si trovano a p. 103.

Il primo è una citazione di Hermann Weyl (1949): «Il mondo oggettivo non avviene, semplicemente è. Solo allo sguardo della mia coscienza, che sale lentamente lungo la linea della vita del mio corpo, una sezione di questo mondo prende vita, come un'immagine fluttuante nello spazio che cambia continuamente nel tempo». Questo affascinante concetto dello spazio-tempo come struttura completa esistente fuori dal tempo (perché il tempo è uno dei suoi elementi costitutivi) è uno dei pilastri narrativi del capolavoro di un maestro indiscusso della letteratura americana del novecento, *Mattatoio numero 5* di Kurt Vonnegut. L'affermazione di Weyl me lo rende ancora più prezioso.

Il secondo esempio è una citazione di Albert Einstein, che, sulla stessa linea, rincara la dose: «La realtà è semplicemente un'illusione, sebbene sia molto persistente». Trovo intellettualmente esaltante che Siddhartha Gautama Sakyamuni, il

Buddha storico, sia giunto esattamente alla medesima conclusione, meditando seduto sotto a un ficus più di 2500 anni fa.

MICHELE BELLAZZINI

Marcus Chown è astronomo al California Institute of Technology a Pasadena e scrive sul *New Scientist*. È autore di diversi libri di divulgazione e ha sviluppato l'applicazione *Solar System for the iPad*, che ha ottenuto il premio *The Bookseller* come innovazione digitale dell'anno.

*

First Man. Il primo uomo.

La biografia autorizzata di Neil Armstrong

James R. Hansen

Traduzione di N. Angelotti, F. Pe', D.M. Rossi

Rizzoli, 2018

Copertina rigida, pp. 606, € 20,00

ISBN 9788817105149

www.rizzolilibri.it

EVIDENTEMENTE James R. Hansen ama le missioni impossibili. È riuscito infatti a farsi autorizzare dai diretti interessati a scrivere le biografie di due tra gli astronauti più sfuggenti e riservati della NASA, John Young e Neil Armstrong. Di quella relativa a Young, intitolata *Forever Young – A Life of Adventure in Air and Space* e pubblicata dalla University Press of Florida nel 2012 (inedita in italiano) ho già scritto in una mia precedente recensione (2013, n. 1, p. 61), soffermandomi sulla testardaggine che aveva permesso ad Hansen di convincere il co-autore Young a dare luce verde al progetto.

Ma molta fatica era già costata ad Hansen un'analoga richiesta fatta in precedenza a Neil Armstrong, il primo uomo a mettere piede sulla luna. Professore di storia di chiara fama, Hansen contattò inizialmente Armstrong nel 1999 chiedendogli di poter lavorare sulla sua biografia. Armstrong però si disse troppo impegnato per poterlo assistere nel lavoro, sottolineando di aver già declinato offerte simili da parte di altri importanti scrittori, come Stephen Ambrose (autore di importanti saggi sulla Seconda Guerra Mondiale tra i quali il celeberrimo *Band of Brothers*) e James Michener.

Hansen, tuttavia, non si diede per vinto e inviò all'ex astronauta un saggio delle proprie precedenti pubblicazioni, tra le quali spiccava la biografia del pioniere dell'aviazione Fred Weick.

Armstrong rimase colpito da questo materiale e nel giugno del 2002 siglò con l'autore un contratto formale di collaborazione, aggiungendo un paio di mesi dopo una lettera di sostegno in cui consentiva a chiunque di fornire appoggio e materiale alle richieste pervenute da Hansen in sede di realizzazione del libro, che vide infine la luce nel 2005, pubblicato da Simon & Schuster.

Questa traduzione italiana riguarda la nuova edizione – la terza – del libro (con una prefazione del

lo stesso Hansen, datata marzo 2018), che deve ragionevolmente la propria genesi, oltre che al cinquantesimo anniversario (2019) dell'impresa dell'Apollo 11, alla quasi contemporanea uscita del bel film realizzato da Damien Chazelle (già noto per il successo del 2016 *La La Land*) e interpretato dall'ottimo Ryan Gosling nel ruolo del protagonista. A titolo di curiosità, sempre a questo proposito, si può ricordare che già nel 2003 Clint Eastwood – reduce da un film di ambientazione astronautica, *Space Cowboys*, da lui stesso diretto e interpretato nel 2000 – si era assicurato i diritti del libro per la sua trasposizione cinematografica, ma il tempo era passato e non se ne era fatto niente a causa di difficoltà produttive.

Questo *First Man* si caratterizza – grazie al formale accordo di collaborazione stipulato con Hansen – per essere il primo libro ad andare oltre la descrizione della carriera aviatoria e scientifica dell'astronauta, addentrando anche nei dettagli delle sue vicende personali e familiari, antecedenti e successive alle imprese spaziali che lo hanno visto protagonista e gli hanno dato la notorietà che merita. Con la puntigliosità e precisione che lo hanno sempre contraddistinto, Armstrong ha voluto che nella trattazione comparissero anche i suoi più lontani antenati, appartenenti al turbolento clan degli Armstrong nativo del territorio dei Borders, posto al confine tra Scozia e Inghilterra, un gruppetto dei quali lasciò la propria terra di origine per approdare infine sul suolo americano, in un periodo compreso tra il 1736 e il 1743. Va anche precisato che se già molti astronauti americani hanno pubblicato le proprie memorie in collaborazione con affermati scrittori o giornalisti, il primo uomo a posare piede sulla Luna era rimasta una delle poche figure iconiche del programma Apollo a non averlo fatto fino all'uscita di questo libro.

First Man è stato scritto interamente da James Hansen sulla base del materiale fornito da Armstrong e delle lunghe ore di interviste realizzate con l'astronauta e con molti altri personaggi (parenti, colleghi astronauti ecc.) in grado di aiutarlo a mettere insieme un quadro coerente, e soprattutto completo e sincero (le venticinque fitte pagine riepilogative di bibliografia, siti internet consultati, contatti, interviste ecc., poste alla fine del volume, la dicono lunga su quanto particolareggiata sia stata la ricerca compiuta dall'autore). Armstrong, per contro, a detta di Hansen, non si è mai intromesso nella pianificazione e realizzazione del libro, intervenendo soltanto, come richiesto dall'autore, con la lettura dei capitoli che via via gli venivano sottoposti, al fine di correggere eventuali errori tecnici, storici o concettuali. A lavoro finito, Armstrong commentò con Hansen che il libro era venuto esattamente come lo storico si era impegnato a scriverlo e questo, a detta dell'autore, è il massimo dei complimenti che un uomo di poche parole e molti saldi principi come Armstrong avrebbe potuto rivolgergli.

Secondo Hansen, inoltre, la libertà lasciatagli da Armstrong nella realizzazione del libro si riflette anche nel titolo scelto, che l'astronauta a suo parere non aveva gradito (secondo Hansen, infatti, Armstrong non si sarebbe mai definito il "Primo Uomo", limitandosi semmai a sottolineare come in realtà lui e Aldrin fossero scesi sulla Luna nello stesso momento).

Abbiamo già visto come il libro parta da lontano nel descrivere gli avi conosciuti più lontani di Armstrong, per poi proseguire con l'albero genealogico, fino ad arrivare alla nascita di Neil nel 1930 e raccontare i suoi anni giovanili di bambino appassionato di aviazione e poi di giovane praticante del volo.

Armstrong ebbe l'opportunità di frequentare i corsi di ingegneria aeronautica all'Università di Purdue, grazie alla fruizione di una borsa di studio quadriennale offerta dal programma universitario congiunto della Marina e dell'Aeronautica degli Stati Uniti, che prevedeva un impegno di sette anni suddivisi in due bienni di studio inframmezzati da tre anni di servizio militare, durante i quali il giovane Armstrong divenne pilota di jet e compì numerose missioni di guerra in Corea volando sui caccia-bombardieri Grumman F9F-2 Panther, prima di congedarsi e tornare ai suoi studi e laurearsi. Questa parte del racconto è molto interessante nel descrivere le operazioni in Corea e i dettagli dell'attività di volo del giovane guardiamarina nei ranghi del prestigioso Squadron VF-51 della Marina imbarcato sulla portaerei USS Essex, come pure è interessantissima la parte dedicata al suo successivo impiego di pilota collaudatore civile per la NACA (antesignana della NASA), presso la base di Edwards in California, dove Armstrong ebbe modo di dimostrare le proprie grandi capacità professionali di pilota ingegnere, pilotando sperimentalmente numerosi prototipi avanzati e compiendo sette voli a bordo dell'aerorazzo X-15. Per l'appassionato di aviazione è davvero interessante la lettura di queste pagine, in cui vengono spiegate non solo le caratteristiche tecniche del lavoro dei piloti collaudatori dell'epoca, ma anche le interazioni a livello personale tra i piloti e gli ingegneri coinvolti nei vari progetti. Dal punto di vista familiare, tra la fine degli anni Cinquanta e i primi anni Sessanta il protagonista si afferma a livello professionale come pilota collaudatore, ma subisce anche il grave trauma, condiviso con la moglie Janet, della morte della figliolina Karen a due anni, nel gennaio 1962, per le conseguenze di un tumore. Forse anche per scuotersi da questo tragico evento, a quel punto Armstrong compie il gesto destinato a cambiare la sua vita e quella della sua famiglia: nel giugno dello stesso anno fa domanda per entrare nel corpo astronauti della NASA, che vuole selezionare nuove reclute da aggiungere – in vista degli ormai prossimi voli del programma Gemini – ai "primi sette" arruolati nel 1959 per le missioni Mercury. Siamo nel pieno della corsa allo spazio tra sovietici e ame-

ricani, con i primi in vantaggio a suon di primati e i secondi ormai puntati verso la Luna in virtù dell'impegno preso pubblicamente dal presidente Kennedy nel 1961. Armstrong è uno dei migliori nel suo campo e quasi inevitabilmente è tra i prescelti ed entra a far parte dei "secondi nove", che si riveleranno quasi tutti tra i migliori astronauti che la NASA abbia selezionato in quegli anni (tra essi John Young, Frank Borman, James Lovell, Pete Conrad, Ed White, per citarne solo qualcuno). E parecchi di loro andranno sulla Luna.

Da qui in poi inizia la parte indubbiamente più evocativa del libro, perché questa non è solo la biografia di un grande pilota, ma è anche e soprattutto la biografia del grande pilota che è sceso per primo sulla Luna.

Attingendo ai preziosi ricordi di Armstrong e alla consultazione di molti documenti dell'epoca, Hansen racconta dettagliatamente i risvolti umani e tecnologici del programma Gemini, che coi suoi dieci voli con equipaggio avvenuti tra il 1965 e il 1966 permise alla NASA di accumulare fondamentali esperienze in settori (manovre orbitali, *rendez-vous*, attività extra-veicolari, missioni di lunga durata) che si sarebbero rivelati decisivi per il successivo, e già in pieno sviluppo, programma Apollo.

Armstrong volò nello spazio per la prima volta come comandante della missione Gemini 8 in compagnia del collega David Scott, appartenente al terzo gruppo di astronauti della NASA: obiettivo della missione erano il *rendez-vous* e il successivo aggancio in orbita col veicolo bersaglio Agena, tecnica che avrebbe costituito uno dei capisaldi dell'Apollo.

L'aggancio avvenne con successo, ma subito dopo il complesso unito dei due veicoli spaziali entrò in una folle rotazione che mise in pericolo le vite degli astronauti e li obbligò a sganciarsi in tutta fretta e ad effettuare un rientro di emergenza a terra. Un mezzo fallimento, secondo alcuni, le cui cause tecniche vennero però presto scoperte, così come furono messe in luce la freddezza e la preparazione professionale del comandante della missione.

Armstrong in seguito fu uno degli astronauti selezionati per i voli Apollo e le varie vicende che caratterizzarono la programmazione delle missioni (e che sarebbe troppo lungo raccontare ora, salvo sottolineare che Hansen ne fornisce qui un quadro esaustivo e intrigante) fecero sì che venisse scelto come comandante della missione numero 11. Fu solo ad un certo punto, col successo delle missioni precedenti e con la scadenza ormai imminente del termine temporale fissato da Kennedy per l'invio del primo americano sulla Luna, che l'equipaggio designato per la missione Apollo 11 ebbe la certezza di essere quello che avrebbe tentato il primo allungo.

Si trattava di un equipaggio composto da grandi professionisti, tuttavia estremamente diversi l'uno dall'altro dal punto di vista caratteriale, al punto da far sì che l'estroverso pilota del modulo di comando

Mike Collins definisse il gruppo come «i cordiali estranei».

Come andò quella missione, e come Neil Armstrong si trovò a diventare il *First Man* del titolo di questo libro, è storia nota e costituisce un prezioso ricordo diretto di chi all'epoca poté assistervi dagli schermi televisivi.

Lascio quindi al lettore il piacere di gustare la rievocazione di quel momento magico attraverso le pagine del libro, ma è davvero rimarchevole come Hansen racconti in maniera puntigliosa ma anche avvincente, quasi minuto per minuto, lo svolgimento della missione, riportando le comunicazioni radio intercorse col controllo di Houston e tra gli stessi astronauti, e non è esagerato affermare che è così bravo a ricreare quei momenti che al lettore sembra davvero di starci dentro, al modulo lunare, mentre si avvicina sempre più alla Luna e finalmente posa le proprie "zampe" meccaniche sul suolo del nostro satellite naturale.

Le vicende professionali e familiari di Armstrong dopo la missione lunare costituiscono la parte finale del libro e dimostrano come l'essere andato sulla Luna abbia per molti versi stravolto la sua vita e il suo naturale desiderio di riservatezza. D'altronde altri suoi colleghi dal carattere meno forte ne hanno sofferto ben di più.

Gli anni successivi al distacco dalla NASA furono caratterizzati dalla ricerca di una nuova dimensione umana, familiare e professionale. Tra le molte proposte di lavoro pervenutegli, Armstrong accettò con piacere l'incarico di docente presso l'Università di Cincinnati, ma fu anche a lungo impegnato in innumerevoli viaggi di propaganda come rappresentante del programma spaziale e degli Stati Uniti, andando anche a portare il proprio saluto e sostegno alle truppe americane impegnate all'estero (in Vietnam ma anche, ancora nel 2010, in un impegnativo tour in Medio Oriente). A tutti questi impegni istituzionali si sommarono anche le problematiche familiari, con l'allontanamento della moglie Janet dopo trentotto anni di matrimonio (seguito dal divorzio) e le nozze con la seconda moglie, Carol, nel 1994.

Per non farsi mancare niente, oltre alle migliaia di lettere al giorno che riceveva dagli ammiratori, ad Armstrong sono toccati anche sgradevoli incontri con truffatori e approfittatori, che alla fine gli hanno fatto prendere la decisione di non firmare più autografi perché si era accorto che ormai erano oggetto di un fiorente commercio tra appassionati e in giro ce n'erano anche parecchi falsi. Come molti suoi colleghi astronauti, ha dovuto anche confrontarsi con maniaci e con le stramberie dei lunacomplottisti.

Aveva mantenuto comunque contatti e interessi nel mondo dell'astronautica, e per le sue specifiche competenze tecniche venne chiamato a far parte della commissione d'inchiesta sul disastro dello Shuttle Challenger del 1986.

Ancora nel 2010 lo troviamo, insieme agli amici e colleghi di lunga data dell'Apollo Jim Lovell e Gene

Cernan, a criticare pubblicamente la politica spaziale del presidente Obama. Il quale – uno fra tanti – non mancherà tuttavia di rendergli onore, al momento della sua scomparsa, definendolo un eroe non solo del suo tempo ma di tutti i tempi.

Armstrong è morto nel 2012 (a 82 anni) a seguito di problemi cardiaci e ha lasciato di sé un ricordo pregnante nei suoi familiari e in chi ha avuto la fortuna di conoscerlo personalmente, nonché un retaggio immenso per l'intera umanità, quello di un uomo schivo e modesto cui è stata data l'opportunità di portare a termine le difficili imprese che Kennedy aveva profetizzato.

Questo libro riesce, a mio parere, a onorarne in pieno la memoria, illustrandone a fondo la vita, le opere e la personalità certamente non comune.

Ricordo bene la meraviglia che suscitò in me undicenne, e nel mondo intero, vedere lui e Buzz Aldrin nelle immagini sgranate della televisione muoversi come fantasmi sulla superficie di un corpo celeste diverso dalla Terra, infagottati nelle loro ingombranti tute spaziali, e mi commuove profondamente trovarmi adesso a ricordare la sua figura e la sua impresa, condivisa con i colleghi dell'Apollo 11, a cinquant'anni da quegli indimenticabili momenti ormai impressi nella Storia.

Il libro merita di essere letto e meditato, per come riesce a ricreare e rievocare lo spirito di quegli anni tumultuosi e irripetibili, in cui niente sembrava essere precluso all'intelligenza e all'intraprendenza umana.

MARCO ORLANDI

James R. Hansen è professore di storia presso la Auburn University in Alabama. Con il suo libro *From the Ground Up* ha vinto nel 1988 l'History Book Award dell'American Institute of Aeronautics and Astronautics. Nel 2005 ha anche ottenuto l'Eugene Ferguson Prize della Society for the History of Technology per il suo lavoro in sei volumi *The Wind and Beyond*. È membro del consiglio direttivo dell'organizzazione *no-profit For All Moonkind*, che si propone di sviluppare un quadro legale per gestire e proteggere l'eredità culturale dell'umanità nello spazio.

★

Cieli in Contraddizione

Giovanni Battista Riccioli e il Terzo Sistema del Mondo

Flavia Marcacci

Aguaplano, 2018

Copertina flessibile, pp. 260, € 20,00

ISBN 9788885803114

www.aguaplano.eu

NELLA storia del pensiero scientifico sono molte le figure che non hanno ricevuto adeguata attenzione da parte dei ricercatori; è questo il caso di Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), astronomo della Compagnia di Gesù. Riccioli è stato

emarginato dal novero dei grandi scienziati, probabilmente in quanto sostenitore nel XVII Secolo dell'immobilità della Terra. Ad aver oscurato la fama di Riccioli, inoltre, vi è la complessa lettura delle sue opere, caratterizzate da una dimensione interdisciplinare tipica della scuola gesuita. Attraverso una meticolosa ricerca effettuata sui testi e inquadrando il personaggio nel contesto della rivoluzione scientifica, l'autrice, docente presso la Pontificia Università Lateranense, ha voluto attribuire una meritata rilevanza a questo scienziato, troppo superficialmente etichettato come tradizionalista.

In qualità di astronomo, Riccioli si colloca tra Galileo e Newton, ed è soprattutto questa collocazione ad aver contribuito alla sua scarsa notorietà. Il successo dell'opera newtoniana, che ha sintetizzato la meccanica dello stesso Galilei e l'astronomia di Keplero, ha indotto molti storici a prendere in considerazione questi autori fondamentali, trascurando il contributo di molti altri studiosi del cielo. In realtà, il modello newtoniano ha impiegato del tempo prima di essere adottato dalla comunità scientifica e durante gli anni dell'attività di Riccioli il dibattito astronomico ha visto principalmente contrapporsi i sostenitori di Copernico e quelli di Brahe. Nonostante il fatto che le osservazioni telescopiche, a partire da quelle galileiane risalenti al 1609, abbiano del tutto invalidato la cosmologia aristotelico-tolemaica, quest'ultima è stata ancora insegnata in alcune università nel periodo moderno e ha ricevuto consensi anche da parte di uomini eruditi. Occorre inoltre precisare che, prima di riguardare i contenuti biblici, le obiezioni relative al sistema copernicano sono state ben altre. Copernico non ha completato la sua teoria con un'adeguata base fisica e la mancata osservazione degli effetti della rotazione della Terra sul moto dei corpi ha convinto molti intellettuali a rimanere fedeli alla sua immobilità. In altre parole, i dubbi espressi da Tolomeo nel VII capitolo del I libro dell'*Almagesto* sono ancora attuali nel secolo della svolta definitiva verso la scienza esatta.

L'autrice ha concepito questo lavoro come una ricostruzione dell'astronomia di Riccioli, dichiarandosi consapevole, tuttavia, del fatto che «ogni bilancio interpretativo che voglia dirsi generale sul gesuita sarà sempre parziale, fino a quando la sua opera non sarà letta per intero» (p. 19). La parte iniziale del libro è dedicata all'illustrazione essenziale dello sviluppo storico delle concezioni astronomiche e delle loro problematiche irrisolte, in modo da rendere il lettore in grado di capire l'eredità che Riccioli e gli altri astronomi del XVII secolo hanno raccolto. Questa sezione del lavoro riesce in maniera davvero efficace a dare un'idea della complessità della discussione in atto e di come alcune ricostruzioni storiche, spesso incentrate su una netta opposizione tra difensori del razionalismo scientifico e quelli del tradizionalismo filosofico-teologico, siano del tutto fuorvianti.

Dalla trattazione della biografia di Riccioli spiccano particolari molto rilevanti per capire il suo approccio nei confronti della scienza. Da essi emerge la figura di un ricercatore che ha portato a frutto uno spirito individuale fortemente critico, desideroso di integrare le discipline matematiche e le capacità offerte dai nuovi strumenti con le esigenze maggiormente teoriche derivanti dalla sua formazione. Questa impostazione lo ha indotto a riportare nelle sue opere le opinioni degli altri autori della tradizione cristiana, in un tentativo di sintesi di portata enciclopedica. Tutto ciò sfocia in quel metodo complessivo di indagine che l'autrice chiama «probabilismo realista» (p. 71), una definizione che riassume la tendenza ad esprimere le ipotesi più plausibili di fronte a problemi dei quali non si intravede una possibilità di soluzione immediata.

È stata la sua cautela, insieme all'attenta analisi delle idee dei suoi predecessori e contemporanei, a spingere Riccioli verso l'adozione di un sistema semi-geocentrico, nel quale i pianeti si spostano in un cielo di natura fluida. Le enormi dimensioni del suo Sistema solare, per esempio, rappresentano una chiara istanza di come nel suo pensiero le novità matematiche convivano con elementi della cosmologia del passato. Proprio questo, infatti, è l'indirizzo che l'astronomo ferrarese ha voluto dare all'*Almagestum Novum* del 1651, la sua opera più importante. In essa la difesa dell'immobilità terrestre viene improntata alla luce delle nuove acquisizioni telescopiche e, più in generale, di tutte le più recenti innovazioni introdotte nella scienza astronomica.

Anche la filosofia e la teologia naturali di Riccioli presentano spunti di notevole interesse. La *vexata quaestio* del ruolo della Bibbia nella descrizione del Cosmo viene affrontata dall'astronomo in base all'idea secondo la quale «l'interpretazione letterale della Scrittura, se non dà luogo ad inconvenienti, è sempre preferibile ad altre interpretazioni» (p. 191). L'analisi dettagliata dei testi biblici, oltre a far parte della completezza delle argomentazioni prese in esame, non serve solo a risolvere l'enigma della centralità o meno della Terra rispetto al Sole. I contenuti scritturali, infatti, devono essere vagliati anche per altri aspetti, come la struttura dei cieli o la natura dei nuovi corpi celesti. Questa visione relativa al significato della Bibbia si integra all'interno del suddetto probabilismo realista, in conseguenza del quale Riccioli rinuncia alla possibilità di avere risposte definitive su alcune problematiche della cosmologia che devono essere trattate, pertanto, in maniera ipotetica. La sua teoria circa l'esistenza e il ruolo delle intelligenze celesti è una delle espressioni più significative di tale visione del sapere.

In generale, la caratteristica peculiare di questa figura della moderna scienza naturale consiste nell'aver combinato la nuova astronomia matematica e strumentale con un impianto filosofico-teologico tradizionale. Nell'ottica di Riccioli, Dio è la causa suprema dell'ordine universale, anche se la sua azione

non è rilevabile tramite la ricerca scientifica che, comunque, in maniera analogica consente di intuire l'esistenza del Creatore dietro le leggi di natura. Il risultato è quello di un sistema astronomico nel quale l'immobilità della Terra è del tutto compatibile con elementi nuovi, come l'eliminazione delle orbite solide, l'uniformità tra Cielo e Terra, l'insostenibilità del cosmo tolemaico e il rifiuto di un superficiale concordismo. Si tratta di «una sorta di meccanicismo cristiano che tutela e incoraggia il desiderio di trovare armonie più profonde insieme al rispetto per il Sommo Artefice del mondo» (p. 221).

Merito di questa eccellente ricerca è quello di aver evidenziato gli aspetti originali e degni di essere valutati del lavoro di un autore, il cui modello dell'universo «non era in fondo troppo più falso e assurdo di quanto potesse esserlo il sistema copernicano» (p. 224).

ALESSANDRO GIOSTRA

Flavia Marcacci si è laureata in Filosofia presso l'Università degli Studi di Perugia (2001) e ha conseguito il dottorato in Filosofia presso la Pontificia Università Lateranense (2005), dove ricopre la cattedra di Storia del pensiero scientifico presso la Facoltà di Filosofia. È vicedirettrice dell'area di ricerca *IRAFS* (*International Research Area on Foundations of the Sciences*, www.irafs.org) presso l'Università Lateranense. Tra le sue pubblicazioni, *Alle origini dell'assiomatizzazione: gli Eleati, Aristotele, Euclide* (Aracne, Roma 2012), *Galileo Galilei, una storia da osservare* (LUP, Roma 2015); (con W.R. Shea), *Intervista a Galileo* (Carocci, Roma 2015).

*

L'era delle onde gravitazionali Una nuova finestra sull'universo

Andrea Simoncelli

Prefazione di Lorenzo Amati

Aracne editrice, 2018

Copertina flessibile, pp. 140, € 15,00

ISBN 9788825516036

www.aracneeditrice.it

LA rivelazione diretta delle onde gravitazionali nel 2015, annunciata pubblicamente nel 2016 (dopo che per alcuni mesi si erano susseguite indiscrezioni sulla scoperta), è stato un evento di straordinaria importanza, che ha aperto un nuovo campo di ricerca all'astrofisica del XXI secolo (nel 2017 è stato anche assegnato il premio Nobel per la fisica a tre dei protagonisti di quella rivelazione, Barry Barish, Kip Thorne e Rainer Weiss). È dunque naturale che in tempi recenti siano comparse diverse pubblicazioni dedicate all'argomento. Oggetto di questa recensione è un testo italiano, scritto da Andrea Simoncelli, insegnante e divulgatore (e lui stesso autore di articoli e recensioni per il *Giornale di Astronomia*), che offre una panoramica sull'argomento e permette di cogliere le implicazioni di quanto è avvenuto.

Il libro, diviso in quattro capitoli, tratta tutti gli aspetti delle onde gravitazionali. Nel primo capitolo si comincia naturalmente con la relatività generale e si mostra come le onde gravitazionali siano una delle più sorprendenti predizioni; vengono descritte le loro proprietà, come possono essere prodotte e quanto sia difficile rivelarle. In un approfondimento, si ricorda opportunamente anche la rivelazione "indiretta" delle onde gravitazionali nel 1974 grazie alla misura della variazione del periodo orbitale di una *pulsar* in un sistema binario da parte di Russell Hulse e Joseph Taylor (ai quali fu assegnato il premio Nobel per la fisica nel 1993).

Si passa poi, nel secondo capitolo, alla storia dei tentativi di rivelazione, a partire dal caso di Joseph Weber, il grande pioniere dei rivelatori (a barre) di onde gravitazionali. Nel 1965, Weber si convinse di aver rivelato onde gravitazionali provenienti dal centro della nostra Galassia, ma le sue osservazioni non furono confermate. Nonostante ciò, insistette sulla correttezza delle sue osservazioni, il che generò un'aspra polemica e lo isolò dal resto della comunità. Viene poi narrato come negli anni Sessanta anche in Italia, grazie ad Edoardo Amaldi, sorse l'interesse per le onde gravitazionali, che erano allora un argomento esotico e di nicchia. Si arriva, infine, all'interessante e dettagliata descrizione degli interferometri laser, grazie ai quali si possono raggiungere i livelli di straordinaria precisione necessari per cogliere il debole segnale delle onde gravitazionali, e in particolare ai due progetti che hanno portato alla loro rivelazione, l'americano *Advanced LIGO* e l'italo-francese *Advanced Virgo*, quest'ultimo situato nella campagna di Cascina in provincia di Pisa. Un meritato spazio speciale è dedicato alla figura di Adalberto Giazotto, padre (insieme al francese Alain Brillet) dell'interferometro Virgo.

Il terzo capitolo è dedicato alle prime rivelazioni dirette delle onde gravitazionali: si va dalla scoperta originale di LIGO della fusione di due buchi neri, alla fusione di due stelle di neutroni, evento che nell'agosto del 2017 per la prima volta è stato osservato in diverse regioni dello spettro elettromagnetico in seguito alla rivelazione di LIGO e Virgo. Sono spiegate le caratteristiche di ognuno di questi eventi, i vari strumenti coi quali sono studiati e i tentativi di interpretazione teorica (non è facile giustificare l'esistenza di buchi neri di massa pari ad alcune decine di volte quella del Sole come quelli identificati con le osservazioni di LIGO e Virgo).

Il quarto ed ultimo capitolo è infine dedicato al futuro, con ambiziosi progetti come l'Einstein Telescope, un interferometro sotterraneo, e LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*), un interferometro spaziale, la cui fattibilità è stata dimostrata dalla missione dell'ESA LISA Pathfinder e che, se tutto va bene, verrà lanciato nel 2034.

L'era delle onde gravitazionali è un libro scritto in modo chiaro e accessibile, corredato da utili immagini e grafici, ricco di informazioni e al tempo stes-

so di dimensioni abbordabili; ha inoltre il pregio di mettere in luce il significativo contributo dei ricercatori italiani. Costituisce dunque un'ottima e consigliabile introduzione alle onde gravitazionali.

ALBERTO CAPPI

Andrea Simoncelli insegna Matematica e Scienze presso l'Istituto Comprensivo 'G. Rossetti' a Vasto. Nel 2002

ha conseguito la laurea in Astronomia presso l'Università di Bologna. In seguito ha trascorso un periodo di ricerca presso l'Osservatorio Astronomico di Trieste e poi in quello di Brera, nella sede di Merate. Nel 2007 ha ottenuto l'abilitazione all'insegnamento all'Università di Modena e Reggio Emilia e ha conseguito il diploma di perfezionamento in *Didattica della Matematica* presso il Consorzio Interuniversitario FOR.COM. Collabora con le riviste *Le Stelle*, *Nuovo Orione* e il *Giornale di Astronomia*.

Alberto Capi 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 sulla 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 SAIt e la casa editrice *Fabrizio Serra editore*[®] acquisiscono il copyright sugli articoli pubblicati. La SAIt acquisisce anche i diritti di traduzione dell'articolo nelle lingue dei paesi in cui il *Giornale* è diffuso.
12. La SAIt 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

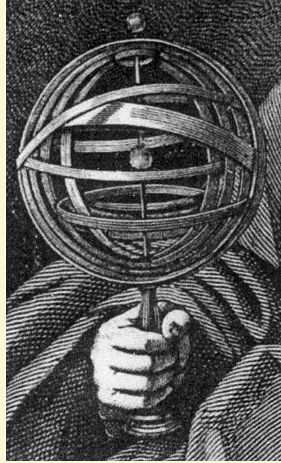
Composto, in carattere *Serra Dante*, dalla *Fabrizio Serra editore*[®], Pisa · Roma.
Stampato e rilegato nella *Tipografia di Agnano*, Agnano Pisano (Pisa).

★

Marzo 2019

(czz/FG21)





Società Astronomica Italiana

Con il patrocinio della
Camera dei Deputati